تغير المناخ، والماء

الورقة الفنية السادسة الصادرة عن الهيئة
الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ

الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ

المنظمة العالمية للأرصاد الجوية

برنامج الأمم المتحدة للبيئة

المنظمة العالمية
للأرصاد الجوية

الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ

برنامج الأمم
المتحدة للبيئة

تغير المناخ، والماء

حرر الورقة الفنية

Bryson Bates
منظمة البحوث العلمية
والصناعية التابعة لمنظمة
الكومنولث (CSIRO)
أستراليا

Zbigniew W.Kundzewicz
أكاديمية العلوم البولندية، بولندا
ومعهد بوتسدام المعني ببحوث تأثير المناخ،
ألمانيا

Shaohung Wu
أكاديمية العلوم الصينية
الصين

Jean Palutikof
مركز هادلي بدائرة الأرصاد الجوية
المملكة المتحدة

أعدت هذه الورقة الفنية الصادرة عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ استجابة لقرار صادر عن الهيئة. وقام خبراء واختصاصيون حكوميون بمراجعة المادة المنشورة في الورقة، لكن الهيئة لم تنظر فيها من أجل إمكان قبولها أو الموافقة عليها.

حزيران/ يونيو 2008

أُعدت هذه الورقة تحت إدارة الفريق العامل الثاني التابع للهيئة الحكومية الدولية
المعنية بتغير المناخ (IPCC)
وحدة الدعم الفني

يُرجى الإشارة عند الاستشهاد بهذه الورقة الفنية، إلى ما يلي:

Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu and J.P. Palutikof, Eds., 2008: Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 210 pp.

ISBN: 9784-123-9169-92-
© 2008, Intergovernmental Panel on Cbinate change

صورة الغلاف: © حقوق التأليف والنشر محفوظة
© Simon Fraser/Science Photo Library

المحتويات

تقديم **vii**
كلمة شكر **viii**
ملخص تنفيذي **1**
1 - مقدمة لموضوع تغير المناخ والماء **5**
1.1 معلومات أساسية 7
1.2 النطاق 7
1.3 سياق الورقة الفنية: الأحوال الاجتماعية - الاقتصادية والأحوال البيئية 8
1.3.1 التغيرات المرصودة 8
1.3.2 التغيرات المسقطة 10
1.4 عرض مجمل 11
2- التغيرات المرصودة والمسقطة في المناخ بحسب صلتها بالماء **13**
2.1 التغيرات المرصودة في المناخ بحسب صلتها بالماء 15
2.1.1 الهطول (بما في ذلك الأحوال المتطرفة) وبخار الماء 15
2.1.2 الثلج والجليد الأرضي 19
2.1.3 مستوى سطح البحر 20
2.1.4 التبخر - النتح 21
2.1.5 رطوبة التربة 22
2.1.6 الجريان وتصريف الأنهار 22
2.1.7 أنماط التقلبية الواسعة النطاق 22
2.2 التأثيرات والتأثيرات التفاعلية للتغيرات الهيدرولوجية على المناخ 24
2.2.1 تأثيرات سطح الأرض 24
2.2.2 التأثيرات التفاعلية عن طريق التغيرات في دوران المحيطات 24
2.2.3 الانبعاثات والبالوعات المتأثرة بالعمليات الهيدرولوجية أو التأثيرات التفاعلية الكيميائية الحيوية الأرضية 25
2.3 التغيرات المسقطة في المناخ من حيث صلتها بالماء 25
2.3.1 الهطول (بما في ذلك الأحوال الجوية المتطرفة) وبخار الماء 26
2.3.2 الثلج والجليد الأرضي 29
2.3.3 مستوى البحر 29
2.3.4 التبخر – النتح 30
2.3.5 رطوبة التربة 31
2.3.6 الجريان وتصريف الأنهار 31
2.3.7 أنماط التقلبية واسعة النطاق 32
3- ربط تغير المناخ وموارد المياه: التأثيرات والاستجابات **33**
3.1 التأثيرات المرصودة لتغير المناخ 35
3.1.1 تأثيرات مرصودة بسبب تغيرات في الغلاف الجليدي 35
3.1.2 الهيدرولوجيا وموارد المياه 35
3.2 التغيرات في المستقبل في توافر المياه والطلب عليها بسبب تغير المناخ 40
3.2.1 العوامل المحركة ذات الصلة بالمناخ لنُظم المياه العذبة في المستقبل 40
3.2.2 العوامل الدافعة غير المناخية لنظم المياه العذبة في المستقبل 44
3.2.3 تأثيرات تغير المناخ على توافر المياه العذبة في المستقبل 45
3.2.4 تأثيرات تغير المناخ على طلب المياه العذبة في المستقبل 45

3.2.5 تأثيرات تغير المناخ على الإجهاد المائي في المستقبل 46
3.2.6 تأثيرات تغير المناخ على التكاليف والجوانب الاجتماعية - الاقتصادية الأخرى للمياه العذبة 46
3.2.7 مناطق وقطاعات المياه العذبة المعرضة لخطر تغير المناخ بدرجة عالية 48
3.2.8 جوانب عدم اليقين في التأثيرات المسقطة لتغير المناخ على نظم المياه العذبة 48
3.3 التكيف المتصل بالمياه مع تغير المناخ: نظرة عامة 50
4- تغير المناخ وموارد المياه في النُظم والقطاعات 55
4.1 النُظم الإيكولوجية والتنوع الأحيائي 57
4.1.1 الإطار 57
4.1.2 التغيرات المسقطة في مجال الهيدرولوجيا والتأثيرات فيما يتعلق بالتنوع الأحيائي العالمي 57
4.1.3 تأثيرات التغيرات في مجال الهيدرولوجيا على الأنواع الرئيسية من النظم الإيكولوجية 58
4.2 الزراعة والأمن الغذائي، واستخدام الأراضي والحراجة 61
4.2.1 السياق 61
4.2.2 الرصدات 63
4.2.3 الإسقاطات 63
4.2.4 التكيُّف وقابلية التأثر والتنمية المستدامة 67
4.3 الصحة البشرية 71
4.3.1 السياق 71
4.3.2 الرصدات 72
4.3.3 الإسقاطات 73
4.3.4 التكيُّف، وسرعة التأثر والتنمية المستدامة 73
4.4 إمدادات المياه ومرافق النظافة الصحية 73
4.4.1 السياق 73
4.4.2 ملاحظات 73
4.4.3 الإسقاطات 73
4.4.4 التكيُّف، وسرعة التأثر والتنمية المستدامة 75
4.5 المستوطنات والبنية الأساسية 77
4.5.1 المستوطنات 77
4.5.2 البنية الأساسية 77
4.5.3 التكيف 78
4.6 الاقتصاد: التأمين، والسياحة، والصناعة، والنقل 79
4.6.1 السياق 79
4.6.2 التكاليف الاجتماعية – الاقتصادية، التكيف، سرعة التأثر، التنمية المستدامة 79
5- تحليل الجوانب الإقليمية لتغير المناخ وموارد المياه 81
5.1 أفريقيا 83
5.1.1 السياق 83
5.1.2 الرصدات الحالية 84
5.1.3 التغيرات المسقطة 87
5.1.4 التكيف وسرعة التأثر 89
5.2 آسيا 90
5.2.1 السياق 90
5.2.2 التأثيرات المرصودة لتغير المناخ على المياه 90
5.2.3 التأثير المسقط لتغير المناخ على المياه، ومواطن الضعف الرئيسية 92
5.2.4 التكيف وسرعة التأثر 93
5.3 أستراليا ونيوزيلندا 95
5.3.1 السياق 95
5.3.2 التغيرات المرصودة 96
5.3.3 التغيرات المسقطة 96
5.3.4 التكيف وسرعة التأثر 98
5.4 أوروبا 98

5.4.1 السياق 98
5.4.2 التغيرات المرصودة 98
5.4.3 التغيرات المسقطة 99
5.4.4 التكيف وسرعة التأثر 101
5.5 أمريكا اللاتينية 102
5.5.1 السياق 102
5.5.2 التغيرات الملحوظة 102
5.5.3 التغيرات المسقطة 104
5.5.4 التكيف وسرعة التأثر 106
5.6 أمريكا الشمالية 108
5.6.1 السياق والتغيرات الملحوظة 108
5.6.2 التغيرات المسقطة ونتائجها 108
5.6.3 التكيف 111
5.7 المنطقتان القطبيتان 113
5.7.1 السياق 113
5.7.2 التغيرات المرصودة 113
5.7.3 التغيرات المسقطة 114
5.7.4 التكيف وسرعة التأثر 115
5.8 الجزر الصغيرة 116
5.8.1 السياق 116
5.8.2 الاتجاهات المناخية الملحوظة والإسقاطات في المناطق الجزرية 116
5.8.3 التكيف، وسرعة التأثر، والاستدامة 119
6- تدابير التخفيف من تغير المناخ، والماء **123**
6.1 مقدمة 125
6.2 التخفيف المحدد قطاعياً 125
6.2.1 احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه (CCS) 125
6.2.2 محاصيل إنتاج الطاقة الأحيائية 125
6.2.3 كهرباء الكتلة الأحيائية 127
6.2.4 الطاقة الكهرمائية 127
6.2.5 الطاقة الحرارية الأضية 127
6.2.6 استخدام الطاقة في المباني 128
6.2.7 تغير استخدام الأراضي وإدارتها 128
6.2.8 إدارة الأراضي الزراعية (المياه) 128
6.2.9 إدارة الأراضي الزراعية (تقليل حراثة الأراضي) 129
6.2.10 التشجير أو إعادة التشجير 129
6.2.11تفادي/تقليل إزالة الغابات 130
6.2.12 إدارة النفايات الصلبة؛ معالجة المياه المستعملة 130
6.2.13 النفط غير التقليدي 130
6.3 آثار سياسات وتدابير إدارة المياه على انبعاثات غاز الدفيئة والتخفيف منها 130
6.3.1 السدود المائية 131
6.3.2 الري 132
6.3.3 عائد البقايا 132
6.3.4 عمليات الصرف في الأراضي الزراعية 132
6.3.5 معالجة المياه المستعملة 132
6.3.6 إزالة الملوحة 133
6.3.7 الطاقة الحرارية الأرضية 133
6.4 المنازعات المحتملة بشأن موارد المياه بين التكيف والتخفيف 133
7- الانعكاسات على السياسة والتنمية المستدامة **135**
7.1 الانعكاسات على السياسة بحسب القطاع 137

7.2 الآثار الرئيسية المسقطة ذات الصلة بالمياه بحسب المناطق 139
7.3 الانعكاسات على سياسة التخفيف من آثار تغير المناخ 141
7.4 الانعكاسات على التنمية المستدامة 141
8- الثغرات في المعارف والمقترحات من أجل العمل اللاحق 143
8.1 الاحتياجات في مجال الرصد 145
8.2 فهم الإسقاطات المناخية وانعكاساتها 145
8.2.1 فهم تغير المناخ وإسقاطاته 145
8.2.2 التأثيرات المتصلة بالمياه 146
8.3 التكيف والتخفيف 146
المراجع 149
التذييل الأول: أوصاف النماذج المناخية 175
التذييل الثاني: مسرد المصطلحات 177
التذييل الثالث: المختصرات، والرموز الكميائية، والوحدات القياسية العلمية 197
التذييل الرابع: قائمة بأسماء المؤلفين 199
التذييل الخامس: قائمة بأسماء المستعرضين 201
التذييل السادس: الإذن بالنشر 205
الفهرس 207

تقديم

تعتبر الورقة الفنية الصادرة عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) بشأن تغير المناخ، والماء الورقة السادسة في سلسلة الورقات الفنية الصادرة عن هذه الهيئة، وقد صدرت استجابة لاقتراح من أمانة برنامج المناخ العالمي – الماء (WCP-Water) واللجنة التوجيهية الدولية للحوار بشأن الماء والمناخ في الدورة العامة التاسعة عشرة للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ المعقودة في جنيف في نيسان/أبريل 2002. وعقد اجتماع تشاوري بشأن تغير المناخ والماء في جنيف في تشرين الثاني/نوفمبر 2002 وأوصى بإعداد ورقة فنية بشأن تغير المناخ والماء بدلاً من إعداد تقرير خاص لمعالجة هذا الموضوع. وكان لابد أن تستند وثيقة من هذا القبيل أساساً إلى النتائج التي توصل إليها تقرير التقييم الرابع الذي أصدرته الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، ليس هذا فحسب، بل وأن تستند أيضاً إلى مطبوعات أصدرتها الهيئة (IPCC) من قبل. وقررت الهيئة أيضاً أن يعامل الماء كموضوع شامل في تقرير التقييم الرابع.

وتعالج الورقة الفنية قضية المياه العذبة. ولا تعالج ارتفاع مستوى سطح البحر إلاّ بقدر ما يمكن أن يحدثه هذا الارتفاع من تأثيرات على المياه العذبة في المناطق الساحلية وما وراءها. فالمناخ والمياه العذبة والنظم الفيزيائية الحيوية والنظم الاجتماعية - الاقتصادية مترابطة بطرق معقدة. ومن ثم، فإن أي تغيير يحدث في أي من هذه الأمور يمكن أن يستحث تغييراً في أي أمر آخر منها. وتعتبر القضايا ذات الصلة بالمياه العذبة غاية في الأهمية فيما يتعلق بتحديد مواطن سرعة التأثر الإقليمية والقطاعية الرئيسية. وبالتالي، فإن العلاقة بين تغير المناخ وموارد المياه العذبة يمثل شاغلاً أساسياً للمجتمع البشري كما أن لها تأثيرات أيضاً على جميع الأجناس الحية.

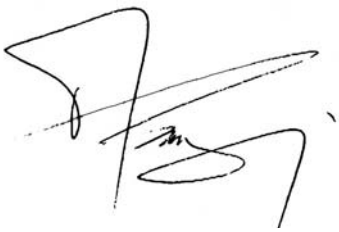
وقد اختارت مكاتب الأفرقة العاملة الثلاثة التابعة للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ فريقاً متعدد التخصصات لكتابة هذه الورقة الفنية بهدف تحقيق التوازن الإقليمي والمواضيعي. وتستند هذه الورقة أيضاً شأنها في ذلك شأن جميع الورقات الفنية الصادرة عن الهيئة (IPCC)، إلى المواد الواردة في تقارير الهيئة التي سبق إقرارها/قبولها/اعتمادها من قبل، وعرضت في الوقت نفسه على خبراء واختصاصيين حكوميين لمراجعتها، وتلا هذا استعراض حكومي نهائي للورقة الفنية. وقام مكتب الهيئة (IPCC) بمهمة مجلس التحرير لضمان أن يكون المؤلفون الرئيسيون قد تناولوا بشكل واف، الملاحظات الناجمة عن الاستعراض والمراجع لدى وضع الصياغة النهائية للورقة الفنية.

واجتمع المكتب في دورته السابعة والثلاثين في بودابست في نيسان/أبريل 2008. ونظر في التعليقات الرئيسية الواردة أثناء الاستعراض الحكومي النهائي. وعلى ضوء ملاحظات المكتب وما قدمه من طلبات، قام المؤلفون الرئيسيون بكتابة الصيغة النهائية للورقة الفنية وبعدها أذن المكتب بإصدارها لاطلاع الجمهور عليها.

وأننا ندين بالفضل الكبير والامتنان للمؤلفين الرئيسيين (الذين ترد أسماؤهم في الورقة) لأنهم خصصوا الكثير من وقتهم بسخاء وأنجزوا الورقة الفنية في المواعيد المحددة. ونود أن نوجه الشكر إلى الدكتورة جان بالوتيكوف (Jean Palutikof) رئيسة وحدة الدعم الفني التابعة للفريق العامل الثاني التابع للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، لما اتسمت به من ريادة ماهرة واقتدار لدى إعداد هذه الورقة.

Rajendra K. Pachauri
رئيس الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC)

Renate Christ
أمينة الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC)



Osvaldo Canziani
رئيس مشارك للفريق العامل الثاني التابع للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC)

Martin Parry
رئيس مشارك للفريق العامل الثاني التابع للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC)

كلمة شكر

نشكر وحدة الدعم الفني للفريق العامل الثاني التابع للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، وخصوصاً نورا بريتشارد (Norah Pritchard) وكلير هانسون (Clair Hanson) لمثابرتهما وما بذلاه من جهد لا يعرف الكلل من أجل إعداد هذه الورقة الفنية.

وقد تكرمت حكومة كندا بالموافقة على استضافة الاجتماع الثاني للمؤلفين الرئيسيين، وإننا نوجه الشكر إلى تيري براوز (Terry Prowse) لاضطلاعه بالعمل الشاق المتمثل في التنظيم في فيكتوريا، كولومبيا البريطانية.

وقد حضر الاجتماع الثاني للمؤلفين الرئيسيين موريس روس (Maurice Roos) من إدارة الموارد المائية بولاية كاليفورنيا، وبيل جيرلينغ (Bill Girling) من مانيتوبا هيدرو (Manitoba Hydro) من أجل تقديم المشورة والاقتراحات من وجهة نظر المستعملين.

وأعدت ماريلين أندرسون (Marilyn Anderson) الفهرس، وقامت نانسي بوستون (Nancy Boston) بتحرير نسخة النص.

ونزجي جزيل الشكر إلى جميع المؤلفين، وأسرهم، ومؤسساتهم، وحكوماتهم، من أجل إسهاماتهم في إصدار هذه الورقة.

23 حزيران/يونيو 2008

Bryson Bates
Zbyszek Kundzewicz
Shaohong Wu
Jan Palutikof

تغير المناخ والماء

طلبت الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ في جلسة عامة إعداد هذه الورقة الفنية استجابة لمقترحات برنامج المناخ العالمي – الماء (WCP-Water)، والحوار بشأن الماء، ومنظمات أخرى معنية بتوفير المياه. وقد أُعدت الورقة تحت رعاية رئيس الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، الدكتور ر.ك. باشاوري (R.K. Pachauri)

المؤلفون الرئيسيون المنسقون

Bryson Bates (Australia), Zbigniew W. Kundzewicz (Poland) and Shaohong Wu (China)

المؤلفون الرئيسيون

Nigel Arnell (UK), Virginia Burkett (USA), Petra Döll (Germany), Daniel Gwary (Nigeria), Clair Hanson (UK), BertJan Heij (The Netherlands), Blanca Elena Jiménez (Mexico), Georg Kaser (Austria), Akio Kitoh (Japan), Sari Kovats (UK), Pushpam Kumar (UK), Christopher H.D. Magadza (Zimbabwe), Daniel Martino (Uruguay), Luis José Mata (Germany/Venezuela), Mahmoud Medany (Egypt), Kathleen Miller (USA), Taikan Oki (Japan), Balgis Osman (Sudan), Jean Palutikof (UK), Terry Prowse (Canada), Roger Pulwarty (USA), Trinidad and Tobago), Jouni Räisänen (Finland), James Renwick (New Zealand), Francesco Nicola Tubiello (USA/IIASA/Italy), Richard Wood (UK) and Zong-Ci Zhao (China)

المؤلفون المساهمون

Julie Arblaster (Australia), Richard Betts (UK), Aiguo Dai (USA), Christopher Milly (USA), Linda Mortsch (Canada), Leonard Nurse (Barbados), Richard Payne (Australia), Iwona Pinkswar (Poland) and Tom Wilbanks (USA)

ملخص تنفيذي

تقدم سجلات الرصد والإسقاطات المتعلقة بالمناخ أدلة وافرة تشير إلى أن موارد المياه العذبة سريعة التأثر بتغير المناخ ويمكن أن تتأثر تأثراً شديداً به، مع ما يترتب على ذلك من عواقب واسعة النطاق بالنسبة للمجتمعات البشرية والنظم الإيكولوجية.

ارتبط الاحترار المرصود على مدى عدة عقود بتغيرات واسعة النطاق في الدورة الهيدرولوجية مثل: ازدياد محتوى بخار الماء في الغلاف الجوي؛ تغير أنماط هطول المطر، من حيث الشدة والأحوال المتطرفة؛ انخفاض الغطاء الثلجي وذوبان الجليد على نطاق واسع؛ وحدوث تغيرات في رطوبة التربة والجريان. وتظهر التغيرات في هطول المطر تقلبية مكانية كبيرة وفيما بين العقود. وعلى مدى القرن العشرين، ازداد هطول المطر في معظم الحالات على اليابسة في مناطق خطوط العرض العليا الشمالية، في حين سادت حالات نقصان منذ سبعينات القرن الماضي في المناطق ما بين درجة العرض 10° جنوباً إلى درجة العرض 30° شمالاً. *(ومن المرجح[1])* أنه ازداد على معظم المناطق تواتر ظواهر الهطول الغزير (أو نسبة مجمل الأمطار الناجمة عن هطول الأمطار الغزيرة). وعلى الصعيد العالمي، بلغت مساحة الأراضي التي تصنف بأنها جافة جداً ما يزيد على الضعف منذ السبعينات (مرجح). وحدثت حالات نقصان هامة في مخزون المياه في الأنهار الجليدية بالجبال، وفي الغطاء الثلجي في نصف الكرة الشمالي. ولوحظت تحوّلات في وفرة وتوقيت الجريان في الأنهار الجليدية وأنهار الثلوج الذائبة، وفي الظواهر المتصلة بالجليد في الأنهار والبحيرات *(ثقة عالية)*. [2.1][2]

وتعتبر حالات محاكاة نماذج المناخ للقرن الحادي والعشرين متسقة في توقع *(مرجح جداً)* لحدوث زيادات في الهطول في خطوط العرض العليا وفي أجزاء من المناطق المدارية. *(ومن المرجح)* حدوث حالات نقصان في بعض المناطق شبه المدارية والمناطق الدنيا في خطوط العرض الوسطى. وخارج هذه المناطق تتباين علاقة وحجم التغيرات المسقطة ما بين النماذج، وتفضي إلى درجة كبيرة من عدم اليقين فيما يتعلق بإسقاطات هطول المطر[3]. ومن ثم تعتبَر الإسقاطات الخاصة بالتغيرات في هطول المطر مستقبلاً أقوى فيما يتعلق ببعض المناطق مما هي في مناطق أخرى. وتصبح الإسقاطات أقل اتساقاً بين النماذج حيث تتناقص النطاقات المكانية. [2.3.1]

ومن المتوقّع بحلول منتصف القرن الحادي والعشرين، أن يزداد متوسط جريان الأنهار وتوافر المياه نتيجة[4] لتغير المناخ في مناطق خطوط العرض العليا وفي بعض المناطق المدارية الرطبة وحدوث نقصان في بعض المناطق الجافة عند خطوط العرض الوسطى وفي المناطق المدارية الجافة[5] ويُعتبَر كثير من المناطق القاحلة وشبه القاحلة (على سبيل المثال، حوض البحر الأبيض المتوسط، وغربي الولايات المتحدة الأمريكية، والجنوب الأفريقي وشماليّ البرازيل) معرّض بصفة خاصة لتأثيرات تغير المناخ، ومن المتوقع أن تعاني هذه المناطق نقصاناً في موارد المياه بسبب تغير المناخ *(ثقة عالية)*. [2.3.6]

ومن المتوقع أن يعمل تزايد شدة وتقلبية هطول المطر على زيادة مخاطر الفيضان والجفاف في كثير من المناطق. فتواتر أحداث الهطول الغزير (أو نسبة مجمل الأمطار الناجمة عن الأمطار الغزيرة) من المرجّح جداً أن يزداد في معظم المناطق خلال القرن الحادي والعشرين، مع حدوث عواقب فيما يتعلق بخطر الفيضانات المتأتية من الأمطار. وفي الوقت نفسه، من المتوقع أن تزداد نسبة سطوح الأراضي المعرّضة للجفاف المتطرف في أي وقت بعينه *(مرجح)*، بالإضافة إلى اتجاه لحدوث جفاف في المناطق الداخلية القارية أثناء الصيف، وخصوصاً في المناطق شبه المدارية وفي مناطق خطوط العرض المنخفضة والمتوسطة. [2.3.1 و 3.2.1]

تشير الإسقاطات إلى انخفاض إمدادات المياه المختزنة في الأنهار الجليدية وفي الغطاء الثلجي أثناء القرن، ومن ثمّ ينخفض توافر المياه أثناء الفترات الدافئة والجافة (من خلال تحوّل فصلي في تدفق المجاري المائية، وزيادة في معدل التدفقات الشتوية إلى التدفقات السنوية، وحدوث انخفاضات في التدفقات المنخفضة) في المناطق التي تغذيها مياه الثلوج الذائبة من السلاسل الجبلية الكبيرة التي يعيش بها حالياً ما يزيد على سدس سكان العالم *(ثقة عالية)*. [2.1.2 و 2.3.2 و 2.3.6]

وتشير الإسقاطات إلى أن ارتفاع درجات حرارة المياه والتغيرات في الحالات المتطرفة، بما فيها الفيضانات ونوبات الجفاف، سوف تؤثر على نوعية المياه وتؤدي إلى استفحال كثير من أشكال تلوث المياه - من المواد المترسبة، والمواد المغذية، والكربون العضوي المذاب، والكائنات الممرضة ومبيدات الآفات والملح فضلاً عن التلوث الحراري، مع إمكان حدوث آثار سلبية على النظم الإيكولوجية، والصحة البشرية وعلى مدى الاعتماد على النظام المائي وتكاليف التشغيل *(ثقة عالية)*. إضافة إلى ذلك، من المتوقع أن يعمل ارتفاع مستوى سطح البحر على توسيع نطاق مناطق تملح المياه الجوفية ومصاب الأنهار، مما ينجم عنه نقصان في توافر المياه العذبة من أجل البشر والنظم الإيكولوجية في المناطق الساحلية. [3.2.1.4 و 4.4.3]

تشير الإسقاطات على الصعيد العالمي، إلى أن التأثيرات السلبية التي يلحقها تغير المناخ في المستقبل بنظم المياه العذبة تفوق المنافع التي يجلبها *(ثقة عالية)*. ومن المتوقّع بحلول خمسينات القرن الحادي والعشرين أن تزيد مساحة الأرض المعرّضة لتزايد الإجهاد المائي بسبب تغير المناخ عن ضعف المساحة التي تشهد إجهاداً مائياً متناقصاً. وتواجه المناطق التي يتوقع أن ينخفض فيها الجريان، انخفاضاً واضحاً في قيمة الخدمات المقدمة من الموارد المائية. ومن المتوقع أن يؤدي تزايد الجريان السنوي في بعض المناطق إلى تزايد إجمالي إمدادات المياه. بيد أن هذه المنفعة من المحتمل في كثير من المناطق، أن تتوازن مع الآثار السلبية لتزايد تقلبية الهطول وتحولات الجريان الموسمية في إمدادات المياه، ونوعية المياه ومخاطر الفيضانات *(ثقة عالية)*. [3.2.5]

---

[1] انظر الإطار 1.1.

[2] الأرقام داخل الأقواس المعقوفة تتصل بالأقسام الواردة في المتن الأساسي للورقة الفنية.

[3] تستند الإسقاطات المأخوذة في الاعتبار إلى نطاق سيناريوهات عدم التخفيف التي وردت في التقرير الخاص عن سيناريوهات الانبعاثات (SRES) - الذي أعدته الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ.

[4] تستبعد هذه الإشارة التغيرات الناجمة عن عوامل غير مناخية، مثل الري.

[5] تستند هذه الإسقاطات إلى مجموعة من نماذج المناخ باستخدام سيناريو منتصف النطاق AIB الخاص بانبعاثات عدم التخفيف والوارد في التقرير الخاص عن سيناريوهات الانبعاثات. وتشير دراسة نطاق الاستجابات المناخية عبر السيناريوهات الواردة في التقرير الخاص عن سيناريوهات الانبعاثات في منتصف القرن الحادي والعشرين إلى أن هذا الاستنتاج ينطبق على نطاق أعرض من السيناريوهات.

من المتوقع أن تؤدي التغييرات في كمية ونوعية المياه بسبب تغير المناخ إلى التأثير في توافر الأغذية وثبات إنتاجها وسُبل الوصول إليها والانتفاع بها. ومن المتوقّع أن يؤدي هذا إلى تناقص الأمن الغذائي وتزايد تعرض المزارعين الريفيين الفقراء للمخاطر، ولا سيما في المناطق المدارية القاحلة وشبه القاحلة وفي دلتات الأنهار الضخمة في آسيا وأفريقيا. [4.2]

يؤثّر تغير المناخ في وظيفة وتشغيل البنية الأساسية القائمة للمياه - بما في ذلك القوة الكهرمائية، والتحصينات الهيكلية لمواجهة الفيضانات، وفي نظامي الصرف والري - فضلاً عن ممارسات إدارة المياه. تعمل الآثار السيئة لتغير المناخ فيما يتعلق بنظم المياه العذبة على تفاقم آثار إجهادات أخرى، مثل النمو السكاني، والنشاط الاقتصادي المتغير وتغير استخدام الأراضي والتحضّر *(ثقة عالية جداً)*. وعلى الصعيد العالمي، سوف ينمو الطلب على الماء في العقود القادمة، ويرجع هذا أساساً إلى نمو السكان وتزايد الوفرة: وعلى الصعيد الإقليمي، من المتوقع حدوث تغيرات كبيرة في الطلب على مياه الري نتيجة لتغير المناخ *(ثقة عالية)*. [1.3 و 4.4 و 4.5 و4.6]

الممارسات الحالية في إدارة المياه قد لا تكون من القوة بما يكفي لمواجهة تأثيرات تغير المناخ على موثوقية توافر إمدادات المياه، ومخاطر الفيضانات، والمخاطر على الصحة، والزراعة، والطاقة والنظم الإيكولوجية المائية. ففي كثير من الأماكن، لا تستطيع إدارة المياه أن تواجه بشكل مرضٍ حتى تقلبية المناخ الراهنة، ولهذا تحدث أضرار كبيرة نتيجة للفيضانات والجفاف. وكخطوة أولى، سوف يساعد تحسين إدماج المعلومات بشأن تقلبية المناخ الحالية في الإدارة المتصلة بالماء على التكيُّف مع الآثار الطويلة الأجل لتغير المناخ. ومن شأن العوامل المناخية وغير المناخية مثل نمو السكان وإمكانية حدوث أضرار، أن تؤدي إلى استفحال المشاكل في المستقبل *(ثقة عالية جداً)*. [3.3]

تغير المناخ يفنِّد الافتراض التقليدي بأن الخبرات الهيدرولوجية الماضية تقدّم مرشداً جيداً للأحوال في المستقبل. فقد تغير النتائج الناجمة عن تغير المناخ موثوقية النظم الحالية لإدارة المياه والبنية الأساسية ذات الصلة بالماء. ففي حين تعتبر الإسقاطات الكمّية للتغيرات في هطول المطر وتدفقات الأنهار ومستويات المياه بمقياس أحواض الأنهار غير يقينية، من المرجَّح جداً أن تتغير الخصائص الهيدرولوجية في المستقبل. ويجري في بعض البلدان والمناطق وضع إجراءات للتكيف وممارسات لإدارة المخاطر تدمج التغيرات الهيدرولوجية المسقطة مع جوانب عدم اليقين ذات الصلة بها [3.3]

تتطلب خيارات التكيُّف الهادفة إلى ضمان إمدادات المياه أثناء الأحوال العادية ونوبات الجفاف، استراتيجيات متكاملة في جانب الطلب فضلاً عن استراتيجيات متكاملة في جانب العرض. فالاستراتيجيات الأولى تحسّن كفاءة استخدام المياه، على سبيل المثال، بإعادة تدوير المياه. وأن التوسع في استعمال الحوافز الاقتصادية، بما في ذلك المعايرة والتسعير، لتشجيع الحفاظ على الماء وتطوير أسواق الماء وتنفيذ تجارة افتراضية للمياه، إنما تُبشر بآمال كبيرة في تحقيق وفورات في المياه وإعادة تخصيص المياه للاستخدامات عالية القيمة. وتستلزم الإستراتيجيات في جانب العرض عموماً زيادات في قدرة التخزين، والاستخراج من المجاري المائية والتحويلات المائية. وتقدم الإدارة المتكاملة للموارد المائية إطاراً هاماً لتحقيق تدابير التكيُّف عبر النظم الاجتماعية - الاقتصادية والبيئية والإدارية. ولكي تصبح النُّهُج المتكاملة فعّالة، يجب أن تحدث على النطاقات المناسبة. [3.3]

يمكن أن تقلل تدابير التخفيف من حجم تأثيرات الاحترار العالمي على الموارد المائية، و تقلل تلك التدابير بدورها الاحتياجات إلى التكيُّف. بيد أنه يمكن أن تكون لها آثار جانبية سلبية هامة، مثل تزايد الاحتياجات من المياه من أجل أنشطة التشجير وإعادة التشجير أو محاصيل الطاقة الحيوية، إذا لم تحدد أماكن المشاريع وتصاميمها وإدارتها على نحو يكفل لها مقومات الاستدامة. ومن ناحية أخرى، يمكن لتدابير سياسة إدارة المياه، على سبيل المثال، السدود المائية أن تؤثّر في انبعاثات غازات الدفيئة. فالسدود المائية هي مصدر للطاقة المتجددة. ومع ذلك، فإنها نفسها تُصدِر انبعاثات من غازات الدفيئة. ويتوقف حجم هذه الانبعاثات على الظروف المحددة وعلى طريقة التشغيل. [الفرع 6]

من الواضح أن إدارة موارد الماء تؤثّر على كثير من مجالات السياسة الأخرى، على سبيل المثال، الطاقة، الصحة، الأمن الغذائي. وصون الطبيعة. ومن ثم، يتعين إجراء تقييم خيارات التكيُّف والتخفيف عبر قطاعات متعددة تعتمد على الماء. ومن المرجّح أن تظل البلدان والمناطق ذات الدخول المنخفضة سريعة التأثر في الأجل المتوسط، مع خيارات أقل من البلدان ذات الدخول العالية فيما يتعلق بالتكيُّف مع تغير المناخ. وبالتالي، ينبغي أن تصمم استراتيجيات التكيُّف في سياق سياسات التنمية والبيئة والصحة. [الفرع 7]

توجد ثغرات عديدة في المعرفة بالنسبة إلى الاحتياجات من الرصدات والبحوث ذات الصلة بتغير المناخ والماء. تعتبَر البيانات القائمة على الرصدات والوصول إلى البيانات من الشروط الأساسية اللازمة لإدارة التكيف، بيد أن كثيراً من شبكات الرصد آخذة في الانكماش. وثمة حاجة إلى تحسين فهم ونمذجة تغيرات المناخ ذات الصلة بالدورة الهيدرولوجية على نطاقات ملائمة لصنع القرارات. وتعتبر المعلومات حول تأثيرات تغير المناخ ذات الصلة بالمياه غير كافية - ولا سيما فيما يخص نوعية المياه، والنظم الإيكولوجية المائية والمياه الجوفية - بما في ذلك أبعادها الاجتماعية - الاقتصادية. وأخيراً، تعتبر الأدوات الحالية المستخدمة لتيسير عمليات التقييم المتكاملة لخيارات التكيُّف والتخفيف عبر قطاعات عديدة تعتمد على الماء، غير كافية. [الفرع 8]

1

مقدمة بشأن تغير المناخ، والماء

1.1 معلومات أساسية

يعود تاريخ فكرة إصدار مطبوع خاص من الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) يتناول موضوع الماء، وتغير المناخ إلى وقت انعقاد الدورة التاسعة عشرة للهيئة في جنيف في نيسان/أبريل 2002، عندما طلبت أمانة "برنامج المناخ العالمي - الماء" واللجنة التوجيهية الدولية للحوار بشأن الماء والمناخ أن تعد الهيئة (IPCC) تقريراً خاصاً عن الماء والمناخ. وخلص اجتماع تشاوري بشأن تغير المناخ والماء عُقد في جنيف في تشرين الثاني/نوفمبر 2002 إلى أن إعداد تقرير من هذا القبيل في سنة 2005 أو سنة 2006 سيكون غير ذي فائدة تذكر، إذ سرعان ما سيحل محلّه تقرير التقييم الرابع (AR4)، الذي كان من المزمع إنجازه في سنة 2007. وبدلاً من ذلك، أوصى الاجتماع بإعداد ورقة فنية بشأن تغير المناخ والماء تستند أساساً إلى تقرير التقييم الرابع، بيد أنها تشمل أيضاً مواد من مطبوعات سبق أن أصدرتها الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ.

وقامت مكاتب الأفرقة العاملة الثلاثة التابعة للهيئة (IPCC) باختيار فريق للكتابة متعدد التخصصات بهدف تحقيق التوازن الإقليمي والمواضيعي، مع تمثيل عدد من التخصصات ذات الصلة. وشارك في إعداد هذه الورقة الفنية وعملية الاستعراض التي جرت لها وكالات تابعة للأمم المتحدة، ومنظمات غير حكومية، وممثلون لدوائر أصحاب المصلحة ذوي الصلة، بما في ذلك القطاع الخاص.

وتتطلب المبادئ التوجيهية للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) أن تستمد مواد الورقات الفنية مما يلي:

(أ) نص تقارير التقييم الصادرة عن الهيئة (IPCC) والتقارير الخاصة وأجزاء من المواد الواردة في الدراسات المستشهد بها التي اعتمد عليها في إعداد هذه التقارير؛

(ب) النماذج ذات الصلة مع الافتراضات والسيناريوهات الخاصة بها بالاستناد إلى الافتراضات الاجتماعية-الاقتصادية، حسبما استخدمت لتوفير المعلومات لتلك التقارير الصادرة عن الهيئة (IPCC).

وتم الالتزام بهذه المبادئ التوجيهية في هذه الورقة الفنية.

1.2 النطاق

لا تتناول هذه الورقة الفنية سوى المياه العذبة. ويتم تناول موضوع ارتفاع مستوى سطح البحر فحسب بقدر ما يمكن أن يحدثه من تأثيرات على المياه العذبة في المناطق الساحلية؛ وعلى سبيل المثال، تملّح المياه الجوفية. وهذه الورقة التي تعكس تركيز المؤلفات القائمة، تتناول، بصفة أساسية تغير المناخ خلال القرن الحادي والعشرين، مع التسليم بأنه حتى لو جرى تثبيت تركيزات غازات الدفيئة فإن الاحترار وارتفاع مستوى سطح البحر سوف يستمران لقرون مقبلة.
[الفريق العامل الأول – ملخص لصانعي السياسات WGI SPM]

ومن المسلّم به على نطاق واسع مدى أهمية المياه العذبة لتعزيز نظام حياتنا، حسبما يُتَبين ذلك بوضوح في السياق الدولي (على سبيل المثال، جدول أعمال القرن الحادي والعشرين، المنتدى العالمي للمياه، وتقييم النظم الإيكولوجية للألفية، والتقرير عن تنمية المياه في العالم). فالمياه العذبة لا غنى عنها لجميع أشكال الحياة وهي لازمة بكميات كبيرة لجميع الأنشطة البشرية تقريباً. ويعتبر المناخ والمياه العذبة، والنظم الفيزيائية الحيوية، والاجتماعية - الاقتصادية مترابطة بطرق متشابكة، ولهذا فإن أي تغيير في إحداها يستحث تغييراً في أخرى. ويضيف تغير المناخ البشري المنشأ ضغطاً كبيراً على الدول التي تواجه فعلاً قضية الاستخدام المستدام للمياه العذبة. وتكمن التحديات ذات الصلة بالمياه العذبة فيما يلي: وجود كميات من المياه أكثر من اللازم، ووجود كميات من المياه أقل كثيراً من اللازم، وحدوث تلوث كبير للغاية. ويمكن أن تستفحل كل من هذه المشاكل بسبب تغير المناخ. وتؤدي القضايا ذات الصلة بالمياه العذبة دوراً محورياً فيما يتعلق بمواطن الضعف الرئيسية الإقليمية والقطاعية. ولهذا، تعتبر العلاقة بين تغير المناخ، وموارد المياه العذبة من الشواغل والاهتمامات الأساسية.

وحتى الآن، لم تعالج قضايا الموارد المائية بشكل كافٍ في التحليلات المتعلقة بتغير المناخ ووضع السياسات المتعلقة بالمناخ. وبالمثل، لم تعالج مشاكل تغير المناخ في معظم الحالات بشكل كافٍ في التحليلات الخاصة بالموارد المائية وإدارتها ووضع السياسة العامة. فوفقاً لرأي كثير من الخبراء، ستشكل المياه وتوافرها ونوعيتها مصدر الضغوط الرئيسية على المجتمعات والبيئة في ظل تغير المناخ، وستشكل القضايا الرئيسية أمام المجتمعات والبيئة في ظل تغير المناخ؛ ومن ثمّ من الضروري تحسين فهمنا للمشاكل المعنية.

ويرد أدناه ملخص للأهداف المتوخاة من هذه الورقة الفنية، حسبما حددت في الاجتماع الحادي والعشرين للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ – الوثيقة 9[6]:

- تحسين فهمنا للصلات بين تغير المناخ الطبيعي والمستحث بالنشاط البشري، على السواء، وتأثيراته وخيارات الاستجابة للتكيُّف والتخفيف، من ناحية، والقضايا المتصلة بالمياه، من ناحية أخرى؛
- تزويد واضعي السياسات العامة وأصحاب المصلحة بالمعلومات عن الآثار المترتبة على تغير المناخ وخيارات الاستجابة لتغير المناخ فيما يتعلق بالموارد المائية، فضلاً عن الآثار بالنسبة للموارد المائية، والمترتبة على مختلف سيناريوهات تغير المناخ وخيارات الاستجابة لتغير المناخ، بما فيها ما يرتبط بذلك من أوجه التآزر والتوافقات.

ويهدف نطاق هذه الورقة الفنية، على النحو المبين في الوثيقة 9 التي أصدرها الاجتماع الحادي والعشرون للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، إلى تقييم تأثيرات تغير المناخ على العمليات والنظم الهيدرولوجية، وعلى موارد المياه العذبة – من حيث توافرها ونوعيتها واستخداماتها وإدارتها. وتأخذ الورقة الفنية في الاعتبار مواطن الضعف الإقليمية الرئيسية والحالية المسقطة والاحتمالات المرتقبة للتكيُّف.

والورقة الفنية موجّهة في المقام الأول إلى واضعي السياسات العامة العاملين في جميع المجالات ذات الصلة بإدارة موارد المياه العذبة، وتغير المناخ، والدراسات الاستراتيجية، والتخطيط المكاني والتنمية

[6] ورقة تحديد نطاق من أجل إعداد ورقة فنية محتملة بشأن تغير المناخ والماء وهي متاحة على الموقع: http://www.ipcc.ch/meetings/session21.htm.

الاجتماعية - الاقتصادية. بيد أنها موجّهة أيضاً إلى الأوساط العلمية العاملة في مجال الماء، وتغير المناخ، وإلى جمهور واسع، بما في ذلك المنظمات غير الحكومية ووسائل الإعلام.

ونظراً لأن المواد بشأن الماء وتغير المناخ متناثرة في جميع أجزاء تقرير التقييم الرابع والتقارير التجميعية الصادرة عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، من المفيد صدور مطبوع مدمج ومتكامل يركّز على الماء وتغير المناخ. وتشير هذه الورقة الفنية أيضاً إلى تقارير التقييم والتقارير الخاصة الصادرة عن الهيئة (IPCC)، حيثما اقتضى الأمر. وتكمن القيمة المضافة لهذه الورقة الفنية في استخلاص فحوى هذه المواد وتحديد أولوياتها وتكوين خلاصة جامعة لها وتفسيرها.

ويتبع النص الوارد في الورقة الفنية بكل دقة نص التقارير الأساسية للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ. ويعكس هذا النص التوازن والموضوعية اللتين تتسم بهما تلك التقارير، وحيثما يختلف النص، فإن هذا بقصد تدعيم و/أو زيادة توضيح استنتاجات التقارير. وقد ذكر مصدر كل فقرة موضوعية فيما أصدرته الهيئة (IPCC) من تقارير. ويُعرض المصدر داخل أقواس معقوفة، وعادة ما يكون هذا في نهاية الفقرة (فيما عدا إذا كانت أجزاء من فقرة يرجع مصدرها إلى ما هو أكثر من وثيقة من وثائق الهيئة، وفي هذه الحالة يذكر مصدر الهيئة ذو الصلة بعد المدخل المناسب) وقد استخدمت المراجع التالية.

- تقرير التقييم الرابع (AR4) هو أكثر مطبوع صادر من الهيئة تكرر الاستشهاد به، وهو يُعرض على سبيل المثال بالشكل التالي [WGII.3.5] الذي يشير إلى الفصل 3 والفرع 3.5 من تقرير الفريق العامل الثاني بشأن تقرير التقييم الرابع. انظر (IPCC 2007 a, b, c, d).
- وحيثما اقتبست مواد من مصادر غير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، تستخدم المختصرات التالية: TAR (تقرير التقييم الثالث: IPCC 2001 a, b, c)، RICC (التقرير الخاص بشأن الآثار الإقليمية لتغير المناخ: Watson وآخرون، 1977)، LULUCF (التقرير الخاص بشأن استخدام الأراضي، وتغير استخدام الأراضي والحراجة: IPCC, 2000)، SRES (التقرير الخاص بشأن سيناريوهات الانبعاثات: Nakićenović and Swart, 2000)، CCB (الورقة الفنية الخامسة - تغير المناخ والتنوع الأحيائي: Gitay, 2002 وآخرون)، CCS (التقرير الخاص بشأن احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه: Metz 2005 ، وآخرون). وهكذا فإن [WGII TAR 5.8.3] تشير إلى الفرع 5.8.3 من الفصل 5 في تقرير التقييم الثالث الذي أعده الفريق العامل الثاني.
- اختصارات إضافية خاصة بالمصادر تشمل (ES = ملخص تنفيذي)، SPM (ملخص لصانعي السياسات)، TS (ملخص فني)، SYR (تقرير تجميعي)، وكلها تشير إلى تقرير التقييم الرابع (AR4) ما لم يذكر خلاف ذلك.

أما المراجع التي تشير إلى مصادر أصلية (مجلات وكتب وتقارير) فقد وضعت داخل أقواس مدورة بعد الجملة ذات الصلة.

1.3 سياق الورقة الفنية: الأحوال الاجتماعية الاقتصادية والأحوال البيئية

تتقصى هذه الورقة الفنية العلاقات بين تغير المناخ والمياه العذبة، على النحو المبيَّن في تقارير التقييم والتقارير الخاصة الصادرة عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC). ولا توجد هذه العلاقات بمعزل عن غيرها، بل توجد في سياق، وفي تفاعل مع الأحوال الاجتماعية - الاقتصادية والأحوال البيئية. ونقدم في هذا الفرع وصفاً للسمات الرئيسية لهذه الأحوال المرصودة والمسقطة معاً على السواء في صلتها بالمياه العذبة.

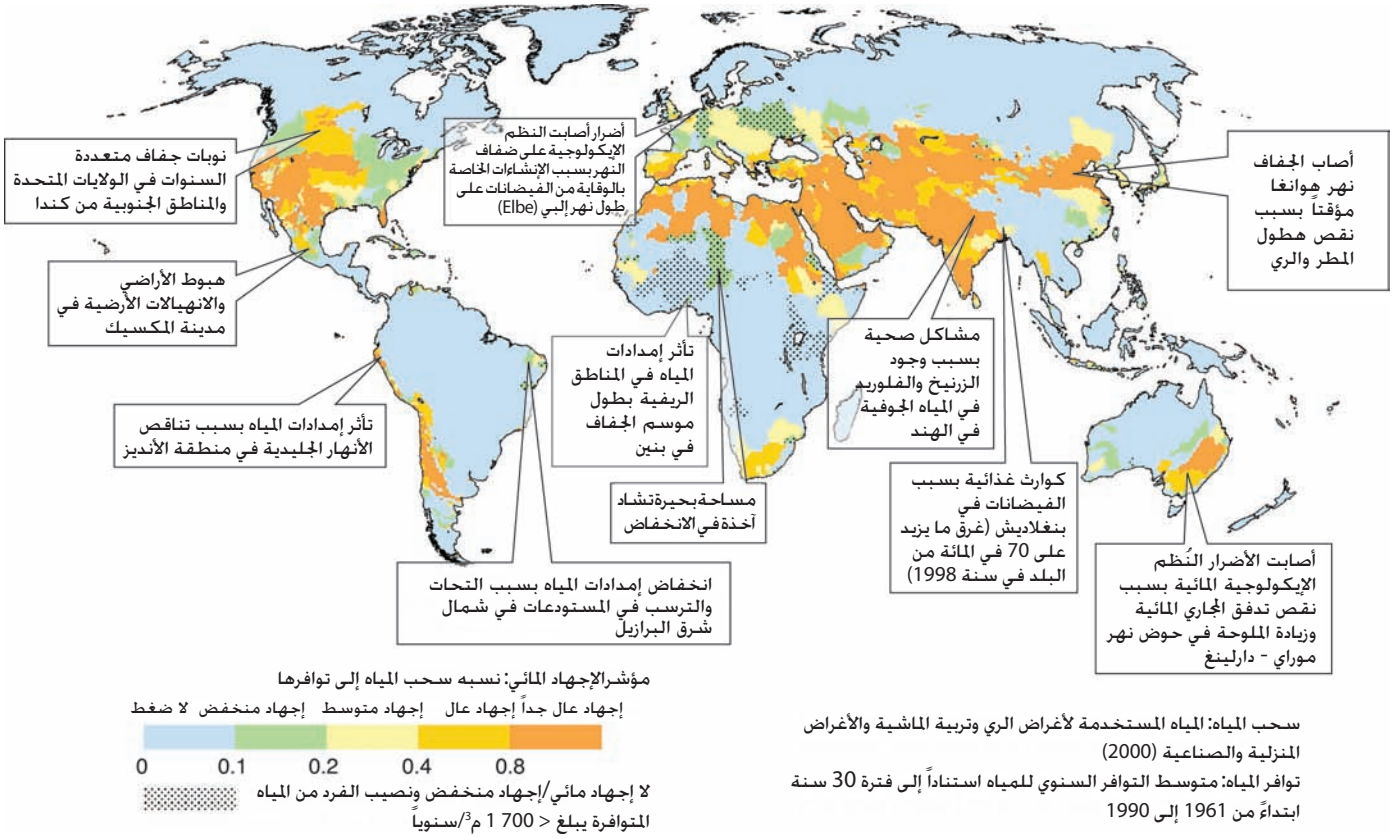
وتؤثر دوافع غير مناخية كثيرة في موارد المياه العذبة على جميع النطاقات، بما فيها النطاق العالمي (الأمم المتحدة، 2003). وتتأثر الموارد المائية، من حيث الكم والكيف معاً، تأثراً بالغاً بما يمارسه البشر من أنشطة، بما فيها الزراعة وتغير استخدام الأراضي، وتشييد المستودعات وإدارتها، والانبعاثات الملوثة، ومعالجة المياه والمياه المستعملة. ويرتبط استخدام المياه في المقام الأول بالتغيرات المتعلقة بالسكان واستهلاك الأغذية (بما في ذلك نوع أغذية الحمية)، وبالسياسة الاقتصادية (بما في ذلك تسعير المياه)، والتكنولوجيا، وأسلوب المعيشة[7] وآراء المجتمع حول قيمة النظم الإيكولوجية للمياه العذبة. وبغية تقييم العلاقة بين تغير المناخ والمياه العذبة، من الضروري تدارس الكيفية التي تأثرت وسوف تتأثر بها المياه العذبة بفعل التغيرات في هذه الدوافع غير المناخية.[WGII 3.3.2]

1.3.1 التغيرات المرصودة

تُعَرَّف الأحواض في التقييمات العالمية النطاق بأنها مجهدة من الناحية المائية[8] إذا كان نصيب الفرد من توافر المياه يقل عن 1000 متر مكعب سنوياً (استناداً إلى متوسط الجريان الطويل الأجل) أو كانت نسبة المسحوبات إلى متوسط الجريان السنوي الطويل الأجل تزيد على 0.4. وأن أي مقدار مائي يبلغ 1000 متر مكعب للفرد سنوياً هو عادة أكبر مما تتطلبه الاستخدامات المنزلية والصناعية والزراعية من الماء. وتقع مثل هذه الأحواض المجهدة مائياً في المناطق الشمالية من أفريقيا ومنطقة البحر الأبيض المتوسط والشرق الأوسط والشرق الأدنى والمناطق الجنوبية من آسيا والمناطق الشمالية من الصين، وأستراليا والولايات المتحدة الأمريكية والمكسيك وشمال شرقي البرازيل والساحل الغربي لأمريكا الجنوبية (الشكل 1.1). وتتراوح التقديرات المتعلقة بالسكان الذين يعيشون في هذه الأحواض المجهَدة مائياً بين 1.4 بليون و 2.1 بليون (Vörösmarty وآخرون، 2000، وAlcamo وآخرون،2003a، وOki وآخرون، 2003، وArnell، 2004).[WGII 3.2]

ويتزايد استخدام المياه، وخصوصاً لأغراض الري، بوجه عام مع تزايد درجة الحرارة ويتناقص مع هطول المطر؛ بيد أنه لا توجد شواهد تدل على اتجاه طويل الأجل لاستخدام المياه يتصل بالمناخ في الماضي. ويرجع هذا إلى حدٍ ما إلى حقيقة أن استخدام المياه مدفوع أساساً بعوامل غير مناخية، ويرجع أيضاً إلى رداءة نوعية

[7] في هذا السياق، استخدام الأجهزة المتعطشة للماء مثل غسالات الأطباق، وآلات الغسل ورشاشات ري العشب بالحدائق، إلخ.
[8] الإجهاد المائي هو مفهوم يصف كيف يتعرض الناس لخطر نقص المياه.



الشكل 1.1: *أمثلة من مواطن الضعف الحالية لموارد المياه العذبة وإدارتها؛ وفي الخلفية خريطة للإجهاد المائي استناداً إلى: المياه – التقييم والتشخيص على المستوى العالمي (WaterGAP) (Alcamo) وآخرون، 2003a). انظر النص من أجل الصلة بتغير المناخ* [WGII Figure 3.2]

البيانات عن استخدام المياه بوجه عام، وبيانات السلاسل الزمنية بوجه خاص. [WGII 3.2]

ويتوقف توافر المياه من مصادر المياه السطحية أو من آبار المياه الجوفية الضحلة على التقلبية الفصلية وتقلبية ما بين السنوات في تدفق المجاري المائية، وتتحدد إمدادات المياه المضمونة بالتدفقات الفصلية المنخفضة. وفي الأحواض التي تسودها الثلوج، يؤدي ارتفاع درجات الحرارة إلى انخفاض تدفق المجاري المائية ومن ثم تنخفض إمدادات المياه في الصيف (Barnett وآخرون، 2005). [WGII 3.2]

وفي المناطق المجهَدة مائياً، يتعرض الناس والنظم الإيكولوجية بوجه خاص إلى تناقص هطول المطر وزيادة تقلبه بسبب تغير المناخ. وترد أمثلة على ذلك في الفرع 5.

وقد ازداد استخدام المياه على مدى العقود الأخيرة في معظم البلدان، ما عدا في دول صناعية قليلة، ويرجع ذلك إلى مدى النمو السكاني والنمو الاقتصادي والتغيرات في أسلوب الحياة، والتوسع في شبكات المياه، علماً بأن استخدام مياه الري هو إلى حد كبير أهم الأسباب في حدوث ذلك. فالري يستأثر بنحو 70 في المائة من إجمالي مسحوبات المياه على نطاق العالم، وبما يزيد على 90 في المائة من استخدامات المياه الاستهلاكية (أي حجم المياه التي ليست متوافرة لإعادة استعمالها في اتجاه المجرى). [WGII 3.2] ويدرّ الري نحو 40 في المائة من إجمالي الناتج الزراعي (Fischer وآخرون، 2006). وقد ازدادت مساحة الأراضي المروية على نطاق العالم زيادة خطّية تقريباً منذ سنة 1960، بمعدل يبلغ 2 في المائة تقريباً في السنة، من 140 مليون هكتار في الفترة 1963/1961 إلى 270 مليون هكتار في الفترة 1999/1997، وهذا يمثل حوالي 18 في المائة من مجموع الأراضي المنزرعة اليوم (Bruinsma, 2003).

ورغم أن معدلات التغير السكاني على المستوى الإقليمي تختلف اختلافاً كبيراً عن المتوسط العالمي، فإن معدل الزيادة السكانية في العالم آخذ في الانخفاض بالفعل. ومن المرجح أن يزداد استخدام المياه على المستوى العالمي بسبب النمو الاقتصادي في البلدان النامية، بيد أنه لا توجد بيانات موثوقة فيما يتعلق بمعدل الزيادة. [WGII 3.2, 5.3]

وقد انخفضت نوعية المياه السطحية والمياه الجوفية بوجه عام في العقود الأخيرة، وهذا يرجع أساساً إلى النمو في الأنشطة الزراعية والصناعية (الأمم المتحدة، 2006). ولمواجهة هذه المشكلة، هناك بلدان كثيرة (على سبيل المثال، في الاتحاد الأوروبي وكندا) أنشأت أو عزّزت المعايير الخاصة بمياه المجارير وقامت بإعادة تجديد مرافق معالجة المياه المستعملة (GEO–3، 2003). [WGII 3.3.2، الجدول 8.1]

1.3.2 التغييرات المسقَطة

1.3.2.1 خلفية عامة

إن التقارير الخاصة الأربعة الصادرة عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ بشأن سيناريوهات الانبعاثات (التقرير الخاص عن سيناريوهات الانبعاثات): Nakićenović و Swart، 2000) والتي تشمل مسارات الأحداث التي تشكّل الأساس لكثير من الدراسات عن التغير المناخي المُسقَط وموارد المياه إنما تبحث طائفة من التغيرات التي تبدو مقنعة ومعقولة فيما يتعلق بالأنشطة السكانية والأنشطة الاقتصادية على مدى القرن الحادي والعشرين (انظر الشكل 1.2). ومن بين السيناريوهات التي تفترض اقتصاداً عالمياً تسيطر عليه التجارة والتحالفات العالمية (السيناريوهان A1 و B1) من المتوقع أن يزداد عدد السكان على مستوى العالم من 6.6 بليون حالياً ليبلغ الذروة برقم 8.7 بلايين في سنة 2050، في حين تتضمّن السيناريوهات التي تشير إلى درجة أقل من العولمة والتعاون (السيناريوهات A2 وB2) إلى أنه من المتوقع أن يزداد عدد السكان على مستوى العالم حتى عام 2100، ليصبح 10.4 بليون (السيناريو B2) و15 بليون (السيناريو A2)، في نهاية القرن. وبوجه عام، تصوّر جميع سيناريوهات التقرير الخاص عن الانبعاثات وجود مجتمع يتسم بمزيد من الوفرة مما هو عليه الآن، حيث يزداد الناتج المحلي الإجمالي في سنة 2100 إلى ما يتراوح بين 10 و26 ضعف المستويات الحالية. ومن المفترض في جميع سيناريوهات التقرير الخاص عن سيناريوهات الانبعاثات، تضييق هوّة الفروق في الدخول بين مناطق العالم - حيث تمثّل التكنولوجيا قوة دافعة تتسم بمثل أهمية التغير الديمغرافي والتنمية الاقتصادية. [التقرير الخاص عن سيناريوهات الانبعاثات - ملخص لصانعي السياسات (SRES Spm)]

1.3.2.2 الموارد المائية

تتسم بأهمية خاصة بالنسبة لإسقاطات موارد المياه، سواء مع حدوث تغير في المناخ أو عدم حدوث تغير فيه، التغييرات الممكنة في تشييد السدود، أو وقفها عن العمل، والتغييرات في البنية الأساسية لإمدادات المياه، ومعالجة المياه المستعملة وإعادة استخدامها، وإزالة ملوحة مياه البحر، والانبعاثات المسببة للتلوث، واستخدام الأراضي، وخصوصاً فيما يتعلق بالري. ومن المتوقع بغض النظر عن تغير المناخ، من المتوقع بناء سدود جديدة في البلدان النامية لأغراض توليد الطاقة الكهرمائية وتوفير إمدادات المياه، حتى لو كان من المرجح أن يكون عددها أصغر بالمقارنة مع السدود الكبيرة الحالية التي يبلغ عددها 45 000 سد كبير. ومع ذلك فإن تأثيرات الزيادة الممكنة في الطلب على الطاقة الكهرمائية في المستقبل لم تؤخذ في الحسبان (اللجنة العالمية المعنية بالسدود، 2000؛ Scudder، 2005). وفي البلدان المتقدمة النمو، من المرجّح جداً أن يظل عدد السدود ثابتاً، وسيتم وقف بعضها عن العمل. ومع زيادة التقلبية الزمنية للجريان بسبب تغير المناخ، ربما يكون تزايد تخزين المياه وراء السدود شيئاً مفيداً، وخاصة حيث لا يتناقص الجريان السنوي بشكل كبير. وقد يؤدي تدارس احتياجات التدفقات البيئية إلى تعديلات أخرى لعمليات المستودعات بحيث يتم التحكّم في الاستخدام البشري للموارد المائية. وينبغي أن تؤدي الجهود المبذولة لبلوغ الأهداف الإنمائية للألفية (انظر الجدول

الشكل 1.2: *الخصائص الموجزة لمسارات أحداث السيناريوهات الأربعة في التقرير الخاص عن سيناريوهات الانبعاثات (استناداً إلى ما ذكره المؤلفان Nakićenović و2000، Swart). **[WGII الشكل 2.5]***

7.1)، إلى تحسين مصادر المياه والمرافق الصحية. وفي المستقبل قد تصبح إعادة استخدام المياه المستعملة وإزالة ملوحة المياه من المصادر الهامة لإمدادات المياه في المناطق القاحلة وشبه القاحلة. ومع ذلك، هناك شواغل لم تُحسَم بعد بشأن تأثيراتها البيئية، بما في ذلك تلك التأثيرات المتصلة بالاستخدام المرتفع للطاقة في إزالة ملوحة المياه. ويلزم أولاً النظر في خيارات أخرى مثل انتهاج سياسات فعّالة لتسعير المياه، واستراتيجيات تتسم بالفعالية من حيث التكلفة في إدارة الطلب على الماء. [WGII 3.3.2, 3.4.1, 3.7]

ومن المتوقع حدوث زيادة في معالجة المياه المستعملة في البلدان النامية والبلدان المتقدمة النمو على السواء في المستقبل، بيد أن تصريف المواد المغذية، والمعادن الثقيلة والمواد العضوية من مصدر ثابت من المرجح أن يتزايد في البلدان النامية، وقد تتزايد في البلدان النامية والمتقدمة النمو انبعاثات الملوِّثات العضوية الدقيقة (مثل المواد الصماء) إلى المياه السطحية والمياه الجوفية، مع افتراض أنه من المرجّح أن يزداد إنتاج واستهلاك المواد الكيميائية، باستثناء بضع مواد عالية السمّية. والعديد من هذه الملوِّثات لا تتم إزالتها بفعل التكنولوجيا الحالية لمعالجة المياه المستعملة. وقد تحدث تعديلات في نوعية المياه بسبب تأثير ارتفاع مستوى سطح

البحر على عمليات صرف المياه الناجمة عن العواصف وتصريف المجاري في المناطق الساحلية. [WGII 3.2.2, 3.4.4]

ومن المرجّح أن تظل الانبعاثات المنتشرة من المواد المغذية ومبيدات الآفات من الزراعة على درجة من الأهمية في البلدان المتقدمة النمو. ومن المرجّح جداً أن تزداد في البلدان النامية، ومن ثم فإنها تؤثّر تأثيراً بالغاً على نوعية المياه. ووفقاً للسيناريوهات الأربعة الواردة في تقييم النظم الإيكولوجية للألفية (2005a) ('التنسيق العالمي'، و'الرتبة من المقدرة'، و'مواءمة العناصر المختلفة' و'الحديقة التقنية') سوف يصل استخدام المخصّبات النيتروجينية على المستوى العالمي من 110 إلى 140 طناً متريا بحلول سنة 2050، بالمقارنة مع مقدار يبلغ 90 طناً متريا في سنة 2000. وفي إطار ثلاثة من السيناريوهات، توجد زيادة في نقل النيتروجين في الأنهار بحلول سنة 2050، بينما يوجد انخفاض في إطار السيناريو الخاص 'بالحديقة التقنية' (يماثل السيناريو B1 في التقرير الخاص عن سيناريوهات الانبعاثات (تقييم النظم الإيكولوجية للألفية، 2005b). [WGII 3.3.2]

ومن بين الدوافع الأهم لاستخدام المياه، السكان والتنمية الاقتصادية، بل من بينها أيضاً الآراء المجتمعية المتغيرة بشأن قيمة الماء. وتشير هذه الآراء إلى منح الأولوية لإمدادات المياه المنزلية والصناعية على إمدادات مياه الري، فضلاً عن توفير الكفاءة في استخدام المياه، بما في ذلك التطبيق الموسّع لتكنولوجيات توفير الماء وتسعير الماء. وفي جميع السيناريوهات الأربعة الخاصة بتقييم النظم الإيكولوجية للألفية، يعتبر نصيب الفرد من الاستخدام المنزلي للمياه في سنة 2050 متماثلاً بوجه عام في جميع مناطق العالم، حيث يصل إلى حوالي 100 متر مكعب/سنوياً، أي معاً يعادل المتوسط الأوروبي في سنة 2000 (تقييم النظم الإيكولوجية للألفية، 2005b). [WGII 3.3.2]

وتتمثل الدوافع المهيمنة غير المتصلة بتغير المناخ فيما يتعلق باستخدام مياه الري مستقبلاً فيما يلي: مدى المساحة المروية، ونوع المحصول، وكثافة الزراعة والكفاءة في استخدام مياه الري. ووفقاً لإسقاطات منظمة الأمم المتحدة للأغذية والزراعة، من المرجّح أن توسّع البلدان النامية، التي يوجد بها 75 في المائة من المساحة المروية العالمية مساحاتها المروية بنسبة 0.6 في المائة سنوياً حتى سنة 2030، في حين من المقدّر أن تزداد كثافة الزراعة في الأراضي المروية من 1.27 إلى 1.41 محصولاً في السنة، وسوف تزداد كفاءة استخدام مياه الري بدرجة طفيفة (Bruinsma، 2003). وهذه التقديرات تستبعد تغير المناخ، الذي لا يتوقع Bruinsma أن يؤثر على الزراعة قبل سنة 2030. وتشير الإسقاطات إلى أن معظم التوسّع سيحدث في المناطق المجهَدة مائياً بالفعل مثل جنوبي آسيا، وشمالي الصين، والشرق الأدنى وشمالي أفريقيا. بيد أنه يُفتَرَض حدوث توسُّع أصغر من ذلك بكثير في إطار السيناريوهات الأربعة الواردة في تقييم النُظم الإيكولوجية للألفية، مع حدوث معدلات نمو على المستوى العالمي بمقدار 0.18 في المائة سنوياً حتى سنة 2050. وبعد سنة 2050، يُفتَرَض أن تثبت المساحة المشمولة بالري أو أن تنخفض بدرجة طفيفة في إطار جميع السيناريوهات فيما عدا سيناريو "التنسيق العالمي" (المماثل للسيناريو A1 في التقرير الخاص عن سيناريوهات الانبعاثات) (تقييم النظم الإيكولوجية للألفية، 2005a). وفي دراسة أخرى، ومع استخدام سيناريو السكان A2 والإسقاطات الطويلة الأجل التي وضعتها منظمة الأغذية والزراعة، من المتوقع أن تحدث زيادات في الأراضي المروية على المستوى العالمي بما يزيد على نسبة 40 في المائة بحلول سنة 2080 وهذا يحدث أساساً في جنوبي آسيا وأفريقيا وأمريكا اللاتينية، ويقابل هذا زيادة يبلغ متوسطها نسبة 0.4 في المائة سنوياً (Fischer وآخرون،2006). [WGII 3.3.2]

1.4 عرض مجمل

تتألف هذه الورقة الفنية من ثمانية فروع. وبعد مقدمة الورقة (الفرع الأول)، يستند الفرع 2 أساساً إلى تقييمات الفريق العامل الأول، وهو يفحص في إطار علم تغير المناخ، في التغيرات المرصودة والمسقطة على السواء، بقدر اتصالها بالمتغيرات الهيدرولوجية. ويعرض الفرع 3 نظرة عامة للتأثيرات المرصودة والمسقطة ذات الصلة بالماء والناجمة عن تغير المناخ، والاستراتيجيات الممكنة للتكيُّف، المستمدة أساساً من تقييمات الفريق العامل الثاني. ويبحث الفرع 4 عندئذ في النظم والقطاعات بالتفصيل، ويتخذ الفرع 5 نهجاً إقليمياً. أما الفرع 6 والذي يستند إلى تقييمات الفريق العامل الثالث، فإنه يغطي جوانب التخفيف ذات الصلة بالماء. ويبحث الفرع 7 التأثيرات المتعلقة بالسياسة والتنمية المستدامة، ويعقبه الفرع النهائي (الفرع 8) بشأن الثغرات في المعرفة والاقتراحات المتعلقة بالعمل في المستقبل. وتستخدم الورقة الفنية لغة عدم اليقين المعتادة الواردة في التقييم الرابع (انظر الإطار 1.1).

الإطار 1.1: جوانب عدم اليقين في المعرفة الحالية: معالجتها في الورقة الفنية [التقرير التجميعي (SYR)]

تحدّد مذكرة الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ[9] المعنية بالتوجيهات الخاصة بعدم اليقين إطاراً لمعالجة أوجه عدم اليقين في جميع الأفرقة العاملة وفي هذه الورقة الفنية. ويعتَبر هذا الإطار واسع النطاق لأن الأفرقة العاملة تقيِّم المواد من مختلف التخصصات، وتشمل طائفة متنوعة من النُهُج لمعالجة عدم اليقين المستمَد من المطبوعات الأدبية الصادرة. وتعتبر طبيعة البيانات والمؤشرات والتحليلات المستخدَمة في العلوم الطبيعية مختلفة بوجه عام عن تلك البيانات المستخدمة في تقييم تطوير التكنولوجيا أو في العلوم الاجتماعية. ويركّز الفريق العامل الأول على الجانب الأول، ويركز الفريق العامل الثالث على الجانب الآخر، ويغطي الفريق العامل الثاني الجوانب المتعلقة بالجانبين.

وتُستخدَم ثلاثة نهوج مختلفة لوصف أوجه عدم اليقين، وكل منها له شكل مميز من الصياغة اللغوية. ويتوقف الاختيار بين هذه النهوج الثلاثة وداخلها على طبيعة المعلومات المتاحة، وعلى الآراء السديدة للمؤلفين بشأن مدى صحة واكتمال الفهم العلمي الحالي.

وحيثما يتم تقييم عدم اليقين من الناحية النوعية، فإنه يتسم بتوفير إدراك نسبي للمقدار ونوعية الأدلة (أي المعلومات من النظرية أو الرصدات أو النماذج، التي تبين ما إذا كان الاعتقاد أو الافتراض صحيحاً أو سليماً) ودرجة الاتفاق (أي مستوى التوافق في المؤلفات الصادرة بشأن نتيجة معيَّنة). وهذا النهج يستخدمه الفريق العامل الثالث من خلال سلسلة من المصطلحات التي تفسر نفسها بنفسها مثل: موافقة عالية، أدلة كثيرة؛ موافقة عالية، أدلة متوسطة؛ موافقة متوسطة، أدلة متوسطة؛ إلخ.

وحيثما يُقَيَّم عدم اليقين بشكل كميّ أكثر باستخدام رأي الخبراء عن مدى صحة البيانات أو النماذج أو التحليلات الأساسية، يُستخدَم مقياس مستويات الثقة للتعبير عن فرصة تقييم مدى صحة نتيجة من النتائج: ثقة عالية جداً 9 من 10 على الأقل؛ ثقة عالية حوالي 8 من 10؛ ثقة متوسطة حوالي 5 من 10؛ ثقة متدنية حوالي 2 من 10؛ وثقة متدنية جداً أي أقل من1 من 10.

وحيثما يُقيم عدم اليقين في نتائج محددة باستخدام آراء الخبراء والتحليل الإحصائي لمجموعة من الأدلة (على سبيل المثال رصدات أو نتائج نموذجية) عندئذ تستخدم نطاقات الأرجحية التالية للتعبير عن الاحتمال المقدر للحدوث: مؤكد فعلاً < 99%؛ مرجّح للغاية < 95%؛ مرجّح جداً < 90%؛ مرجّح < 66%؛ أرجحية الوقوع أكبر من أرجحية عدمه < 50%؛ تقارب أرجحية الوقوع وعدمه يتراوح بين 33% و 66%؛ غير مرجّح > 33%؛ عدم الأرجحية كبير جداً > 10%؛ عدم الأرجحية للغاية > 5%؛ عدم الأرجحية استثنائي > 1%.

وقد استخدم الفريق العامل الثاني طريقة جمع فيها بين تقييمات الثقة والأرجحية، أما الفريق العامل الأول فقد استخدم تقييمات الأرجحية.

وتتبع هذه الورقة الفنية تقييم الأفرقة العاملة الأساسية. وحيثما تستند النتائج التجميعية إلى معلومات مستمدة من أكثر من فريق عامل، يكون وصف عدم اليقين متفقاً مع عدم اليقين فيما يتعلق بالعناصر المستمدة من التقارير المعنية.

[9] انظر الموقع الشبكي: http://wwwipcc.clVmeetings/ar4-workshops-express-meetings/uncertainty-guidance-note.pdf

2

التغييرات المرصودة والمسقطة في المناخ من حيث صلتها بالماء

الجوي، المحيط المائي، الغلاف الجليدي، سطح الأرض، الغلاف الحيوي). ولهذا يؤثر تغير المناخ في الماء من خلال عدد من الآليات. ويناقش هذا الفرع إجراءات رصد التغيرات الحديثة في متغيرات لها صلة بالماء وإسقاطات التغيرات في المستقبل.

2.1 التغيرات المرصودة في المناخ من حيث صلتها بالماء

ترتبط الدورة الهيدرولوجية ارتباطاً أساسياً بالتغيرات في درجة حرارة الغلاف الجوي وتوازن الإشعاع. وقد بات احترار نظام المناخ في العقود الأخيرة أمراً لا لبس فيه، كما يتبدى الآن من رصدات الزيادات في متوسطات درجات حرارة الهواء والمحيطات على المستوى العالمي، وذوبان الثلوج والجليد على نطاق واسع وارتفاع مستوى سطح البحر على الصعيد العالمي. ويقدر صافي المؤثر الإشعاعي للمناخ البشري المنشأ بأنه إيجابي (تأثير الاحترار)، مع أفضل تقدير على أنه يبلغ $1.6Wm^{-2}$ فيما يتعلق بسنة 2005 (نسبة إلى قيم ما قبل الثورة الصناعية في عام 1750). وأفضل تقدير للاتجاه الخطي في درجة الحرارة السطحية على المستوى العالمي من سنة 1906 إلى سنة 2005 يبلغ احتراراً بمقدار 0.74° درجة مئوية (النطاق المرجّح يتراوح بين 0.56 و0.92° درجة مئوية) مع اتجاه أسرع للاحترار خلال الخمسين سنة الماضية. وتبيِّن التحليلات الجديدة معدلات احترار في المنطقتين الدنيا والوسطى من التروبوسفير مماثلة للمعدلات الموجودة على السطح. وتبيِّن دراسات العزو أن معظم الزيادة المرصودة في درجات الحرارة العالمية منذ منتصف القرن العشرين مرجّح جداً بسبب الزيادة المرصودة في تركيزات غازات الدفيئة البشرية المنشأ. وعلى النطاق القاري، من المرجّح أنه حدث احترار هام بشري المنشأ على مدى الخمسين سنة الماضية، موزعاً في المتوسط على كل قارة من القارات فيما عدا المنطقة القطبية الجنوبية. وفيما يتعلق بمناطق واسعة النطاق، أصبح حدوث أيام باردة، وليالٍ باردة وصقيع، أقل تواتراً، في حين أصبح حدوث أيام حارة وليالٍ حارة وموجات حرارية أكثر تواتراً خلال الخمسين سنة الماضية. [ملخص لصانعي السياسات WGI SPM]

ويرتبط احترار المناخ المرصود على مدى العقود العديدة الماضية بصفة مستمرة بتغيرات في عدد من مكونات الدورة الهيدرولوجية والنظم الهيدرولوجية مثل التالي: أنماط الهطول المتغيرة، وكثافته، والأحوال المتطرفة؛ ذوبان الثلوج والجليد على نطاق واسع؛ زيادة بخار الماء في الغلاف الجوي؛ زيادة التبخر؛ والتغيرات في رطوبة التربة والجريان. وتوجد تقلبية طبيعية هامة - على النطاقات الزمنية الممتدة من السنة إلى العقود، في جميع مكونات الدورة الهيدرولوجية، وهي غالباً ما تخفي اتجاهات طويلة الأجل. ولا تزال توجد درجة كبيرة من عدم اليقين في اتجاهات المتغيرات الهيدرولوجية بسبب الاختلافات الإقليمية الواسعة، وبسبب القيود المتعلقة بالتغطية المكانية والزمانية لشبكات المراقبة (Huntington، 2006). وفي الوقت الحاضر، لا يزال تسجيل المتغيرات والاتجاهات في الهطول فوق المحيطات يشكل أحد التحديات. [WGI 3.3]

ويمثّل فهم وعزو التغيرات المرصودة أيضاً أحد التحديات. ففيما يتعلق بالمتغيرات الهيدرولوجية مثل الجريان السطحي، تؤدي العوامل غير ذات الصلة بالمناخ دوراً هاماً على الصعيد المحلي (على سبيل المثال، التغيرات في الاستخراج). كما أن استجابة المناخ لعوامل التأثير تعتبر متشابكة. وعلى سبيل المثال يتمثل أثر امتصاص الأهباء (مثل الكربون الأسود) في اعتراض الحرارة في طبقة الأهباء التي لولا ذلك تصل إلى السطح، مما يدفع التبخر وما يلي ذلك من إطلاق الحرارة الكامنة فوق السطح. ومن ثم فإن امتصاص الأهباء قد يقلّل على الصعيد المحلي التبخر والهطول. وكثير من عمليات الأهباء تُحذف أو تدرج بطرق بسيطة نوعاً في نماذج المناخ. وفي بعض الحالات لا يكاد يُعرف حجم تأثيراتها على الهطول. ورغم جوانب عدم اليقين المشار إليها أعلاه، يمكن ذكر عدد من البيانات بشأن عزو تغيرات هيدرولوجية مرصودة، وهذه مشمولة في مناقشة فرادى المتغيرات في هذا الفرع، استناداً إلى التقييمات الواردة في تقرير التقييم الرابع. [الفريق العامل الثاني WGII ; 3.1, 3.2 WGI 3.3, 7.5.2, 8.2.1, 8.2.5, 9.5.4]

2.1.1 الهطول (بما في ذلك الهطول المتطرف وبخار الماء)

جرى تحليل الاتجاهات في الهطول على الأرض باستخدام عدد من مجموعات البيانات، وفي مقدمتها الشبكة العالمية للمناخات التاريخية (GHCN: Peterson and Vose, 1997) وكذلك تجربة إعادة إنشاء الهطول على الأرض (Chen وآخرون، 2002)، والمشروع العالمي لمناخيات الهطول (GPCP: Adler وآخرون، 2003) والمركز العالمي لمناخيات الهطول (GPCC) (Beck وآخرون، 2005) ووحدة البحوث المناخية (CRU GPCC: Mitchell and Jones، 2005). وقد ازداد هطول المطر على الأرض بوجه عام خلال القرن العشرين في المناطق الواقعة بين خط العرض 30° شمالاً و 85° شمالاً، بيد أنه حدثت انخفاضات ملحوظة في الماضي خلال فترة الـ 40-30 سنة الماضية في المناطق الواقعة بين خط العرض 10° جنوباً وخط العرض 30° شمالاً (الشكل 2.1). وتشير الانخفاضات في درجة الملوحة في شمال المحيط الأطلسي وجنوب خط العرض 25° جنوباً إلى وجود تغيرات مماثلة في الهطول فوق المحيط. وازداد هطول المطر في المنطقة الواقعة بين خط العرض 10° شمالاً وخط العرض 30° شمالاً بشكل ملحوظ في الفترة من 1900 إلى خمسينات القرن العشرين، بيد أنه انخفض بعد سنة 1970 تقريباً. وليست هناك اتجاهات قوية على نطاق نصف الكرة الأرضية فوق الكتل الأرضية خارج المناطق المدارية في نصف الكرة الجنوبي. وفي وقت كتابة هذا التقرير، يعتبر عزو التغيرات في هطول المطر على المستوى العالمي غير يقيني، نظراً لأن الهطول يتأثر تأثيراً قوياً بأنماط كبيرة النطاق من التقلبية الطبيعية. [WGI 3.3.2.1]

ويعتَبر الاتجاه الخطي فيما يتعلق بالمتوسط العالمي من الشبكة العالمية للمناخيات التاريخية (GHCN) خلال الفترة 1901-2005 غير هام من الناحية الإحصائية (الشكل 2.2). وليس لأي من تقديرات الاتجاهات فيما يتعلق بالفترة 1951-2005 أهمية تذكر حيث توجد تفاوتات كثيرة بين مجموعات البيانات مما يظهر صعوبة مراقبة أي كمية من كميات الهطول، التي تتسم بتقلبية كبيرة من حيث المكان والزمان. وليست التغيرات العالمية خطية من حيث الزمن، مما يبين تقلبية عقدية هامة، مع فترة مطيرة نسبياً في الفترة من الخمسينات إلى السبعينات في القرن العشرين، تلاها انخفاض في هطول المطر. ويغلب على المتوسطات العالمية هطول الأمطار في المناطق المدارية وشبه المدارية. [WGI 3.3.2.1]

وترد في الشكل 2.3 أنماط مكانية للاتجاهات في الهطول السنوي، باستخدام بيانات محطات الشبكة العالمية للمناخيات التاريخية (GHCN)

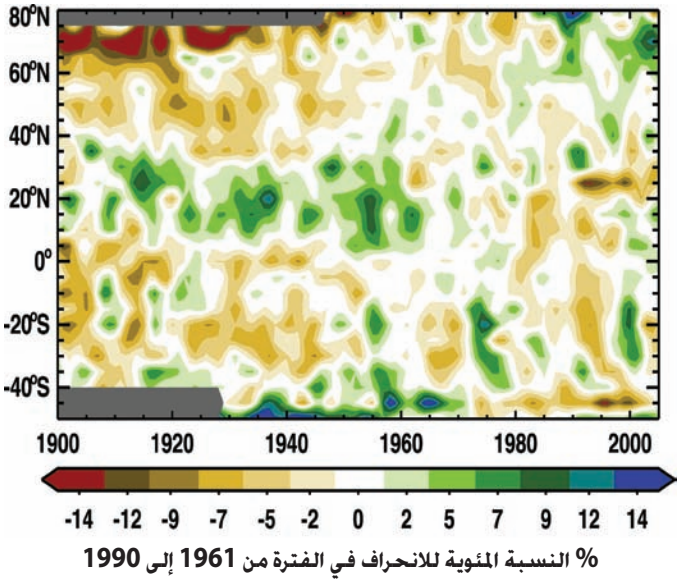
التي تُستنبَط في شكل شبكة 5x5 درجات في خط عرض/خط طول. وفوق مناطق كثيرة من أمريكا الشمالية وأوراسيا، ازداد الهطول السنوي خلال 105 سنوات ابتداء من عام 1901، وهذا يتوافق مع الشكل 2.1. وتبين الفترة منذ عام 1979 نمطاً أكثر تعقيداً، مع وجود منطقة جافة إقليمية (على سبيل المثال جنوب غرب أمريكا الشمالية). ويبين عدد الأطر الشبكية فوق معظم أوراسيا وجود زيادات في الهطول أكبر من العدد الذي يبين أوجه نقصان، فيما يتعلق بالفترتين معاً. وهناك اتجاه لتغيرات عكسية بين المنطقة الشمالية من أوروبا والبحر الأبيض المتوسط، ترتبط بتغييرات في الاتصال اللاسلكي الخاص بتذبذب شمال المحيط الأطلسي (انظر أيضا الفرع 2.1.7). [WGI 3.3.2.2]

وفي ربوع أمريكا الجنوبية رُصدت حالات مطيرة بشكل متزايد فوق حوض نهر الأمازون وجنوب شرق أمريكا الجنوبية، بما في ذلك باتاغونيا، في حين رُصدت اتجاهات سلبية في الهطول السنوي فوق شيلي وأجزاء من الساحل الغربي من القارة. وتشير التغيرات فوق منطقة الأمازون، في أمريكا الوسطى والمناطق الغربية من أمريكا الشمالية إلى حدوث تغييرات في معالم الموسميات في خطوط العرض. [WGI 3.3.2.2]

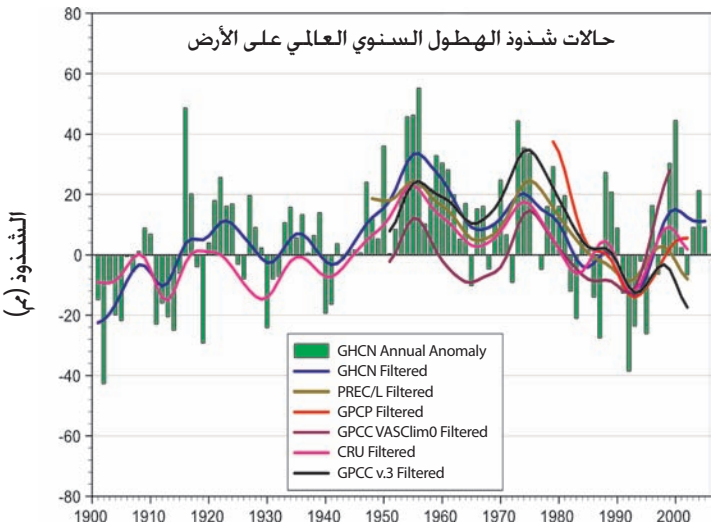
وتلاحَظ أكبر الاتجاهات السلبية منذ سنة 1901 في الهطول السنوي فوق المناطق الغربية من أفريقيا وفي منطقة الساحل (انظر أيضاً الفرع 5.1)، رغم أن هناك اتجاهات نزولية في كثير من البقاع الأخرى في أفريقيا وفي جنوب آسيا. ومنذ سنة 1979، ازداد هطول المطر في منطقة الساحل وفي بقاع أخرى من أفريقيا يتصل إلى حدٍ ما بتغيرات ترتبط بأنماط التوصيلات عن بعد (انظر أيضاً الفرع 2.1.7). وفوق كثير من المناطق شمال غرب الهند تبيِّن الفترة الممتدة من 1901 إلى 2005 زيادات تربو على 20%لكل قرن، بيد أن نفس المنطقة تظهر انخفاضاً كبيراً في الهطول السنوي منذ سنة 1979. وتظهر مناطق شمال غرب أستراليا مساحات تتسم بزيادات معتدلة إلى قوية في الهطول السنوي أو على مدى الفترتين. وقد أصبحت الأحوال أكثر رطوبة في شمال غرب أستراليا، بيد أن هناك اتجاهاً نزولياً ملحوظاً في المنطقة القصوى من جنوب شرق البلد، وهي تتسم بتحول نزولي حوالي سنة 1975. [WGI 3.3.2.2]

ويشير عدد من دراسات النماذج إلى أن التغييرات في التأثير الإشعاعي (من مصادر مشتركة بشرية المنشأ وبركانية وشمسية)، قد لعبت دوراً في الاتجاهات المرصودة فيما يتعلق بمتوسط هطول المطر. لكن يبدو أن نماذج المناخ تقلل من قيمة التغير في متوسط هطول المطر على الأرض بالمقارنة مع تقديرات الرصد. وليس من الواضح ما إذا كان هذا التفاوت ناجماً عن استجابة أقل مما يجب للتأثير بالموجات القصيرة، ونقص في تقدير التقلبية المناخية الداخلية، وأخطاء كامنة في الرصدات، أو بعض هذه العوامل مجتمعة. وتشير الاعتبارات النظرية إلى أنه قد يكون من الصعب اكتشاف تأثير غازات الدفيئة المتزايدة على متوسط هطول المطر. [WGI 9.5.4]

وقد لوحظت زيادات على نطاق واسع في ظواهر الهطول الغزير (على سبيل المثال فوق نسبة 95 مئين)، حتى في الأماكن التي تناقصت فيها المقادير الإجمالية. وهذه الزيادات مرتبطة بزيادة بخار الماء في الغلاف الجوي وهي تتوافق مع الاحترار المرصود (الشكل 2.4). ومع ذلك تسيطر

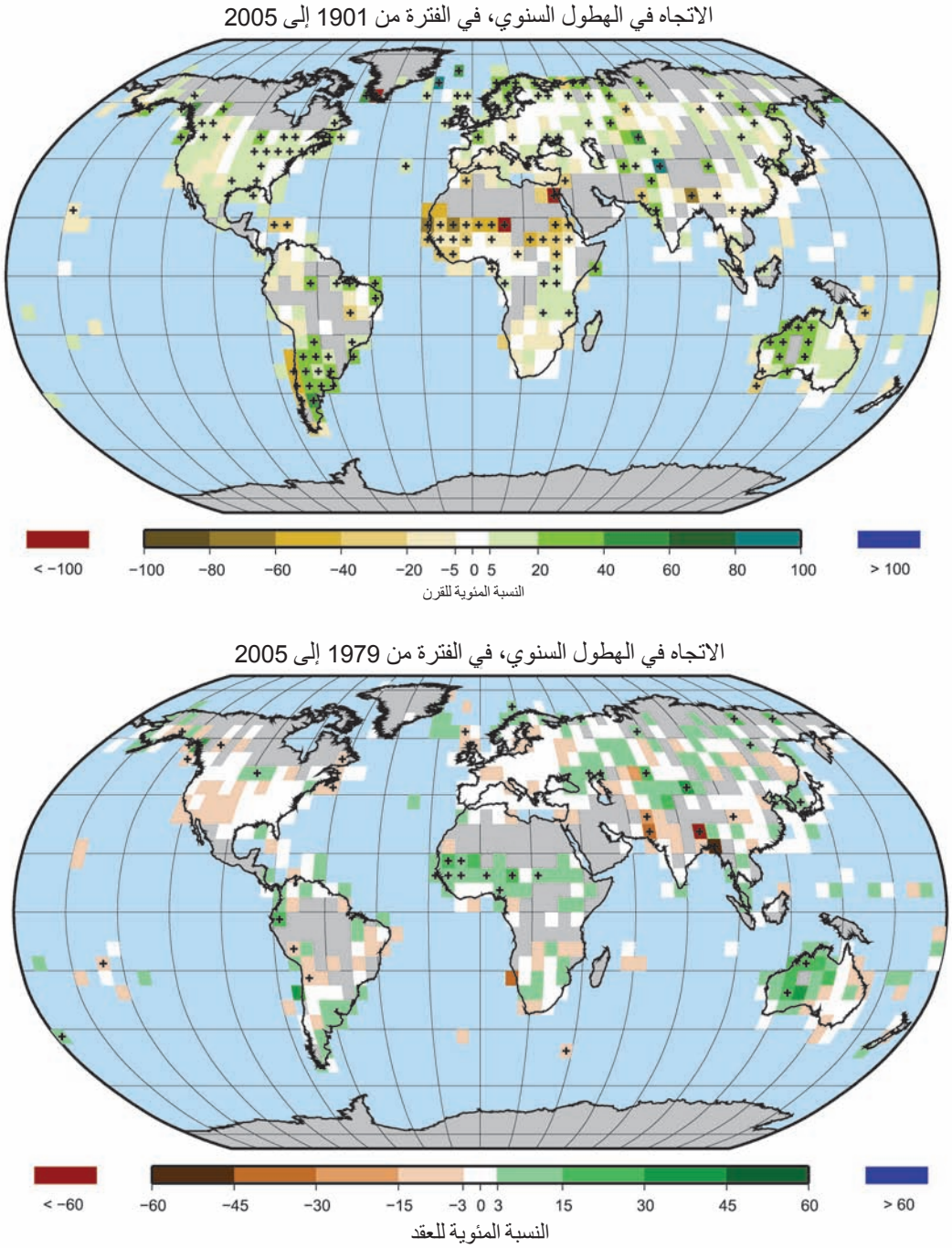


الشكل 2.1: *مقطع خط العرض - الزمن لمتوسط حالات الشذوذ السنوية فيما يتعلق بهطول المطر (%) على الأرض من سنة 1900 إلى سنة 2005، بالنسبة إلى متوسطاتها في الفترة 1961-1990. وقسِّمت القيم إلى متوسطات على جميع خطوط الطول وجرت تسويتها بمرشح لإزالة التقلبات التي تقل عن مدة 6 سنوات تقريباً. والمقياس اللوني غير خطي وتشير المناطق الرمادية إلى بيانات ناقصة. [WGI Figure 3.15]*



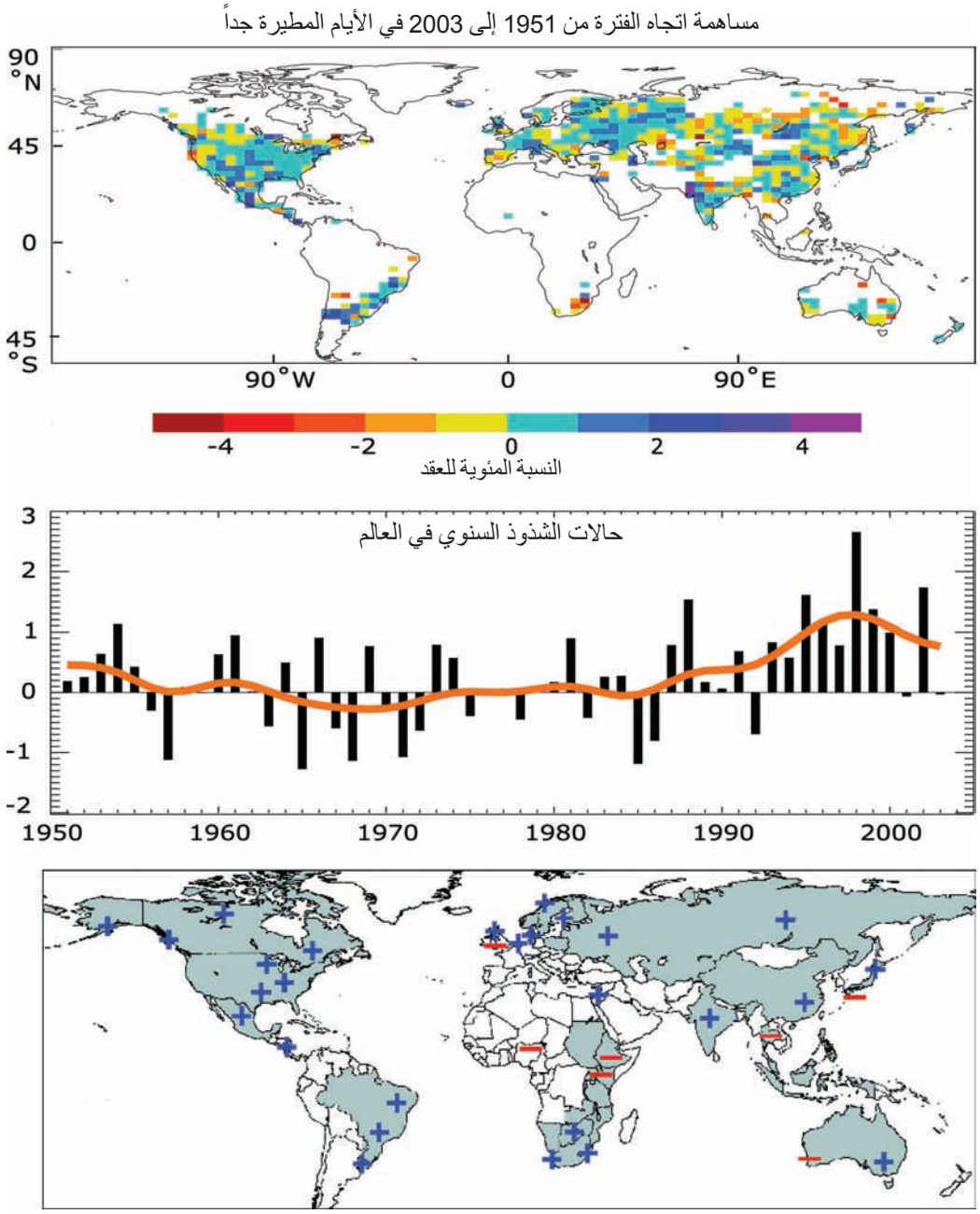
الشكل 2.2: *السلاسل الزمنية فيما يتعلق بالفترة من سنة 1900 إلى سنة 2005 الخاصة بحالات شذوذ الهطول السنوي العالمي على الأرض (مم) من الشبكة العالمية للمناخيات التاريخية (GHCN) فيما يتعلق بفترة الأساس 1981-2000. وترد قيم النطاقات العقدية التي جرت تسويتها أيضاً فيما يتعلق بمجموعات بيانات الشبكة العالمية للمناخيات التاريخية (CHCN) وتجربة إعادة إنشاء الهطول على الأرض (PREC/L) والمشروع العالمي لمناخيات الهطول (GPCP) والمركز العالمي لمناخيات الهطول (GPCC) ووحدة البحوث المناخية (CRU). [WGI Figure 3.12]*

على إحصاءات سقوط الأمطار تغيرات على نطاقات ما بين السنوات إلى نطاقات العقود، وتتسم تقديرات الاتجاهات بأنها غير متماسكة مكانياً (على سبيل المثال Peterson وآخرون، 2002؛ Griffiths وآخرون، 2003؛ Herath وRatnayake، 2004). وزيادة على ذلك لا توجد سوى بضع مناطق بها سلاسل من البيانات تتسم بالنوعية والطول بما يكفي لتقييم الاتجاهات في الأحوال المتطرفة بشكل موثوق. ومن الناحية



الشكل 2.3: *اتجاه كميات الهطول السنوي، في الفترة من 1901 إلى 2005 (في الأعلى، النسبة المئوية للقرن) وفي الفترة من 1979 إلى 2005 (في الأسفل، النسبة المئوية للعقد)، كنسبة مئوية للمتوسط في الفترة 1961 - 1990، من بيانات محطة الشبكة العالمية للمناخيات التاريخية (GHCN). والمناطق الرمادية بها بيانات كافية لاستنتاج اتجاهات موثوقة. [WGI Figure 3.13]*

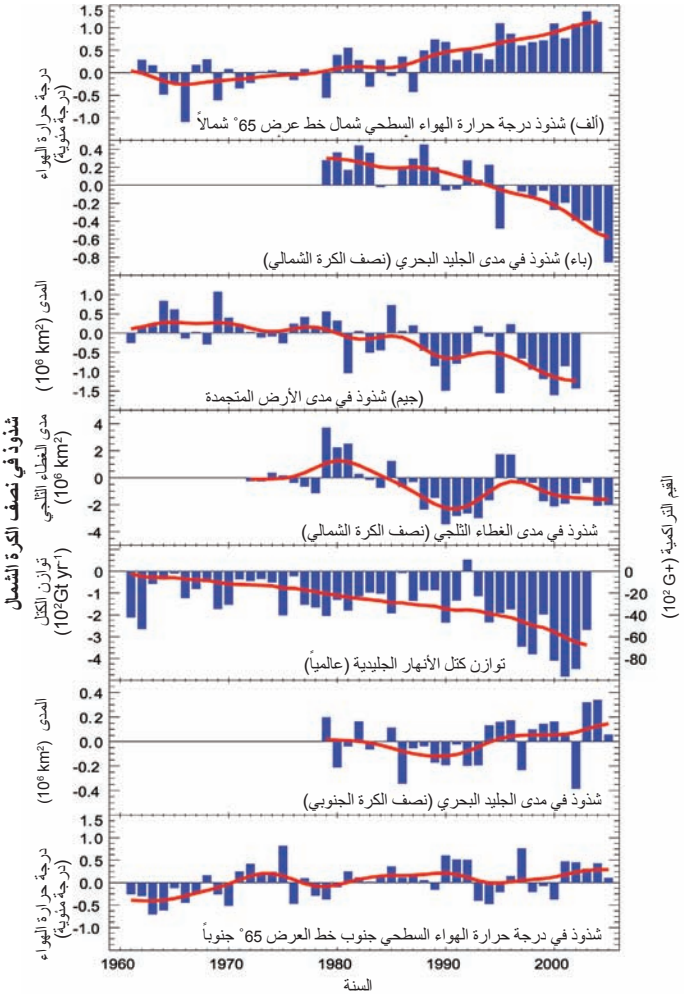
الإحصائية، لوحظ حدوث زيادات هامة في هطول غزير فوق أوروبا وأمريكا الشمالية (Klein Tank and Können، 2003؛ Kunkel وآخرون؛ 2003 Groisman وآخرون 2004؛ Haylock وGoodess، 2004). ويختلف الطابع الموسمي للتغيرات وفقاً للمكان: فالزيادات كانت في أقوى شكل لها في الفصل الدافئ في الولايات المتحدة الأمريكية، في حين كانت التغييرات في أوروبا ملحوظة للغاية في الفصل البارد (Groisman وآخرون، 2004؛ Haylock وGoodess، 2004). ويرد في الفرع 5 مزيد من بحث التغيرات الإقليمية. [WGI 3.8.2.2] وتشير دراسات النماذج النظرية والنماذج المناخية إلى أنه في حالة وجود مناخ آخذ في الاحترار بسبب زيادة غازات الدفيئة، من المتوقع حدوث زيادة أكبر في الهطول المتطرف، بالنسبة إلى المتوسط. ومن ثم، فإن التأثير البشري المنشأ قد يكون من الأيسر اكتشافه في حالة الهطول المتطرف أكثر مما هو في حالة الهطول المتوسط. ويرجع هذا إلى أن الهطول المتطرف يتحكم فيه توافر بخار الماء، في حين أن الهطول



الشكل 2.4: *تبين اللوحة الواردة أعلى الصفحة الاتجاهات المرصودة (النسبة المئوية للعقد) في الفترة 1951-2003 فيما يتعلق بالمساهمة في إجمالي الهطول السنوي للأيام المطيرة جداً (نسبة مئوية تبلغ 95 وأكثر). وتبين اللوحة الوسطى، المتعلقة بالهطول السنوي العالمي، التغير في مساهمة الأيام المطيرة جداً في الإجمالي (نسبة مئوية مقارنة بالمتوسط البالغ 22.5 في المائة في الفترة 1961 - 1990) (وفقاً لما ذكره Alexander وآخرون، 2006). وتبين اللوحة الواردة في الأسفل مناطق سجلت بها تغيرات مختلة التناسب في الهطول الغزير والغزير جداً إما كزيادة (+) أو نقصان (-) بالمقارنة مع التغير في الهطول السنوي و/أو الهطول الفصلي (معلومات محدّثة من Groisman وآخرون، 2005). [الشكل WGI 3.39]*

المتوسط تتحكم فيه قدرة الغلاف الجوي على إشعاع طاقة من الموجات الطويلة (تنطلق كحرارة كامنة بسبب التكيّف) إلى الفضاء، وهذه الأخيرة تتحكم فيها غازات الدفيئة المتزايدة. فإذا ما نُظر إلى هذه العوامل مجتمعة فإن الدراسات المتأتية من الرصدات ومن النمذجة تؤدي إلى نتيجة شاملة مفادها أن الزيادة في تواتر ظواهر الهطول الغزير (أو في نسبة إجمالي سقوط الأمطار من الهطول الغزير) من المرجّح أنها حدثت فوق معظم المساحات الأرضية خلال القرن العشرين الماضي، وهذا الاتجاه من المرجَّح جداً أن يشمل مساهمة بشرية المنشأ. ولا يمكن تقدير حجم هذه المساهمة في هذه المرحلة. [WGI SPM, 9.5.4, 10.3.6, FAQ10.1]

وقد رُصدت أدلة تشير إلى حدوث زيادة في نشاط الأعاصير المدارية الشديدة في شمال المحيط الأطلسي منذ حوالي 1970 ترتبط بزيادات في درجات حرارة سطح البحر في المناطق المدارية. وثمة إشارات أيضاً إلى حدوث نشاط متزايد من الأعاصير المدارية الشديدة في بعض المناطق الأخرى، بيد أنه تزداد الشواغل في هذه المناطق إزاء نوعية البيانات. وتعمل التقلبية خلال العقود المتعددة ونوعية السجلات الخاصة بالأعاصير المدارية قبل رصدات السواتل الروتينية حوالي سنة 1970 على تعقيد اكتشاف الاتجاهات



الشكل 2.5: *السلاسل الزمنية للشذوذ (الابتعاد عن المتوسط طويل الأجل) لدرجة حرارة الهواء السطحي في المنطقة القطبية (ألف وهاء)، مدى الأراضي المتجمدة فصلياً في نصف الكرة الشمالي (باء)، مدى الغطاء الثلجي في نصف الكرة الشمالي للفترة من آذار/مارس إلى نيسان/أبريل (جيم)، توازن كتل الأنهار الجليدية في العالم (دال). ويشير الخط الأحمر المتواصل في دال إلى توازن الكتل العالمي التراكمي للأنهار الجليدية؛ وخلافاً لذلك، فإنه يمثل السلاسل الزمنية المُسوَّاة [مواءمة من WGI FAQ 4.1]*

الطويلة الأجل في نشاط الأعاصير المدارية. ولا يوجد اتجاه واضح في الأعداد السنوية للأعاصير المدارية. وقد ساهمت العوامل البشرية المنشأ ذات أرجحية الوقوع أكبر من أرجحية عدمه في زيادات مرصودة في نشاط الأعاصير المدارية الشديدة. ومع ذلك، فإن الزيادة الظاهرة في نسبة العواصف الشديدة جداً منذ سنة 1970 في بعض المناطق تعتبر أكبر مما تحاكيه النماذج الحالية فيما يتعلق بتلك الفترة. [WGI SPM]

ورُصِد ازدياد محتوى بخار الماء في التروبوسفير في العقود الأخيرة، وهو مع ما رُصد من احترار ورطوبة نسبية شبه ثابتة. وازداد مجموع عامود بخار الماء فوق المحيطات العالمية بمقدار 0.3 ± 1.2 في المائة لكل عقد خلال الفترة من 1988 إلى 2004، وذلك في نمط يتوافق مع التغيرات الحادثة في درجة حرارة سطح البحر. وتبيِّن دراسات كثيرة حدوث زيادات في رطوبة الغلاف الجوي قرب سطح الأرض، بيد أن هناك في هذا الصدد اختلافات إقليمية، واختلافات بين النهار والليل. وكما هو الحال في عناصر أخرى من الدورة الهيدرولوجية، فإن الاختلافات في النطاقات فيما بين السنوات إلى النطاقات العقدية تعتبر كبيرة، بيد أنه لوحظ اتجاه صاعد هام فوق المحيطات العالمية وفوق بعض مناطق اليابسة في نصف الكرة الشمالي. ونظراً لأن الاحترار المرصود لحرارة سطح البحر من المرجّح أن يكون بشري المنشأ إلى حدٍ كبير، فإن هذا يشير إلى أن تأثير ما يفعله الإنسان قد ساهم فيما يُرصد من زيادة في بخار الماء في الغلاف الجوي فوق المحيطات. ومع ذلك، لا تتوافر حتى وقت كتابة تقرير التقييم الرابع دراسة رسمية تبيِّن أسباب ذلك. [WGI 3.4.2, 9.5.4]

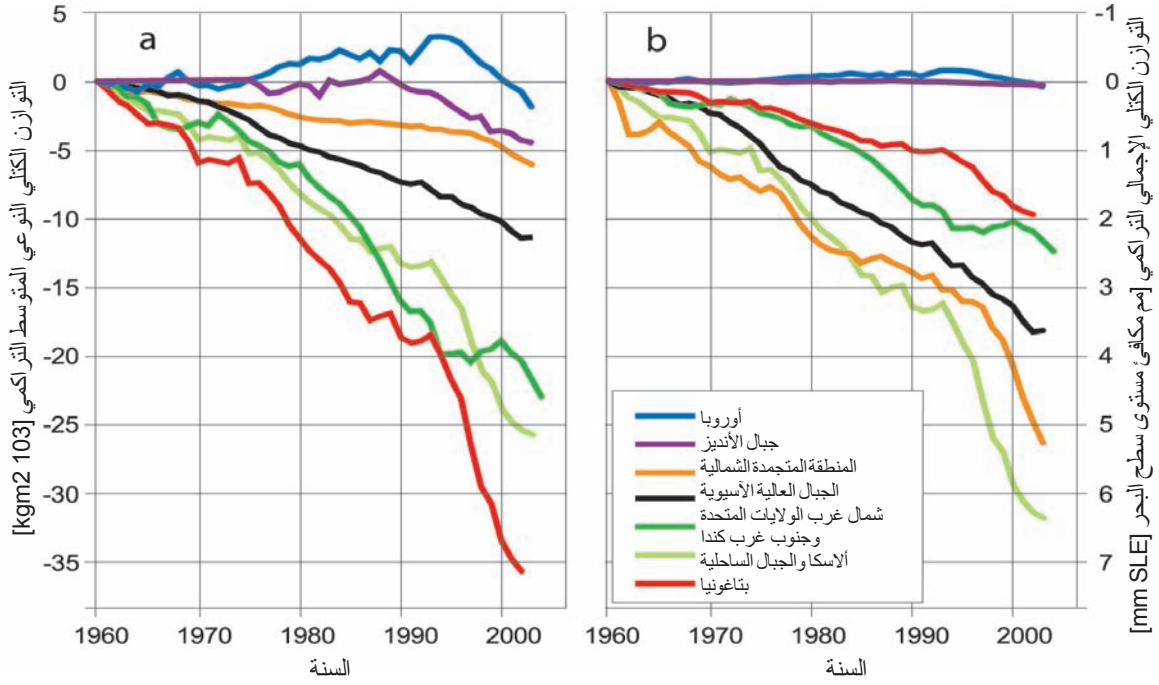
2.1.2 الثلوج والجليد الأرضي

يختزن الغلاف الجليدي (وهو يتألف من الثلوج والجليد والأرض المتجمدة) على سطح الأرض حوالي 75% من المياه العذبة في العالم. ويرتبط الغلاف الجليدي وتغيراته في نظام المناخ ارتباطاً دقيقاً بميزانية طاقة سطح الأرض، ودورة المياه والتغير في مستوى سطح البحر. ويعيش أكثر من سدس سكان العالم في أحواض الأنهار الجليدية أو أحواض أنهار تغذيها الثلوج الذائبة (شتيرن، 2007). [WGII 3.4.1] ويبيِّن الشكل 2.5 اتجاهات الغلاف الجليدي، ويظهر أوجه نقصان هامة في تخزين الجليد في كثير من المكوّنات. [WGI، الفصل 4]

2.1.2.1 الغطاء الثلجي، الأرض المتجمدة، جليد البحيرات والأنهار

تناقص الغطاء الثلجي في معظم المناطق، وخصوصاً في فصلي الربيع والصيف. ونقص الغطاء الثلجي الذي رصدته السواتل في نصف الكرة الشمالي شهرياً خلال الفترة 1966-2005 فيما عدا شهري تشرين الثاني/نوفمبر وكانون الأول/ديسمبر، مع انخفاض من حيث الدرجة بنسبة 5 في المائة في المتوسط السنوي في أواخر الثمانينات من القرن الماضي. أما الانخفاضات في الجبال الواقعة في غربي أمريكا الشمالية وفي جبال الألب السويسرية فقد كانت هي الأكبر في المرتفعات المنخفضة. ويبيّن معظم العدد القليل من السجلات الطويلة أو بدائلها المتاحة إما حدوث نقصانات أو لا تغيير خلال السنوات الأربعين أو يزيد الماضية في نصف الكرة الأرضية الجنوبي. [WGI 4.2.2]

ويؤدي تآكل التربة الصقيعية والأرض المتجمدة فصلياً إلى تغييرات في خصائص سطح الأرض ونُظم الصرف. وتشمل الأرض المتجمدة فصلياً نوباناً فصلياً للجليد على التربة في مناطق غير مغطاة بتربة صقيعية، وعلى الطبقة الناشطة فوق التربة الصقيعية التي تذوب في الصيف وتتجمد في الشتاء. وقد انخفض النطاق الأقصى المقدّر للأرض المتجمدة فصلياً في مناطق غير التربة الصقيعية بحوالي 7 في المائة في نصف الكرة الشمالي في الفترة من 1901 إلى 2002، مع نقصان بنسبة 15 في المائة في الربيع. وقد انخفض العمق الأقصى لذلك بحوالي 0.3 م في أوراسيا منذ منتصف القرن العشرين استجابة لاحترار في الشتاء وزيادات في عمق الثلوج. وخلال الفترة من 1956 إلى 1990، أظهرت الطبقة الناشطة التي جرى قياسها في 31 محطة في روسيا زيادة هامة في العمق من الناحية الإحصائية بحوالي 21 سنتيمتراً. كما أن السجلات من مناطق أخرى تعتبر قصيرة للغاية على نحو لا يتيح تحليل الاتجاهات. وقد ازدادت درجة الحرارة في قمة طبقة التربة الصقيعية بحوالي 3° درجات مئوية منذ الثمانينات في المنطقة المتجمدة الشمالية أركتيكا. ويبدو أن احترار التربة الصقيعية وتآكل الأرض المتجمدة هما نتيجة ازدياد درجات حرارة الهواء في الصيف والتغيرات في عمق الغطاء الثلجي ومدة بقائه. [WGI 4.7، الفصل 9]



الشكل 2.6: توازنات الكتل النوعية المتوسطة التراكمية (a) وتوازنات الكتل الإجمالية التراكمية (b) للأنهار الجليدية والقلنسوات الجليدية محسوبة بالنسبة لمناطق واسعة (Dyurgerov and Meier, 2005). وتوازن كتل النهر الجليدي هو حاصل جمع جميع مكاسب وخسائر الكتلة أثناء سنة هيدرولوجية. وتوازن الكتل النوعي المتوسط هو مجموع توازن الكتل مقسوماً على مجموع مساحة السطوح لجميع الأنهار الجليدية والقلنسوات الجليدية لمنطقة ما، ويبين هذا قوة التغيير في المنطقة المعنية. ويعرض توازن الكتل الإجمالي باعتباره الإسهام من كل منطقة في ارتفاع مستوى سطح البحر. [WGI 4.5.2، الشكل 4.15]

وتبيِّن مواعيد التجمد والتبدُّد فيما يتعلق بجليد الأنهار والبحيرات تقلبية مكانية كبيرة. فالبيانات المتاحة في المتوسط فيما يتعلق بنصف الكرة الشمالي على مدى السنوات الـ 150 الماضية، تشير إلى تأخر موعد التجمد بمعدل 5.8±1.6 يوماً لكل قرن، في حين حدث تاريخ تكسر الجليد في وقت أبكر بمعدل 6.5±1.2 يوماً في كل قرن. وهناك بيانات منشورة غير كافية بشأن سُمك جليد الأنهار والبحيرات بحيث لا تسمح بتقييم الاتجاهات. وتبيِّن دراسات النمذجة (على سبيل المثال Duguay وآخرون، 2003) أن كثيراً من التقلبية في السُمك الأقصى للجليد وتكسره تحركه اختلافات في سقوط الثلوج. [WGI 4.3]

2.1.2.2 *الأنهار الجليدية والقلنسوات الجليدية*

تبيِّن الأنهار الجليدية والقلنسوات الجليدية في نصف الكرة الشمالي وفي بتاغونيا في المتوسط زيادة معتدلة وبالأحرى ثابتة في تحوُّل الكتل خلال نصف القرن الماضي، وتزايد الذوبان بدرجة كبيرة. [WGI 4.5.2, 4.6.2.2.1] ونتيجة لذلك، حدث فقدان كبير في الكتلة في غالبية الأنهار الجليدية والقلنسوات الجليدية على نطاق العالم (الشكل 2.6) مع حدوث معدلات متزايدة وكان الفقدان: من الفترة 61/1960 إلى الفترة 90/1989 يبلغ 136±57 (0.37± Gt/yr 0.16mm/yr في تكافؤ سطح البحر. وبلغ بين الفترتين 1991/1990، 2004/2003 0.22 ±0.77) 79Gt/yr ±280 في تكافؤ مستوى سطح البحر). ويبدو أن التقلص الواسع النطاق في القرن العشرين ينطوي على احترار واسع النطاق باعتباره السبب الرئيسي، وإن كان يمكن للتغيرات في رطوبة الغلاف الجوي في المناطق المدارية أن تسهم في ذلك. وهناك دلائل تشير إلى أنه من المرجَّح جداً أن هذا الذوبان ساهم فيما رُصد من ارتفاع مستوى سطح البحر [الجدول WGI 4.5, 4.4, 9.5]

ويحدث تكوّن البحيرات عندما تتراجع ألسنة الأنهار الجليدية من الركام الجليدي للعصر الجليدي الصغير في كثير من السلاسل الجبلية المنحدرة، بما في ذلك جبال الهيمالايا وجبال الأنديز وجبال الألب. وتكمن في هذه البحيرات إمكانية عالية لحدوث فيضانات مفاجئة للبحيرات الجليدية. [WGII 1.3.1.1، الجدول 1.2]

2.1.3 مستوى سطح البحر

أخذ يرتفع مستوى سطح البحر في متوسطه العالمي وهناك ثقة عالية بأن معدل الارتفاع قد ازداد بين منتصف القرن التاسع عشر ومنتصف القرن العشرين. وكان المعدل المتوسط هو 1.7±0.5 مم/سنوياً فيما يتعلق بالقرن العشرين، و1.8±0.5 مم/سنوياً فيما يتعلق بالفترة 1961-2003، و 3.1±0.7 مم/سنوياً فيما يتعلق بالفترة 1993-2003. وليس من المعروف ما إذا كان المعدل الأكثر ارتفاعاً في الفترة 1993-2003 يرجع إلى تقلبية عقدية أو إلى زيادة في الاتجاه الأطول أجلاً. ومن الناحية المكانية، فإن التغير يعتَبر غير موحّد، على سبيل المثال، خلال الفترة من 1993 إلى 2003، زادت المعدلات في بعض المناطق إلى عدة أضعاف المتوسط العالمي للارتفاع في حين هبطت مستويات سطح البحر في مناطق أخرى. [WGI 5.ES]

وهناك أوجه عدم يقين في التقديرات الخاصة بالإسهامات في تغير

مستوى سطح البحر في الأجل الطويل. وفيما يتعلق بالفترة 1993-2003، كانت الإسهامات من التوسّع الحراري تبلغ (1.6±0.5 مم/سنوياً)، وفقدان الكتل من الأنهار الجليدية والقلنسوات الجليدية يبلغ (0.77±0.22 مم/سنوياً) وفقدان الكتل من غرينلاند يبلغ (0.21±0.07 مم/سنوياً)، والمنطقة المتجمدة الشمالية يبلغ (0.21±0.35 مم/سنوياً)، وبلغ مجمل الصفائح الجليدية ما مقداره (2.8±0.7مم/سنوياً)، وفيما يتعلق بهذه الفترة، يعتبر حاصل هذه الإسهامات المناخية متوافقاً مع ما يرصد بشكل مباشر من ارتفاع في مستوى سطح البحر الوارد أعلاه، في إطار أوجه عدم اليقين المرصودة. وفيما يتعلق بالفترة الأطول 1961-2003 يقدر حاصل جمع الإسهامات المناخية بأنه أصغر من مجموع الارتفاع المرصود في مستوى سطح البحر؛ بيد أن نظام الرصد كان أقل موثوقية قبل عام 1993. وفيما يتعلق بالفترتين، فإن الإسهامات المقدّرة من التوسّع الحراري ومن الأنهار الجليدية/القلنسوات الجليدية تعتبر أكبر بكثير من الإسهامات من الصفائح الجليدية في غرينلاند والمنطقة المتجمدة الجنوبية. والخطوط الكبيرة الدالة على الخطأ فيما يتعلق بالمنطقة المتجمدة الجنوبية تعني أنه من غير اليقيني ما إذا كانت المنطقة المتجمدة الجنوبية قد ساهمت إيجابياً أو سلبياً في مستوى سطح البحر، فالزيادات في مستوى سطح البحر تتفق مع الاحترار، وتشير دراسات النمذجة إلى أنه من المرجّح جداً بوجه عام أن الاستجابة لتأثير ما بشري المنشأ ساهم في ارتفاع مستوى سطح البحر أثناء النصف الثاني من القرن العشرين؛ ومع ذلك فإن أوجه عدم اليقين المرصودة مصحوبة بالافتقار إلى دراسات مناسبة، تعني أنه من الصعب وضع تحديد كمي للإسهام البشري المنشأ. [WGI SPM, 5.5, 9.5.2]

ومن المحتمل أن يؤثر ارتفاع مستوى سطح البحر في المناطق الساحلية، بيد أن أسباب ذلك ليست واضحة دائماً. فالزيادات العالمية في المستويات المت طرفة للمياه العالية منذ 1975 ترتبط بمتوسط ارتفاع مستوى سطح البحر وبتقلبية المناخ الواسعة النطاق فيما بين العقود (Woodworth و WGII 1.3.3] .(Blackman، 2004).

2.1.4 التبخر - النتح

توجد قياسات مباشرة محدودة جداً للتبخر - النتح الفعلي فوق المناطق البرية على نطاق العالم، في حين تعتبر نواتج التحليل[10] العالمي حساسة لنوع التحليل ويمكن أن تحتوي على أخطاء كبيرة، ومن ثم فهي ليست مناسبة لتحليل الاتجاهات. ولهذا، توجد مؤلفات قليلة بشأن الاتجاهات المرصودة في عملية التبخر - النتح سواء كانت فعلية أو محتملة. [WGI 3.3.3]

2.1.4.1 التبخر في حوض مسطّح

توجد اتجاهات متناقصة أثناء العقود الأخيرة في سجلات متناثرة عن التبخر في أحواض مسطحة (يقاس التبخر من سطح مائي مفتوح في حوض مسطح، أو بديل من أجل قياس التبخر - النتح المحتمل) فوق الولايات المتحدة الأمريكية (Peterson وآخرون، 1995؛ Golubev وآخرون، 2001؛ Hobbins وآخرون، 2004)، الهند (Chattopadhyay وHulme، 1997)، وأستراليا (Roderick و Farquhar ، 2004) نيوزيلندا (Roderick وFarquhar ، 2005)، الصين (Liu وآخرون، 2004؛ Qian وآخرون، 2006b) وتايلند (Tebakari وآخرون، 2005). ولا تمثّل القياسات من الأحواض المسطحة التبخر الفعلي (Brutsaert وParlange، 1998) ويمكن أن تتسبب الاتجاهات بإشعاع شمسي سطحي متناقص (فوق الولايات المتحدة الأمريكية وأجزاء من أوروبا وروسيا) وتناقص فترة إشعاع الشمس فوق الصين التي يمكن أن تتصل بزيادات في تلوث الهواء والأهباء في الغلاف الجوي وزيادات في غطاء السحب. [WGI 3.3.3، الشكل 3.2]

2.1.4.2 التبخر - النتح الفعلي

ذكر تقرير التقييم الثالث أن التبخر - النتح الفعلي ازداد أثناء النصف الثاني من القرن العشرين فوق معظم المناطق الجافة في الولايات المتحدة الأمريكية وروسيا (Golubev وآخرون، 2001)، ونتج هذا عن زيادة توافر الرطوبة السطحية بسبب تزايد هطول المطر وتزايد الطلب على رطوبة الغلاف الجوي بسبب ارتفاع درجة الحرارة. وباستخدام رصدات هطول المطر، ودرجة الحرارة، والإشعاع الشمسي السطحي المستند إلى درجة التغيم ونموذج شامل لسطح الأرض. ووجد Qian وآخرون (2006a) أن التبخر - النتح الأرضي العالمي يتبع بشكل دقيق التغيرات في هطول المطر على الأرض. وقد بلغت قيم الهطول العالمي الذروة في أوائل السبعينات من القرن الماضي ثم انخفضت نوعاً ما، بيد أن هذا يعكس القيم المدارية أساساً وقد ازداد هطول المطر بشكل أعم فوق الأرض في مناطق خطوط العرض العليا. وتتوقف التغيرات في عملية التبخر - النتح ليس فقط على ما يوجد من الرطوبة، بل تتوقف أيضاً على توافر الطاقة والرياح السطحية. [WGI 3.3.3]

وثمة عوامل أخرى تؤثر على التبخر - النتح الفعلي تشمل الآثار المباشرة لإخصاب ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي على فيزيولوجيا النباتات. أما المؤلفات الصادرة بشأن هذه الآثار المباشرة، فيما يتعلق بالاتجاهات المرصودة لعملية التبخر - النتح فلا وجود لها وإن كانت الآثار قد شوهدت على الجريان السطحي. [WGI 9.5.4]

وتتوقف المقادير السنوية لعملية التبخر - النتح، إلى حدٍ ما، على طول موسم النمو. ويعرض تقرير التقييم الرابع دلائل تشير إلى زيادات مرصودة في طول موسم النمو. وترتبط هذه الزيادات، بحدوث الصقيع في وقت أبكر من الربيع السابق وفي وقت متأخر عن مواعيد نشوء الصقيع في الخريف، وتبدو هذه الظاهرة واضحة في المناطق المعتدلة المناخ في أوراسيا (Moonen وآخرون، 2002؛ وMenzel وآخرون، 2003؛ Genovese وآخرون، 2005؛ Semenov وآخرون، 2006) وفي جزء كبير من أمريكا الشمالية (Robeson، 2002؛ Feng وHu، 2004). [WGII 1.3.6.1]

[10] تشير نواتج التحليل إلى تقديرات لتغيرات المناخ في الماضي ناجمة عن تمثل طائفة من الرصدات في نموذج للتنبؤ بالطقس أو المناخ، بنفس الطريقة التي يُضطلع بها روتينيا للبدء في تنبؤات الطقس اليومية. وبسبب تطور نظم التحليل/التنبؤ التطبيقي بالطقس بمرور الزمن، جرى الاضطلاع بعدد من تمرينات «إعادة التحليل» وفيها يجري تمثل الرصدات المتوافرة في نظام وحيد، بحيث تمنع أي قفزات أو اتجاهات كاذبة بسبب التغيرات في النظام الأساسي. وثمة ميزة لنظم التحليل وهي أنها تنتج مجالات عالمية تشمل كثيراً من الكميات التي لا تُرصد بشكل مباشر. ومن المساوئ المحتملة هو أن جميع المجالات تعتبر مزيجاً من الرصدات والنماذج، وفيما يتعلق بالمناطق/المتغيرات التي توجد لها بضع رصدات، فإن كثيراً منها يمثل إلى حدٍ كبير مناخيات النموذج الأساسي.

2.1.5 رطوبة التربة

لا تتوافر سجلات تاريخية للمحتوى من رطوبة التربة الذي جرى قياسه في الموقع سوى لمناطق قليلة وغالباً ما تكون مدتها قصيرة جداً. [WGII 3.3.4] ومن بين ما يزيد على 600 محطة من طائفة متنوعة كبيرة من المناخات، حدد Robock وآخرون (2000) اتجاهاً متزايداً طويل الأجل في المحتوى السطحي من رطوبة التربة (في الجزء العلوي 1م) في المحتوى من رطوبة التربة أثناء الصيف فيما يتعلق بالمحطات ذات السجلات الأطول، ومعظمها يقع في الاتحاد السوفياتي السابق، والصين والمناطق الوسطى من الولايات المتحدة الأمريكية. وتظهر السجلات الأطول المتوافرة من أوكرانيا زيادات إجمالية في رطوبة التربة السطحية، وإن كانت الزيادات أقل وضوحاً في العقود الأخيرة (Robock وآخرون، 2005). وكان النهج الأوّلي لتقدير رطوبة التربة يتمثل في احتساب قيم مؤشر بالمر لقياس شدة الجفاف (PDSI) من كميات الهطول ودرجات الحرارة المرصودة. وترد مناقشة للتغيرات في مؤشر بالمر (PDSI) في الفرع 3.1.2.4. [WGI الإطار 3.1، 3.3.4]

2.1.6 الجريان وتصريف الأنهار

بحث عدد كبير من الدراسات الاتجاهات المحتملة في قياسات تصريف الأنهار أثناء القرن العشرين، على نطاقات تتراوح بين مستجمعات المياه والنطاق العالمي. وقد اكتشف بعض الدراسات وجود اتجاهات هامة في بعض مؤشرات التدفق، وأظهر بعضها وجود صلات هامة من الناحية الإحصائية مع الاتجاهات في درجة الحرارة أو هطول المطر. بيد أن دراسات كثيرة لم تجد اتجاهات أو كانت غير قادرة على أن تفصل مسار التغيرات في درجة الحرارة والهطول من تأثيرات التدخلات البشرية في مستجمعات المياه. فالمنهجية المستخدمة للبحث عن اتجاهات يمكن أن تؤثّر أيضاً في النتائج. وعلى سبيل المثال، يمكن لاختبارات إحصائية مختلفة أن تعطي مؤشرات مختلفة ذات دلالة؛ فالفترات المختلفة للتسجيل (وخصوصاً تواريخ البداية والنهاية) يمكن أن تشير إلى معدلات مختلفة للتغيير؛ وعدم السماح بوجود علاقة متبادلة شاملة بين مستجمعات المياه يمكن أن تؤدي إلى الإفراط في تقدير أعداد مستجمعات المياه مما يبيّن حدوث تغيير كبير. وهناك قيد آخر في تحليل الاتجاهات يتمثل في توافر البيانات المتناسقة، والتي تخضع لعامل الجودة. ولا تغطي سجلات قياس تدفقات المجاري المائية سوى ثلثي المنطقة البرية التي جرى تصريف المياه منها بشكل ناشط على المستوى العالمي، وهي غالباً ما تتضمن ثغرات وتختلف في طول السجلات (Dai و Trenberth، 2002). وأخيراً فإن التدخلات البشرية أثّرت في نظم التدفقات في كثير من مستجمعات المياه. [WGI 3.3.4, 9.1, 9.5.1; WGII 1.3.2]

وعلى النطاق العالمي، هناك دليل يشير إلى وجود إطار متماسك بشكل عام للتغيير في الجريان السنوي، مع بعض المناطق التي تشهد زيادة في الجريان (على سبيل المثال مناطق خطوط العرض العليا وأجزاء كبيرة من الولايات المتحدة الأمريكية) ومناطق أخرى مثل (أجزاء من غرب أفريقيا، والمناطق الجنوبية من أوروبا، وأقصى الجنوب في أمريكا الجنوبية)، حيث تشهد نقصاناً في الجريان (Milly وآخرون، 2005، ودراسات كثيرة على نطاق المستجمعات). وهذه التغيرات في الجريان من سنة إلى أخرى تتأثر أيضاً في كثير من بقاع العالم بسبب أنماط مناخية كبيرة النطاق ترتبط على سبيل المثال بظاهرة النينيو/التذبذب الجنوبي، وتذبذب شمال المحيط الأطلسي ونمط شمال أمريكا - المحيط الهادئ . وادعت دراسة (اضطلع بها Labat وآخرون، 2004) حدوث زيادة بنسبة 4% في مجموع الجريان العالمي لكل ارتفاع في درجة الحرارة يبلغ درجة مئوية واحدة أثناء القرن العشرين.[11] مع تغيرات إقليمية حول هذا الاتجاه، بيد أن الجدل حول هذا الإستنتاج (Labat وآخرون، 2004؛ Legates وآخرون، 2005) ركّز على آثار الدوافع غير المناخية على الجريان، وأثر عدد صغير من نقاط البيانات على النتائج. وعزا Gedney وآخرون (2006) الزيادات واسعة النطاق في الجريان أثناء القرن العشرين إلى حد كبير إلى كبح عملية التبخر - النتح من خلال زيادة تركزات ثاني أكسيد الكربون (التي تؤثر على القدرة على توصيل التيار الكهربائي من خلال الفتحات الصغيرة)، على الرغم من صعوبة العثور على أدلة أخرى لمثل هذه العلاقة، ويعرض الفرع 2.1.4 أدلة تشير إلى حدوث زيادة في عملية التبخر - النتح [WGII 1.3.2]

وليست الاتجاهات في الجريان متوافقة دائماً مع التغيرات في هطول المطر. وهذا قد يرجع إلى قيود في البيانات (خصوصاً تغطية بيانات الهطول)، وأثر تدخلات الإنسان مثل حجز المياه في الخزانات (كما هو الحال في الأنهار الرئيسية في أوراسيا)، أو الآثار المنافسة للتغيرات في الهطول ودرجة الحرارة (كما هو الحال في السويد: انظر Lindstrom و Bergstrom، 2004).

وتوجد مع ذلك، أدلة أقوى وأوسع نطاقاً بكثير تشير إلى أن توقيت تدفقات الأنهار في كثير من المناطق حيث يتساقط الهطول في الشتاء على هيئة ثلوج قد تغير بدرجة كبيرة. فارتفاع درجات الحرارة يعني أن نسبة أكبر من كميات الأمطار الهاطلة أثناء الشتاء تهطل كمطر وليس كثلج، كما يبدأ فصل ذوبان الجليد في وقت أبكر. وموعد مياه الثلوج الذائبة في بقاع من نيوانغلند قد تقدم بمقدار أسبوع إلى أسبوعين في الفترة من 1936 و 2000 (Hodgkins وآخرون، 2003)، رغم أن هذا له تأثير لا يكاد يُذكر على تدفقات الصيف (Hodgkins وآخرون، 2005). [WGII 1.3.2]

2.1.7 أنماط التقلبية واسعة النطاق

ينطوي نظام المناخ على عدد من الأنماط المميزة للتقلبية التي لها تأثير مباشر على عناصر الدورة الهيدرولوجية. وقد تتباين المناخات الإقليمية خارج الطور، بسبب فعل هذه الروابط عن بُعد. فهذه الروابط غالباً ما تكون مرتبطة بحالات جفاف وفيضانات، وبتغيرات أخرى لها تأثيرات هامة على البشر. وترد أدناه استعراض موجز للأنماط الرئيسية للروابط عن بُعد. وترد مناقشة كاملة حول هذا الموضوع في الفرع 3.6 من تقرير التقييم الرابع الذي وضعه الفريق العامل الأول.

[11] على التوالي ENSO = النينيو - التذبذب الجنوبي، NAO = تذبذب شمال المحيط الأطلسي، PNA = نمط شمال أمريكا – المحيط الهادئ، انظر الفرع 2.1.7 والمسرد من أجل مزيد من التوضيح.

وأي رابطة عن بعد يحددها إطار مكاني وسلاسل زمنية تصف التغيرات في حجمها وطورها. ويمكن تحديد الأنماط المكانية على شبكة منقطة أو بمؤشرات استناداً إلى الرصدات التي تجريها المحطات. وعلى سبيل المثال، يستند مؤشر التذبذب الجنوبي (SOI) فحسب إلى اختلافات في متوسط حالات شذوذ الضغط عند سطح البحر بين تاهيتي (شرقي المحيط الهادئ) وداروين (غربي المحيط الهادئ)، بيد أنه يستحوذ على كثير من تقلبية دوران واسع النطاق في الغلاف الجوي في جميع أنحاء المناطق المدارية في المحيط الهادئ. وتميل أنماط الروابط عن بُعد إلى الظهور بشكل أبرز من غيره في فصل الشتاء (خصوصاً في نصف الكرة الشمالي)، عندما يكون متوسط الدوران في أقوى درجاته. وتختلف قوة الروابط عن بُعد، والطريقة التي تؤثر بها على مناخ السطح أيضاً على مدى نطاقات زمنية طويلة. [WGI 3.6.1]

ويبين مؤشر التذبذب الجنوبي (SOI) مكون الغلاف الجوي الخاص بظاهرة النينيو/التذبذب الجنوبي (ENSO)، وهو أهم أسلوب للتقلبية الدولية للغلاف العالمي. ولظاهرة النينيو/التذبذب الجنوبي تأثيرات عالمية على دوران الغلاف الجوي، وعلى هطول المطر ودرجة الحرارة (Trenberth و Caron، 2000). وترتبط ظاهرة النينيو/التذبذب الجنوبي بتحول من الشرق إلى الغرب في هطول المطر في المناطق المدارية في المحيط الهادئ، وترتبط بتغيير في مناطق التلاقي المدارية الأساسية. كما ترتبط ظاهرة النينيو/التذبذب الجنوبي باضطرابات تموجية في دوران الغلاف الجوي خارج المناطق المدارية، مثل نمط شمال أمريكا - المحيط الهادئ، ونمط المحيط الهادئ – أمريكا الجنوبية، الذي توجد به تأثيرات مناخية إقليمية رئيسية. وتتباين قوة وتواتر ظواهر النينيو/التذبذب الجنوبي على نطاق العقود، بالارتباط مع التذبذب العقدي في المحيط الهادئ، والمعروف أيضاً بأنه التذبذب ما بين العقود في المحيط الهادئ، والذي يغير متوسط حالة درجات الحرارة السطحية في المحيطات ودوران الغلاف الجوي في المناطق المدارية على نطاقات زمنية لعشرين سنة أو أطول من ذلك. وقد ارتبط تغير المناخ في الفترة 1977/1976 (Trenberth، 1990) مع التغيرات في تطور ظاهرة النينيو (Trenberth و Stepaniak، 2001) والميل نحو وجود هذه الظاهرة على فترات أطول وأقوى. وحتى الآن لا يوجد تغير قابل للكشف رسمياً في تقلبية التذبذب الجنوبي/النينيو في الرصدات. [WGI 3.6.2,3.6.3]

وفي خارج المناطق المدارية، تهيمن على التقلبية في الدوران في الغلاف الجوي على نطاقات زمنية تبلغ شهراً أو أطول، تغيرات في قوة وأماكن التيارات المتدفقة وما يرتبط بها من مسارات العواصف، التي تتسم بالنمط الحلقي الشمالي (NAM) والنمط الحلقي الجنوبي (SAM)، على التوالي: Quadrelli و Wallace، 2004؛ Trenberth وآخـرون، 2005). ويتصل النمط الحلقي الشمالي اتصالاً وثيقاً بالتذبذب في شمال المحيط الأطلسي (NAO)، رغم أن هذا الأخير يرتبط ارتباطاً شديداً في معظمه بمسار عواصف المحيط الأطلسي وبالتغيرات في المناخ فوق أوروبا. ويتسم التذبذب في شمال المحيط الأطلسي بحالات شذوذ في الضغط خارج الطور بين خطوط العرض المعتدلة وخطوط العرض العليا فوق قطاع المحيط الأطلسي. ويترك التذبذب في شمال المحيط الأطلسي أهم تأثير له في الشتاء عندما يظهر طوره الإيجابي (السلبي) أثراً معززاً (متناقصاً) في نظام ضغط أيسلندا المنخفض وفي قطاع ضغط جزر الأزور المرتفع (Hurrell وآخرون، 2003). وللنمط الحلقي الشمالي (NAM) المترابط بدقة، نسق مماثل فوق المحيط الأطلسي، بيد أنه متناسب من ناحية خطوط الطول. وللتذبذب في شمال المحيط الأطلسي (NAO) تأثير قوي على درجات الحرارة السطحية في وقت الشتاء فوق كثير من بقاع نصف الكرة الشمالي، وعلى شدة العصف وهطول المطر فوق أوروبا وشمال أفريقيا، مع تزحزح نحو القطب في هطول المطر في الطور الإيجابي، وتزحزح نحو خط الاستواء في الطور السلبي. وتوجد أدلة تشير إلى حدوث فترات أطول في الطور الإيجابي والسلبي للتذبذب في شمال المحيط الأطلسي (NAO) أثناء القرون القليلة الماضية (Cook وآخرون، 2002؛ Jones وآخرون، 2003a). وفي فصل الشتاء، حدث انعكاس من القيم الدنيا للمؤشر في أواخر الستينيات من القرن العشرين إلى قيم إيجابية بقوة بالنسبة لمؤشر التذبذب في شمال المحيط الأطلسي في منتصف التسعينات. ومنذ ذلك الحين، انخفضت قيم التذبذب في شمال المحيط الأطلسي إلى ما يقرب من متوسطها الطويل الأجل. وتشير دراسات العزو الخاصة بأسباب التغير إلى أن الاتجاه خلال العقود الأخيرة في النمط الحلقي الشمالي (NAM) من المرجح أن يرتبط في جزء منه بالنشاط البشري. ومع ذلك، فإن الاستجابة للتأثير الطبيعي والتأثير البشري المنشأ الذي تجري محاكاته بنماذج مناخية، تعتبر أصغر من الاتجاه المرصود. [WGI 3.6.4,9.ES].

ويرتبط النمط الحلقي الجنوبي (SAM) بتغيرات متزامنة في الضغط في علامة عكسية في خطوط العرض الوسطي والعليا، مما يعكس تغيرات في الحزام الأساسي للرياح الغربية في المنطقة شبه القطبية. وتحدث عواصف غربية معززة في المحيط الجنوبي في الطور الإيجابي من النمط الحلقي الجنوبي (SAM) الذي أصبح أكثر شيوعاً في العقود الأخيرة، مما أدى إلى حدوث مزيد من الأعاصير في المناطق المحيطة بالقطب (Sinclair وآخرون، 1997)، وزحزحة نحو القطب في هطول المطر، وإسهام أكبر في الهطول في المنطقة المتجمدة الجنوبية (Noone وSimmonds، 2002). ويؤثر النمط الحلقي الجنوبي أيضاً في الأنماط المكانية لتقلبية هطول المطر في المنطقة المتجمدة الجنوبية (Genthon وآخرون، 2003) والمناطق الجنوبية من أمريكا الجنوبية (Silvestri و Vera، 2003). وتشير نماذج المحاكاه إلى أن الاتجاه الأخير في النمط الحلقي الجنوبي تأثر بزيادة تركز غازات الدفيئة، ولا سيما بنضوب أوزون الستراتوسفير. [WGI 3.6.5,9.5.3.3]

وتُظهر درجات حرارة سطح البحر SSTs في شمال المحيط الأطلسي اختلافاً خلال سبعين سنة أثناء استخدام فترة الأدوات (وفي عمليات إعادة البناء غير المباشرة). المسماة التذبذب متعدد العقود في المحيط الأطلسي (AMO: Kerr، 2000). وحدثت مرحلة دافئة خلال الفترة 1930-1960 وفترات باردة فيما بين 1905 و1925 وفيما بين 1970 و1990) Schlesinger وRamankutty، 1994). ويبدو أن التذبذب المتعدد العقود في المحيط الأطلسي قد عاد إلى مرحلة دافئة ابتداءً من منتصف التسعينات. وقد يرتبط هذا التذبذب بتغيرات في قوة الـدوران الحراري الملحي (Delworth وMann، 2000؛ Latif، 2001؛ وSutton وHodson، 2003؛ Knight وآخرون، 2005). وقد ارتبط هذا التذبذب أيضاً بحالات

شذوذ متعددة السنوات في هطول المطر فوق أمريكا الشمالية ويبدو أنه يغيِّر في الصلات عن بُعد الخاصة بظاهرة النينيو/التذبذب الجنوبي (Enfield وآخرون، 2001؛ McCabe وآخرون، 2004؛ Shabbar و Skinner، 2004) ويؤدي أيضاً دوراً في تكون الأعاصير المدارية فوق المحيط الأطلسي (Goldenberg وآخرون، 2001). ويعتقد أن التذبذب متعدد العقود في المحيط الأطلسي (AMO) من دوافع التغيرات متعددة العقود فيما يتعلق بالجفاف في منطقة الساحل، والهطول في منطقة البحر الكاريبي، والمناخ الصيفي في كل من أمريكا الشمالية وأوروبا، وتركز الجليد البحري في بحر غرينلاند، وضغط مستوى سطح البحر فوق المناطق الجنوبية من الولايات المتحدة الأمريكية، وشمال المحيط الأطلسي والمناطق الجنوبية من أوروبا (على سبيل المثال، Venegas و Mysak، 2000؛ Goldenberg وآخرون، 2001؛ Sutton وHodson، 2005؛ Trenberth و Shea، 2006). [WGI 3.6.6]

2.2 التأثيرات والتأثيرات التفاعلية للتغيرات الهيدرولوجية على المناخ

رُصدت بعض العلاقات المترابطة القوية بين درجة الحرارة والهطول في كثير من المناطق. ويقدم هذا دليلاً على أن العمليات التي تتحكم في الدورة الهيدرولوجية ودرجة الحرارة متقارنة بشكل وثيق. وعلى نطاق عالمي، تعمل التغيرات في بخار الماء والسحب والجليد على تغير ميزان إشعاع الأرض ومن ثم تؤدي دوراً رئيساً في تحديد استجابة المناخ لتزايد غازات الدفيئة. والأثر العالمي لهذه العمليات على استجابة درجات الحرارة يناقش في الفرع 8.6 في تقرير التقييم الرابع الذي أعده الفريق العامل الأول. ونناقش في هذا الفرع، بعض العمليات التي من خلالها يمكن للتغيرات في المتغيرات الهيدرولوجية أن تنتج آثاراً تفاعلية على المناخ الإقليمي، أو في ميزانية الغلاف الجوي من غازات الدفيئة الرئيسية. والهدف من هذا الفرع ليس إجراء مناقشة شاملة لهذه العمليات، بل توضيح التقارن الدقيق للعمليات الهيدرولوجية مع بقية نظام المناخ. [WGI 3.3.5، الفصل 7، و8.6]

2.2.1 تأثيرات سطح الأرض

تعكس أرصدة المياه السطحية مدى توافر الماء والطاقة على السواء. وفي المناطق التي يرتفع فيها معدل توافر المياه، تتحكم في عملية التبخر – النتح خواص كل من طبقة حدود الغلاف الجوي والغطاء النباتي السطحي. ويمكن أن تحدث التغيرات في رصيد المياه السطحية تأثيراً تفاعلياً مع نظام المناخ بإعادة تدوير الماء في الطبقة الحدودية (بدلاً من السماح لها بأن تجري أو تخترق مستويات التربة العميقة). وتعتبر علامة وحجم هذه الآثار في كثير من الأحيان متغيرة جداً، ويتوقف ذلك على تفاصيل البيئة المحلية. ومن ثم فقد تصبح عمليات التأثير التفاعلي هذه في بعض الأحيان، رغم كونها صغيرة نسبياً على نطاق عالمي، هامة للغاية في نطاقات مكانية أو زمنية أصغر، بحيث تؤدي إلى تغيرات إقليمية/محلية في التقلبية أو الأحوال الجوية المتطرفة. [WGI 7.2]

وتصور هذا التعقيد تأثيرات إزالة الغابات على المناخ. وتشير بعض الدراسات إلى أن إزالة الغابات يمكن أن تؤدي إلى انخفاض درجات الحرارة وقت النهار وزيادات في سحب الطبقة الحدودية كنتيجة لازدياد البياض، وعملية التبخر- النتح، وفقدان الحرارة الكامنة. ومع ذلك، فإن هذه التأثيرات تتوقف على خصائص كل من استبدال الغطاء النباتي وسطح الارتكاز من التربة/الثلوج، وقد اقترحت في بعض الحالات تأثيرات مضادة. وتعتبر آثار إزالة الغابات على هطول المطر معقدة أيضاً حيث وجدت آثار سلبية وإيجابية أيضاً، ويتوقف ذلك على الصفات المميزة لسطح التربة والغطاء النباتي. [WGI 7.2, 7.5]

وأشار عدد من الدراسات إلى أن وجود الغطاء النباتي، في المناطق شبه القاحلة من مثل منطقة الساحل يمكن أن يُحسِّن الأحوال المتعلقة بنموه وذلك بإعادة تدوير مياه التربة في الغلاف الجوي، حيث يمكن أن تتكثف لتهطل مرة أخرى. ويمكن أن تنجم عن هذا إمكانية نشوء توازنات متعددة في هذه المناطق، إما بهطول المطر ووجود الغطاء النباتي أو بدونهما، كما أنه يشير إلى إمكانية حدوث فترات انتقال فجائية في النظام، كما حدث في التغير من الحقبة الهولوسينية إلى الظروف الحديثة. [WGI الفصل 6، 7.2]

وتعتبر رطوبة التربة مصدراً للكمون الحراري بسبب طاقتها الحرارية والحرارة الكامنة المطلوبة للتبخر. ولهذا السبب، أشير إلى رطوبة التربة باعتبارها عنصر تحكم هام، على سبيل المثال في درجة حرارة الصيف وهطول المطر. وتعتبر التأثيرات التفاعلية بين رطوبة التربة وهطول المطر ودرجات الحرارة هامة بصفة خاصة في مناطق الانتقال ما بين المناطق الجافة والرطبة، بيد أن قوة التقارن بين رطوبة التربة وهطول المطر تتباين بنسبة تقريبية عشرية بين مختلف نماذج المناخ، وليست التقييدات الخاصة بالرصد متاحة حالياً لتضييق فجوة عدم اليقين هذه. [WGI 7.2, 8.2]

وينشأ عنصر آخر للتحكم في هطول المطر من خلال إغلاق المسام الصغيرة استجابة لتزايد تركيزات ثاني أكسيد الكربون. وبالإضافة إلى اتجاه هذا التأثير إلى زيادة الجريان من خلال إحداث نقصان واسع النطاق في مجموع عملية التبخر/النتح (الفرع 2.3.4)، فإنه يمكن أن يؤدي إلى انخفاضات كبيرة في هطول المطر في بعض المناطق. [WGI 7.2]

وتترك التغيرات في الغطاء الثلجي نتيجة للاحترار على المستوى الإقليمي تأثيرها التفاعلي على درجة الحرارة من خلال التغيرات في البياض. وفي حين يختلف حجم هذا التأثير التفاعلي بدرجة كبيرة بين النماذج، تشير الدراسات الحديثة إلى أن معدل ذوبان الثلوج في الربيع قد يوفر تقديرات جيدة ملحوظة لقوة هذا التأثير التفاعلي، مما يتيح إمكانية خفض عدم اليقين في التنبؤات المستقبلية بالتغير في درجة الحرارة في المناطق التي تغطيها الثلوج. [WGI 8.6]

2.2.2 التأثيرات التفاعلية عن طريق التغيرات في دوران المحيطات

يعمل تزويد المحيطات بالمياه العذبة على تغيير الملوحة، ومن ثم كثافة ماء البحر. وبالتالي يمكن أن تعمل التغييرات الحادثة في الدورة الهيدرولوجية على تغيير دوران المحيطات المدفوع بفعل الكثافة («الدفع الحراري الملحي») وبعد ذلك يحدث التأثير التفاعلي على المناخ. وثمة مثال على ذلك وهو الدوران الانقلابي الجنوبي (MOC) في شمال المحيط الأطلسي. ولهذا الدوران تأثير هام على درجة

الحرارة السطحية، وعلى هطول المطر ومستوى البحر في المناطق حول شمال المحيط الأطلسي وما وراءها. ومن المقدَّر أن يضعف الدوران الانقلابي الجنوبي أثناء القرن الحادي والعشرين، ويعتبر هذا الضعف هاماً في تخفيف استجابة التغير الإجمالي للمناخ. وبوجه عام، من المتوقع أن يحدث ضعف في الدوران الانقلابي الجنوبي لتخفيف معدل الاحترار في خطوط العرض الوسطى الشمالية، بيد أن بعض الدراسات تشير إلى أن ذلك سوف يسفر عن معدل متزايد للاحترار في المنطقة المتجمدة الشمالية. وهذه الاستجابات سوف تؤثر تفاعلياً مرة أخرى على هطول المطر على نطاق واسع في مناطق خطوط العرض الاستوائية وخطوط العرض الوسطى في المحيط الأطلسي. وفي حين يكون الدافع الأكبر في ضعف الدوران الانقلابي الجنوبي هو احترار السطح (وليس عملية التجدد) في مناطق مصادر المياه العميقة، تلعب التغيرات الهيدرولوجية دوراً هاماً، ويعتبر عدم اليقين في التغذية بالمياه العذبة إسهاماً هاماً في الانتشار الواسع النطاق بين النماذج في الإسقاطات الخاصة باستجابة الدوران الانقلابي الجنوبي. وتشير التغيرات المرصودة في ملوحة المحيطات خلال العقود الأخيرة إلى حدوث تغييرات في التغذية بالمياه العذبة. وفي حين تبين عمليات إدماج جميع العناصر تقريباً في نموذج الدوران العام ما بين الغلاف الجوي والمحيطات نوعاً من الضعف في الدوران الانقلابي الجنوبي في القرن الحادي والعشرين، لا تبين أية عناصر نوعاً من الانتقال المفاجئ إلى حالة مختلفة. ويعتبر حدوث مثل هذه الظاهرة غير مرجح جداً في القرن الحادي والعشرين، بيد أنه من غير الممكن تقدير أرجحية هذه الظواهر في الأجل الأطول. [WGI 10.3.4]

وقد جرت بشكل واضح في الإسقاطات المناخية الراهنة نمذجة التغييرات في هطول المطر والتبخر والجريان وتأثيرها على الدوران الانقلابي الجنوبي. ومع ذلك، تشمل بضعة نماذج مناخية تمثيلاً مفصلاً للتغيرات في توازن كتل الصفائح الجليدية في غرينلاند والمنطقة المتجمدة الجنوبية، وهو ما يمثل مصدراً إضافياً ممكناً للمياه العذبة الموجهة إلى المحيط. وتشمل الدراسات القليلة المتاحة حتى الآن نمذجة تفصيلية للتغذية بالمياه العذبة من غرينلاند لا تشير إلى أن هذا المصدر الإضافي سوف يغيِّر الاستنتاجات العريضة المعروضة أعلاه. [WGI 5.2, 8.7, 10.3، الإطار 10.1]

2.2.3 الانبعاثات والبالوعات المتأثرة بالعمليات الهيدرولوجية أو التأثيرات التفاعلية الكيميائية الحيوية الأرضية

يمكن للتغييرات في الدورة الهيدرولوجية أن تؤدي إلى تغذية مرتدة للمناخ من خلال التغييرات في ميزانيات الغلاف الجوي من ثاني أكسيد الكربون، والميثان والأنواع الكيميائية الأخرى الناشطة إشعاعياً، والتي غالباً ما ينظمها الغلاف الحيوي. وتعتبر العمليات المشاركة في هذا معقدة؛ على سبيل المثال، فإن استجابة تنفس التربة متباين التغذية، وهو مصدر لثاني أكسيد الكربون الذي يؤدي إلى تزايد درجة الحرارة تعتمد بقوة على مقدار رطوبة التربة. وقد ساعد وجود جيل جديد من النماذج المناخية، تستجيب فيه دورة الغطاء النباتي والكربون لتغير المناخ، على تقصي بعض هذه العمليات لأول مرة. وتشير جميع النماذج إلى أن هناك تأثيرات تفاعلية إيجابية لتغير المناخ على دورة الكربون العالمية، مما يسفر عن نسبة أكبر من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون البشرية المنشأ الباقية في الغلاف الجوي في مناخ أدفأ. ومع ذلك، فإن حجم التغذية المرتدة الإجمالية يتباين بدرجة كبيرة بين النماذج؛ وتعتبر التغيرات في صافي الإنتاجية الرئيسية الأرضية غير يقينية بصفة خاصة، مما يعكس السبب وراء الانتشار في الإسقاطات المتعلقة بتغير هطول المطر على المستوى الإقليمي. [WGI 7.3]

ويوجد عدد من المصادر والبالوعات الخاصة بالميثان يعتبر حساساً للتغير الهيدرولوجي، على سبيل المثال، الأراضي الرطبة، والأرض الصقيعية، و(مصادر) زراعة الأرز، وتأكسد التربة (البالوعة). وهناك أنواع كيميائية ناشطة مثل الأوزون وقد تبيَّن أنها حساسة للمناخ، ومرة أخرى كما هو معهود من خلال آليات كيميائية حيوية أرضية معقدة. وتعتبر ميزانيات الأهباء في الغلاف الجوي حساسة بشكل مباشر لهطول المطر (على سبيل المثال من خلال إغراق مصادر التراب الأرضي، وأهمية الترسُّب السائل كبالوعة) والتأثير التفاعلي للأهباء على هطول المطر من خلال العمل كنويات للتكثُّف، وبالتالي التأثير على كفاءة السحب فيما يتعلق بهطول المطر. ويبقى حجم هذه التأثيرات التفاعلية غير يقيني، وهي مدرجة بشكل عام بطرق بسيطة فحسب في الجيل الحالي من النماذج المناخية. [WGI 7.4]

2.3 التغييرات المسقطة في المناخ من حيث صلتها بالماء

حدث تقدُّم كبير في الإسقاطات المتعلقة بتغير المناخ، بالمقارنة بتلك الإسقاطات التي كانت موضع النظر في إطار تقرير التقييم الثالث، وهي تتمثل في وجود عدد كبير من المحاكاة المتاحة من نطاق أعرض من نماذج المناخ، ويجرى استغلالها لمختلف أغراض سيناريوهات الانبعاثات. وتشير إسقاطات أفضل التقديرات من النماذج إلى أن المتوسط العقدي للاحترار على كل قارة مأهولة بحلول سنة 2030 غير حساس لاختيار سيناريو التقرير الخاص عن سيناريوهات الانبعاثات الصادر عن الهيئة، ومن المرجح جداً أن يكون على الأقل ضعف الرقم (حوالي درجتين مئويتين 0.2° س كل عقد) مثل التقلبية الطبيعية المقدَّرة في النموذج المناظر خلال القرن العشرين. وسوف يُحدث استمرار انبعاثات غازات الدفيئة عند معدلاتها الحالية أو فوق هذه المعدلات في إطار السيناريوهات الخاصة بعدم التخفيف والواردة في التقرير الخاص عن سيناريوهات الانبعاثات مزيداً من الاحترار وكثيراً من التغيرات في نظام المناخ العالمي خلال القرن الحادي والعشرين، ومن المرجح جداً أن تكون هذه التغييرات أكبر من تلك المرصودة خلال القرن العشرين. وأن المتوسط العالمي المسقط لتغير درجة الحرارة فيما يتعلق بالفترة 2090-2099 بالنسبة إلى الفترة (1980-1999، في إطار السيناريوهات الإرشادية الواردة في التقرير الخاص عن سيناريوهات الانبعاثات يتراوح بين 1.8° درجة مئوية (أفضل تقدير، من المرجح أن يتراوح بين 1.1° درجة مئوية و2.9° درجة مئوية) فيما يتعلق بالسيناريو B1، و4.0° درجات مئوية (أفضل تقدير، من المرجح أن يتراوح بين 2.4°درجة مئوية إلى 6.4°درجة مئوية) فيما يتعلق بالسيناريو A1F1. وتشير التقديرات المسقطة إلى أن الاحترار سيكون في أكبر معدل له فوق اليابسة وفي معظم مناطق خطوط العرض العليا الشمالية وفي أقل معدل له فوق المحيط الجنوبي ومناطق من شمال المحيط الأطلسي. ومن المرجح جداً أن الأحوال المتطرفة الساخنة وموجات الحرارة سوف تستمر لتصبح أكثر تواتراً. [WGI ملخص لصانعي السياسات (SPM)، الفصل 10]

عدم *اليقين في الإسقاطات الهيدرولوجية*
تنشأ جوانب عدم اليقين في التغيرات المسقطة في النظام الهيدرولوجي من التقلبية الداخلية لنظام المناخ، وعدم اليقين في الانبعاثات المستقبلية لغازات الدفيئة والأهباء، وتحول هذه الانبعاثات إلى تغير مناخ بفضل نماذج المناخ العالمية، وعدم اليقين في النماذج الهيدرولوجية. وبحلول القرن الحادي والعشرين وفي إطار السيناريو A1B، تعتبر الاختلافات بين إسقاطات هطول المطر في النموذج المناخي مصدراً لعدم اليقين أكبر من التقلبية الداخلية. وهذا يدل ضمناً أيضاً على أن التغيرات في المتوسط السنوي للهطول تتجاوز في حالات كثيرة التقلبية الداخلية (المنمذجة) هذه المرة. وتصبح الإسقاطات أقل اتساقاً بين النماذج حيث يتناقص النطاق المكاني. [WGI 10.5.4.3] وفي مناطق خطوط العرض العليا وفي أجزاء من المناطق المدارية، تعرض جميع النماذج أو جميعها تقريباً زيادة في هطول المطر، في حين يتناقص الهطول في بعض المناطق شبه المدارية والمناطق المتدنية في خطوط العرض الوسطى في جميع النماذج أو جميعها تقريباً. وبين مجالات الزيادة والنقصان القوية هذه، فإنه حتى علامة تغير الهطول تكون غير متسقة في الجيل الحالي من النماذج. [WGI 10.3.2.3, 10.5.4.3] وفيما يتعلق بجوانب أخرى من الدورة الهيدرولوجية، مثل التغيرات في عملية التبخر، ورطوبة التربة والجريان، يعتبر الانتشار النسبي في الإسقاطات مماثلاً، أو أكبر من التغيرات في هطول المطر. [WGI 10.3.2.3]

وتنشأ مصادر أخرى لعدم اليقين في الإسقاطات الهيدرولوجية من هيكل النماذج المناخية الراهنة. وترد في الفرع 2.2 بعض أمثلة العمليات التي على أحسن الفروض مجرد ممثلة في النماذج المناخية. وتستبعد النماذج الراهنة بوجه عام بعض التأثيرات التفاعلية من تغير الغطاء النباتي إلى التغير المناخي. كما أن معظم، إن لم تكن كل نماذج المحاكاة المستخدمة لاستنباط إسقاطات مناخية، تستبعد أيضاً التغيرات البشرية المنشأ في غطاء الأرض. وتعتبر معالجة تأثير الأهباء البشرية المنشأ بسيطة نسبياً في معظم نماذج المناخ. وفي حين يشمل بعض النماذج طائفة عريضة من أنواع الأهباء بشرية المنشأ، وإن كان من المحتمل أنها أنواع هامة، مثل الكربون الأسود، إلا أنها ناقصة في معظم أمثلة المحاكاة المستخدمة فيما يتعلق بتقرير التقييم الرابع (انظر المناقشة لعزو أسباب التغييرات المرصودة، في الفرع 2.1). ويستبعد أكثر من نصف نماذج تقرير التقييم الرابع التأثيرات غير المباشرة للأهباء على السُحب. كما أن تحليل النماذج المناخية الراهنة يحد أيضاً من التمثيل الصحيح للأعاصير المدارية والأمطار الغزيرة. [WGI 8.2.1, 8.2.2, 8.5.2, 8.5.3, 10.2.1]

وتنشأ جوانب عدم اليقين من إدراج نتائج النماذج المناخية في الدراسات المتعلقة بالمياه العذبة لسببين: النطاقات المكانية المختلفة لنماذج المناخ العالمي والنماذج الهيدرولوجية، والانحيازات في متوسط الهطول الطويل الأجل على النحو الذي تحتسبه نماذج المناخ العالمي فيما يتعلق بالمناخ الحالي. وقد استخدم عدد من الأساليب لمعالجة الاختلافات في النطاقات، حيث تتراوح من الاستنتاج البسيط لنتائج النماذج المناخية إلى أساليب دينامية أو إحصائية في تقليص النطاقات، بيد أن جميع هذه الأساليب تنطوي على جوانب عدم يقين في الإسقاطات، وغالباً ما تعالج التحيزات في عمليات محاكاة متوسط الهطول بإضافة جوانب شذوذ منمذجة إلى الهطول المرصود بغية الحصول على مجموعة البيانات الدافعة فيما يتعلق بالنماذج الهيدرولوجية. ولهذا، فإن التغيرات في التقلبية فيما بين السنوات أو من يوم ليوم في بارامترات المناخ لا تؤخذ في الحسبان في معظم دراسات الأثر الهيدرولوجي. ويؤدي هذا إلى تقدير منقوص لما يحدث في المستقبل من فيضانات ونوبات جفاف واحتياجات من مياه الري. [WGII 3.3.1]

وتنشأ جوانب عدم يقين فيما يتعلق بتأثيرات تغير المناخ على الموارد المائية ونوبات الجفاف والفيضانات من أسباب مختلفة مثل مختلف سيناريوهات التنمية الاقتصادية وانبعاثات غازات الدفيئة، ونمذجة المناخ والنمذجة الهيدرولوجية. ومع ذلك، ليست هناك حتى الآن دراسة تقيم كيف يكون رد فعل مختلف النماذج الهيدرولوجية لنفس الإشارة الخاصة بتغير المناخ. [WGII 3.3.1] ومنذ إجراء تقرير التقييم الثالث، يؤخذ عدم اليقين الخاص بإسقاطات النماذج المناخية المتعلقة بتقييمات المياه العذبة في الاعتبار باستخدام مجموعات النماذج المتعددة. وتعتبر التقييمات الاحتمالية الرسمية شيئاً نادراً. [WGII 3.3.1, 3.4]

ورغم جوانب عدم اليقين هذه، تتوافر بعض النتائج القوية. ففي الفروع التي يرد ذكرها تالياً، تناقش جوانب عدم اليقين في التغييرات المسقطة، استناداً إلى التقييمات الواردة في تقرير التقييم الرابع.

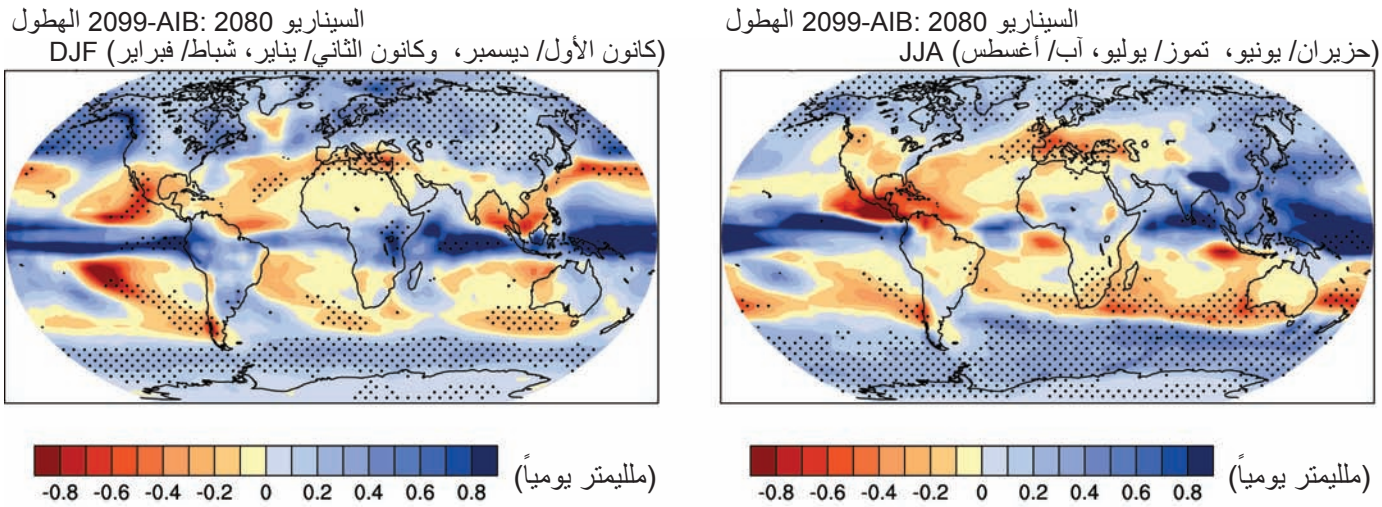
2.3.1 الهطول (بما في ذلك الأحوال الجوية المتطرفة) وبخار الماء

2.3.1.1 متوسط الهطول

تبين إسقاطات المناخ باستخدام المجموعات المتعددة النماذج زيادات في متوسط بخار الماء على الصعيد العالمي وكذلك في التبخر والهطول خلال القرن الحادي والعشرين. وتشير النماذج إلى أن الهطول يزداد بشكل عام في مناطق الهطول الأقصى الإقليمية المدارية (مثل نُظم الموسميات والمحيط الهادئ المداري بصفة خاصة) وفي مناطق خطوط العرض العليا، مع انخفاضات عامة في المناطق شبه المدارية. [WGI SPM, 10.ES,10.3.1, 10.3.2]

وتعتبر الزيادات في الهطول في مناطق خطوط العرض العليا في فصلي الشتاء والصيف متسقة بدرجة عالية عبر النماذج (انظر الشكل 2.7). وتعتبر زيادات الهطول فوق المناطق المدارية في المحيطات وفي بعض نُظم الموسميات، على سبيل المثال، الموسميات في جنوب آسيا في فصل الصيف (حزيران/يونيو إلى آب/أغسطس) والموسميات الأسترالية في الصيف (كانون الأول/ديسمبر إلى شباط/فبراير) ملحوظة، ولئن كانت غير متسقة محلياً، فإنه يتحقق اتفاق كبير على النطاق الأعرض في المناطق المدارية. وهناك انخفاضات واسعة النطاق في الهطول الصيفي في خطوط العرض الوسطى، باستثناء حدوث زيادات في شرقي آسيا. وتعتبر الانخفاضات في الهطول فوق كثير من المناطق شبه المدارية واضحة في متوسط المجموعات المتعددة النماذج، وغالباً ما يكون الاتساق في علامة التغير فيما بين النماذج عالياً – وخصوصاً في بعض المناطق مثل المناطق المدارية في أمريكا الوسطى – منطقة البحر الكاريبي ومنطقة البحر الأبيض المتوسط. [WGI 10.3.2] ويرد في الفرع 5 عرض لمزيد من مناقشة التغيرات الإقليمية.

ويعرض الشكل 2.8 التوزيع العالمي للتغير الحادث في الفترة 2080-2099 في متوسط الهطول السنوي فيما يتعلق بالسيناريو A1B الوارد في التقرير الخاص عن سيناريوهات الانبعاثات إلى جانب بعض الكميات الهيدرولوجية الأخرى المتأتية من مجموعة تضم 15 نموذجاً.



الشكل 2.7: *متوسط التغيرات في خمسة عشر نموذجاً للهطول (الوحدة مم/يومياً (mm/day) في كانون الأول/ ديسمبر وكانون الثاني/ يناير وشباط/ فبراير DJF (إلى اليسار) وفي حزيران/ يونيو وتموز/ يوليو وآب/ أغسطس JJA (إلى اليمين). وتعرض هنا التغييرات فيما يتعلق بالسيناريو AIB الوارد في التقرير الخاص عن سيناريوهات الانبعاثات (SRES)، فيما يتعلق بالفترة 2080-2099 بالنسبة إلى الفترة 1980-1999. ويشير النقش بالنقط إلى مناطق يتجاوز فيها حجم متوسط مجموعات النماذج المتعددة الانحراف المعياري فيما بين النماذج. [WGI الشكل 10.9]*

وتحدث زيادات في الهطول السنوي تتجاوز نسبة 20 في المائة في معظم خطوط العرض العليا، وكذلك في المنطقة الشرقية من أفريقيا، والجزء الشمالي من آسيا الوسطى والمنطقة الاستوائية في المحيط الهادئ. وتحدث انخفاضات هامة تبلغ 20 في المائة في منطقة البحر الأبيض المتوسط ومنطقة البحر الكاريبي وفي السواحل الغربية شبه المدارية في كل قارة. وعموماً، يبلغ الهطول فوق الأرض زيادات تصل إلى 5 في المائة في حين يزداد الهطول فوق المحيطات بنسبة 4 في المائة. ويمثل صافي التغير فوق الأرض نسبة 24 في المائة من متوسط الزيادة العالمية في الهطول. [WGI 10.3.2]

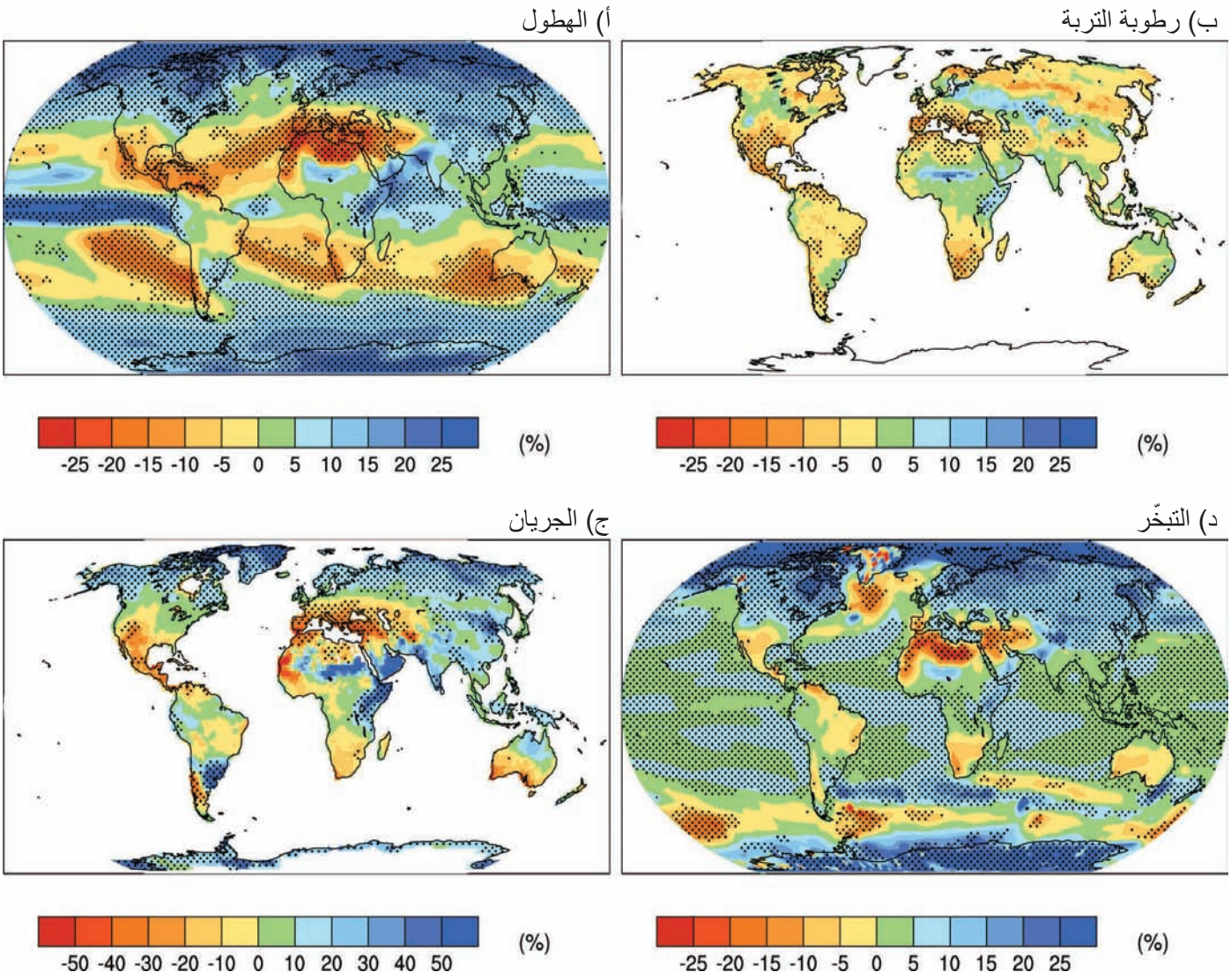
وفي إسقاطات النماذج المناخية المتعلقة بالقرن الحادي والعشرين، يتوازن المتوسط العالمي لتغيرات التبخر مع تغير الهطول على المستوى العالمي، بيد أن هذه العلاقة ليست واضحة على النطاق المحلي بسبب التغيرات في انتقال بخار الماء في الغلاف الجوي. ويزداد المتوسط السنوي للتبخر فوق كثير من أجزاء المحيط، مع تغيرات مكانية تميل إلى الارتباط بتغيرات في احترار السطح. ويتزايد تلاقي رطوبة الغلاف الجوي فوق المحيطات في المناطق الاستوائية وفوق خطوط العرض العليا. وتميل تغيرات سقوط الأمطار فوق الأرض إلى أن تتوازن بالتبخر والجريان. وعلى نطاقات عالمية، يقدَّر محتوى الغلاف الجوي من بخار الماء بأنه آخذ في الازدياد استجابة لدرجات الحرارة الأدفأ، مع بقاء الرطوبة النسبية ثابتة تقريباً. وهذه الزيادة في بخار الماء تحدث تأثيراً تفاعلياً إيجابياً على احترار المناخ، حيث إن بخار الماء هو غاز من غازات الدفيئة. ويرتبط بهذا تغيير في المقطع الرأسي لدرجة حرارة الغلاف الجوي («معدل التفاوت») الذي يعوض جزئياً التأثير التفاعلي الإيجابي. وتدعم الدلائل التي ظهرت أخيراً من النماذج ومن الرصدات بشكل قوي تأثيراً تفاعلياً مشتركاً لبخار الماء/ معدل التفاوت، على مناخ يتسم بقوة تقارن بتلك الموجودة في نماذج الدوران العام للمناخ. [WGI 8.6.10 ES.10.3.2]

2.3.1.2 ظواهر الهطول المتطرفة

من المرجح جداً أن تصبح ظواهر الهطول الغزير أكثر تواتراً. فمن المقدَّر أن تزداد كثافة ظواهر الهطول، وخصوصاً في المناطق المدارية ومناطق خطوط العرض العليا التي تشهد زيادات في متوسط الهطول. وهناك ميل لحدوث جفاف في المناطق القارية الوسطى أثناء الصيف، مما يدل على وجود مخاطر أكبر لحدوث نوبات جفاف في هذه المناطق. وفي معظم المناطق المدارية في خطوط العرض الوسطى والعليا، يتزايد الهطول المتطرف بأكثر من معدل الهطول المتوسط. [WGI 10.3.5, 10.3.6]

وتمثلت نتيجة من النتائج المعروفة منذ عهد طويل المتأتية من النماذج المتقارنة العالمية المشار إليها في تقرير التقييم الثالث، وفي أرجحية حدوث زيادة مسقطة في الجفاف في الصيف في المناطق الوسطى من خطوط العرض، مع ما يرتبط بذلك من خطر الجفاف (الشكل 2.8). وتظهر خمسة عشر تجربة حديثة للنموذج المتقارن للدوران العام بين الغلاف الجوي والمحيطات والجليد البحري (AOGCM) وأجريت من أجل مناخ أدفأ مستقبلاً، حدوث جفاف في الصيف في معظم أجزاء المناطق الشمالية شبه المدارية والمناطق الوسطى من خطوط العرض، بيد أن هناك مدى واسعاً لاتساع الجفاف في الصيف عبر النماذج. ويمكن لنوبات الجفاف المرتبطة بهذا النوع من الجفاف الصيفي أن تسفر عن ذبول الغطاء النباتي على المستوى الإقليمي وأن تسهم في زيادة في النسبة المئوية للمساحة الأرضية التي تشهد جفافاً في أي وقت بعينه؛ فعلى سبيل المثال يتزايد الجفاف المتطرف من نسبة 1 في المائة من المساحة الأرضية الحالية (بالتحديد) إلى نسبة 30 في المائة بحلول سنة 2100 في السيناريو A2. ويمكن أن يسهم المزيد من الجفاف في التربة أيضاً في مزيد من الموجات الحارة الشديدة. [WGI 10.3.6]

وترتبط بخطر الجفاف أيضاً زيادة مسقطة في مخاطر الهطول الغزير والفيضان. ورغم أن هذا عكس ما هو بدهي إلى حد ما، فإنه يعود إلى أن المُسقط هو أن يتركز الهطول في ظواهر أكثر شدة مع فترات أطول



الشكل 2.8: *متوسط التغييرات في خمسة عشر نموذجاً في (أ) الهطول (%) (ب) المحتوى من رطوبة التربة (%)، (ج) الجريان (%) و (د) التبخّر (%). ولتبيان الاتساق في علامة التغيير، نُقشت نقط على المناطق التي تتفق فيها نسبة 80 في المائة على الأقل من النماذج على علامة متوسط التغيير. والتغييرات هي متوسطات سنوية للسيناريو AIB الوارد في التقرير الخاص عن سيناريوهات الانبعاثات (SRES) فيما يتعلق بالفترة 2099-2080 بالنسبة إلى الفترة 1999-1980. وتظهر التغييرات في رطوبة التربة والجريان عند نقاط على اليابسة مع بيانات صحيحة من عشرة نماذج على الأقل. [استناداً إلى الفريق العامل الأول WGI، الشكل 10.12]*

لهطول أقل في الفترة البينية (انظر الفرع 2.1.1 من أجل الاطلاع على مزيد من التوضيح). ولهذا، تتناثر أحداث الهطول الشديد العَرَضية مع كميات كبيرة من الجريان مقترنة بفترات جفاف أطول نسبياً مع زيادة في عملية التبخر - النتح، وخصوصاً في المناطق شبه المدارية. ومع ذلك، ورهناً بالعتبة المستخدمة لتحديد هذه الظواهر، فإن أي زيادة في تواتر الأيام الجافة لا تعني بالضرورة نقصاناً في تواتر الظواهر المتطرفة لهطول الأمطار الغزيرة. وارتبط جانب آخر لهذه التغيرات بتغيرات في متوسط هطول المطر مع ظواهر متطرفة مطيرة تصبح أشد في كثير من المناطق حيث يتزايد متوسط الهطول، وكذلك ظواهر متطرفة من الجفاف تصبح أكثر شدة حيث يقل متوسط هطول المطر. [WGI 10.3.6]

وتبين الإسقاطات المناخية المتعددة النماذج فيما يتعلق بالقرن الحادي والعشرين حدوث زيادات في شدة هطول المطر وفي عدد الأيام الجافة المتتالية في مناطق كثيرة (الشكل 2.9). وتتزايد شدة هطول المطر تقريباً في كل مكان، بيد أنها تزداد في المناطق الوسطى والعالية من خطوط العرض حيث يتزايد متوسط هطول المطر. ومع ذلك توجد في الشكل 2.9 (في الجزء الأدنى) مناطق لتزايد مرور أيام جافة بين ظواهر هطول المطر في المناطق شبه المدارية والمناطق المنخفضة في خطوط العرض الوسطى، لكن مع حدوث تناقص في الأيام الجافة في المناطق العالية من خطوط العرض الوسطى وخطوط العرض العليا حيث يتزايد متوسط هطول المطر. [WGI 10.3.6.1]

ونظراً لوجود مناطق تتسم بحدوث زيادات ونقصان على السواء في الأيام الجافة المتتالية بين ظواهر هطول المطر في المتوسط المتعدد النماذج (الشكل 2.9)، تعتبر متوسطات الاتجاهات العالمية أصغر وأقل اتساقاً عبر النماذج. ولا تُظهر مجموعة ظواهر فيزيائية

مضطربة مع نموذج واحد سوى مناطق محدودة ذات تواتر متزايد ثابت في الأيام المطيرة في تموز/يوليو. وفي هذه المجموعة يوجد نطاق أوسع من التغيرات في ظواهر الهطول المتطرفة بالنسبة إلى متوسط مجموعة الاختبار (بالمقارنة مع الاستجابة الأكثر ثباتاً لدرجات الحرارة المتطرفة). ويشير هذا إلى استجابة أقل ثباتاً لظواهر الهطول المتطرفة، بوجه عام، مقارنة بدرجات الحرارة المتطرفة. [WGI 10.3.6 FAQ 10.1]

واستناداً إلى طائفة من النماذج، من المرجح أن تصبح الأعاصير المدارية في المستقبل أكثر شدة، مع سرعات رياح أكبر وتبلغ الذروة، ومزيد من هطول المطر الغزير مع زيادات مستمرة في درجات حرارة سطح البحر في المناطق المدارية. وتوجد ثقة أقل في الإسقاطات المتعلقة بانخفاض عالمي في أعداد الأعاصير المدارية. [WGI SPM]

2.3.2 الثلوج والجليد الأرضي

من المقدَّر مع احترار المناخ، أن ينكمش الغطاء الثلجي ويتناقص، وتفقد الأنهار الجليدية والقلنسوات الجليدية جزءاً من كتلتها نتيجة لأن زيادة في ذوبان الجليد في الصيف أكبر منها لدى سقوط الثلوج في الشتاء. ومن المقدَّر أن تحدث استجابة للاحترار، زيادات واسعة الانتشار في عمق الذوبان فوق كثير من مناطق التربة الصقيعية. [WGI SPM.10.3.3].

2.3.2.1 التغيرات في الغطاء الثلجي، والأرض المتجلدة وجليد البحيرات والأنهار

يشكل الغطاء الثلجي استجابة متكاملة لدرجة الحرارة وهطول المطر على السواء، وهو يظهر ارتباطاً سلبياً قوياً مع درجة حرارة الهواء في معظم المناطق مع الغطاء الثلجي الفصلي. وبسبب هذا الارتباط بدرجة الحرارة، تعرض عمليات المحاكاة انخفاضات واسعة النطاق في الغطاء الثلجي خلال القرن الحادي والعشرين، رغم وجود زيادات مسقطة في مناطق أعلى في خطوط العرض. وعلى سبيل المثال تعرض النماذج المناخية المستخدمة في تقييم تأثير المناخ في المنطقة المتجمدة الشمالية نسبة انخفاض قدرها من 9 إلى 17 في المائة في المتوسط السنوي للغطاء الثلجي في نصف الكرة الشمالي في إطار السيناريو B2 قبل حلول نهاية القرن. ومن المقدَّر بوجه عام، أن يبدأ فصل تراكم الثلوج في وقت متأخر، وأن يبدأ فصل ذوبان الثلوج في وقت أبكر، وأن يتناقص الغطاء الثلجي الجزئي أثناء فصل الثلوج. [WGI 10.3.3.2، الفصل 11]

وتشير النتائج المتأتية من النماذج المتأثرة بطائفة من سيناريوهات المناخ التي أعدتها الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ إلى أنه من المرجح بحلول منتصف القرن الحادي والعشرين، أن تتناقص منطقة التربة الصقيعية في نصف الكرة الشمالي بنسبة تتراوح بين 20 و35 في المائة. ولا تعتبر التغيرات المسقطة فيما يتعلق بعمق ذوبان الجليد الفصلي موحَّدة لا في المكان ولا في الزمان. ومن المرجح في العقود الثلاثة التالية أن تكون أعماق الطبقة الناشطة في حدود 10 إلى 15 في المائة من قيمها الحالية فوق معظم منطقة التربة الصقيعية؛ وبحلول منتصف القرن، قد يزيد عمق الذوبان الفصلي بمتوسط بتراوح بين 15 و25 في المائة وبنسبة 50 في المائة أو أكثر في الأماكن الواقعة في أقصى الشمال؛ وبحلول سنة 2080، من المرجح أن يزداد بنسبة تتراوح بين 30 و50 في المائة أو أكثر فوق جميع مناطق التربة الصقيعية. [WG11 15.3.4]

وتشير التنبؤات إلى أن الاحترار بسبب انخفاضات في الجليد النهري وجليد البحيرات. بيد أن المتوقع هو أن يتوازن هذا التأثير مع بعض الأنهار المتدفقة الكبيرة صوب الشمال بسبب انخفاض التناقضات الإقليمية في درجات الحرارة من الجنوب إلى الشمال وما يتصل بها من تدرجات هيدرولوجية وطبيعية. [WGII 15.4.1.2]

2.3.2.2 الأنهار الجليدية والقلنسوات الجليدية

مع احترار المناخ طوال القرن الحادي والعشرين، من المقدَّر أن تفقد الأنهار الجليدية والقمم الجليدية شيئاً من كتلتها بسبب سيطرة الذوبان الصيفي على زيادات هطول المطر في الشتاء. واستناداً إلى نماذج محاكاة لـ11 نهراً جليدياً في مختلف المناطق، تشير الإسقاطات إلى نقص كمية تصل نسبتها إلى 60 في المائة من هذه الأنهار الجليدية بحلول سنة 2050 (Schneeberger وآخرون، 2003). وتشير دراسة مقارنة تشمل سبعة نماذج محاكاة لنموذج الدوران العام (GCM) للمناخ في 2 x في ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي إلى أن كثيراً من الأنهار الجليدية سوف يختفي بشكل كامل بسبب الزيادة في ارتفاع خط التوازن (Bradley وآخرون، 2004). ويعتبر اختفاء هذه الكتل الجليدية أسرع من عملية محتملة لإعادة تكون الأنهار الجليدية بعد عدة قرون من هذا الحين، وقد يكون ذلك غير قابل للانعكاس في كثير من المناطق. [WGI 10.7.4.2، الإطار 10.1] وتبين الإسقاطات العالمية للقرن الحادي والعشرين انكماشاً في الأنهار الجليدية والقلنسوات الجليدية بنسبة -0.17 0.07 م مما يعادل سطح البحر من الكتلة الحالية المقدَّرة للأنهار الجليدية والقمم الجليدية بما يتراوح بين 0.37-0.15 م من تكافؤ مستوى سطح البحر. [WGI الفصل 4.14 الجدول 10.7]

2.3.3 مستوى سطح البحر

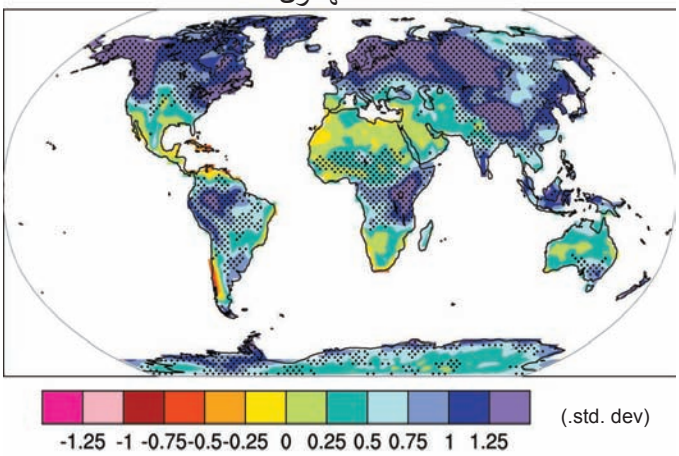
لأن فهمنا الحالي لبعض الدوافع الهامة وراء ارتفاع مستوى سطح البحر محدود للغاية، لا يقيّم تقرير التقييم الرابع مدى أرجحية ارتفاع مستوى سطح البحر، ولا ينص على أفضل تقدير لهذا الارتفاع ولا على الحد الأعلى له. ولا تشمل هذه الإسقاطات أياً من حالات عدم اليقين من التأثيرات التفاعلية بشأن دورة المناخ – الكربون أو الآثار الكاملة للتغييرات في تدفق صفائح الجليد؛ ولهذا ينبغي ألا تعتبر القيم العليا للنطاقات حدوداً أعلى فيما يتعلق بارتفاع مستوى سطح البحر. وتبلغ الإسقاطات المستندة إلى النماذج بخصوص المتوسط العالمي لارتفاع مستوى سطح البحر بين أواخر القرن العشرين (1980-1999) ونهاية هذا القرن (2090-2099) ما يتراوح بين 0.18 و0.59 م، استناداً إلى انتشار نتائج النموذج المتقارن للدوران العام بين الغلاف الجوي والمحيطات والجليد البحري ومختلف سيناريوهات التقرير الخاص عن سيناريوهات الانبعاثات (SRES)، ولكن مع استبعاد أوجه عدم اليقين المشار إليها أعلاه. وفي جميع السيناريوهات الملاحظة في التقرير الخاص عن سيناريوهات الانبعاثات، فيما عدا السيناريو B1، فإن المعدل المتوسط لارتفاع مستوى سطح البحر أثناء القرن الحادي والعشرين من المرجح جداً أن يتجاوز المعدل المتوسط للفترة 1961- 0.5 ± 1.8) 2003 مم/سنوياً). ويعتبر التوسع الحراري هو أكبر عنصر،

حيث يسهم بنسبة تتراوح بين 70-75 في المائة من التقدير الأساسي في هذه الإسقاطات بالنسبة لجميع السيناريوهات. ومن المقدَّر أن تسهم الأنهار الجليدية والقلنسوات الجليدية والصفيحة الجليدية في غرينلاند أيضاً بشكل إيجابي في مستوى سطح البحر. وتشير نماذج الدوران العام للمناخ إلى أن الصفيحة الجليدية للمنطقة المتجمدة الجنوبية سوف تتلقى مزيداً من سقوط الثلوج دون حدوث ذوبان سطحي هام، وبالتالي سوف تكتسب المزيد من الكتلة وتسهم بشكل سلبي في سطح البحر. وتشير الإسقاطات إلى أن ارتفاع مستوى سطح البحر خلال القرن الحادي والعشرين سوف يشهد تقلبية جغرافية كبيرة. [التقرير التجميعي 3.2.1؛ WGI ملخص لصانعي السياسات، 10.6.5، الملخص الفني 5.2] وقد يستلزم الفقدان الجزئي لصفائح الجليد في غرينلاند و/أو المنطقة المتجمدة الجنوبية ارتفاع عدة أمتار في مستوى سطح البحر، وتغيرات كبيرة في الخطوط الساحلية وغرق المناطق الواطئة، مع حدوث أكبر الآثار في دلتا الأنهار وفي الجزر الواطئة. وتشير النمذجة الحالية إلى أن هذه التغييرات ممكنة فيما يتعلق بغرينلاند خلال نطاقات زمنية ألفية السنوات، بيد أنها بسبب عمليات التدفق الجليدي الديناميي في صفائح الجليد تعتبر حالياً غير مفهومة بشكل جيد، ولا يمكن استبعاد ارتفاعات سريعة أكثر في مستوى سطح البحر على نطاقات زمنية على مستوى القرون. [WGI SPM، WGII 19.3]

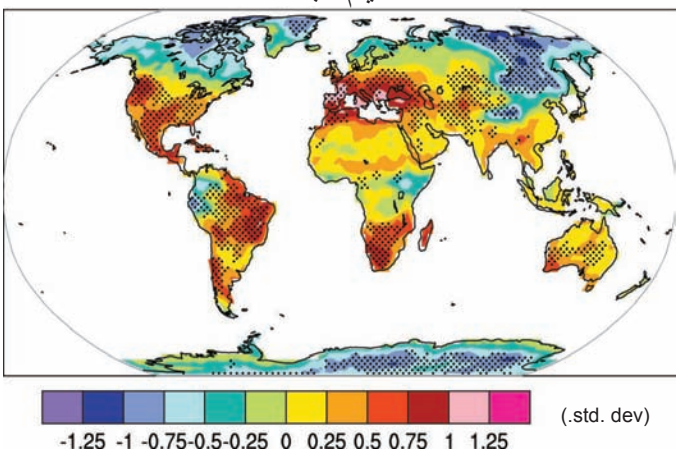
2.3.4 التبخُّر - النتح

من المقدَّر أن يزيد متطلب التبخر، أو 'التبخر المحتمل' في كل مكان تقريباً. ويرجع هذا إلى أن قدرة الغلاف الجوي على حمل الماء تتزايد مع تزايد ارتفاع درجات الحرارة، بيد أنه ليس من المقدَّر أن تتغير الرطوبة النسبية بشكل ملحوظ. ويتزايد العجز في بخار الماء في الغلاف الجوي نتيجة لذلك، كما يتزايد معدل التبخر (Trenberth وآخرون، 2003). [WGI الشكلان 10.9 و10.12؛ WGII 3.2، 3.3.1] ومن المقدَّر أن يزداد التبخر الفعلي فوق المياه المكشوفة، على سبيل المثال، فوق كثير من المحيطات [WGI الشكل 10.12] وفوق البحيرات، مع تغيرات مكانية تميل إلى الارتباط بالتغيرات المكانية في احترار السطح. [WGI 10.3.2.3، الشكل 10.8] والتغيرات في عملية التبخر - النتح فوق الأراضي تتحكم فيها تغيرات في الهطول وفي التأثير الإشعاعي، وهذه التغيرات سوف تؤثر بدورها على ميزانية الماء في الجريان، ورطوبة التربة، والماء في المستودعات، وفي مستوى المياه الجوفية وتملُّح المستودعات المائية الضحلة. [WGII 3.4.2]

شدة الهطول



الأيام الجافة



الشكل 2.9: *التغيرات في الظواهر المتطرفة استناداً إلى محاكاة متعددة النماذج من تسعة نماذج مناخية متقارنة عالمية في الفترة 2080-2099 بالنسبة إلى الفترة 1980-1999 فيما يتعلق بالسيناريو AIB. وتغييرات في الأنماط المكانية لكثافة الهطول (محددة بالهطول الإجمالي السنوي مقسوماً على عدد الأيام المطيرة) (الخريطة العليا)؛ وتغييرات في الأنماط المكانية للأيام الجافة (محددة بالعدد الأقصى السنوي للأيام الجافة المتوالية) (الخريطة السفلى). ويشير النقش بالنقط إلى مناطق تتوافق فيها خمسة نماذج من النماذج التسعة في تحديد مدى أهمية التغير من الناحية الإحصائية. أما مؤشرات الحالات المتطرفة فهي محسوبة فقط فوق الأرض اليابسة. وترد التغييرات في وحدات من الانحرافات المعيارية. [WGI الشكل 10.18]*

ويترتب على وجود نسبة كبيرة من ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي أثران متنافسان محتملان فيما يتعلق بعملية التبخر – النتح من الغطاء النباتي. فمن ناحية، يمكن للتركزات الأعلى من ثاني أكسيد الكربون أن تخفض عملية النتح لأن المسام الصغيرة الموجودة في الأوراق، والتي تتم منها عملية النتح من النبات، يتعين أن تتفتح بدرجة أقل بغية استيعاب نفس القدر من ثاني أكسيد الكربون من أجل عملية التمثيل الضوئي (انظر Gedney وآخرون، 2006، رغم أنه من الصعب وجود دلائل أخرى لإثبات هذه العلاقة). وعلى العكس من ذلك، فإن وجود تركزات أعلى من ثاني أكسيد الكربون يمكن أن يزيد من نمو النبات، مما ينتج عنه زيادة في حجم الأوراق، وبالتالي تزايد عملية النتح. وتتباين المقادير النسبية لهذين المؤثرين ما بين أنواع النباتات واستجابة لتأثيرات أخرى، مثل توافر المواد المغذية وتأثيرات التغيرات في درجة الحرارة وتوافر الماء. ولتعليل آثار زيادة تركزات ثاني أكسيد الكربون على عملية التبخر - النتح يتطلب الأمر إدراج نموذج ديناميي للغطاء النباتي. ويفعل هذا الآن عدد صغير من النماذج (Rosenberg وآخرون، 2003؛ Gerten وآخرون، 2004؛ Gordon وFamiglietti، 2004؛ Betts وآخرون، 2007)، ولكن عادة ما يكون على النطاق العالمي وليس على نطاق المستجمع المائي، مع أن الدراسات بشأن نماذج الغطاء النباتي في حالة التوازن تشير إلى أن زيادة المساحة الورقية قد تعادل انسداد المسام الصغيرة (Betts وآخرون، 1997؛ Kergoat وآخرون، 2002)، وتشير الدراسات الخاصة بالنماذج الدينامية للغطاء النباتي العالمي إلى أن تأثيرات انسداد المسام الصغيرة في الأوراق تتجاوز تلك الزيادة في مساحة الأوراق. وإذا أخذت في الاعتبار التغيرات التي يحدثها ثاني أكسيد الكربون في الغطاء النباتي، فإنه جرت محاكاة متوسط الجريان

العالمي في إطار مناخ 2 x ثاني أكسيد الكربون ($2XCO_2$) مع الزيادة بمقدار 5% تقريباً نتيجة لانخفاض عملية التبخر – النتح بسبب زيادة تركيزات ثاني أكسيد الكربون وحدها (Leipprand وGerten، 2006؛ Betts وآخرون، 2007). [WGII 3.4.1]

2.3.5 رطوبة التربة

تتوقف التغييرات في رطوبة التربة على التغيرات في حجم وتوقيت ليس فقط هطول المطر، بل أيضاً التبخر (الذي قد يتأثر بالتغيرات في الغطاء النباتي). ويختلف التوزيع الجغرافي للتغيرات في رطوبة التربة بالتالي بدرجة طفيفة عن توزيع التغيرات في هطول المطر؛ ويستطيع ارتفاع معدل التبخر أن يعادل وأكثر، الزيادات في هطول المطر. وتحاكي النماذج الرطوبة في بضعة أمتار أعلى من سطح الأرض بطرق مختلفة، ولا يزال من الصعب تقييم المحتوى من رطوبة التربة. وتبين الإسقاطات الخاصة بالمتوسط السنوي للمحتوى من رطوبة التربة (الشكل 2.8b) عادة انخفاضات في المناطق شبه المدارية ومنطقة البحر الأبيض المتوسط، بيد أن هناك زيادات في شرق أفريقيا وآسيا الوسطى وبعض المناطق الأخرى ذات الهطول الزائد. ويحدث نقصان في مناطق خطوط العرض العليا، حيث يتناقص الغطاء الثلجي (الفرع 2.3.2). وفي حين يكون حجم التغيرات في كثير من الأحيان غير يقيني، هناك ثبات في إشارة التغير في كثير من هذه المناطق، وتحدث أنماط مماثلة في التغيير في النتائج الفصلية. [WGI 10.3.2.3]

2.3.6 الجريان وتصريف الأنهار

تعتمد التغيرات في تدفقات الأنهار وفي مستويات البحيرات والأراضي الرطبة، بسبب تغير المناخ في المقام الأول على التغيرات في حجم وتوقيت الهطول، وتعتمد أساساً على ما إذا كان هطول المطر يسقط في شكل ثلوج أم أمطار. وتؤثر التغيرات في عملية التبخر أيضاً في تدفقات الأنهار. وقد نُشرت في المجلات العلمية عدة مئات من الدراسات عن التأثيرات الممكنة لتغير المناخ على تدفقات الأنهار، وعُرضت دراسات أخرى كثيرة في التقارير الداخلية. وتركز الدراسات بشدة على أوروبا وأمريكا الشمالية وأستراليا، مع عدد صغير من الدراسات من آسيا. وتستخدم جميع الدراسات بالفعل نموذجاً هيدرولوجياً لمستجمعات المياه مدفوعاً بسيناريوهات تستند إلى عمليات محاكاة نموذج المناخ، وجميعها تقريباً على نطاق مستجمعات المياه. أما الدراسات عالمية النطاق القليلة التي أجريت باستخدام الجريان الذي تمت محاكاته مباشرة بفعل تغير المناخ [WGI 10.3.2.3] والنماذج الهيدرولوجية المدارة بشكل غير مباشر [WGII 3.4] فتظهر أن الجريان يزداد في مناطق خطوط العرض العليا والمناطق الرطبة المدارية وينخفض في الأجزاء الوسطى من خطوط العرض وبعض أجزاء المناطق المدارية الجافة. ويبين الشكل 2.8c متوسط تغير الجريان في المجموعة في إطار السيناريو A1B. وينخفض الجريان بشكل ملحوظ في المناطق الجنوبية من أوروبا ويزداد في جنوب شرق آسيا وفي خطوط العرض العليا، حيث يوجد اتساق بين النماذج في إشارة التغير (وإن كان الاتساق أقل في حجم التغير). وتبلغ التغيرات الأكبر نسبة 20% أو أكثر من القيم المحاكاة في الفترة 1980-1999، مع نطاق يتراوح من 1 إلى 5 مم/يومياً في المناطق الأكثر رطوبة إلى أقل من 0.2 مم/يومياً في الصحارى. وتزداد التدفقات في أنهار مناطق خطوط العرض العليا، في حين تميل إلى الانخفاض تلك التدفقات من الأنهار الرئيسية في الشرق الأوسط وأوروبا وأمريكا الوسطى. [WGI 10.3.2.3] بيد أن مقدار التغير يتباين بين نماذج المناخ، وفي بعض المناطق مثل جنوبي آسيا، يمكن أن يزداد الجريان أو يتناقص. وكما هو مبيَّن في الفرع 2.2.1، فإن آثار زيادة تركيزات ثاني أكسيد الكربون قد تؤدي إلى انخفاض التبخر، ومن ثم تحدث زيادات أكبر أو انخفاضات أصغر في حجم الجريان. [WGI 7.2]

ويبين الشكل 2.10 التغير في الجريان السنوي فيما يتعلق بالفترة 2090-2099 بالمقارنة بالفترة 1980-1999. وتمثل القيم متوسط 12 نموذجاً للمناخ باستخدام السيناريو A1B الوارد في التقرير الخاص عن سيناريوهات الانبعاثات (SRES). وتستخدم طرائق التظليل والتبييض لوضع علامات على المناطق التي تتفق فيها النماذج أو تختلف، على التوالي بشأن علامة التغير: وتُلاحَظ المناطق الكبيرة حيث يعتبر اتجاه التغير غير يقيني. وتصور هذه الخريطة العالمية للجريان السنوي تغيرات واسعة النطاق، وليس المقصود منها أن تفسر على نطاقات زمنية (فصلية على سبيل المثال) ومكانية صغيرة. وفي المناطق التي تكون فيها كميات الأمطار والجريان منخفضة جداً (على سبيل المثال المناطق الصحراوية)، يمكن أن تؤدي تغيرات صغيرة في الجريان السطحي إلى نسبة مئوية كبيرة من التغيرات. وفي بعض المناطق، تختلف علامة التغيرات المسقطة في الجريان من اتجاهات مرصودة حديثاً (الفرع 2.1.6). وفي بعض المناطق ذات الزيادات المسقطة في الجريان، من المتوقع حدوث تأثيرات فصلية مختلفة، مثل زيادة الجريان في الفصل المطير وانخفاض الجريان في الفصل الجاف. [WGII 3.4.1]

وثمة اكتشاف قوي جداً وهو أن الاحترار يمكن أن يؤدي إلى تغييرات في الطابع الفصلي لتدفقات الأنهار حيث إن كثيراً من هطول أمطار الشتاء يسقط حالياً في شكل ثلوج، مع انخفاض تدفقات الربيع بسبب انخفاض الثلوج الذائبة أو الثلوج الذائبة قبل أوانها، وزيادة التدفقات الشتوية. وقد اكتشفت هذه الظاهرة في جبال الألب الأوروبية، وفي اسكندينافيا وحوالي منطقة بحر البلطيق، وروسيا، وجبال الهيمالايا والمناطق الغربية والوسطى والشرقية من أمريكا الشمالية. ويعتبر التأثير في أكبر معدل له في الهضاب المنخفضة، حيث يكون سقوط الثلوج هامشياً أكثر، وفي كثير من الحالات تكون تدفقات الذروة في منتصف القرن الحادي والعشرين حيث تحدث على الأقل قبل أوانها بشهر. وفي المناطق التي يقل أو ينعدم فيها سقوط المطر، تعتمد التغيرات في الجريان بدرجة أكثر على التغيرات في سقوط المطر أكثر من اعتمادها على التغيرات في درجة الحرارة. ويتضمن معظم الدراسات في هذه المناطق إسقاطات تشير إلى زيادة في الطابع الفصلي للتدفقات، في كثير من الأحيان مع تدفقات أعلى في فصل ذروة التدفق وتدفقات أقل أثناء فصل التدفق المنخفض أو فترات الجفاف الممتدة. [WGII 3.4.1]

وكثير من الأنهار التي تستجلب المياه من المناطق المغطاة بالجليد، وخصوصاً في السلاسل الآسيوية الجبلية العالية وجبال الأنديز في أمريكا الجنوبية إنما تبقى جارية بسبب ذوبان الأنهار الجليدية أثناء فترات الدفء والجفاف. وسيؤدي تراجع هذه الأنهار الجليدية بسبب الاحترار العالمي إلى زيادة تدفقات الأنهار في الأجل القصير، بيد أن إسهام المياه الذائبة من الأنهار الجليدية سوف يتناقص تدريجياً خلال العقود القليلة القادمة. [WGII 3.4.1]

وتعكس التغيرات في مستويات البحيرات تغيرات في التوزيع الفصلي لعمليات سيلان الأنهار وهطول المطر والتبخُّر، وفي بعض الأحيان، تندمج بمرور سنوات كثيرة. ولهذا قد تستجيب البحيرات بطريقة غير خطية جداً لتغير خطي في المدخلات. وتشير دراسات خاصة بالبحيرات العظمى في أمريكا الشمالية وبحر قزوين إلى حدوث تغيرات في مستويات المياه بحوالي عدة عشرات من السنتيمترات وفي بعض الأحيان بالأمتار بحلول نهاية القرن. [WGII 3.4.1]

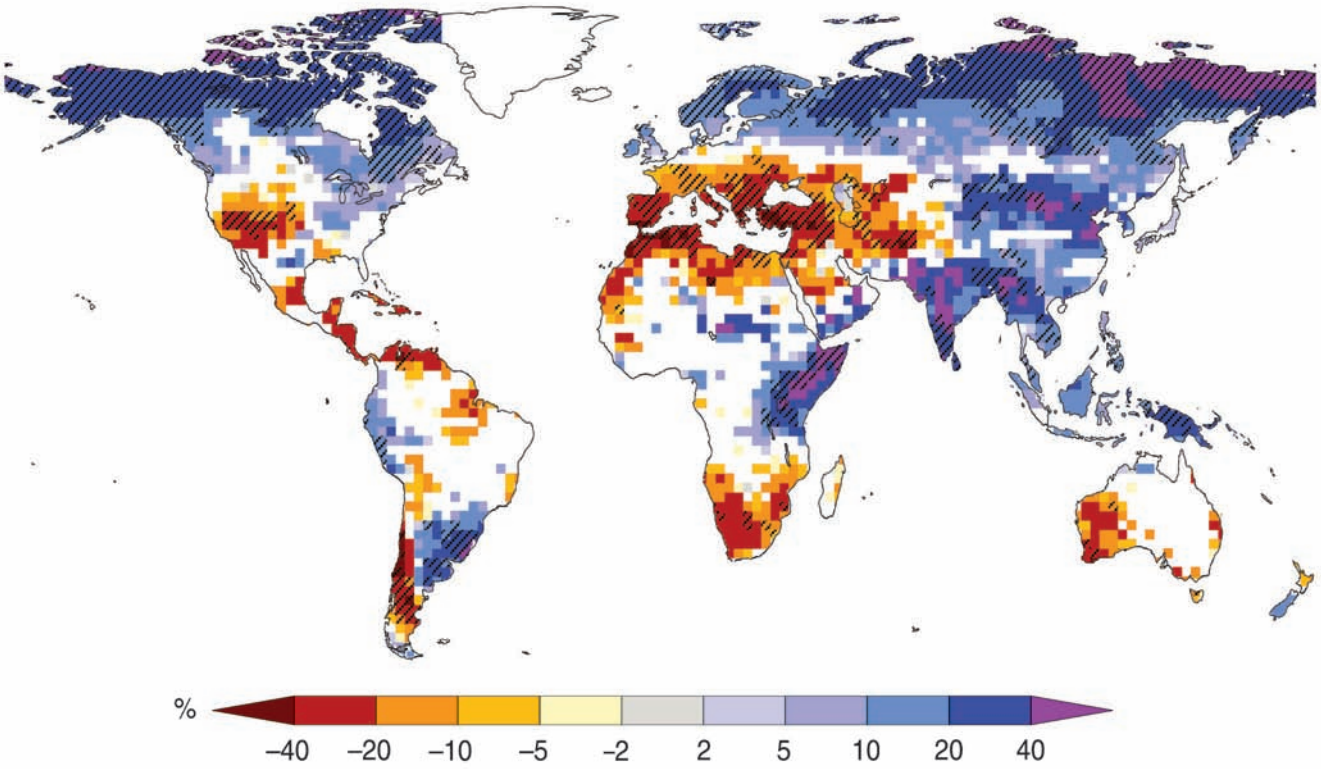
2.3.7 أنماط التقلبية واسعة النطاق

استناداً إلى النماذج المناخية العالمية الوارد تقييمها في تقرير التقييم الرابع، من المتوقع في الإسقاطات زيادة ضغط مستوى سطح البحر فوق المناطق شبه المدارية والمناطق الوسطى من خطوط العرض، وتناقصه فوق خطوط العرض العليا. وترتبط هذه التغيرات بتوسع في دوران هادلي واتجاهات إيجابية في النمط الحلقي الشمالي/التذبذب الشمال أطلسي (NAM/NAO) والنمط الحلقي الجنوبي (SAM). ونتيجة لهذه التغيرات، تشير التقديرات المسقطة إلى أن مسارات العواصف سوف تتحرك نحو القطب، مع حدوث تغيرات تالية في أنماط الرياح وهطول المطر ودرجات الحرارة خارج المناطق المدارية، واستمرار الإطار العريض للاتجاهات المرصودة على مدى نصف القرن الأخير. [WGI ملخص فني، 10.3.5.6, 10.3.6.4]

ومن المرجح أن تصبح الأعاصير المدارية في المستقبل أكثر شدة، مع حدوث سرعات رياح أكبر تبلغ الذروة، وهطول مطر أغزر يرتبطان بزيادات مستمرة في درجات الحرارة عند مستوى سطح البحر في المناطق المدارية [WGI SPM.10.3.6.3]

وتشير الإسقاطات إلى أن درجات حرارة سطح البحر في المناطق الوسطى والشرقية الاستوائية من المحيط الهادئ سوف تزيد في المتوسط، عن درجة الحرارة في المناطق الاستوائية الغربية من المحيط الهادئ ويقابل هذا في المتوسط انتقال هطول المطر نحو الشرق. وتبين جميع النماذج استمرار التقلبية ما بين السنوات في ظاهرة النينيو/التذبذب الجنوبي (ENSO) في المستقبل، بيد أن هناك اختلافات كبيرة بين النماذج في التغيرات المسقطة فيما يتعلق بمدى اتساع ظاهرة النينيو وما يصاحبها من تقلبية زمنية النطاق متعددة العقود في تلك الظاهرة في النماذج، وهو أمر يحول دون إسقاط قاطع للاتجاهات في تقلبية ظاهرة النينيو/التذبذب الجنوبي. [WGI TS.10.3.5.3, 10.3.5.4].

ومن المقدَّر أن التقلبية في متوسط درجة حرارة الهواء السطحي فيما بين السنوات سوف تنخفض أثناء الفصل البارد في المناطق الكائنة خارج الخطوط المدارية في نصف الكرة الشمالي، وسوف تزداد في خطوط العرض الاستوائية وفي المناطق الوسطى من خطوط العرض الشمالية أثناء الفصل الدافئ. و من المحتمل أن يكون الانخفاض في الأولى راجعاً إلى نقصان في الجليد البحري والثلوج مع تزايد في درجة الحرارة. ويسهم الانخفاض في رطوبة التربة في فصل الصيف فوق سطوح اليابسة في المناطق الوسطى من خطوط العرض في حدوث الزيادة. ومن المتوقع حدوث زيادة في تقلبية متوسط الهطول الشهري في معظم المناطق، بالقيم المطلقة (انحراف معياري) وبالقيم النسبية (معامل التغير). ومع ذلك، فإن مستوى أهمية هذه التغيرات المسقطة نتيجة للتقلبية يعتبر متدنياً. [WGI 0.3.5.1]



الشكل 2.10: *تغيرات نسبية واسعة النطاق في الجريان السنوي في الفترة 2090-2099، بالنسبة إلى الفترة 1980-1999. والمناطق البيضاء هي المناطق التي تتفق فيها نسبة تقل عن 66 في المائة من مجموعة النماذج الإثني عشر على علامة التغيير، ومناطق التظليل هي المناطق التي يتفق فيها ما يزيد على 90 في المائة من النماذج على علامة التغيير [Milly وآخرون، 2005]. [استناداً إلى الشكل 3.5 الوارد في التقرير التجميعي و WGIII الشكل 3.4]*

3

الربط بين تغير المناخ وموارد المياه: التأثيرات والاستجابات

3.1 التأثيرات المرصودة لتغير المناخ

3.1.1 التأثيرات المرصودة بسبب التغيرات في الغلاف الجليدي

جرى توثيق آثار التغيرات في الغلاف الجليدي فيما يتعلق بجميع مكونات هذا الغلاف فعلاً، مع وجود دلائل قوية على أنها تشكل، بوجه عام، استجابة للانخفاض في كتل الثلوج والجليد بسبب ازدياد الاحترار.

3.1.1.1 الأنهار الجليدية والقلنسوات الجليدية والصفائح الجليدية والأجرف الجليدية في المناطق الجبلية

ثبتت بالوثائق آثار التغيرات في الأنهار الجليدية والقلنسوات الجليدية الجبلية في الجريان (Kaser وآخرون، 2003؛ Box وآخرون، 2006)، وغيرت الأحوال التي تنطوي على مخاطر (Haeberli وBurn، 2002) وتجدد المحيطات (Bindoff وآخرون، 2007). وهناك دلائل ناشئة أيضاً تشير إلى حدوث ارتفاع سريع للقشرة الأرضية استجابة لذوبان الأنهار الجليدية مؤخراً في ألاسكا (Larsen وآخرون 2005). ويؤدي ازدياد ذوبان الجليد فضلاً عن زيادة طول فصل ذوبان الأنهار الجليدية أولاً إلى زيادة جريان الأنهار وفترات ذروة التصريف، في حين من المتوقع في الإطار الزمني الأطول أجلا (النطاق من العقد إلى القرن)، أن ينخفض جريان الأنهار الجليدية (Jansson وآخرون، 2003). وقد اكتشفت دلائل تشير إلى زيادة الجريان في العقود الأخيرة بسبب زيادة ذوبان الأنهار الجليدية في جبال الأنديز بالمناطق المدارية وفي جبال الألب. [WGI 4.6.2; WGII 1.3.1]

ويحدث تكون البحيرات عندما تتراجع الأنهار الجليدية من الركام الجليدي البارز في العصر الجليدي الصغير (LIA) في العديد من السلاسل الجبلية المنحدرة، بما في ذلك جبال الهيمالايا (انظر الإطار 5.4)، وجبال الأنديز وجبال الألب. وينطوي ذوبان الجليد المطمور أيضاً على خطر يزعزع استقرار الركام الجليدي للعصر الجليدي الصغير. وتكمن في هذه البحيرات إمكانية عالية لحدوث فيضانات مفاجئة من البحيرات الجليدية (GLOFs). وقد اضطلعت المؤسسات الحكومية في البلدان المعنية بأعمال واسعة من أجل السلامة، وجرى بالنسبة للعديد من البحيرات إما بناء سدود متينة أو نزح المياه منها؛ بيد أن الأمر يستلزم استمرار اليقظة والحذر نظراً لأن عشرات كثيرة من البحيرات المتجمدة التي تنطوي على خطر محتمل لا تزال توجد في جبال الهيمالايا (Yamada، 1998) وجبال الأنديز (Ames، 1998) إلى جانب عديد من السلاسل الجبلية الأخرى في العالم. [WGII 1.3.1.1]

ويسبب تراجع الأنهار الجليدية تغييرات مذهلة في صفحة الأرض الطبيعية، التي أثرت على ظروف المعيشة والسياحة المحلية في كثير من المناطق الجبلية حول العالم (Watson وHaeberli، 2004؛ Mölg وآخرون، 2005). ويبين الشكل 5.10 تأثيرات تراجع نهر شاكالتايا الجليدي على صفحة الأرض المحلية وعلى صناعة التزلج. وينتج عن الاحترار ازدياد ذوبان الأنهار الجليدية في فصلي الربيع والصيف، وخصوصاً في مناطق تلاشي الجليد البري، مع فقدان مماثل في الثلوج في الغطاء الثلجي الفصلي يؤدي إلى زيادة تعرض الأخاديد السطحية، التي تستطيع بدورها أن تؤثر على سبيل المثال، في عمليات مجرى الثلوج، كما حدث ذلك في شبه جزيرة المنطقة المتجمدة الجنوبية (Rivera وآخرون، 2005). [WGII 1.3.1.1.1]

3.1.1.2 الغطاء الثلجي والأرض المتجمدة

بسبب قلة اتساع الغطاء الثلجي من حيث المكان والزمان، أصبحت ذروة التدفقات النهرية في الربيع تحدث قبل موعدها بأسبوع أو أسبوعين خلال الـ 65 سنة الماضية في أمريكا الشمالية والمناطق الشمالية من أوراسيا. وهناك دلائل تشير أيضاً إلى حدوث زيادة في التدفق الأساسي في الشتاء في المناطق الشمالية من أوراسيا وأمريكا الشمالية، بالإضافة إلى اتجاه جرى قياسه نحو وجود كميات من الثلوج أقل على الارتفاعات المنخفضة، وهو ما يؤثر على مناطق التزلج. [WGII 1.3.1.1]

وقد أسفرت الانخفاضات في مدى الأرض المتجمدة والتربة الصقيعية فصلياً والزيادة في سمك الطبقة الناشطة عما يلي:

- اختفاء بحيرات بسبب التصريف داخل التربة الصقيعية على النحو المكتشف في ألاسكا (Yoshikawa وHinzman، 2003 وفي سيبريا (انظر الشكل 5.12) (Smith وآخرون، 2005)؛
- نقصان في أيام السفر الممكنة للمركبات فوق الطرق المتجمدة في ألاسكا؛
- زيادة التحات الساحلي في المنطقة المتجمدة الشمالية (على سبيل المثال Beaulieu وAllard، 2003). [WGII 1.3.1.1، الفصل 15]

3.1.2 الهيدرولوجيا وموارد المياه

3.1.2.1 التغيرات في النظم السطحية ونُظم المياه الجوفية

أجريت دراسات كثيرة منذ صدور تقرير التقييم الثالث تتصل بالاتجاهات في تدفقات الأنهار أثناء القرن العشرين على نطاقات تمتد من مستجمع المياه إلى النطاق العالمي. وقد اكتشف بعض هذه الدراسات اتجاهات هامة في بعض مؤشرات تدفق الأنهار ويظهر بعضها وجود صلات هامة من الناحية الإحصائية مع اتجاهات في درجة الحرارة أو هطول المطر؛ ولكن لا يوجد اتجاه متجانس عالمياً. بيد أن كثيراً من الدراسات لم يجد اتجاهات أو لم يكن قادراً على فصل آثار التغيرات في درجة الحرارة وهطول المطر عن آثار التدخلات البشرية المنشأ في مستجمعات المياه، مثل التغير في استخدام الأراضي وتشييد المستودعات. كما أن التغير في تدفقات الأنهار من سنة إلى أخرى يتأثر تأثراً قوياً للغاية في بعض المناطق بأنماط الدوران الكبيرة النطاق في الغلاف الجوي والمرتبطة بظاهرة النينيو/التذبذب الجنوبي (ENSO)، والنمط الحلقي الشمالي (NAO) ونُظم أخرى للتقلبية تعمل داخل نطاقات زمنية تمتد من عقود إلى عدة عقود. [WGII 1.3.2.1]

وعلى الصعيد العالمي، توجد دلائل تشير إلى نمط متماسك بوجه عام للتغيير في الجريان السنوي، مع بعض المناطق التي تشهد زيادة (Tao وآخرون، 2003a, b فيما يتعلق بالصين؛ Hyvarinen، 2003، فيما يتعلق بفنلندا؛ Walter وآخرون، 2004، فيما يتعلق بتخوم الولايات المتحدة الأمريكية، ولا سيما في المناطق العالية من خطوط العرض، وشهدت مناطق أخرى انخفاضاً، على سبيل المثال، في بقاع من غرب أفريقيا، والمناطق الجنوبية من أوروبا، والمناطق الجنوبية من أمريكا اللاتينية (Milly وآخرون، 2005). وادعى Labat وآخرون (2004) حدوث زيادة بنسبة 4% في المجموع العالمي للجريان لكل ارتفاع في درجات الحرارة يبلغ درجة مئوية واحدة أثناء القرن العشرين، مع

حدوث تغيرات إقليمية حول هذا الاتجاه، بيد أن هذا قوبل بالاعتراض بسبب تأثيرات الدوافع غير المناخية للجريان والانحياز بسبب العدد الصغير من نقاط البيانات (Legates وآخرون، 2005). وقدَّم Gedney وآخرون (2006) أول دليل مبدئي على أن تأثير ثاني أكسيد الكربون يؤدي إلى زيادة الجريان السطحي بسبب تأثيرات زيادة تركيزات ثاني أكسيد الكربون على فسيولوجيا النباتات، برغم أن هناك دلائل أخرى تشير إلى أن هذه العلاقة من الصعب إيجادها. فالمنهجية المستخدمة في البحث فيما يتعلق بالاتجاهات يمكن أن تؤثر أيضاً على النتائج، نظراً لأن حذف تأثيرات العلاقة المتبادلة الشاملة بين مستجمعات مياه الأنهار يمكن أن تؤدي إلى الإفراط في تقدير عدد المستجمعات التي تظهر اتجاهات هامة (Douglas وآخرون، 2000). [WGII 1.3.2.1]

ويعتبر تدفق المياه الجوفية في المستودعات المائية الأرضية الضحلة جزءاً من الدورة الهيدرولوجية وهو يتأثر بتقلبية المناخ وتغيره من خلال عمليات إعادة التغذية (Chen وآخرون، 2002)، كما يتأثر أيضاً بالتدخلات البشرية في أماكن كثيرة (Petheram وآخرون، 2001). [WGII 1.3.2.1] وتبين مستويات المياه الجوفية في كثير من مستودعات المياه الجوفية حول العالم اتجاهاً متناقصاً خلال العقود القليلة الماضية [WGII 3.2, 10.4.2]، بيد أن هذا يرجع بوجه عام إلى أن ضخ المياه الجوفية يفوق معدلات إعادة تغذية المياه الجوفية، ولا يرجع إلى نقصان يتصل بالمناخ فيما يتعلق بإعادة تغذية المياه الجوفية. وقد تكون هناك مناطق، مثل جنوب غرب أستراليا يزداد فيها سحب المياه الجوفية، ويحدث هذا ليس فقط بسبب زيادات في الطلب على الماء بل أيضاً بسبب نقصان يتصل بالمناخ فيما يتعلق بإعادة التغذية من إمدادات المياه السطحية (حكومة المنطقة الغربية (وسترن) بأستراليا، 2003). وفي المستودع المائي الجوفي الذي ينتمي للعصر الكربوني الأعلى بالقرب من وينيبغ، كندا، لا تبين الرسوم المائية للآبار الضحلة اتجاهات واضحة، بل أنها تظهر اختلافات تتراوح بين 3 و4 سنوات ترتبط بتغيرات في درجة الحرارة السنوية والهطول السنوي (Ferguson وGeorge، 2003). وبسبب الافتقار إلى البيانات وردّ الفعل البطيء جداً من نُظم المياه الجوفية إزاء الأحوال المتغيرة فيما يتعلق بتغذية المياه، لم ترصد تغييرات تتصل بالمناخ في عمليات تغذية المياه الجوفية. [WGII 1.3.2, 3.2]

وفي الوقت الحاضر، لم يستدل على اتجاه ثابت عالمياً في مستويات البحيرات. ففي حين ارتفع بعض مستويات البحيرات في منغوليا والصين (سينجيانغ) استجابة لذوبان الثلوج والجليد، انخفضت مستويات البحيرات في الصين (كينغاي)، وأستراليا وأفريقيا (زمبابوي وزامبيا وملاوي) وأمريكا الشمالية (شمال داكوتا) وأوروبا (وسط إيطاليا) بسبب تأثيرات مشتركة من الجفاف والاحترار والأنشطة البشرية. وفي مناطق التربة الصقيعية في المنطقة المتجمدة الشمالية، أسفر الاحترار الذي نشأ مؤخراً عن تكوُّن مؤقت للبحيرات بسبب بدء الذوبان، الذي أدى بسرعة إلى التصريف بسبب تدهور التربة الصقيعية (على سبيل المثال، Smith وآخرون، 2005). وقد تضمَّنت التقارير تأثيراً مماثلاً فيما يتعلق ببحيرة تكوَّنت فوق جرف جليدي في المنطقة المتجمدة الشمالية (أي بحيرة فوق الجرف[12])، اختفت عندما انهار الجرف الجليدي (Mueller وآخرون 2003). وقد عالج Le Treut وآخرون (2007) موضوع بحيرات التربة الصقيعية وبحيرات ما فوق الجرف بالتفصيل. [WGII 1.3.2.1]

3.1.2.2 جودة المياه

رصد احترار يتعلق بالمناخ للبحيرات والأنهار خلال العقود الأخيرة. [WGII 1.3.2] ونتيجة لذلك أظهرت النُظم الإيكولوجية للمياه العذبة تغييرات في تكوين الأنواع، ووفرة الكائنات العضوية، وفي الإنتاجية، والتحولات الفينولوجية والتحولات الطبيعية (من بينها هجرة الأسماك في وقت أبكر). [WGII 1.3.4] وبسبب الاحترار أيضاً، أظهرت بحيرات كثيرة نوعاً من ترسب الطبقات المطول مع نقصان في تركيز المغذيات في الطبقات السطحية [WGII 1.3.2]، واستنفاد مطوَّل للأوكسيجين في الطبقات الأعمق. [WGII الإطار 4.1] وبسبب التأثيرات القوية البشرية المنشأ والتي لا تتصل بتغير المناخ، لا يوجد أي دليل يتعلق بالاتجاهات الثابتة المتصلة بالمناخ في البارامترات الأخرى الخاصة بنوعية المياه (على سبيل المثال الملوحة، أو الكائنات المُمرضة أو المغذيات) في البحيرات والأنهار والمياه الجوفية. [WGII 3.2]

البنية الحرارية للبحيرات

أشارت التقارير إلى ارتفاع درجات حرارة الماء في البحيرات استجابة لزيادة دفء الأحوال (الجدول 3.1). وفي الفرع 2.1.2 وما ذكره Le Treut وآخرون (2007) ترد معالجة للفترات الأقصر في الغطاء الجليدي، وجوانب النقصان في سُمك الجليد النهري وجليد البحيرات. وقد تغيرت أيضاً ديناميكا العوالق النباتية والإنتاجية الرئيسية بالاقتران مع التغيرات في طبيعة البحيرات. [WGII 1.3.4.4 الشكل 1.2، الجدول 1.6] ومنذ فترة الستينات في القرن الماضي، ازدادت درجات حرارة المياه السطحية بمعدل يتراوح بين 0.2 و2.0° درجة مئوية في البحيرات والأنهار في أوروبا وفي أمريكا الشمالية وآسيا. وتمشياً مع احترار المياه السطحية، حدثت زيادة في درجات الحرارة تتراوح بين 0.2 و0.7° درجة مئوية منذ أوائل القرن العشرين في درجات حرارة المياه العميقة (التي تعكس اتجاهات طويلة الأجل) في البحيرات الكبيرة في شرق أفريقيا (بحيرات إدوارد وألبرت وكيفو وفيكتوريا وتنجانيقا وملاوي). كما أن زيادة درجة حرارة الماء والفصول الأطول الخالية من الجليد تؤثر على تراص الطبقات الحراري والديناميكا المائية الداخلية للبحيرات. وفي السنوات الأدفأ، تكون درجات حرارة المياه السطحية أعلى، ويزداد فقدان المياه بالتبخر، ويحدث تراص الطبقات في الصيف في فترة فصلية أبكر وتصبح طبقة تدرج الانحدار العامودي الحرارية الأقصى الثيرموكلاين، أكثر ضحالة. وفي العديد من البحيرات في أوروبا وأمريكا الشمالية، تقدَّمت فترة التراصّ الطبقي بحوالي 20 يوماً وطالت زمنياً بفترة من أسبوعين إلى ثلاثة أسابيع، مع زيادة الاستقرار الحراري. [WGII 1.3.2.3]

الكيمياء

يعمل تزايد التراصّ الطبقي على خفض حركة المياه عبر الثيرموكلاين، مما يحول دون صعود المياه العميقة إلى السطح، والاختلاط الذي يوفر المغذيات الأساسية لشبكة الأغذية. وقد حدثت جوانب نقصان في المغذيات في المياه السطحية وزيادات مقابلة في تركزات المياه العميقة في البحيرات الأوروبية وبحيرات شرق أفريقيا بسبب نقص صعود المياه العميقة إلى السطح الذي يرجع إلى زيادة الاستقرار الحراري. وقد تزايدت في كثير من البحيرات والأنهار تركزات الكبريتات والكاتيونات الخسيسة والسليكا وازدادت القلوية والموصِّلية المتصلة بزيادة تفكك

[12] *كتلة من الماء، معظمها مياه عذبة، محتجزة وراء جرف جليدي.*

السليكات والكالسيوم وكبريتات المغنسيوم أو الكربونات في مستجمعات المياه الخاصة بها. وعلى النقيض من هذا، عندما عملت درجات الحرارة الأدفأ على تحسين النمو في الغطاء النباتي، وتنمية التربة في بعض النُظم الإيكولوجية في جبال الألب الشامخة، تناقصت القلوية بسبب زيادة المدخلات الحمضية العضوية (Karst - Riddoch وآخرون، 2005). وعمل ذوبان الأنهار الجليدية على زيادة مدخلات الكلورينات العضوية (التي انتقلت من خلال الغلاف الجوي إلى النهر الجليدي واختُزنَت فيه) في بحيرة في منطقة جبلية تقع تحت خط نمو الأشجار في كندا (Blais وآخرون، 2001). [WGII 1.3.2.3]

وتؤثر زيادة درجة الحرارة أيضاً في العمليات الكيمائية داخل البحيرات (الجدول 3.1؛ انظر أيضاً WGII الجدول SM1.3 للاطلاع على التغيرات المرصودة الإضافية في الخواص الكيميائية للمياه). وقد حدثت درجات نقصان في النيتروجين غير العضوي المذاب نتيجة للمزيد من إنتاجية العوالق النباتية (Sommaruga – Wograth وآخرون، 1997؛ Rogora Rogora وآخرون، 2003) ومزيد من توليد القلوية داخل البحيرات والزيادات في تركيزات أيونات الهيدروجين (PH) في بحيرات الماء اليَسِر (Psenner وSchmidt، 1992). كما أن نقصان القدرة على الإذابة من درجات حرارة أعلى ساهم بدرجة كبيرة في نسبة تتراوح بين 11 و13 في المائة في تركيزات الألومنيوم (Vesely وآخرون، 2003)، في حين أن البحيرات التي شهدت ارتفاعاً في درجة حرارة المياه شهدت أيضاً زيادة في مَثْيلة الزئبق (معالجة بالكحول المثيلي) ومستويات أعلى من الزئبق في الأسماك (Bodaly وآخرون، 1993) وشهدت بحيرة بايكال في روسيا نقصاناً في محتوى السليكون يتصل بالاحترار الإقليمي. وتشير البيانات الخاصة بنوعية المياه في الأنهار والمستمدة من 27 نهراً في اليابان إلى وجود تدهور في السمات الكيميائية والبيولوجية بسبب حدوث زيادات في درجة حرارة الهواء. [WGII 1.3.2.3]

التحات والترسيب

ازداد تحات الماء في كثير من مناطق العالم، مما يرجع إلى حد كبير إلى تغير استخدام الأراضي البشري المنشأ. وبسبب الافتقار إلى البيانات، ليست هناك أدلة تشير أو لا تشير إلى حدوث تغيرات في التحات وانتقال الرواسب في الماضي وتتصل بالمناخ. [WGII 3.2]

3.1.2.3 الفيضانات

ثمة طائفة متنوعة من العمليات المناخية وغير المناخية تؤثر على الفيضانات، وتنجم عنها فيضانات الأنهار، والفيضانات الخاطفة، والفيضانات في المناطق الحضرية، والفيضانات في المجاري، والفيضانات المفاجئة للبحيرات الجليدية (GLOFs، انظر الإطار 5.4) والفيضانات الساحلية. وتشمل هذه العمليات التي تسبب الفيضانات هطول المطر الغزير و/ أو هطول المطر الذي يدوم طويلاً، وذوبان الثلوج، وانهيار السدود، وقلة وسائل النقل بسبب الانسداد الجليدي المتراكم أو الانهيالات الأرضية، والعواصف. وتعتمد الفيضانات على شدة هطول المطر وحجمه، وطوره (مطر أم ثلوج)، والظروف السابقة للأنهار وأحواض صرفها (على سبيل المثال، وجود ثلوج وجليد، وطابع التربة وحالتها (متجمدة أم لا، مشبَّعة أو غير مشبعة)، ودرجة الرطوبة، ومعدل وتوقيت ذوبان الثلوج/الجليد، ودرجة التحضر، ووجود حواجز لمنع الفيضانات أو سدود ومستودعات). كما أن تجاوزات البشر في السهول الفيضية ونقص خطط الاستجابة لمواجهة الفيضانات تعمل على زيادة

الجدول 3.1: *تغيرات مرصودة في الجريان/تدفق المجاري المائية، مستويات البحيرات والفيضانات/نوبات الجفاف. [WGII Table 1.3]*

العامل البيئي	التغيرات المرصودة	الفترة الزمنية	الفترة الزمنية
الجريان/تدفق المجاري المائية	زيادة سنوية بنسبة 5%، زيادة شتوية بنسبة تتراوح بين 25 و90%، زيادة في التدفقات الشتوية الأساسية بسبب زيادة التربة الصقيعية	1935-1999	حوض صرف المنطقة المتجمدة الشمالية: أنهار أوب، لينا، ينيسي، ماكنزي
	تدفق الذروة للمجاري المائية في وقت أبكر بمدة تتراوح بين أسبوع وأسبوعين بسبب ذوبان الثلوج بعد الاحترار	1936-2000	غربي أمريكا الشمالية، نيوانغلند، كندا، شمالي أوراسيا
الفيضانات	تزايد الفيضانات المتكررة التي تصاحبها كوارث (0.5 -1%) بسبب تكسّر جليد الأنهار والأمطار الغزيرة قبل الأوان	السنوات الأخيرة	الأنهار الروسية في المنطقة المتجمدة الشمالية
نوبات الجفاف	نقصان بنسبة 29% في التدفق اليومي من أقصى تدفق سنوي للمجاري المائية بسبب ارتفاع درجات الحرارة وزيادة التبخر مع عدم حدوث تغيير في الهطول	1847-1996	المناطق الجنوبية من كندا
	بسبب فصول الصيف الجافة والحارة بشكل غير عادي بسبب الاحترار في المناطق الغربية المدارية من المحيط الهادئ والمحيط الهندي في السنوات الأخيرة	1998-2004	المناطق الغربية من الولايات المتحدة الأمريكية
درجة حرارة المياه	زيادة من 0.1 درجة مئوية إلى 1.5 ˚ درجة مئوية في البحيرات	40 سنة	أوروبا، أمريكا الشمالية، آسيا (100 محطة)
	زيادة من 0.2 درجة مئوية إلى 0.7 ˚درجة مئوية (المياه العميقة في البحيرات)	100 سنة	شرق أفريقيا (6 محطات)
كيمياء المياه	نقصان المواد المغذية من زيادة ترسب الطبقات أو فترة النمو الأطول في البحيرات والأنهار	100 سنة	أمريكا الشمالية، أوروبا، أوروبا الشرقية، شرق أفريقيا (8 محطات)
	زيادة التغير والتعرية في مستجمعات المياه أو العمليات المتعاقبة الداخلية في البحيرات والأنهار	10-20 سنة	أمريكا الشمالية، أوروبا (88 محطة)

الأضرار التي يمكن إلحاقها. [WGII 3.4.3] كما أن الزيادة المرصودة في شدة هطول المطر وغير ذلك من تغيرات مناخية مرصودة، على سبيل المثال، الزيادة في أنماط الطقس الغربية أثناء الشتاء فوق أوروبا، تؤدي إلى نُظم مطيرة جداً بسبب انخفاض الضغط الذي غالباً ما يفجر الفيضانات (Kron وBerz، 2007)، ويشير ذلك إلى أن تغيير المناخ قد ترك بالفعل أثره على شدة وتواتر الفيضانات. [WGII 3.2] وقد خلص ملخص لصانعي السياسات في تقرير التقييم الرابع الذي وضعه الفريق العامل الأول إلى أن تواتر ظواهر الهطول الغزير قد ازداد فوق معظم المناطق خلال القرن العشرين، وأنه من المرجح أكثر من عدمه أن هناك إسهاماً من قِبل البشر في هذا الاتجاه. [WGI الجدول الملخص لصانعي السياسات - 2]

وعلى الصعيد العالمي، يبلغ عدد الكوارث الضخمة بسبب الفيضانات الداخلية أثناء السنوات العشر الماضية (1996-2005)، ضعف الحجم، في كل عقد كما هو الحال في الفترة بين 1950 و1980، في حين ازدادت الخسائر الاقتصادية ذات الصلة بمعامل يبلغ خمس مرات (Kron وBerz، 2007). أما العوامل المهيمنة المحركة لهذا الاتجاه الصاعد فيما يتعلق بالأضرار التي تلحقها الفيضانات فإنها عوامل اجتماعية/اقتصادية مثل النمو الاقتصادي، والزيادات في أعداد السكان، وتركز الثروة في مناطق سريعة التأثر، وتغير استخدام الأراضي. وكانت الفيضانات هي أكثر ظواهر الكوارث الطبيعية التي ورد ذكرها في كثير من المناطق، حيث أصابت بالضرر 140 مليوناً من البشر كل سنة في المتوسط (تقرير عن التنمية في العالم WDR، 2003، 2004). وفي بنغلاديش، غرقت أثناء فيضان سنة 1998 حوالي 70% من مساحة البلد (بالمقارنة مع قيمة متوسطة تتراوح بين 20 و25%)، (Mirza، 2003؛ Clarke و King، 2004). [WGII 3.2]

ونظراً لأن أضرار الفيضانات قد تزايدت بدرجة أسرع من نمو السكان أو النمو الاقتصادي، لا بد أن تؤخذ في الاعتبار عوامل أخرى من بينها تغير المناخ (Mills، 2005). ويتبين من أدلة الرصد ذات الشأن حدوث تسارع متواصل لدورة الماء (Huntington، 2006). [WGII 3.4.3] وقد ازداد تواتر ظواهر هطول المطر الغزير، وهذا يتفق مع كل من الاحترار والزيادات المرصودة في بخار الماء في الغلاف الجوي. [WGI ملخص لصانعي السياسات، 3.8، 3.9] ومع ذلك، لا تشاهد زيادة في كل مكان في الاتجاهات المدونة في الوثائق فيما يتعلق بتدفقات الأنهار العالية. ورغم أن Milly وآخرين، حددوا في سنة 2002 زيادة واضحة في تواتر الفيضانات 'الكبيرة' (فترة المعاودة أكبر من 100 سنة) عبر كثير من أرجاء العالم من تحليل البيانات المستمدة من أحواض الأنهار الكبيرة، وأثبتت الدراسات اللاحقة دلائل أقل انتشاراً. ووجد Kundzewicz وآخرون (2005) زيادات (في 27 مكاناً) ونقصاناً (في 31 مكاناً)، ولا يوجد أي اتجاه في مستجمعات المياه المتبقية الـ 137 من بين الـ 195 مستجمعاً التي جرى فحصها على نطاق العالم. [WGII 1.3.2.2]

3.1.2.4 نوبات الجفاف

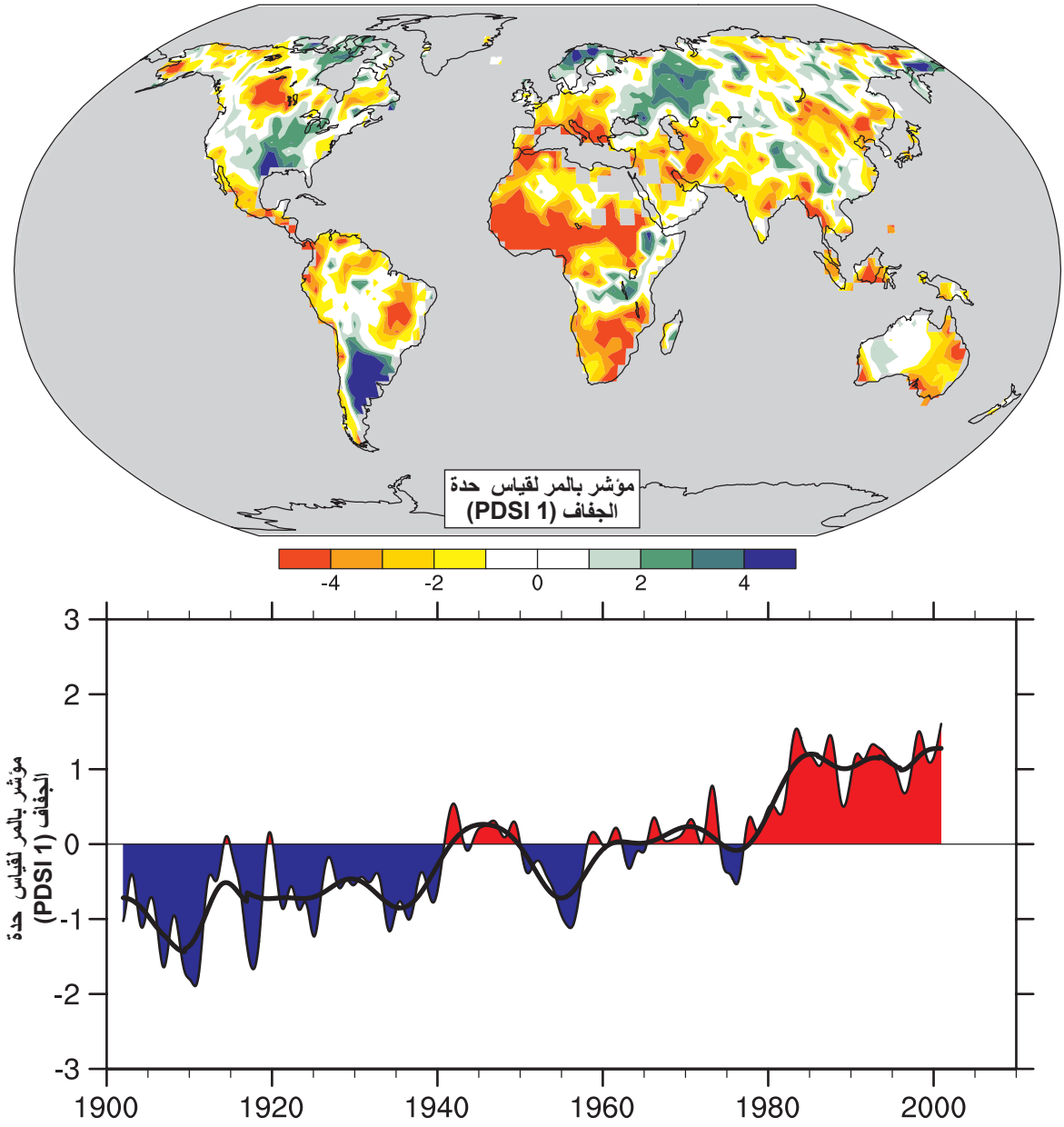
قد يشير مصطلح الجفاف إلى نوبة جفاف في مجال الأرصاد الجوية (هطول مطر أقل من المتوسط) ونوبة جفاف هيدرولوجي (تدفقات متدنية في الأنهار ومستويات مياه متدنية في الأنهار والبحيرات والمياه الجوفية)، ونوبة جفاف زراعي (تدني رطوبة التربة)، ونوبة جفاف بيئي (مجموعة الحالات المذكورة أعلاه). وقد تنشأ التأثيرات الاجتماعية - الاقتصادية لنوبات الجفاف من التفاعل بين الأحوال الطبيعية والعوامل البشرية مثل التغيرات في استخدام الأراضي، والغطاء الأرضي، والطلب على المياه واستخدامها. ويمكن للإفراط في عمليات سحب المياه أن يفاقم تأثير نوبات الجفاف. [WGII 3.4.3]

وقد أصبحت نوبات الجفاف أكثر شيوعاً، وخصوصاً في المناطق المدارية وشبه المدارية منذ سبعينات القرن الماضي. وقد خلص ملخص لصانعي السياسات في تقرير التقييم الرابع الذي أعده الفريق العامل الأول إلى أنه من المرجح أن المساحة المتضررة من الجفاف قد ازدادت منذ السبعينات، وأنه من المرجح أكثر من عدمه أن هناك مساهمة بشرية في هذا الاتجاه. [WGI الجدول، ملخص لصانعي السياسات - 2] ويعتبر نقصان هطول المطر على اليابسة وزيادة درجات الحرارة، وهو ما يعزز عملية التبخر – النتح ويقلل رطوبة التربة، من العوامل الهامة التي ساعدت على وجود مزيد من المناطق التي تشهد نوبات من الجفاف، كما جرى قياسها بمؤشر Palmer لقياس حدة الجفاف (PDSI) (Dai وآخرون، 2004b). [WGII 3.3.4]

ويبدو أن المناطق التي حدثت بها نوبات الجفاف إنما تحدَّدت إلى حد كبير بفعل التغييرات في درجات حرارة سطح البحار، وخصوصاً المناطق المدارية، من خلال ما يرتبط بذلك من تغييرات في دوران الغلاف الجوي وهطول المطر. وفي المناطق الغربية من الولايات المتحدة الأمريكية، يبدو أن تضاؤل تراكم الثلوج وما تلا ذلك من انخفاضات في رطوبة التربة من العوامل المؤثرة. وفي أستراليا وأوروبا، هناك صلات مباشرة بين الاحترار العالمي من خلال الطبيعة المتطرفة لدرجات الحرارة العالية، وموجات الحرارة المصاحبة لنوبات الجفاف الأخيرة. [WGI 3.ES, 3.3.4]

وباستخدام مؤشر Palmer لقياس حدة الجفاف، وجد Dai وآخرون (2004b) اتجاهاً كبيراً للجفاف فوق اليابسة في نصف الكرة الأرضية الشمالي منذ منتصف الخمسينات، مع جفاف واسع النطاق فوق أجزاء كثيرة من أوراسيا، والمناطق الشمالية من أفريقيا، وكندا وألاسكا، (الشكل 3.1). وفي نصف الكرة الأرضية الجنوبي، كانت السطوح الأرضية رطبة في السبعينات وجافة نسبياً في الستينات والتسعينات، وكان هناك اتجاه نحو الجفاف في الفترة من 1974 إلى 1998، وإن كانت الاتجاهات خلال كل الفترة من 1948 إلى 2002 صغيرة. وتعتبر حالات النقصان في هطول المطر على اليابسة في العقود الأخيرة هي السبب الأساسي في الاتجاهات الخاصة بحدوث الجفاف، رغم أن الاحترار فوق مساحات سطحية واسعة أثناء فترة العقدين/الثلاثة عقود الماضية من المرجح أنه ساهم في الجفاف. وعلى الصعيد العالمي، ازدادت المناطق الجافة جداً (المعرَّفة بأنها مناطق اليابسة التي يقل فيها مؤشر بالمر لقياس حدة الجفاف عن - 3.0) بأكثر من الضعف (من -12% إلى 30%) منذ السبعينات، مع قفزة كبيرة في أوائل الثمانينات بسبب الانخفاض في هطول المطر المتصل بظاهرة النينيو/التذبذب الجنوبي فوق اليابسة، وما تلا ذلك من زيادات في المقام الأول بسبب احترار السطح (Dai وآخرون، 2004b). [WGI 3.3.4]

وتؤثر حالات الجفاف على الإنتاج الزراعي المعتمد على المطر، وعلى إمدادات المياه فيما يتعلق بالأغراض المنزلية والصناعية والزراعية. وقد عانت بعض المناطق شبه القاحلة وشبه الرطبة، مثل أستراليا [WGII 11.2.1]، والمناطق الغربية من الولايات المتحدة الأمريكية والمناطق الجنوبية من كندا [WGII 14.2.1] ومنطقة الساحل (Nicholson،



الشكل 3.1: *أهم نمط مكاني (العنصر الأول لتحليل المكونات الأساسية: أعلى الصفحة) في مؤشر بالمر لقياس حدة الجفاف (PDSI) في الفترة 1900-2002. ومؤشر بالمر هذا PDSI مؤشر شهير لقياس الجفاف وهو يقيس العجز التراكمي (بالنسبة إلى متوسطات الأحوال المحلية) في رطوبة السطوح والأراضي بإدراج الهطول السابق، وتقدير الرطوبة المسحوبة إلى الغلاف الجوي (استناداً إلى درجات حرارة الغلاف الجوي) في نظام محاسبة هيدرولوجي.[13] وتبين اللوحة السفلى كيف تغيرت علامة وشدة هذا الإطار منذ سنة 1900. فعندما تكون القيم المبيَّنة في الرقعة السفلى بالإيجاب (أو بالسلب) تكون المساحات الملونة باللونين الأحمر والبرتقالي في الخريطة العليا أكثر جفافاً (أو رطوبة) وتكون المساحات الملونة باللونين الأزرق والأخضر أكثر رطوبة (أو جفافاً) من المتوسط. أما القوس الأسود غير المتموج فإنه يبين تغييرات مختلفة عقدية. وتتوافق السلاسل الزمنية تقريباً مع اتجاه ما ويعلل هذا النمط واختلافاته نسبة 67 في المائة من الاتجاه الخطي لمؤشرات بالمر لقياس حدة الجفاف من سنة 1900 إلى سنة 2002 فوق المساحة الأرضية العالمية. ولهذا فإنه يبرز زيادة في الجفاف الأفريقي على نطاق واسع، ولا سيما في منطقة الساحل، على سبيل المثال. وتلاحظ أيضاً المناطق الأكثر رطوبة، وخصوصاً في المناطق الشرقية من أمريكا الشمالية وأمريكا الجنوبية وشمال أوراسيا (بحسب ما ذكره Dai وآخرون 2004b). [WGI FAQ 3.2]*

[13] مما يذكر أن مؤشر بالمر لقياس حدة الجفاف (PDSI) لا يضع من الناحية الواقعية نموذجاً للجفاف في المناطق التي يحتجز فيها الهطول في التراكم الثلجي، على سبيل المثال، في المناطق القطبية.

2005)، من نوبات جفاف أكثر شدة، ومتعددة السنوات. [WGII 3.2] وصاحب موجة الحر في سنة 2003 في أوروبا، والتي عُزيت إلى احترار عالمي (Schär وآخرون، 2004)، حالات نقص في هطول المطر السنوي بلغ مقدارها 300 مم. وساهم هذا الجفاف في الانخفاض المقدَّر بنسبة 30% في الإنتاج الأوّلي الإجمالي للنُظم الإيكولوجية الأرضية في أوروبا (Ciais وآخرون، 2005). وسجَّل كثير من الأنهار الرئيسية (مثل بو، والراين، واللوار والدانوب) رقماً قياسياً في الانخفاض، مما أدى إلى تعطل الملاحة الداخلية والري وتبريد وحدات توليد الطاقة الكهربائية (Beniston وDiaz، 2004؛ Zebisch وآخرون، 2005). غير أن حالة التطرف في ذوبان الأنهار الجليدية في منطقة الألب حالت حتى دون تدني التدفقات في نهري الدانوب والراين (Fink وآخرون، 2004). [WGII 12.6.1]

3.2 التغيرات في المستقبل في توافر المياه والطلب عليها بسبب تغير المناخ

3.2.1 الدوافع ذات الصلة بالمناخ لنُظم المياه العذبة في المستقبل

تعتبر أهم الدوافع المناخية المهيمنة فيما يتعلق بتوافر المياه هي هطول المطر ومتطلبات التبخر (وهذا يحدده صافي الإشعاع على الأرض، والرطوبة في الغلاف الجوي، وسرعة الرياح، ودرجة الحرارة). وتعتبر درجة الحرارة هامة بصفة خاصة في الأحواض التي تسيطر عليها الثلوج وفي المناطق الساحلية. وبالنسبة للأخيرة بسبب تأثير درجة الحرارة على سطح البحر (ارتفاع مستوى سطح البحر التجسُّمي بسبب التوسع الحراري للمياه). [WGII 3.3.1]

ويرد في الفرع 2.3 وصف للتغييرات المسقطة في هذه المكونات الخاصة بالرصيد المائي. وباختصار، من المقدَّر أن يزداد مجموع الجريان السنوي في الأنهار فوق كامل السطوح اليابسة، وإن كانت هناك مناطق تشهد زيادات هامة وانخفاضات هامة في الجريان. ومع ذلك، لا يمكن الاستفادة الكاملة من زيادة الجريان ما لم تكن هناك بنية تحتية أساسية كافية لاحتجاز وتخزين المياه الزائدة. وفوق المحيطات، تشير الإسقاطات إلى حدوث زيادة صافية في مصطلح 'التبخر بدون هطول المطر'.

3.2.1.1 *المياه الجوفية*

يؤثر تغير المناخ على معدلات تغذية المياه الجوفية (أي الموارد المتجددة من المياه الجوفية) وأعماق المنسوب المائي الجوفي. إلا أن المعارف المتعلقة بالمعدلات الحالية لتغذية المياه الجوفية ومستوياتها في البلدان النامية والبلدان متقدمة النمو ضئيلة، وهناك بحوث قليلة جداً عن تأثير تغير المناخ في المستقبل على المياه الجوفية، أو التفاعلات بين المياه الجوفية والمياه السطحية. وفي خطوط العرض العليا، يسبب ذوبان التربة الصقيعية تغييرات في مستوى وجودة المياه الجوفية، بسبب زيادة التقارن مع المياه السطحية. [WGII 15.4.1]. ونظراً لأن كثيراً من المياه الجوفية يتغير إلى مياه سطحية أو يُغذّى من المياه السطحية، فإن المتوقع هو أن تؤثر نُظم تدفق المياه السطحية على المياه الجوفية. وقد تعمل زيادة تقلبية هطول المطر على

انخفاض تغذية المياه الجوفية في المناطق الرطبة لأن تكرار حدوث ظواهر الهطول الغزير قد يسفر عن تجاوز قدرة التربة على الترشيح في كثير من الأحيان. ومع ذلك، قد تعمل زيادة تقلبية هطول المطر، في المناطق القاحلة وشبه القاحلة على زيادة عملية تغذية المياه الجوفية، لأن الأمطار الغزيرة ذات الكثافة العالية قادرة على التسرب بسرعة كافية قبل التبخر، وأن مستجمعات المياه الجوفية الغرينية تُغذى أساساً بواسطة عمليات الغمر التي تسببها الفيضانات. [WGII 3.4.2]

ووفقاً لنتائج نموذج هيدرولوجي عالمي (انظر الشكل 3.2)، فإن تغذية المياه الجوفية، عندما يؤخذ متوسطها عالمياً، تزداد بأقل من مجموع الجريان (بنسبة 2% بالمقارنة مع نسبة 9% حتى الخمسينات (2050s) فيما يتعلق باستجابة نموذج الغلاف الجوي للمركز الأوروبي بهامبورغ 4 (ECHAM4) لتغير المناخ في السيناريو A2 الوارد في التقرير الخاص عن سيناريوهات الانبعاثات: Döll وFlörke، 2005). وفيما يتعلق بجميع السيناريوهات الأربعة الخاصة بتغير المناخ والتي جرى فحصها (في المركز الأوروبي في هامبورغ 4 (ECHAM4) ومركز هادلي للنموذج المتقارن (HadCM3) ونماذج المناخ العالمي مع السيناريوهين A2 وB2 للانبعاثات الواردين في التقرير الخاص عن سيناريوهات الانبعاثات[14]) أشير في حسابات تغذية المياه الجوفية إلى أنها ستنقص بحلول خمسينات القرن الحادي والعشرين بما يزيد على 70% في المنطقة الشمالية الشرقية من البرازيل، والجنوب الغربي من أفريقيا، والحافة الجنوبية من البحر الأبيض المتوسط. ومع ذلك، ربما يكون قد جرى الإفراط في تقدير النقصان، نظراً لأن هذه الدراسة لم تأخذ في الاعتبار الزيادة المتوقعة في تقلبية هطول المطر اليومي. وحيثما يزداد عمق منسوب المياه الجوفية، وتتناقص تغذية المياه الجوفية، تتعرض للخطر الأراضي الرطبة المعتمدة على مستودعات المياه الجوفية، ويقل جريان التدفقات الأساسية في الأنهار أثناء فصول الجفاف. وتشمل المناطق التي تحسب فيها تغذية المياه الجوفية بالزيادة بأكثر من 30 في المائة بحلول خمسينات القرن الحالي منطقة الساحل، والشرق الأدنى، والمناطق الشمالية من الصين، وسيبريا، والمناطق الغربية من الولايات المتحدة الأمريكية. وفي المناطق التي يكون منسوب المياه الجوفية عالياً فيها بالفعل، ربما تسبب الزيادة في تغذية المياه الجوفية وقوع مشاكل في المدن والمناطق الزراعية من خلال تملُّح التربة وتشبع أنواع التربة بالمياه. [WGII 3.4.2]

وتبين الدراسات القليلة عن تأثيرات تغير المناخ على المياه الجوفية بالنسبة لفرادى مستودعات المياه الجوفية نتائج نوعية خاصة بالمكان ونتائج خاصة بنموذج المناخ (على سبيل المثال Eckhardt وUlbrich، 2003، فيما يتعلق بمستجمع المياه في سلاسل الجبال المنخفضة في وسط أوروبا؛ وبرووير وآخرون، 2004 فيما يتعلق بمستودع مائي جوفي طباشيري في بلجيكا). وعلى سبيل المثال، تنقص تغذية المياه الجوفية الطبيعية المسقطة في منطقة مستودع المياه الجوفية في أوغالالا بما يزيد على 20% في جميع نماذج المحاكاة مع احترار قدره 2.5 درجة مئوية أو أكثر من ذلك (Rosenberg وآخرون، 1999). [WGII 14.4] ونتيجة لتغير المناخ، يحدث في كثير من مستودعات المياه الجوفية في العالم أن تنتقل عملية التغذية في الربيع نحو الشتاء وتتضاءل عملية التغذية في فصل الصيف. [WGII 3.4.2]

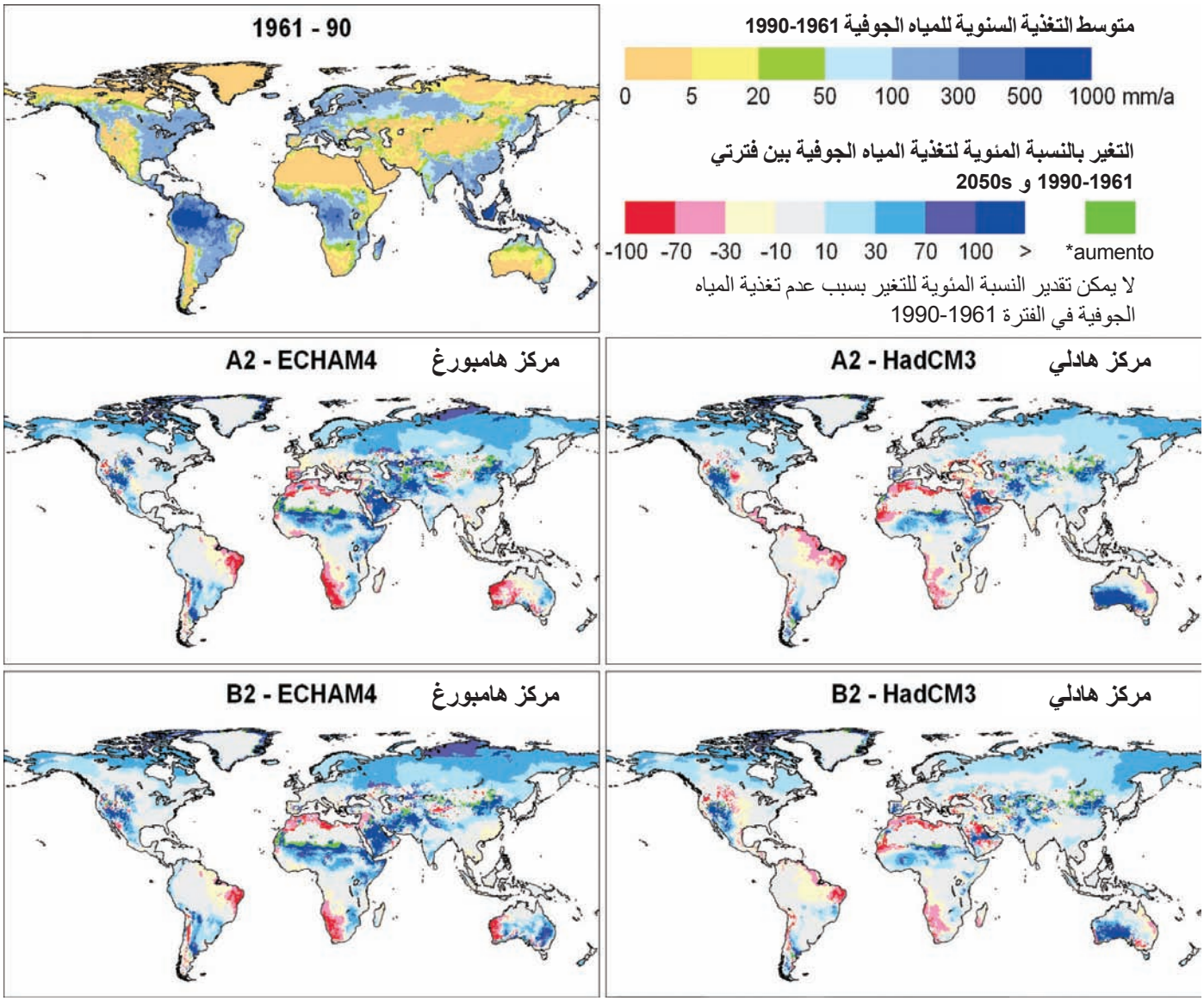
3.2.1.2 *الفيضانات*

تبين الإسقاطات، على النحو الذي ورد في المناقشة في الفرع 2.3.1 أن ظواهر الهطول الغزير سوف تصبح أكثر تواتراً فوق معظم المناطق في جميع فترات القرن الحادي والعشرين. وسوف يترك

[14] انظر التذييل الأول فيما يتعلق بوصف النماذج.

هذا أثره فيما يتعلق بمخاطر الفيضانات الخاطفة والفيضانات في المناطق الحضرية [WGI 10.3.5 10.3.6; WGII 3.4.3] وترد في الجدول 3.2 بعض الآثار المحتملة.

وتضمن تحليل متعدد النماذج أجراه Palmer و Räisänen (2002) إسقاطات بحدوث زيادة كبيرة في مخاطر حلول شتاء مطير جداً فوق كثير من بقاع وسط وشمال أوروبا، الأمر الذي يعود إلى زيادة الهطول الكثيف المرتبط بالعواصف في المناطق الوسطى من خطوط العرض. وتشير الإسقاطات إلى احتمال أن يزداد إجمالي الهطول الشمالي في الشتاء عن انحرافين معياريين فوق المعتاد بدرجة كبيرة (من خمسة إلى سبعة أضعاف) فيما يتعلق بتضاعف تركيزات ثاني أكسيد الكربون فوق مناطق واسعة في أوروبا، مع عواقب مرجحة لذلك فيما يتعلق بخطر حدوث فيضان في الشتاء. كما أشارت الإسقاطات أيضاً إلى زيادة في نشوء مخاطر فصل موسميات مطير جداً في آسيا (Palmer و Räisänen، 2002). ووفقاً لما ذكره (Milly وآخرون 2002)، تشير الإسقاطات فيما يتعلق بعدد يبلغ 15 من بين 16 من الأحواض الكبيرة على نطاق العالم، إلى حدوث تجاوز في كميات ذروة التدفق الشهري للأنهار الخاضع للمراقبة كل مائة سنة، على نحو أكثر تواتراً فيما يتعلق بتزايد ثاني أكسيد الكربون إلى أربعة أضعاف درجته. وفي بعض المناطق، تشير الإسقاطات إلى أن ما يقدم الآن على أنه فيضان كل مائة سنة (في اختبار المراقبة) سيحدث بشكل أكثر تواتراً بكثير، بل في فترات تتراوح بين سنتين وخمس سنوات، وإن كان ثمة درجة كبيرة من عدم اليقين في هذه الإسقاطات. وفي كثير من المناطق المعتدلة، من المرجح أن ينخفض إسهام الثلوج الذائبة في فيضانات الربيع (Zhang وآخرون، 2005). [WGII 3.4.3]



الشكل 3.2: *محاكاة لتأثير تغير المناخ في المتوسط السنوي طويل الأجل لتغذية المياه الجوفية. تغييرات بالنسب المئوية في متوسط تغذية المياه الجوفية خلال فترة 30 سنة، بين الوقت الحاضر (1961-1990) وخمسينات القرن الحادي والعشرين 2050s (2041-2070)، على النحو المحسوب بالنموذج الهيدرولوجي العالمي (WGHM)، مع تطبيق أربعة سيناريوهات مختلفة خاصة بتغير المناخ (استناداً إلى نماذج المناخ في مركز هامبورغ ومركز هادلي ECHAM4 و HadCM3 وسيناريوهي الانبعاثات A2 و B2 الواردين في التقرير الخاص عن سيناريوهات الانبعاثات) (Döll و Flörke، 2005). [WGII Figure 3.5]*

واستناداً إلى نماذج المناخ، تشير الإسقاطات إلى تزايد المنطقة المغمورة بالفيضان في بنغلاديش بنسبة تتراوح بين 23 و29 في المائة مع حدوث ارتفاع في درجة الحرارة على مستوى العالم بمقدار درجتين مئويتين (Mirza، 2003). [WGII 3.4.3]

ويسبب انخفاض غطاء الثلج المعمر[15] بفعل الاحترار فوق الأنهار الجليدية المزيد من الجريان الفوري لمياه الثلوج الذائبة ويمكن أن يؤدي إلى حدوث فيضان الأنهار التي يغذيها الجليد. [WGII 3.4.3]

وثمة درجة من عدم اليقين في التقديرات الخاصة بحدوث تغييرات في المستقبل في تواتر الفيضان عبر أرجاء المملكة المتحدة. وإذ يتوقف الأمر على نموذج المناخ المستخدم، وعلى أهمية مساهمة مياه الثلوج الذائبة وخصائص مستجمعات المياه وأماكنها، يمكن أن يصبح أثر تغير المناخ على نظام الفيضانات (من حيث الحجم والتواتر) إيجابياً أو سلبياً، مما يبرز استمرار بقاء حالة عدم اليقين من تأثيرات تغير المناخ (Reynard وآخرون، 2004). [WGII 3.4.3]

3.2.1.3 نوبات الجفاف

من المرجح أن تزداد المساحة المتأثرة بنوبات الجفاف. [WGI ملخص لصانعي السياسات] وثمة اتجاه لحدوث الجفاف في مناطق وسط القارات أثناء الصيف، مما يشير إلى مزيد من مخاطر هذه النوبات في تلك المناطق. [WGI 10 ملخص تنفيذي] وفي دراسة لنموذج وحيد لتواتر نوبات الجفاف على المستوى العالمي تبين الإسقاطات أن نسبة سطح أراضي اليابسة التي تشهد نوبات جفاف متطرفة في وقت من الأوقات، وتواتر ظواهر الجفاف المتطرفة، ومتوسط فترة استمرار الجفاف، سوف تزداد حسب الإسقاطات بمقدار يتراوح بين 10أضعاف و30 ضعفاً، وبمقدار الضعفين، وبمقدار الستة أضعاف، على التوالي، بحلول تسعينات هذا القرن، فيما يتعلق بالسيناريو A2 الوارد في التقرير الخاص عن سيناريوهات الانبعاثات (SRES) (Burke وآخرون، 2006). [WGI 10.3.6; WGII 3.4.3] ومن المحتم أن يصحب أي نقصان في هطول المطر في فصل الصيف في المناطق الجنوبية والوسطى من أوروبا، ارتفاع في درجات الحرارة (يعزز ارتفاع

الجدول 3.2 *أمثلة للتأثيرات الممكنة لتغير المناخ بسبب التغيرات في ظواهر الطقس والمناخ المتطرفة المتصلة بالهطول، استناداً إلى إسقاطات تتعلق بالفترة من منتصف القرن الحادي والعشرين إلى أواخر القرن ذاته. ولا تأخذ هذه التأثيرات في الحسبان أية تغييرات أو تطورات في القدرة على التكيف. وتتصل تقديرات الأرجحية الواردة في العمود 2 بالظواهر المدرجة في العمود 1. أما وجهة الاتجاه الملحوظ وأرجحية الظواهر فهي تتعلق بإسقاطات تغير المناخ الواردة في التقرير الخاص عن سيناريوهات الانبعاثات (SRES) الصادر عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC). [WGII Table SP-2: WGI Table SPM-2]*

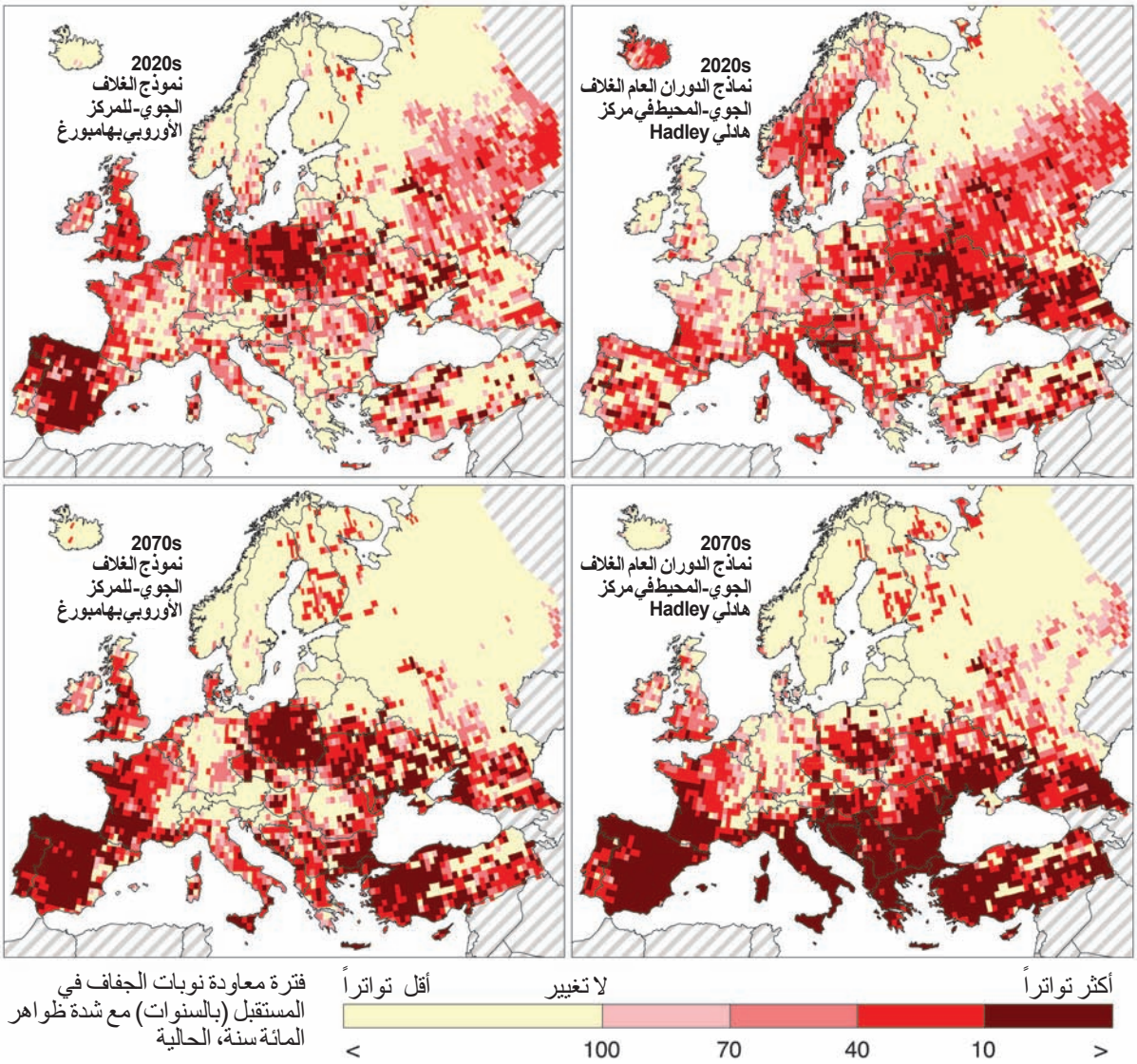
الظاهرة(أ) ووجهة الاتجاه الملحوظ	أرجحية الاتجاهات المستقبلية استناداً إلى إسقاطات تتعلق بالقرن الحادي والعشرين باستخدام سيناريوهات التقرير الخاص (SRES)	أمثلة للتأثيرات المسقطة الرئيسية حسب القطاع			
		الزراعة والحراجة، والنظم الإيكولوجية (4.4، 4.5)	الموارد المائية [3.4]	الصحة البشرية [8.2]	الصناعة، المستوطنات والمجتمع [7.4]
ظواهر هطول غزير: يزداد تواترها في معظم المناطق	**مرجح جداً**	أضرار تصيب المحاصيل؛ تحات التربة، عدم القدرة على زراعة الأرض بسبب تشبع التربة بالماء	آثار سيئة بالنسبة لجودة المياه السطحية والمياه الجوفية؛ تلوث إمدادات المياه؛ من الممكن التخفيف من مشكلة ندرة المياه	انقطاع الكهرباء مما يسبب تعطل إمدادات المياه العامة	تعطل المستوطنات، التجارة والنقل والمجتمعات بسبب الفيضان؛ والضغوط على البنى الأساسية الحضرية والريفية وفقد الممتلكات
المساحة المتأثرة بفعل زيادة نوبات الجفاف	**مرجح**	تدهور الأراضي، غلات/ محاصيل أقل؛ أضرار وعجز؛ زيادة نفوق الماشية؛ زيادة الخطر على الحياة البرية	مزيد من الإجهاد المائي واسع الانتشار	زيادة خطر نقص الأغذية والمياه؛ زيادة مخاطر سوء التغذية؛ زيادة مخاطر الأمراض المنقولة بالمياه والأغذية زيادة خطر نقص الأغذية والمياه؛ زيادة مخاطر سوء التغذية؛ زيادة مخاطر الأمراض المنقولة بالمياه والأغذية	حالات نقص المياه اللازمة للمستوطنات والصناعة والمجتمعات؛ انخفاض إمكانيات توليد الكهرباء من الطاقة المائية؛ إمكانية هجرة السكان
زيادات في نشاط الأعاصير المدارية الشديدة	**مرجح**	أضرار تصيب المحاصيل؛ خلع (اقتلاع) الأشجار؛ وأضرار تصيب الشعب المرجانية	انقطاع الكهرباء مما يسبب تعطل إمدادات المياه العامة	زيادة مخاطر الوفيات؛ والإصابات، والأمراض المنقولة بالمياه والأغذية؛ اضطرابات إجهاد ما بعد الصدمة	اضطرابات بسبب الفيضان والزوابع؛ شركات التأمين والقطاع الخاص، تسحب تغطية المخاطر في المناطق القابلة للتأثر؛ إمكان حدوث هجرة للسكان؛ وقوع خسائر في الممتلكات

(أ) انظر الجدول 3.7 في التقييم الرابع الذي أجراه الفريق العامل الأول (WGI)، للاطلاع على تفاصيل أخرى بشأن التعاريف.

[15] الثلج المعمر (Firn): هو ثلج مسن (مازال تتخلله مسام) يمثل مرحلة وسيطة في سبيله إلى أن يصبح جليداً متجمداً (غير مسامي).

نسبة التبخر)، مما سيؤدي إلى انخفاض رطوبة التربة في الصيف (انظر Douville وآخرون، 2002؛ وChristensen وآخرون، 2007) وزيادة نوبات الجفاف المتكررة والشديدة. [WGII 3.4.3]. وكما هو مبيَّن في الشكل 3.3، تشير الإسقاطات إلى أنه بحلول سبعينات هذا القرن، سوف يعود جفاف المائة سنة[16] بنفس الحجم في الوقت الحاضر، في المتوسط، بشكل أكثر تواتراً مما هو كل 10 سنوات في بقاع من أسبانيا والبرتغال، والمناطق الغربية من فرنسا، وفي حوض نهر الفستولا في بولندا وفي المنطقة الغربية من تركيا (Lehner وآخرون، 2005). [WGII 3.4.3]

ويبين الجدول 3.2 بعض تأثيرات ازدياد مساحة الجفاف. وتشير الإسقاطات إلى أن ذوبان الجليد سوف يحدث في وقت أبكر وعلى نحو أقل وفرة في فترة الذوبان، وقد يزيد هذا من خطر حدوث نوبات الجفاف في الأحواض التي تتغذى من المياه الذائبة من الثلوج في فصل انخفاض التدفقات - الصيف والخريف. وتشير الإسقاطات إلى حدوث زيادة في مخاطر الجفاف في المناطق التي تعتمد اعتماداً كبيراً على مياه الأنهار الجليدية الذائبة فيما يتعلق بإمداداتها من المياه في فصل الجفاف (Barnett وآخرون، 2005). وفي منطقة الأنديز، تدعم المياه الذائبة من الأنهار الجليدية تدفق الأنهار وإمدادات المياه لعشرات الملايين من الناس أثناء فصل الجفاف الطويل. ومن المتوقع أن يختفي كثير من الأنهار الجليدية الصغيرة، على سبيل المثال، في بوليفيا وإكوادور وبيرو (انظر Ramírez وآخرون، 2001؛ الإطار 5.5)، خلال العقود القليلة القادمة. وسوف تتأثر بشكل سيئ إمدادات المياه في المناطق التي تغذيها مياه ذائبة من الجليد والثلوج في منطقة هندوكوش، وجبال الهيمالايا، التي يعتمد عليها مئات الملايين من الناس في الصين وباكستان والهند (Barnett وآخرون، 2005). [WGII 3.4.3]



الشكل 3.3: *التغير في تكرار نوبات الجفاف في المستقبل في فترة 100 سنة، استناداً إلى مقارنات بين المناخ واستخدام المياه في الفترة 1961-1990(Lehner وآخرون، 2005). [الشكل WGII 3.6]*

[16] *كل سنة، تبلغ فرصة تجاوز الفيضان المقدر حدوثه كل 100 سنة نسبة 1 في المائة، في حين تبلغ نسبة تجاوز الفيضان المقدر حدوثه كل عشر سنوات نسبة 10 في المائة.*

3.2.1.4 جودة المياه

تشير الإسقاطات إلى أن ارتفاع درجات حرارة المياه، وازدياد شدة الهطول، والفترات الطويلة من التدفقات المنخفضة، سوف تفاقم كثيراً من أشكال تلوث المياه، بما في ذلك الترسيبات والمواد المغذية، والكربون العضوي المذاب، والكائنات المُمرضة، ومبيدات الآفات والملح والتلوث الحراري. وهذا سوف يزيد تكاثر الطحالب (Hall وآخرون، 2002؛ Kumagai وآخرون 2003) وزيادة المحتويات من البكتريا والفطريات (البيئة في كندا، 2001). وسوف يؤثر هذا بدوره على النُظم الإيكولوجية، وعلى الصحة البشرية، وعلى الموثوقية وتكاليف تشغيل نُظم المياه. [WGII 3 ملخص تنفيذي]

ومن المرجّح أن يعمل ارتفاع درجات الحرارة على خفض نوعية المياه في البحيرات من خلال زيادة تثبيت الحرارة وتغيير الأنماط المختلطة، مما ينتج عنه انخفاض في تركّزات الأوكسيجين وزيادة إطلاق الفوسفور من الترسُبات. وعلى سبيل المثال، يمكن لتركزات الفوسفور العالية فعلاً في خليج بحيرة أونتاريو أثناء فصل الصيف أن تتضاعف نتيجة لحدوث زيادة في درجة حرارة المياه تتراوح بين 3 و4 درجات مئوية (Nicholls، 1999). ومع ذلك، فإن ارتفاع درجات الحرارة يمكن أن يعمل أيضاً على تحسين نوعية المياه أثناء فصلي الشتاء/ الربيع بسبب التبكير في تكسر الجليد وما ينتج عن ذلك من ارتفاع معدلات الأوكسيجين، مما يؤدي إلى خفض موت الأسماك في فصل الشتاء. [WGII 4.4,8,14.4.1]

وسوف يؤدي المزيد من الأمطار الغزيرة إلى زيادة في الجوامد المعلّقة (التعكّر بالمواد العالقة) في البحيرات والمستودعات بسبب تحات غرين التربة (Leemans وKleidon، 2002)، كما يؤدي إلى إدخال ملوّثات (Mimikou وآخرون، 2000؛ Neff وآخرون، 2000؛ Bouraoui وآخرون، 2004). ومن المتوقّع أن تعمل الزيادة المسقطة في كثافة الهطول إلى تدهور في نوعية المياه، نظراً لأنه تنتج عن ذلك زيادة انتقال الكائنات المُمرضة وغيرها من الملوّثات الذائبة (مثل مبيدات الآفات) في المياه السطحية والمياه الجوفية؛ وزيادة التحات، التي تؤدي بدورها إلى تجمع الملوّثات الممتصة مثل الفوسفور والمعادن الثقيلة. إضافة إلى ذلك، سوف يشكل المزيد من سقوط الأمطار الغزيرة المتكررة عبئاً مفرطاً على قدرة نُظم صرف المجاري ووحدات معالجة المياه والمياه المستعملة في كثير من الأحيان. [WGII 3.4.4] وسوف تؤدي زيادة حدوث التدفقات المنخفضة إلى الحدّ من القدرة على تخفيف الملوّثات، وبالتالي إلى زيادة تركّزات الملوّثات، بما في ذلك الكائنات المُمرضة. [WGII 14.4.1 3.4.4] وفي المناطق التي ينخفض فيها الجريان بشكل عام (مثل المناطق شبه القاحلة)، سوف يكون تدهور نوعية المياه أسوأ من ذلك.

وفي المناطق القاحلة وشبه القاحلة، من المرجّح أن يعمل تغير المناخ على زيادة تملّح المياه الجوفية الضحلة بسبب زيادة عملية التبخُّر - النتح [WGII 3.4.2]. ونظراً لأن التقديرات المسقطة تشير إلى انخفاض تدفق المجاري المائية في كثير من المناطق شبه القاحلة، فإن ملوحة الأنهار ومصبات الأنهار سوف تزداد. [WGII 3.4.4] وعلى سبيل المثال، من المتوقع أن تزداد معدلات الملوحة في منابع النهر في حوض موراي - دارلينغ في أستراليا بنسبة تتراوح بين 13و19 في المائة بحلول سنة 2050 (Pittock، 2003). وبوجه عام، فإن انخفاض تغذية المياه الجوفية، التي تعمل على تخفيض تجمع الملح الجوفي، ربما يوازن أثر انخفاض تخفيف الأملاح في الأنهار ومصاب الأنهار. [WGII 11.4]

وربما تكون لارتفاع مستويات سطح البحر في المناطق الساحلية آثار سلبية على صرف مياه العواصف والتخلص من مياه المجارير [WGII 3.4.4] وزيادة إمكانية اقتحام المياه المالحة للمياه الجوفية العذبة في مستجمعات المياه الجوفية الساحلية، مما يؤثّر تأثيراً سيئاً على موارد المياه الجوفية. [WGII 3.4.2] وفيما يتعلق بجزيرتين صغيرتين مسطحتين من الجزر المرجانية أمام ساحل الهند، وُضعت تقديرات حسابية لسمك الطبقات الرسوبية الحاوية للمياه العذبة تشير إلى أنها ستنخفض من 25 متراً إلى 10 أمتار ومن 36 متراً إلى 28 متراً، على التوالي، أما ارتفاع مستوى سطح البحر فسيزداد بمقدار 0.1 متراً فقط (Bobba وآخرون، 2000). ومن شأن أي انخفاض في تغذية المياه الجوفية أن يؤدي إلى تفاقم تأثير ارتفاع مستوى سطح البحر. وفي المستودعات المائية الجوفية داخل البلدان، يمكن أن يؤدي أي انخفاض في تغذية المياه الجوفية إلى اقتحام المياه المالحة المتأتية من المستودعات المائية الجوفية المالحة المجاورة (Chen وآخرون، 2004). [WGII 3.4.2]

3.2.1.5 التحات والترسيب في المياه

تبيّن جميع الدراسات المتعلقة بتحات التربة أن الزيادة المتوقعة في غزارة سقوط الأمطار سوف تؤدي إلى مزيد من معدلات التحات. [WGII 3.4.5] إضافة إلى ذلك، فإن انتقال هطول المطر في فصل الشتاء من ثلج ذي قدرة أقل على التحات إلى أمطار أكثر قدرة على التحات بسبب تزايد درجات الحرارة في الشتاء يؤدي إلى زيادة التحات الذي يؤدي، على سبيل المثال، إلى تأثيرات سلبية على نوعية المياه في المناطق الزراعية. [WGII 3.4.5, 14.4.1]

ويستحث ذوبان التربة الصقيعية حالة من التحات في التربات التي لم تكن من قبل قابلة للتحات. [WGII 3.4.5] كما أن زيادة التأثيرات غير المباشرة لتغير المناخ على التحات تتصل بالتغيرات في التربة وفي الغطاء النباتي التي يسببها تغير المناخ وما يرتبط به من إجراءات للتكيُّف. [WGII 3.4.5] وتشير الدراسات القليلة جداً بشأن أثر تغير المناخ على انتقال الترسُبات إلى تعزيز عملية الانتقال بسبب زيادة التحات، وخصوصاً في المناطق التي يزداد فيها الجريان. [WGII 3.4.5]

3.2.2 الدوافع غير المناخية لنظم المياه العذبة في المستقبل

يؤثر كثير من الدوافع غير المناخية على موارد المياه العذبة على النطاق العالمي (الأمم المتحدة، 2003). وتتأثر كمية ونوعية موارد المياه بالتغير في استخدام الأراضي، وتشييد وإدارة المستودعات المائية، والانبعاثات من الملوّثات، والمياه، ومعالجة المياه والمياه المستعملة. وتؤثر على استخدام المياه التغيرات في نمو السكان واستهلاك الأغذية، والاقتصاد (بما في ذلك تسعير المياه)، والتكنولوجيا وأسلوب الحياة والآراء المجتمعية بشأن قيمة النظم الإيكولوجية للمياه العذبة. وتعتمد سرعة تأثر نُظم المياه العذبة بتغير المناخ أيضاً على الإدارة الوطنية والدولية للمياه. ويمكن للإنسان أن يتوقع أن يُحتذى

نموذج الإدارة المتكاملة لموارد المياه (IWRM)[17] بشكل متزايد في أنحاء العالم (الأمم المتحدة، 2002؛ البنك الدولي، 2004a؛ والمجلس العالمي للمياه، 2006)، وتكمن في هذه الحركة إمكانية وضع قضايا المياه، سواء كمورد أو كنظام إيكولوجي، في مكان الصدارة في مجال وضع السياسات. ومن المرجح أن يعمل هذا على خفض سرعة تأثر نُظم المياه العذبة بتغير المناخ. ويمكن لدراسة احتياجات التدفقات البيئية أن تؤدي إلى تعديل عمليات المستودعات بحيث يمكن تقييد الاستخدام البشري لموارد المياه هذه. [WGII 3.3.2]

3.2.3 تأثيرات تغير المناخ على توافر المياه العذبة في المستقبل

من المرجَّح جداً فيما يتعلق بإمدادات المياه، أن تفوق تكاليف تغير المناخ الفوائد المرجوة منه على النطاق العالمي. ومن بين الأسباب هو أن تقلبية الهطول من المرجّح جداً أن تزداد، ومن المتوقع حدوث حالات متكررة من الفيضانات والجفاف، على النحو المشار إليه في الفرعين 2.1.6 و 2.3.1. وسوف تزداد خطورة نوبات الجفاف في الأحواض التي تتغذي من ذوبان الثلوج في فصل التدفقات المنخفضة، على النحو المشار إليه في الفرع 3.2.1. ويمكن تلخيص آثار الفيضانات والجفاف باستثمارات مناسبة في البنية الأساسية وبتغييرات في إدارة المياه وإدارة استخدام الأراضي، بيد أن تنفيذ هذه التدابير سوف يستلزم تكاليف (البرنامج العالمي لبحوث التغير التابع للولايات المتحدة، 2000). وقد تطورت البنية الأساسية للمياه وأنماط استخدامها والمؤسسات في سياق الظروف الراهنة. وأي تغير يُذكر في تواتر الفيضانات والجفاف، أو في الكمية والنوعية والتوقيت الفصلي لتوافر المياه، سوف يتطلب تعديلات قد تتكلف مبالغ كبيرة، ليس فحسب من الناحية المالية بل أيضاً من ناحية التأثيرات الاجتماعية والإيكولوجية، بما في ذلك الحاجة إلى إدارة النزاعات المحتملة بين مختلف جماعات المصالح (Miller وآخرون، 1997). [WGII 3.5]

وقد تتمخض التغييرات الهيدرولوجية عن تأثيرات تكون إيجابية من بعض النواحي وسلبية من نواحٍ أخرى. وعلى سبيل المثال، قد يسفر ازدياد الجريان السنوي عن منافع لطائفة متنوعة من مستخدمي المياه داخل المجري المائي وخارجه بزيادة الموارد المائية المتجددة، بيد أنه قد يولّد في الوقت نفسه ضرراً بزيادة خطورة الفيضان. وفي العقود الأخيرة، ساعد الاتجاه إلى أحوال أكثر رطوبة في بقاع من جنوب أمريكا الجنوبية على زيادة المساحة المغمورة بالفيضانات، بيد أنه حسَّن أيضاً غلاّت المحاصيل في منطقة بامباس في الأرجنتين، وأدى إلى توفير فرص تجارية جديدة لصيد الأسماك (Magrin وآخرون، 2005). [WGII 13.2.4] ويمكن أن يسبب الجريان الزائد أيضاً أضراراً في مساحات بها منسوب ضحل من المياه الجوفية. وفي هذه الأماكن، يخلق ارتفاع منسوب المياه الجوفية اضطرابات للاستخدام الزراعي وأضراراً في المباني في المناطق الحضرية. وفي روسيا على سبيل المثال، فإن الأضرار السنوية الحالية التي تسببها مناسيب المياه الجوفية الضحلة تُقدَّر بحوالي من 5 إلى 6 بلايين دولار أمريكي (Kharkina، 2004) ومن المرجّح أن تزداد في المستقبل. إضافة إلى ذلك، فإن أي زيادة في الجريان السنوي قد لا تؤدي إلى زيادة مفيدة في الموارد المائية المتوافرة بسهولة، إذا تركز الجريان الإضافي أثناء فصل التدفق المرتفع. [WGII 3.5]

ويمكن أن تسفر غزارة الهطول المتزايد عن فترات من تزايد التعكُّر ووجود أحمال من المغذيات والكائنات الممرضة في مصادر المياه السطحية. وقد شهد مرفق المياه الذي يخدم مدينة نيويورك ظواهر لهطول أمطار غزيرة باعتبارها واحداً من الشواغل الرئيسية ذات الصلة بتغير المناخ لأن هذه الظواهر يمكن أن ترفع معدلات تعكر الماء في بعض المستودعات الرئيسية للمدينة حتى مائة مرة من الحد القانوني لنوعية مياه المصدر في المرفق، مما يتطلب تكاليف كبيرة للمعالجة والمراقبة الإضافيتين (Miller وYates، 2006). [WGII 3.5.1]

3.2.4 تأثيرات تغير المناخ على طلب المياه العذبة في المستقبل

يؤدي ارتفاع درجات الحرارة وزيادة تقلبية هطول المطر بوجه عام إلى زيادة الطلب على مياه الري، حتى لو ظل إجمالي كمية الهطول أثناء فصل النمو كما هو. وقد وُضِع نموذج لتأثير تغير المناخ على فترات النمو المُثلى وعلى استخدام مياه الري المُنتِجة لأقصى الغلاّت، مع افتراض عدم حدوث تغيير في المساحة المروية و/أو تقلبية المناخ (Döll، 2002؛ Döll وآخرون، 2003). ومع تطبيق السيناريو A2 والسيناريو B2 الواردين في التقرير الخاص عن سيناريوهات الانبعاثات الذي أعدته الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC SRES) على النحو المفسّر بنموذجين من نماذج المناخ، أشارت التقديرات المسقَطة إلى أن صافي الاحتياجات من الري فيما يتعلق بالصين والهند والبلدان التي لديها أكبر مساحات مروية على نطاق العالم، سوف يتغير بمقدار + 2% إلى + 15% في حالة الصين، وبمقدار – 6% إلى + 5% في حالة الهند، بحلول سنة 2020، وذلك رهناً بسيناريوهات الانبعاثات ونموذج المناخ (Döll، 2002؛ Döll وآخرون، 2003). وتتضمّن نماذج المناخ المختلفة إسقاطات مختلفة للتغيرات على نطاق العالم في صافي احتياجات الري، مع زيادات مقدّرة تتراوح بين 1% و3% بحلول العشرينات من هذا القرن وبين 2% و7% بحلول السبعينات منه. وأكبر زيادات على نطاق العالم في صافي احتياجات الري تنتج من سيناريو المناخ استناداً إلى سيناريو الانبعاثات B2. [WGII 3.5.1]

وفي دراسة عن ري الذرة في ولاية إيلينوي، في ظروف تزيد الربح إلى أقصى حد، وُجد أن انخفاضاً بنسبة 25% في الهطول السنوي له نفس الأثر على الربحية الناجمة عن الري، للانخفاض بنسبة 15% المرتبط بمضاعفة الانحراف المعياري للهطول اليومي (Eheart وTornil، 1999). وأظهرت هذه الدراسة أيضاً أن استخدام مياه الري على نحو يضاعف الربح إلى أقصى حد يستجيب بقوة أكثر للتغيرات في الهطول أكثر مما يستجيب لاستخدام المياه من أجل تعظيم الغلات إلى أقصى حد ولا يكون لمضاعفة تركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي سوى تأثير صغير فحسب. [WGII 3.5.1]

ومن المرجَّح أن تكون الزيادة في الطلب على المياه للاستخدامات المنزلية (على سبيل المثال من خلال الزيادة في ري الحدائق) والطلب على المياه في مجال الصناعة، بسبب تغير المناخ، صغيرة نسبياً، على سبيل المثال، أي تمثل أقل من 5% بحلول الخمسينات من هذا القرن

[17] المفهوم السائد لإدارة المياه الذي لم يعرّف مع ذلك دونما لبس أو إبهام. وتستند الإدارة المتكاملة لموارد المياه إلى أربعة مبادئ صاغها المؤتمر الدولي المعني بالمياه والبيئة في دبلن، 1992: (1) المياه العذبة هي مورد محدود ومعرض للخطر وهو ضرورة لاستمرار الحياة والتنمية والبيئة؛ (2) ينبغي أن تستند تنمية وإدارة البيئة إلى نهج تشاركي ينخرط فيه المستعملون وخبراء التخطيط وواضعو السياسات على جميع المستويات؛ (3) تؤدي المرأة دوراً مركزياً في توفير وإدارة المياه والحفاظ عليها؛ (4) أصبح للماء قيمة اقتصادية في جميع استخداماته المتنافسة وينبغي الاعتراف به كسلعة اقتصادية.

في أماكن مختارة (Mote وآخرون، 1999؛ Downing وآخرون، 2003). وثمة تأثير ثانوي غير مباشر ولكنه تأثير صغير يتمثل في زيادة الطلب على الكهرباء من أجل تبريد المباني، وسوف يؤدي هذا التأثير إلى زيادة مسحوبات المياه من أجل تبريد وحدات إنتاج الطاقة الحرارية. وأظهر تحليل إحصائي لاستخدام المياه في مدينة نيويورك أن نصيب الفرد من استخدامات المياه اليومية في الأيام التي تزيد فيها درجة الحرارة عن 25 درجة مئوية يزداد بمعدل11 لتراً/ درجة مئوية (أي بنسبة تبلغ تقريباً 2% من الاستخدام الفردي اليومي الحالي) (Protopapas وآخرون، 2000). [WGII 3.5.1]

3.2.5 تأثيرات تغير المناخ على الإجهاد المائي في المستقبل

تختلف التقديرات العالمية لعدد الأشخاص الذين يعيشون في الأماكن التي تشهد إجهاداً مائياً اختلافاً كبيراً بين الدراسات (Vörösmarty وآخرون، 2000؛ Alcamo وآخرون، 2003a,b؛ Oki وآخرون، 2003؛ Arnell، 2004). ومع ذلك، فإن تغير المناخ هو أحد عوامل كثيرة تؤثر على الإجهاد المائي في المستقبل؛ ويُحتَمل أن تؤدي التغيرات الديمغرافية والاجتماعية - الاقتصادية والتكنولوجية أدواراً أهم في معظم الآفاق، وفي معظم الأماكن. وفي الخمسينات من هذا القرن، سوف يكون للفروق في الإسقاطات الخاصة بالسكان في السيناريوهات الأربعة الواردة في التقرير الخاص عن سيناريوهات الانبعاثات (SRES) الصادر عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ تأثير على عدد الناس الذين يعيشون في أحواض الأنهار المجهدة مائياً أكبر من الفروق في سيناريوهات المناخ (Arnell، 2004). وسوف يزداد عدد الناس الذين يعيشون في أحواض الأنهار المجهدة مائياً بدرجة كبيرة (الجدول 3.3). ويعتمد التغير في عدد الناس المتوقع أن يعانوا إجهاداً مائياً بعد الخمسينات من هذا القرن اعتماداً كبيراً على السيناريو المعتمَد الوارد في التقرير الخاص عن سيناريوهات الانبعاثات. وتشير الإسقاطات إلى حدوث زيادة كبيرة في إطار السيناريو A2، في حين أن معدل الزيادة سيكون أقل في إطار السيناريو A1 والسيناريو B1 بسبب الزيادة العالمية في الموارد المتجددة من المياه العذبة وبسبب انخفاض طفيف في عدد السكان (Oki و Kanae، 2006). ويجدر بالذكر أنه استناداً إلى مؤشر توافر المياه للفرد، فإن تغير المناخ، سيخفض فيما يبدو، الإجهاد المائي الإجمالي على المستوى العالمي. ويرجع هذا إلى أن الزيادات في الجريان ستتركز بشدة في معظم المناطق المكدّسة بالسكان في العالم، وأساساً في المناطق الشرقية من آسيا وفي جنوب شرقها. ومع ذلك لن تعمل هذه الزيادة في الجريان التي تحدث أساساً أثناء فصول التدفق العالي (Arnell، 2004)، على تخفيف مشاكل الفصول الجافة إذا لم تُخزَّن مياه إضافية؛ ولن تُخفف الإجهاد المائي في مناطق أخرى من العالم. وقد تعوِّض التغييرات في الأنماط الفصلية وتزايد إمكانية حدوث ظواهر متطرفة آثار زيادة الموارد السنوية المتوافرة من المياه العذبة والتغييرات الديمغرافية. [WGII 3.5.1]

وإذا جرى تقييم الإجهاد المائي ليس كدالة للسكان وتغير المناخ بل أيضاً كدالة للاستخدام المتغير للمياه، فإن أهمية الدوافع غير المناخية (الدخل، والكفاءة في استخدام الماء، وإنتاجية المياه، والإنتاج الصناعي) (Alcamo وآخرون) تزداد. وفي بعض الأحيان يكون لنمو الدخول تأثير أكبر من النمو السكاني على الاستخدام المتزايد للمياه والإجهاد المائي (عندما يُفَسّر بأن نسبة مسحوبات الماء إلى الموارد المائية). ووُضِع نموذج للإجهاد المائي لينخفض بحلول الخمسينات من هذا القرن إلى ما يزيد على 20-29% من مساحة الأراضي العالمية ولكي يزيد أكثر من 62-76% من المساحة الأرضية العالمية (في نموذجين من نماذج المناخ والسيناريو A2 والسيناريو B2 الواردين في التقرير الخاص عن سيناريوهات الانبعاثات). وتُعتَبر زيادة توافر الماء بسبب تزايد هطول المطر هي السبب الأساسي لانخفاض الإجهاد المائي، في حين أن مسحوبات المياه المتزايدة تعتَبر السبب الرئيسي لتزايد الإجهاد المائي. وتبين أن النمو في الاستخدام المنزلي للمياه، الذي يحفزه نمو الدخول، يشكل العامل المهيمن (Alcamo وآخرون، 2007). [WGII 3.5.1]

3.2.6 تأثيرات تغير المناخ على التكاليف والجوانب الاجتماعية - الاقتصادية الأخرى للمياه العذبة

يعتبَر مقدار المياه المتوافرة للسحب دالة للجريان، وتغذية المياه الجوفية وأحوال المستودعات المائية الجوفية (على سبيل المثال درجة الاحتجاز، والعمق، والسمك، والحدود)، ونوعية الماء، والبنية الأساسية لإمدادات المياه (على سبيل المثال المستودعات، آبار الضخ، وشبكات التوزيع). ويعتمد الحصول الآمن على مياه الشرب على مستوى البنية الأساسية لإمدادات المياه أكثر من اعتماده على كمية الجريان. ومع ذلك، فإن الهدف من الحصول الآمن المحسّن على مياه الشرب سيكون من الأصعب تحقيقه في المناطق التي يتناقص فيها الجريان و/أو تغذية المياه الجوفية نتيجة لتغير المناخ. إضافة إلى ذلك، يؤدى تغير المناخ إلى تكاليف إضافية من أجل قطاع إمدادات المياه، على سبيل المثال بسبب تغير مستويات المياه التي تؤثر على البنية الأساسية لإمدادات المياه، والتي قد تعرقل تمديد خدمات إمدادات المياه إلى مزيد من الناس. وهذا يؤدي بدوره إلى تأثيرات اجتماعية - اقتصادية أعلى وتكاليف للمتابعة خصوصاً في المناطق التي يزداد فيها أيضاً انتشار الإجهاد المائي نتيجة لتغير المناخ. [WGII 3.5.1]

ويمكن للتغييرات المستحثة بفعل تغير المناخ في كل من نظام الجريان الفصلي، وتوافر الجريان فيما بين السنوات أن تكون على نفس القدر من الأهمية بالنسبة لتوافر المياه، مثل التغيرات في متوسط الجريان السنوي الطويل الأجل (البرنامج العالمي لبحوث التغير التابع للولايات المتحدة، سنة 2000). أما الناس الذين يعيشون في أحواض تغذيها المياه الذائبة من الثلوج ويشهدون انخفاضاً في تخزين الثلوج في الشتاء فقد يتأثرون

الجدول 3.3: *تأثير النمو السكاني وتغير المناخ على عدد السكان الذين يعيشون في أحواض الأنهار المجهَّدة مائياً (محدداً كنصيب للفرد من الموارد المائية المتجددة يقل عن 1000 متر مكعب سنوياً) حوالي سنة 2050. [WGII Table 3.2]*

	العدد التقديري للسكان الذين يعيشون في أحواض الأنهار المجهدة مائياً في سنة 2050 (بالبلايين)	
	(Arnell)(2004)	Alcamo (2007)) وآخرون)
1995: خط الأساس	1,4	1,6
2050: سيناريو الانبعاثات A2	5,7–4,4	6,9–6,4
2050: سيناريو الانبعاثات B2	4,0–2,8	5,2–4,9

تستند التقديرات إلى سيناريوهات الانبعاثات المتعلقة باختبار عدة نماذج مناخية. و يرجع هذا المدى إلى مختلف النماذج المناخية وطرق اختبار النماذج التي استخدمت لترجمة الانبعاثات إلى سيناريوهات للمناخ.

تأثراً سلبياً بانخفاض تدفقات الأنهار في الصيف والخريف (Barnett وآخرون، 2005). وقد يعاني نهر الراين، على سبيل المثال من انخفاض في التدفقات المنخفضة في فصل الصيف بنسب تتراوح بين 5 و12% بحلول خمسينات هذا القرن، وهو ما سوف يؤثر تأثيراً سلبياً على إمدادات المياه، وخصوصاً بالنسبة لوحدات إنتاج الطاقة الحرارية (Middelkoop وآخرون، 2001). وبيَّنت الدراسات المتعلقة بحوض نهر البي إسقاطات تشير إلى حدوث زيادة في التبخر - النتح بحلول سنة 2050 (Krysanova وWechsung، 2002)، في حين من المرجّح أن ينخفض تدفُّق الأنهار، وتغذية المياه الجوفية، وغلات المحاصيل، وأن ينتشر تلوث المصدر (Krysanova وآخرون، 2005). [WGII 3.5.1]

ومن المرجّح في المناطق الغربية من الصين، أن يؤدي ذوبان الثلوج في وقت مبكر في الربيع وانخفاض الأنهار الجليدية إلى التقليل من توافر المياه اللازمة للزراعة المروية. وقد جرى تقدير ما يتعلق بالصين من استثمارات، وتكاليف التشغيل اللازمة للآبار والمستودعات الإضافية المطلوبة لضمان إمدادات موثوقة من المياه في إطار تغير المناخ. وتكون هذه التكلفة منخفضة في الأحواض التي يُعتَبر فيها الإجهاد المائي الحالي منخفضاً (على سبيل المثال Changjiang) ومرتفعاً في المناطق التي يكون فيها الإجهاد المائي مرتفعاً (على سبيل المثال نهر هونغي)، (Kirshen وآخرون، 2005a). زيادة على ذلك، سوف يزداد تأثير تغير المناخ على تكلفة إمدادات المياه في المستقبل، ليس فقط بسبب حدوث تغير أقوى في المناخ، بل أيضاً بسبب تزايد الطلب على المياه. [WGII 3.5.1]

وفيما يتعلق بمستودع مياه جوفية في تكساس، تشير الإسقاطات إلى أن صافي دخل المزارعين سينخفض بنسبة تتراوح بين 16 و30% بحلول ثلاثينات هذا القرن (2030) وبنسبة تتراوح بين 30 و45% بحلول تسعيناته بسبب انخفاض إمدادات مياه الري وازدياد الطلب على هذه المياه. وتشير الإسقاطات إلى أن مجموع صافي الفائدة بسبب استخدام المياه (الذي يسوده استخدام البلديات والاستخدام الصناعي) سوف ينخفض بما يقل عن 2% خلال نفس الفترة (Chen وآخرون، 2001). [WGII 3.5.1]

وإذا أريد الاستعاضة عن إمدادات المياه العذبة بمياه أُزيلت ملوحتها بسبب تغير المناخ، عندئذ تشمل تكلفة تغير المناخ متوسط تكلفة إزالة الملوحة، التي تصل حالياً إلى دولار أمريكي واحد للمتر المكعب فيما يتعلق بمياه البحر، وتبلغ 0.60 دولار أمريكي للمتر المكعب فيما يتعلق بالماء الأخضم (المالح نوعاً ما) (Zhou وTol، 2005). وفي المناطق الساحلية الكثيفة السكان، في مصر والصين وبنغلاديش والهند وجنوب شرق آسيا (منظمة الأغذية والزراعة، 2003)، قد تصل التكاليف إلى أسعار باهظة لا يستطيع الناس دفعها. وفي تلك المناطق، وخصوصاً في مصر، من المطلوب إجراء بحوث في تكنولوجيا إزالة الملوحة للحد من التكاليف، وخصوصاً باستخدام مصادر الطاقة غير التقليدية التي ترتبط بانبعاثات أقل من غازات الدفيئة. إضافة إلى ذلك، يمكن لتكاليف إزالة الملوحة من الماء الأخضم أن تحسِّن اقتصاديات مشاريع من هذا القبيل (انظر الفرع 4.4.4). [WGII 3.5.1]

وسوف تعتمد التعويضات عن أضرار الفيضانات في المستقبل إلى حدٍ كبير على أنماط التسويات، والقرارات الخاصة باستخدام الأراضي، ونوعية التنبؤ بالفيضانات، ونُظم الإنذار والاستجابة وقيمة الهياكل وغيرها من الممتلكات الواقعة في أماكن معرّضة للمخاطر (Mileti، 1999؛ Pielke وDownton، 2000؛ Changnon، 2005)، كما ستعتمد أيضاً على التغييرات المناخية في حد ذاتها، مثل التغييرات في مدى تواتر الأعاصير المدارية (Schiermeier، 2006). [WGII 3.5.2]

ويمكن وضع تقديرات مسقَطة بشأن تأثير تغير المناخ من حيث الأضرار التي تلحقها الفيضانات، استناداً إلى تغيرات منمذجة فيما يتعلق بالفواصل الزمنية المتكررة للفيضانات الحالية والتي تبلغ 20 أو 100 سنة. وبالاقتران مع أضرار الفيضانات من الظواهر الحالية حسبما تتحدد من العلاقات بين المرحلة والتصريف والبيانات المفصلة عن الممتلكات. ومع استخدام هذه المنهجية، تشير التقديرات المسقطة إلى أن متوسط الأضرار المباشرة السنوية نتيجة للفيضانات فيما يتعلق بثلاثة أحواض للصرف في أستراليا سيزداد من 4 إلى 10 أضعاف في ظل ظروف مضاعفة ثاني أكسيد الكربون (Schreider وآخرون، 2000). [WGII 3.5.2]

ووضع Choi وFisher (2003) تقديرات بشأن التغير المتوقع في أضرار الفيضانات بالنسبة لمناطق مختارة في الولايات المتحدة في إطار اثنين من السيناريوهات الخاصة بتغير المناخ، وفيها ازداد متوسط الهطول السنوي بنسبة 13.5% و 21.5% على التوالي، إما مع بقاء الانحراف المعياري للهطول السنوي دون تغيير وإما مع تزايدها تناسبياً نحو المتوسط. وباستخدام النموذج الاقتصادي القياسي الهيكلي (الارتداد) استناداً إلى سلاسل زمنية لأضرار الفيضانات وإلى السكان، ومؤشر الثروة، والهطول السنوي كعناصر للتنبؤ، فإن التقديرات المسقطة تشير إلى ازدياد الانحراف المعياري المتوسط لأضرار الفيضانات بأكثر من 140% إذا ازداد الانحراف المعياري المتوسط للهطول السنوي بنسبة 13.5 في المائة. ويشير هذا التقدير إلى أن خسائر الفيضانات ترتبط أساساً بتعرّض الناس للمخاطر الطبيعية بسبب الافتقار إلى البنية الأساسية الاجتماعية حيث إن القوة التفسيرية للنموذج بما في ذلك السكان والثروة تبلغ 82% في حين أن إضافة هطول المطر تزيد هذه النسبة إلى 89%. [WGII 3.5.2]

وبحثت دراسة أخرى الآثار الممكنة لأضرار الفيضانات بسبب التغيرات في الظواهر المتطرفة للهطول باستخدام نموذج المركز الكندي للمناخ والسيناريو IS92a لمنطقة بوسطن الحضرية في شمال شرق الولايات المتحدة الأمريكية (Kirshen وآخرون، 2005b). وتبين من هذه الدراسة أن كلاً من عدد الممتلكات التي دمرتها الفيضانات والتكلفة النهائية لأضرار الفيضانات، سوف تتضاعف بدون الاستثمارات الخاصة بالتكيُّف، بحلول سنة 2100، بالنسبة لما قد يمكن توقّعه إذا لم يحدث تغير في المناخ. ووجدت الدراسة أيضاً أن عمليات التأخير في النقل ذات الصلة بالفيضانات سوف تصبح مصدر إزعاج هام بدرجة متزايدة على امتداد هذا القرن. وخلصت الدراسة إلى أنه من المرجح أن يكون القدر الاقتصادي لهذه الأضرار عالياً بما يكفي لتبرير تخصيص نفقات كبيرة لاستراتيجيات التكيُّف مثل الوقاية الشاملة من الفيضانات عن طريق السهول الفيضية. [WGII 3.5.2]

وتؤيد هذه النتائج أيضاً دراسة سيناريو بشأن الأضرار المتأتية من فيضانات الأنهار والفيضانات الساحلية في إنكلترا وويلز في ثمانينات هذا القرن، التي ترافقها أربعة سيناريوهات للانبعاثات مع أربعة سيناريوهات للتغير الاجتماعي - الاقتصادي في إطار مشابه

للتقرير الخاص بسيناريوهات الانبعاثات (SRES) (Hall وآخرون، 2005). وتشير الإسقاطات إلى أن أضرار الفيضانات في جميع السيناريوهات سوف تزداد ما لم تتغير السياسات الراهنة والممارسات والبنية الأساسية الخاصة بإدارة الفيضانات. وبحلول الثمانينات من هذا القرن، تشير الإسقاطات إلى أن الأضرار السنوية ستبلغ خمسة بلايين جنيه استرليني في ظل عالم سيناريو من النمط B1، بالمقارنة مع 1 بليون جنيه استرليني حالياً، ومع نفس التغير المناخي تقريباً، وأما الأضرار فتبلغ 1.5 بليون جنيه استرليني في عالم سيناريو من النمط B2. ويعطي السيناريو B1 والسيناريو B2 تقريباً نفس النتائج إذا ما حُسبت هذه الأرقام حسب الحالة المعهودة فيما يخص الناتج المحلي الإجمالي. أما الأضرار السنوية، في عالم سيناريو من النمط A1 فسوف تبلغ 15 بليون جنيه استرليني بحلول الخمسينات من هذا القرن، ومبلغ 21 بليون جنيه استرليني بحلول ثمانينات هذا القرن (Evans وآخرون، 2004؛ Hall وآخرون، 2005). [WGII 3.5.2]

وسوف تعطِّل فترات الفيضان المتزايدة في المستقبل الملاحة في كثير من الأحيان، وقد تزداد أحوال التدفقات المنخفضة التي تقيِّد عمليات الشحن والنقل بالسفن. وعلى سبيل المثال، قد تزداد التقييدات على عمليات الشحن والنقل بالسفن في نهر الراين من 19 يوماً في ظل الظروف المناخية الراهنة إلى 26-34 يوماً في خمسينات هذا القرن (Middelkoop وآخرون، 2001). [WGII 3.5.1]

ومن المرجح أن يغير تغير المناخ تصريف الأنهار، مما ينتج عنه تأثيرات هامة على توافر المياه من أجل استخدام مجرى النهر، وخصوصاً لتوليد القوى الكهرمائية. وقُدِّرت تأثيرات القوة الكهرمائية فيما يتعلق بأوروبا باستخدام نموذج هيدرولوجي كبير النطاق. وتشير النتائج إلى أنه بحلول سبعينات هذا القرن سوف تزداد إمكانية إنتاج الكهرباء من مولّدات الطاقة الكهرمائية القائمة في نهاية القرن العشرين (مع افتراض سيناريو الانبعاثات IS92a) بنسبة تتراوح بين 15 و30% في اسكندنافيا والمناطق الشمالية من روسيا حيث يُنتَج حالياً ما يتراوح بين 19% (فنلندا) ونحو 100% (النرويج) من الكهرباء عن طريق الطاقة الكهرمائية (Lehner وآخرون، 2005). وتوجد انخفاضات بنسبة تتراوح بين 20 و50% وما هو أكثر من ذلك في البرتغال وإسبانيا وأوكرانيا وبلغاريا، في حين تُنتَج حالياً نسبة تتراوح بين 10% (أوكرانيا وبلغاريا) و39% من الكهرباء من الطاقة الكهرمائية (Lehner وآخرون، 2005). وفيما يتعلق بأوروبا كلها (مع نسبة طاقة كهرمائية تبلغ 20%)، تشير الإسقاطات إلى أن إمكانات الطاقة الكهرمائية سوف تتناقص بنسبة تتراوح بين7 و 12% بحلول سبعينات هذا القرن. [WGII 3.5.1]

وفي أمريكا الشمالية يمكن أن تؤدي الانخفاضات المحتملة في تدفق البحيرات العظمى إلى خسائر اقتصادية هامة نتيجة لانخفاض توليد الطاقة الكهرمائية في نياغرا وفي نهر سانت لورانس (Lofgren وآخرون، 2002). وفيما يتعلق بإسقاطات نموذج الدوران العام المتقارن 1 (CGCM1) ومع احترار عالمي قدره درجتين مئويتين، سوف ينخفض توليد الطاقة الكهرمائية في نياغرا ونهر سانت لورانس في أونتاريو بنسب تتراوح بين 25 و35%، مما ينتج عنه خسائر سنوية قدرها 240-350 مليون دولار كندي بأسعار 2002 (Buttle وآخرون، 2004). ومع ذلك، حدثت مع نموذج الدوران العام للغلاف الجوي - المحيط لمركز هادلي (HadCM2) زيادة صغيرة في إمكانية الطاقة الكهرمائية (+ 3%)، وهي تساوي في قيمتها تقريباً 25 مليون دولار كندي سنوياً. وتبين من دراسة أخرى فحصت طائفة من سيناريوهات نماذج المناخ أن الاحترار العالمي بمقدار درجتين مئويتين يمكن أن يُخفّض طاقة توليد الطاقة الكهربائية في نهر سانت لورانس بمقدار 1 إلى 17 في المائة (دراسات بشأن بحيرة أونتاريو - نهر سانت لورانس (LOSLR)، 2006). [WGII 3.5.1]

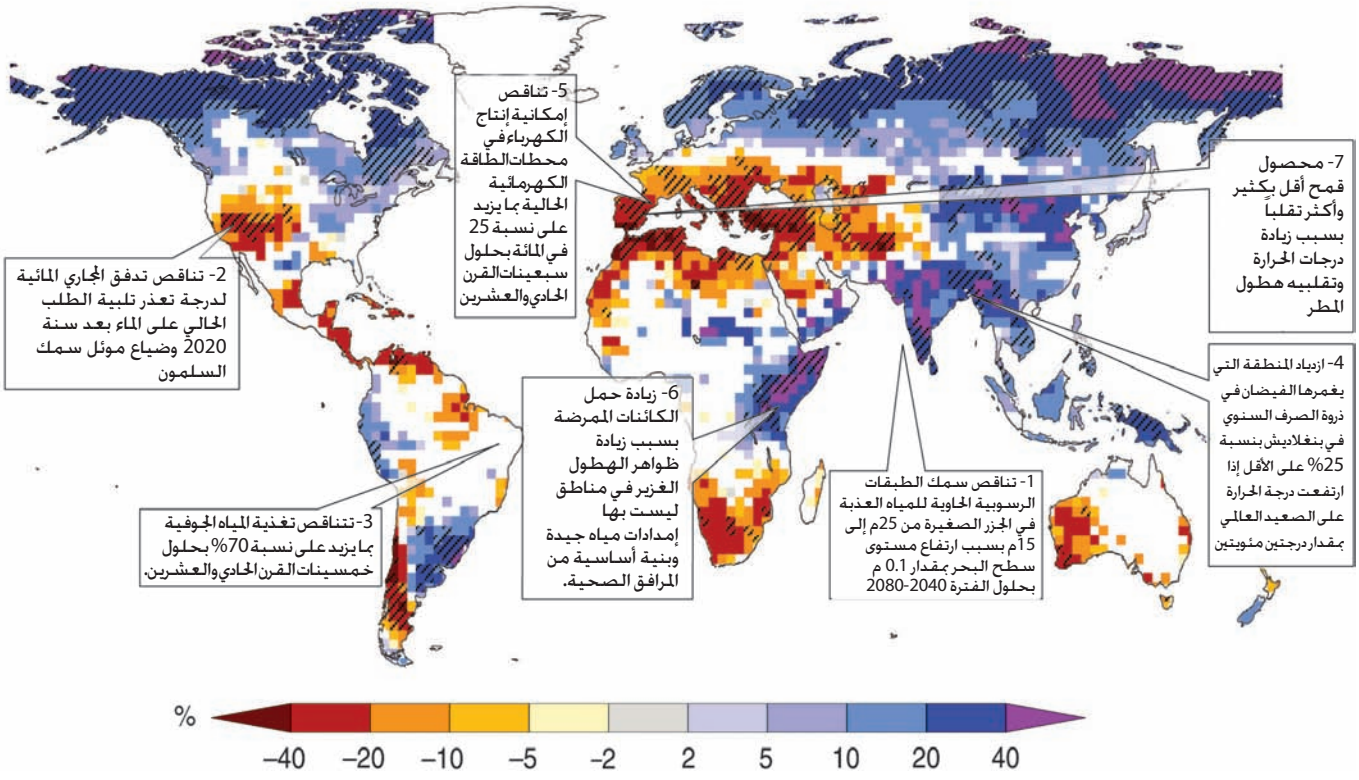
3.2.7 مناطق وقطاعات المياه العذبة سريعة التأثر إلى حد كبير بتغير المناخ

في كثير من مناطق العالم، قد تترك تأثيرات تغير المناخ على موارد المياه العذبة آثارها على التنمية المستدامة وتعرّض للمخاطر، على سبيل المثال، الجهود المبذولة من أجل تخفيف حدة الفقر والحد من وفيات الأطفال. وحتى مع الإدارة المُثلى للمياه من المرجَّح جداً عدم إمكان تجنب التأثيرات السلبية على التنمية المستدامة. ويبيّن الشكل 3.4 الحالات الأساسية حول العالم حيث تشكل تأثيرات تغير المناخ ذات الصلة بالمياه العذبة مخاطر على التنمية المستدامة في المناطق المتضررة. ويجري السعي لتحقيق الإدارة 'المستدامة' لموارد المياه من خلال تحقيق الإدارة المتكاملة لموارد المياه (IWRM): انظر الحاشية 17 (للاطلاع على تعريف لذلك). ومع ذلك، هناك اختلافات كبيرة في التفسير الدقيق لهذا المصطلح. فجميع التعاريف تشمل بوجه عام مفهوم الحفاظ على البيئة وتعزيزها وخصوصاً بيئة المياه، مع مراعاة المستخدِمين المتزاحمين، والنظم الإيكولوجية لتدفق المجاري المائية والأراضي الرطبة. وتبحث التعاريف أيضاً الآثار البيئية الأوسع نطاقاً لسياسات إدارة المياه، مثل آثار سياسات إدارة المياه على إدارة الأرض، وبالعكس آثار سياسات إدارة الأرض على بيئة المياه. وتعتَبر الإدارة الرشيدة للمياه عنصراً هاماً من عناصر إدارة المياه لتحقيق موارد مياه مستدامة لطائفة من النظم السياسية، والاجتماعية - الاقتصادية والإدارية (إمكانية الاحترار العالمي، 2002؛ Eakin وLemos، 2006). [WGII 3.7]

3.2.8 جوانب عدم اليقين في التأثيرات المسقطة لتغير المناخ على نظم المياه العذبة

ترجع جوانب عدم اليقين في تأثيرات تغير المناخ على موارد المياه في المقام الأول إلى عدم اليقين من إسهامات هطول المطر، وترجع بشكل أقل إلى جوانب عدم اليقين من انبعاثات غازات الدفيئة (Döll وآخرون، 2003؛ Arnell، 2004)، وعدم اليقين من الحساسيات المناخية (Prudhomme وآخرون، 2003)، أو من النماذج الهيدرولوجية ذاتها (Kaspar، 2003). ويتمثل مصدر آخر من مصادر عدم اليقين بشأن التأثيرات المسقطة لتغير المناخ على نُظم المياه العذبة في طبيعة ونطاق تلك المبادرات والتدابير المخططة فعلاً كتدخلات ومدى نجاحها النسبي. وسوف تتحقق التأثيرات التي يبينها الشكل 3.4 بشكل مختلف، وهو أمر يتوقف على أي تدابير تُتخذ للتكيُّف. فالتأثيرات التفاعلية من تدابير التكيُّف مع تغير المناخ لا تؤخَذ بشكل كامل في الاعتبار في إسقاطات المستقبل الحالية، مثل تطاول أمد فصل نمو المحاصيل، والمزيد من التنظيمات بشأن تدفق

[18] انظر التذييل الأول المتعلق بأوصاف النماذج.



الشكل 3.4: *خريطة توضيحية لتأثيرات تغير المناخ مستقبلاً فيما يتصل بالمياه العذبة التي تشكل مخاطر على التنمية المستدامة في المناطق المتضررة. 1: Bobba وآخرون (2000)، 2: Barnett وآخرون (2004)، 3: Döll وFlörke (2005)، 4: Mirza وآخرون (2003)، 5: Lehner وآخرون (2005)، 6: Kistemann وآخرون (2007)، 7: Porter وSemenov (2005)، خريطة تتضمن معلومات أساسية، انظر الشكل 2.10: تغير في متوسط المجموعات فيما يتعلق بالجريان السنوي (%) بين فترة (1980-1999) الحالية والفترة 2090-2099 فيما يتعلق بسيناريو الانبعاثات A1B الوارد في التقرير الخاص عن سيناريوهات الانبعاثات (SRES) (استناداً إلى Milly وآخرين، 2005). وتشير المناطق ذات اللون الأزرق (الأحمر) إلى الزيادة (النقصان) في الجريان السنوي. [استناداً إلى الشكل WGII 3.8 والشكل 3.5 من التقرير التجميعي]*

الأنهار، مع زيادة التخزين في المستودعات. وأدت مقارنة مختلف مصادر عدم اليقين فيما يتعلق بإحصاءات الفيضان في مستجمعين من مستجمعات المياه في المملكة المتحدة (Kay وآخرون، 2006a) إلى نتيجة مؤداها أن أكبر مصدر لعدم اليقين هو هيكل نموذج الدوران العام، وتتلوه سيناريوهات الانبعاثات والنمذجة الهيدرولوجية. وتوصل Prudhomme وDavies (2006) إلى نتائج مماثلة فيما يخص متوسط التدفقات الشهرية، وإحصاءات التدفق المنخفضة في بريطانيا العظمى. [WGII 3.3.1]

وتعتبر النُهُج الاحتمالية المتعددة النماذج ذات أفضلية فيما يتعلق باستعمال ناتج نموذج مناخي واحد، عند تقييم عدم اليقين في تأثير تغير المناخ على موارد المياه. ومنذ تقديم تقرير التقييم الثالث، استخدَمت دراسات عديدة بشأن التأثيرات الهيدرولوجية مدخلات مناخية متعددة النماذج (على سبيل المثال Arnell (سنة 2004) على النطاق العالمي وKaspar وآخرون (2004) على نطاق أحواض الأنهار)، بيد أن الدراسات التي تشتمل على تقييمات احتمالية تعتَبَر نادرة. [WGII 3.3.1]

ويجري في كثير من الدراسات المتعلقة بالتأثيرات، تعديل السلاسل الزمنية لقيم المناخ المرصودة باستخدام التغيير المحسوب في متغيرات المناخ للحصول على سيناريوهات تكون متوافقة مع الأحوال الحاضرة. وتهدف هذه التعديلات إلى التقليل إلى أدنى حد من تأثيرات الخطأ في النمذجة المناخية فيما يتعلق بنماذج الدوران العام (GCMs) في إطار الافتراض بأن الانحرافات في النمذجة المناخية تعتَبر متماثلة القدر فيما يتعلق بالآفاق الزمنية الحالية والمستقبلية. ويعتبَر هذا على درجة من الأهمية بوجه خاص فيما يتعلق بإسقاطات هطول المطر، حيث تعتَبر الفروق بين القيم المرصودة والقيم المحتسَبة في النماذج المناخية، كبيرة. [WGII 3.3.1]

وفي كثير من الأحيان، لا تؤخذ في الاعتبار في الدراسات المتعلقة بالتأثيرات الهيدرولوجية، التغيرات في المتغيرات المناخية للتقلبية اليومية أو للتقلبية فيما بين السنوات. ويؤدي هذا إلى التهوين من تقدير حالات الفيضان والجفاف في المستقبل وكذلك توافر المياه والاحتياجات من مياه الري. [WGII 3.3.1] ومن مصادر عدم اليقين أيضاً عمليات اختيار المؤشرات وقيم العتبات اللازمة للتقييم الكمّي لأثر تغير المناخ على موارد المياه العذبة.

وبغية التغلب على عدم توافق نطاقات الشبكات المكانية بين نموذج الدوران العام (GCM) والعمليات الهيدرولوجية، استنبطت تقنيات لتقليص نطاقات النواتج المتأتية من نموذج الدوران العام (GCM) ولتحقيق استبانة مكانية (وزمانية) أدَق. [WGII TAR تقرير التقييم الثالث، الفصل 10] ويتمثل الافتراض الأساسي لهذه التقنيات في أن العلاقات الإحصائية المحدَّدة

للمناخ الراهن سوف تظل صحيحة في إطار تغيرات الأحوال في المستقبل. ويمكن أن تسمح تقنيات تقليص النطاقات لواضعي النماذج بإدراج التقلبية اليومية فيما يتعلق بالتغييرات في المستقبل (على سبيل المثال - Nieto - Diaz و Wilby، 2005) وتطبيق إطار احتمالي لتوليد معلومات عن تدفقات الأنهار في المستقبل من أجل التخطيط الخاص بموارد المياه (Wilby و Harris، 2006). وتساعد هذه النُهُج على مقارنة مصادر مختلفة لعدم اليقين مما يؤثر على إسقاطات موارد المياه. [WGII 3.3.1]

ويعوِّق الجهود المبذولة لوضع تقييم كمّي للتأثيرات الاقتصادية للتغييرات المتصلة بالمناخ على موارد المياه نقص البيانات وواقع أن التقديرات حسّاسة بدرجة عالية لوسائل التقييم والافتراضات المختلفة المستخدَمة على السواء فيما يتعلق بتوزيع التغيرات في مدى توافر المياه عبر مختلف نماذج استخدامات المياه، على سبيل المثال بين الاستخدامات الزراعية أو الحضرية أو تدفق المجاري المائية (Changnon، 2005؛ Schlenker وآخرون، 2005؛ Young، 2005). [WGII 3.5]

3.3 التكيُّف المتصل بالمياه مع تغير المناخ: نظرة عامة

تعامَل القائمون بإدارة المياه منذ وقت طويل مع المطالب المتغيرة فيما يتعلق بموارد المياه. وحتى الآن، افتَرضوا أن قاعدة الموارد الطبيعية ثابتة بشكل معقول في الأجل المتوسط، وبالتالي فإن التجارب الهيدرولوجية الماضية تقدِّم مرشداً جيداً للأحوال في المستقبل. بيد أن تغير المناخ يشكك في هذه الافتراضات التقليدية، وقد يغير موثوقية نُظم إدارة المياه. [WGII 3.6.1] وتشمل استجابات الإدارة لتغير المناخ استحداث نُهُج جديدة لتقييم وتصميم النُظم، ووسائل غير هيكلية من خلال آليات مثل التوجيهات الإطارية للاتحاد الأوروبي بشأن المياه. [WGII 12.2.2]

ويلخص الجدول 3.4 بعض خيارات التكيُّف في جانب العرض وفي جانب الطلب، والهدف منها ضمان الإمدادات أثناء الأحوال العادية أو نوبات الجفاف. وتشمل الخيارات المتعلقة بجانب العرض بوجه عام زيادات في طاقة التخزين أو ضخ المياه من مجاري المياه ولهذا ربما تكون لها عواقب بيئية سلبية. وربما تفتقر الخيارات المتعلقة بجانب الطلب إلى الفعالية العملية بسبب اعتمادها على الإجراءات التراكمية للأفراد. وربما تكون بعض الخيارات غير متوافقة مع تدابير التخفيف لأنها تشتمل على استهلاك عالٍ للطاقة، على سبيل المثال، من أجل إزالة ملوحة مياه البحر، وضخ المياه.

وكثيراً ما يجري التمييز بين إجراءات التكيُّف الذاتي والإجراءات المخطط لها. فإجراءات التكيُّف الذاتي هي تلك التي لا تشكل استجابة واعية لحوافز المناخ، لكنها تنجم عن تغيرات لتلبية مطالب وأهداف وتوقعات متغيرة، وهي رغم أنها لا تهدف عمداً إلى مواجهة تغير المناخ فإنها قد تقلل من عواقب ذلك التغير. وإجراءات التكيُّف هذه واسعة الانتشار في قطاع المياه رغم أنها ذات فعالية مختلفة الدرجات في مواجهة تغير المناخ (انظر الجدول 3.5). [WGII 3.6.1] وفي أمريكا اللاتينية، وُجدت بعض ممارسات التكيُّف الذاتي بما في ذلك استخدام إدارة التحويلات عبر الأحواض وتحقيق الاستخدام الأمثل للمياه. [WGII 13.5.1.3] وفي أفريقيا، استحدَثت المجتمعات المحلية والمزارعون نظماً للتكيُّف من أجل التنبؤ بسقوط الأمطار باستخدام الخبرات المتراكمة. ويستخدم المزارعون في منطقة الساحل أيضاً نُظماً تقليدية لتجميع المياه لاستكمال ممارسات الري. [WGII 9.5.1, 9.6.2.1، الجدول 9.2]

أما إجراءات التكيُّف المخططة فهي نتيجة قرارات متعمّدة في مجال السياسات وهي تأخذ في الاعتبار بالتحديد تغير المناخ وتقلبيته، وقد نُفِّذت حتى الآن على نحو غير متواتر. وقد بدأ القائمون بإدارة المياه في بضعة بلدان، من بينها هولندا، وأستراليا، والمملكة المتحدة، وألمانيا، والولايات المتحدة الأمريكية وبنغلاديش في معالجة آثار تغير المناخ بشكل مباشر باعتبارها جزءاً من ممارساتهم العادية في إدارة الفيضانات وإمدادات المياه. [WGII 3.2, 3.6.5, 17.2.2] وقد اتَّخذت إجراءات التكيُّف هذه بوجه عام شكل تعديلات في الوسائل والإجراءات، مثل معايير التصميم. وحساب حصص الانبعاثات فيما يتعلق بتغير المناخ. وعلى سبيل المثال، نُفِّذت إجراءات التكيّف هذه من أجل التأهب لمواجهة الفيضانات في المملكة المتحدة وهولندا (Klijn وآخرون، 2001؛ Richardson، 2002)، ومن أجل إمدادات المياه في المملكة المتحدة (Arnell و Delaney، 2006)، وبالتخطيط للمياه بوجه عام في بنغلاديش. [WGII 3.6.5, 17.2.2] وتعتَبَر الأمثلة على الإجراءات 'الملموسة' في قطاع المياه للتكيُّف بالتحديد وبشكل منفرد مع تغير المناخ، نادرة جداً. ويرجع هذا إلى حدٍ ما إلى أن تغير المناخ قد يكون فحسب أحد عوامل دافعة كثيرة تؤثر على الإستراتيجيات وخطط الاستثمار (وقد لا يكون هو أهم عنصر في

الجدول 3.4: بعض خيارات التكيف فيما يتعلق بالعرض والطلب الخاصين بالمياه (القائمة ليست جامعة مانعة). [WGII الجدول 3.5]

جانب العرض	جانب الطلب
التنقيب واستخراج المياه الجوفية	تحقيق تحسُّن في كفاءة استخدام المياه بإعادة تدوير المياه
زيادة قدرة التخزين ببناء مستودعات وسدود	تحقيق انخفاض في الطلب على المياه من أجل الري من خلال تغيير جدول مواعيد الزراعة، وخلط المحاصيل، وأساليب الري والمساحة المنزرعة
إزالة ملوحة مياه البحر	تحقيق انخفاض في الطلب على المياه من أجل الري باستيراد منتجات زراعية، أي مياه تقديرية
التوسع في تخزين مياه الأمطار	تعزيز ممارسات السكان الأصليين من أجل الاستخدام المستدام للمياه
إزالة النباتات غير البلدية الغازية المنتشرة في مناطق على ضفاف الأنهار	التوسع في استخدام أسواق المياه لإعادة تخصيص المياه للاستخدامات ذات القيمة المرتفعة
نقل المياه	التوسع في استخدام الحوافز الاقتصادية بما في ذلك قياس وتسعير المياه لتشجيع الحفاظ على المياه

إطار التخطيط القصير الأجل)، ويرجع إلى حدٍ ما إلى عدم اليقين فيما يتعلق بإسقاطات التغيرات الهيدرولوجية في المستقبل.

وسوف يتعيَّن إجراء التكيُّف مع التغيرات في توافر المياه ونوعيتها، ليس فقط من جانب الوكالات المعنية بـإدارة المياه بل أيضاً من جانب فرادى المستخدِمين لبيئة المياه. وسوف تشمل هذه الصناعة والمزارعين (وخصوصاً القائمون بالري) وفرادى المستهلكين. ورغم أن هناك خبرات كثيرة في مجال التكيّف مع التغير في الطلب والتشريعات، فإنه لا يعرف سوى القليل جداً عن الكيفية التي سيتسنى بها لهذه المنظمات والأفراد التكيّف مع مناخ متغير.

ويعرض الجدول 3.5 بإيجاز بعض تدابير التكيُّف، سواء المخطّط لها أو الذاتية، المستخدمة حالياً في أنحاء العالم، على النحو المعروض في الفصول الإقليمية في تقرير التقييم الرابع الذي أعده الفريق العامل الثاني. وليس الجدول جامعاً مانعاً، ويمكن أن تُستخدَم تدابير فردية كثيرة في كثير من الأماكن.

وهناك ثقة عالية في أن التكيُّف يمكنه أن يحد من سرعة التأثر، وخصوصاً في الأجل القصير. [WGII 17.2, 18.1, 16.5, 20.3, 20.8] ومع ذلك، تتصل القدرة على التكيُّف اتصالاً وثيقاً بالتنمية الاجتماعية والاقتصادية، بيد أنها ليست موزّعة بالتساوي عبر المجتمعات وداخلها. فالفقراء والمسنون والإناث والمرضى والسكان الأصليون لديهم في العادة قدرة أقل على التكيف. [WGII 7.1, 7.2, 7.4, 17.3]

ومن الممكن تحديد خمسة نماذج مختلفة من القيود على التكيُّف مع آثار تغير المناخ. [WGII 17.4.2]

(أ) القيود المادية أو الإيكولوجية: قد لا يكون من الممكن منع الآثار السيئة لتغير المناخ سواء بالوسائل الفنية أو بالتغيرات المؤسسية. فعلى سبيل المثال، قد يكون من المستحيل تحقيق التكيُّف حيثما تجف الأنهار تماماً. [WGII 3.6.4]

(ب) القيود الفنية أو السياسية أو الاجتماعية: على سبيل المثال، قد يكون من الصعب إيجاد مواقع مقبولة لمستودعات جديدة، أو لمستخدمي المياه لكي يستهلكوا كميات أقل. [WGII 3.6.4]

(ج) القيود الاقتصادية: قد تكون إستراتيجية التكيُّف ببساطة مكلّفة للغاية فيما يتعلق بالمنافع المتحققة من تنفيذها.

(د) القيود الثقافية أو المؤسسية: قد تشمل هذه السياق المؤسسي الذي تعمل فيه إدارة المياه، والأولوية المنخفضة المُعطاة لإدارة المياه، والافتقار إلى التنسيق بين الوكالات، والتوترات بين مختلف النطاقات، والإدارة غير الفعّالة، وعدم اليقين بشأن تغير المناخ في المستقبل (Ivey وآخرون، 2004؛ Naess وآخرون، 2005؛ Crabbe وRobin، 2006)؛ وكلها تعمل كمعوّقات مؤسسية للتكيُّف. [WGII 3.6.4]

(هـ) القيود الإدراكية والمتعلقة بالمعلومات: على سبيل المثال، قد لا يدرك القائمون بإدارة المياه التحدي المتمثل في تغير المناخ، أو قد يسندون إليه أولوية منخفضة بالمقارنة مع تحديات أخرى. ومن بين المعوّقات الأساسية فيما يتعلق بالمعلومات الافتقار إلى النفاذ إلى المنهجيات اللازمة لمواجهة تغير المناخ بشكل ثابت وقوي. [WGII 17.4.2.4]

ويطرح تغير المناخ تحدياً مفاهيمياً أمام القائمين بإدارة المياه من خلال إدراج عدم اليقين من الأحوال الهيدرولوجية في المستقبل. وقد يكون من الصعب جداً اكتشاف اتجاه أساسي يُستَند إليه (Wilby، 2006)، ومعنى هذا أن قرارات التكيُّف قد تُتَّخَذ قبل أن يكون من الواضح كيف تتغير النظم الهيدرولوجية بالفعل. فإدارة المياه في مواجهة تغير المناخ تحتاج بالتالي إلى اعتماد نهج يستند إلى سيناريو (Beuhler، 2003؛ Simonovic وLi، 2003).ويجري استخدام هذا من الناحية العملية في بلدان مثل المملكة المتحدة (Arnell وDelaney، 2006) وأستراليا (Dessai وآخرون، 2005). ومع ذلك هناك مشكلتان. المشكلة الأولى هي أن هناك في كثير من الأحيان اختلافات كبيرة في التأثير بين السيناريوهات، تتطلب أن تستند التحليلات إلى سيناريوهات عديدة. والمشكلة الثانية هي أن القائمين بإدارة المياه في بعض البلدان يطلبون معلومات عن أرجحية حدوث نتائج محدَّدة من أجل اتخاذ القرارات على أساس وقوع المخاطر (على سبيل المثال Jones و Page، 2001). ويجري استحداث تقنيات فنية لإنشاء توزيعات احتمالية لنتائج محدّدة، مما يتطلب وضع افتراضات عن توزيعات احتمالية للعوامل الدافعة الرئيسية لعدم اليقين من التأثير (على سبيل المثال Wilby وHarris، 2006). [WGII 3.6.4]

وثمة نهج ثانٍ لمواجهة عدم اليقين، يشار إليه بأنه «إدارة التكيف» (Stakhiv، 1998)، يشمل الاستخدام المتزايد لتدابير إدارة المياه القوية نسبياً إزاء عدم اليقين. وتشمل مثل هذه الأدوات التدابير الرامية إلى الحد من الطلب على الماء، وكان يُدعى إليها كوسيلة لتقليل تعرض نظام ما لتغير المناخ (على سبيل المثال في كاليفورنيا: Beuhler، 2003). وبالمثل تسمح بعض الإستراتيجيات المرنة فيما يتعلق بإدارة الفيضانات، على سبيل المثال، للأنهار بأن تفيض بشكل مؤقت، وتحد من التعرّض لأضرار الفيضانات، وهي إستراتيجيات أشد قوة إزاء عدم اليقين من التدابير التقليدية للحماية من الفيضانات (Klijn وآخرون، 2004؛ Olsen، 2006). [WGII 3.6.4]

3.3.1 الإدارة المتكاملة لموارد المياه

ينبغي أن تكون الإدارة المتكاملة لموارد المياه ((IWRM): انظر الحاشية 17) أداة لتقصي تدابير التكيُّف مع تغير المناخ، لكنها لا تزال حتى الآن في مهدها. وتشمل الإستراتيجيات المتكاملة الناجحة لإدارة المياه، ضمن جملة أمور، استقطاب آراء المجتمع، وإعادة تشكيل عمليات التخطيط، وتنسيق إدارة الأراضي وإدارة موارد المياه، وإدراك الصلات بين كمية ونوعية المياه، والاستخدام المتزامن للمياه السطحية والمياه الجوفية، وحماية وتجديد النظم الطبيعية، وإدراج الاعتبارات الخاصة بتغير المناخ. إضافة إلى ذلك، تعالج الإستراتيجيات المتكاملة صراحة العقبات التي تعترض تدفّق المعلومات. ولا يلزم دائماً توافر نهج متكامل تماماً وإنما بالأحرى سوف يعتمد النطاق المناسب للتكامل على المدى الذي يُسهل به اتخاذ إجراءات فعّالة استجابة للاحتياجات المحدَّدة (Moench وآخرون، 2003). وبوجه خاص، يمكن لنهج متكامل إزاء إدارة المياه أن يساعد على حل النزاعات بين مستخدمي المياه المتنافسين. وفي أماكن عديدة في المناطق الغربية من الولايات المتحدة الأمريكية، ما انفك القائمون بإدارة المياه ومختلف جماعات المصالح يجرّبون

الجدول 3.5: *بعض أمثلة التكيف في الممارسة العملية*

المنطقة	تدابير التكيف	المصدر
أفريقيا	• إنتاج تنبؤات فصلية، ونشرها، واستيعابها وإدراجها في نُظم لدعم صناع القرارات تستند إلى نماذج • تعزيز سهولة التكيف مع فترات إجهاد الجفاف مستقبلاً بإجراء تحسينات في نُظم الزراعة الحالية المعتمدة على المطر عن طريق إدخال تحسينات على البنية الأساسية المادية، بما في ذلك نُظم تجميع المياه، وبناء السدود، وصون المياه، والممارسات الزراعية، والري بالتنقيط؛ واستحداث أنواع من المحاصيل تقاوم الجفاف ومحاصيل تتسم بالنضوج المبكر ومحاصيل بديلة وأنواع مهجّنة	WGII 9.5، الجدول 9.2
آسيا	إدخال تحسين على البنية الأساسية الزراعية بما في ذلك: • توفير الإمدادات من المياه للمراعي • نُظم الري وكفاءتها • استخدام/تخزين مياه الأمطار والثلوج • نظام لتبادل المعلومات بشأن تكنولوجيات جديدة على المستويات الوطني والإقليمي والدولي • حصول الرعاة والصيادين والمزارعين على تنبؤات جوية مناسبة التوقيت (سقوط الأمطار ودرجة الحرارة)	WGII 10.5، الجدول 10.8
	• إعادة تدوير وإعادة استعمال المياه المستعملة البلدية، على سبيل المثال، سنغافورة • الحد من فقد وتسرب المياه واستخدام نهج سوقية المنحي لخفض التبديد في استخدام المياه	WGII 10.5.2
استراليا ونيوزيلندا	• مبادرة وطنية بشأن المياه • وحدة معالجة لإمدادات المياه المعاد تدويرها • الحد من تسرب المياه من القنوات وتدابير الحفاظ على الموارد • استخدام أنابيب لتحل محل قنوات الري المفتوحة • تحسين كفاءة استخدام المياه ونوعيتها • التأهب لمواجهة الجفاف، وإجراء تسعير جديد للمياه • إنشاء صهاريج لحفظ مياه الأمطار • إزالة ملوحة مياه البحر	WG II.2، الجدول 11.2، Box 11.2 انظر الجدول 5.2 في هذا المجلد
أوروبا	• إستراتيجيات معنية بجانب الطلب، مثل صون المياه المنزلية والصناعية والزراعية، وإصلاح مستودعات مياه البلدية ومياه الري المتسربة في مناطق الهضاب، والحواجز الصخرية في المناطق الواطئة • توسيع مساحات السهول الفيضية، ومستودعات الفيضانات الطارئة، والمناطق المحجوزة لمياه الفيضان ونظم الإنذار بالفيضانات، وخصوصاً الفيضانات الخاطفة • اتخاذ تدابير تتعلق بجانب العرض مثل تجميع مياه الأنهار لتكوين مستودعات للمجرى المائي، وإعادة استخدام المياه المستعملة ونظم إزالة ملوحة مياه البحر وتسعير المياه • إدماج الإستراتيجيات الإقليمية وعلى مستوى مستجمعات المياه من أجل التكيف مع تغير المناخ في خطط للإدارة المتكاملة للمياه	WGII 12.5.1
أمريكا اللاتينية	• مستجمعات مياه الأمطار ونظم التخزين • برامج «تنظيم ذاتي» لتحسين نظم إمدادات المياه في المجتمعات المحلية شديدة الفقر • تنفيذ ممارسات لصون المياه، وإعادة استخدام المياه، وإعادة تدويرها من خلال تعديل العمليات الصناعية والاستخدام الأمثل للمياه	WGII 13.2.5.3 WGII 13.2.5.1
أمريكا الشمالية	• تحسين عملية صون المياه وتنفيذ حراثة الصون والحماية	WGII 14.2.4
	• استخدام استثمارات في نظم صون المياه، ونظام جديد لإمدادات المياه ومرافق توزيعها	WGII 14.5.1
	• تغيير سياسة التأمين الوطني لمواجهة أخطار الفيضانات بالولايات المتحدة وذلك للحد من مخاطر المطالبات المتعددة المتعلقة بالفيضانات • الأسر المعيشية التي لها حالياً مطالبتان تتصلان بالفيضانات مطالبة بأن ترتفع بمقدار 2.5 سم فوق مستوى الفيضان الذي يحدث خلال 100 سنة أو بالانتقال إلى مكان آخر	
	• تنظيف نظم الصرف والاستعاضة عن نظم مجارير الصرف لمواجهة معايير الفيضان الأكثر تطرفاً التي تقع خلال 5 سنوات	
	• توجيه جريان المياه من فوق الأسطح إلى المروج لتشجيع التسرب وزيادة المنخفضات، وتخزين المياه المحتجزة في الشوارع	
المناطق القطبية	• تنفيذ إستراتيجية تكيف ناجحة استخدمت فعلاً لمكافحة آثار الجفاف في برك الدلتا، وتشمل إدارة تصريف المياه من المستودعات لزيادة احتمال تكون انسدادات من الجليد وما ينجم عنها من فيضان	WGII 15.6.2
	• تنظيم التدفقات من أجل إنتاج طاقة كهرمائية، وتنفيذ إستراتيجيات لتجميع المياه وأساليب للحصول على مياه الشرب	WGII 15.2.2.2
	• تنفيذ إستراتيجيات لمعالجة ازدياد/ نقصان مخاطر المياه العذبة (أي تحصينات للحماية من أجل الحد من مخاطر الفيضان أو ازدياد فيضانات من أجل النظم المائية)	
الجزر الصغيرة	• وحدات لإزالة ملوحة مياه البحر • مستودعات تخزين ضخمة وتحسين عملية تجميع المياه	WGII 16.4.1
	• حماية المياه الجوفية، وزيادة تجميع مياه الأمطار والقدرة على التخزين واستخدام التقطير بالطاقة الشمسية، وإدارة مياه العواصف، وتخصيص مناطق لتغذية المياه الجوفية في الجزر	Box 16.5

أساليب للنهوض بعملية صنع القرار تستند إلى توافق الآراء. وتشمل هذه الجهود مبادرات محلية لمستجمعات المياه، وجهوداً ترعاها الولايات أو تنفذ على المستوى الاتحادي لإدماج مشاركة أصحاب المصالح في عمليات التخطيط (على سبيل المثال وزارة الداخلية في الولايات المتحدة، 2005). ويمكن أن تيسّر مثل هذه المبادرات المفاوضات بين جماعات المصالح المتنافسة لتحقيق حل للمشكلة يرضي جميع الأطراف، ويضع في الاعتبار طائفة عريضة من العوامل. وفي حالة مستجمعات المياه الكبيرة مثل حوض نهر كولورادو، تعبر هذه العوامل عدة نطاقات زمانية ومكانية (الجدول 3.6). [WGII 3.6.1، الإطار 14.2]

الجدول 3.6:المسائل الشاملة للنطاقات في الإدارة المتكاملة للمياه في حوض نهر كولورادو (Pulwarty وMelis، 2001) [WGII الجدول 3.4]

النطاق الزمني	المسألة
غير المحدد	التدفق ضروري لحماية الأنواع المهددة بالانقراض
طويل الأجل	التوزيع المشترك بين الأحواض والتوزيع فيما بين دول الحوض
العقدي	الالتزام بالتنفيذ في أعالي الحوض
السنوي	التزامات بملء بحيرة باول لتحقيق التعادل مع التخزين في بحيرة مید
الفصلي	شهور ذروة التدفئة والتبريد
من اليومي إلى الشهري	عمليات مكافحة الفيضانات
كل ساعة	توليد الكهرباء الذي تضطلع به إدارة الطاقة في المنطقة الغربية
النطاق المكاني	
العالمي	التأثيرات المناخية، المحمية الوطنية في غراند كانيون
الإقليمي	التخصيص المسبق (على سبيل المثال، لجنة أعالي نهر كولورادو)
مستوى الولاية	إبرام اتفاقات مختلفة بشان تسويق المياه من أجل المناطق المائية داخل وخارج الولاية
مستوى البلدية والمجتمعات المحلية	وضع جداول زمنية للمياه ومعالجتها والاستخدام المنزلي للمياه

4

تغير المناخ، وموارد المياه في النظم والقطاعات

4.1 النظم الإيكولوجية والتنوع الأحيائي

4.1.1 السياق

تعتَبَر نُظم درجات الحرارة والرطوبة من بين المتغيرات الأساسية التي تحدّد توزيع النباتات والحيوانات ونموها وإنتاجيتها وتكاثرها. ويمكن للتغيرات في الهيدرولوجيا أن تؤثر على الأنواع بطرق شتى. بيد أن معظم العمليات المفهومة تماماً هي تلك العمليات التي تربط توافر الرطوبة مع العتبات الجوهرية التي تنظّم عمليات الأيض والتكاثر (Burkett وآخرون، 2005). وسيكون للتغيرات المتوقعة في المناخ في العقود القادمة آثار مختلفة على توافر الرطوبة، تتراوح بين التغيرات في توقيت وحجم تدفق المجاري المائية وانخفاض مستويات المياه في كثير من الأراضي الرطبة، والتوسُّع في بحيرات مناطق الأحجار الجيرية الحرارية ذات المجاري المائية في المنطقة المتجمدة الشمالية، والانخفاض في توافر مياه الشابورة في الغابات الجبلية المدارية.

ويرد في الفصل 3 من تقرير التقييم الرابع الذي أعده الفريق العامل الأول موجز للاتجاهات العالمية المرصودة فيما يتعلق بهطول المطر، والرطوبة، والجفاف، والجريان خلال القرن الماضي. ورغم أن التغيرات في الهطول أثناء القرن الماضي تشير إلى تغير إقليمي كبير [WGI الشكل 3.14]، فإنها تكشف أيضاً عن بعض الاتجاهات الهامة نوعاً ما، والهامة بدرجة عالية. فقد ازداد الهطول بوجه عام في نصف الكرة الأرضية الشمالي في الفترة من 1900 إلى 2005 لكن الاتجاه نحو اتساع انتشار الجفاف قد ازداد على نحو متزامن في كثير من المناطق المدارية الواسعة وفي نصف الكرة الأرضية الجنوبي، وخصوصاً في الساحل الأفريقي والجنوب الأفريقي وأمريكا الوسطى وجنوب آسيا وشرقي أستراليا. [WGI 3.3.5]

4.1.2 التغيرات المسقطة في مجال الهيدرولوجيا وآثارها على التنوّع الأحيائي العالمي

تتباين التقديرات الواردة في تقرير التقييم الرابع الذي أعدته الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ بشأن الاحترار العالمي في نطاق يتراوح بين 0.5 درجة مئوية في نصف الكرة الأرضية الجنوبي ودرجتين مئويتين في المنطقة القطبية الشمالية بحلول سنة 2030 فيما يتعلق بسيناريوهات التقرير الخاص SRES B1 و A1 و A2 والسيناريو B1 وهي المنطقة التي تحدث فيها أعلى درجة من الاحترار. ولئن كانت النماذج تحاكي متوسط الزيادات العالمية في الهطول، فإن هناك اختلافاً كبيراً من حيث المكان والزمان. وتشير الإسقاطات في نماذج الدوران العام إلى وجود زيادة في الهطول في خطوط العرض العليا، رغم أن مقدار تلك الزيادة يتباين بين النماذج، وينخفض الهطول فوق كثير من المناطق شبه المدارية والمناطق الوسطى من خطوط العرض في نصف الكرة الشمالي، ونصف الكرة الجنوبي. [WGII الشكلان 10.8 و 10.12] وتشير الإسقاطات إلى أن الهطول سيكون أثناء العقود القادمة أكثر تركيزاً في ظواهر أكثر شدة تتخللها فترات أطول تتسم بدرجة هطول أقل. [WGII10.3.6.1] وتشير الإسقاطات إلى أن الزيادة في عدد الأيام الجافة المتتالية هي الأهم في أمريكا الشمالية وأمريكا الوسطى ومنطقة البحر الكاريبي وشمال شرق وجنوب غرب أمريكا الجنوبية وجنوبي أوروبا والبحر المتوسط، والجنوب الأفريقي وغربي أستراليا. [WGII الشكل 10.18] ولتأثيرات الاحترار والتغيرات في أنماط الهطول في المناطق المدارية وشبه المدارية آثار هامة فيما يتعلق بالتنوع الأحيائي العالمي نظراً لأن تنوّع الأنواع يتناقص بوجه عام مع الابتعاد عن خط الاستواء.

وسيكون من المرجّح جداً أن تؤثر التغيرات في مجال الهيدرولوجيا التي وردت إسقاطاتها في تقرير التقييم الرابع الذي أعده الفريق العامل الأول فيما يتعلق بالقرن الحادي والعشرين (انظر الفرع 2) في التنوع الأحيائي في كل قارة. وقد اكتُشفت فعلاً تأثيرات على الأنواع في معظم مناطق العالم. [WGII 1.3, 4.2] وتشير عملية استعراض 143 دراسة نشرتها Root وآخرون، (2003) أن الحيوانات والنباتات تُظهر بالفعل تغيرات ملحوظة تتوافق مع الاتجاهات المناخية للقرن العشرين. وتعتَبَر نسبة تبلغ قرابة 80% من التغيرات متسقة مع التغيرات المرصودة في درجات الحرارة، بيد أنه ينبغي الاعتراف بأن درجة الحرارة يمكن أن تمارس تأثيرها أيضاً على الأنواع من خلال التغيرات في توافر الرطوبة. [WGII 1.4.1]

وغالباً ما تنطوي استجابات النظم الإيكولوجية للتغيرات في مجال الهيدرولوجيا على تفاعلات معقّدة من العمليات الأحيائية واللاأحيائية. فتجمُّع الأنواع في جماعات إيكولوجية خاصة يعكس حقيقة أن هذه التفاعلات والاستجابات هي في كثير من الأحيان لا خطية وتعمل على زيادة صعوبة التقديرات المسقطة للنتائج الإيكولوجية المحدّدة. ونظراً لأن توقيت الاستجابات ليس متزامناً دائماً مع الأنواع من مختلف المجموعات التصنيفية فقد يكون هناك نوع من فك الارتباط بين الأنواع ومصادر أغذيتها، واختلال العلاقات التكافلية أو التعاضدية بين الأنواع، وتغيرات في المزاحمة بين الأنواع. وبسبب الجمع بين استجابات تفاضلية بين الأنواع والتفاعلات التي يمكن أن تحدث من الناحية النظرية في أي بقعة من شبكة الأغذية فإنه، يمكن لبعض المجتمعات المحلية الإيكولوجية القائمة اليوم أن تتشتت بسهولة في المستقبل (Root وSchneider، 2002؛ Burkett وآخرون، 2005). [WGII 1.3.5.5, 4.2.2, 4.4]

وبسبب تضافر آثار درجات الحرارة والإجهاد المائي، تشير الإسقاطات إلى انقراض بعض الحيوانات والنباتات البرمائية وغيرها من الأنواع المائية في كوستاريكا وإسبانيا وأستراليا (Pounds وآخرون، 2006). [WGII الجدول 4.1] وسوف يؤثر جفاف الأراضي الرطبة في منطقة الساحل على نجاح هجرة الطيور التي تستخدم الأراضي الرطبة الساحلية كمناطق توقف في هجرتها إلى مواقع تكاثرها في نصف الكرة الأرضية الشمالي. وفي الجنوب الأفريقي، من المنتظر حدوث مستويات غير مسبوقة من عمليات الانقراض في أنواع النباتات والحيوانات على السواء. [WGII الجدول 9.1] وفي غابات المناطق الجبلية، يعتمد كثير من الأنواع على الشابورة كمصدر للمياه: وسوف يعمل الاحترار العالمي على زيادة قاعدة السُحب ويؤثر على الأنواع المعتمدة على هذا المورد. [WGII 13.4.1]. ومع ذلك ومن بين جميع النظم الإيكولوجية يبدو أن النظم الإيكولوجية المائية ذات المياه العذبة تضم أعلى نسبة من الأنواع المهدَّدة بالانقراض بسبب تغير المناخ (تقييم النظام الإيكولوجي للألفية، 2005b). [WGII 3.5.1]

4.1.3 تأثيرات التغيرات في مجال الهيدرولوجيا على أنماط النظم الإيكولوجية الرئيسية

4.1.3.1 البحيرات والمجاري المائية

تشمل تأثيرات الاحترار العالمي على البحيرات امتداد فترة النمو في مناطق خطوط العرض العليا، واشتداد تنضدد الصخور الطباقية، وفقدان المغذيات من المياه السطحية، وانخفاض الأوكسيجين في المناطق من البحيرات الكائنة تحت طبقة الهبوط الحراري (أي دون التباين الحراري والملحي) في البحيرات العميقة ذات الطبقات المترسبة، وتوسّع نطاق كثير من الأعشاب المائية الغازية. ومن المتوقّع أن تزداد مستويات المياه في البحيرات الكائنة في مناطق خطوط العرض العليا حيث تشير نماذج المناخ إلى زيادة هطول المطر، في حين تشير الإسقاطات إلى توقع انخفاض مستويات المياه في المناطق الوسطى من خطوط العرض والمناطق المنخفضة منها. أما البحيرات الداخلية (الطرفية أو المغلقة) فهي أشدها تأثراً بالتغير في المناخ بسبب حساسيتها للتغيرات في رصيد التدفقات المائية الداخلة والتبخر. ويمكن أن يكون للتغيرات في التدفقات المائية الداخلة في هذه البحيرات آثار كبيرة جداً، ويمكن في ظل بعض الظروف المناخية أن تختفي البحيرات كلّية. وعلى سبيل المثال، أخذ مستوى المياه في بحر آرال في الانخفاض بدرجة كبيرة جداً بسبب زيادة عمليات ضخ المياه للري في أعلى مجرى النهر؛ وانكمشت بحيرة كينغاي في الصين عقب انخفاض هطول المطر في مستجمعات المياه. [WGII تقرير التقييم الثالث 4.3.7]

وانخفضت فترة بقاء الغطاء الثلجي في البحيرات والأنهار في مناطق خطوط العرض المتوسطة إلى العليا بحوالي أسبوعين أثناء القرن الماضي في نصف الكرة الأرضية الشمالي. [WGI تقرير التقييم الثالث، ملخص لصانعي السياسات] ويمكن للزيادات في درجة حرارة المياه في الصيف أن تزيد من نقص أوكسيجين الأنسجة في البحيرات ذات التكوين الطباقي، وأن تزيد معدل انطلاق الفسفور من الطبقات الرسوبية في قاع البحيرات، وأن تسبب تكاثر الطحالب التي تعيد تشكيل شبكة الأغذية المائية. [WGII 4.4.8] وتسبب أي زيادة بالوحدات في درجة الحرارة في البحيرات المدارية فارقاً أعلى في الكثافة على نحو تناسبي بالمقارنة مع البحيرات الأبرد في المناطق المعتدلة المناخ. ومن ثم، تشير الإسقاطات الخاصة بدرجات الحرارة في المناطق المدارية [WGI، الفصلان 10 و 11] إلى أنها ستؤدي إلى ترسب طبقات حرارية قوية، تسبب نقص أوكسيجين الأنسجة في الطبقات العميقة من البحيرات ونضوب المغذيات من مياه البحيرات الضحلة. كما أن انخفاض تركزات الأوكسيجين سوف يُخفّض بوجه عام أنواع الكائنات المائية، وخصوصاً في الحالات التي تتردى فيها نوعية المياه بسبب وفرة المغذيات. [مركز الكيمياء الأرضية الحيوية الساحلية (CCB) 4.4]

وتميل تركُّزات الأوكسيجين المنخفضة إلى تغيير التجمُّعات الحيوية والكيمياء الأرضية الأحيائية والإنتاجية الشاملة للبحيرات والمجاري المائية. ويعتبر الوضع الحراري الأمثل لكثير من أنواع المياه الباردة في مناطق خطوط العرض الوسطى إلى العليا أقل من 20 درجة مئوية. ومن المتوقع حدوث انقراض لبعض الأنواع عندما تعمل درجات الحرارة المرتفعة في الصيف ونقص أوكسيجين الأنسجة على القضاء على مكامن المياه الباردة العميقة. وفي السهول الجنوبية العظيمة من الولايات المتحدة الأمريكية، تقترب درجات حرارة المياه فعلاً من الحدود المهلكة لكثير من الأسماك المحلية في المجاري المائية المحلية. وتزداد معدلات تحلّل المواد العضوية مع درجة الحرارة، وبالتالي تعمل على تقصير المدة التي تتوافر فيها فتات الصخور للافقاريات المائية. [مركز الكيمياء الأرضية الحيوية الساحلي (CCB) 6.2] وتمثل الأنواع الغريبة الغازية تهديداً كبيراً للتنوع الأحيائي المحلي في النُظم الإيكولوجية المائية. [WGII 4.2.2] وسوف يميل الارتفاع في درجة الحرارة العالمية إلى الامتداد نحو القطب في نطاقات كثير من النباتات المائية الغازية، مثل نبات أيش هورنيا (Eichhornia) وسالفينيا (Salvinia). [تقرير التأثيرات الإقليمية لتغير المناخ (RICC) 2.3.6]

وقد تكون آثار الاحترار على النظم النهرية أقوى ما تكون في المناطق الرطبة، حيث تكون التدفقات أقل تغيراً والتفاعلات البيولوجية تتحكم في توافر الكائنات الحية. ويمكن لجفاف قيعان المجاري المائية والبحيرات لفترات ممتدة أن يخفض إنتاجية النظام الإيكولوجي بسبب التقييد المفروض على الموئل المائي، الذي يصبحه انخفاض في نوعية الماء من خلال زيادة نقص الأوكسيجين وتركُّزات الملوِّثات. وفي المناطق شبه القاحلة من العالم، يمكن أن ينتج عن الانخفاض في تدفق المجاري المائية الفصلية والجفاف الكامل للبحيرات (مثلما في منطقة الساحل الأفريقية) آثار عميقة على خدمات النُظم الإيكولوجية، بما في ذلك على الحفاظ على التنوُّع الأحيائي. [مركز الكيمياء الأرضية الحيوية الساحلية 6.7 (CCB)]

وحالياً يعتَبَر ثراء الأنواع في أعلى معدل له في نُظم المياه العذبة في وسط أوروبا. وينخفض في الشمال والجنوب بسبب حالات الجفاف الدورية وتملّح التربة (Declerck وآخرون، 2005). وتشير مجموعة تجارب نموذج المناخ العالمي فيما يتعلق بتقرير التقييم الرابع الذي أعدته الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ إلى التناقض ما بين الجنوب والشمال في الهطول، بحدوث زيادات في الشمال ونقصان في الجنوب. [WGI 11.3.3.2] وأي زيادة في التقديرات المسقطة للجريان وانخفاض مخاطر الجفاف يمكن أن يفيد مجموعة حيوانات النُظم المائية في المناطق الشمالية من أوروبا، في حين يمكن أن يكون لتناقص توافر المياه في الجنوب الأثر العكسي (Álvarez Cobelas وآخرون، 2005). [WGII 12.4.6]

4.1.3.2 الأراضي الرطبة ذات المياه العذبة

يرجع ارتفاع درجة التقلبية في بنية نظم الأراضي الرطبة أساساً إلى الهيدرولوجيا الخاصة التي تنفرد بها، حيث تتباين من مستنقعات أراضي الخُث في غابات الشمال في مناطق خطوط العرض العليا، إلى الأراضي الرطبة المدارية التي تهب عليها الرياح الموسمية (على سبيل المثال الأراضي الرطبة في كاكادو، أستراليا)، إلى الأراضي الرطبة في خطوط العرض العليا في جبال التبت وجبال الأنديز. وسوف يترك تغير المناخ آثاره على الأراضي الرطبة الداخلية للمياه العذبة من خلال تغير الهطول وزيادة تواتر ظواهر الاضطراب الشديد (حالات الجفاف، العواصف، الفيضانات). ويمكن لأية زيادات صغيرة نسبياً في تقلبية الهطول أن تؤثر تأثيراً كبيراً على نباتات وحيوانات الأراضي الرطبة في مختلف مراحل دورة حياتها (Keddy، 2000). [WGII 4.4.8]. ومن المتوقع بوجه عام، أن يبدأ الاحترار المناخي باتجاه نحو الجفاف في النظم الإيكولوجية للأراضي الرطبة. وسيكون لتأثير تغير المناخ الذي يعتَبَر غير مباشر إلى حدٍ كبير والمؤدي إلى تغيرات في مستوى المياه هو العامل الأساسي في تغير النظم الإيكولوجية في الأراضي الرطبة وسوف يقلل من أهمية تأثيرات ارتفاع درجة الحرارة وفصول النمو الأطول في الشمال في

أراضي الخث الواقعة قرب المنطقة المتجمدة الشمالية (Gorham، 1991). وعلى الأرجح سوف تتأثر مناطق الرياح الموسمية بظواهر من المطر الغزير خلال فصول مطيرة أقصر أمداً، مما يؤدي إلى استفحال مخاطر الفيضانات والتحات في المستجمعات المائية وفي الأراضي الرطبة ذاتها. [WGII، تقرير التقييم الثالث، 5.8.3]

ويعتمد معظم عمليات الأراضي الرطبة على الهيدرولوجيا الكائنة على مستوى مستجمعات المياه، التي يمكن أن تتحول بفعل التغيرات في استخدام الأراضي وممارسات إدارة موارد المياه السطحية. [WGII، تقرير التقييم الثالث 5 ملخص تنفيذي] وتعتبر تغذية نُظم المياه الجوفية المحلية والإقليمية، وموقع الأراضي الرطبة بالنسبة إلى الطبوغرافيا المحلية، وتدرج نظم المياه الجوفية الإقليمية الأوسع نطاقاً من العوامل الحاسمة أيضاً في تحديد التقلبية واستقرار تخزين الرطوبة في الأراضي الرطبة في المناطق المناخية حيث لا يتجاوز الهطول التبخر بدرجة كبيرة (Winter وWoo، 1990). وقد تكون التغيرات في التغذية الخارجية للأراضي الرطبة هامة لمصير الأراضي الرطبة التي تمر بها ظروف مناخية متغيرة، مثلما هو الحال فيما يتعلق بالتغيرات في الهطول المباشر والتبخُّر على الأراضي الرطبة نفسها (Woo وآخرون، 1993). [WGII، تقرير التقييم الثالث 5.8.2.1] ومن ثم قد يكون من الصعب جداً، إن لم يكن من المستحيل، التكيُّف مع نتائج التغيرات المسقطة في توافر المياه. [WGII، تقرير التقييم الثالث 5.8.4] وتعتَبر الأراضي الرطبة، بسبب قدرتها المحدودة إلى حدٍ ما على التكيُّف، من بين النظم الإيكولوجية الأسرع تأثراً بالمخاطر الناجمة عن تغير المناخ. [WGII 4.4.8]

وتعتَبر الأراضي الرطبة في كثير من الأحيان هي البؤر الساخنة للتنوع الأحيائي. ويحظى كثير منها بوضع الأراضي التي ينبغي الحفاظ عليها في العالم (مواقع رامسار، مواقع التراث العالمي). ويمكن أن يؤدي فقدانها إلى عمليات انقراض هامة للحيوانات والنباتات البرمائية والزواحف المائية، خصوصاً. [WGII 4.4.8]. وحدَّد تقرير التقييم الثالث المنطقة المتجمدة الشمالية والمناطق القريبة من المنطقة المتجمدة الشمالية ومستنقعات الخث التي تغذيها الأمطار جنوبي المنطقة المتجمدة الشمالية والأراضي الرطبة الواقعة في المنخفضات وذات المستجمعات المائية الصغيرة هي أكثر النظم المائية من حيث سرعة التأثر بمخاطر تغير المناخ. [WGII TAR 5.8.5] ومع ذلك، يشير تقرير التقييم الرابع الأحدث عهداً إلى وجود درجة عالية جداً من سرعة التأثر بالنسبة لكثير من أنواع الأراضي الرطبة الإضافية، مثل الأراضي الرطبة المعرضة للرياح الموسمية في الهند وأستراليا، ومستنقعات أراضي الخث الشمالية، والأراضي الرطبة ذات الحفر الدائرية في براري أمريكا الشمالية والأراضي الرطبة في منطقة البحيرات العظمى الإفريقية. [WGII 4.4.8, 4.4.10] وسيتعيَّن تغيير أنماط وطرق الهجرة الموسمية لكثير من الأنواع التي تعيش في الأراضي الرطبة؛ وبغير ذلك، سوف تتعرض بعض الأنواع للانقراض [WGII 4.4.8] وفيما يتعلق بالموائل الأساسية، ربما يكون بالإمكان إعادة التجديد على نطاق صغير، إذا ما توافرت كميات كافية من المياه. [WGII، تقرير التقييم الثالث 5.8.4]

وبسبب التغيرات في مجال الهيدرولوجيا المرتبطة بالاحترار في الغلاف الجوي، ازدادت مساحة موائل الأراضي الرطبة في بعض المناطق. ففي المنطقة المتجمدة الشمالية، يساعد ذوبان التربة الصقيعية على نشوء أراضٍ رطبة جديدة. [WGII 1.3] ويمكن لسمات الترموكارست، التي تنتج من ذوبان الجليد الأرضي في منطقة تستند إلى تربة صقيعية، أن تؤدي إلى نزوح الكائنات الحية للمنطقة المتجمدة الشمالية من خلال إما التشبُّع المفرط بالمياه أو الجفاف (Hinzman وآخرون، 2005؛ وWalsh وآخرون، 2005). وقد اكتُشف انتشار واسع للترموكارست في أمريكا الشمالية قرب Council، ألاسكا (Yoshikawa وHinzman، 2003) وفي وسط ياكوتيا (Gavriliev وEfremov، 2003). [WGI 4.7.2.3] ومن الناحية المبدئية، يشكّل ذوبان التربة الصقيعية منخفضات لأراض رطبة ومستنقعات تترابط من خلال سمات صرف جديدة. وحيث يزداد ذوبان التربة الصقيعية، تُصرف المياه السطحية إلى نظم المياه الجوفية مما يؤدي إلى خسائر في موئل المياه العذبة. [WGII 15.4.1.3] وربما يكون الاحترار قد تسبب فعلاً في خسارة مساحة من الأراضي الرطبة مثل البحيرات في دلتا يوكون التي اتسعت أثناء القرن الماضي (Coleman و Huh، 2004). [WGII 15.6.2]

ويمكن لزيادات صغيرة في التقلبية في نُظم هطول المطر أن تؤثّر تأثيراً هاماً على نباتات وحيوانات الأراضي الرطبة (Keddy، 2000؛ Burkett وKusler، 2000). ويمكن أن يتأثر التنوع الأحيائي في الأراضي الرطبة الفصلية مثل المستنقعات الربيعية النضرة تأثراً قوياً بالتغيرات في هطول المطر ورطوبة التربة (Bauder، 2005). وفي مناطق الرياح الموسمية، تعمل فترات الجفاف الممتدة على تعزيز السُكنى في الأراضي الرطبة، على النحو المشاهَد في المحمية الوطنية في كيولاديو (Chauhan وGopal، 2001). [WGII 4.4.8]

4.1.3.3 السواحل ومصاب الأنهار

سوف تؤثر التغييرات في توقيت وحجم جريان المياه العذبة على الملوحة، وتوافر الترسُّبات والمواد المغذية، ونظم الرطوبة في النُظم الإيكولوجية الساحلية. ويستطيع تغير المناخ أن يؤثّر في كل من هذه المتغيرات بتغيير الهطول والجريان الساري محلياً أو، وهو الأهم، الجريان من مستجمعات المياه التي تصبّ في المنطقة الساحلية. [WGII 6.4.1.3] وللهيدرولوجيا تأثير قوي على توزيع مجموعات النباتات في الأراضي الرطبة الساحلية، التي تتدرج عادة نحو الداخل من المياه المالحة إلى الماء الأخضم (المالح نوعاً ما) وصولاً إلى أنواع المياه العذبة. [WGII 6.4.1.4]

وتتباين آثار ارتفاع مستوى سطح البحر على أشكال الأراضي الساحلية فيما بين المناطق الساحلية لأن معدل ارتفاع سطح البحر ليس موحّداً من حيث المكان [WGI 5.5.2] ولأن بعض المناطق الساحلية تشهد ارتفاعاً أو هبوطاً بسبب عمليات تعتَبر مستقلة عن تغير المناخ. وتشمل هذه العمليات سحب المياه الجوفية، واستخراج النفط والغاز، وتوازن القشرة الأرضية (تكيُّف سطح الأرض على نطاقات زمنية جيولوجية مع التغييرات في كتلة السطح؛ على سبيل المثال، بسبب التغيرات في كتلة الصحائف الجليدية عقب ذوبان الجليد الأخير). وإضافة إلى التغيرات في الارتفاع على طول الساحل، يمكن للعوامل الناشئة داخل البلد أن تؤثر على صافي تأثير ارتفاع سطح البحر على النظم الإيكولوجية الساحلية. وقد تجزأت النُظم الإيكولوجية الطبيعية داخل مستجمعات المياه وتعطل تدفق المياه في اتجاه مجرى النهر والترسُّب والمواد المغذية إلى الساحل (Nilsson وآخرون، 2005). ونتج عن التغير في استخدام الأراضي وعن التعديلات الهيدرولوجية تأثيرات في اتجاه مجرى النهر، بالإضافة إلى تأثيرات محلية الطابع، من بينها التنمية البشرية على الساحل. وقد عمل التحات على زيادة حمل الترسُّب الذي وصل إلى الساحل؛ وعلى سبيل

المثال، ازدادت الحمولات والشحنات العالقة في نهر هوانغي (الأصفر) بمقدار 2 إلى 10 أضعاف خلال الـ 2000 سنة الماضية (Jiongxin، 2003). وعلى النقيض من هذا، أدى بناء السدود والقنوات إلى تخفيض كبير في إمدادات الترسُّبات من أنهار أخرى إلى الساحل نتيجة لاستبقاء الترسبات في داخل السدود (Syvistki وآخرون، 2005)، ومن المحتمل أن يسود هذا التأثير خلال القرن الحادي والعشرين. [WGII 6.4]

وتشير تجارب Milly وآخرون (2005) بخصوص مجموعة نماذج المناخ إلى أن تغير المناخ أثناء فترة السنوات الـ50-100 التالية سوف يُزيد التصريف إلى المياه الساحلية في المنطقة المتجمدة الشمالية، وفي شمالي الأرجنتين وجنوبي البرازيل وفي أجزاء من شبه القارة الهندية والصين، في حين يشار إلى حدوث تصريف منخفض إلى المياه الساحلية في جنوبي الأرجنتين وشيلي، وغربي أستراليا، والغرب والجنوب الأفريقيين، وحوض البحر الأبيض المتوسط. [WGII 6.3.2؛ انظر الشكل 2.10 في هذا المجلد] وإذا نقص تصريف الأنهار، من المتوقع أن تزداد ملوحة مصاب الأنهار الساحلية والأراضي الرطبة وتنخفض كمية الترسُّبات والمواد المغذية المحمولة إلى الساحل. وفي المناطق الساحلية حيث ينخفض تدفق المجاري المائية، سوف تميل الملوحة إلى التقدُّم إلى أعالي المجرى، وبالتالي تغير مناطق وجود أنواع النباتات والحيوانات وكذلك توافر المياه العذبة اللازمة للاستخدام البشري. وقد ساهمت زيادة ملوحة المياه الساحلية منذ سنة 1950 في تدهور غابات Cabbbage palm في فلوريدا (Williams وآخرون، 1999) وغابات السرو الجرداء في لويزيانا (Krauss وآخرون، 2000). ولعبت الملوحة المتزايدة أيضاً دوراً في توسّع غابات المنغروف في المستنقعات الملحية المتاخمة في منطقة فلوريدا (Everglades) إيفر غليدس (Ross وآخرون، 2000) وفي أرجاء جنوب شرق أستراليا خلال الـ 50 سنة الماضية (Saintilan وWilliams، 1999. [WGII 6.4.1.4] ومن المتوقع أن يعمل اقتحام المياه المالحة نتيجة لمجموعة من عوامل ارتفاع مستوى سطح البحر ونقص تدفقات الأنهار وزيادة تواتر حالات الجفاف على تغيير مصايد الأسماك الساحلية المعتمدة على مصاب الأنهار خلال هذا القرن في أجزاء من أفريقيا وأستراليا وآسيا. [WGII 6.4.1.3.9.4.4, 10.4.1, 11.4.2]

وتعتَبر سواحل الدلتا معرضة بوجه خاص لخطر التغيرات في الجريان وانتقال الترسبات، التي تؤثّر على قدرة أي دلتا على مواجهة التأثيرات المادية لتغير المناخ. وفي آسيا، حيث أدّت الأنشطة البشرية إلى زيادة أحمال الترسبات في الأنهار الرئيسية في الماضي، عمل إنشاء السدود في أعالي الأنهار على نضوب الإمدادات من الترسُّبات لكثير من أنواع الدلتا، مع زيادة التحات الساحلي الذي يغدو واسع الانتشار. (Li وآخرون، 2004؛ Syvitski وآخرون، 2005؛ Ericson وآخرون، 2006) [WGII 6.2.3, 6.4.1] وفي السهل الهابط في دلتا نهر المسيسبي في جنوب شرق لويزيانا، حدث نقص شديد في المواد المترسبة بسبب تدخل الإنسان في عمليات الدلتا وصاحبت ذلك زيادات في الملوحة ومستويات المياه في الأهوار الساحلية وتم ذلك بشكل سريع لدرجة أن 565 1 كيلومتراً مربعاً من الأهوار الساحلية الكائنة في مناطق المد والجزر والأراضي الواطئة الساحلية المتاخمة تحولت إلى مياه مكشوفة في الفترة بين 1978 و2000 (Barras وآخرون، 2003). [WGII 6.4.1]

وربما ينتج بعض أكبر التأثيرات الممكنة لتغير المناخ على مصاب الأنهار من التغيرات في خصائص الاختلاط المادي التي تسببها التغيرات في جريان المياه العذبة (Scavia وآخرون، 2002). وتؤثر تدفقات المياه العذبة في مصاب الأنهار على متوسط الوقت الذي تبقى فيه جزيئات الماء في حيزها المحدد، وعلى إيصال المواد المغذية، وعلى التراصف الطبقي الرأسي، والملوحة، والتحكم في معدلات نمو العوالق (Moore وآخرون، 1997). وسوف تؤدي التغيرات في تصريف الأنهار في البيئات البحرية الضحلة قرب الشاطئ إلى تغيرات في التعكّر والملوحة والتراصف الطبقي وتوافر المواد المغذية (Justic وآخرون، 2005). [WGII 6.4.1.3]

4.1.3.4 النظم الإيكولوجية الجبلية

تتحدد مناطق النظم الإيكولوجية عبر التدرجات الجبلية من خلال درجة الحرارة ورطوبة التربة. وأظهرت الدراسات الأخيرة (Williams وآخرون، 2003؛ Pounds وPuschendorf، 2004؛ Andreone وآخرون، 2005؛ Pounds وآخرون، 2006) المخاطر غير المتناسبة لعمليات الانقراض في النظم الإيكولوجية الجبلية، وبوجه خاص، بين الأنواع المتوطنة. [WGII 4.4.7] وكثير من أنواع الحيوانات والنباتات البرمائية، والثدييات الصغيرة، والأسماك، والطيور والنباتات معرض بدرجة كبيرة لخطر التغيرات الجارية والمسقطة في المناخ التي سوف تغير مجالها الجبلي المتخصص بدرجة عالية. [WGII 1.3.5.2, 4.4.7, 9.4.5]

وفي كثير من مستجمعات المياه التي تسودها الثلوج الذائبة، عملت زيادة درجة الحرارة على تغيير حجم وتوقيت الظواهر الهيدرولوجية. وقد لوحظ اتجاه نحو حدوث تدفق المجاري المائية في ذروتها في الربيع وزيادة التدفقات الأساسية في الشتاء في أمريكا الشمالية وأوراسيا. [WGII 1.3.2] ويسقط جزء كبير من الهطول السنوي في شكل أمطار أكثر منه في شكل ثلوج في 74% من محطات الطقس التي جرت دراستها في الجبال الغربية من الولايات المتحدة الأمريكية في الفترة بين 1949 و2004 (Knowles وآخرون، 2006). ومنذ سبعينات القرن العشرين، تناقص عمق الثلوج في الشتاء والغطاء الثلجي في الربيع في كندا، وخصوصاً في الغرب، حيث تزايدت درجات حرارة الهواء بشكل مستمر (Brown و Braaten، 1998) ويتناقص الغطاء الثلجي في فصلي الربيع والصيف في المناطق الغربية من الولايات المتحدة الأمريكية (Groisman وآخرون، 2004). وقد تناقص المكافئ المائي للثلج (SWE) في الأول من نيسان/ أبريل بنسبة تتراوح بين 15 و30 في المائة منذ سنة 1950 في الجبال الغربية من أمريكا الشمالية، وخصوصاً في المرتفعات المنخفضة في الربيع، الأمر الذي يعود أساساً إلى الاحترار أكثر منه إلى التغيرات في الهطول (Mote وآخرون، 2005). وقد حدثت فترات ذروة تدفقات المجاري المائية في الجبال الغربية التي تسودها الثلوج الذائبة في الولايات المتحدة الأمريكية في عام 2002 في وقت أبكر بما يتراوح بين أسبوع وأربعة أسابيع من وقت حدوثها في عام 1948 (Stewart وآخرون، 2005). [WGII 14.2.1]

وارتبطت فترة بقاء الغطاء الثلجي وعمقه في كثير من الأحيان بمتوسط درجة حرارة وهطول مطر متوسطين (Keller وآخرون، 2005؛ Monson وآخرون، 2006) وهذا عامل أساسي في كثير من النظم الإيكولوجية في جبال الألب (Körner، 1999). ويعرّض عدم وجود غطاء ثلجي النباتات والحيوانات للصقيع، ويؤثر على إمدادات المياه في الربيع (Keller وآخرون، 2005). فإذا تعرضت عمليات تنقل الحيوانات للاختلال والاضطراب بسبب تغير أنماط الثلوج، كما تبين في كولورادو (Inouye وآخرون، 2000)، فإن ذلك يمكن أن يؤدي إلى زيادة نفوق الأحياء البرية نتيجة عدم التوافق بين الأحياء البرية والبيئة. [WGII 4.4.7] وفيما يتعلق بكل زيادة قدرها درجة مئوية واحدة في درجة الحرارة، من

المتوقّع أن تنخفض فترة بقاء الغطاء الثلجي عدة أسابيع في المرتفعات الوسطى من جبال الألب الأوروبية. ومن المؤكد فعلاً أن النباتات في الجبال الأوروبية سوف تشهد تغيرات رئيسية استجابة لتغير المناخ، وأن تكون التغيرات في فترة بقاء الغطاء الثلجي عاملاً دافعاً أكثر أهمية من الآثار المباشرة لدرجة الحرارة على عملية التمثيل العضوي للحيوانات. [WGII 12.4.3]

وتغير الجريان من ذوبان الأنهار الجليدية له آثار هامة على خدمات النُظم الإيكولوجية. وتتعرض الكائنات الحية في مجاري المستجمعات المائية الصغيرة التي يكفل لها ذوبان الجليد سبل البقاء بدرجة عالية للاستئصال. [WGII 1.3.1, 3.2, 3.4.3]

4.1.3.5 الغابات والسافانا والأراضي العشبية

يعتَبَر توافر المياه عاملاً رئيسياً في إعادة تجديد نُظم الغابات والأراضي العشبية حيثما يزداد احترار المناخ. فالمعروف هو أن تغير المناخ يغير أرجحية زيادة حجم وتواتر حرائق البراري، وفي الوقت نفسه يستحث الإجهاد في الأشجار أيضاً، مما يفاقم بشكل غير مباشر من آثار هذه الاختلالات. و تتزايد سرعة تأثر كثير من النظم الإيكولوجية للغابات في المناطق المدارية، وخطوط العرض العليا بالجفاف وما يصاحبه من تغيرات فيما يتعلق بالحرائق والآفات والأمراض. [WGII، الفصل، 13.4 ,5.1.2] وأشارت التقديرات إلى أن نسبة تبلغ قدرها 40% من غابات الأمازون يمكن أن تتأثر حتى بانخفاضات طفيفة في هطول المطر (Rowell وMoore، 2000). وتبيِّن عمليات المحاكاة المتعددة النماذج لنموذج المناخ العالمي بشأن تغيرات هطول المطر في أمريكا الجنوبية خلال الـ 100 سنة القادمة حدوث انخفاض كبير (بنسبة 20% أو أكثر) في هطول المطر في شهور حزيران/ يونيو وتموز/ يوليو وآب/ أغسطس في حوض الأمازون، لكن مع حدوث زيادة طفيفة (تبلغ حوالي 5%) في كانون الأول/ ديسمبر، وكانون الثاني/ يناير وشباط/ فبراير. [WGI 11.6.3.2] وتقترن هذه التغيرات المسقطة في هطول المطر، بدرجة حرارة متزايدة، تنذر بأن تحل محل بعض غابات الأمازون نُظم إيكولوجية أكثر مقاومة للإجهادات المتعددة التي تسببها زيادة درجة الحرارة وحالات الجفاف والحرائق. [WGII 13.4.2]

وتشير الإسقاطات إلى أن زيادات في الجفاف في عدة مناطق (أوروبا، وأجزاء من أمريكا اللاتينية) أثناء فصل النمو ستصحب تزايداً في درجات الحرارة في الصيف وانخفاضات في هطول المطر، مع آثار واسعة الانتشار على صافي إنتاجية النُظم الإيكولوجية من الغابات. وتشمل آثار الجفاف على الغابات حدوث وفيات بسبب المرض وإجهاد الجفاف والآفات؛ وانخفاض في المرونة إزاء التكيُّف؛ وتأثيرات تفاعلية في الكائنات الحية التي تختلف من موقع إلى موقع. [WGII 4.4.5] وفي بعض المناطق، تشير الإسقاطات إلى أن الغابات سوف تحل محل أنواع أخرى من النباتات، مثل التندرا، والأراضي العشبية كما يمكن أن يكون توافر المياه بنفس أهمية آثار درجة الحرارة وتخصيب ثاني أكسيد الكربون على عملية التمثيل الضوئي. [WGII 4.4.3, 4.4.5]

وقد تضمَّنت دراسات عديدة تقييماً للتأثير المباشر للتخصيب بثاني أكسيد الكربون وآثار الاحترار على الأنواع السائدة من الغابات والأراضي العشبية. وتشير الدراسات التي تشمل نطاقاً واسعاً من الأنواع الخشبية والعشبية إلى أن عمليات التعزيز في التمثيل الضوئي بسبب التخصيب المسقط بثاني أكسيد الكربون سوف تعتمد على توافر المياه. [WGII 4.4.3] ويمكن أن يكون للآثار الأعلى مستوى للتخصيب بثاني أكسيد الكربون في الغابات ومناطق السافانا تأثيرات تفاعلية هامة على موارد المياه. وعلى سبيل المثال، يمكن أن يكون للتخصيب بثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي آثار سلبية على القيمة الغذائية لنثار الأوراق والأغصان الميتة والفضلات المبعثرة في المجاري المائية (Tuchman وآخرون، 2003)، ويمكن أن يتأثر رصيد مياه التربة بشكل قوي بارتفاع معدلات ثاني أكسيد الكربون في معظم أنواع الأراضي العشبية. [WGII 4.4.10] وتتسم إنتاجية هذه الأراضي والسافانا بحساسيتها الشديدة للتقلبية في هطول المطر. وفي تقديرات إنتاجية البراري ذات الأعشاب الطويلة، على سبيل المثال، كانت زيادة تقلبية الأمطار أهم من مقدار سقوط الأمطار فقد أدت إلى زيادة في الفترة التي تستغرقها حالة الجفاف بنسبة 50%، تسببت في انخفاض بنسبة 10% في صافي الإنتاجية الأوّلية (Fay وآخرون، 2003a). [WGII 4.4.3]

4.2 الزراعة والأمن الغذائي واستخدام الأراضي والحراجة

4.2.1 السياق

تتوقف إنتاجية النظم الزراعية ونظم الحراجة ومصايد الأسماك بشكل حاسم على التوزيع الزماني والمكاني لهطول المطر والتبخر، كما تتوقف إلى جانب ذلك وخاصة فيما يتعلق بالمحاصيل، على توافر موارد المياه العذبة اللازمة للري. [WGII 5.2.1] وتواجه نُظم الإنتاج في المناطق الحدية فيما يتعلق بالمياه زيادة في سرعة التأثر بالتقلبية المناخية والمخاطر التي ينطوي عليها تغير المناخ، بسبب عوامل تشمل، على سبيل المثال، تدهور موارد الأراضي من خلال تحات التربة، والإفراط في استخراج المياه الجوفية وما يرتبط بذلك من تملُّح، وكذلك الإفراط في الرعي في الأراضي الجافة (منظمة الأغذية والزراعة، 2003). [WGII 5.2.2] وتتسم بسرعة التأثر بصفة خاصة زراعات صغار المزارعين في هذه المناطق الحدية حيث تتعرض لتغير المناخ وتقلبيته، وغالباً ما تفاقم عوامل الإجهاد الاجتماعي - الاقتصادي ظروف بيئية صعبة بالفعل. [WGII 5.2.2، الجدول 5.2، الإطار 5.3] وفي الغابات، اتضح أن تفشي الحرائق والحشرات المرتبط بتواتر الظواهر المتطرفة يزيد من سرعة التأثر بالمناخ. وفي مصايد الأسماك، يزيد تلوث المياه والتغيرات في موارد المياه أيضاً سرعة التأثر والمخاطر. [WGII 5.2.2]

4.2.1.1 الزراعة والأمن الغذائي

يؤدي الماء دوراً حاسماً في إنتاج الغذاء على المستوى الإقليمي، وعلى نطاق العالم، فمن ناحية، هناك ما يزيد على 80% من الأراضي الزراعية على المستوى العالمي تغذيها الأمطار؛ وفي هذه المناطق، تعتمد إنتاجية المحاصيل فحسب على هطول ما يكفي من المطر لمواجهة كميات التبخُّر وما يرتبط بها من توزيع رطوبة التربة (منظمة الأغذية والزراعة، 2003). [WGII 5.4.1.2] وحيثما تكون هذه المتغيرات محدودة بفعل المناخ، مثلما يحدث في المناطق القاحلة وشبه القاحلة في المناطق المدارية وشبه المدارية، وكذلك في المناطق من نمط البحر الأبيض المتوسط في أوروبا، وأستراليا، وأمريكا الجنوبية، يعتَبَر الإنتاج الزراعي عرضة للتأثر الشديد بتغير المناخ (منظمة الأغذية والزراعة، 2003). ومن ناحية أخرى، يعتمد إنتاج الأغذية على النطاق العالمي على المياه ليس فقط

في شكل هطول، بل وبشكل حاسم في شكل توافر الموارد المائية اللازمة للري. وفي الواقع، تُنتِج الأراضي المروية، التي تمثّل مجرد 18% من الأراضي الزراعية على المستوى العالمي، بليون طن من الحبوب سنوياً، أو حوالي نصف إجمالي العرض من الحبوب في العالم؛ وهذا لأن المحاصيل المروية تنتج ما يزيد في المتوسط بمقدار مرتين إلى ثلاث مرات عن المحاصيل البعلية التي تُروى بمياه الأمطار[19] (منظمة الأغذية والزراعة، 2003).

وبينما تؤدّي ندرة المياه إلى سرعة تأثر الإنتاج، فإن كثرة المياه على نحو أكثر من اللازم يمكن أن تكون لها أيضاً آثار ضارة بإنتاجية المحاصيل، إما بشكل مباشر، على سبيل المثال، بالتأثير على خواص التربة، وبإلحاق الضرر بنمو النباتات، وإما بشكل غير مباشر، على سبيل المثال، من خلال الإضرار بعمليات الزراعة الضرورية أو تأجيلها. فظواهر الهطول الغزير، ورطوبة التربة المفرطة، والفيضان تعطل جميعاً إنتاج الأغذية وسبل المعيشة في المناطق الريفية على نطاق العالم (Rosenzweig وآخرون، 2002). [WGII 5.4.2.1]

ويؤدي الماء، من خلال التأثير بالغ الأهمية على إنتاجية المحاصيل وإنتاج الأغذية، بالإضافة إلى كونه ضرورة لازمة في عمليات إعداد الأغذية، دوراً حاسماً في الأمن الغذائي. و يوجد حالياً 850 مليون شخص في العالم ما زالوا يعانون من نقص التغذية (منظمة الأغذية والزراعة، 2003). [WGII 5.3.2.1, 5.6.5] وسوف تؤدي الضغوط الاجتماعية - الاقتصادية خلال العقود العديدة القادمة إلى زيادة المنافسة بين احتياجات الري والطلب من القطاعات غير الزراعية، التي يمكن أن تخفّض توافر ونوعية موارد المياه اللازمة للأغذية. [WGII 3.3.2] وتشير الدراسات الحديثة العهد إلى أنه من غير المرجَّح أن يتحقق الهدف الإنمائي للألفية فيما يتعلق بالجوع بحلول سنة 2015. [WGII 5.6.5] وفي الوقت نفسه، قد يعمل تغير المناخ خلال هذا القرن، على زيادة خفض توافر المياه اللازمة لإنتاج الأغذية على الصعيد العالمي، نتيجة للتقديرات المسقطة بشأن متوسط التغييرات في نُظم الحرارة والهطول، وكذلك بسبب الزيادات المسقطة في تواتر الظواهر المتطرفة، مثل نوبات الجفاف والفيضانات (Rosenzweig وآخرون، 2002). [WGII 5.6.5]

وتعتمد التقييمات الخاصة بتأثير المناخ على إنتاج الأغذية اعتماداً بالغاً بوجه عام، على الخصائص المميزة لإسقاطات الهطول الخاصة بنموذج الدوران العام (GCM). [WGII 5.4.1.2] وتتوافر حالياً طائفة عريضة من سيناريوهات الهطول. وبوجه عام، تُسفر التقييمات باستخدام سيناريوهات الهطول الإقليمي المنخفض، كما هو معهود عن إشارات سلبية لإنتاج المحاصيل، والعكس بالعكس. فالإسقاطات بشأن زيادة الجفاف والقحولة في البيئات العديدة من نوع بيئة البحر الأبيض المتوسط (في أوروبا وأستراليا وأمريكا الجنوبية)، وكذلك في المناطق المدارية الهامشية القاحلة وشبه القاحلة، وخصوصاً جنوبي الصحراء الكبرى في أفريقيا، تبدو قوية عبر النماذج (انظر الشكل 2.10). وتزداد سرعة تأثر هذه المناطق في ظل تغير المناخ، على النحو المبيَّن في الشكل 4.1. [WGII 5.3.1]

4.2.1.2 استخدام الأراضي والنظم الإيكولوجية للغابات

تشغل النظم الإيكولوجية للغابات حوالي أربعة بلايين هكتار من الأراضي، وهي مساحة يمكن مقارنتها بتلك المستخدمة في زراعة المحاصيل والمراعي مجتمعة. ومن هذه الأراضي، يُستخدَم حوالي 200 مليون هكتار للإنتاج التجاري الحراجي على النطاق العالمي (منظمة الأغذية والزراعة، 2003). [WGII 4.4.5, 5.1.1, 5.4.5]

وتعتَبَر الغابات من العوامل الرئيسية المحدِّدة لإمدادات المياه ونوعيتها وكميتها، في البلدان النامية والمتقدمة النمو على السواء. وقد تزداد أهمية الغابات ومستجمعات المياه بشكل كبير خلال العقود القليلة القادمة، حيث تتزايد ندرة موارد المياه العذبة، وخصوصاً في البلدان النامية (جدول أعمال الجبال، 1997؛ Liniger و Weingartner، 1998). [استخدام الأراضي وتغيير استخدام الأراضي والحراجة LULUCF 2.5.1.1.4؛ WGII 4.1.1]

وتساهم الغابات في الدورة الإقليمية للمياه بآثار محتملة كبيرة على التغير في استخدام الأراضي في المناخات المحلية والإقليمية (Harding، 1992؛ Lean وآخرون، 1996). ومن ناحية أخرى، يمكن أن تتسبب حماية الغابات في حالة من الجفاف وفوائد ناتجة عن تخفيف الفيضان، وخصوصاً في المناطق المدارية (Kramer وآخرون، 1997؛ Pattanayak و2000 ،Kramer). [استخدام الأراضي وتغيير استخدام الأراضي والحراجة LULUCF 2.5.1.1.6]

وقد يعمل التشجير وإعادة التشجير على زيادة الرطوبة، وتقليل درجة الحرارة وزيادة سقوط المطر في المناطق المتأثرة بذلك (Harding، 1992؛ و Blythe وآخرون، 1994)؛ ويمكن أن تؤدي إزالة الغابات بدلاً من ذلك إلى انخفاض سقوط الأمطار المحلية وزيادة درجة الحرارة. ففي منطقة حوض الأمازون وآسيا، قد تؤدي إزالة الغابات إلى أحوال مناخية جديدة غير مناسبة للنجاح في تجديد أنواع الغابات المطيرة (Chan، 1986؛ Gash و Shuttleworth، 1991؛ Meher-Homji، 1992). [استخدام الأراضي وتغيير استخدام الأراضي والحراجة LULUCF 2.5.1.1.6]

وتتسم النُظم الإيكولوجية للغابات بحساسيتها المتفاوتة لتغير المناخ (على سبيل المثال Kirschbaum و Fischlin، 1996؛ وSala وآخرون، 2000؛ Gitay وآخرون، 2001)، حيث تكون المناطق الأحيائية ذات الحرارة المحدودة حساسة لتأثير الاحترار، والمناطق الأحيائية المحدودة المياه حساسة لتزايد مستويات الجفاف. وقد تتغير بعض النُظم الإيكولوجية، مثل تلك المعتمدة على الحرائق، بشكل سريع استجابة للمناخ والتغيرات البيئية الأخرى (Scheffer وآخرون، 2001؛ Sankaran وآخرون، 2005). [WGII 4.1, 4.4.5]

وربما تتعرض النظم الإيكولوجية للغابات، والتنوع الأحيائي المرتبط بها، للمخاطر بصفة خاصة في أفريقيا، ويرجع ذلك إلى تضافر ضغوط اجتماعية - اقتصادية، وعوامل خاصة باستخدام الأراضي وتغير المناخ. [WGII 4.2] وبحلول سنة 2001، ربما تسبب التأثيرات السلبية في حوالي 25% من أفريقيا (خصوصاً المناطق الجنوبية والغربية من أفريقيا) انخفاضاً في نوعية المياه والسلع والخدمات التي يكفلها النظام الإيكولوجي. [WGII 4، ملخص تنفيذي، 4.4.8] وقد اكتُشِف فعلاً في

[19] انظر الفرع 1.3، للاطلاع على مناقشة عن أوجه الترابط بين الري وتغير المناخ وتغذية المياه الجوفية. وهذا مذكور أيضاً في الفرع 5.1.3 (عن أفريقيا) وفي الفرع 5.2.3 (عن آسيا).

الواقع، حدوث تغييرات في طائفة متنوعة من النظم الإيكولوجية وجرى توثيقها، وخصوصاً في الجنوب الإفريقي. [WGII 9.2.1.4]

4.2.2 الرصدات

4.2.2.1 *تأثيرات المناخ، والمياه*

رغم أن المعروف هو أن الزراعة والحراجة تعتمدان اعتماداً كبيراً على المناخ، فإن من الصعب العثور على أدلة لتغيرات مرصودة تتصل بتغيرات مناخية إقليمية، تتصل بالتحديد بالمياه. فالزراعة والحراجة تتأثران تأثراً قوياً بعوامل غير مناخية، وخصوصاً بممارسات الإدارة والتغيرات التكنولوجية (Easterling، 2003) على النطاقات المحلية والإقليمية، وكذلك بالأسعار السوقية وسياساتها ذات الصلة بالإعانات المالية. [WGII 1.3.6]

ومع أنه يصعب في النظم البشرية تحديد الاستجابات التي حدثت مؤخراً لتغير المناخ، بسبب عوامل دافعة عديدة غير مناخية، ووجود عملية التكيُّف، فإنه أمكن اكتشاف آثار في الحراجة وفي بضعة نظم زراعية. وقد ارتبطت التغييرات في جوانب عديدة من نظام الصحة البشرية بالاحترار الذي حدث مؤخراً. وبدأت عملية التكيُّف مع هذا الاحترار تدعم بالوثائق بشكل منهجي. وبالمقارنة مع عوامل أخرى، أصبح للاحترار الذي حدث مؤخراً أثر محدود في مجالي الزراعة والحراجة. ومع ذلك، لوحظ حدوث تقدّم هام في ظواهر الفينولوجيا الطبيعية، فيما يتعلق بالزراعة والحراجة في بقاع واسعة من نصف الكرة الأرضية الشمالي، مع حدوث استجابات محدودة في إدارة المحاصيل. وأسهم امتداد فصل النمو في زيادة مرصودة في إنتاجية الغابات في كثير من المناطق، في حين تُعتَبَر أحوال ازدياد الحرارة والجفاف مسؤولة إلى حد ما عن انخفاض إنتاجية الغابات، وزيادة حرائق الغابات في أمريكا الشمالية وفي حوض البحر الأبيض المتوسط. وقد اتسمت الزراعة والحراجة معاً بسرعة التأثر إزاء الاتجاهات الحديثة في الموجات الحرارية ونوبات الجفاف والفيضانات. [WGII 1.3.6, 1.3.9, 5.2]

4.2.2.2 *ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي وديناميات المياه*

قد تترتب على آثار زيادة تركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي على وظيفة النباتات مقتضيات هامة فيما يتعلق بموارد المياه، نظراً لأن كفاءة استخدام المياه على مستوى أوراق الأشجار، تزداد بسبب زيادة المقاومة المسامية بالمقارنة مع التركزات الحالية. وفيما يتعلق بأنواع النباتات (C_3) (بما في ذلك معظم محاصيل الأغذية)، قد يكون تأثير ثاني أكسيد الكربون أكبر نسبياً فيما يتعلق بالمحاصيل التي تخضع لإجهاد الرطوبة، مقارنة بالمحاصيل المروية جيداً. [WGII، تقرير التقييم الثالث، 5.3.3.1]

ومع ذلك، فإن التأثيرات الواسعة النطاق للتفاعلات بين ثاني أكسيد الكربون والماء (على سبيل المثال في الأجزاء الأعلى المتغصنة من الغابة، أو على المستوى الميداني والإقليمي) تعتبر غير يقينية بدرجة عالية. ومن المعترَف به بوجه عام، أن الآثار الإيجابية لزيادة تركزات ثاني أكسيد الكربون على علاقات النبات والماء من المتوقع أن تقابلها زيادة في عملية التبخر في ظل ارتفاع درجات الحرارة. [WGII ، تقرير التقييم الثالث، 5.3.3.1]

وتؤكد دراسات حديثة كثيرة وتوسع نطاق الاستنتاجات التي توصل إليها تقرير التقييم الثالث أن التغيرات في درجة الحرارة وهطول المطر في العقود المقبلة سوف تعدّل، وغالباً تحدّ، من التأثيرات المباشرة لثاني أكسيد الكربون على النباتات. وعلى سبيل المثال، فإن ارتفاع درجات الحرارة خلال فترة تفتح الأزهار قد يُقلل من تأثيرات ثاني أكسيد الكربون من خلال تخفيض عدد وحجم ونوعية الحبوب (Thomas وآخرون، 2003؛ Baker وآخرون، 2004؛ Caldwell وآخرون، 2005). وبالمثل، فإن زيادة الطلب على الماء في ظل الاحترار قد تحدّ من الآثار الإيجابية المتوقعة لثاني أكسيد الكربون. فالقمح الذي ينمو على سقوط الأمطار بمعدل 450 جزءاً من المليون من ثاني أكسيد الكربون، يظهر زيادات في غلات الحبوب مع حدوث زيادة في الاحترار تصل إلى 0.8 درجة مئوية، لكن الغلات تنخفض عندئذ بعد تجاوز الاحترار 1.5 درجة مئوية حيث تلزم كميات ري إضافية لمقابلة هذه الآثار السلبية. [WGII 5.4.1.2]

وأخيراً، يدرك خبراء فسيولوجيا النبات وخبراء نماذج المحاصيل أيضاً أن تأثيرات زيادة تركيزات ثاني أكسيد الكربون، بقياسها في إطارات تجريبية ومنفذة في نماذج، قد تؤدي إلى المغالاة في تقدير الاستجابات الميدانية الفعلية والاستجابات على مستوى المزارع. ويرجع هذا إلى كثير من العوامل المقيِّدة التي تبين أنها تعمل في العادة على المستوى الميداني، مثل الآفات والحشائش الضارة والمنافسة على الموارد، ومياه التربة ونوعية الهواء. وهذه العوامل الحاسمة لم تُبحَث بحثاً جيداً في إطارات تجريبية واسعة النطاق، وهي بالتالي غير مدرجة في النماذج الرئيسية لنمو النباتات. ولا يزال فهم الديناميات الأساسية التي تتسم بها تفاعلات زيادة تركيزات ثاني أكسيد الكربون مع المناخ والتربة ونوع المياه، والآفات والأعشاب الضارة والأمراض، وتقلبية المناخ، وسرعة تأثر النُظم الإيكولوجية يشكل إحدى الأولويات من أجل فهم تأثيرات تغير المناخ في المستقبل على النُظم الخاضعة للإدارة. [WGII 5.4.1, 5.8.2]

4.2.3 الإسقاطات

سوف تؤثر التغييرات في الطلب على الماء وتوافره في إطار تغير المناخ تأثيراً كبيراً على الأنشطة الزراعية والأمن الغذائي، وعلى الحراجة ومصايد الأسماك في القرن الحادي والعشرين. فمن ناحية سوف تعمل التغيرات في معدلات التبخر بالنسبة إلى هطول المطر على تعديل الطلب على الماء اللازم للنباتات فيما يتعلق بخط أساس وذلك بدون تغير في المناخ. ومن ناحية أخرى، سوف تغير الأنماط المعدّلة لدورات الهطول والتخزين على نطاق مستجمعات المياه المعدلات الفصلية والسنوية، ومعدلات ما بين السنوات لتوافر المياه اللازمة للنظم الإيكولوجية الزراعية الأرضية والمائية (منظمة الأغذية والزراعة، 2003). وتعمل تغيرات المناخ على زيادة الطلب على الري في غالبية مناطق العالم بسبب الجمع بين نقصان هطول الأمطار وزيادة التبخُّر الناجمة عن ارتفاع درجات الحرارة. [WGII 5.8.1]

ومن المتوقّع أن تكون للتغيرات المسقطة في تواتر وشدة الظواهر المناخية المتطرفة، مثل ازدياد تواتر الإجهاد الحراري، ونوبات الجفاف والفيضان، عواقب هامة على الغذاء والحراجة (وخطر نشوب حرائق الغابات) وإنتاج النُظم الإيكولوجية الزراعية الأخرى، بالإضافة إلى آثار التغيرات في متوسط المتغيرات وحدها. [WGII 5، الملخص التنفيذي] وعلى وجه الخصوص، تشير التنبؤات فيما يزيد على 90% من عمليات المحاكاة إلى زيادة حالات الجفاف في المناطق شبه المدارية في نهاية القرن الحادي والعشرين [WGI،

ملخص لصانعي السياسات]، في حين تشير الإسقاطات الخاصة بزيادة الظواهر المتطرفة في الهطول في مناطق الإنتاج الزراعي الرئيسية الواقعة في جنوب وشرقي آسيا، وشرقي أستراليا وشمالي أوروبا. [WGI 11.3, 11.4, 11.7] ويجدر بالذكر أن نماذج تأثير تغير المناخ فيما يتعلق بالأغذية ومنتجات الغابات والألياف لا تشمل بعد هذه النتائج الأخيرة بشأن الأنماط المسقطة لتغير الهطول؛ وتشير الإسقاطات إلى أن الآثار السلبية ستكون أسوأ مما يُحتَسَب حالياً، بمجرد إدراج آثار الظواهر المتطرفة على الإنتاجية. [WGII 5.4.1, 5.4.2]

وتدل التغيرات في النسبة المئوية لمتوسط الجريان السنوي على متوسط توافر المياه اللازمة للغطاء النباتي. وتبيِّن الإسقاطات المتعلقة بالتغيرات في الفترة من الآن وحتى سنة 2100 [WGII، الفصل 3] بعض الأنماط الثابتة: زيادات في خطوط العرض العليا والمناطق المدارية الرطبة، وانخفاضات في المناطق الوسطى من خطوط العرض وبعض أجزاء المناطق المدارية الجافة (الشكل 4.1b). وتعتبر الانخفاضات في توافر الماء دليلاً يشير إلى زيادة الإجهاد المائي، ويشير بصفة خاصة إلى حدوث تدهور في المناطق التي يعتَبر فيها الماء اللازم للإنتاج سلعة نادرة بالفعل (على سبيل المثال، في حوض البحر الأبيض المتوسط، وأمريكا الوسطى، والمناطق شبه المدارية في أفريقيا وأستراليا، انظر الشكل 4.1b). [WGII 5.3.1]

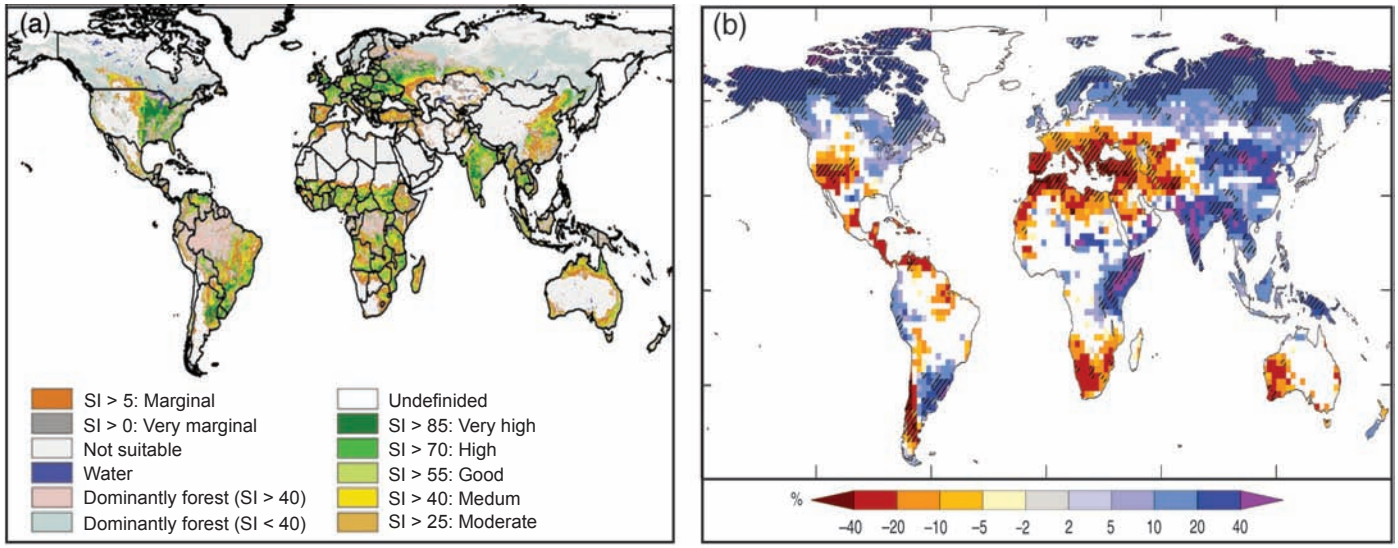
وأخيراً، قد يكون من الأهمية بمكان الاعتراف بأن نظم الإنتاج وموارد المياه سوف تتشكل بشكل حاسم في العقود القادمة من خلال التفاعلات الملازمة للعوامل الدافعة الاجتماعية ـ الاقتصادية والمناخية. وعلى سبيل المثال، فإن ازدياد الطلب على مياه الري في مجال الزراعة سوف يعتمد على الأحوال المناخية المتغيرة وعلى زيادة الطلب على الغذاء بسبب النمو السكاني؛ إضافة إلى ذلك، سوف يعتمد توافر المياه اللازمة لإنتاجية الغابات على العوامل الدافعة المناخية وعلى التأثيرات الحاسمة بفعل الإنسان، وخصوصاً إزالة الغابات في المناطق المدارية. وفي حوض نهر الأمازون، على سبيل المثال، فإن الجمع بين إزالة الغابات وزيادة التجزؤ والتشتت سوف يثير نوبات جفاف شديدة علاوة على الإشارة المناخية، مما يؤدي إلى زيادة مخاطر نشوب الحرائق. [WGII 5.3.2.2]

4.2.3.1 المحاصيل

لئن كان الاحترار المعتدل في مناطق خطوط العرض العليا بوجه عام، يعود بالفائدة على غلات المحاصيل والمراعي فإنه، حتى الاحترار الطفيف في مناطق خطوط العرض المنخفضة أو المناطق التي تعتبر جافة على النطاق الفصلي، يكون له تأثير ضار بغلات المحاصيل. وتبيّن نتائج نمذجة طائفة من المواقع أن الزيادات المعتدلة إلى المتوسطة في مناطق خطوط العرض العليا في درجات الحرارة (بين درجة واحدة وثلاث درجات مئوية)، إلى جانب ما يرتبط بذلك من زيادات في ثاني أكسيد الكربون وتغيرات في سقوط الأمطار يمكن أن يكون لها تأثيرات صغيرة مفيدة على غلات المحاصيل. ومع ذلك، فإن الزيادة المعتدلة في درجات الحرارة في مناطق خطوط العرض المنخفضة (بين درجة واحدة ودرجتين مئويتين) من المرجَّح أن تكون لها آثار سلبية على غلات المحاصيل فيما يتعلق بالغلال الرئيسية. وتوجد لزيادة الاحترار آثار سلبية بدرجة متزايدة في جميع المناطق. [WGII 5، الملخص التنفيذي]

أما المناطق التي تعتبر الزراعة فيها حالياً نشاطاً هامشياً، الأمر الذي يعود إلى حد كبير إلى اجتماع عوامل أنواع التربة الرديئة وندرة المياه والفقر في المناطق الريفية، فإنها قد تعاني بدرجة متزايدة نتيجة لتأثيرات تغير المناخ على الماء. ونتيجة لذلك، فإنه حتى التغيرات الصغيرة في المناخ سوف تزيد عدد الأشخاص المعرضين لمخاطر الجوع، نظراً لكبر حجم التأثير إلى حد كبير في المناطق الكائنة جنوب الصحراء الكبرى في أفريقيا. [WGII 5، الملخص التنفيذي]

ويمكن للزيادات في تواتر الظواهر المناخية المتطرفة أن تؤدي إلى تخفيض غلات المحاصيل على نحو يتجاوز تأثيرات متوسط تغير المناخ. وتم في دراسات المحاكاة التي أجريت منذ تقرير التقييم الثالث بحث جوانب محدّدة لتزايد تقلبية المناخ في إطار سيناريوهات تغير المناخ. وقام



الشكل 4.1: *(أ) الملاءمة الحالية للمحاصيل البعلية المطرية (باستثناء النُظم الإيكولوجية للحراجة) نقلاً عن Fischer وآخرين (2002 b)؛ [WGII Figure 5.1a] مؤشر الملاءمة Suitability index = SI؛ (ب) التغير المسقط في النسبة المئوية لمتوسط المجموعات فيما يتعلق بالمتوسط السنوي للجريان بين الفترة الحاضرة (1980-1999) والفترة 2090-2099. [استناداً إلى الشكل 3.5 في التقرير التجميعي (SYR)]*

Rosenzweig وآخرون، (2002) بإجراء حسابات تفيد بأنه في إطار سيناريوهات تزايد الهطول الغزير، فإن الخسائر في الإنتاج بسبب الزيادة المفرطة في رطوبة التربة (وهي تعتبر كبيرة بالفعل الآن) سوف تتضاعف في الولايات المتحدة الأمريكية لتصل إلى 3 بلايين دولار أمريكي سنوياً في سنة 2030. وفي بنغلاديش، تشير الإسقاطات إلى أن خطر الخسائر في المحاصيل سيزداد بسبب ارتفاع تواتر حدوث الفيضانات في إطار تغير المناخ. وأخيراً، تشير دراسات آثار تغير المناخ التي تدخل فيها زيادة شدة هطول الأمطار إلى حدوث زيادة في مخاطر تحات التربة؛ وفي المناطق القاحلة وشبه القاحلة، قد ترتبط شدة هطول الأمطار بإمكانية زيادة التملح، بسبب زيادة فقدان المياه فيما يتجاوز المنطقة التي تحتوي على جذور نباتات المحاصيل. [WGII 5.4.2.1]

وقد تكون تأثيرات تغير المناخ على الاحتياجات من مياه الري كبيرة. ووضع بضع دراسات جديدة كذلك تقديراً كمّياً لتأثيرات تغير المناخ على الاحتياجات الإقليمية والعالمية من الري، بغض النظر عن الآثار الإيجابية لزيادة تركيزات ثاني أكسيد الكربون على كفاءة استخدام المياه بالنسبة للمحاصيل. ووضع Döll (2002) عند دراسة التأثيرات المباشرة لتغير المناخ على طلب التبخُّر الخاص بالمحاصيل، ولكن دون آثار ثاني أكسيد الكربون، تقديرات تشير إلى حدوث زيادة في صافي احتياجات الري الخاص بالمحاصيل (أي صافي الكميات المفقودة من المياه بسبب النتح) تتراوح بين 5% و 8% على الصعيد العالمي بحلول سنة 2070، مع وجود علامات إقليمية أوسع نطاقاً (على سبيل المثال + 15%) في جنوب شرق آسيا. [WGII 5.4.2.1]

ووضع Fischer وآخرون (2006) في دراسة تضمّنت الآثار الإيجابية لثاني أكسيد الكربون على كفاءة استخدام المياه بالنسبة للمحاصيل حسابات تشير إلى حدوث زيادات في صافي الاحتياجات الخاصة من الري على الصعيد العالمي بنسبة 20% بحلول سنة 2080، مع تأثيرات أوسع نطاقاً في المناطق المتقدمة مقابل المناطق النامية، وذلك يرجع إلى زيادة نسب التبخر وطول فصول النمو في إطار تغير المناخ. ووضع Fischer وآخرون (2006) وArnell وآخرون (2004) أيضاً إسقاطات تشير إلى حدوث زيادات في الإجهاد المائي (مقاساً بمعدل مسحوبات مياه الري إلى موارد المياه المتجددة) في الشرق الأوسط وجنوب شرق آسيا. وأكدت دراسات إقليمية حديثة أيضاً حدوث تغير في المناخ/ ديناميات المياه بشكل حاسم في المناطق المروية الرئيسية، مثل شمالي أفريقيا (في شكل زيادة في احتياجات الري؛ وAbou-Hadid وآخرون، 2003) والصين (احتياجات متناقصة؛ Tao وآخرون، 2003a). [WGII 5.4.2.1]

وعلى النطاق الوطني، توجد بعض الدراسات التكاملية. ففي الولايات المتحدة الأمريكية، تتوقع دراستان للنمذجة بشأن تكيُّف القطاع الزراعي مع تغير المناخ (أي عمليات التحول بين الإنتاج المروي والإنتاج البعلي) حدوث نقصان في المناطق المروية ومسحوبات المياه يتجاوز عام 2030 في إطار مختلف سيناريوهات المناخ (Reilly وآخرون، 2003؛ Thomson وآخرون، 2005a). ويرتبط ذلك بانخفاض في فجوة الغلات بين الزراعة المروية والزراعة البعلية المعتمدة على المطر التي تسببها إما انخفاضات في غلات المحاصيل المروية بسبب ارتفاع درجات الحرارة وإما زيادات في غلات في المحاصيل البعلية بسبب زيادة هطول المطر. ولم تأخذ هاتان الدراستان في الاعتبار زيادة تقلبية الهطول اليومي، ولذلك، قد تكون هناك مغالاة في تقدير غلات الزراعة البعلية المعتمدة على المطر. [WGII 3.5.1]

وفيما يتعلق بالبلدان النامية، هناك توقّع بحدوث زيادة بنسبة 14% في سحب مياه الري بحلول سنة 2030، وقد ورد هذا التوقع في دراسة أعدتها منظمة الأمم المتحدة للأغذية والزراعة (الفاو) ولم تأخذ في الاعتبار آثار تغير المناخ (Bruinsma، 2003). ومع ذلك، تتضمن السيناريوهات الأربعة لتقييم النظم الإيكولوجية للألفية إسقاطات تشير إلى حدوث زيادات أصغر بكثير في مسحوبات للمياه الري على النطاق العالمي، حيث إنها تفترض أن المنطقة الخاضعة للري لن تزيد إلا بما يتراوح بين 0% و6% بحلول سنة 2030؛ وبين 0% و10% بحلول سنة 2050. [WGII 3.5.1]

ومن المرجَّح أن تحدث زيادات هائلة في استخدام المياه في القطاعات المنزلية والصناعية، مع مسحوبات للمياه تزيد بما يتراوح بين 14% و 83% بحلول سنة 2050 (تقييم النظم الإيكولوجية للألفية، 2005a, b). ويستند هذا الوضع إلى الفكرة التي مؤداها أن قيمة الماء ستكون أعلى بكثير في الاستخدامات المنزلية والصناعية، وهو ما يعتبر صحيحاً بصفة خاصة في ظروف الإجهاد المائي. [WGII 3.5.1]

وعلى الصعيد المحلي، قد تواجه الزراعة المروية مشاكل جديدة ترتبط بالتوزيع المكاني والزماني لتدفق المجاري المائية. وعلى سبيل المثال، قد يسبب ذوبان الثلوج المبكّر في مناطق خطوط العرض المنخفضة، وخصوصاً في جنوب شرق آسيا، فيضاناً في الربيع، وقد يؤدي إلى نقص في مياه الري في الصيف. [WGII 5.8.2]

4.2.3.2 المراعي والماشية

يوجد كثير من المراعي في العالم في المناطق شبه القاحلة السريعة التأثر بنقص المياه؛ وأي انخفاض آخر في موارد المياه سوف يؤثر تأثيراً كبيراً على قدرة هذه المراعي. ونتيجة لذلك، فإن زيادة تقلبية المناخ ونوبات الجفاف قد تؤدي إلى فقدان الماشية. وبالتحديد، فإن الأثر على إنتاجية الحيوانات بسبب زيادة التقلبية في أنماط الطقس من المرجَّح أن يكون أكبر بكثير من الآثار المرتبطة بالتغيرات في الأحوال المناخية العادية. وإن أكثر الخسائر الكارثية تواتراً وهي الخسائر الناجمة عن عدم التكيُّف المسبق مع ظواهر الطقس تحدث في مهاجع الماشية الحبيسة، وتؤدي إلى خسائر اقتصادية نتيجة انخفاض أداء الماشية تتجاوز الخسائر الناجمة عن وفيات الماشية بمقدار عدة أضعاف. [WGII 5.4.3.1]

ويتأثر كثير من المراعي في العالم بأحداث ظاهرة النينيو/ التذبذب الجنوبي (ENSO). ففي إطار نوبات الجفاف المرتبطة بظاهرة النينيو/ التذبذب الجنوبي توجد في المناطق الجافة مخاطر التأثيرات التفاعلية الإيجابية بين تدهور التربة والغطاء النباتي والانخفاضات في سقوط الأمطار مع ما يترتب على ذلك من آثار على فقدان الأراضي الرعوية وأراضي الفلاحة معاً. [WGII 5.4.3.1] ومع ذلك، في حين أشار تقرير التقييم الثالث الذي أعده الفريق العامل الأول إلى زيادة أرجحية تواتر ظاهرة النينيو/ التذبذب الجنوبي في إطار تغير المناخ، لم يجد تقرير التقييم الرابع الذي أعده الفريق العامل الأول عوامل ارتباط بين ظاهرة النينيو/ التذبذب الجنوبي وتغير المناخ. [WGI، تقرير التقييم الثالث، ملخص لصانعي السياسات؛ WGI 10.3.5.4]

الإطار 4.1: تغير المناخ ومصائد الأسماك في الحوض الأسفل لنهر الميكونغ – مثال للإجهادات المتعددة بسبب النشاط البشري في نظام لمصائد الأسماك في دلتا كبرى. [WGII الإطار 5.3]

تتسم مصائد الأسماك بأهميتها الأساسية لحياة الناس، وخصوصاً لفقراء الريف الذين يعيشون في البلدان الكائنة في الحوض الأسفل لنهر الميكونغ. ويعمل ثلثا سكان الحوض البالغ عددهم 60 مليون نسمة على نحو ما في مصائد الأسماك مما يحقق نحو 10% من الناتج المحلي الإجمالي لكمبوديا ولجمهورية لاو الديمقراطية الشعبية (PDR). وهناك قرابة 1000 نوع من الأسماك الشائع وجودها في هذا النهر مع أعداد كثيرة أخرى من الأسماك البحرية الجوالة التي تجعل من هذا النهر إحدى أكثر مناطق وجود الحيوانات خصوبة وتنوعاً في العالم (لجنة نهر الميكونغ MRC، 2003). وتشير التقديرات حديثة العهد إلى أن الكمية السنوية من الأسماك التي يتم صيدها من مصائد الأسماك وحدها يتجاوز 2.5 مليون طن (Hortle and Bush، 2003)، تسهم دلتا النهر بأكثر من 30% منها.

وتحدث التأثيرات المباشرة لتغير المناخ من جرَّاء الأنماط المتغيرة لهطول الأمطار وذوبان الثلوج وارتفاع مستوى سطح البحر التي تؤثر بدورها على الهيدرولوجيا ونوعية المياه. أما الآثار غير المباشرة فتنتج عن أنماط الحياة النباتية المتغيرة التي يمكن أن تغير السلسلة الغذائية، وتزيد تحات التربة. ومن المرجح أن تكون التأثيرات البشرية على مصائد الأسماك (الناجمة عن زيادة السكان، والتخفيف من آثار الفيضانات، وزيادة ضخ المياه، والتغيرات في استخدام الأراضي/ والإفراط في صيد الأسماك) أكبر من تأثيرات المناخ لكن الضغوط من كليهما مترابطة ترابطاً قوياً.

وأشارت التقديرات الواردة في تحليل لتأثير سيناريوهات تغير المناخ على تدفق نهر الميكونغ (Hoanh وآخرون، 2004) إلى زيادة التدفقات القصوى الشهرية بنسب تتراوح بين 35 و41% في حوض النهر، وبين 16 و19% في دلتا النهر (والنسب المنخفضة خاصة بفترة السنوات 2010-2038 والنسب المرتفعة خاصة بفترات السنوات 2070-2099 مقارنة بمستويات الفترة1961-1990). وأشارت التقديرات إلى انخفاض التدفقات الشهرية الدنيا بنسب تتراوح بين 17 و24% في حوض النهر، وبنسب تتراوح بين 26 و29% في دلتا النهر. وستؤثر زيادة الفيضانات تأثيراً إيجابياً على إنتاجية مصائد الأسماك، لكن تراجع الموئل في فصل الجفاف يمكن أن يقلل حصيلة بعض الأنواع. إلا أنه يُتوقع أن يكون لعمليات التدخل المخططة لإدارة المياه، وفي المقام الأول، للسدود تأثيرات مقابلة على الهيدرولوجيا، أي تخفيض تدفقات الفصل الرطب على نحو هامشي، وزيادة تدفقات الفصل الجاف زيادة كبيرة (البنك الدولي، 2004b).

وتشير النماذج إلى أنه حتى ارتفاع متواضع في مستوى سطح البحر يبلغ 20 سنتيمتراً سيسبب تغلغل خطوط كفاف مستويات المياه في دلتا نهر الميكونغ لمسافة 25 كيلومتراً نحو الداخل أثناء موسم الفيضان، وزيادة انتقال المياه المالحة نحو أعلى مجرى النهر (وإن كانت تنحصر في قنوات) أثناء فصل الجفاف (Wassmann وآخرون، 2004). ومن شأن انتقال المياه المالحة إلى الداخل أن يغير تشكيل الأنواع الكائنة في مصائد الأسماك تغييراً هاماً لكنه قد لا يضر بالإنتاجية الإجمالية لمصائد الأسماك.

وقد أشارت دراسة استقصائية للبيانات التجريبية على نطاق العالم إلى أن حدوث احترار معتدل يزيد إنتاجية الأرض المعشوشبة الخاصة بالمراعي، وتتحقق أقوى استجابات إيجابية في خطوط العرض العليا، وترتبط إنتاجية وتكوين أنواع النباتات في المراعي ارتباطاً كبيراً بهطول المطر. إضافة إلى ذلك، فإن النتائج الأخيرة الحديثة (انظر الشكل 4.1)، أسقطت انخفاضات في كميات الأمطار الهاطلة في بعض مناطق الأراضي العشبية، ومناطق المراعي الرئيسية (على سبيل المثال في أمريكا الجنوبية، والجنوب والشمال الإفريقي، وغربي آسيا، وأستراليا وجنوبي أوروبا). [WGII 5.4.3.2]

وتستطيع زيادة تركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي أن تحدّ من نضوب مياه التربة في مختلف الأراضي العشبية المحلية وشبه المحلية المعتدلة الحرارة وفي منطقة البحر الأبيض المتوسط. ومع ذلك، يمكن لزيادة التقلبية في هطول الأمطار وارتفاع درجات الحرارة أن تؤدي بالتزامن مع تغير المناخ، إلى الحد بصورة أشد قسوة من رطوبة التربة، ومن ثم خفض الإنتاجية، بما يقابل الآثار المفيدة لثاني أكسيد الكربون. وتحدث آثار أخرى على الماشية بشكل مباشر من خلال الزيادة في الحمل الحراري. [WGII 5.4.3.2]

4.2.3.3 مصائد الأسماك

تشمل الآثار السيئة لتغير المناخ على تربية الأحياء المائية ومصايد الأسماك في المياه العذبة ما يلي: الإجهاد بسبب زيادة درجة الحرارة والطلب على الأوكسيجين وانخفاض درجة الحموضة؛ وعدم اليقين من نوعية وحجم المياه في المستقبل؛ وظواهر الطقس المتطرفة؛ وزيادة تواتر الأمراض والظواهر السمّية؛ وارتفاع مستوى سطح البحر، ونشوء نزاعات على المصالح مع احتياجات الحماية والتحصينات الساحلية؛ وعدم اليقين من الإمدادات المستقبلية من دقيق (مسحوق) السمك والزيوت من حصائل مصائد الأسماك الصناعية الصغيرة الحجم/ الحرفية والترويحية. وترد في الإطار 4.1 للفريق العامل الثاني [WGII 5.4.6.1] دراسة حالة عن حالات الإجهاد المتعددة التي يمكن أن تؤثر على مصائد الأسماك في البلدان النامية.

وتشمل التأثيرات الإيجابية، زيادة معدلات النمو، وكفاءة عمليات تحويل الأغذية؛ والزيادة المتطاولة الأمد لفصل النمو؛ وتوسيع النطاق؛ واستخدام مناطق جديدة بسبب تناقص الغطاء الجليدي. [WGII 5.4.6.1]

4.2.4 التكيف وسرعة التأثر والتنمية المستدامة

تمثل إدارة المياه مكوناً بالغ الأهمية يتعين أن يتكيف مع الضغوط المناخية والضغوط الاجتماعية – الاقتصادية على السواء في العقود المقبلة. وستسبب التغيرات في استخدام المياه، تأثيرات مشتركة تتمثل في: التغيرات في توافر المياه وفي الطلب على الماء من أجل الأراضي، ومن القطاعات المنافسة الأخرى، بما في ذلك القطاع الحضري، والتغيرات في إدارة المياه.

ويمكن للممارسات التي تزيد إنتاجية استخدام مياه الري - المحددة على أنها الإنتاج المحصولي لكل وحدة استخدام للمياه – أن تتيح إمكانيات هامة للتكيف لجميع نظم الإنتاج من الأراضي في ظل التغير المناخي في المستقبل. وفي الوقت ذاته، تعتبر عمليات التحسين في كفاءة الري بالغة الأهمية لضمان إتاحة المياه سواء لإنتاج الغذاء أو لتلبية الاحتياجات البشرية والبيئية المتنافسة [WGII 3.5.1]

وتشير عدة دراسات محاكاة إلى إمكانية الحصول على منافع نسبية من التكيف في قطاع الأراضي في ظروف الاحترار المنخفض إلى المعتدل، وإن كانت عدة إستراتيجيات للاستجابة يمكن أن تمارس ضغطاً إضافياً على المياه والموارد البيئية الأخرى مع تزايد الاحترار. وتعرّف إجراءات التكيف الذاتي بأنها استجابات ينفذها آحاد المزارعين، أو المجتمعات المحلية الريفية و/أو منظمات المزارعين رهناً بتغير المناخ المتوقع أو الحقيقي في العقود المقبلة، وبدون تدخل و/ أو تنسيق من جانب حكومات الأقاليم والحكومات الوطنية والاتفاقات الدولية. وتحقيقاً لهذه الغاية، فإن سوء التكيف أي الضغط لزراعة أراضي حدية أو اعتماد ممارسات للزراعة لا تتوافر لها مقومات الاستمرار مع انخفاض العائدات يمكن أن يزيد تدهور الأراضي ويعرّض التنوع البيئي للخطر سواء بالنسبة للأنواع البرية أو الأليفة، ويمكن أن يعرّض للخطر القدرة المستقبلية على التصدي لمخاطر المناخ المتزايدة في فترة متأخرة من القرن. ولذلك سيلزم تحقيق تكيف مخطط بما ذلك إجراء تغييرات في السياسات العامة والمؤسسات والبنى الأساسية المخصصة من أجل تسهيل وتعظيم المنافع الطويلة الأجل الناجمة عن استجابات التكيف مع تغير المناخ. [WGII 5.5]

4.2.4.1 التكيف الذاتي

تتمثل الخيارات المتاحة للتكيف الذاتي إلى حد كبير في عمليات تمديد أو تكثيف إدارة المخاطر القائمة وأنشطة تعزيز الإنتاج، وهي لذلك متاحة بالفعل للمزارعين والمجتمعات المحلية. وتشمل هذه الخيارات فيما يتعلق بالمياه:

- اعتماد نوعيات مختلفة/أنواع ذات مقاومة أكبر لصدمات الحرارة والجفاف؛
- تعديل تقنيات الري بما في ذلك كمية المياه والتوقيت أو التكنولوجيا؛

الإطار 4.2: إستراتيجيات التغلب على المشكلات الرعوية في شمال كينيا وجنوب إثيوبيا. [الإطار WGII 5.5]

تطور النظام الرعوي الأفريقي من خلال التكيف مع البيئات القاسية التي تتسم بتقلبية مكانية وزمنية عالية جداً فيما يتعلق بهطول الأمطار (Ellus، 1995). وركزت عدة دراسات مؤخرا (Ndikumana وآخرون، 2000؛ Hendy وMorton، 2001؛ وOba، 2001؛ وMcPeak وBarrett، 2001؛ وMorton، 2006) على إستراتيجيات التصدي التي استخدمها الرعاة أثناء فترات الجفاف الأخيرة في شمال كينيا وجنوب إثيوبيا، وعمليات التكيف الأطول أجلاً التي تستند إليها.

- يظل التنقل هو أهم تكيف رعوي مع التغيرات المكانية والزمنية فيما يتعلق بهطول المطر، كذلك لجأت مجتمعات محلية كثيرة في سنوات الجفاف إلى الاستفادة من مناطق الرعي التي لا تستخدم في فصول الجفاف «العادية» بسبب بُعد المسافة، والقيود المتعلقة بحيازة الأراضي، والمشاكل الناجمة عن إصابة الحيوانات بالأمراض أو عن النزاعات. إلا أن التعدي على أراضي الرعي المشاعية والإنفراد بمساحات منها، والرغبة في الاستقرار من أجل الحصول على خدمات إنسانية ومعونة غذائية قد قيَّد بصورة قاسية عمليات الانتقال من أجل الرعي.
- وينفذ الرعاة عملية «تجميع للقطعان» وتشير معظم الأدلة حالياً إلى أن هذه العملية تمثل شكلاً رشيداً للتأمين ضد الجفاف.
- أن نسبة صغيرة من الرعاة تحتفظ حالياً ببعض ثروتها في حسابات مصرفية، ويستخدم آخرون آليات إدخار وائتمان غير نظامية من خلال أصحاب المتاجر.
- كما يستخدم الرعاة أغذية إضافية للمواشي، تُسحب أو تقطع من الأشجار باعتبارها إستراتيجية تصدي؛ وهم يكثفون إدارة مكافحة أمراض الحيوانات من خلال تقنيات محلية وعلمية؛ ويدفعون المال من أجل الحصول على المياه من الآبار المحفورة التي تعمل بالطاقة الكهربائية.
- يتخذ تنوع سبل المعيشة بعيداً عن الرعي في هذه المنطقة أساساً شكل عمليات تحول إلى وظائف منخفضة الدخل أو لا تتوافر لها مقومات الاستمرار بيئياً من مثل إنتاج الفحم النباتي بدلاً من تنفيذ إستراتيجية تكيف للحد من سرعة التأثر المسبّقة.
- إن عدداً من الآليات داخل المجتمعات المحلية توزع سواء منتجات المواشي، أو الاستفادة من الحيوانات الحية على المعوزين، لكن يبدو أن هذه الآليات آخذة في الإخفاق بسبب المستويات العالية للمخاطر الناجمة عن التغيرات داخل المجتمعات المحلية.

- اعتماد تكنولوجيات تتوافر فيها الكفاءة بشأن المياه «من أجل جمع» المياه، والمحافظة على رطوبة التربة (مثلاً: استبقاء بقايا المحاصيل)، والحد من التغرين وتداخل/اقتحام المياه المالحة؛
- تحسين إدارة المياه لمنع التشبع بالمياه والتحات وغسل التربة؛
- تعديل مواعيد زراعة المحاصيل، أي توقيت أو مكان الأنشطة الزراعية؛
- تنفيذ التنبؤ بالمناخ الفصلي.

ويمكن أن تشمل إستراتيجيات تكيف إضافية إجراء تغيرات في استخدام الأراضي تستفيد من الأحوال الزراعية - المناخية المعدلة. [WGII 5.5.1]

وتبين دراسات محاكاة قليلة أهمية مياه الري كتقنية تكيف للحد من تأثيرات تغير المناخ. إلا أن الإسقاطات تشير بوجه عام إلى أن أكبر منفعة نسبية من التكيف يمكن كسبها في ظروف الاحترار المنخفض إلى المعتدل، وأن ممارسات التكيف التي تشمل زيادة استخدام مياه الري يمكن في الواقع أن تشكل ضغطاً إضافياً على موارد المياه والموارد البيئية مع تزايد الاحترار والتبخر. [WGII 5.8.1]

واستكشفت أيضاً إستراتيجيات تكيف كثيرة في قطاعات الإنتاج الرئيسية الأخرى غير الزراعة المحصولية، وإن كانت بدون تركيز مباشر على مسائل الماء. وتشمل إستراتيجيات التكيف التي تؤثر مع ذلك على استخدام المياه بالنسبة لنظم تربية الماشية: تغير تناوب المراعي، وتغيير أوقات الرعي، وتغيير العلف وأنواع/ سلالات الحيوانات، وتغيير التكامل داخل النظم المختلطة للمواشي/ المحاصيل، بما في ذلك استخدام محاصيل علف ملائمة والاهتمام بتوفير إمدادات مياه كافية، واستخدام أغذية ومواد مركّزة إضافية. وتناقش إستراتيجيات التغلب على المشكلات الرعوية في الأراضي شبه القاحلة والقاحلة في كينيا و جنوب إثيوبيا في الإطار 4.2 [WGII 5.4.7]

ويمكن أن تشمل إستراتيجيات التكيف الخاصة بالحراجة إحداث تغيرات في كثافة الإدارة، وتهاجن الأنواع، وفترات التناوب، والتلاؤم اللازم مع تغير حجم الغابات ونوعيتها، وتحقيق تكيُّف نظم إدارة مكافحة الحرائق. [WGII 5.5.1]

وفيما يتعلق بالنظم الإيكولوجية البحرية، وباستثناء تربية الأحياء المائية وبعض مصائد الأسماك في المياه العذبة، فإن استغلال تجمعات الأسماك الطبيعية يحول دون ذلك النوع من تكيف الإدارة مع تغير المناخ، المقترح بالنسبة لقطاعات المحاصيل والمواشي والغابات. ولذلك فإن خيارات التكيف تتركز على تغيير كمية السمك المصطاد، والجهود المبذولة من أجله. ويتزايد تقييد نطاق التكيف الذاتي مع بدء نفاذ قوانين جديدة تنظم استغلال مصائد الأسماك والنظم الإيكولوجية البحرية. [WGII 5.5.1]

وإذا اعتُمدت على نطاق واسع إستراتيجيات التكيف في نظم الإنتاج فإنها تنطوي على إمكانيات كبيرة لتعويض التأثيرات السلبية لتغير المناخ، والاستفادة من التأثيرات الإيجابية. إلا أنه لم يجر سوى تقييم ضئيل للكيفية التي يمكن بها لعمليات التكيف هذه أن تكون فعالة، وأن تُعتمَد على نطاق واسع، نظراً للطبيعة المعقدة لصنع القرارات؛ وتنوع الاستجابات عبر المناطق؛ والتباطؤ الزمني في التنفيذ؛ وما يمكن أن يكون هناك من حواجز اقتصادية ومؤسسية وثقافية أمام إحداث التغيير.

وعلى سبيل المثال، تعتبر القدرة على التكيف التي يمكن تحقيقها للمجتمعات المحلية الفقيرة التي تعيش على الكفاف من الزراعة/الرعي، منخفضة جداً بوجه عام. وبالمثل، يمارس على مناطق واسعة من الغابات حد أدنى من الإدارة البشرية المباشرة يحد من فرص التكيف. وحتى في الغابات المدارة بطريقة أكثر كثافة حيث تكون أنشطة التكيف أكثر قابلية للتحقيق، فإن طول الفترات الزمنية الفاصلة بين الزرع والحصاد يمكن أن يعقّد اعتماد إستراتيجيات تكيف فعالة. [WGII 5.1.1]

4.2.4.2 التكيف المخطط

ينبغي للحلول القائمة على التكيف المخطط أن تركز على وضع بنى أساسية وسياسات عامة ومؤسسات جديدة تدعّم وتسهّل وتنسق وتعظم منافع الإدارة الجديدة وترتيبات استخدام الأراضي. ويمكن تحقيق ذلك بوجه عام من خلال تحسين الإدارة الرشيدة، بما في ذلك تناول مسألة تغير المناخ في إطار البرامج الإنمائية؛ وزيادة الاستثمار في البنية الأساسية للري والتكنولوجيات التي تتسم بالكفاءة فيما يتعلق باستخدام المياه؛ وضمان نشوء بنية أساسية ملائمة للنقل والتخزين؛ ومراجعة ترتيبات حيازة الأراضي (بما في ذلك الاهتمام بالتحديد الجيد لحقوق الملكية)؛ وإنشاء أسواق للمنتجات والمدخلات (بما في ذلك نظم تسعير الماء) والخدمات المالية (بما في ذلك التأمين) يمكن الوصول إليها وتعمل على نحو تتوافر فيه الكفاءة. [WGII 5.5]

وقد يكون التكيف المخطط وتنسيق السياسات العامة عبر مؤسسات متعددة أمراً ضرورياً لتسهيل التكيف مع تغير المناخ، بوجه خاص عندما يمارس انخفاض المحاصيل ضغطاً على زراعة الأراضي الحدية أو يؤدي إلى اعتماد ممارسات زراعية لا تتوافر لها مقومات الاستمرار وتزيد من تدهور الأراضي واستخدام الموارد بما في ذلك المياه، على السواء. [WGII 5.4.7]

ويبين عدد من تقييمات التكيف على النطاق العالمي أو الوطني أو على نطاق أحواض الأنهار أن أحواض الأنهار شبه القاحلة والقاحلة تكون هي بوجه عام أشد الأحواض تأثراً فيما يتعلق بالإجهاد المائي. وإذا تناقص هطول الأمطار فإن الطلب على مياه الري يجعل من المستحيل تلبية جميع الطلبات الأخرى. وتبين التغيرات المسقطة بشأن السريان الانسيابي لأحواض أنهار ساكرامنتو – جواكين وكولورادو أنه لا يمكن تلبية مستوى الطلب الحالي على المياه بحلول عام 2020، حتى مع تنفيذ ممارسات إدارة متكيفة. ومن شأن زيادة استخدام الري أن يخفض كلا الجريان وتدفق التيار في اتجاه المصب (Eheart وTornil، 1999). [WGII 3.5.1]

وتشكل السياسات الرامية إلى مكافأة التحسينات في كفاءة الري من خلال آليات السوق أو زيادة التنظيم وتحسين الإدارة الرشيدة على السواء أدوات هامة لتعزيز القدرة على التكيف على النطاق الإقليمي. ويمكن أن تكون العواقب غير المقصودة لذلك هي زيادة الاستخدام الاستهلاكي للمياه في اتجاه أعلى المجرى مما ينتج عنه حرمان المستعملين في اتجاه أسفل المجرى من المياه التي كانت لولا ذلك ستعاود الدخول في المجرى كتدفق عائد (Huffaker، 2005). [WGII 3.5.1]

وبالإضافة إلى التقنيات المتاحة بالفعل حالياً للمزارعين ومديري الأراضي ، يتعين إتاحة خيارات تقنية جديدة من خلال تخصيص الجهود في مجال البحث والتطوير، وتخطيطها وتنفيذها حالياً بغية زيادة القدرة الإجمالية على الاستجابة لتغير المناخ في العقود المقبلة. وتشمل الخيارات التكنولوجية من أجل تعزيز البحث والتطوير، الإنسال التقليدي والتكنولوجيا الأحيائية من أجل تحسين مقاومة المحاصيل والعلف والمواشي والغابات وأنواع مصائد الأسماك لصنوف الإجهاد المناخية من مثل نوبات الجفاف والفيضانات (الإطار 4.3).

الإطار 4.3: هل ستساعد التكنولوجيا الأحيائية التكيف الزراعي وتكيف الغابات؟ [WGIII الإطار 5.6]

يمكن أن تساعد التكنولوجيا الأحيائية وسبل الإنسال التقليدية في استحداث أنواع مستنبتة أو مخلّقة جديدة ذات سمات معززة وأنسب للتكيف مع ظروف تغير المناخ. وتشمل هذه السمات مقاومة الإجهاد الناجم عن الجفاف ودرجات الحرارة؛ ومقاومة الآفات والأمراض، والملوحة والتشبع بالمياه. وتشمل الفرص الإضافية لاستحداث أنواع مستنبتة جديدة إحداث تغيرات في الفينولوجيا (علم علاقة الكائنات الحية بالطقس) أو الاستجابات المعززة لمستويات ثاني أكسيد الكربون المرتفعة. وفيما يتعلق بالمياه، وثّق عدد من الدراسات، التعديلات الجينية المدخلة على أنواع محاصيل رئيسية (مثل الذرة وفول الصويا) التي زادت من التفاوت المسموح به في نقص المياه (حسبما استعرضه Drennen وآخرون، 1993؛ وKishor وآخرون، 1995؛ وPilon-Smits وآخرون، 1995؛ وCheikh وآخرون، 2000)، وإن كان ذلك قد لا يشمل الطائفة الأوسع من النباتات المحصولية. ولا يُعرف حالياً إلا القليل بوجه عام، عن الكيفية التي تعمل بها السمات المرغوبة المتحققة نتيجة لإجراء التعديل الجيني في التطبيقات الواقعية للزراعة والحراجة (Sinclair وPurcell، 2005).

4.2.4.3 الأمن الغذائي وسرعة التأثر

يحتمل أن تتأثر بتغير المناخ جميع الأبعاد الأربعة للأمن الغذائي: وهي تيسر الأغذية (الإنتاج والتجارة)، والحصول على الغذاء، واستقرار الإمدادات الغذائية، واستخدام الأغذية (العمليات الفعلية المنفذة فيما يتعلق بإعداد الأغذية واستهلاكها). والأمر الهام هو أن الأمن الغذائي لن يتوقف فقط على التأثيرات المناخية والاجتماعية – الاقتصادية على إنتاج الغذاء، وإنما سيتوقف أيضاً (وبصورة حاسمة كذلك) على التغيرات في التدفقات التجارية والمخزونات والسياسة العامة المتعلقة بالمعونات الغذائية. وبوجه خاص، ستنجم عن تغير المناخ تأثيرات مختلطة ومتنوعة جغرافياً بالنسبة لإنتاج الغذاء، وبالتالي بالنسبة للحصول على الغذاء. وقد تكون البلدان المدارية النامية سريعة التأثر بوجه خاص بتغير المناخ إذ يفتقر كثير منها إلى الموارد من الأراضي والمياه، ويواجه بالفعل عدم أمن غذائي خطير. [WGII 5.6.5]

وستؤثر التغيرات في تواتر وشدة نوبات الجفاف والفيضانات على استقرار الإمدادات الغذائية البالغة الأهمية وعلى الوصول إليها. ويمكن لنقص هطول الأمطار أن يقلل بصورة هائلة من إنتاجية المحاصيل وأعداد رؤوس الماشية، على السواء في المناطق المدارية شبه القاحلة. وسيزداد تفاقم انعدام الأمن الغذائي، وفقدان سبل المعيشة بفعل فقدان الأراضي المزروعة، ومواقع تفريخ الأسماك الساحلية نتيجة للغمر والإغراق والتحات الساحلي في مناطق الأراضي المنخفضة. [WGII 5.6.5]

ويمكن أن يؤثر تغير المناخ أيضاً على استخدام الأغذية من خلال التأثيرات التي تحدث على الموارد البيئية الأمر الذي تترتب عليه عواقب صحية إضافية هامة. [WGII الفصل 8]. وعلى سبيل المثال، تنجم عن نقص توافر الماء في المناطق الشحيحة المياه بالفعل، خصوصاً في المناطق شبه المدارية، آثار سلبية مباشرة بالنسبة لتجهيز الأغذية واستهلاكها على السواء. وعلى العكس من ذلك، يمكن لزيادة مخاطر الفيضان في المستوطنات البشرية في المناطق الساحلية من جراء ارتفاع مستويات سطح البحر وزيادة الهطول الغزير للأمطار على السواء، أن تزيد تلوث الأغذية وانتشار الأمراض وتخفيض أنماط الاستهلاك. [WGII 5.6.5]

4.2.4.4 المسائل المتعلقة بجودة المياه

تتسم النوعية الميكروبيولوجية للمياه في البلدان النامية برداءتها بسبب نقص المرافق الصحية والافتقار إلى أساليب المعالجة السليمة للمياه وتردي الظروف الصحية (Lipp وآخرون، 2001؛ وJiménez، 2003؛ Maya وآخرون، 2003؛ منظمة الصحة العالمية، 2004). ويمكن أن يفرض تغير المناخ إجهاداً إضافياً على جودة المياه وخصوصاً في البلدان النامية (Magaza، 2000؛ Kashyap، 2004؛ Dachauri، 2004) وحتى الآن، لا توجد دراسات تتعلق بالبلدان النامية وتركز على دورات عمر الكائنات الحية المجهرية في إطار تغير المناخ، بما في ذلك التركيز الذي تمس الحاجة إليه كثيراً على آثار استعمال المياه المستعملة المعالجة معالجة سيئة في الري، وارتباط ذلك بالتفشي المزمن لداء الديدان الطفيلية (منظمة الصحة العالمية/اليونيسيف، 2000). [WGII 3.4.4]

ويستهلك نحو 10% من سكان العالم محاصيل مروية بمياه مستعملة غير معالجة أو معالجة معالجة سيئة، ومعظم هؤلاء السكان في البلدان النامية في أفريقيا وآسيا وأمريكا اللاتينية. ويُتوقع أن يزداد هذا الرقم مع زيادة السكان والطلب على الغذاء. [WGII 8.2.5] ولذلك تشكل زيادة استخدام المياه المستعملة المعالجة معالجة سليمة في الري إستراتيجية لازمة لمكافحة شح المياه وبعض المشاكل الصحية المرتبطة به. [WGII 3.4.4]

4.2.4.5 المجتمعات المحلية الريفية، والتنمية المستدامة والمنازعات على الماء

من المسلم به أن التعاون العابر للحدود بشأن المياه يشكل سياسة فعالة وأداة إدارية ترمي إلى تحسين إدارة المياه عبر مناطق واسعة تتقاسم موارد مشتركة. وسيمثل تغير المناخ والطلب المتزايد على المياه في العقود المقبلة تحدياً إضافياً لهذه الاتفاقات الإطارية مما يزيد من إمكانيات نشوء منازعات على المستوى المحلي. وعلى سبيل المثال، يمكن أن تؤدي التدابير أحادية الجانب للتكيف مع نقص المياه بسبب تغير المناخ إلى زيادة المنافسة على موارد المياه. وبالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تؤدي التغيرات في إنتاجية الأراضي إلى مجموعة من النظم الزراعية الجديدة أو المعدلة الضرورية للمحافظة على الإنتاج بما في ذلك ممارسات التكثيف الزراعي. ومن الممكن أن يؤدي هذا التكثيف

بدوره إلى ضغوط بيئية إضافية ينجم عنها فقدان الموئل، والحد من التنوع الأحيائي والتغرين وتحات التربة وتدهورها. [WGII 5.7]

ويمكن أيضاً توقع حدوث تأثيرات على التجارة والتنمية الاقتصادية والتطور البيئي واستخدام الأراضي من التدابير المنفذة من أجل الاستعاضة عن أنواع الوقود الأحفوري بأنواع الوقود الأحيائي من مثل التدابير المنفذة في إطار خطة العمل الأوروبية بشأن الكتلة الأحيائية. ويثير إنتاج الوقود الأحيائي على نطاق واسع أسئلة تتعلق بعدة مسائل تشمل الاحتياجات من الأسمدة ومبيدات الآفات، ودورة المغذيات، وتوازن الطاقة، وتأثيرات التنوع الأحيائي، والهيدرولوجيا والتحات، والنزاعات الناشئة عن إنتاج الأغذية، ومستوى الإعانات المالية اللازمة. والواقع، أن التحديات الناشئة في العقود المقبلة تشمل إيجاد التوازن فيما يتعلق بالمنافسة على الأراضي والمواد الخام الأولية من أجل قطاعات الأغذية والحراجة والطاقة، مثل استنباط حلول تضمن الحقوق في الغذاء والتنمية المحلية الريفية، وفي الوقت نفسه تعظم الطاقة إلى أقصى حد، والاحتياجات المتعلقة بتخفيف آثار المناخ. [lulucf 4.5.1]

وفي أمريكا الشمالية، يمكن أن يزداد الجفاف في المناطق الداخلية من القارة، ويمكن أن تتحول مناطق الإنتاج نحو الشمال (Mills، 1994)، خصوصاً بالنسبة للذرة وفول الصويا (Brklacich وآخرون، 1997). [WGII TAR 15.2.3.1]. وفي المكسيك، تشكل نوبات الجفاف السبب الأساسي للخسائر في الإنتاج نظراً لتناقص المناطق الزراعية – الإيكولوجية المناسبة لزراعة الذرة (Conde وآخرون، 1997). [WGII TAR 14.2.2.1] ويشكل الجفاف مسألة هامة في جميع أنحاء أستراليا وذلك لأسباب اجتماعية وسياسية وجغرافية وبيئية. ومن شأن حدوث تغير في المناخ نحو ظروف أكثر جفافاً نتيجة لانخفاض معدل هطول الأمطار وزيادة التبخر في إطار المخططات الحالية للسياسة الأسترالية تجاه الجفاف إلى إصدار إعلانات عن نوبات جفاف أكثر تواتراً أو أطول أمداً. [12.5.6 تقرير التقييم الثالث WGII TAR]

وتشكل موارد المياه موطن ضعف رئيسي في أفريقيا بالنسبة للأسر المعيشية والاستخدامات الزراعية والصناعية. وفي أحواض الأنهار المشتركة، تلزم بروتوكولات للتعاون الإقليمي من أجل التقليل إلى أدنى حد من التأثيرات المعاكسة ومن إمكانيات نشوء نزاعات، على حد سواء. فمثلاً، تتنوع مساحة منطقة بحيرة تشاد من 20000 كيلومتر مربع أثناء فصل الجفاف إلى 50000 كيلومتر مربع أثناء فصل الأمطار، ولئن كانت الحدود قد رُسمت بشكل دقيق بين تشاد ونيجيريا والكاميرون والنيجر، فإن القطاعات من هذه الحدود الكائنة في أحواض الأنهار التي تصرّف مياهها في بحيرة تشاد لم تحدد على الإطلاق، وتنشأ تعقيدات إضافية نتيجة للفيضانات وانحسار الماء، على حد سواء. وأدت مشاكل مماثلة في نهر كوفانغو بين بوتسوانا وناميبيا إلى مواجهة عسكرية. [WGII TAR 10.2.1.2]

وإن تزايد ندرة المياه، وتزايد السكان، وتدهور النظم الإيكولوجية للماء العذب المشترك، والطلبات المتنافسة على الموارد الطبيعية الشحيحة الموزعة على مساحات ضخمة تشمل بلداناً كثيرة جداً، تنطوي جميعاً على احتمالات التسبب في نشوء منازعات ثنائية ومتعددة الأطراف. وفي أفريقيا شبه القاحلة، يمثل الرعي النشاط الاقتصادي الرئيسي وتشمل المجتمعات المحلية الرعوية المهاجرين عبر الحدود الوطنية بحثاً عن مراعي موسمية جديدة. وفي نوبات الجفاف، يمكن أن تنشأ نزاعات بين هؤلاء الرعاة والمزارعين العاملين في النظم الزراعية المستقرة. [WGII TAR 10.2.1.2]

وتهيمن آسيا على تربية الأحياء المائية في العالم، بينما تنتج الصين وحدها نحو 70 في المائة من جميع الأسماك والجمبري والقشريات المنتجة في مزارع تفريخ الأسماك (منظمة الأمم المتحدة للأغذية والزراعة FAO، 2006). ويمثل السمك الذي يعتبر مصدراً هاماً للبروتين الغذائي مورداً بالغ الأهمية لتحقيق الأمن الغذائي في بلدان كثيرة في آسيا وخصوصاً في المجتمعات المحلية الفقيرة في المناطق الساحلية. وتتطلب تربية الأسماك توافر أراض ومياه، وهما موردان ينقصان بالفعل في بلدان كثيرة في آسيا. وقد أدى تحويل المياه إلى البرك الخاصة بتربية الجمبري إلى خفض مستويات المياه الجوفية بصورة ملحوظة في مناطق تايلند الساحلية. [WGII TAR 11.2.4.4]

ويوجد في آسيا 14 مستجمعاً لمياه الأمطار التي تغذي الأنهار. وتمثل إدارة هذه المستجمعات تحدياً في البلدان ذات الكثافة السكانية العالية والمسؤولة غالباً عن استخدام حتى أكثر المناطق هشاشة وعدم ملاءمة، الكائنة في هذه المستجمعات في أغراض الزراعة والأنشطة السكنية وغيرها من الأنشطة الكثيفة. ونتيجة لذلك، وفي بلدان كثيرة، وخصوصاً في بنغلاديش ونيبال والفلبين وإندونيسيا وفييت نام تعاني مستجمعات مياه كثيرة معاناة شديدة من إزالة الأحراج والتحويل اللاتمييزي للأراضي، والتحات المفرط للتربة، وانخفاض إنتاجية الأراضي. ونظراً لعدم وجود إستراتيجيات تكيف ملائمة، تتسم مستجمعات المياه هذه بالضعف الشديد إزاء تغير المناخ. [WGII TAR 11.2.3.2]

4.2.4.6 التخفيف

يمكن للاستجابات الخاصة بالتكيف والأعمال المتعلقة بتخفيف آثار تغير المناخ أن تحدث على نحو متزامن للقطاع الزراعي وقطاع الحراجة؛ وتتوقف فعاليتها على أنماط تغير المناخ المتحققة في عقود مقبلة. وغالباً ما ستشمل التفاعلات المرتبطة بهذه العوامل (تغير المناخ، التكيف، وتخفيف الآثار) موارد المياه. [WGII 8.5، الجدول 8.9]

ويمكن لإستراتيجيات التكيف وتخفيف الآثار إما أن تُظهر أوجه تآزر حيث تعزز إجراءات كل منها بعضها بعضاً، وإما أن تأتي كل منها للأخرى بعكس النتيجة المرجوة منها. وفيما يتعلق بالمياه، فإن الأمثلة على إستراتيجيات التكيف التي تحد من خيارات التخفيف، تشمل بصورة واسعة الري فيما يتعلق بتكاليف الطاقة اللازمة لتوفير إمدادات المياه، والانبعاثات الإضافية لغاز الدفيئة التي يمكن أن ترتبط بممارسات زراعية معدلة. إلا أن استخدام وسائل الطاقة المتجددة لاستخراج المياه وتوفيرها يمكن مع ذلك أن يستبعد حدوث هذا التنازع. وبالمثل، يمكن أن تكون لبعض إستراتيجيات التخفيف عواقب سلبية على التكيف من مثل زيادة الاعتماد على محاصيل إنتاج الطاقة التي يمكن أن تتنافس على موارد المياه، وتحد من التنوع الأحيائي، وتزيد بالتالي من سرعة التأثر بالأحوال المناخية المتطرفة. [WGII 12.1.4, 12.1.4]

ومن ناحية أخرى، فإن كثيراً من ممارسات تنحية أيونات الكربون تشمل الحد من حراثة الأرض، وزيادة محاصيل التغطية (التي تدعى أيضاً السماد العضوي الأخضر (green manure) وتنفيذ نظم تناوب محسنة، تشكل من الناحية الجوهرية – كما أنها نشأت في الواقع أصلاً باعتبارها – «ممارسة جيدة» للحراجة الزراعية تؤدي إلى نظم للإنتاج أكثر مرونة إزاء تقلبية المناخ، وتوفر بالتالي تكيفاً جيداً إزاء الضغوط المتزايدة على موارد المياه والتربة (Rosenzweig and Tubiello، 2007). [WGII 5.4.2; WGIII 8.5]

4.3 الصحة البشرية

4.3.1 السياق

تعتمد الصحة البشرية التي تشمل الرفاه المادي والاجتماعي والنفسي على التزود الكافي بمياه الشرب النقية وتوافر بيئة مأمونة. ويتعرض البشر لتغير المناخ مباشرة من خلال أنماط الطقس (ظواهر الطقس المتطرفة الأكثر شدة وتواترا)، ويتعرضون لتغير المناخ بشكل غير مباشر من خلال التغيرات في جودة وكمية الماء والهواء والغذاء، والنظم الإيكولوجية، والزراعة، وسبل المعيشة، والبنى الأساسية. [WGII 8.1.1] وبسبب إمكانية تأثر عدد كبير جداً من الناس، قد يكون سوء التغذية وندرة المياه هما أهم العواقب الصحية لتغير المناخ (انظر الفرعين 4.2 و4.4). [WGII 8.4.2.3]

لقد تحسنت صحة السكان تحسناً مشهوداً على مدى الخمسين عاماً الأخيرة لكن لاتزال هناك صنوف انعدام مساواة أساسية فيما يتعلق بالأحوال الصحية داخل البلدان وفيما بينها. ومن غير المحتمل أن يتسنى التوصل في بعض البلدان النامية إلى تحقيق الهدف الإنمائي للألفية (MDG) المتمثل في الحد من وفيات الأطفال الذين تقل أعمارهم عن خمس سنوات بنسبة الثلثين بحلول عام 2015. ويؤدي سوء الحالة الصحية إلى زيادة سرعة التأثر بتغير المناخ، ويحد من قدرة الأفراد والجماعات على التكيف مع هذا التغير. والسكان الذين ترتفع معدلات إصاباتهم بالأمراض والعجز هم أقل السكان نجاحاً في التصدي لجميع أنواع الإجهاد بما في ذلك تلك المتعلقة بتغير المناخ. [WGII 8.1.1]

وتشير التقديرات الحالية لبرنامج المراقبة المشترك بين منظمة الصحة العالمية (WHO) واليونيسيف إلى أن 1.1 بليون نسمة (أي 17% من سكان العالم) يفتقرون إلى سبل الوصول إلى موارد المياه حيث يعرّف هذا الوصول بأنه إتاحة 20 لتراً على الأقل من الماء لكل شخص يومياً من مصدر محسّن للماء ضمن مسافة كيلومتر واحد. والمصدر المحسّن للماء هو المصدر الذي يوفر ماءً «مأموناً» من مثل توصيلات الأنابيب التي تحمل المياه إلى الأسرة المعيشية أو الآبار المحفورة. وقرابة ثلثي السكان الذين لا تتوافر لهم سبل الوصول إلى المياه يعيشون في آسيا. وفي أفريقيا جنوب الصحراء الكبرى، لا تتوافر لنسبة 42% من السكان سبل الوصول إلى المصادر المحسّنة للمياه. وتشير تقديرات منظمة الصحة العالمية إلى أن العبء الإجمالي للأمراض الناجم عن عدم كفاية إمدادات الماء وسوء المرافق الصحية والأحوال والعادات المفضية إلى الصحة يتمثل في 1.7 مليون حالة وفاة سنوياً. وتعد النتائج الصحية المتعلقة بإمدادات المياه والمرافق الصحية محور اهتمام رئيسي فيما يتعلق بتغير المناخ في بلدان كثيرة.

وفي المناطق سريعة التأثر، يمكن لتركز المخاطر نتيجة انعدام الأمن الغذائي والمائي على السواء أن يجعل تأثير أي ظواهر طقس متطرفة (على سبيل المثال الفيضانات والجفاف) قاسية بصورة خاصة بالنسبة إلى الأسر المعيشية المتأثرة. [WGII 9.2.2]

ويمكن للتغيرات في الأحوال المناخية المتطرفة أن تسبب تأثيرات قاسية على الصحة البشرية. ويُتوقع أن يصبح الفيضان أكثر شدة مع تغير المناخ، مما يُحدث آثاره على الصحة البشرية وتقل سرعة التأثر بالفيضانات عندما تتوافر بنية أساسية تزيل النفايات الصلبة، وتدير المياه المستعملة، وتوفر مياه الشرب النقية. [WGII 8.2.2]

وإن عدم توافر المياه اللازمة للنظافة الصحية مسؤول حالياً عن عبء كبير للأمراض على النطاق العالمي. ويمكن أن تُعزى نسبة صغيرة وغير مقاسة كمياً لهذا العبء إلى تقلبية المناخ والظواهر المناخية المتطرفة. وتنجم عن «ندرة الماء» نتائج صحية سلبية متعددة، بما في ذلك الأمراض المرتبطة بالماء الملوث بالمواد البرازية، والمواد الأخرى التي تنطوي على مخاطر (على سبيل المثال الطفيليات).

وتظل معدلات وفيات الأطفال والمراضة بسبب الإسهال في البلدان المنخفضة الدخل، وخصوصاً في البلدان الأفريقية جنوب الصحراء الكبرى عالية على الرغم من التحسينات المتحققة في مجال الرعاية الصحية واستخدام العلاج بالإماهة الفموية. ومن المتوقع أن يزيد تغير المناخ من ندرة المياه، لكن من الصعب تقييم ماذا يعني ذلك على مستوى الأسر المعيشية فيما يتعلق بإتاحة المياه وبالتالي بالنسبة إلى الصحة وتنفيذ مبادئ الصحة والنظافة. وهناك نقص في المعلومات التي تربط بين النمذجة الواسعة النطاق لتغير المناخ والتأثيرات الصغيرة النطاق على مستوى السكان أو الأسرة المعيشية. وبالإضافة إلى ذلك، يتعين بالنسبة لأي تقييمات للتأثيرات الصحية المستقبلية بسبب التغيرات في توافر المياه أن تأخذ في اعتبارها التحسينات التي تتحقق في المستقبل فيما يتعلق بالحصول على الماء «المأمون». [WGII 8.2.5, 8.4.2.2]

4.3.1.1 الآثار المترتبة بالنسبة لجودة مياه الشرب

تتسم العلاقة بين هطول الأمطار وتدفقات الأنهار وتلوث إمدادات المياه بتعقيدها الشديد حسبما يناقش أدناه سواء بالنسبة لإمدادات المياه بالأنابيب أو فيما يتعلق بالاتصال المباشر بالمياه السطحية. وإذا انخفضت تدفقات الأنهار نتيجة لنقص هطول الأمطار، فإن قدرة هذه الأنهار على تخفيف النفايات السائلة تقل أيضاً – مما يؤدي إلى زيادة العوامل المسببة للأمراض أو التحميل الكيميائي. ويمكن أن يمثل ذلك زيادة في تعرض البشر للإصابة أو يسبب في الأماكن التي توفر فيها إمدادات الماء بالأنابيب زيادة التحديات التي تواجه مرافق معالجة المياه. وأثناء الصيف الذي اتسم بالجفاف في عام 2003، أدى انخفاض التدفقات في هولندا إلى تغيرات ظاهرة في جودة المياه (Senhorst and Zwolsman، 2005). وارتبطت الموسمية الملحوظة لتفشي الكوليرا في منطقة الأمازون بانخفاض تدفق النهر في الفصل الجاف (Gerolmo and Penna، 1999)، ربما بسبب التركزات العالية في البرك للعوامل المسببة للأمراض. [WGII 8.2.5]

وتعتبر إدارة مياه الصرف والمياه الناجمة عن العواصف هامة في المجتمعات المحلية الحضرية المنخفضة الدخل لأن الصرف المعوّق

يمكن أن يسبب فيضان المياه وزيادة سريان الأمراض التي تحملها نواقل الأمراض (Parkinson and Butler، 2005). ويمكن للمدن التي تتسم بالتدفق المفرط للمجارير أن تشهد زيادة في تلوث مياه المجاري أثناء الفيضانات. [WGII 8.2.5]

وفي البلدان المرتفعة الدخل، يمكن لظواهر هطول الأمطار وجريان المياه أن تزيد الحمل الميكروبي الإجمالي في مجاري المياه وفي مستودعات مياه الشرب، وإن كان ارتباطها بحالات الأمراض البشرية أقل تأكيداً بسبب تخفيف تركزات المواد الملوثة. ويمكن للتلوث الموسمي للمياه السطحية في أوائل الربيع في أمريكا الشمالية وأوروبا أن يفسر بعض الموسمية في حالات متفرقة للإصابة بالأمراض المنقولة بالماء من مثل داء البويغات المستخفية campylobacteriosis وداء العطائف cryptosporidiosis. وترتبط نسبة هامة من تفشيات الأمراض الملحوظة المنقولة بالماء بظواهر هطول الأمطار الغزيرة الذي يقترن غالباً بالنقص في معالجة المياه. [WGII 14.2.5, 8.2.5]

وينتج تكاثر الطحالب الضار (HABs) في المياه العذبة مواداً سمية يمكن أن تسبب أمراضاً للبشر. ويمكن أن يزداد حدوث هذا التكاثر في المياه السطحية (في الأنهار والبحيرات) بسبب ارتفاع درجات الحرارة. إلا أن الخطر الذي يتهدد صحة البشر محدود للغاية نظراً لأن الاتصال المباشر بالطحالب محدود بوجه عام. ومستوى مخاطر تلوث إمدادات الماء بتوكسينات الطحالب مستوى منخفض، بيد أن آثار ذلك على الصحة البشرية غير يقينية بعد. [WGII 8.2.4, 3.4.4]

وفي المناطق ذات البنية الأساسية الرديئة الخاصة بإمدادات المياه، يصل نقل العوامل المسببة لأمراض الأمعاء إلى الذروة أثناء الفصل الممطر. وبالإضافة إلى ذلك، ظهر أن ارتفاع درجات الحرارة يرتبط بزيادة الإصابة بأمراض الإسهال (Checkley وآخرون، 2000؛ Singh وآخرون، 2001؛ Vasilev، 2003؛ Lama وآخرون، 2004). وترتبط الأسباب الأساسية للإصابة بهذه الأمراض إلى رداءة ظروف الصحة والنظافة، وافتقار سبل الوصول إلى الماء المأمون. [WGII 8.2.5]

4.3.1.2 الكوارث، بما في ذلك عواصف الرياح والفيضانات

تضمنت الأقسام السابقة وصفاً للكيفية التي سيؤثر بها تغير المناخ على مخاطر الكوارث المتعلقة بالمياه، بما في ذلك الفيضانات المفاجئة للبحيرات الجليدية (GLOFs) وزيادة شدة عرام العواصف، والتغيرات في مخاطر الفيضانات (انظر القسم 3.2) بما في ذلك الفيضانات الخاطفة، والفيضانات في المناطق الحضرية مع حدوث بعض الانخفاض في المخاطر الناجمة عن فيضانات الربيع الناجمة عن ذوبان الثلوج. [WGII 3.4.3] وتؤثر الفيضانات تأثيراً كبيراً على الصحة البشرية من حيث عدد حالات الوفاة وأعباء الأمراض على حد سواء/ ومن حيث الإضرار بالبنية الأساسية الخاصة بالصحة. [WGII 8.2.2] ولئن كانت مخاطر الأمراض المعدية عقب حدوث الفيضانات منخفضة بوجه عام في البلدان المرتفعة الدخل، فإن السكان الذين يعانون من نقص البنى الأساسية، والأعباء العالية للأمراض المعدية، يعانون غالباً من زيادة معدلات الإصابة بأمراض الإسهال بعد أحداث الفيضانات. وثمة أدلة متزايدة على التأثير الذي تسببه الكوارث المتعلقة بالمناخ على الصحة العقلية ذلك أن الناس الذين يكابدون آثار الفيضانات يعانون من حالات القلق والاكتئاب الطويلة الأجل. [WGII 8.2.2, 16.4.5]

ويمكن أن تؤدي الفيضانات وهطول الأمطار الغزيرة إلى تلوث المياه بالمواد الكيميائية وبالمعادن الثقيلة أو بالمواد الخطيرة الأخرى إما من تخزين هذه المواد أو من المواد الكيميائية الكائنة بالفعل في البيئة (من مثل مبيدات الآفات). ومن شأن الزيادة في كثافة السكان أو في التنمية الصناعية على حد سواء في المناطق التي تتعرض للكوارث الطبيعية أن تزيد احتمال حدوث كوارث في المستقبل، واحتمالات تعرض البشر على نطاق واسع لمواد خطرة أثناء هذه الأحداث. [WGII 8.2.2].

4.3.1.3 الجفاف والأمراض المعدية

هناك ارتباط ثابت بين أمراض معدية قليلة، وهطول الأمطار لا يتصل باستهلاك مياه الشرب (من حيث الجودة أو الكمية) أو بنواقل أمراض القشريات المفصلية. فالتوزيع المكاني، وشدة، وموسمية الإصابة بالمكورة السحائية (الوبائية) لالتهاب السحايا في منطقة الساحل الأفريقية يرتبط بعوامل مناخية وبيئية، وخصوصاً بالجفاف، وإن كانت الآلية السببية للإصابة بالمرض غير مفهومة جيداً في هذا الصدد. وقد توسع التوزيع الجغرافي لالتهاب السحايا في غرب أفريقيا في السنوات الأخيرة الأمر الذي يمكن أن يُعزى إلى تغيرات بيئية تدفعها التغيرات في استخدام الأراضي وتغير المناخ الإقليمي، على حد سواء. [WGII 8.2.3.1]

4.3.1.4 العواصف الترابية

يمكن أن يؤثر التراب المثار بفعل هبوب الرياح الناشئ في المناطق الصحراوية في أفريقيا وشبه الجزيرة العربية ومنغوليا وآسيا الوسطى والصين على جودة الهواء وصحة السكان في المناطق النائية. وإذا قورن التراب بأحوال الطقس غير الترابية فإنه يمكن أن يحمل تركيزات كبيرة من الجسيمات الدقيقة التي يمكن تنفسها؛ وعناصر ضئيلة يمكن أن تؤثر على الصحة البشرية؛ مثل البوغات الفطرية؛ والبكتيريا. [WGII 8.2.6.4]

4.3.1.5 الأمراض المحمولة بالنواقل

يؤثر المناخ على التوزيع المكاني للأمراض وعلى شدة نقل وموسمية الأمراض المحمولة بالنواقل (مثل الملاريا) والأمراض التي تنشأ من قواقع مائية باعتبارها حاضناً وسيطاً للمرض (مثل البلهارسيا). [WGII 8.2.8] وأثناء فترة الجفاف، يقل نشاط البعوض، لكن إذا انخفض سريان نواقل المرض انخفاضاً كبيراً فإن عدد الأفراد الذين لا يتلقون تحصيناً يمكن أن يزداد. وفي الأجل الطويل، يتناقص حدوث الأمراض التي ينقلها البعوض من مثل الملاريا بسبب تناقص تجمعات البعوض، وإن كان يمكن للأوبئة أن تحدث عندما تتوافر ظروف مناخية مناسبة. [WGII 82.3.1]

ويتأثر توزيع البلهارسيا باعتبارها مرضاً طفيلياً يتعلق بالمياه ذا قواقع مائية تعتبر بمثابة حاضنات وسيطة، بالعوامل المناخية في بعض الأماكن، وعلى سبيل المثال، يمكن للتغير الملحوظ في توزيع الإصابة بالبلهارسيا في الصين على مدى العقد الماضي أن يعكس جزئياً اتجاه الاحترار الحديث العهد. وتبين أيضاً أن نظم الري تزيد معدل الإصابة بالبلهارسيا عندما لا تنفذ تدابير مكافحة ملائمة للمرض. [WGII 8.2.8.3]

4.3.2 ملاحظات

هناك طائفة واسعة من القوى الدافعة التي يمكن أن تؤثر على تأثيرات تغير المناخ على النتائج المتعلقة بصحة البشر وأن تعدل هذه التأثيرات. فبسبب تعقد الارتباط بين العوامل المناخية والأمراض لا يمكن في

أكثر الأحيان أن تنسب التغيرات في أنماط أمراض محددة إلى تغيرات ملحوظة في المناخ. وبالإضافة إلى ذلك، يندر توافر سلاسل بيانات صحية ذات نوعية وطول كافيين من أجل إجراء هذه الدراسات. ولا توجد دراسات منشورة عن التأثيرات على الصحة المتعلقة بالمياه تصف أنماط الأمراض التي تُعزى بقوة إلى تغير ملحوظ في المناخ. إلا أن هناك عدة تقارير بشأن استجابات تكيفية في قطاع المياه ترمي إلى الحد من تأثيرات تغير المناخ. [WGII Chapter 7]

وتناقش في فرع آخر الاتجاهات الملحوظة في الكوارث المرتبطة بالمياه (الفيضانات، وعواصف الرياح) والدور الذي يؤديه تغير المناخ. [WGII 1.3]

4.3.3 إسقاطات

يُتوقع أن تترتب على تغير المناخ مجموعة من الآثار الضارة بالسكان عندما تكون المياه والبنية الأساسية للمرافق الصحية غير كافية لتلبية الاحتياجات المحلية. وتظل مسألة الحصول على الماء المأمون قضية صحية عالمية بالغة الأهمية. فأكثر من بليوني نسمة تعيش في المناطق الجافة في العالم، ويعاني هؤلاء الناس أكثر من غيرهم من سوء التغذية ووفيات الرضّع والأمراض المرتبطة بتلوث المياه أو عدم كفايتها. وتشكل ندرة الماء عائقاً خطيراً أمام التنمية المستدامة (Rockstrom، 2003). [WGII 8.2.5, 8.4.2.2]

4.3.4 التكيف، وسرعة التأثر والتنمية المستدامة

يسهم ضعف نظم الصحة العمومية ومحدودية سبل الوصول إلى الرعاية الصحية الأولية، على حد سواء، في ارتفاع مستويات سرعة تأثر مئات الملايين من الناس، وضعف قدرتهم على التكيف. [WGII 8.6] وثمة قيود أساسية في هذا المجال في البلدان المنخفضة الدخل حيث تتوقف صحة السكان على إجراء تحسينات في قطاعات الصحة والمياه والزراعة والنقل والطاقة والإسكان. ويشكل الفقر وضعف الحكم أخطر عقبتين أمام التكيف الفعال. وعلى الرغم من النمو الاقتصادي، من المرجح أن تظل البلدان منخفضة الدخل ضعيفة في الأجل المتوسط وذات خيارات أقل مما هو متاح في البلدان المرتفعة الدخل فيما يتعلق بالتكيف مع تغير المناخ. ولذلك، إذا أريد أن تكون إستراتيجيات التكيف فعالة، فإنها ينبغي أن تصمم في سياق سياسات التنمية والبيئة والصحة القائمة في المنطقة المستهدفة. وتتسم خيارات كثيرة يمكن استخدامها للحد من سرعة التأثر في المستقبل بأنها خيارات ذات قيمة فيما يتعلق بالتكيف مع المناخ الحالي، كما يمكن استخدامها في تحقيق أهداف بيئية واجتماعية أخرى. [WGII 8.6.3]

وينبغي تقييم الآثار الضارة المحتملة بالصحة لأي إستراتيجية تكيف قبل تنفيذ هذه الإستراتيجية. فقد تبين على سبيل المثال، أن سداً بالغ الصغر وبرامج للري يتسببان في زيادة الوفيات المحلية بسبب الملاريا. [WGII 8.6.4] وللتدابير المتخذة لمكافحة ندرة المياه من مثل إعادة استعمال المياه المستعملة غير المعالجة أو المعالجة جزئياً في الري آثار أيضاً على الصحة البشرية. ويعد الري حالياً أحد العوامل المحددة الأكثر أهمية في انتشار الأمراض المعدية من مثل الملاريا والبلهارسيا (Sutherst، 2004). وتوضع مبادئ توجيهية صارمة بخصوص نوعية المياه من أجل الري بالمياه المستعملة للحيلولة دون التسبب في مخاطر على الصحة من الكائنات المسببة للأمراض، ولضمان جودة المحاصيل (Steenvoorden and Endreny، 2004). وتنقل بعض الأمراض من مثل داء الديدان الطفيلية عن طريق محاصيل استهلاكية مروية بمياه ملوثة أو بمياه مستعملة، كذلك في المناطق الريفية والمناطق شبه الحضرية لمعظم البلدان المنخفضة الدخل بشكل استعمال مياه المجاري والمياه المستعملة في الري، وهو ممارسة شائعة، مصدراً لنقل الأمراض البرازية – الفموية. وفي الوقت الحالي، يستهلك عُشر سكان العالم على الأقل محاصيل مروية بمياه مستعملة. إلا أنه من شأن تزايد ندرة الماء والطلب على الغذاء المقترنين بقلة مرافق النظافة الصحية أن يسهّل استعمال المياه ذات النوعية المنخفضة. وإذا أريد مكافحة هذه المشاكل يتعين وضع برامج لمعالجة المياه المستعملة والتخطيط لإعادة استعمال المياه المستعملة. [WGII 8.6.4, 3.4.4]

4.4 إمدادات المياه ومرافق النظافة الصحية

نوقشت بالتفصيل في الفرعين 4.2 و4.3 الآثار الملحوظة لتغير المناخ على كمية وجودة موارد المياه. ويلخص هذا الفرع النقاط الرئيسية في هذا الصدد، ويصف آثارها على إمدادات المياه وخدمات النظافة الصحية.

4.4.1 السياق

قدمت بالفعل في الفرع 4.3.1 الإحصاءات المتعلقة بالوصول إلى الماء المأمون في الفترة الراهنة. ويعتبر الوصول إلى الماء المأمون في الوقت الحالي حقاً من حقوق الإنسان على النطاق العالمي، إلا أن العالم يشهد مشاكل متزايدة فيما يتعلق بتوفير خدمات المياه، وخصوصاً في البلدان النامية. وهناك عدة أسباب لذلك لا ترتبط بالضرورة بتغير المناخ. فنقص توافر المياه، وزيادة الطلب على المياه، وعدم التكافؤ في طلبه الناجم عن زيادة السكان في المناطق كثيفة السكان، والزيادة في التوسع الحضري، وزيادة الاستخدام المكثف للمياه من أجل تحسين الرفاه العام، والتحدي المتمثل في تحسين إدارة المياه هي جميعاً متغيرات تطرح بالفعل تحدياً ضخماً فيما يتعلق بتوفير خدمات مُرضية بشأن المياه. وفي هذا السياق، يمثل تغير المناخ ببساطة عبئاً إضافياً على مرافق المياه أو على أي مؤسسات أخرى توفر خدمات المياه فيما يتعلق بتلبية احتياجات الزبائن. ومن الصعب تحديد آثار تغير المناخ على مستوى محلي، لكن الآثار الملحوظة المقترنة بإسقاطات، توفر أساساً مفيداً للتأهب للمستقبل.

4.4.2 ملاحظات

يلخص الجدول 4.1 الصلات المحتملة بين تغير المناخ والخدمات المتعلقة بالمياه.

4.4.3 الإسقاطات

يمكن أن ينجم انخفاض توافر المياه عما يلي:

أ - انخفاض التدفقات في الأحواض التي تغذيها الأنهار الجليدية الآخذة في التقلص وزيادة تطاول أمد فصول الجفاف وزيادة تواترها،

ب - نقصان هطول الأمطار في الصيف يؤدي إلى نقصان الماء المخزون في الخزانات التي تغذيها الأنهار الفصلية (du Plessis et al., 2003)،

الجدول 4.1: *الآثار المرصودة لتغير المناخ وتأثيراته المرصودة/ المحتملة على الخدمات المتعلقة بالمياه.[الفصل 3 WGII]*

الأثر المرصود	التأثيرات المرصودة/الممكنة الحدوث
زيادة في درجة حرارة الغلاف الجوي	• حدوث انخفاض في توافر المياه في الأحواض التي تغذيها الأنهار الجليدية التي تتقلص حسبما لوحظ في بعض المدن الكائنة في مناطق جبال الأنديز في أمريكا الجنوبية (Ames، 1998؛ Kaser and Osmaston، 2002)
زيادة في درجة حرارة المياه السطحية	• حدوث انخفاض في محتوى الأوكسيجين المذاب، وأنماط المزج، والقدرة الذاتية على التنقية • حدوث زيادة في تكاثر الطحالب
ارتفاع مستوى سطح البحر	• تملح مستودعات المياه الجوفية الساحلية
حدوث تغيرات في أنماط الهطول	• حدوث تغيرات في توافر المياه بسبب التغيرات في هطول المطر والظواهر الأخرى المرتبطة به (مثلاً تغذية المياه الجوفية، والتبخر – النتح)
حدوث زيادات فيما بين السنوات	• تزايد صعوبة التحكم في الفيضانات، واستخدام الخزانات أثناء موسم الفيضان
زيادة التبخر – النتح	• خفض توافر المياه • تملح موارد المياه • انخفاض مستويات المياه الجوفية
أحداث متطرفة أكثر تواتراً وشدة	• تؤثر الفيضانات على جودة المياه وسلامة بنيتها الأساسية، وتزيد التحات النهري مما يؤدي إلى تسرب أنواع مختلفة من المواد الملوِّثة إلى موارد المياه • تؤثر نوبات الجفاف على توافر المياه وجودتها

ج - تقلبية الهطول فيما بين السنوات والتغيرات الفصلية في تدفق مجاري المياه،

د - حدوث نقصان في مستويات المياه الجوفية في الداخل،

هـ - حدوث زيادة في التبخر – النتح نتيجة لارتفاع درجات حرارة الهواء مما يؤدي إلى إطالة أمد موسم النمو وزيادة استخدام مياه الري،

و - التملح (Chen وآخرون، 2004).

ووفقاً للإسقاطات، سيكون عدد الناس الذين يتهددهم خطر تزايد إجهاد المياه بين 0.4 بليون و1.7 بليون نسمة بحلول عشرينات القرن الحادي والعشرين، وبين 1.0 بليون و2.0 بليون بحلول خمسينات القرن ذاته، وبين 1.1 بليون و3.2 بليون بحلول ثمانينات القرن ذاته (Arnell، 2004)، ويعود الاختلاف في المدى إلى اختلاف سيناريوهات التقرير الخاص (SRES) التي بُحثت. [WGII 3.2, 3.5.1]

وفي بعض المناطق، سيؤدي انخفاض مستوى توافر المياه إلى إفراط استغلال المياه الجوفية بما يصحبه من تزايد تكاليف الإمداد بالمياه بالنسبة لأي استخدام نتيجة لضرورة ضخ المياه من مستويات أكثر عمقاً وبعداً. وبالإضافة إلى ذلك، يمكن أن يؤدي الإفراط في استغلال المياه الجوفية في بعض الحالات إلى تدهور نوعية المياه. وفي بعض مناطق الهند وبنغلاديش والصين وشمال أفريقيا والمكسيك والأرجنتين، هناك أكثر من 100 مليون نسمة تعاني من التسمم بالزرنيخ والتسمم بالفلور (وهو مرض يصيب الأسنان أو العظام يسببه الاستهلاك المفرط للفلوريد في مياه الشرب) (الأمم المتحدة، 2003)؛ بل ويمكن أن ينجم عن ذلك وضع أسوأ إذا اضطر الناس إلى استخدام مزيد من المياه الجوفية نتيجة لنقص مصادر المياه السطحية الموثوقة. [WGII 3.4.4]

ومن المرجح أن يؤدي تزايد ندرة المياه مع زيادة الطلب على الغذاء و/ أو استخدام المياه في الري نتيجة لارتفاع درجات الحرارة إلى زيادة إعادة استعمال المياه. وقد يتبين أن المناطق التي تعاني من نقص التغطية بمرافق النظافة الصحية تمارس إعادة استعمال المياه غير المراقبة (كنشاط جديد أو بدرجة أكبر) (ويعاد استعمال المياه عن طريق استعمال مياه ملوثة أو حتى مياه مستعملة). [WGII 3.3.2, 8.6.4]

تدهور جودة المياه نتيجة لتغير التدفقات. حيثما يُتوقع حدوث انخفاض في موارد المياه، فإن زيادة تركز المواد الملوِّثة في الماء سينجم عن انخفاض القدرة على التخفيف. [WGII 3.4.4, 14.4.1] وفي الوقت ذاته، فإن زيادة تدفقات الماء سوف تنقل مختلف المركبات من التربة إلى موارد المياه من خلال التحات النهري. [WGII 3.4]

ومن المتوقع بالمثل، حدوث زيادة في معدلات المراضة والوفيات من الأمراض المنقولة بالمياه في كلا السيناريوهين الأكثر رطوبة والأكثر جفافاً على السواء بسبب عدم كفاية إمدادات المياه الصالحة للشرب (Kovats وآخرون 2005؛ Ebi وآخرون، 2006)، وتزايد وجود العوامل المسببة للأمراض التي تنقلها زيادة تدفقات المياه أثناء هطول الأمطار المتطرف. ويمكن أن ينتج عن زيادة الهطول أيضاً زيادة التعكر بالمواد العالقة والتحميلات المغذية في الماء. وقد حددت مرافق المياه في مدينة نيويورك أحداث هطول الأمطار الغزيرة باعتبارها

إحدى شواغلها الرئيسية فيما يتعلق بتغير المناخ لأنها يمكن أن تزيد مستويات تعكر المياه في بعض خزانات المياه الرئيسية في المدينة بنسبة تزيد 100 مرة عن الحد القانوني اللازم لضمان جودة مياه المصدر في مسارب المرفق الأمر الذي يتطلب معالجة إضافية كبيرة، وتكاليف للمراقبة (Miller and Yates، 2006). [WGII 3.5.1]

ازدياد الجريان. سيتاح في بعض المناطق مزيد من المياه مما يعتبر نظراً للحالة العالمية للمياه في الوقت الحالي أمراً نافعاً بوجه عام، إلا أنه ينبغي وضع أحكام ملائمة لاستعمال هذه المياه لصالح العالم. وعلى سبيل المثال، بينما يتوقع ازدياد الجريان في شرق آسيا وجنوبها نتيجة لتغير المناخ، فإن نقص المياه في هذه المناطق قد لا تتم معالجته نظراً لنقص الموارد اللازمة للاستثمار في قدرات التخزين الجديدة الضرورية للاحتفاظ بالمياه الإضافية والتمكين من استعمالها أثناء فصل الجفاف. [WGII 3.5.1]

ويمكن لزيادة الهطول في المدن أن تؤثر على أداء نظم المجارير؛ ويمكن للحمل الزائد غير المتحكم فيه أن يؤدي إلى إدخال ملوثات ميكروبية وكيميائية إلى موارد المياه يكون من الصعب معالجتها من خلال استخدام العمليات التقليدية لمعالجة مياه الشرب. وأظهرت عدة دراسات أن نقل العوامل المسببة لأمراض الأمعاء، والمقاومة للكلورة من مثل داء البويغات المستخفية يكون عالي الدرجة أثناء الفصل الممطر (Nchito et al., 1998; Kang et al., 2001). ومثل هذا الوضع يمكن أن يتفاقم في البلدان النامية بسبب تدني مستويات الصحة وارتفاع محتوى العوامل المسببة للأمراض في المياه المستعملة (Jiménez، 2003). وبالإضافة إلى ذلك، يؤدي هطول الأمطار المتطرف إلى فيضانات تعرض البنية الأساسية للمياه للخطر. وأثناء الفيضانات، تكون مرافق معالجة المياه والمياه المستعملة غالباً خارج الخدمة مما يترك السكان بدون حماية من حيث سبل النظافة الصحية. [WGII 3.2, 3.4.4, 8.2.5]

تردي نوعية المياه نتيجة لارتفاع درجات الحرارة. فدرجات الحرارة الأدفأ إذا اقترنت بارتفاع التركزات الفوسفورية في البحيرات والخزانات تؤدي إلى تعزيز تكاثر الطحالب الذي ينال من جودة المياه من خلال الألوان والروائح والمذاق غير المرغوب فيها، وربما السمّية للبشر والمواشي والأحياء البرية. وتكلفة معالجة هذه المياه الملوثة تكلفة كبيرة بالتكنولوجيا المتاحة حتى بالنسبة لمرافق المياه في البلدان المتقدمة (Environment Canada، 2001). ومن شأن ارتفاع درجات حرارة الماء أن يزيد أيضاً نقل المواد الملوثة المتطايرة وشبه المتطايرة (الأمونيا، والزئبق، وPCBs (ثنائي الفينيل المتعدد الكلور) والديوكسينات، ومبيدات الآفات) من المياه والمياه المستعملة إلى الغلاف الجوي. [WGII 3.4.4]

زيادة التملح. يشكل تملح إمدادات المياه من مستودعات المياه الجوفية الساحلية بسبب ارتفاع مستوى سطح البحر قضية هامة نظراً لأن نحو ربع سكان العالم يعيشون في مناطق ساحلية تتسم بوجه عام بندرة المياه وبالزيادة السكانية المتسارعة (Small and Nicholls، 2003؛ تقييم النظام الإيكولوجي للألفية، 2005). ويمكن للتملح أن يؤثر أيضاً على مستودعات المياه الجوفية في الداخل بسبب النقص في تغذية المياه الجوفية (Chen وآخرون، 2004). [WGII 3.2, 3.4.2]

والسكان الذين سيتأثرون أكبر تأثر بتغير المناخ فيما يتعلق بالخدمات الخاصة بالمياه هم السكان القاطنون في الأحواض التي تعاني من الإجهاد المائي بالفعل في أفريقيا ومنطقة البحر الأبيض المتوسط والشرق الأدنى وجنوب آسيا وشمال الصين وأستراليا والولايات المتحدة الأمريكية ووسط المكسيك وشمالها، وشمال شرق البرازيل والساحل الغربي لأمريكا الجنوبية. أما السكان الذين سيتعرضون للمخاطر بصفة خاصة فهم السكان الذين يعيشون في الحواضر الكبرى وفي المناطق الريفية التي تعتمد اعتماداً شديداً على المياه الجوفية، وفي الجزر الصغيرة وفي أحواض الأنهار التي تغذيها الأنهار الجليدية أو يغذيها ذوبان الثلوج (أكثر من سدس سكان العالم يعيشون في أحواض يغذيها ذوبان الثلوج). وستكون المشاكل بالغة الحدة في المناطق الكاسدة اقتصادياً حيث سيزداد الإجهاد المائي بفعل العوامل الاجتماعية – الاقتصادية (Alcamo and Henrichs، 2002؛ Ragab and Prudhomme، 2002). [WGII 3.3.2, 3.5.1]

4.4.4 التكيف، وسرعة التأثر، والتنمية المستدامة

نظراً للمشاكل المذكورة أعلاه، من المهم لمرافق المياه الكائنة في مناطق مهددة بمخاطر أن تخطط عملها وفقاً لذلك. ويستطيع معظم النظم الخاصة بإمدادات المياه التصدي بصورة جيدة للتغيرات الصغيرة نسبياً في متوسط درجات الحرارة وهطول الأمطار التي يُتوقع حدوثها في العقود المقبلة، باستثناء التغيرات في المناطق الحدية حيث يتطلب التغير في المتوسط تغيراً في تصميم النظام أو التكنولوجيا المستخدمة؛ على سبيل المثال حينما يجعل نقص هطول الأمطار بناء مستودعات إضافية أمراً ضرورياً (Harman وآخرون، 2005)، أو يؤدي إلى اقتحام ملحي في الألسنة الدنيا لنهر ما، أو يتطلب نظم معالجة جديدة من أجل إزالة الأملاح. ويتجسد مثل حديث العهد للتكيف في الجنوب الأفريقي (Ruosteenoja وآخرون، 2003)، في مدينة بيرا في موزامبيق حيث تقوم بالفعل بتمديد أنبوب ضخها الرئيسي البالغ طوله 50 كيلومتراً لمسافة 5 كيلومترات أخرى داخل البلد للتيقن من الحصول على الماء العذب. [WGII 7.4.2.3.1]

وتقدم الخدمات المتعلقة بالمياه عادة من خلال نظم هندسية. وتصمم هذه النظم على أساس توفير عوامل السلامة، ويتراوح عمرها المتوقع بين 20 و50 عاماً (بل ويمكن أن يكون أطول من ذلك بالنسبة لمستودعات التخزين). وقد جرت عمليات استعراض مرونة إمدادات المياه، وأداء البنية الأساسية للمياه عادة بالاستناد إلى الظروف الملحوظة وحدها. وينبغي أيضاً النظر في استخدام إسقاطات المناخ، خصوصاً في الحالات التي تتعلق بأنظمة تتناول الفيضانات والجفاف.

التناقص في توافر المياه: باستثناء عدد قليل من البلدان الصناعية، يتزايد استخدام المياه على النطاق العالمي بسبب تزايد السكان والنمو الاقتصادي والتغيرات في أساليب المعيشة وتوسع نظم إمدادات المياه. [WGII 3.3] ومن المهم تنفيذ برامج تتسم بالكفاءة فيما يتعلق باستخدام المياه في المناطق التي من المرجح أن يتناقص فيها توافر المياه، إذ قد تلزم استثمارات ضخمة لضمان تحقيق إمدادات كافية سواء من خلال بناء مستودعات تخزين جديدة أو من خلال استخدام مصادر مياه بديلة. ويمكن لانخفاض مستويات استخدام المياه أن يرجئ أو حتى أن يستبعد الحاجة إلى بنى أساسية إضافية. وأحد أسرع السبل لزيادة توافر المياه هو من خلال تقليل خسائر المياه إلى أدنى حد في الشبكات الحضرية، وفي نظم الري. وتشمل بدائل أخرى لتقليل الحاجة إلى إمدادات مياه جديدة، جمع مياه المطر والتحكم في إعادة استعمال المياه. [WGII 3.5, 3.6]

تدني نوعية المياه بسبب التغيرات في التدفق. تشكل حماية موارد المياه

إستراتيجية هامة وفعالة بالقياس إلى التكلفة من أجل مواجهة المشاكل المستقبلية المتعلقة بجودة المياه. ولئن كانت هذه الممارسة شائعة في بعض البلدان، فإنه يلزم اتباع نُهج جديدة ومبتكرة إزاء إدارة جودة المياه على النطاق العالمي. ويتمثل أحد هذه النهج في تنفيذ خطط تكفل مأمونية المياه (WSP) من أجل إجراء تقييم شامل للمخاطر وإدارتها بدءاً من مستجمع المياه وصولاً إلى المستهلك، حسبما اقترحت منظمة الصحة العالمية (2005). كذلك، ينبغي بصفة دورية استعراض تصميم وعمل مرافق معالجة المياه والمياه المستعملة، وخصوصاً في المناطق سريعة التأثر من أجل ضمان موثوقية هذه المرافق وزيادة هذه الموثوقية وزيادة قدرتها على التصدي للتغيرات غير اليقينية في التدفقات.

إزالة الملوحة. تمثل أساليب معالجة المياه خياراً لمعالجة تزايد المحتوى الملحي في الأماكن المهددة من مثل المناطق الساحلية الحضرية بدرجة عالية والتي تعتمد على مستودعات المياه الجوفية وتتسم بحساسيتها إزاء الاقتحام الملحي. ويستند معظم التكنولوجيات المتاحة في الوقت الحالي إلى الأغشية وهي أكثر تكلفة من الأساليب التقليدية لمعالجة إمدادات المياه العذبة. وتقدر تكلفة إزالة ملوحة ماء البحر بحوالي 1 دولار من دولارات الولايات المتحدة لكل متر مكعب، وبالنسبة للماء الأخضم، أي المالح نوعاً ما، تقدر التكلفة بـ 0.60 من دولارات الولايات المتحدة لكل متر مكعب (Zhou and Tol، 2005)، وتبلغ تكاليف معالجة المياه العذبة بالكلور 0.02 من دولارات الولايات المتحدة لكل متر مكعب. ولحسن الحظ، فإن تكلفة إزالة الملوحة آخذة في الانخفاض، وإن كانت لاتزال تتطلب قدراً كبيراً من الطاقة. ويتعين مقارنة تكاليف إزالة الملوحة بتكاليف تمديد خطوط الأنابيب، وربما نقل أحواض معالجة المياه من أجل الوصول إلى المياه العذبة. وكقاعدة عمل نسبية، تبلغ تكلفة بناء وحدات الضخ والمعالجة، ووحدة الضخ الرئيسية لإمدادات المياه اللازمة لمستوطنة حضرية نحو نصف تكلفة شبكة بأكملها. [WGII 7.5] إلا أن تكلفة إزالة الملوحة لاتزال باهظة في المناطق الساحلية كثيفة السكان في مصر والصين وبنغلاديش والهند وجنوب شرق آسيا. [WGII 3.5.1] وإذا ازداد استخدام إزالة الملوحة في المستقبل سيتعين معالجة الآثار البيئية الجانبية من مثل تعديات وحدات إزالة ملوحة مياه البحر على الكائنات العضوية البحرية وسحبها، والتخلص المأمون من المياه المالحة عالية التركز التي يمكن أن تحتوي أيضاً على مواد كيميائية أخرى. [WGII 3.3.2]

نهُج إضافية ومختلفة لمعالجة المياه المستعملة. بالنسبة للمجارير ووحدات معالجة المياه المستعملة، ثمة حاجة إلى إستراتيجيات لمواجهة زيادة التدفقات وتقلبيتها. وتشمل هذه النهُج، نهجاً جديدة من مثل استخدام النظم اللامركزية، وبناء مجارير منفصلة، والمعالجة المشتركة لفوائض المجارير (أي خليط المياه المستعملة والجريان في المدن)، وحقن ماء المطر في التربة الجوفية. ونظراً لغلو تكلفة زيادة قدرات وحدات معالجة المياه المستعملة في المناطق الحضرية، ينبغي وضع مخططات ممولة تمويلاً ملائماً لدراسة الظروف المحلية. وبالنسبة للمناطق الريفية، تكون التغطية بمرافق النظافة الصحية ضعيفة للغاية بوجه عام، ويتعين صياغة خطط العمل المحلية باستعمال تكنولوجيات منخفضة التكلفة بالاعتماد على المنطقة المحلية وبإشراك المجتمع المحلي. [WGII 7.4.2.3]

إدارة أفضل لموارد المياه. مثلما بُحثت تدابير التكيف التي نوقشت آنفاً، فإن الإدارة المتكاملة للمياه التي تشمل تغير المناخ باعتباره متغيراً إضافياً ينبغي بحثها باعتبارها أداة تتسم بالكفاءة. فنقص التقلبية أو زيادتها أو حدوث قدر أكبر من التقلبية في إتاحة المياه ستؤدي إلى نزاعات بين مستعملي المياه (الزراعة، الصناعات، النظم الإيكولوجية، والمستوطنات). وستلعب المؤسسات الناظمة لتوزيع المياه دوراً رئيسياً في تحديد التأثير الاجتماعي الإجمالي لأي تغير في إتاحة المياه، وفي توزيع المكاسب والخسائر عبر مختلف قطاعات المجتمع. ويتعين على الأوساط المؤسسية أن تجد سبلاً أفضل لتوزيع المياه تطبق فيها مبادئ – من مثل الإنصاف والكفاءة – التي قد يكون من الصعب تنفيذها سياسياً من الناحية العملية. ويتعين على هذه الأوساط أيضاً أن تبحث إدارة الأحواض الدولية والأحواض السطحية وأحواض المياه الجوفية. [WGII 3.5.1]

ولمواجهة الإجهاد الإضافي الذي يستحثه تغير المناخ، من الضروري تحقيق المشاركة العمومية في التخطيط للمياه، وخصوصاً فيما يتعلق بتغيير الآراء المتعلقة بقيمة المياه، والأهمية والدور اللذين ستؤديهما إعادة استعمال المياه في المستقبل، والمساهمة التي يكون المجتمع على استعداد لتقييمها من أجل التخفيف من التأثيرات المتعلقة بالمياه.

ومن أجل تنفيذ سياسة عامة تستند إلى مبادئ الإدارة المتكاملة للمياه، ينبغي السعي لتحسين التنسيق بين مختلف الكيانات الحكومية، وينبغي مراجعة الأطر المؤسسية والقانونية لتسهيل تنفيذ تدابير التكيف. وسيشعر بتغير المناخ جميع أصحاب المصلحة المشاركون في عملية إدارة المياه، بمن في ذلك مستعملوها. ولذلك ينبغي أن يدرك الجميع تأثيراتها الممكنة على النظام بغية اتخاذ القرارات الملائمة والاستعداد لدفع التكاليف المتكبدة. وفي حالة القواعد المتعلقة بالتخلص من المياه المستعملة، على سبيل المثال، قد يتعين إعادة النظر في الإستراتيجية الإجمالية المنفذة طالما أنها تستند إلى القدرة الذاتية على تنقية المياه السطحية التي ستقل بفعل ارتفاع درجات الحرارة. [WGII 3.4.4]

البلدان المتقدمة. تتلقى مياه الشرب في البلدان المتقدمة معالجة شاملة قبل أن يزود بها المستهلك، كما أن معالجة المياه المستعملة ذات مستوى عال. وينبغي المحافظة على هذه المنافع وتوفير الحماية السليمة لمصادر المياه في إطار التغير المناخي المستقبلي حتى إذا تم تكبد تكاليف إضافية، على سبيل المثال، من خلال إدراج متطلبات إضافية تتعلق بمعالجة المياه. وبالنسبة للمجتمعات المحلية الصغيرة أو المناطق الريفية يمكن أن تشمل التدابير التي يتعين بحثها حماية مصادر المياه باعتبارها خياراً أفضل من حيث نسبة المنافع إلى التكاليف.

البلدان النامية. قد لا تتوافر لبعض البلدان للأسف موارد اقتصادية كافية لمواجهة التحديات التي يطرحها تغير المناخ. فالبلدان الفقيرة تحتاج بالفعل إلى موارد إضافية للتغلب على مشاكل عدم كفاية البنية الأساسية، ومن ثم ستكون أسرع تأثراً بالتأثيرات المتوقعة على جودة المياه إلا إذا أتيحت لها خيارات منخفضة التكلفة، وخيارات مالية محتملة التكلفة.

ونظراً لأن بعض خيارات التكيف والتخفيف التي حُددت بالفعل لا يمكن ببساطة تطبيقها عملياً، فإن المتوقع هو أنه يتعين على البلدان النامية التكيف من خلال تطبيق ممارسات غير مستدامة من مثل زيادة فرط استغلال المياه الجوفية أو إعادة استعمال كمية أكبر من المياه المستعملة غير المعالجة. وتتسم هذه «الحلول» بجاذبيتها إذ يمكن بسهولة تنفيذها على مستوى فردي أو شخصي. ولذلك، يتعين استحداث خيارات منخفضة التكلفة ومأمونة لا تنطوي بالضرورة على حلول تقليدية، وخصوصاً من أجل توفير الخدمات

المتعلقة بالمياه للمجتمعات المحلية الفقيرة التي لا تتوافر لها حتى مرافق المياه الرسمية في حالات كثيرة. وللأسف، فإن الدراسات المتاحة بشأن هذه المسألة دراسات قليلة. [WGII 3.4.3, 8.6.4]

وباختصار، يمكن أن يكون لتغير المناخ تأثيرات إيجابية وسلبية على الخدمات المتعلقة بالمياه. ولذلك، من المهم إدراك نتائجه على المستوى المحلي والقيام بالتخطيط بناء على ذلك. وفي الوقت الحالي، فإن بعض مرافق المياه في عدد قليل من البلدان، بما في ذلك هولندا والمملكة المتحدة وكندا والولايات المتحدة الأمريكية، بدأت في النظر في آثار تغير المناخ في سياق مكافحة الفيضانات وإدارة إمدادات المياه.[WGII 3.6]

4.5 المستوطنات والبنية الأساسية

من المتوقع أن تؤدي التغيرات في توافر المياه، ونوعية المياه، وسمات الهطول، وأرجحية أحداث الفيضانات وحجمها دوراً رئيسياً في إحداث تأثيرات تغير المناخ على المستوطنات البشرية والبنية الأساسية (Shephere وآخرون، 2002؛ Klein وآخرون، 2003؛ London limate hange Partnership، 2004؛ Sherbinin وآخرون، 2006). وستختلف هذه التأثيرات اختلافاً كبيراً باختلاف الأقاليم. وبالإضافة إلى ذلك، ستعتمد التأثيرات إلى حد كبير على الوضع الجيوفيزيائي، ومستوى التنمية الاجتماعية – الاقتصادية، ومؤسسات توزيع المياه، وطبيعة القاعدة الاقتصادية المحلية، وسمات البنية الأساسية، وعوامل الإجهاد الأخرى. وتشمل هذه العوامل التلوث، وتدهور النظام الإيكولوجي والهبوط الأرضي (إما بسبب فقدان التربة الصقيعية، أو العمليات الطبيعية متوازنة التضاغط، أو الأنشطة البشرية من مثل استعمال المياه الجوفية) وزيادة السكان (UNWWAP، 2003، 2006؛ Faruqui وآخرون، 2001؛ UNDP، 2006). وتتمثل الأماكن التي تهددها مشاكل إمدادات المياه العذبة إلى أكبر حد بسبب تغير المناخ في الجزر الصغيرة، والبلدان النامية القاحلة وشبه القاحلة، والمناطق التي تزود المياه العذبة فيها أنهار يغذيها ذوبان الأنهار الجليدية أو ذوبان الثلوج الفصلي، والبلدان ذات النسبة العالية من الأراضي الساحلية المنخفضة، والحواضر الساحلية الكبرى، وخصوصاً في منطقة آسيا والمحيط الهادئ (Alcamo and Henrichs، 2002؛ Ragab and Prudhomme، 2002). [WGII 6.4.2, 20.3]

ومن المرجح جداً أن يؤدي تزايد الكثافة السكانية في المناطق المعرضة لمخاطر كبيرة من مثل المناطق الساحلية والمناطق المشاطئة للأنهار إلى زيادة سرعة التأثر بتأثيرات تغير المناخ المتصلة بالمياه، بما في ذلك الفيضانات والأضرار التي تسببها العواصف وتردي نوعية المياه نتيجة للاقتحام الملحي. [WGII 6.4.2, 7.4.2.4] ومن المرجح أن تكون المستوطنات التي ترتبط اقتصاداتها ارتباطاً وثيقاً بنشاط قائم على الماء ويتسم بالحساسية إزاء المناخ من مثل الزراعة المروية، والسياحة المتعلقة بالمياه، والتزلج على الثلج سريعة التأثر بوجه خاص بتأثيرات تغير المناخ المتعلقة بموارد المياه (Elsasser and Burki، 2002؛ Hazhoe وآخرون، 2004). [WGII 7.4.3, 12.4.9]

وتشمل البنية الأساسية المرتبطة بالمستوطنات مبان وشبكات نقل ومرافق ساحلية وبنية أساسية للإمداد بالمياه والمياه المستعملة، ومرافق للطاقة. وتشمل تأثيرات البنية الأساسية سواء الأضرار المباشرة، مثلاً نتيجة لأحداث الفيضانات أو أوجه عدم الاستقرار الهيكلية التي يسببها التحات بفعل هطول الأمطار أو التغيرات في المنسوب المائي الجوفي، وكذلك التأثيرات على أداء وتكلفة وكفاية المرافق التي لم تصمم للظروف المناخية المُسقط أن تسود في المستقبل. [WGII 3.4.3, 3.5, 7.4.2.3]

4.5.1 المستوطنات

تفتقر مستوطنات بشرية كثيرة في الوقت الحالي إلى سبل الوصول إلى إمدادات المياه الكافية والمأمونة. وتشير تقديرات منظمة الصحة العالمية إلى أن 1.1 بليون نسمة على النطاق العالمي لا تتوافر لها سبل الوصول إلى مياه الشرب المأمونة، و2.4 بليون نسمة لا تتوافر لها سبل الوصول إلى مرافق النظافة الصحية (WHO/UNICEF، 2000). ولا تتوافر للأسر المعيشية الفقيرة في المناطق الحضرية غالباً سبل الوصول إلى شبكات إمدادات المياه، وهي لذلك سريعة التأثر بوجه خاص بارتفاع تكاليف مياه الشرب (UN-HABITAT, 2003; UNCHS, 2003, 2006; UNDP, 2006). فمثلاً في جاكارتا، تنفق بعض الأسر المعيشية التي لا تتوافر لها خدمة منتظمة لتوفير المياه ما يصل إلى 25% من دخلها على الماء، وأثناء فصل الصيف الحار عام 1998 في عمّان، الأردن، دفع المقيمون في مخيمات اللاجئين وغير الموصولين بشبكة المياه التابعة للبلدية أسعاراً أعلى بكثير للمياه من الأسر المعيشية الأخرى (Faruqui وآخرون، 2001). ومن المرجح جداً أن تؤدي تأثيرات تغير المناخ على توافر المياه ونوعية مياه الينابيع إلى تزايد صعوبة مواجهة هذه المشاكل، وخصوصاً في المناطق التي يتوقع أن يزداد فيها الإجهاد المائي بسبب تناقص الجريان المقترن بتزايد السكان. [WGII 3.5.1] وتعتبر المستوطنات الآخذة في النمو السريع في المناطق شبه القاحلة في البلدان النامية، وخصوصاً في المجتمعات المحلية الفقيرة ذات القدرة المحدودة على التكيف، سريعة التأثر بوجه خاص بالنقص في إتاحة المياه وما يصاحبه من زيادات في تكاليف تأمين إمدادات المياه الموثوقة (Millennium Ecosystem Assessment, 2005b). [WGII 7.4]

وفي البلدان المتقدمة والبلدان النامية على حد سواء، سيؤدي الاستمرار المتوقع للنمو السكاني السريع في المدن الساحلية إلى زيادة التعرض البشري لأضرار الفيضانات والأضرار الناجمة عن العواصف من مثل عواصف الهاريكين والعواصف الساحلية الأخرى. [WGII 7.4.2.4] ويسهم ذلك التطور بالذات في فقدان أراضي الدلتات الرطبة التي يمكن أن تشكل مصدّاً أمام تأثيرات العواصف. [WGII 6.4.1.2] وبالإضافة إلى ذلك، فإن الجزء الأكبر من النمو السكاني يحدث في المناطق الساحلية التي تعاني من ندرة المياه نسبياً مما يفاقم الاختلال بين الطلب على المياه ومدى توافرها (Small and Nicholls, 2003; Millennium Ecosystem Assessment, 2005b).

4.5.2 البنية الأساسية

4.5.2.1 شبكات النقل

تشكل الفيضانات الناجمة عن ارتفاع مستوى سطح البحر والزيادة في شدة أحداث الطقس المتطرفة (من مثل العواصف وعواصف الهاريكين) مخاطر على شبكات النقل في بعض المناطق. وتشمل هذه المخاطر غمر الشوارع بمياه الفيضان وكذلك شبكات أنفاق المواصلات، والأضرار التي تلحق بالجسور والطرق والسكك

الحديدية من جراء الانهيالات الأرضية. فمثلاً في لندن التي لديها أقدم شبكة أنفاق مترو تحت سطح الأرض، يتنبأ بأن تؤدي زيادة شدة أحداث الهطول إلى زيادة مخاطر غمر شبكات الأنفاق تحت سطح الأرض، وطرق السيارات العامة بالمياه. ويتطلب هذا الوضع إدخال تحسينات على أنظمة الصرف في هذه الشبكات (Arkell and Darch، 2006). وبالمثل، ورد تنبؤ في بحث أجري مؤخراً بشأن نظام النقل السطحي في منطقة بوسطن العاصمة مؤداه أن زيادة الغمر بمياه الفيضان سيسبب زيادة في تأخير الرحلات وإلغائها مما سينتج عنه فقدان أيام عمل ومبيعات وإنتاج (Suarez وآخرون، 2005). إلا أن تلك التكاليف تعتبر محدودة إذا قورنت بالأضرار الناجمة عن الفيضان التي لحقت بالبنية الأساسية للنقل في بوسطن (Kirshen وآخرون، 2006). [WGII 7.4.2.3.3] ويتجسد مثال لسرعة التأثر هذه الأيام الذي يمكن أن تفاقمه زيادة شدة الهطول في أن سكك حديد كونكان في الهند تعاني سنوياً من أضرار تكلفها زهاء مليون من دولارات الولايات المتحدة بسبب الانهيالات الأرضية التي تحدث أثناء الفصل الممطر (Shukla وآخرون، 2005). [WGII 7.4.2.3.3]

4.5.2.2 البيئة المبنية

تشكل الفيضانات والإنهيالات الأرضية والعواصف الشديدة (من مثل عواصف الهاريكين) أكبر المخاطر التي تُلحِق الأضرار بالمباني في البلدان المتقدمة والبلدان النامية على حد سواء نظراً لتزايد إقامة المساكن وغيرها من الأصول في المناطق الساحلية وعلى المنحدرات، وفي الوهاد العميقة وفي المواقع الأخرى المعرضة للمخاطر (Bigio، 2003؛ UN-HABITAT، 2003). وتتسم المستوطنات غير النظامية الكائنة في المناطق الحضرية لمدن البلدان النامية بقابليتها للتأثر بشكل خاص إذ إنها تبنى في مواقع معرضة للمخاطر نسبياً، وتهددها مخاطر الفيضانات والانهيالات الأرضية وغيرها من الكوارث المتصلة بالمناخ (Cross، 2001؛ UN-HABITAT، 2003). [WGII 7.4.2.4]

وتشمل التأثيرات الأخرى على المباني احتمالات التجوية المتسارعة بسبب زيادة شدة هطول المطر وتواتر العواصف (مثلاً Graves and Phillipson، 2000)، وزيادة الأضرار البنيوية بسبب انخفاض المنسوب المائي الجوفي وهبوط الأراضي (مثلاً Sanders and Phillipson، 2003)، أو بسبب تأثيرات ارتفاع المنسوب المائي الجوفي (Kharkina، 2004). [WGII 3.5]

وثمة مجال آخر للاهتمام هو الأداء المستقبلي لنظم صرف المياه الناجمة عن العواصف. ففي المناطق التي تتأثر بالعواصف المتزايدة الشدة، يتعين زيادة قدرات هذه الأنظمة من أجل توقي حدوث فيضانات محلية، وما ينجم عنها من إلحاق أضرار بالمباني والهياكل الأساسية الأخرى (UK Water Industrz Research، 2004). [WGII 7.6.4]

4.5.2.3 البنية الأساسية الساحلية

تتسم البنية الأساسية للمناطق الساحلية المنخفضة بسرعة التأثر من جراء الأضرار التي يتسبب فيها ارتفاع مستوى سطح البحر، وتتسبب فيها الفيضانات وأعاصير الهاريكين وغيرها من العواصف. وتتزايد أصول وموجودات البنية الأساسية الساحلية المهددة تزايداً سريعاً نتيجة لاستمرار نمو المدن الساحلية وتوسع نشاط السياحة في منطقة من مثل مناطق البحر الكاريبي (مثلاً Hareau وآخرون، 1999؛ Lewsey وآخرون، 2006). وفي بعض المناطق، أجريت تقديرات لتكاليف الأضرار الناجمة عن ارتفاع مستوى سطح البحر، وغالباً ما كانت هذه التكاليف كبيرة. وعلى سبيل المثال، في بولندا تبلغ تقديرات تكاليف الأضرار الناجمة عن إمكان حدوث ارتفاع في مستوى سطح البحر بمقدار متر واحد بحلول عام 2100 بمبلغ 30 بليون من دولارات الولايات المتحدة بسبب التأثيرات المتوقعة على المناطق الحضرية والمجارير والموانئ وغيرها من الأبنية الأساسية (Zeidler، 1997). وقدرت الدراسة ذاتها أن ارتفاعاً متوقعاً في مستوى سطح البحر بمقدار متر واحد في فييت نام سيعرض 17 مليون شخص للفيضانات، ويسبب أضراراً تصل قيمتها إلى 17 بليون من دولارات الولايات المتحدة، بما يترتب على ذلك من تأثيرات كبيرة تتغلغل داخل البلد فيما وراء المنطقة الساحلية. [WGII 6.3, 6.4, 6.5]

4.5.2.4 البنية الأساسية للطاقة

ستؤثر التغيرات الهيدرولوجية تأثيراً مباشراً على الناتج المحتمل للمرافق الهيدروكهربائية – سواء تلك القائمة منها حالياً أو المشاريع التي يمكن تنفيذها في المستقبل. وهناك اختلافات إقليمية كبيرة في مدى تطور الطاقة الكهربائية المائية. ففي أفريقيا التي لم تتطور فيها إمكانيات الطاقة الكهربائية المائية فإن عمليات المحاكاة المتعلقة بتغير المناخ بالنسبة لمشروع الطاقة الكهربائية المائية في خانق باتوكا على نهر زامبيزي توقعت حدوث انخفاض هام في تدفقات النهر (على سبيل المثال انخفاض في متوسط التدفق الشهري من (10^9 x 3.21) متر مكعب إلى (10^9 x 2.07) متر مكعب) وانخفاض في إنتاج الطاقة (على سبيل المثال، انخفاض في متوسط الإنتاج الشهري من 780 جيغاواط في الساعة GWh إلى 613 GWh (Harrison and Whittington، 2002). ومن المتوقع أيضاً حدوث انخفاض في الطاقة الكهربائية المائية في أماكن أخرى حيثما يتوقع وأينما يتوقع أن تقل التدفقات النهرية (على سبيل المثال، Whittington and Gundry، 1998؛ Magadza، 2000). وفي بعض المناطق الأخرى، يتوقع زيادة توليد الطاقة الكهربائية المائية. وعلى سبيل المثال، تبين التقديرات الخاصة بسبعينات القرن الحادي والعشرين وفي إطار سيناريو الانبعاثات الذي عُرض في عام 1992، IC92a أن إمكانيات إنتاج الكهرباء من محطات الطاقة الكهرمائية القائمة في نهاية القرن العشرين ستزيد بما يتراوح بين 15% و30% في اسكندنافيا وشمال روسيا، حيث ستنتج نسبة تتراوح بين 19% (فنلندا) وتقريباً 100% (النرويج) من الكهرباء بفضل الطاقة الكهرمائية (Lehner وآخرون، 2005). [WGII 3.5] ويمكن أن تكون أبنية أساسية أخرى للطاقة من مثل خطوط نقل الطاقة الكهربائية، وأجهزة الحفر البحرية، وخطوط الأنابيب سريعة التأثر بالأضرار الناجمة عن الفيضانات وعن أحداث العواصف الشديدة. [WGII 7.5] وبالإضافة إلى ذلك، يمكن للمشاكل الناجمة عن مدى توافر مياه التبريد (بسبب نقص كمية المياه أو ارتفاع درجة حرارتها) أن تخل بإمدادات الطاقة من خلال تأثيرها الضار على إنتاج الطاقة في محطات إنتاج الطاقة الحرارية والنووية (الوكالة الأوروبية للبيئة EEA، 2005).

4.5.3 التكيف

ويمكن تخفيف تأثير التغيرات المتعلقة بتواتر الفيضانات ونوبات الجفاف أو بكمية ونوعية المياه المتوافرة أو توقيتها الفصلي من خلال إجراء استثمارات ملائمة في البنية الأساسية، ومن خلال إجراء تغييرات في إدارة المياه واستخدام المياه. ويمكن أن يكون التخطيط المنسق ذا قيمة، إذ إن هناك نقاطاً كثيرة تتفاعل فيها التأثيرات على مختلف البنى الأساسية. فمثلاً يمكن أن يؤدي انهيار التحصينات الرامية إلى الحماية من الفيضانات

إلى انقطاع إمدادات الطاقة الكهربائية الأمر الذي يؤدي بدوره إلى أن تصبح محطات ضخ المياه والمياه المستعملة خارج الخدمة.

ومن شأن تحسين إدراج مسألة تقلبية المناخ الحالية في الإدارة المتعلقة بالمياه أن يجعل التكيف مع تغير المناخ في المستقبل أسهل (ثقة عالية جداً). [WGII 3.6] وعلى سبيل المثال، فإن إدارة مخاطر الفيضانات الحالية من خلال المحافظة على المناطق الخضراء، والمناطق الطبيعية العازلة حول المجاري المائية في الأوساط الحضرية سيساعد أيضاً في الحد من التأثيرات الضارة لمياه الأمطار الناتجة عن حدوث عواصف أشد في المستقبل. إلا أن أياً من هذه الاستجابات ستستتبعه تكاليف ليس فقط من الناحية النقدية وإنما أيضاً من حيث التأثيرات المجتمعية، بما في ذلك الحاجة إلى إدارة المنازعات التي يحتمل أن تنشأ بين مختلف جماعات المصالح. [WGII 3.5]

4.6 الاقتصاد: التأمين، والسياحة، والصناعة، والنقل

4.6.1 السياق

يؤثر المناخ وموارد المياه على عدة قطاعات اقتصادية تشمل القطاع الثاني والقطاع الثالث من مثل التأمين والصناعة والسياحة والنقل. ويمكن أن تكون تأثيرات المناخ غير المتعلقة بالمياه في هذه القطاعات إيجابية أو سلبية، لكن ظواهر المناخ المتطرفة وغيرها من التغيرات المفاجئة تؤثر على الأجهزة البشرية تأثيراً أشد قسوة من التغيرات التدريجية، الأمر الذي يعود جزئياً إلى أنها تتيح وقتاً أقل لإحداث التكيف اللازم. [WGII 7.1.3]

وتظهر الخسائر العالمية، التكاليف الآخذة في الارتفاع السريع نتيجة للأحداث المرتبطة بظواهر الطقس المتطرفة منذ السبعينات. وتبين إحدى الدراسات أنه لئن كان المؤشر الغالب يظل مؤشر ينبئ بحدوث زيادات هامة في قيم التعرض للمخاطر، فإنه بمجرد تسوية الخسائر الناجمة عن التعرض، يظل هناك اتجاه صعودي كامن للمخاطر. وبالنسبة لمناطق ومخاطر محددة، بما في ذلك أشد الفيضانات تطرفاً لبعض أكبر الأنهار، هناك أدلة على حدوث تزايد في معدل حدوث هذه الفيضانات. [WGII 1.3.8.5]

ولإظهار التأثير الكبير لتقلبية المناخ على خسائر التأمينات، فإن الفيضانات تعد مسؤولة عن 10% من خسائر التأمينات المتعلقة بالطقس على النطاق العالمي. وللجفاف أيضاً تأثيره؛ وتبين البيانات المتأتية من المملكة المتحدة وجود علاقة دائمة بين تكلفة المطالبات بالتأمينات المتعلقة بهبوط الأراضي و(انخفاض) هطول الأمطار في الصيف. إلا أنه في البلدان النامية، تقاس الخسائر التي تعزى إلى أحداث الطقس المتطرفة من حيث فقدان الأرواح البشرية أكثر مما تقاس من حيث خسائر التأمينات. وعلى سبيل المثال، لا يؤثر الجفاف في منطقة الساحل على الرغم من قسوته الشديدة إلا تأثيراً محدوداً فقط على القطاع المالي الرسمي بسبب قلة انتشار التأمينات. [WGII TAR الثالث 8.2.3 تقرير التقييم]

4.6.2 التكاليف الاجتماعية – الاقتصادية، التخفيف، التكيف، سرعة التأثر، التنمية المستدامة

من بين جميع التأثيرات الممكنة المتصلة بالمياه على النقل، فإن أكبر تكلفة هي التي تتسبب فيها الفيضانات. فتكلفة عمليات التأخير وإلغاء الرحلات تكلفة صغيرة نسبياً مقارنة بالأضرار التي تلحق بالبنى الأساسية والممتلكات الأخرى (Kirshen وآخرون، 2006). وفي السنوات العشر الأخيرة، حدثت أربع حالات تسببت فيها الفيضانات التي غمرت شبكات أنفاق السكك الحديدية الحضرية الكائنة تحت سطح الأرض في إلحاق أضرار بلغت قيمتها أكثر من 10 ملايين يورو (13 مليوناً من دولارات الولايات المتحدة) وثمة حالات عديدة حدثت فيها أضرار أقل (Compton وآخرون، 2002). [WGII 7.4.2.3.3]

ويُعتقد بوجه عام أن القطاعات الصناعية أقل ضعفاً إزاء تأثيرات تغير المناخ من قطاعات كالزراعة. ومن الاستثناءات الرئيسية في هذا الصدد المرافق الصناعية الكائنة في المناطق التي تتسم بحساسيتها إزاء المناخ (من مثل السهول الفيضية) (Ruth وآخرون، 2004) والمناطق التي تعتمد على السلع الأساسية التي تتسم بحساسيتها إزاء المناخ من مثل وحدات تجهيز الأغذية. [WGII 7.4.2.1]

وكان لابد أن تتشكل التغطية المحددة بالتأمين ضد المخاطر المتاحة حالياً داخل أي بلد بفعل تأثير الكوارث الماضية. فنظراً للتركز الكبير للخسائر بسبب كوارث الفيضانات، فإن التأمين ضد الفيضانات الذي يضطلع به القطاع الخاص يكون بوجه عام مقيداً (أو حتى غير متاح)، ولذلك وضعت الحكومات في عدة بلدان مخططات بديلة للتأمين ضد الفيضانات تدعمها الدولة (Swiss Re، 1998). [WGII 7.4.2.2.4]

وبالنسبة للقطاع المالي، يتم بصورة متزايدة بحث المخاطر المرتبطة بتغير المناخ بالنسبة لقطاعات «حساسة» محددة من مثل المشاريع الكهرمائية، ومشاريع الري والزراعة والسياحة (مركز المعلومات الدولي GRID-Arendal التابع لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة UNEP ، 2002). [WGII 7.4.2.2]

وتشمل آثار تغير المناخ على السياحة التغيرات التي تحدث في توافر المياه والتي يمكن أن تكون إيجابية أو سلبية (Braun وآخرون، 1999؛ Uyarra وآخرون، 2005). وتتيح المناخات الأدفأ إمكانية تمديد نطاق البيئات الغريبة (من مثل أشجار النخيل في أوروبا الغربية)، التي يمكن أن يعتبرها بعض السياح بمثابة عمل إيجابي لكنها يمكن أن تؤدي إلى تمديد مكاني، وإلى زيادة الإصابة بالأمراض المنقولة بالماء وبنواقل الأمراض. ويمكن أن يؤدي الجفاف وتوسع البيئات القاحلة (وآثار أحداث الطقس المتطرفة) إلى إحجام السياح عن السياحة، وإن كان من غير الواضح تماماً ما الذي يعتبره السياح أمراً غير مقبول في هذا الصدد. [WGII 7.4.2.2.3] وتعتبر المناطق التي تعتمد على تيسر الثلج (على سبيل المثال بالنسبة للسياحة الشتوية) من بين أكثر المناطق تأثراً بالاحترار العالمي. [WGII 11.4.9, 12.4.9, 14.4.7]

ويمكن أن يتعطل نقل شحن السوائب في المجاري المائية الداخلية من مثل نهر الراين أثناء الفيضانات وفترات الجفاف (Parry، 2000). [WGII 7.4.2.2]

ويضطلع التأمين بتصنيف المخاطر ويساعد في تنفيذ التكيف، في حين أن لإدارة أموال التأمين آثاراً على التخفيف. [WGII 15.5] وقد قيّمت تكاليف ومنافع التكيف على نحو أكثر محدودية فيما يتعلق بالبنية الأساسية للنقل (Dore and Burton، 2001). [WGII 17.2.3]

5

تحليل الجوانب الإقليمية لتغير المناخ وموارد المياه

5.1 أفريقيا

5.1.1 السياق

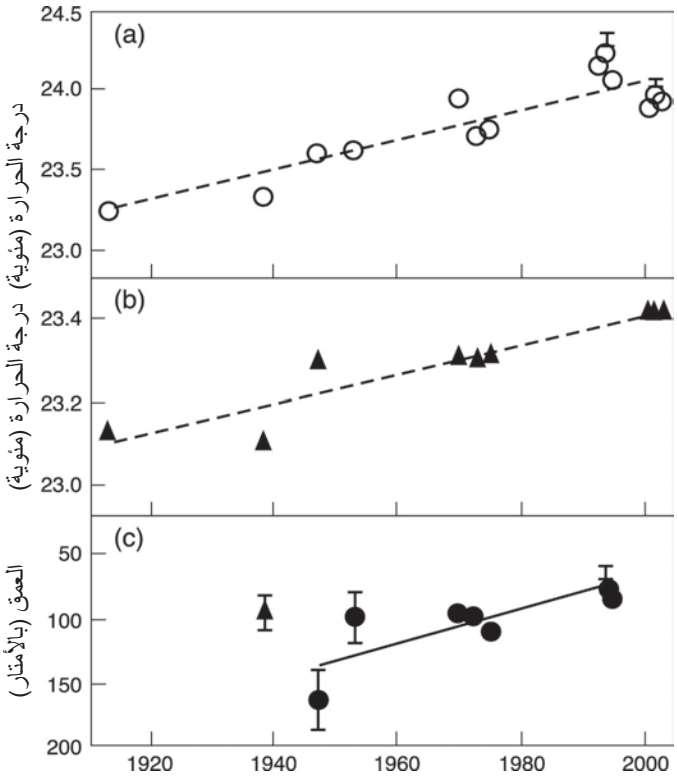
تعد المياه إحدى عدة قضايا بالغة الأهمية تواجه أفريقيا حالياً ومستقبلاً. وتتسم إمدادات المياه من الأنهار والبحيرات والأمطار بعدم التساوي في التوزيع الجغرافي الطبيعي وفي إمكانية الوصول إليها وفي عدم استدامة استعمال المياه. ويمكن لتغير المناخ أن يفرض ضغوطاً إضافية على توافر المياه وإمكانية الحصول عليها. وقد وصف Arnell (2004) الآثار المترتبة على التقرير الخاص بسيناريوهات الانبعاثات SRES للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ IPCC فيما يتعلق بالإسقاطات الخاصة بجريان النهر في عام 2050 باستعمال نموذج المناخ الدوران العام الغلاف الجوي – المحيط في مركز Hadley وأماكن أخرى HadCM3[20]. وتشير هذه التجارب إلى حدوث نقصان هام في الجريان في شمال أفريقيا وجنوبها، بينما يتوقع أن يزداد الجريان في شرق أفريقيا وأجزاء من المناطق شبه القاحلة في أفريقيا جنوب الصحراء الكبرى. إلا أن نتائج النماذج المتعددة (الشكلان 2.8 و2.9) تظهر اختلافات كبيرة بين النماذج من حيث حدوث نقصان في شمال أفريقيا وزيادة في شرق أفريقيا يظهران باعتبارهما أقوى استجابتين وهناك فروق كبيرة في إسقاطات الهطول في أفريقيا جنوب الصحراء الكبرى، فبعض النماذج تسقط زيادات وبعضها الآخر يسقط نقصاناً. وينبغي النظر إلى التأثيرات المسقطة في سياق عدم اليقين الكبير هذا. [WGII 2، والجدول 1.1؛ WGII 9.4.1]

وبحلول عام 2025، يتوقع حسب الإسقاطات أن يكون توافر المياه في تسعة بلدان[21]، أساساً في شرق أفريقيا وجنوبها أقل من 1000 متر مكعب للشخص في السنة. وسيقتصر اثنا عشر بلداً[22] على إتاحة ما يتراوح بين 1000 و1700 متر مكعب للشخص في السنة، ويمكن أن يصل عدد السكان المهددين بالإجهاد المائي إلى 460 مليون نسمة، في غرب أفريقيا بصفة رئيسية (UNEP/GRID-Arendal، 2002)[23] وتستند هذه التقديرات إلى معدلات زيادة السكان فقط، ولا تأخذ في الحسبان الاختلاف الذي يمكن أن يحدث في موارد المياه بسبب تغير المناخ. وبالإضافة إلى ذلك، يظهر أحد التقديرات أن نسبة السكان الأفريقيين المهددين بالإجهاد المائي وندرة المياه تزايدت من 47% في عام 2000 إلى 65% في عام 2025 (Ashton، 2002). ويمكن أن يؤدي هذا إلى نشوء منازعات بشأن المياه، وخصوصاً في المناطق القاحلة وشبه القاحلة. [WGII 9.2, 9.4]

وثمة مثل محدد هو جنوب غرب الكاب، في جنوب أفريقيا، حيث تظهر إحدى الدراسات تناقص القدرة على توفير إمدادات المياه إما بسبب تناقص الهطول وإما بسبب إمكان حدوث زيادات في التبخر. وتسقط هذه الدراسة حدوث انخفاض في إمدادات المياه بنسبة 0.32% سنوياً بحلول عام 2020 في حين يُتوقع من خلال الإسقاطات أن يؤدي تغير المناخ المرتبط بالاحترار العالمي إلى زيادة الطلب على المياه بنسبة 0.6% سنوياً في منطقة الكاب الكبرى (New، 2002).

وفيما يتعلق بحوض نهر النيل، تبين لكونواي Conway (2005) عدم وجود دليل واضح على الكيفية التي سيتأثر بها تدفق نهر النيل بتغير المناخ بسبب عدم اليقين في أنماط المطر المسقطة في حوض النهر وتأثير الإدارة المعقدة للمياه والهياكل الخاصة بإدارة المياه. [WGII 9.4.2]

وتلاحظ بالفعل الاستجابات للتنقلات في هطول المطر في كثير من مصادر المياه الأرضية التي يمكن أن تعتبر بمثابة مؤشرات محتملة للإجهاد المائي في المستقبل المرتبط بتقلبية المناخ. وفي الأجزاء الشرقية من القارة، لوحظت تقلبات في مستوى مياه البحيرات فيما بين السنوات أظهرت قيماً منخفضة في الفترة 1993-1997 ومستويات أعلى (على سبيل المثال بحيرات تنجانيقا وفيكتوريا وتوركانا) في الفترة 1997-1998، وارتبط ارتفاع المستويات بهطول مفرط للمطر في أواخر عام 1997 اقترن باضطرابات واسعة النطاق في المحيط الهندي (Mercier وآخرون، 2002). وأشير أيضاً إلى حدوث ارتفاع في درجات حرارة المياه في البحيرات استجابة لظروف مناخية أدفأ (انظر الشكل 5.1).[WGII 9.2.1.1, 1.3.2.3]



الشكل 5.1: *قياسات تاريخية وحديثة العهد من بحيرة تنجانيقا في شرق أفريقيا: (أ) درجات حرارة طبقة المزج العليا (المياه السطحية)؛ (ب) درجات حرارة المياه العميقة (600 متر)؛ (ج) عمق طبقة المزج العليا. وتمثل المثلثات البيانات المجمعة بأسلوب مختلف. وتمثل قضبان الخطأ، الانحرافات المعيارية. أعيد الطبع بإذن من Macmillan Publishers Ltd. [Nature] (O>Reilly et al., 2003), copyright 2003. [WGII الشكل 1.2]*

[20] انظر التذييل 1 لوصف النماذج.
[21] جيبوتي والرأس الأخضر، وكينيا وبوروندي ورواندا وملاوي والصومال ومصر وجنوب أفريقيا.
[22] موريشيوس وليسوتو وإثيوبيا وزمبابوي وتنزانيا وبوركينا فاسو وموزامبيق وغانا وتوغو ونيجيريا وأوغندا ومدغشقر.
[23] هناك خمسة بلدان فقط في أفريقيا حالياً (بيانات 1990) تبلغ كمية المياه التي يمكن الوصول إليها 1000 متر مكعب للشخص سنوياً. وهذه البلدان هي رواندا وبوروندي وكينيا والرأس الأخضر وجيبوتي.
وتلاحظ بالفعل الاستجابات للتنقلات في هطول المطر في كثير من مصادر المياه الأرضية التي يمكن أن تعتبر بمثابة مؤشرات محتملة للإجهاد المائي في المستقبل المرتبط بتقلبية المناخ. وفي الأجزاء الشرقية من القارة، لوحظت تقلبات في مستوى مياه البحيرات فيما بين السنوات أظهرت قيماً منخفضة في الفترة 1993-1997 ومستويات أعلى (على سبيل المثال بحيرات تنجانيقا وفيكتوريا وتوركانا) في الفترة 1997-1998، وارتبط ارتفاع المستويات بهطول مفرط للمطر في أواخر عام 1997 اقترن باضطرابات واسعة النطاق في المحيط الهندي (Mercier وآخرون، 2002). وأشير أيضاً إلى حدوث ارتفاع في درجات حرارة المياه في البحيرات استجابة لظروف مناخية أدفأ (انظر الشكل 5.1). [WGII 9.2.1.1, 1.3.2.3]

5.1.2 الرصدات الحالية

5.1.2.1 تقلبية المناخ

تشهد منطقة الساحل في غرب أفريقيا تقلبية ملحوظة في هطول المطر على مدى عدة عقود (مثلاً Dai وآخرون، 2004a)، مرتبطة بتغيرات في دوران الغلاف الجوي وما يرتبط به من تغيرات في الأنماط المدارية لدرجة حرارة سطح البحر في المحيط الهادئ، وفي أحواض المحيطين الهندي والأطلسي (على سبيل المثال ظاهرة النينيو، التذبذب الجنوبي ANSO، وظاهرة التذبذب المتعدد العقود في المحيط الأطلسي AMO)

ونشأت ظروف جافة جداً في الفترة من السبعينات إلى التسعينات بعد فترة رطبة في الخمسينات والستينات. ويتعلق النقص في هطول المطر بصفة رئيسية بالانخفاض في عدد أحداث المطر الهامة التي تقع أثناء ذروة فترة الرياح الموسمية (تموز/يوليو إلى أيلول/سبتمبر) وأثناء الفصل الممطر الأول في المناطق الكائنة في جنوب خط العرض 9 درجات شمالاً تقريباً. ويعد تناقص هطول الأمطار وفترات الجفاف المدمرة في منطقة الساحل أثناء العقود الثلاثة الأخيرة للقرن العشرين (الشكل 5.2) من أكبر تغيرات المناخ في أي مكان. ووصل هطول المطر في منطقة الساحل حداً أدنى بعد حدوث ظاهرة النينيو في الفترة 1982-1983. [WGII 3.7.4] وتشير دراسات النمذجة إلى أن هطول المطر في منطقة الساحل تأثر بالتغيرات المناخية الواسعة النطاق (المرتبطة ربما بالتغيرات في الأهباء الجوية البشرية المنشأ) بأكثر مما تأثر بالتغير المحلي في استخدام الأراضي. [WGII 9.5.4]

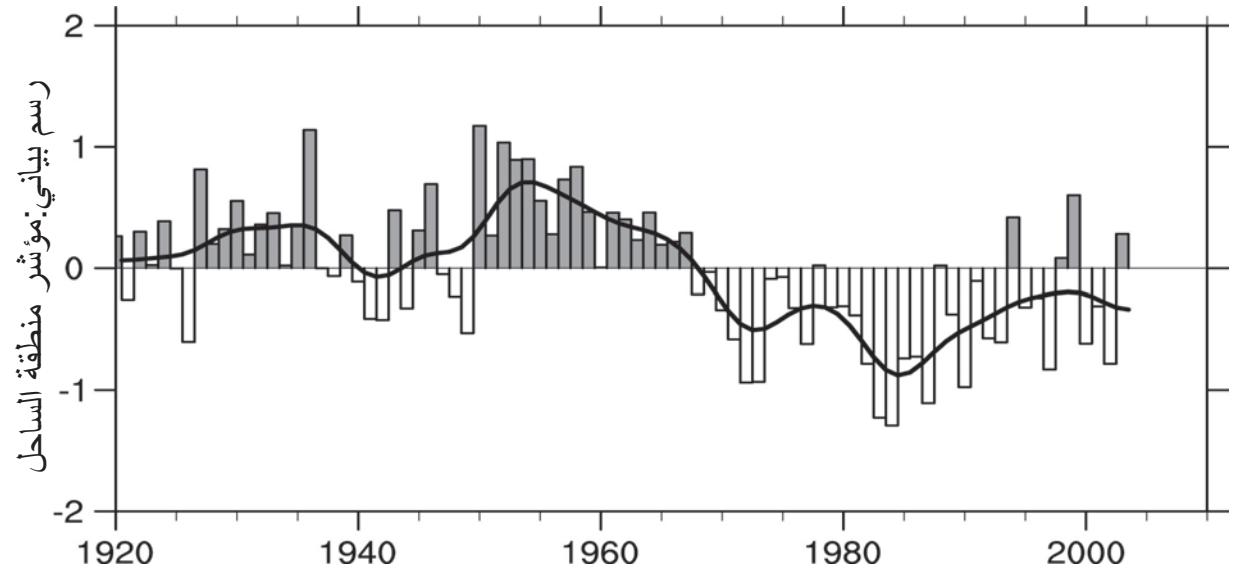
5.1.2.2 موارد المياه

يعاني نحو 25% من سكان أفريقيا المعاصرين من الإجهاد المائي، بينما يعيش 69% منهم في ظروف وفرة مائية نسبية (Vörösmarty وآخرون، 2005). إلا أن هذه الوفرة النسبية لا تأخذ في الاعتبار عوامل أخرى من مثل المدى الذي يمكن أن يكون فيه ذلك الماء صالحاً للشرب ويمكن الوصول إليه، ومدى تيسر مرافق النظافة الصحية. وعلى الرغم من حدوث تحسينات كبيرة في الوصول إلى المياه في التسعينات، فإن نسبة تبلغ نحو 62% فقط من الأفارقة يمكنها الحصول على إمدادات مياه محسنة في عام 2000 (منظمة الصحة العالمية/اليونيسيف، 2000). [WGII 9.2.1]

ويعيش ثلث السكان في أفريقيا في مناطق معرضة للجفاف وتتسم بسرعة التأثر إزاء تأثيرات الجفاف (منتدى المياه العالمي، 2000)، مما أسهم في الهجرة والنزوح، والانفصال الثقافي، وتشرد وتشتت السكان وانهيار الثقافات القديمة. وقد أثرت نوبات الجفاف بصفة رئيسية على منطقة الساحل والقرن الأفريقي وأفريقيا الجنوبية، وخصوصاً منذ نهاية الستينات بما صاحب ذلك من تأثيرات قاسية على الأمن الغذائي، أدى في نهاية المطاف إلى حدوث مجاعات. وفي غرب أفريقيا، لوحظ حدوث انخفاض في هطول الأمطار السنوي منذ نهاية الستينات مع تناقص بنسبة تتراوح بين20% و40% في الفترة 1968-1990 مقارنة بالثلاثين عاماً المنصرمة بين عام 1931 و1960 (Nicholson وآخرون، 2000؛ Chappell and Agnew، 2004a). وجرى التسليم أيضاً بتأثير التغيرات خلال عقود على ظاهرة النينيو/ التذبذب الجنوبي ENSO في جنوب غرب أفريقيا التي تأثرت جزئياً بتذبذب شمال المحيط الأطلسي NAO (Nicholson and Selato، 2000). [WGII 9.2.1]

5.1.2.3 الطاقة

يستمد أغلب الدول الأفريقية تزودهم بالكهرباء من الطاقة الكهرمائية. وهناك عدد قليل من الدراسات المتاحة التي تبحث تأثيرات تغير المناخ على استعمال الطاقة في أفريقيا (Warren وآخرون، 2006). [WGII 9.4.2] ومع ذلك تتسم القارة باعتمادها إلى حد كبير على خشب الوقود كمصدر رئيسي للطاقة في المناطق الريفية – وهو يمثل نحو



الشكل 5.2: *استمدت السلاسل الزمنية لهطول الأمطار الإقليمي في منطقة الساحل (10°N-20°N, 18°W-20°E) (نيسان/أبريل – تشرين الأول/أكتوبر) من سنة 1920 إلى سنة 2003 من الاختلافات التي سجلتها محطات شبكية معايَرة، وبعدها تؤخذ المتوسطات باستعمال وسط مرجح للمنطقة (مواءم من Dai et al., 2004a). وتشير القيم الإيجابية (الأعمدة المظللة) إلى ظروف أكثر رطوبة من المتوسط في الأجل الطويل، وتشير القيم السلبية (الأعمدة الخاوية) إلى ظروف أكثر جفافاً من المتوسط في الأجل الطويل. ويظهر الخط المنحني الأسود الرقيق الاختلافات فيما بين العقود.[WGI الشكل 3.37]*

70% من إجمالي استهلاك الطاقة في القارة. وأي تأثير لتغير المناخ على إنتاج الكتلة الأحيائية سيؤثر بدوره على الطاقة المستمدة من خشب الوقود. والوصول إلى الطاقة محدود للغاية في أفريقيا جنوب الصحراء الكبرى حيث لا تحصل على الكهرباء سوى نسبة تقدر بـ 51% من سكان الحضر ونسبة تبلغ 8% فقط من سكان الريف. ويمكن مقارنة هذه النسب بنسبة 99% من سكان الحضر و80% من سكان الريف الذين يحصلون على الكهرباء في شمال أفريقيا. ومن شأن تحديات أخرى يسببها التوسع الحضري وتزايد الطلب على الطاقة وتقلب أسعار النفط أن يزيد تفاقم قضايا الطاقة في أفريقيا. [WGII 9.2.2.8]

5.1.2.4 الصحة

الملاريا

يتأثر التوزيع المكاني للملاريا وشدة سريانها وموسميتها بالمناخ في أفريقيا جنوب الصحراء الكبرى؛ ولم يكن للتنمية الاجتماعية – الاقتصادية سوى تأثير محدود على خفض توزيع أعباء المرض [WGII 8.2.8.2]

ويمكن أن يكون المطر عاملاً يحد من تجمعات البعوض، وهناك بعض الأدلة على حدوث انخفاض في انتقال البعوض مصاحب للنقص على مدى عدة عقود في هطول الأمطار. ومن شأن الأدلة المستمدة من القابلية للتنبؤ التي يتسم بها الارتفاع أو الانخفاض غير العاديين في انتشار الملاريا سواء بسبب درجة حرارة سطح البحر (Thomson وآخرون، 2005b) أو في التنبؤات بالمناخ الفصلي لمجموعة النماذج المتعددة في بوتسوانا (Thomson وآخرون، 2006) أن تعزز الاستخدام العملي والروتيني للتنبؤات الفصلية اللازمة لمكافحة الملاريا في الجنوب الأفريقي (DaSilva وآخرون، 2004). [WGII 8.2.8.2]

ولاتـزال آثـار تغير المناخ المرصود على التوزيع الجغرافي للملاريا وشدة سريانها في المناطق المرتفعة الأراضي مثار جدل. وتبين تحليلات بيانات السلاسل الزمنية في بعض المواقع في شرق أفريقيا أن نسبة الإصابة بالملاريا زادت في فترة غياب واضح لاتجاهات مناخية ملحوظة (Hay وآخرون، 2002a, b؛ Shanks وآخرون، 2002). وتشمل القوى الدافعة لانبعاث الملاريا، مقاومة طفيليات الملاريا للأدوية ونقص أنشطة مكافحة ناقل المرض. إلا أن سلامة هذا الاستنتاج موضع تساؤل إذ قد يكون ذلك الوضع ناتجاً عن استخدام غير ملائم للبيانات المناخية (Patz، 2002). وظهر من تحليل البيانات المحدّثة لدرجة حرارة هذه المناطق، اتجاه هام للاحترار منذ نهاية السبعينات، وكما أظهر التأثير الذي يحدثه حجم التغير على إمكانية سريان المرض (Pascual وآخرون، 2006). وفي أفريقيا الجنوبية، لم تكن الاتجاهات الطويلة الأجل لانتشار الملاريا مصاحبة على نحو هام للمناخ، وإن كانت التغيرات الفصلية في أعداد حالات الانتشار ارتبطت ارتباطاً هاماً بعدد من المتغيرات المناخية (Craig وآخرون، 2004). وكانت مقاومة الأدوية والعدوى بفيروس نقص المناعة المكتسب مصاحبين للاتجاهات الطويلة الأجل الخاصة بانتشار الملاريا في المنطقة ذاتها (Craig وآخرون، 2004). [WGII 8.2.8.2]

وأشار عدد من الدراسات الأخرى إلى الارتباطات بين التقلبية في درجات الحرارة فيما بين السنوات وسريان الإصابة بالملاريا في الأراضي الأفريقية المرتفعة. وبيّن تحليل بيانات السلاسل الزمنية الخاصة بالملاريا وغير المحددة لاتجاهات معينة في مدغشقر أن درجة الحرارة الدنيا في بداية موسم سريان المرض تتزامن مع الشهور التي يكون فيها اتصال البشر بناقل العدوى على أشده، وهي التي تفسر معظم التقلبية فيما بين السنوات (Bouma، 2003). وفي الأراضي المرتفعة في كينيا، ارتبطت الإصابة بالملاريا بهطول الأمطار، وبأقصى ارتفاع غير معتاد في درجات الحرارة في الثلاثة إلى الأربعة أشهر السابقة (Githeko and Ndegwa، 2001). وتبين من تحليل للبيانات المتعلقة بالمراضة الناجمة عن الملاريا في الفترة المنقضية من أواخر الثمانينات حتى أوائل التسعينات، والمتأتية من 50 موقعاً عبر إثيوبيا أن الوباء كان مصاحباً لدرجات حرارة مرتفعة دنيا في الشهور السابقة (Abeku وآخرون، 2003). وأفاد تحليل للبيانات المتأتية من سبعة مواقع في أراضي مرتفعة في شرق أفريقيا أن تقلبية المناخ قصيرة الأجل أدت دوراً أكثر أهمية من الاتجاهات طويلة الأجل في استهلال انتشار أوبئة الملاريا (Zhou وآخرون، 2004، 2005)، وإن كان الأسلوب الذي استخدم في اختبار هذا الافتراض قد تعرض للشك (Hay وآخرون، 2005). [WGII 8.2.8.2]

أمراض أخرى متعلقة بالمياه

لئن كانت أمراض معدية من مثل الكوليرا قد قضي عليها في أنحاء أخرى من العالم فإنها تعاود الظهور من جديد في أفريقيا. فمراضة الأطفال بسبب الإسهال في البلدان المنخفضة الدخل، وخصوصاً في أفريقيا جنوب الصحراء الكبرى لاتزال مرتفعة على الرغم من حدوث تحسينات في الرعاية الصحية وفي استخدام العلاج بأملاح الإمهاء الفموي (Kosek وآخرون، 2003). ويمكن للأطفال النجاة من الإصابة الحادة بالمرض لكنهم قد يتعرضون للوفاة فيما بعد بسبب استمرار الإسهال أو سوء التغذية. وبينت عدة دراسات أن سريان العوامل المسببة للأمراض المعوية يكون أعلى أثناء الفصل الممطر (Nchito وآخرون، 1998؛ Kang وآخرون، 2001). [WGII 8.2.5, 9.2.2.6]

5.1.2.5 القطاع الزراعي

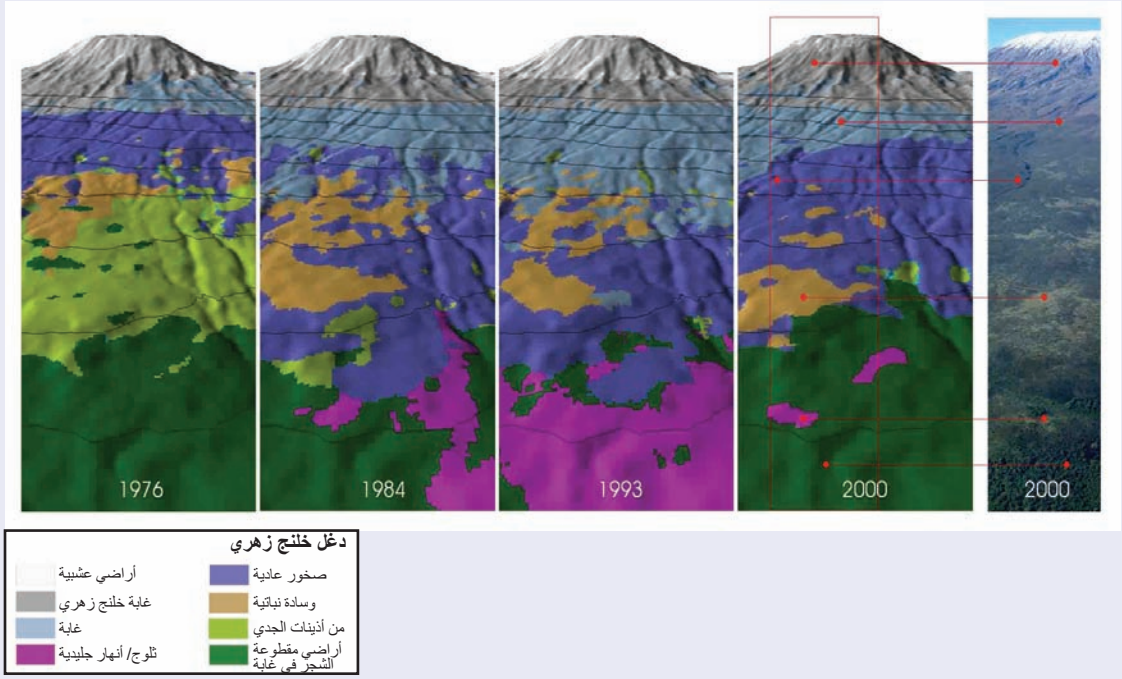
يشكل القطاع الزراعي دعامة أساسية بالغة الأهمية لسبل المعيشة المحلية والناتج المحلي الإجمالي الوطني في بعض البلدان في أفريقيا. وتختلف مساهمات الزراعة في الناتج المحلي الإجمالي فيما بين البلدان لكن التقييمات تشير إلى متوسط للمساهمات تبلغ نسبته 21% (يتراوح بين 10% و70%) (Mendelsohn وآخرون، 2000b). وحتى حيثما تكون مساهمة الزراعة في الناتج المحلي الإجمالي ضعيفة، يظل القطاع الزراعي يعزز سبل المعيشة لأقسام كبيرة جداً من السكان بحيث أن أي انخفاض في الناتج سيكون له أثره فيما يتعلق بقضيتي الفقر والأمن الغذائي. وهذا القطاع حساس بوجه خاص للمناخ بما في ذلك لفترات تقلبية المناخ. وفي أنحاء كثيرة من أفريقيا، يتعين على المزارعين والرعاة أن يواجهوا تحديات وضوائق متطرفة أخرى في الموارد الطبيعية من مثل تدني خصوبة التربة، والآفات، والأمراض التي تصيب المحاصيل، وعدم إمكان الوصول إلى المدخلات والبذور المحسنة. وتتفاقم هذه التحديات عادة بفعل نوبات الجفاف المطولة والفيضانات (Mendelsohn وآخرون، 2000a, b؛ Stige وآخرون، 2006). [WGII 9.2.1.3]

5.1.2.6 النظم الإيكولوجية والتنوع الأحيائي

تسهم النظم الإيكولوجية وتنوعها الأحيائي إسهاماً هاماً في الرفاهة البشرية في أفريقيا. [WGII Chapter 9] ويتعرض التنوع الأحيائي الثري في أفريقيا الذي يتحقق بصفة أساسية

الإطار 5.1: التغيرات البيئية في جبل كليمنجارو. [مواءمة من WGII الإطار 9.1]

ثمة أدلة على أن تغير المناخ يغير النظم الإيكولوجية الجبلية الطبيعية لجبل كليمنجارو. فعلى سبيل المثال، ونتيجة للظروف المناخية الجافة، أدت زيادة تواتر وشدة الحرائق على منحدرات الجبل إلى تحول نزولي في حد نمو الغابة العلوي بمقدار عدة مئات من الأمتار أثناء القرن العشرين (الشكل 5.3، والجدول 5.1). وكان للتناقص الناتج عن ذلك في غطاء السحاب – الغابة بمقدار 150 كيلومتراً مربعاً منذ عام 1976 أثر كبير على احتجاز الضباب وعلى التخزين المؤقت للمطر، ومن ثم على الرصيد المائي للجبل

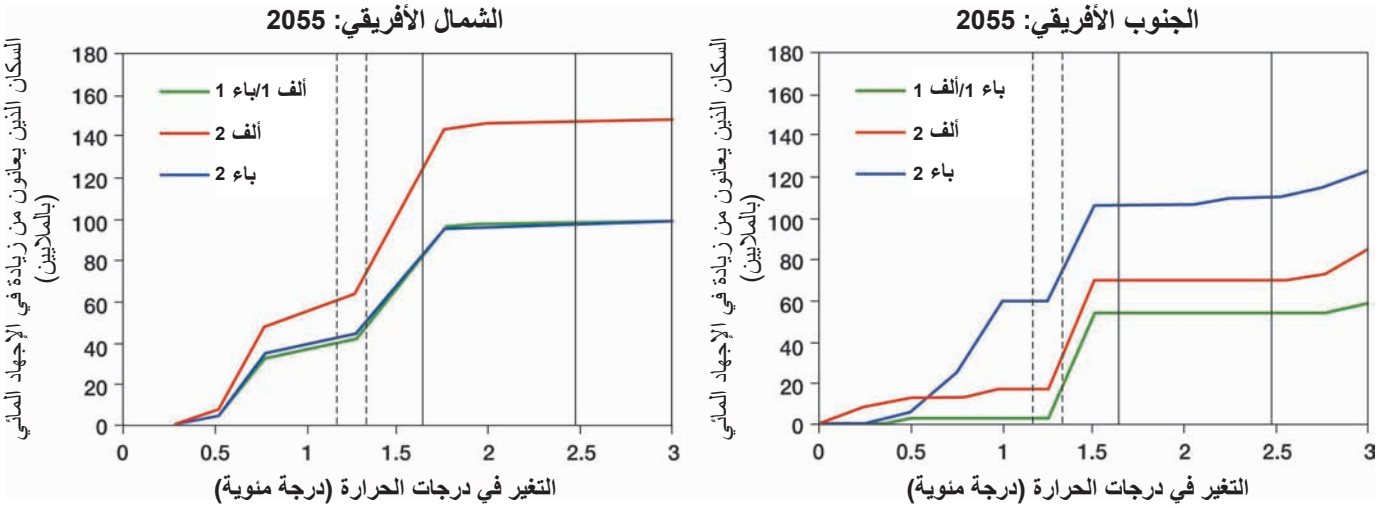


الشكل 5.3: *التغيرات في الغطاء الأرضي المستحث بفعل الاستخدام المعقد للأراضي والتفاعلات المناخية على جبل كليمنجارو (Hemp، 2005). أعيد الطبع بإذن من Blackwell Publishing Ltd.*

الجدول 5.1: *التغيرات في الغطاء الأرضي في المناطق العليا من جبل كليمنجارو (Hemp، 2005).*

نمط الغطاء النباتي	المساحة في 1976 (بالكيلومترات المربعة)	المساحة في 2000 (بالكيلومترات المربعة)	النسبة المئوية للتغير
غابة شبه ألبية	1066	974	9-
غابة خلنج عند سفح الجبل	187	32	83-
دغل خلنج	202	257	27+
وسادة نباتية من أذينات الجدي	69	218	216+
أرض عشبية	90	44	51-

خارج المناطق المصانة رسمياً للتهديد من تقلبية المناخ وتغيره وصنوف الإجهاد الأخرى (على سبيل المثال، الإطار 5.1). وتعوَّق التنمية الاجتماعية والاقتصادية لأفريقيا بفعل تغير المناخ وفقدان الموئل، والحصاد المفرط لأنواع مختارة، وانتشار الأنواع الغريبة والأنشطة من مثل الصيد وإزالة الغابات التي تهدد بتقويض سلامة النظم الإيكولوجية الثرية للقارة لكن الهشة في الوقت ذاته (UNEP/GRID-Arendal، 2002). فقرابة نصف المناطق شبه الرطبة وشبه القاحلة في منطقة الجنوب الأفريقي، على سبيل المثال تتعرض لمخاطر تصحر يتراوح بين المستوى المعتدل إلى المستوى العالي. وفي غرب أفريقيا، تسبب الانخفاض الطويل الأجل في معدل هطول المطر من السبعينات إلى التسعينات في تحول نحو الجنوب تراوحت مسافته بين 25 و35 كيلومتراً جنوباً في منطقة الساحل والسودان والمناطق الإيكولوجية الغينية في النصف الثاني من القرن العشرين (Gonzalez، 2001). ونتج عن ذلك فقدان الأراضي العشبية وأشجار السنط، وفقدان النباتات/الحيوانات البرية وانتقال الكثبان الرملية في منطقة الساحل؛ تلك هي الآثار التي تلاحظ بالفعل (ECF and Potsdam Institute، 2004).[WGII 9.2.1.4]



الشكل 5.4: *عدد السكان (بالملايين) الذين يعيشون في مستجمعات المياه والمعرضون لحدوث زيادة في الإجهاد المائي، مقارنة بالفترة 1961-1990 (Arnell, 2006b). ولمستجمعات المياه التي تعاني من الإجهاد المائي جريان يقل عن 1000 متر مكعب/للفرد/سنوياً، ويتعرض السكان للزيادة في الإجهاد المائي عندما يقل الجريان إلى حد كبير، بسبب تغير المناخ. والسيناريوهات مستمدة من نموذج HadCM3. وتتعلق الخطوط الحمراء والخضراء والزرقاء بالإسقاطات المتعلقة بمختلف السكان؛ لاحظ أن التغيرات الهيدرولوجية المسقطة تختلف اختلافا كبيراً بين مختلف النماذج المناخية في بعض المناطق. وتحدث الخطوات المتعلقة بالإجهاد المائي في هذه العملية مع زيادة تعرض مستجمعات المياه لنقص هام في الجريان. [WGII الشكل 9.3]*

5.1.3 التغيرات المُسقطة

5.1.3.1 موارد المياه

يتوقع أن تعاني أعداد متزايدة من السكان في أفريقيا من الإجهاد المائي قبل عام 2025، أي خلال أقل من عقدين منذ نشر هذا التقرير، الأمر الذي يعود بصفة رئيسية إلى زيادة الطلب على الماء. [WGII 9.4.1] ويتوقع أن يؤدي تغير المناخ إلى تفاقم هذا الوضع. وفي بعض التقييمات، يتوقع أن يتراوح عدد السكان المهددين بمخاطر زيادة الإجهاد المائي في أفريقيا بالنسبة للمجموعة الكاملة من سيناريوهات الانبعاثات SRES بين 75 و250 مليون نسمة وبين 350 و600 مليون نسمة في عشرينات وخمسينات القرن الحادي والعشرين، على التوالي (Arnell، 2004). إلا أن تأثير تغير المناخ على موارد المياه عبر القارة تأثير غير متجانس. ويظهر تحليل لستة نماذج للمناخ (Arnell، 2004) زيادة مرجحة في عدد الناس الذين يمكن أن يعانون من الإجهاد المائي بحلول عام 2055 في أفريقيا الشمالية والجنوبية (الشكل 5.4). وعلى خلاف ذلك، يرجح أن يشهد مزيد من الناس في شرق أفريقيا وغربها انخفاضاً في الإجهاد المائي وليس ازدياداً فيه (Arnell، 2006a). [WGII 3.2، الشكل 3.2، والشكل 3.4، 9.4.1، والشكل 9.3]

وتعد المياه الجوفية هي المصدر الأساسي الأكثر شيوعاً لمياه الشرب في أفريقيا، وخصوصاً في المناطق الريفية التي تعتمد على الينابيع والآبار المحفورة المنخفضة التكلفة. ويتوقع أن تنقص تغذيتها بالمياه مع تناقص الهطول والجريان مما ينتج عنه زيادة في الإجهاد المائي في تلك المناطق حيث تكمل المياه الجوفية تلبية الطلب على المياه في فصل الجفاف من أجل الزراعة واستعمال الأسر المعيشية. [WGII 3.4.2، الشكل 3.5]

وتتوقع دراسة لتأثيرات الزيادة في درجة الحرارة بمقدار درجة مئوية واحدة في مستجمع مياه في منطقة المغرب حدوث نقص في الجريان تبلغ نسبته 10% (Agoumi، 2003)، بافتراض أن تظل مستويات الهطول ثابتة [WGII 9.4.1, 3.2, 3.4.2]

5.1.3.2 الطاقة

على الرغم من عدم إجراء دراسات كثيرة عن الطاقة في أفريقيا، تشير دراسة عن توليد الطاقة الكهرمائية أجريت في حوض نهر زامبيزي، إذا أخذت مقترنة بإسقاطات عن الجريان في المستقبل إلى أن توليد الطاقة الكهرمائية سيتأثر سلباً بتغير المناخ، وخصوصاً في أحواض الأنهار الكائنة في المناطق شبه الرطبة (Riebsame وآخرون 1995؛ Salwiez، 1995). [WGII TAR 10.2.11، الجدول 10.1]

5.1.3.3 الصحة

تم الربط في عدد كبير من الدراسات بين تغير المناخ وقضايا الصحة في القارة. وعلى سبيل المثال، تبين النتائج المتأتية من مشروع رسم خرائط مخاطر الملاريا في أفريقيا (MARA/ARMA) حدوث تغيرات في توزيع المناطق المناسبة مناخياً لظهور الملاريا في أعوام 2020، و2050، و2080 (Thomas وآخرون، 2004). ومنذ عام 2050، وعلى نحو مستمر حتى عام 2080، من المرجح أن يصبح جزء كبير من منطقة الساحل الغربية وجزء كبير من الجزء الجنوبي من وسط أفريقيا غير ملائم لسريان الإصابة بالملاريا. وتظهر تقييمات أخرى (على سبيل المثال Hartmann وآخرون، 2002) تستخدم ستة عشر سيناريوهاً لتغير المناخ التغيرات في درجات الحرارة وهطول الأمطار التي يمكن بحلول عام 2100 أن تغير التوزيع الجغرافي لانتشار الملاريا في زمبابوي، وتصبح المناطق كثيفة السكان مناسبة لانتشار العدوى بالملاريا بعد أن كانت من قبل غير مناسبة. [WGII 9.4.3]

وقد أجريت تقييمات قليلة نسبياً للتغيرات الممكن حدوثها في المستقبل في صحة الحيوان والناشئة عن تقلبية المناخ وتغيره. ويمكن توقع حدوث تغيرات في توزيع الإصابة بالمرض ومداه وشيوعه ومعدل تواتره وموسميته. إلا أن هناك قدراً قليلاً من اليقين بشأن درجات التغير. ويمكن أن تزيد أوبئة حمى وديان الصدوع العميقة التي كانت واضحة أثناء حدوث ظاهرة النينيو في شرق أفريقيا في الفترة 1997-

1998 والتي صاحبت الفيضانات، في المناطق التي تتعرض لزيادة حدوث الفيضانات (القسم 3.2.1.2). ومن المتوقع حسب الإسقاطات أن يزداد عدد المواسم بالغة الرطوبة في شرق أفريقيا. وأخيراً، من المرجح أن يحدث الإجهاد الحراري وإجهاد الجفاف تأثيراً سلبياً إضافياً على صحة الحيوان وعلى إنتاج منتجات الألبان (وقد لوحظ ذلك بالفعل في الولايات المتحدة الأمريكية؛ انظر Warren وآخرون، 2006). [WGI الجدول 5.4.3.1, WGI 9.4.3; 11.1,11.2.3]

5.1.3.4 الزراعة

بُحثت تأثيرات تغير المناخ على فترات النمو وعلى النظم الزراعية وما يمكن أن يكون لها من آثار على سبل المعيشة (مثل Thornton وآخرون، 2006). وتبين دراسة أجريت مؤخراً بالاستناد إلى ثلاثة سيناريوهات أن المرجح هو أن ينخفض صافي إيرادات المحاصيل بنسبة كبيرة تصل إلى 90% بحلول عام 2100، وأن تتأثر المزارع الصغيرة الحجم أكبر تأثر في هذا الصدد. إلا أن هناك إمكانية أن يؤدي التكيف إلى الحد من هذه الآثار السلبية (Benhin، 2006). [WGII 9.4.4]

وترد في الإطار 5.2 دراسة حالة عن تغير المناخ وإتاحة المياه والزراعة في مصر.

إلا أنه ليس بالضرورة أن تكون جميع التغيرات في المناخ وتقلبية المناخ سلبية بالنسبة للزراعة. فمواسم النمو في بعض المناطق من مثل المناطق المحيطة بالأراضي الإثيوبية المرتفعة يمكن أن يطول أمدها في إطار تغير المناخ. ويمكن أن يؤدي اقتران زيادة درجات الحرارة وهطول الأمطار إلى تمديد موسم النمو، على سبيل المثال في بعض المناطق المرتفعة الأراضي (Thonton وآخرون، 2006). ونتيجة لحدوث انخفاض في الصقيع في مناطق الأراضي المرتفعة لجبل كينيا وجبل كليمنجارو، على سبيل المثال، قد يكون من الممكن زراعة مزيد من محاصيل المناطق المعتدلة، على سبيل المثال، التفاح والكمثرى والشعير والقمح إلخ. (Parry وآخرون، 2004). [WGII 9.4.4]

وتمثل مصائد الأسماك مصدراً هاماً آخر للإيرادات والعمالة والبروتين. وفي المناطق الساحلية التي تضم أغواراً أو بحيرات رئيسية، فإن

الإطار 5.2:المناخ، وتوافر المياه، والزراعة في مصر [WGII الإطار 9.2]

مصر هي إحدى البلدان الأفريقية التي يمكن أن تكون سريعة التأثر بالإجهاد المائي في ظل تغير المناخ. وبلغت تقديرات المياه المستعملة في عام 2000 نحو 70 كيلومتراً مكعباً وهو ما يتجاوز إلى حد بعيد الموارد المتوافرة (Gueye وآخرون، 2005). ويتمثل تحد كبير في سد الفجوة الآخذة في التزايد السريع بين المياه المحدودة المتوافرة والطلب المتصاعد على المياه من مختلف القطاعات الاقتصادية. وقد وصل معدل استعمال المياه إلى حده الأقصى في مصر بالفعل، وسيؤدي تغير المناخ إلى تفاقم هذا الضعف.

وتستهلك الزراعة نحو 85% من موارد المياه الإجمالية السنوية، وتؤدي دوراً هاماً في الاقتصاد الوطني المصري وتسهم بنحو 20% من الناتج الداخلي الإجمالي. ويعتمد أكثر من 70% من الأراضي المزروعة على نظم للري السطحي تتسم بضعف كفاءتها مما يسبب فقداناً كبيراً للمياه وانخفاضاً في إنتاجية الأراضي كما بسبب التشبع بالمياه ويثير المشاكل الناجمة عن الملوحة (EL Gindy وآخرون، 2001). وبالإضافة إلى ذلك، تؤثر الممارسات الزراعية غير المستدامة والإدارة غير السليمة للري على نوعية موارد المياه في البلد. وكان لانخفاض جودة مياه الري بدوره آثار ضارة بالتربات وبالمحاصيل التي تعتمد على الري.

وتعمل الهيئات المؤسسية المعنية بالمياه في مصر من أجل تحقيق الأهداف التالية بحلول عام 2017 من خلال خطة التحسين الوطنية (EPIQ, 2002; ICID, 2005):

- تحسين التغطية بالمياه اللازمة لمرافق النظافة الصحية في المناطق الحضرية والريفية،
- إدارة المياه المستعملة،
- تعزيز فعالية استعمال موارد المياه من خلال تحسين كفاءة الري وإعادة استعمال مياه الصرف في الزراعة.

إلا أنه مع تغير المناخ تظهر مجموعة من المخاطر الشديدة، حيث

- يمكن أن يؤثر ارتفاع مستوى سطح البحر على دلتا النيل وعلى من يعيشون في الدلتا والمناطق الساحلية الأخرى (Wahab, 2005).
- من المرجح أن يؤدي حدوث زيادة في درجات الحرارة إلى خفض إنتاجية المحاصيل الرئيسية وزيادة الاحتياجات إلى المياه، وبالتالي وعلى نحو مباشر تقليل كفاءة استخدام المياه في ري المحاصيل (Abou-Hadid، 2006؛ Eid وآخرون، 2006).
- احتمال أن تحدث زيادة عامة في الطلب على الري (Attaher وآخرون، 2006).
- ستكون هناك أيضاً درجة عالية من عدم اليقين بشأن تدفق النيل.
- من المرجح أن تشهد مصر بالاستناد إلى سيناريوهات الانبعاثات SRES زيادة في الإجهاد المائي مع انخفاض متوقع في هطول الأمطار، وعدد سكان متوقع يتراوح بين 115 و179 مليون نسمة بحلول عام 2050. وسيزيد هذا الإجهاد المائي في جميع القطاعات.
- سيحد التوسع الجاري في المناطق المروية من قدرة مصر على التصدي للتقلبات في التدفقات التي يمكن أن تحدث في المستقبل (Conway, 2005).

التغيرات في تدفقات المياه العذبة وزيادة اقتحام المياه المالحة في الأغوار يؤثر على الأنواع التي تشكل أساس مصائد الأسماك الداخلية أو تربية الأحياء المائية (Cury and Shannon, 2004). [WGII 9.4.4]

وقد بحث تأثير تغير المناخ على تربية المواشي والأنعام في أفريقيا (Seo and Mendelsohn, 2006). ومن المتوقع أن يؤدي نقص هطول الأمطار بنسبة 14% إلى خفض إيرادات مزارع تربية المواشي والأنعام بنسبة 9% (5 بلايين من دولارات الولايات المتحدة) بسبب الانخفاض سواء في عدد المواشي أو في صافي الإيرادات لكل حيوان مملوك. [WGII 9.4.4]

5.1.3.5 *التنوع الأحيائي*

يمكن لانخفاض رطوبة التربة بسبب التغيرات في هطول الأمطار أن يؤثر على النظم الطبيعية بعدة طرق. وهناك إسقاطات بشأن حدوث انقراض هام في أنواع النباتات والحيوانات، على حد سواء. ويمكن أن يتأثر أكثر من 5000 نوع من أنواع النباتات بتغير المناخ، وبصفة رئيسية بسبب فقدان الموائل المناسبة. وبحلول عام 2050، يتوقع أن تفقد المنطقة الأحيائية لشجيرات Gynbos (نظام إيكولوجي في جنوب أفريقيا تسوده شجيرات Ericaceae وموضع اهتمام «الاتحاد الدولي لحفظ الطبيعة والموارد الطبيعية IUCN») ما يتراوح بين 51 و61% من مساحتها بسبب نقص هطول الأمطار في الشتاء. وتضم منطقة Karoo الأحيائية النضرة 2800 نوع من النباتات التي تزداد مخاطر انقراضها، ويتوقع أن تتوسع المنطقة في اتجاه الجنوب والشرق، ويتوقع أن ينقرض نحو 2% من أسرة نباتات Proteaceae الزهرية. وتصحب هذه النباتات بشكل وثيق طيور تعتمد عليها في التغذية بصورة خاصة. وبعض الأنواع الثديية من مثل الحمار الوحشي والنيالا nyala (وهي من ظباء جنوب أفريقيا) والتي تبيّن ضعفها إزاء التغيرات في تيسر الغذاء الناجمة عن الجفاف. ويتوقع إلى حد كبير حسب الإسقاطات أن تفقِد أعداداً منها. وفي بعض مناطق إدارة الحياة البرية مثل محميتي كروغر وهوانغ الوطنيتين، فإن تجمعات الأحياء البرية تعتمد بالفعل على إمدادات المياه التي تستكمل من مياه الآبار المحفورة (الإطار 5.3). [WGII 4.4, 9.4.5، الجدول 9.1]

5.1.3.5 *التنوع الأحيائي*

يمكن لانخفاض رطوبة التربة بسبب التغيرات في هطول الأمطار أن يؤثر على النظم الطبيعية بعدة طرق. وهناك إسقاطات بشأن حدوث انقراض هام في أنواع النباتات والحيوانات، على حد سواء. ويمكن أن يتأثر أكثر من 5000 نوع من أنواع النباتات بتغير المناخ، وبصفة رئيسية بسبب فقدان الموائل المناسبة. وبحلول عام 2050، يتوقع أن تفقد المنطقة الأحيائية لشجيرات Gynbos (نظام إيكولوجي في جنوب أفريقيا تسوده شجيرات Ericaceae وموضع اهتمام «الاتحاد الدولي لحفظ الطبيعة والموارد الطبيعية IUCN») ما يتراوح بين 51 و61% من مساحتها بسبب نقص هطول الأمطار في الشتاء. وتضم منطقة Karoo الأحيائية النضرة 2800 نوع من النباتات التي تزداد مخاطر انقراضها، ويتوقع أن تتوسع المنطقة في اتجاه الجنوب والشرق، ويتوقع أن ينقرض نحو 2% من أسرة نباتات Proteaceae الزهرية. وتصحب هذه النباتات بشكل وثيق طيور تعتمد عليها في التغذية بصورة خاصة. وبعض الأنواع الثديية من مثل الحمار الوحشي والنيالا nyala (وهي من ظباء جنوب أفريقيا) والتي تبيّن ضعفها إزاء التغيرات في تيسر الغذاء الناجمة عن الجفاف. ويتوقع إلى حد كبير حسب الإسقاطات أن تفقِد أعداداً منها. وفي بعض مناطق إدارة الحياة البرية مثل محميتي كروغر وهوانغ الوطنيتين، فإن تجمعات الأحياء البرية تعتمد بالفعل على إمدادات المياه التي تستكمل من مياه الآبار المحفورة (الإطار 5.3). [WGII 4.4, 9.4.5، الجدول 9.1]

الإطار 5.3: عمليات الانقراض المُسقطة في محمية كروغر الوطنية، جنوب أفريقيا. [WGII الجدول 4.1]

يتوقع فيما يتعلق بمحمية كروغر الوطنية في جنوب أفريقيا ونتيجة لزيادة متوسط درجات الحرارة عالمياً بما يتراوح بين 2.5-3.0 درجات مئوية فوق مستويات عام 1990، أن تنقرض نسب تتراوح بين:

- 24 و59% من الثدييات،
- 28 و40% من الطيور،
- 13 و70% من الفراشات،
- 18 و80% من الحيوانات اللافقارية الأخرى،
- 21 و45% من الزواحف التي سيكون محكوماً عليها بالانقراض.

وعلى وجه الإجمال، من المحتمل فقدان 66% من أنواع الحيوانات.

وتهاجر أنواع كثيرة من الطيور من أوروبا ومنطقة Arctic Palaeo في المنطقة القطبية الشمالية. ويستخدم بعض الأنواع منطقة الساحل الجنوبية كمرحلة توقف قبل أن يعبر الصحراء الكبرى. ومن شأن نقص الغذاء بسبب الجفاف في المنطقة أن يعوق نجاح هجرة هذه الطيور. وكما لوحظ، فإن نماذج هطول المطر في منطقة الساحل هي نماذج ملتبسة. [WGII 9.3.1] وإذا تحققت السيناريوهات الرطبة فلن يكون التنوع الأحيائي للمنطقة الكائنة جنوب الصحراء الكبرى/ منطقة الساحل معرضاً لخطر وشيك من التأثيرات المتعلقة بالإجهاد المائي. ومن ناحية أخرى، سيؤدي السيناريو الأكثر جفافاً مع أخذ كل شيء بالاعتبار إلى عمليات انقراض واسعة، خصوصاً مع زيادة حدة المنافسة بين النظم الطبيعية والاحتياجات البشرية. [WGII 9.4.5]

وتشير نتائج المحاكاة بالنسبة للطيور الجارحة في الجنوب الأفريقي والتي تستخدم هطول الأمطار باعتباره العامل البيئي الرئيسي إلى حدوث تقلص هام في مآلفها بسبب زيادة الجفاف التي تصيب مآلفها الحالية. [WGII 4.4.3] ومن المتوقع على وجه الإجمال أن تكون نسبة تتراوح بين 25 و40% من أنواع الحيوانات الأفريقية الكائنة في المناطق المحمية في جنوب الصحراء الكبرى معرضة للانقراض [WGII 9.4.5]

5.1.4 التكيف وسرعة التأثر

تسلط الدراسات حديثة العهد عن أفريقيا الضوء على سرعة تأثر الجماعات المحلية التي تعتمد في المقام الأول على الموارد الطبيعية في توفير سبل معيشتها. وأوضحت هذه الدراسات أن قاعدة مواردها – المجهدة إجهاداً شديداً بالفعل والمتدهورة من جراء فرط الاستعمال – من المتوقع أن تزداد تأثراً بتغير المناخ (Leary وآخرون، 2006). [WGII 17.1]

ويمكن لتغير المناخ وتقلبيته أن يفرضا ضغوطاً إضافية على توافر المياه والوصول إليها والإمداد بها وطلبها في أفريقيا [WGII 9.4.1] ويقدّر أن حوالي 25% (200 مليون نسمة) من سكان أفريقيا يعانون حالياً من الإجهاد المائي. ويتوقع أن يواجه مزيد من البلدان مخاطر كبيرة في المستقبل (انظر القسم 5.1.3.1). [WGII 9.ES] وبالإضافة إلى ذلك، رئي أنه حتى بدون تغير المناخ، فإن عدة بلدان، وخصوصاً في شمال أفريقيا، ستصل قبل عام 2025 إلى مستوى العتبة بالنسبة لمواردها المائية الأرضية القاعدة التي يمكن استخدامها على نحو اقتصادي [WGII 9.4.1] وقد عرقل تواتر الكوارث الطبيعية من مثل فترات الجفاف والفيضانات إلى حد كبير التنمية الزراعية في أفريقيا التي تعتمد اعتماداً كبيراً على المطر مما أدى إلى عدم الأمن الغذائي بالإضافة إلى طائفة من المشاكل الهيكلية الكلية والجزئية. [WGII 9.5.2]

وتؤثر ظاهرة النينيو/التذبذب الجنوبي ENSO تأثيراً هاماً على هطول المطر على نطاق ما بين السنوات في أفريقيا كما يمكن أن تؤثر على تقلبية المناخ في المستقبل. [WGI 3.7.4, 3.6.4, 11.2] إلا أن هناك عدداً من الحواجز التي تعوق التكيف الفعلي مع التقلبات في ظاهرة النينيو ENSO يشمل: أوجه عدم اليقين المكانية والزمنية المصاحبة للتنبؤات بالمناخ الإقليمي؛ وضعف مستوى الوعي لدى صناع القرار بالتأثيرات المحلية والإقليمية لظاهرة النينيو؛ ومحدودية القدرات الوطنية على مراقبة المناخ والتنبؤ به؛ والافتقار إلى التنسيق لدى وضع الاستجابات اللازمة (Glantz، 2001). [WGII 17.2.2]

وفيما يتعلق بتأثيرات تقلبية المناخ وتغيره على المياه الجوفية، لا تتاح سوى معلومات ضئيلة على الرغم من أن بلداناً كثيرة (خصوصاً في شمال أفريقيا) تعتمد على مصادر المياه هذه. [WGII 9.2.1]

ولم تغط التقييمات السابقة لتأثيرات المياه على نحو كاف الاستخدامات المتعددة للمياه في المستقبل والإجهاد المائي في المستقبل (مثل Agoumi، 2003؛ Conway، 2005)، ولذلك يلزم إجراء بحوث أكثر تفصيلاً عن الهيدرولوجيا والصرف وتغير المناخ. ويتعين أيضاً على البلدان المشتركة في أحواض نهرية أن تتناول مسألة الحصول على المياه في المستقبل في المناطق الريفية والمستمدة من مجاري مائية سطحية منخفضة المستوى (مثل de Wit and Stankiewicz, 2006). [WGII 9.4.1]

وتعتبر القدرة على التكيف، وكذلك التكيف المتعلقين بموارد المياه هامان جداً للقارة الأفريقية. ومن الناحية التاريخية، حُددت الهجرة بسبب الجفاف والفيضانات باعتبارها أحد خيارات التكيف. وتبيَّن أيضاً أن الهجرة تمثل مصدراً لدخل أولئك المهاجرين الذين يُستخدَمون كعمال موسميين. وتشمل الممارسات الأخرى التي تسهم في التكيف، التقنيات التقليدية والحديثة لجمع المياه وصونها وتخزينها وزراعة المحاصيل المقاومة للجفاف، والمبكرة النضج. وقد سلط الضوء على أهمية الاستناد إلى المعارف التقليدية المتعلقة بجمع المياه واستخدامها باعتبارها إحدى أهم احتياجات التكيف (Osman-Elasha وآخرون، 2006)، مما يوضح ضرورة إدماجها في السياسات المتعلقة بتغير المناخ من أجل ضمان وضع إستراتيجيات تكيف فعالة تتسم بالفعالية بالقياس إلى التكلفة وبالتشاركية والاستدامة. [WGII 9.5.1، الجدول 17.1]

ولا توجد سوى معلومات ضئيلة للغاية عن تكلفة تأثيرات تغير المناخ والتكيف معها فيما يتعلق بموارد المياه في أفريقيا. إلا أن تقييماً أولياً أجري في جنوب أفريقيا لتكاليف التكيف في حوض نهر برغ Berg يبين أن تكاليف عدم التكيف مع تغير المناخ يمكن أن تكون أكبر بكثير من التكاليف التي يمكن أن تنشأ عن التكيف إذا أدرجت نُهُج مرنة وتتسم بالكفاءة في خيارات إدارة التكيف (انظر Stern، 2007). [WGII 9.5.2]

5.2 آسيا

5.2.1 السياق

تعد آسيا إقليماً يتسم توزيع المياه فيه بعدم التكافؤ وتعاني مناطق واسعة فيه من الإجهاد المائي. ومن البلدان الآسيوية التي يبلغ عددها ثلاثة وأربعون بلداً، فإن لدى عشرين منها موارد مائية متجددة سنوياً تتجاوز 3000 متر مكعب للفرد، وأحد عشر بلداً لديها ما يتراوح بين 1000 و1300 متر مكعب للفرد، وستة بلدان لديها أقل من 1000 متر مكعب للفرد (ولا توجد بيانات من البلدان الستة المتبقية) (منظمة الأمم المتحدة للأغذية والزراعة، 2004a, b, c). [WGII الجدول 10.1] ومن غرب الصين ومنغوليا إلى غرب آسيا هناك مناطق واسعة من الأراضي القاحلة وشبه القاحلة. [WGII 10.2] وحتى في المناطق الرطبة وشبه الرطبة في آسيا يمثل الإجهاد المائي/ندرة المياه أحد العوائق أمام تحقيق التنمية المستدامة. ومن ناحية أخرى، تضم آسيا عدداً كبيراً للغاية من السكان الذين ينمون بمعدل سريع، ومستويات تنمية منخفضة، وضعف في القدرة على التصدي للمشكلات. ويتوقع أن يؤدي تغير المناخ إلى تفاقم وضع ندرة المياه في آسيا بالإضافة إلى صنوف إجهاد اجتماعية – اقتصادية متعددة. [WGII 10.2]

5.2.2 التأثيرات المرصودة لتغير المناخ على المياه

5.2.2.1 موارد المياه العذبة

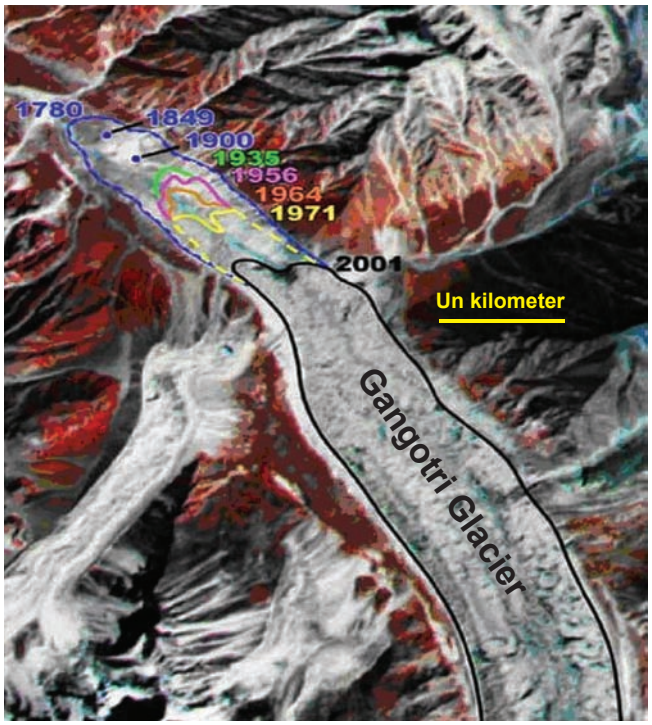
لوحظت التقلبية في هطول المطر فيما بين الفصول وفيما بين السنوات، والتقلبية المكانية أيضاً أثناء العقود القليلة الماضية في كافة أنحاء آسيا، ولوحظت اتجاهات التناقص في المتوسط السنوي لمعدل المطر في روسيا وشمال شرق الصين وشرقها، وفي الأحزمة الساحلية وسهول باكستان القاحلة وأجزاء من شمال شرق الهند، وإندونيسيا والفلبين وبعض مناطق اليابان. ويظهر المتوسط السنوي لهطول المطر اتجاهات متزايدة في غرب الصين، شانغجيانغ وحوض (نهر يانغتسي) والساحل الصيني الجنوبي الشرقي وشبه الجزيرة العربية، وبنغلاديش وعلى طول السواحل الغربية للفلبين. وفي جنوب شرق آسيا، أشير إلى أن أحداث الطقس المتطرفة المرتبطة بظاهرة النينيو أصبحت أكثر تواتراً وشدة في العشرين سنة الماضية (Trenberth and Hoar، 1997؛ Aldhous، 2004). ومن المهم الإشارة إلى حدوث تقلبية كبيرة فيما بين العقود في الرياح الموسمية الهندية والشرق آسيوية، على حد سواء [WGII 3.3.2, 3.7.1; WGII 10.2.2, 10.2.3]

وبوجه عام، ازداد تواتر حدوث أمطار أكثر شدة في أنحاء كثيرة من آسيا مما تسبب في فيضانات شديدة وانهيالات أرضية وحطام وتدفقات للطمي بينما نقص عدد الأيام الممطرة، ونقصت الكمية السنوية الإجمالية لهطول المطر (Zhai وآخرون، 1999؛ Khan وآخرون، 2000؛

Shrestha وآخرون؛ Izrael and Anokhin، 2001؛ Mirza، 2002؛ Kajiwara وآخرون، 2003؛ Min وآخرون، 2003؛ Ruosteenoja وآخرون، 2003؛ Zhai and Pan، 2003؛ Gruza and Rankova، 2004؛ Zhai، 2004). إلا أن هناك تقارير تفيد أن تواتر هطول الأمطار على نحو متطرف في بعض البلدان قد أظهر اتجاهاً تناقصياً (Manton وآخرون، 2001؛ Kanai وآخرون، 2004). [WGII 10.2.3]

ويعزى تزايد تواتر وشدة حالات الجفاف في أنحاء كثيرة من آسيا إلى حد كبير إلى ارتفاع درجات الحرارة، وخصوصاً أثناء الصيف والأشهر التي يسودها عادة طقس أكثر جفافاً، وأثناء أحداث ظاهرة النينيو ((ENSO Webster) وآخرون، 1998؛ Duong، 2000؛ PAGASA، 2001؛ Lal، 2002, 2003؛ Batima، 2003؛ Gruza and Rankova، 2004؛ Natsagdorj وآخرون، 2005). [WGI الإطار 3.6؛ WGII 10.2.3]

وقد هدد السيحان السريع للتربة الصقيعية وتناقص عمق التربات المتجمدة الناجمين إلى حد كبير عن الاحترار مدناً ومستوطنات بشرية كثيرة وتسببا في انهيالات أرضية أكثر تواتراً وفي تردي بعض النظم الإيكولوجية للغابات نتجت عنهما زيادة في مستويات مياه البحيرات في منطقة التربة الصقيعية في آسيا (Osterkamp وآخرون، 2000؛ Guo وآخرون، 2001؛ Izrael and Anokhin، 2001؛ Jorgenson وآخرون، 2001؛ Izrael وآخرون، 2002؛ Fedorov and Konstantinov، 2003؛ Gavriliev and Efremov، 2003؛ Melnikov and Revson، 2003؛ Nelson، 2003؛ Tumerbaatar، 2003؛ ACIA، 2005). [WGII 10.2.4.2]



الشكل 5.5: *تظهر الصورة الملتقطة من أحد السواتل كيف تراجع طَرَف نهر غانغوتري الجليدي (منبع نهر الغانغ، الكائن في أوتاراخاند، الهند) منذ عام 1780 (الصورة مقدمة كمجاملة من مركز بيانات سواتل رصد موارد الأرض EROS التابع للإدارة الوطنية للملاحة الجوية والفضاء بالولايات المتحدة الأمريكية، NASA، 9 أيلول/ سبتمبر 2001) [WGII الشكل 10.6]*

وتذوب الأنهار الجليدية الآسيوية في المتوسط بمعدل ظل ثابتاً منذ الستينات على الأقل (الشكل 2.6). [WGI 4.5.2] إلا أن آحاد الأنهار الجليدية قد يختلف عن هذا النمط، كما أن بعضها يتزايد حجماً و/ أو يزداد سمكاً فعلياً – على سبيل المثال في كاراكوروم الوسطى – ربما بسبب زيادة هطول المطر (Hewitt، 2005). [WGII 4.5.3] ونتيجة للذوبان الجاري للأنهار الجليدية قد زاد الجريان الجليدي وتواتر الفيضانات المفاجئة للبحيرات الجليدية اللذان يسببان تدفقات الطمي والانهيارات الجليدية (Bhadra، 2002؛ WWF، 2005). [WGII 10.2.4.2]

ويظهر الشكل 5.5 تراجعاً (منذ 1780) لنهر غانغوتري الجليدي، وهو منبع نهر الغانغ الكائن في أوتاراخاند، الهند. ولئن كان تم الربط بين هذا التراجع وتغير المناخ البشري المنشأ فإنه لم تجر أي دراسات تعزو هذا التراجع بصفة رسمية. والجدير بالذكر أن اللسان الأرضي الخاص بهذا النهر الجليدي مسطح إلى حد ما ومغطى بشدة بكتل الحجارة التي يخلفها النهر الجليدي. ويصعب ربط تقلص الألسنة النهرية التي تتسم بهذه السمات بإشارة مناخية معينة لأن غطاء الكتل الصخرية يؤخر أي إشارة. وتنحو الألسنة المسطحة نحو الانهيار فجأة، ويصحب ذلك تغير مفاجئ في المنطقة بعد أن يترقق حجم هذه الألسنة خلال عقود مصحوباً بتغير صغير نسبياً في المساحة. [WGII 10.6.2]

وفي أجزاء من الصين، تسبب ارتفاع وانخفاض درجات الحرارة أثناء الهطول مع تزايد استخدام المياه في نقص للمياه أدى إلى تجفيف بحيرات وأنهار. وفي الهند وباكستان ونيبال وبنغلاديش عُزي نقص المياه إلى عوامل من مثل التوسع الحضري والتصنيع السريعين، وزيادة السكان وعدم كفاءة استخدام المياه التي تفاقمت جميعاً بسبب تغير المناخ وتأثيراته السيئة على طلب المياه وإمداداتها وجودتها. وفي البلدان الكائنة في أحواض أنهار براهمابوترا – الغانغ – والمغنا والإندوس، فإن نقص المياه نتج أيضاً عن أعمال تخزين المياه التي ينفذها القاطنون على جوانب أعالي الأنهار. وفي مناطق آسيا الوسطى وغرب آسيا القاحلة وشبه القاحلة، تواصل التغيرات في المناخ وتقلبيته النيل من قدرة هذه البلدان على تلبية الطلب المتزايد على المياه (Abu-Taleb، 2000؛ Ragab and Prudhomme، 2002؛ Bou-Zeid and EL-Fadel، 2002؛ UNEP/GRID-Arendal، 2002). وأشير إلى أن تناقص الهطول وزيادة درجات الحرارة المرتبطين عادة بظاهرة النينيو/التذبذب الجنوبي (ENSO) يزيدان نقص المياه، وخصوصاً في الأجزاء من آسيا التي تعاني فيها موارد المياه بالفعل من الإجهاد المائي نتيجة تزايد الطلب على المياه، وعدم كفاءة استخدام المياه (Manton وآخرون). [WGII 10.2.4.2]

5.2.2.2 الزراعة

انخفض إنتاج الأرز والذرة والقمح في العقود القليلة الماضية في أنحاء كثيرة من آسيا بسبب تزايد الإجهاد المائي الناشئ جزئياً عن ارتفاع درجات الحرارة وزيادة تواتر أحداث ظاهرة النينيو والتناقص في عدد الأيام الممطرة (Wijeratne، 1996؛ Agarwal وآخرون، 2000؛ Jin وآخرون، 2001؛ Fischer وآخرون، 2002a؛ Tao وآخرون، 2003a, 2004). [WGII 10.2.4.1]

5.2.2.3 التنوع الأحيائي

مع الانخفاض التدريجي في هطول الأمطار أثناء موسم نمو العشب،

زادت المناطق القاحلة في آسيا الوسطى وغرب آسيا في السنوات الأخيرة مما حد من نمو الأراضي العشبية، وزاد تحويل سطح الأرض إلى مناطق جرداء (Bou-Yeid and EL-Fadel، 2002). وأدى تزايد عري سطح الأرض إلى زيادة انعكاس الإشعاع الشمسي مما يؤدي إلى تبخر المزيد من رطوبة التربة وتزايد جفاف الأرض في عملية تأثير تفاعلي تؤدي إلى زيادة تسارع تدهور الأراضي العشبية (Zhang وآخرون، 2003). [WGII 10.2.4.4]

ونتج عن ضعف هطول الأمطار، وعن الجفاف في معظم مناطق دلتا الأنهار في باكستان وبنغلاديش والهند والصين إلى جفاف الأراضي الرطبة وتدهور بالغ في النظم الإيكولوجية. وأدت نوبات الجفاف المتكررة في الفترة من 1999 إلى 2001 وكذلك بناء خزانات للمياه في أعالي الأنهار، والاستخدام غير السليم للمياه الجوفية إلى تجفيف الأراضي الرطبة في موموج الكائنة في سهل سونغنين في شمال شرق الصين (Pan وآخرون، 2003). [WGII 10.2.4.4]

5.2.3 التأثير المُسقَط لتغير المناخ على المياه، ومواطن الضعف الرئيسية

5.2.3.1 موارد المياه العذبة

من المتوقع بسبب تغير المناخ حدوث تغيرات في موسمية وكمية تدفق المياه من النظم النهرية. وفي بعض أنحاء روسيا يمكن لتغير المناخ أن يغير بصورة هامة تقلبية جريان الأنهار بحيث يمكن أن يحدث جريان بالغ الانخفاض على نحو أكثر تواتراً بكثير في مناطق زراعة المحاصيل في الجنوب – الغرب (Peterson وآخرون، 2002). ويمكن أن يتأثر توافر المياه السطحية من نهرين كبيرين من مثل الفرات ودجلة بفعل تغير تدفقات النهرين. وفي لبنان، سينخفض الصافي السنوي لموارد المياه المستعملة بنسبة 15% استجابة لارتفاع في درجة الحرارة يبلغ تقدير متوسطه وفقاً لنموذج المناخ العالمي GCM، 1.2 درجة مئوية في ظل مناخ ثاني أكسيد كربون مضاعف بينما ستزداد تدفقات الأنهار في الشتاء وتنقص في الربيع (Bou-Zeid and El-Fadel، 2002). ويتوقع أن يزداد الحد الأقصى الشهري لتدفق نهر الميكونغ بنسب تتراوح بين 35 و41% في حوض النهر، وبنسب تتراوح بين 16 و19% في دلتا النهر، وتقديرات القيم المنخفضة تخص الفترة 2010-2038 والقيم المرتفعة تخص الفترة 2070-2099 مقارنة بمستويات الفترة 1961-1990. وعلى خلاف ذلك، يقدّر أن تنخفض التدفقات الشهرية الدنيا بنسب تتراوح بين 17 و24% في حوض النهر وبين 16 و29% في دلتا النهر (Hoanh وآخرون، 2004). [WGII الإطار 5.3]، مما يشير إلى احتمال زيادة مخاطر الفيضانات أثناء الفصل الرطب وزيادة احتمال نقصان المياه في الفصل الجاف. [WGII 10.4.2.1]

ويمكن للفيضانات أن تزيد موئل مصائد الأسماك في المياه المويلحة (أي المالحة قليلاً) لكنها يمكن أن تؤثر تأثيراً خطيراً أيضاً على صناعة تربية الأحياء المائية وبنيتها الأساسية، وخصوصاً في الدلتات الكبرى المكتظة بالسكان. ويمكن لانخفاض التدفقات في فصل الجفاف أن يحد من صيد بعض الأنواع. وفي أنحاء من آسيا الوسطى، يتوقع أن تؤدي الزيادات الإقليمية في درجات الحرارة إلى زيادة احتمال وقوع أحداث من مثل تدفقات الطمي والانهيارات الثلجية التي يمكن أن تؤثر تأثيراً ضاراً بالمستوطنات البشرية (Iafiazova، 1997). [WGII 10.4.2.1]

ويمكن لاقتحام الماء المالح في مصبات الأنهار بسبب تناقص جريان الأنهار أن يتوغل لمسافة أكبر تتراوح بين 10 و20 كيلومتراً إلى الداخل بسبب ارتفاع مستويات سطح البحر (Shen وآخرون، 2003؛ Yin وآخرون، 2003؛ Thanh وآخرون، 2004). وقد أدت الزيادات التي تحدث في درجات حرارة الماء ووفرة المغذيات في مصبي نهري جوجيانغ وشانغحيانغ إلى تكون قاع يتسم مستواه بنقص الأكسجين وزيادة تواتر وشدة «المد الأحمر»، أي انتشار (الطحلب الأحمر) (Hu وآخرون، 2001). ويمكن لارتفاع مستوى سطح البحر بما يتراوح بين 0.4 و1.0 متر أن يستحث اقتحام الماء المالح ويدفعه لمسافة أخرى تتراوح بين كيلومتر وثلاثة كيلومترات داخل أراضي مصب نهر جوجيانغ (Huang and Xie، 2000). ويؤدي تزايد تواتر وشدة حالات الجفاف في مستجمع المياه إلى زيادة شدة وتواتر اقتحام الماء المالح في المصب (Xu، 2003؛ Thanh وآخرون، 2004؛ Huang وآخرون، 2005) مما يؤدي إلى تدهور نوعية المياه السطحية والمياه الجوفية. [WGII 10.4.2.1, 10.4.3.2]

وستكون نتائج زيادة ذوبان الثلج والأنهار الجليدية وارتفاع خط الثلج غير مؤاتية للزراعة في اتجاه مصبات الأنهار في عدة بلدان في جنوب آسيا وآسيا الوسطى. ويتوقع أن يتسارع حجم ومعدل ذوبان الثلج في الربيع في شمال غرب الصين وغرب منغوليا، وقد يتقدم موعد السيحان مما يزيد موارد بعض مصادر المياه ويمكن أن يؤدي إلى حدوث فيضانات في الربيع لكن يتوقع حدوث نقص هام في إتاحة المياه اللازمة للمواشي والدواجن بحلول نهاية هذا القرن (Batima وآخرون، 2005، 2004). [WGII 10.4.2, 10.6]

ومن المتوقع، في الأجل المتوسط، أن تؤدي زيادة الثلوج بفعل تغير المناخ أو ذوبان الأنهار الجليدية إلى حدوث فيضانات. ويتسبب في هذه الفيضانات غالباً ارتفاع مستويات مياه الأنهار بسبب انسداد مجاريها بفعل الجليد المنجرف. [WGII 10.4.2, 10.6]

ويتوقع أن ينتج عن الزيادة المتوقعة في درجة حرارة الهواء السطحي في شمال غرب الصين والتي يتوصل إليها من خلال الاستكمال بالقياس الخطي للتغيرات الملحوظة، حدوث ضمور تبلغ نسبته 27% في مساحة الأنهار الجليدية وتتراوح نسبته بين 10 و15% في مساحة التربة المتجمدة، وزيادة في الفيضانات، وتدفق كتل الأحجار أو الصخور التي تخلفها الأنهار الجليدية، ومزيد من النقص الشديد في المياه بحلول عام 2050 مقارنة بالفترة 1961-1990 (Qin، 2002). ويتوقع أن يقصر أمد الغطاء الثلجي الفصلي في المناطق الشاهقة – أي في هضبة التبت، وشينجيانغ ومنغوليا الداخلية – مما يؤدي إلى ضمور في حجم هذا الغطاء كما تنتج عنه حالة جفاف شديدة في الربيع. ومن المرجح حدوث انخفاض في الجريان للفرد تتراوح نسبته بين 20% و40% في مقاطعة نينغشيا، وشينجيانغ، وكينغهاي بحلول نهاية القرن الحادي والعشرين (Tao وآخرون، 2005). ومع ذلك، من المرجح أن يزداد الضغط على موارد المياه بسبب تزايد السكان والتنمية الاجتماعية – الاقتصادية. ويتوقع مشروع هيغاشي وآخرون (2006) حسب إسقاطاته أنه من المرجح أن تزداد مخاطر الفيضانات في طوكيو (اليابان) في المستقبل بين عام 2050 وعام 2300 في إطار سيناريو الانبعاثات A1B ألف 1 باء SRES بمقدار 1.1 إلى 1.2 مرة عما هي عليه حالياً. [WGII 10.4.2.3]

ويتوقع حسب الإسقاطات أن تنخفض إتاحة المياه الإجمالية للفرد في الهند من نحو 1,820 متر مكعب/ سنوياً في عام 2001 إلى 1,140 متر مكعب/سنوياً في عام 2050 نتيجة لزيادة السكان (Gupta and Deshpande، 2004). وتبين دراسة أخرى أن الهند ستصل إلى حالة الإجهاد المائي قبل عام 2025 حينما يتوقع أن تهبط إتاحة المياه إلى أقل من 1000 متر مكعب للفرد (CWC، 2001). وتعزى هذه التغيرات إلى عوامل مناخية وديمغرافية. ولا تعرف المساهمة النسبية لهذه العوامل. وسيقتضي النقص المتوقع في هطول المطر في الشتاء على شبه القارة الهندية تخزين كمية مياه أقل وزيادة الإجهاد المائي أثناء فترة الموسميات العجفاء. ويمكن أن ينتج أيضاً عن المطر الشديد الذي تقل أيام هطوله وينطوي على زيادة تواتر الفيضانات أثناء الموسميات الحد من تغذية المياه الجوفية. وسيكون توسع المناطق التي تعاني من الإجهاد المائي الشديد أحد أكثر المشاكل البيئية إلحاحاً في جنوب آسيا وجنوب شرقها في المستقبل المنظور، إذ يرجح أن يزداد عدد من يعيشون في ظل الإجهاد المائي الشديد زيادة كبيرة من حيث القيم المطلقة. ويقدر في إطار المجموعة الكاملة من سيناريوهات الانبعاثات SRES أن عدداً من الناس يتراوح بين 120 مليون و1.2 بليون نسمة وبين 185 مليون و981 مليون نسمة سيعاني من زيادة الإجهاد المائي بحلول عشرينات القرن الحادي والعشرين وخمسينات القرن الحادي والعشرين على التوالي (Arnell، 2004). ويتوقع حدوث انخفاض في التدفق السنوي للنهر الأحمر بنسب تتراوح بين 13 و19% ولنهر ميكونغ بنسب تتراوح بين 16 و24% بحلول نهاية القرن الحادي والعشرين، وسيسهم ذلك في تزايد الإجهاد المائي (ADB، 1994). [WGII 10.4.2]

5.2.3.2 الطاقة

قد يترتب على التغيرات في الجريان أثر هام على إنتاج الطاقة في البلدان المولدة للطاقة الكهربائية المائية من مثل طاجيكستان وهي ثالث أكبر منتج للطاقة الكهرمائية في العالم (البنك الدولي، 2002). [WGII 10.4.2]

5.2.3.3 الزراعة

يتوقع أن يزداد الطلب على الري اللازم للزراعة في المناطق الآسيوية القاحلة وشبه القاحلة بنسبة تبلغ على الأقل 10% بسبب ارتفاع في درجة الحرارة يبلغ درجة مئوية واحدة (Fischer وآخرون، 2002a؛ Liu، 2002). واستناداً إلى دراسة أجراها Tao وآخرون (2003b)، قد تواجه المحاصيل التي ترويها مياه الأمطار في سهول شمال الصين وشمال شرقها تحديات تتعلق بالمياه في العقود المقبلة بسبب حدوث زيادة في الطلب على المياه ونقص رطوبة التربة نتيجة للانخفاض المتوقع في هطول المطر. إلا أنه تجدر ملاحظة أن أكثر من ثلثي النماذج المجمعة في الشكلين 2.8 و2.10 تُظهر زيادة في هطول المطر والجريان في هذه المنطقة. وفي شمال الصين، يتوقع أن يلبي الري من مصادر المياه السطحية والمياه الجوفية نسبة 70% فقط من احتياجات الإنتاج الزراعي من الماء الأمر الذي يعود إلى آثار تغير المناخ وتزايد الطلب (Liu وآخرون، 2001؛ Qin، 2002). [WGII 10.4.1] ومن المحتمل أن تواصل زيادة التقلبية في السمات الهيدرولوجية تأثيرها على إمدادات الحبوب والأمن الغذائي في دول آسيوية كثيرة. [WGII 10.4.1.2]

5.2.4 التكيف وسرعة التأثر

ثمة مواطن ضعف مختلفة حالياً فيما يتعلق بالمياه في البلدان الآسيوية. فبعض البلدان التي لا تواجه حالياً مخاطر كبيرة يتوقع أن تواجه مخاطر الإجهاد المائي في المستقبل بقدرات مختلفة على التكيف. ويتوقع أن تتعرض المناطق الساحلية، وخصوصاً مناطق الدلتات المكتظة بالسكان في جنوب آسيا وجنوب شرقها لأكبر المخاطر من ازدياد فيضانات الأنهار والفيضانات الساحلية. وفي جنوب آسيا وشرقها، يتوقع أن تتأثر التنمية من تفاعل تأثيرات تغير المناخ مع النمو الاقتصادي والسكاني السريع والهجرة من المناطق الريفية إلى المناطق الحضرية. [WGII 10.2.4, 10.4, 10.6]

وتتأثر سرعة تأثر مجتمع ما بمساره التنموي، وأوجه تعرضه المادية، وتوزيع موارده، وصنوف الإجهاد السابقة التي يعانيها، والمؤسسات الاجتماعية والحكومية. ولجميع المجتمعات قدرات ذاتية على مواجهة بعض التغيرات في المناخ، إلا أن القدرات على التكيف غير متساوية التوزيع بعد، سواء عبر البلدان أو داخل المجتمعات. وكان الفقراء والمهمشون تاريخياً أكثر من يتعرضون للمخاطر والأكثر ضعفاً تجاه تأثيرات تغير المناخ. وتظهر تحليلات أجريت مؤخراً في آسيا أن المهمشين، والمجموعات التي تعتمد في سبل معيشتها على الموارد الأولية تتسم بالضعف بصورة خاصة إزاء تأثيرات تغير المناخ إذا أجهدت قاعدة مواردهم الطبيعية إجهاداً شديداً وتدهورت نتيجة لفرط الاستخدام أو إذا لم تكن نظم حكمهم قادرة على الاستجابة للوضع بشكل فعال (Leary وآخرون، 2006). [WGII 17.1] وهناك أدلة متزايدة على أن التكيف يحدث استجابة لتغير ملحوظ ومتوقع للمناخ. وعلى سبيل المثال، يشكل تغير المناخ جزءاً من الاعتبارات المتعلقة بالتصميم في مشاريع البنية الأساسية من مثل سبل الحماية الساحلية في جزر الملديف، والوقاية من الفيضانات المفاجئة للبحيرات الجليدية في نيبال (انظر الإطار 5.4). [WGII 17.2, 17.5, 16.5]

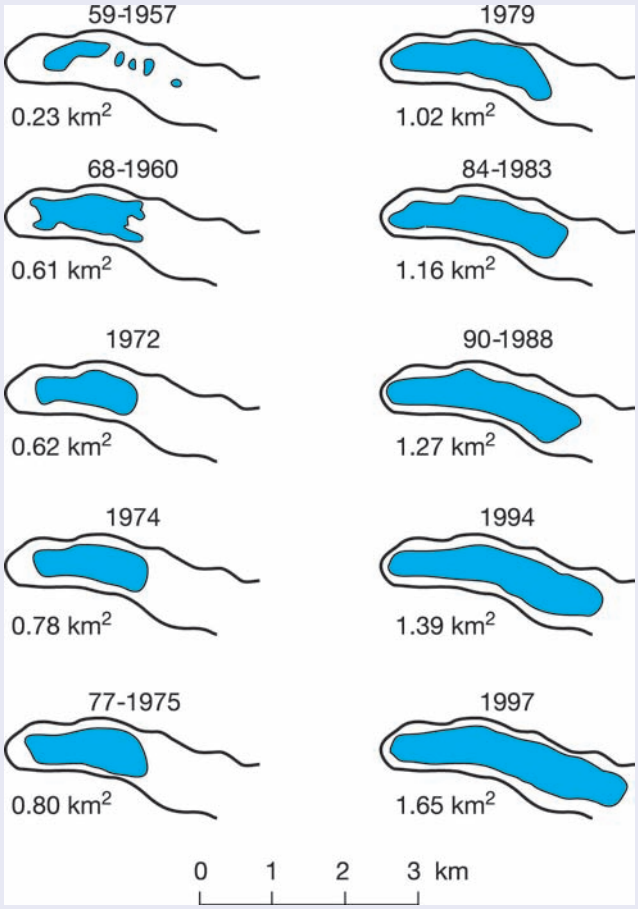
وفي بعض أنحاء آسيا، يمكن أن يكون تحويل أراضي المحاصيل إلى غابات (أراضي عشبية)، واستعادة الغطاء النباتي وإعادة ترسيخه، وتحسين تنويعات الأشجار والأعشاب وانتقاء وزراعة أنواع جديدة من المزروعات المقاومة للجفاف تدابير فعالة للوقاية من ندرة المياه بسبب تغير المناخ. ويمكن استخدام مخططات توفير المياه في الري من أجل تجنب ندرة المياه في المناطق التي تعاني بالفعل من الإجهاد المائي (Wang، 2003). وفي شمال آسيا، يحتمل أن تساعد إعادة تدوير المياه المستعملة التي توفرها البلديات وإعادة استعمالها (Frolov وآخرون، 2004) وتزايد كفاءة استخدام المياه للري والأغراض الأخرى (Alcamo وآخرون، 2004) في تفادي ندرة المياه. [WGII 10.5.2]

وهناك الكثير من تدابير التكيف التي يمكن تطبيقها في أنحاء مختلفة من آسيا لتقليل تأثيرات تغير المناخ على موارد المياه إلى أدنى حد، ويعالج عديد منها عدم الكفاءة القائم في استخدام المياه من مثل:

- تحديث نظم الري القائمة وإدارة الطلب الرامي إلى تعزيز الكفاءة المادية والاقتصادية في استخدام موارد المياه والمياه المعاد تدويرها في البلدان التي تعاني من الإجهاد المائي؛
- سياسات الاستثمار العمومية التي تحسن سبل الوصول إلى موارد المياه المتاحة، وتشجع الإدارة المتكاملة للمياه، واحترام البيئة،

الإطار 5.4: مشروع الحد من مخاطر بحيرة تشو رولبا الجليدية في نيبال باعتباره تكيفاً استباقياً ملحوظاً. [WGII الإطار 17.1]

بحيرة تشو رولبا هي بحيرة جليدية كائنة على ارتفاع يبلغ نحو 4580 متراً في نيبال. وأدى تقلص النهر الجليدي إلى زيادة حجم البحيرة من 0.23 كيلومتر مربع في الفترة 1957-1958 إلى 1.65 كيلومتر مربع في عام 1997 (الشكل 5.6). وكانت كمية المياه التي تحتويها البحيرة آنذاك والتي تتراوح بين 90 و100 مليون متر مكعب من المياه محتجزة بفعل سد من ركام التراب والحجارة التي يجرفها النهر الجليدي، وينطوي ذلك على مخاطرة تتطلب إجراءات عاجلة للحد من مخاطر وقوع كارثة فيضان مفاجئ للبحيرة الجليدية (GLOF).



***الشكل 5.6**: التغيرات في مساحة بحيرة تشو رولبا بمرور الزمن.*

وإذا حدث صدع وخرق للسد، فإن ثلث المياه أو أكثر يمكن أن يفيض في اتجاه مجرى النهر. ومن بين الاعتبارات الأخرى، يشكل ذلك مخاطر كبيرة على محطة الطاقة الكهرمائية في خمتي التي كانت قيد الإنشاء في اتجاه المصب. وقد حفزت هذه الشواغل حكومة نيبال بدعم من جهات مانحة دولية على بدء تنفيذ مشروع في عام 1998 لخفض مستوى مياه البحيرة من خلال الصرف. وأوصى فريق خبراء أنه للحد من مخاطر حدوث فيضان مفاجئ للبحيرة الجليدية GLOF ينبغي خفض مستوى البحيرة بمقدار ثلاثة أمتار من خلال شق قناة في السد الركامي. ومن خلال إنشاء بوابة لإتاحة التحكم في إطلاق المياه. وفي غضون ذلك، أنشئ نظام للإنذار المبكر في تسعة عشر قرية في اتجاه مصب النهر إذا ما حدث فيضان مفاجئ للبحيرة الجليدية تشو رولبا على الرغم من هذه الجهود. وشارك القرويون المحليون بشكل فعال في تصميم النظام. وتنفذ عمليات حفر لتوفير السلامة بصفة دورية. وفي عام 2002 استكمل مشروع البناء الذي استغرق 4 سنوات بتكلفة بلغت 3.2 مليون من دولارات الولايات المتحدة. ومن الواضح، أن الحد من مخاطر الفيضان المفاجئ للبحيرة الجليدية يتطلب تكاليف كبيرة، كما أنه يستغرق وقتاً، إذ إن الوقاية الكاملة من هذا الفيضان المفاجئ يتطلب مزيداً من الصرف لخفض مستوى مياه البحيرة.

ينبغي النظر إلى حالة بحيرة تشو رولبا في سياق عام. وقد زاد تواتر الفيضانات المفاجئة للبحيرات الجليدية (GLOFs) في جبال الهيمالايا في نيبال وبوتان والتبت من 0.38 حدث/سنويا في خمسينات القرن العشرين إلى 0.54 حدث/سنويا في تسعينات القرن ذاته [WGII 1.3.1.1]

المصادر: Mool وآخرون، (2001)، منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي (OECD) (2003)، Shrestha and Shrestha (2004).

وتشجع اتباع ممارسات أفضل فيما يتعلق بالاستخدام الحساس للمياه في الزراعة؛

- استخدام المياه لتلبية الطلبات على المياه غير الصالحة للشرب وبعد معالجة المياه، يمكن للمياه المعاد تدويرها أن تستخدم أيضاً في إنشاء أو تعزيز الأراضي الرطبة والموائل على ضفاف الأنهار. [WGII 10.5.2]

وستواصل مختلف القيود الإيكولوجية والاجتماعية والاقتصادية والفنية والمؤسسية والسياسية الحد من التكيف الفعال ومن القدرة على التكيف، وخصوصاً في البلدان الآسيوية النامية. وتشكل إعادة تدوير المياه نهجاً مستداماً تجاه التكيف مع تغير المناخ، ويمكن أن تكون فعالة بالقياس إلى التكلفة في الأجل الطويل. إلا أن معالجة المياه المستعملة من أجل إعادة استعمالها الذي يمارس حالياً في سنغافورة، وإقامة نظم للتوزيع، يمكن أن تكون في البداية مكلفة مقارنة بالبدائل الخاصة بالتزود بالمياه من مثل استخدام المياه المستوردة أو المياه الجوفية. ومع ذلك، فإن هذه البدائل يمكن أن تكون خيارات هامة للتكيف في بلدان آسيوية كثيرة.

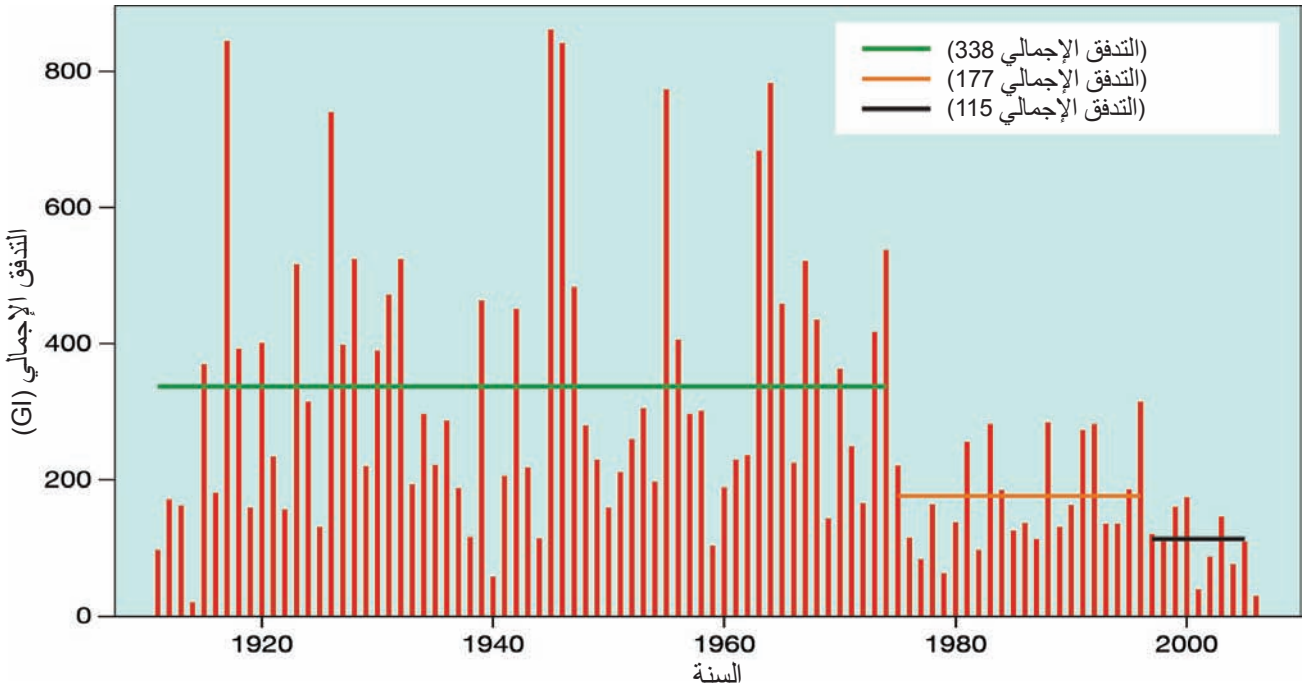
ويمكن ممارسة الحد من هدر المياه وتسربها بغية الحد من تناقص إمدادات المياه بسبب انخفاض مستوى هطول المطر وحدوث ارتفاع في درجات الحرارة. ويمكن أن يكون استخدام النُهج الموجهة نحو السوق للحد من التبذير في استخدام المياه فعالاً أيضاً في الحد من التأثيرات السيئة لتغير المناخ على موارد المياه. وفي أنهار من مثل الميكونغ التي يتوقع بالنسبة لها أن يزداد تصريف المياه في الفصل الرطب وأن تنقص التدفقات في الفصل الجاف، فإنه يمكن للتدخلات المخططة لإدارة المياه من مثل السدود والمستودعات أن تنقِص على نحو هامشي تدفقات الفصل الرطب وأن تزيد تدفقات الفصل الجاف زيادة كبيرة. [WGII 10.5.2, 10.5.7]

5.3 أستراليا ونيوزيلندا

5.3.1 السياق

على الرغم من الاختلاف الشديد بين أستراليا ونيوزيلندا من الناحية الهيدرولوجية والجيولوجية فإنهما تكابدان بالفعل تأثيرات تغير المناخ على إمدادات المياه مؤخراً بسبب التقلبية الطبيعية والنشاط البشري. وأقوى محرك إقليمي لتقلبية المناخ الطبيعية هو دورة ظاهرة النينيو/التذبذب الجنوبي (الفرع 2.1.7). ومنذ عام 2002، فإن جميع ولايات أستراليا الشرقية والمنطقة الجنوبية – الغربية من أستراليا قد أصابها الجفاف. وتقارن نوبة الجفاف هذه على الأقل بما يسمى بـ «حالة جفاف الاتحاد» في عامي 1895 و1902، وقد أثارت جدلاً كبيراً بشأن تغير المناخ وتأثيره على موارد المياه والإدارة المستدامة للمياه. [WGII 11.2.1, 11.2.4]

ومارست الزيادة المستمرة في الطلب على الماء إجهاداً للقدرة على إمداد المياه للري والمدن والصناعة والتدفقات البيئية. وكان ازدياد الطلب منذ ثمانينات القرن العشرين في نيوزيلندا راجعاً إلى التكثيف الزراعي. (Woods and Howard-Williams، 2004). وزادت مساحة الأراضي المروية في نيوزيلندا بنسبة بلغت حوالي 55% في كل عقد منذ ستينات القرن العشرين (Lincoln Environmental، 2000). وفي الفترة من عام 1985 إلى عام 1996، زاد الطلب على المياه في أستراليا بنسبة 65% (التقييم الوطني للأراضي وموارد المياه في أستراليا) (NLWRA، 2001). وفي أستراليا، فإن ملوحة الأراضي الجافة، وتغير تدفقات الأنهار، وفرط توزيع موارد المياه وعدم الكفاءة في استخدامها، وتهيئة الأرض للزراعة وتكثيف الزراعة وتشذر النظم الإيكولوجية تشكل جميعاً مصادر رئيسية للإجهاد البيئي (SOE، 2001؛ Cullen، 2002). وفي سياق تغير المناخ المُسقط، تشكل إمدادات المياه



الشكل 5.7: *التدفقات السنوية الداخلة إلى شبكة إمدادات المياه في برت في الفترة من 1911 إلى 2006. وتظهر الخطوط الأفقية المتوسطات. المصدر: http://www.watercorporation.com.au/D/dams_streamflow.cfm (مقدم مجاملة من شركة مياه غرب أستراليا). [WGII الشكل 11.3]*

إحدى أضعف القطاعات في أستراليا كما يتوقع أن تكون قضية رئيسية في أجزاء من نيوزيلندا. [WGII 11.ES, 11.2.4, 11.7]

5.3.2 التغيرات المرصودة

شهدت المنطقة التي يسودها هطول المطر في الشتاء في جنوب غرب أستراليا وغربها انخفاضاً هاماً في معدل هطول المطر في الفترة من شهر أيار/مايو إلى شهر تموز/يوليو منذ منتصف القرن العشرين. وكانت آثار هذا الانخفاض على الجريان الطبيعي شديدة حسبما دلت على ذلك نسبة هبوط تدفقات مجرى النهر السنوية إلى الخزانات التي تغذي مدينة برت بنسبة 50% (الشكل 5.7). وفرضت ضغوط مماثلة على موارد المياه الجوفية المحلية والأراضي الرطبة. وصحبت ذلك زيادة بنسبة 20% في الاستخدام المنزلي للمياه خلال عشرين عاماً، وزيادة للسكان بلغت 1.7 في المائة سنوياً (المبادرة بشأن مناخ المحيط الهندي IOCI، 2002). ولئن كانت لم تتح دراسات رسمية عن عزو الأسباب المعنية وقت إصدار تقرير التقييم الرابع AR4، فإن محاكاة المناخ بينت على الأقل أن بعض الجفاف المرصود يتعلق بازدياد ظاهرة الدفيئة (IOCE، 2002). وفي السنوات الأخيرة، نشأ جفاف شديد على مدى سنوات متعددة في الأجزاء الشرقية من أستراليا وفي أجزاء أخرى من جنوبها. وعلى سبيل المثال، كان التدفق الإجمالي الداخل لمجرى نهر موراي على مدى السنوات الخمس السابقة لعام 2006 أخفض مستوى خلال خمس سنوات متعاقبة. [WGII 11.6]

5.3.3 التغيرات المُسقطة

5.3.3.1 المياه

من المحتمل تماماً أن تزداد مشاكل الأمن المائي الحالية بحلول عام 2030 في جنوب أستراليا وشرقها وفي الأجزاء من شرق نيوزيلندا البعيدة عن الأنهار الرئيسية. [WGII 11.ES] ويعتبر حوض نهر موراي دارلنغ أكبر حوض نهري في أستراليا وهو يغذي نحو 70% من زراعة المحاصيل المروية والمراعي (MDBC، 2006). وبالنسبة لسيناريوهي الانبعاثات B1 و SRES A1وطائفة واسعة من نماذج الدوران العام (JCMs)، يتوقع وفقاً للإسقاطات أن ينخفض تدفق مجرى النهر في الحوض بنسب تتراوح بين 10% و25% بحلول عام 2050، وبنسب تتراوح بين 16% و48% بحلول عام 2100، مع حدوث تغيرات في الملوحة تبلغ -8 إلى +19% و - 25 إلى + 72% على التوالي (Beare and Heaney، 2002). [الجدول 1.1.0.5] ويتوقع أن ينخفض الجريان في 29 مستجمعاً فيكتورياً للمياه بنسب تتراوح بين 0 و45% (Jones and Durack، 2005). وبالنسبة للسيناريو ألف 2، تشير الإسقاطات إلى حدوث انخفاض بنسب تتراوح بين 6 و8% في الجريان السنوي في معظم شرق أستراليا، وبنسبة تبلغ 14% في جنوب غرب أستراليا في الفترة 2021-2050 القريبة والمتناسبة مع الفترة من 1961 إلى 1990 (Chiew وآخرون، 2003). وأظهر تقييم للمخاطر بالنسبة لمدينة ملبورن باستخدام 10 نماذج للمناخ (موجهة من سيناريوهات الانبعاثات باء 1 وألف 1 باء وألف 1 واو SRES B1، وA1B وA1F) متوسط انخفاض في تدفق المياه في مجرى النهر يتراوح بين 3 و11% بحلول عام 2020، وبين 7 و35% بحلول عام 2050؛ إلا أن التخطيط بالنسبة لجانب الطلب والإجراءات المتخذة في جانب العرض يمكن أن تخفف من نقص المياه حتى عام 2020 (Howe وآخرون، 2005). ولا يعرف إلا القليل عن التأثيرات التي تحدث بالنسبة للمياه الجوفية في أستراليا في المستقبل. [WGII 11.4.1]

وفي نيوزيلندا، من المرجح جداً أن يحدث على نحو تناسبي قدر أكبر من الجريان في أنهار الجزر الجنوبية في الشتاء وقدر أقل من الجريان في الصيف (Woods and Howard-Williams، 2004) ومن المرجح جداً أن يؤدي ذلك إلى توفير مزيد من المياه لتوليد الطاقة الكهربائية المائية أثناء فترة ذروة الطلب في الشتاء، وإلى تقليل الاعتماد على بحيرات التخزين المائي من أجل نقل القدرة على التوليد إلى الشتاء التالي. إلا أنه من المحتمل أن تعاني الصناعات التي تعتمد على الري (على سبيل المثال صناعات منتجات الألبان، وإنتاج الحبوب، والبستنة) من آثار سلبية بسبب انخفاض إتاحة المياه في الربيع والصيف، وهما وقت ذروة الطلب. ومن المرجح أن يزداد تواتر الجفاف في المناطق الشرقية مع احتمال وقوع خسائر في الإنتاج الزراعي من الأراضي غير المروية (Mullan وآخرون، 2005). والواقع إن آثار تغير المناخ على تواتر الفيضانات والجفاف مؤكدة افتراضياً، وتتشكل بفعل مراحل ظاهرتي النينيو ENSO وتذبذب المحيط الهادئ فيما بين العقود IPO (McKerchar and Henderson، 2003). وقد ادخر مستجمع المياه الجوفية الخاص بمدينة أوكلاند طاقته لتلائم التغذية في إطار جميع السيناريوهات التي بحثت (Mamjou وآخرون، 2006). ومن غير المرجح إلى حد كبير جداً أن تتعرض للخطر التدفقات الأساسية في المجاري المائية الرئيسية والينابيع إلا إذا حدث الجفاف لسنوات كثيرة متتابعة. [WGII 11.4.1.1]

5.3.3.2 الطاقة

يمكن لتغير المناخ أن يؤثر في أستراليا ونيوزيلندا على إنتاج الطاقة في المناطق التي يؤدي فيها انخفاض إمدادات المياه بفعل المناخ إلى انخفاض كمية مياه التغذية اللازمة لتوربينات الطاقة المائية، وماء التبريد اللازم لوحدات الطاقة الحرارية. ومن المرجح جداً في نيوزيلندا، أن تؤدي زيادة سرعة الرياح الغربية إلى زيادة توليد الرياح وانسكاب الهطول في المستجمعات المائية الرئيسية في الجزر الجنوبية، وزيادة الأمطار الشتوية في مستجمع ويكاتو Waikato (وزارة البيئة، 2004). ومن المؤكد فعلاً أن يؤدي الاحترار إلى زيادة ذوبان الثلوج، وتؤدي نسبة هطول المطر إلى التساقط الثلجي، والتدفقات النهرية في الشتاء وأوائل الربيع. ومن المرجح أن يساعد هذا في توليد الطاقة الكهربائية المائية في وقت ذروة الطلب على الطاقة من أجل التدفئة. [WGII 11.4.10]

5.3.3.3 الصحة

من المرجح أن تحدث تغيرات في النطاق الجغرافي لبعض الأمراض المعدية التي يحملها البعوض، من مثل مرض روس ريفر وحمى الدنك والملاريا وفي موسمية انتشار هذه الأمراض. ومن المرجح أن تؤدي أحداث هطول المطر الأقل عدداً لكن الأشد غزارة إلى التأثير على تفقيس البعوض وزيادة التقلبية في المعدلات السنوية للإصابة بمرض روس ريفر، وخصوصاً في المناطق المعتدلة وشبه القاحلة (Woodruff وآخرون، 2002، 2006). وتمثل حمى الدنك خطراً أساسياً في أستراليا؛ فمناخ أقصى الشمال يساعد على زيادة ناقل المرض بالفعل، وهو البعوضة Aedes aegypti (الناقلة الرئيسية لفيروس حمى الدنك)، كما حدثت تفشيات لحمى الدنك مع تزايد تواتر الهطول وكميته في أقصى شمال أستراليا على مدى العقد الماضي. ومن غير المحتمل أن تتوطد

الملاريا ما لم يحدث تدهور هائل في الاستجابة الصحية العمومية (McMichael وآخرون، 2003). [WGII 11.4.11]

وتشكل وفرة المغذيات مشكلة رئيسية فيما يتعلق بنوعية المياه (Davis، 1997؛ SOE، 2001). ومن المرجح أن يظهر تكاثر الطحالب السمية على نحو أكثر تواتراً ولمدد أطول بسبب تغير المناخ. ويمكن لهذه الطحالب أن تشكل خطراً على صحة البشر سواء فيما يتعلق بالاستجمام أو الاستخدام الاستهلاكي للمياه، ويمكنها أن تقتل الأسماك والمواشي والدواجن (Falconer، 1997). ويمكن لإستراتيجيات إدارة التكيف البسيطة المتعادلة من حث الموارد من مثل إستراتيجية التدفقات الفجائية، أن تقلل نسبة ظهور هذه الطحالب السمية وبقائها إلى حد كبير في الكتل المائية (مثل البحيرات والأنهار) الثرية بالغذاء والمتراصفة حرارياً (Viney وآخرون، 2003). [WGII 11.4.1]

5.3.3.4 الزراعة

من المرجح جداً حدوث تحولات واسعة في التوزيع الجغرافي للزراعة وخدماتها. ومن المرجح أن تصبح زراعة الأراضي الحدية الهامشية في المناطق الأكثر جفافاً غير مستدامة بسبب نقص المياه والمخاطر الجديدة على الأمن الأحيائي، والتدهور البيئي والاضطراب الاجتماعي. [WGII 11.7] ومن المرجح أن تتعرض الصناعات القائمة على المحاصيل والصناعات الزراعية الأخرى التي تعتمد على الري لمخاطر عندما تنخفض إتاحة المياه المخصصة للري. فبالنسبة للذرة في نيوزيلندا، يقلل خفض مدة النمو حاجة المحصول إلى المياه، ويتيح تزامناً أوثق مع تطور الأحوال المناخية الفصلية (Sorensen وآخرون، 2000). ويحتمل أن يتغير توزيع زراعة الكروم في كلا البلدين رهناً بالملاءمة مقارنة بالمراعي ذات المردود العالي والحراجة، ورهناً بإتاحة مياه الري وتكاليفها (Hood وآخرون، 2002؛ Miller و Veltman، 2004؛ Jenkins، 2006). [WGII 11.4.3]

5.3.3.5 التنوع الأحيائي

يحتمل أن تكون تأثيرات تغير المناخ على هيكل كثير من النظم الإيكولوجية الطبيعية وعملها وعلى تكوين الأنواع الكائنة فيها، تأثيرات هامة بحلول عام 2020، ومن المؤكد فعلاً أن تؤدي إلى تفاقم الإجهادات القائمة مثل الأنواع الغازية وفقدان الموئل (على سبيل المثال للطيور المهاجرة)، وزيادة احتمال انقراض الأنواع، وتدهور كثير من النظم الطبيعية، وأن تسبب نقصاً في خدمات النظم الإيكولوجية فيما يتعلق بإمدادات المياه. وسيتفاعل تأثير تغير المناخ على موارد المياه أيضاً مع عوامل إجهاد أخرى من مثل الأنواع الغازية، وتشظي الموئل. ومن المرجح جداً أن

الجدول 5.2: *أمثلة لإستراتيجيات تكيف حكومية للتصدي لنقص المياه في أستراليا. [WGII الجدول 11.2]، يرجى ملاحظة أن الأرقام الخاصة بالاستثمار كانت دقيقة وقت إرسال تقرير التقييم الرابع للطبع في عام 2007، بيد أنها لا تعكس التطورات اللاحقة.*

حكومة	الإستراتيجية	الاستثمار	المصدر
أستراليا	مدفوعات معونة الجفاف المقدمة إلى المجتمعات الريفية	0.7 بليون دولار أمريكي من 2001 إلى 2006	دائرة الزراعة ومصائد الأسماك والحراجة DAFF، 2006b
أستراليا	المبادرة الوطنية بشأن المياه التي يدعمها صندوق المياه الأسترالي	1.5 بليون دولار أمريكي من 2004 إلى 2009	دائرة الزراعة ومصائد الأسماك والحراجة DAFF، 2006a
أستراليا	الاتفاق بشأن مياه حوض موراي – دارلنغ	0.4 بليون دولار أمريكي من 2004 إلى 2009	دائرة شؤون رئيس الوزراء ومكتبه DPMC، 2004
فيكتوريا	وحدة المعالجة لشرق ملبورن من أجل الإمداد بالمياه المعاد تدويرها	22.5 مليون دولار أمريكي بحلول عام 2012	مرفق مياه ملبورن، 2006
فيكتوريا	خط أنابيب جديد من بنديغو إلى بالارات، إعادة تدوير للمياه، إنشاء وصلات بين السدود، خفض النزّ من القنوات، اتخاذ تدابير لصون المياه	153 مليون دولار أمريكي بحلول عام 2015	مكتب رئيس وزراء فيكتوريا، 2006
فيكتوريا	حلول خط أنابيب ويميرا مالي محل قنوات الري المكشوفة	376 مليون دولار أمريكي بحلول عام 2010	دائرة الاستدامة والبيئة Vic DSE ، 2006
نيوساوث ويلز	مساعدة صندوق توفير المياه للمشاريع التي توفر المياه، أو تعيد تدويرها في سيدني	98 مليون دولار أمريكي للجولة 3، ثم تقديم أكثر من 25 مليون دولار أمريكي إلى 68 مشروعاً آخر	دائرة الطاقة والمرافق العامة والاستدامة في نيوساوث ويلز DEUS، 2006
كوينزلاند (Qld)	خطة قديمة بشأن المياه من عام 2005 إلى عام 2010 لتحسين كفاءة استخدام المياه ونوعيتها، وإعادة تدوير المياه، والتأهب للجفاف، والتسعير الجديد للماء	يشمل 182 مليون دولار أمريكي للبنية الأساسية للمياه في جنوب شرق كوينزلاند، و302 مليون دولار أمريكي لبرامج بنية أساسية أخرى	حكومة كوينزلاند، 2005
جنوب أستراليا	مشروع أديلايدي للصمود للماء وهو مخطط لإدارة موارد المياه وصونها وتطويرها في أديلايدي حتى عام 2025	غير متاح	حكومة جنوب أستراليا، 2005
غرب أستراليا	إستراتيجية المياه في الولاية (2003) وخطة الولاية المقترحة للمياه ضاعفت شركة المياه WAإمدادات المياه من عام 1996 إلى عام 2006	أنفقت شركة المياه WA 500 مليون دولار أمريكي من عام 1996 إلى عام 2006 ثم 290 مليون دولار أمريكي من أجل وحدة إزالة الملوحة في برت	حكومة غرب أستراليا 2003، 2006: شركة المياه، 2006

يؤدي اقتحام الماء المالح نتيجة لارتفاع مستوى سطح البحر إلى تغيير تشكيل الأنواع في موائل المياه العذبة بما يترتب على ذلك من تأثيرات على مصائد الأسماك في مصبات الأنهار والسواحل (Bunn and Arthington، 2002؛ Hall and Burns، 2002؛ Herron وآخرون، 2002؛ Schallenberg وآخرون، 2003). [WGII 11.ES, 11.4.2]

5.3.4 التكيف وسرعة التأثر

يمكن للتكيف المخطط أن يحد من سرعة التأثر بدرجة كبيرة، وتكمن الفرص المتاحة في هذا الصدد في إدراج المخاطر الناجمة عن تغير المناخ في جانب الطلب كما في جانب العرض، على حد سواء (Allen Consulting Group، 2005). وفي مدن كبرى من مثل برت وبريسبين وسيدني وملبورن وأديلادي وكانبيرا وأوكلاند، تدفع الشواغل المتعلقة بالضغوط السكانية والجفاف الجاري في جنوب أستراليا وشرقها، وتأثير تغير المناخ، القائمين بالتخطيط فيما يتعلق بالمياه إلى بحث مجموعة من خيارات التكيف. ولئن كان بعض التكيف حدث بالفعل استجابة للتغير الملحوظ في المناخ (على سبيل المثال: القيود المطردة على المياه، وإعادة تدوير المياه، وإزالة ملوحة ماء البحر) (انظر الجدول 5.2) [WGII الجدول 11.2,11.6]، فإن كلا البلدين اتخذا خطوات ملحوظة في بناء القدرة على التكيف من خلال زيادة الدعم لأنشطة البحوث والمعرفة، وتوصيل تقييمات مخاطر تغيير المناخ إلى صناع القرار، وإدماج قضية تغير المناخ في السياسات والخطط العامة، وإذكاء الوعي بها، ومعالجة قضايا المناخ معالجة أكثر فعالية. إلا أنه تظل هناك عوائق بيئية واقتصادية ومعلوماتية واجتماعية ومواقفية وسياسية أمام تنفيذ التكيف. [WGII 11.5]

وفي المستجمعات الكائنة في المناطق الحضرية، يمكن استعمال المياه الناجمة عن العواصف وإعادة التدوير لزيادة عرض المياه وإن كانت الترتيبات المؤسسية القائمة والنظم الفنية لتوزيع المياه تقيد التنفيذ. وبالإضافة إلى ذلك، هناك مقاومة مجتمعية لاستعمال المياه المعاد تدويرها في الاستهلاك البشري (مثلاً في مدن من مثل تووومبا في كوينزلاند وغولبورن في نيو ساوث ويلز). ويشكل إنشاء صهاريج لحفظ مياه المطر استجابة أخرى من أجل التكيف، ويتم حالياً متابعته بشكل نشط من خلال سياسات للحوافز وعمليات خصم. وبالنسبة للأنشطة الريفية، تلزم ترتيبات أكثر مرونة للتوزيع عن طريق توسيع أسواق المياه حيث يمكن للاتجار أن يزيد كفاءة استخدام المياه (Beare and Heanez، 2002). ويتحقق تقدم كبير في هذا الصدد. وفي إطار المبادرة الوطنية للمياه، تلتزم الولايات والأقاليم والحكومة الأسترالية حالياً بمتابعة تنفيذ أفضل ممارسات تسعير المياه والترتيبات المؤسسية اللازمة لتحقيق الاتساق في عملية التسعير المتعلقة بالمياه. [WGII 11.5]

وعندما تقترن تأثيرات تغير المناخ باتجاهات أخرى غير مناخية تترتب على ذلك بعض الآثار الخطيرة على الاستدامة في أستراليا ونيوزيلندا، على السواء. وفي بعض مستجمعات الأنهار، حيث تجاوز ازدياد الطلب على الماء في المناطق الحضرية والريفية مستويات العرض المستدامة بالفعل، فإن إستراتيجيات التكيف الجارية والمقترحة [WGII 11.2.5] يرجح أن تحتاج إلى بعض الوقت لتحقق فعاليتها. ومن المرجح أن يتطلب استمرار معدلات التنمية الساحلية تخطيطاً وتنظيماً أشد إحكاماً إذا أريد أن تظل استدامة هذه التطورات. [WGII 11.7]

5.4 أوروبا

5.4.1 السياق

أوروبا قارة مزودة جيداً بالمياه فلديها أنهار عديدة دائمة الجريان يتدفق كثير منها من الجزء الأوسط من القارة. ولديها أيضاً مناطق واسعة ذات تضاريس منخفضة. والأنماط الرئيسية للمناخ في أوروبا هي أنماط بحرية وعابرة وقارية وقطبية بالإضافة إلى مناخ البحر الأبيض المتوسط؛ وأنماط الغطاء النباتي الرئيسية هي التندرا والتايجا الصنوبرية (الغابة الشمالية)، والغابة النفضية المختلطة، والسهوب، ونمط البحر الأبيض المتوسط. وجزء كبير نسبياً من أوروبا مزروع، ويصنف نحو ثلث مساحتها بأنه أراض صالحة للزراعة، والحبوب هي المحاصيل الغالبة عليها. [WGII TAR 13.1.2.1]

وتتسم حساسية أوروبا تجاه تغير المناخ بأن لها تدرجاً مميزاً من الشمال إلى الجنوب، وتشير دراسات كثيرة إلى أن جنوب أوروبا سيكون هو الأشد تأثراً بكثير. (EEA، الوكالة الأوروبية للبيئة 2004). ويتوقع أن يصبح مناخ جنوب أوروبا الحار وشبه القاحل بالفعل أكثر حرارة وجفافاً مما يهدد مجاريه المائية، والطاقة الكهربائية المائية، والإنتاج الزراعي، ومحاصيل الأشجار. ويتوقع حسب الإسقاطات أن يتناقص هطول المطر في وسط أوروبا وشرقها مسبباً زيادة في الإجهاد المائي. وتتسم البلدان الشمالية بسرعة تأثرها أيضاً بتغير المناخ، وإن كان يمكن في المراحل الأولى للاحترار أن تتحقق بعض المنافع من حيث، على سبيل المثال، زيادة غلة المحاصيل ونمو الغابات. [WGII 12.2.3، ملخص لصانعي السياسات]

وتتعلق ضغوط بيئية رئيسية بالتنوع الأحيائي، وشكل صفحة الأرض، وتدهور التربة والأراضي، وتدهور الغابات، ومصادر الخطر الطبيعية، وإدارة المياه، والبيئات الخاصة بالاستجمام. ومعظم النظم الإيكولوجية في أوروبا مُدار أو شبه مُدار؛ وغالباً ما تكون هذه النظم مجزأة أو تعاني من الإجهاد من التلوث وغيره من التأثيرات البشرية المنشأ الأخرى. [WGII TAR 13.1.2.1 تقرير التقييم الثالث]

5.4.2 التغيرات المرصودة

زاد متوسط هطول المطر في الشتاء خلال الفترة 1946-1999 في معظم أوروبا المطلة على المحيط الأطلسي، وشمال أوروبا (Klein Tank وآخرون، 2002)، ويفسر هذا جزئياً في سياق تغيرات شمال المحيط الأطلسي NAW الشتوية (Scaife وآخرون، 2005). وفي منطقة البحر الأبيض المتوسط كانت اتجاهات الهطول السنوية خلال الفترة 1950-2000 سلبية في الجزء الشرقي (Norrant and Douguédroit، 2006). ويلاحظ حدوث زيادة في متوسط الهطول لليوم الممطر في معظم أنحاء القارة، حتى في بعض المناطق التي تزداد جفافاً (Frich وآخرون، 2002؛ Klein Tank وآخرون، 2002؛ Alexander وآخرون، 2006). ونتيجة لهذه التغيرات وغيرها في النظم الهيدرولوجية والحرارية (قارن Auer وآخرون، 2007)، تم توثيق تأثيرات ملحوظة في قطاعات أخرى، يرد بعضها في الجدول 5.3. [WGI الفصل 3؛ WGII 12.2.1]

الجدول 5.3: *عزو التغيرات التي حدثت مؤخراً في النظم الإيكولوجية الطبيعية والمدارة إلى الاتجاهات التي ظهرت مؤخراً في درجات الحرارة والهطول. [مختارة من الجدول WGII 12.1]*

المنطقة/	التغير المرصود	المرجع
النظم الإيكولوجية		
جبال Fennos الكندية ومنطقة شمال أركتيكا البحرية	اختفاء بعض أنواع الأراضي الرطبة (palsa mires) في لابلاند؛ زيادة ثراء الأنواع وتواتر الهطول عند حد الارتفاع الملائم لحياة النبات	Klanderud and Birks، 2003؛ Luoto وآخرون، 2004
الزراعة		
أجزاء من شمال أوروبا	زيادة إجهاد المحاصيل أثناء فصول الصيف الأشد حرارة وجفافاً؛ زيادة المخاطر على المحاصيل من البَرَد	Viner وآخرون، 2006
الغلاف الجليدي		
روسيا	تناقص سُمك وامتداد مساحة التربة دائمة التجمد (التربة الصقيعية) وإلحاق أضرار بالبنية الأساسية	Frauenfeld وآخرون، 2004؛ Mazhitova وآخرون، 2004
جبال الألب	تناقص في الغطاء الثلجي الفصلي (في الارتفاعات المنخفضة)	Latemser and Schneebeli، 2003؛ Martin and Etchevers، 2005
أوروبا	تناقص في حجم الأنهار الجليدية ومساحتها (باستثناء بعض الأنهار الجليدية في النرويج)	Hoelzle وآخرون، 2003

5.4.3 التغيرات المُسقطة

5.4.3.1 المياه

يزداد متوسط الهطول السنوي المُسقط في شمال أوروبا بوجه عام، وبالنسبة لجميع السيناريوهات، ويتناقص كلما اتجهنا جنوباً. إلا أن التغير في الهطول يختلف اختلافاً كبيراً من فصل إلى فصل، وعبر المناطق استجابة للتغيرات في الدوران الواسع النطاق، وحمل بخار الماء. ويُسقط مشروع Räisänen وآخرون (2004) أن الهطول الصيفي سينقص بصورة جوهرية (في بعض المناطق بنسبة 70% في السيناريو ألف 2 A2 من التقرير الخاص بسيناريوهات الانبعاثات للهيئة SRES ((IPCC) في جنوب أوروبا ووسطها، وبدرجة أصغر في وسط اسكندنافيا. وحدد غريغوري Grigori وآخرون (2004) تزايد دوران صديد الإعصار في الصيف فوق منطقة شمال شرق الأطلسي الذي يستحث منضغطاً فوق أوروبا الغربية وأخدوداً فوق أوروبا الشرقية. ويحرف هذا الهيكل المانع العواصف نحو الشمال مسبباً تناقصاً كبيراً وواسع الانتشار في الهطول (يصل إلى نسبة تتراوح بين 30 و45%) فوق حوض البحر الأبيض المتوسط وأوروبا الغربية والوسطى. [WGI الجدول 11.1؛ WGII 12.3.1.1]

ومن المتوقع حسب الإسقاطات أن يكون لتغير المناخ تأثيرات على موارد المياه (الجدول 5.3). وأن يزداد الجريان السنوي في المحيط الأطلسي وشمال أوروبا (Werritty، 2001؛ Andréasson وآخرون، 2004)، وأن ينقص في أوروبا الوسطى والبحر الأبيض المتوسط وأوروبا الشرقية (Chang وآخرون، 2002؛ Etchevers وآخرون، 2002؛ Menzel and Bürger، 2002؛ Iglesias وآخرون، 2005). ويتوقع حسب الإسقاطات أن يزداد متوسط الجريان السنوي في أوروبا الشمالية (شمال خط العرض 47 درجة شمالاً) بنسب تتراوح تقريباً بين 5 و15% حتى عشرينات القرن الحادي والعشرين 2020s وبنسب تتراوح تقريباً بين 9 و22% حتى سبعينات القرن الحادي والعشرين 2070s بالنسبة للسيناريوهين ألف 2 (A2) وباء 2 (B2) وسيناريوهات المناخ من نموذجين مختلفين للمناخ (Alcamo وآخرون، 2007). وفي غضون ذلك، يتوقع أن يتناقص الجريان في جنوب أوروبا (جنوب خط العرض 47 درجة شمالاً) بنسب تتراوح بين 5 و23% حتى عشرينات القرن الحادي والعشرين 2020s وبنسب تتراوح بين 6 و36% حتى سبعينات القرن ذاته 2070s (بالنسبة لمجموعة الافتراضات ذاتها). ويحتمل أن تقل تغذية المياه الجوفية في وسط أوروبا وشرقها (Eitzinger وآخرون، 2003)، مع حدوث قدر أكبر من نقصان هذه المياه في الأودية (Krüger وآخرون، 2002). والأراضي المنخفضة، على سبيل المثال في السهوب الهنغارية (Somlyódy، 2002). [WGII 12.4.1، الشكل 12.1]

وتزداد موسمية التدفقات، بازدياد التدفقات في موسم ذروة التدفقات، ونقصان التدفقات في موسم انخفاض التدفقات أو امتداد نوبات الجفاف (Arnell، 2003، 2004). [WGII 3.4.1] وتظهر الدراسات زيادة في التدفقات الشتوية ونقصاناً في التدفقات الصيفية في نهر الراين (Middekoop and Kwadijk، 2001)، والأنهار السلوفاكية (Szolgay وآخرون، 2004)، ونهر الفولجا، وأنهار أوروبا الوسطى والشرقية (Oltchev وآخرون، 2002). ويتوقع بداءة، أن يؤدي تراجع الأنهار الجليدية إلى زيادة التدفقات الصيفية في أنهار مناطق الألب. ومع ذلك، عندما تتقلص الأنهار الجليدية، يتوقع أن تنخفض التدفقات الصيفية (Hock وآخرون، 2005). بنسب تصل إلى 50% (Zierl and Bugmann، 2005). ويتوقع أن ينقص التدفق المنخفض في الصيف بنسب تصل إلى 50% في أوروبا الوسطى (Eckhardt and Ulbrich، 2003) وبنسب تصل إلى 80% في بعض أنهار جنوب أوروبا (Santos وآخرون، 2002). [WGII 12.4.1]

وأكثر المناطق تعرضاً لحدوث زيادة في مخاطر الجفاف هي منطقة البحر الأبيض المتوسط وبعض أجزاء أوروبا الوسطى والشرقية حيث يتوقع أن تحدث أكبر زيادة في الطلب على مياه الري (Doll، 2002؛ Donevska and Dodeva، 2004). ويتطلب ذلك وضع تخطيط لاستخدام الأراضي المستدام. ويتوقع أن تصبح احتياجات الري كبيرة في بلدان (مثل أيرلندا) حيث بالكاد توجد هذه المياه (Holden وآخرون، 2003). ومن المحتمل

الجدول 5.4: تأثير تغير المناخ على الجفاف وحدوث الفيضانات في أوروبا في شرائح زمنية مختلفة وفي أطر سيناريوهات مختلفة تستند إلى نموذجي ECHAM4 (نموذج الغلاف الجوي للمركز الأوروبي بهامبورغ) وHadCM3 (نموذج الدوران العام الغلاف الجوي – المحيط في مركز Hadley وأماكن أخرى). [WGII الجدول 12.2]

الشريحة الزمنية	إتاحة المياه وحالات الجفاف	الفيضانات
2020s	زيادة في الجريان السنوي في شمال أوروبا بنسب تصل إلى 15% ونقصان في جنوب أوروبا بنسب تصل إلى 23% [أ]	تزايد مخاطر الفيضانات الشتوية في شمال أوروبا والفيضانات الخاطفة في كل أنحاء أوروبا
	حدوث نقصان في التدفق الصيفي[د]	مخاطر حدوث تحولات في الفيضانات الناجمة عن ذوبان الثلوج في الفترة من الربيع إلى الشتاء[ج]
2050s	حدوث نقصان في الجريان السنوي بنسب تتراوح بين 20 و30% في جنوب شرق أوروبا [ب]	
2070s	زيادة الجريان السنوي في الشمال بنسب تصل إلى 30% وحدوث نقصان يصل إلى 36% في الجنوب[أ]	يتوقع أن تحدث الفيضانات التي بلغ عمرها حالياً 100 عام، على نحو أكثر تواتراً في شمال وشرق أوروبا (السويد، وفنلندا، وشمال روسيا)، وأيرلندا وأوروبا الوسطى والشرقية (بولندا، والأنهار الألبية)، وفي الأجزاء الأطلسية من جنوب أوروبا (إسبانيا والبرتغال)، وأن تحدث على نحو أقل تواتراً في أجزاء كبيرة من جنوب أوروبا [ج]
	حدوث نقصان في التدفق الصيفي المنخفض تصل نسبته إلى 80% [ب، د]	
	تناقص مخاطر الجفاف في شمال أوروبا، وتزايد مخاطر الجفاف في غرب وجنوب أوروبا. ويتوقع بحلول عام 2070، بالنسبة لحالات الجفاف التي بلغ عمرها اليوم 100 عام، أن تعود، في المتوسط، كل 10أعوام (أو أقل) في أجزاء من إسبانيا والبرتغال وغرب فرنسا وحوض نهر الفستولا في بولندا وفي غرب تركيا [ج]	

[أ] Alcamo وآخرون، 2007؛ [ب] Armell، 2004؛ [ج] Lehner وآخرون، 2006؛ [د] Santos وآخرون، 2002.

أنه، بسبب تغير المناخ وتزايد سحب المياه، ستزداد المساحة المتأثرة بالإجهاد المائي الشديد (نسبة السحب/الإتاحة أعلى من 40%)، وتؤدي إلى تزايد المنافسة على موارد المياه المتاحة (Alcamo وآخرون، 2003b؛ Schröter وآخرون، 2005). [WGII 12.4.1]

مخاطر الفيضانات والجفاف في المستقبل (انظر الجدول 5.4). يتوقع أن تزداد مخاطر الفيضانات في كافة أنحاء القارة. والمناطق الأكثر تعرضاً لحدوث زيادة في تواتر الفيضانات هي أوروبا الشرقية ثم شمال أوروبا وساحل المحيط الأطلسي وأوروبا الوسطى في حين تُظهر الإسقاطات بالنسبة لجنوب أوروبا وجنوب شرقها زيادات هامة في تواتر نوبات الجفاف. وفي بعض المناطق، يتوقع أن تزداد مخاطر الفيضانات ونوبات الجفاف على نحو متزامن. [WGII الجدول 12.4]

وتبين لكريستنسن وكريستنسن (Christensen 2003) وجيورجي (Giorgi وآخرون (2004)، وكيلستروم (Kjellström 2004) وكوندزفيش (Kundzewiez وآخرون (2006) حدوث زيادة في شدة أحداث الهطول اليومية. وينطبق ذلك حتى بالنسبة للمناطق التي ينخفض فيها متوسط الهطول مثل أوروبا الوسطى ومنطقة البحر الأبيض المتوسط. وتأثير هذا التغير على منطقة البحر الأبيض المتوسط أثناء الصيف تأثير غير واضح بسبب المكوّن الحملي للمطر وتقلبيته المكانية الكبيرة (Llasat، 2001). [WGII 12.3.1.2]

ومن شأن الآثار المشتركة لارتفاع درجات الحرارة وانخفاض متوسط الهطول في الصيف أن يعزز حدوث موجات الحر ونوبات الجفاف. ويخلص Schär وآخرون (2004) إلى أن المناخ الصيفي الأوروبي سيشهد في المستقبل زيادة واضحة في التقلبية فيما بين السنوات، وبالتالي ارتفاعات في معدل الموجات الحرارية ونوبات الجفاف. وقد تشهد منطقة البحر الأبيض المتوسط وحتى جزء كبير من أوروبا الشرقية زيادة في فترات الجفاف في أواخر القرن الحادي والعشرين (Polemio and Casarano، 2004). ووفقاً لما أشار إليه Good وآخرون، سيزداد الطول الزمني لأطول نوبة جفاف سنوية بنسبة كبيرة تصل إلى 50% خصوصاً في فرنسا وأوروبا الوسطى. إلا أن هناك بعض الأدلة الحديثة العهد (Lenderink وآخرون، 2007) على أنه قد تكون هناك مغالاة طفيفة في تقدير هذه الإسقاطات لنوبات الجفاف والموجات الحرارية، بسبب تحديد بارامترات (معلمات) رطوبة التربة في نماذج المناخ الإقليمي. ولابد أن يؤدي نقصان الهطول الصيفي في جنوب أوروبا المصحوب بتزايد ارتفاع درجات الحرارة الذي يزيد التبخر إلى خفض رطوبة التربة في الصيف (cf. Douville وآخرون، 2002) وإلى نوبات جفاف أكثر تواتراً وشدة. [WGII 3.4.3, 12.3.1]

وتشير الدراسات إلى حدوث نقصان في الفيضانات التي تحدث أثناء فترة ذروة ذوبان الثلوج في ثمانينات القرن الحادي والعشرين 2080s في أجزاء من المملكة المتحدة (Kay وآخرون، 2006b)، بيد أن تأثير تغير المناخ على نظام الفيضانات يمكن أن يكون إيجابياً أو سلبياً على السواء، مما يسلط الأضواء على عدم اليقين الذي لايزال قائماً فيما يتعلق بتأثيرات تغير المناخ (Renard وآخرون، 2004). وقد حلل Palmer وRäisänen (2002) الاختلافات المنمذجة في الهطول الشتوي بين التشغيل الاختباري، ونموذج مجموعة ذات زيادة عابرة في ثاني أكسيد الكربون، ومحسوبة حول وقت مضاعفة ثاني أكسيد الكربون. وتبين أيضاً حدوث زيادة كبيرة في أوروبا في مخاطر حلول شتاء ممطر جداً. وتبين أن احتمال تجاوز إجمالي الهطول الشتوي في الشمال لانحرافين معياريين فوق المعتاد، يزداد زيادة كبيرة (حتى من خمس إلى سبع مرات) على مناطق واسعة في أوروبا، بما ينجم عن ذلك من نتائج مرجحة بالنسبة لمخاطر حدوث فيضان شتوي. [WGII 3.4.3]

5.4.3.2 الطاقة

تعد الطاقة الكهربائية المائية مصدراً رئيسياً للطاقة المتجددة في أوروبا (19.8% من الكهرباء المتولدة). وبحلول 2070s، يتوقع أن ينخفض جهد الطاقة الكهربائية المائية لعموم أوروبا بنسبة 6%، يتمثل في نسبة نقصان تتراوح بين 20 و50% حول البحر الأبيض المتوسط ونسبة زيادة تتراوح

بين 15 و30% في شمال أوروبا وشرقها، ونمط مستقر للطاقة الكهربائية المائية في غرب أوروبا ووسطها (Lehner وآخرون، 2005). ويتحدد إنتاج الوقود الأحيائي إلى حد كبير بفعل توافر الرطوبة وطول أمد موسم النمو (Olsen and Bindi، 2002). [WGII 12.4.8.1]

5.4.3.3 الصحة

ويحتمل أيضاً أن يؤثر تغير المناخ على نوعية وكمية المياه في أوروبا، ومن ثم على مخاطر تلوث إمدادات المياه العمومية والخاصة (Miettinen وآخرون، 2001؛ Hunter، 2003؛ Elpiner، 2004؛ Kovats and Tirado، 2006). ويمكن لكلا هطول الأمطار والجفاف المتطرفين أن يزيدا الحمل الميكروبي الإجمالي في المياه العذبة وأن تكون لهما آثارهما على تفشي الأمراض، ومراقبة نوعية المياه (Howe وآخرون، 2002؛ Kistemann وآخرون، 2002؛ Opopol وآخرون، 2003؛ Knight وآخرون، 2004؛ Schijven and de Roda Husman، 2005). [WGII 12.4.11]

5.4.3.4 الزراعة

يتوقع أن تؤدي الزيادة المتنبأ بها في أحداث الطقس المتطرفة (مثل نوبات الحرارة المرتفعة والجفاف) (Meehl and Tebaldi، 2004؛ Schär وآخرون، 2004؛ Beniston وآخرون، 2007) إلى زيادة تقلبية غلات المحاصيل (Jones وآخرون، 2003b) وانخفاض متوسطاتها (Trnka وآخرون، 2004). ومن المرجح بوجه خاص، في الجزء الأوروبي من منطقة البحر الأبيض المتوسط، أن تؤدي الزيادة في تواتر أحداث المناخ المتطرفة أثناء مراحل نمو محددة للمحاصيل (مثل الإجهاد الحراري أثناء فترة الإزهار، والأيام الممطرة أثناء مواعيد البذار)، بالإضافة إلى زيادة شدة الأمطار وتطاول أمد نوبات الجفاف إلى خفض غلات المحاصيل الصيفية (مثل عباد الشمس). [WGII 12.4.7.1]

5.4.3.5 التنوع الأحيائي

يتوقع أن تختفي نظم كثيرة مثل مناطق التربة الصقيعية في المنطقة القطبية الشمالية (أركتيكا) والنظم الإيكولوجية المائية سريعة الزوال (قصيرة العمر) في منطقة البحر الأبيض المتوسط [WGII 12.4.3]

ومن المرجح أن يسبب فقدان التربة الصقيعية في أركتيكا (ACIA، 2004) نقصاناً في بعض أنواع الأراضي الرطبة في منطقة التربة الصقيعية الحالية (Ivanov and Maximov، 2003). ويمكن أن يكون من نتيجة الاحترار زيادة مخاطر تكاثر الطحالب وزيادة نمو البكتريا الزرقاء السامة في البحيرات (Moss وآخرون، 2003؛ Straile وآخرون، 2003؛ Briers وآخرون، 2004؛ Eisenreich، 2005). ويمكن لزيادة الهطول ونقصان الصقيع أن يزيدا فقدان المواد المغذية من الحقول المزروعة مما ينتج عنه زيادة في حمل المواد المغذية (Bouraoui وآخرون، 2004؛ Kaste وآخرون، 2004؛ Eisenreich، 2005) التي تؤدي إلى وفرة مكثفة للمغذيات في البحيرات والأراضي الرطبة (Jeppesen وآخرون، 2003). كما سيؤدي ارتفاع درجات الحرارة إلى خفض مستويات التشبع بالأوكسيجين المذاب، وزيادة مخاطر استنفاد الأوكسيجين (Sand-Jensen and Pedersen، 2005). [WGII 12.4.5]

ومن المرجح أن يؤدي ارتفاع درجات الحرارة إلى ازدياد ثراء الأنواع في النظم الإيكولوجية للمياه العذبة في شمال أوروبا ونقصانها في أجزاء من جنوب غرب أوروبا (Guitérrez Teira وآخرون، 2003). [WGII 12.4.6]

5.4.4 التكيف وسرعة التأثر

سيثير تغير المناخ تحديين رئيسيين فيما يتعلق بإدارة المياه في أوروبا هما: تزايد الإجهاد المائي في جنوب شرق أوروبا أساساً، وتزايد مخاطر الفيضانات في معظم أنحاء القارة. وخيارات التكيف الملائمة للاستجابة لهذين التحديين موثقة جيداً (الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ IPCC، 2001B). ويحتمل أن تظل الخزانات والسدود هي التدابير الهيكلية الرئيسية للحماية من الفيضانات في مناطق الأراضي المرتفعة والأراضي المنخفضة، على التوالي (Hooijer وآخرون، 2004). إلا أن هناك خيارات تكيف مخططة أخرى تتزايد شعبيتها مثل توسيع مساحات السهول الفيضية أو الغمرية (Helms وآخرون، 2002) والمستودعات الخاصة بالفيضانات الطارئة (Somlyódy، 2002)، والمناطق المخصصة لمياه الفيضانات (Silander وآخرون، 2006)، والتنبؤ بالفيضانات ونظم الإنذار بها، وخصوصاً الفيضانات الخاطفة. وتعمل المستودعات متعددة الأغراض باعتبارها تدابير للتكيف في مواجهة الفيضانات ونوبات الجفاف، على السواء. [WGII 12.5.1]

ولتحقيق التكيف مع تزايد الإجهاد المائي، فإن أكثر الإستراتيجيات شيوعاً وتخطيطاً تظل تدابير على جانب العرض، من مثل تجميع مياه الأنهار لتشكل مستودعات داخل مجاريها (Santos وآخرون، 2002؛ Iglesias وآخرون، 2005). إلا أنه يتزايد تقييد بناء خزانات جديدة في أوروبا بفعل الأنظمة البيئية (Barreira، 2004) وارتفاع تكاليف الاستثمار (Schröter وآخرون، 2005). وتُبحَث على نطاق واسع نهج أخرى على جانب العرض مثل إعادة استعمال المياه المستعملة وإزالة الملوحة لكن شعبيتها آخذة في الضعف، على التوالي، بفعل الشواغل الصحية المرتبطة باستخدام المياه المستعملة (Geres، 2004) وارتفاع تكاليف الطاقة المستخدمة في إزالة الملوحة (Iglesias وآخرون، 2005). وبعض الإستراتيجيات المخططة على جانب الطلب ممكنة التحقيق عملياً أيضاً (AEMA، 2002) من مثل صون الماء للأسر المعيشية والأنشطة الصناعية الزراعية، والحد من تسرب المياه من النظم المخصصة للري والبلديات (Donevska and Dodeva، 2004؛ Geres، 2004) وتسعير المياه (Iglesias وآخرون، 2005). وقد ينخفض الطلب على مياه الري عن طريق إدخال محاصيل أنسب للمناخ المتغير. وأحد الأمثلة على نهج أوروبي فريد للتكيف مع الإجهاد المائي هو أن الإستراتيجيات الإقليمية وعلى مستوى مستجمعات المياه الموضوعة للتكيف مع تغير المناخ يجري إدماجها في الخطط الخاصة بالإدارة المتكاملة للمياه (Kabat وآخرون، 2002؛ Cosgrove وآخرون، 2004؛ Kashyap، 2004)، في حين تصمم إستراتيجيات وطنية لتناسب هياكل الحكم القائمة (Donevska and Dodeva، 2004). [WGII 12.5.1]

ويجري وضع إجراءات التكيف وتنفيذ ممارسات لإدارة المخاطر الخاصة بالقطاع المائي في بعض البلدان والمناطق (على سبيل المثال هولندا والمملكة المتحدة وألمانيا) التي تدرك عدم اليقين من التغيرات الهيدرولوجية المسقطة. [WGII 3.ES, 3.2, 3.6]

5.5 أمريكا اللاتينية

5.5.1 السياق

تزايد السكان مستمر في أمريكا اللاتينية بما ينتج عن ذلك من زيادة الطلب على الغذاء. ونظراً لأن اقتصادات معظم بلدان أمريكا اللاتينية تعتمد على الإنتاجية الزراعية، فإن الاختلافات الإقليمية في غلات المحاصيل مسألة هامة جداً. وتتسم أمريكا اللاتينية بالتنوع الكبير في مناخها نتيجة لتشكيلها الجغرافي. كما تضم المنطقة مساحات واسعة قاحلة وشبه قاحلة. ويتراوح طيف التغيرات المناخية من المناخ البارد والارتفاعات العالية الجليدية إلى المناخ المعتدل والمناخ المداري. وقد تراجعت الأنهار الجليدية بوجه عام في العقود الأخيرة، واختفى بالفعل بعض الأنهار الجليدية الصغيرة جداً.

وتصب أنهار الأمازون وبارانا – بلاتا وأورينوكو معاً في المحيط الأطلسي أكثر من 30% من المياه العذبة المتجددة في العالم. إلا أن موارد المياه هذه موزعة توزيعاً سيئاً، ولا تتاح لمناطق واسعة سوى كميات مياه محدودة جداً (Mata وآخرون، 2001). وتحدث حالات إجهاد فيما يتعلق بإتاحة المياه ونوعيتها عندما يحدث انخفاض في الهطول أو ارتفاع في درجات الحرارة. وتؤدي حالات الجفاف التي ترتبط إحصائياً بأحداث ظاهرة النينيو في أمريكا اللاتينية إلى فرض قيود صارمة على موارد المياه في مناطق كثيرة من أمريكا اللاتينية.

5.5.2 التغيرات الملحوظة

5.5.2.1 المياه

خضعت أمريكا اللاتينية على مدى العقود الثلاثة الماضية لتأثيرات تتعلق بالمناخ، يرتبط بعضها بأحداث ظاهرة النينيو، وتتمثل فيما يلي:

- حدوث زيادات في الظواهر المناخية المتطرفة من مثل الفيضانات ونوبات الجفاف والانهيالات الأرضية (مثلاً هطول غزير في فنزويلا (1999 و2005)؛ الفيضان في باماس الأرجنتينية (2000 و2002)، والجفاف في منطقة الأمازون (2005)، وعواصف البَرَد المدمرة في بوليفيا (2002) وفي بوينس آيرس (2006)، وإعصار كتارينا في المحيط الأطلسي الجنوبي (2004)، والموسم القياسي لأعاصير الهاريكين في منطقة البحر الكاريبي في عام 2005). وازداد معدل حدوث الكوارث المتعلقة بالمناخ بمقدار 2.4 مرة بين فترتي 1970-1999 و2000-2005، مواصلاً الاتجاه الملحوظ أثناء التسعينات. ولم يقيَّم اقتصادياً سوى 19% من الأحداث التي وقعت بين عام 2000 وعام 2005 وتسببت في خسائر بلغت قيمتها زهاء 20 بليون من دولارات الولايات المتحدة (Nagy وآخرون، 2006). [WGII 13.2.2]
- حدوث إجهاد بالنسبة لتوافر المياه: فرضت حالات الجفاف التي ارتبطت بظاهرة النينيا Niña قيوداً صارمة على إمدادات المياه وطلبات الري في الغرب الأوسط للأرجنتين ووسط شيلي. وأدت حالة الجفاف المرتبطة بظاهرة النينيو EL Niño إلى خفض تدفق نهر كوكا في كولومبيا. [WGII 13.2.2]
- لوحظت زيادات في الهطول في جنوب البرازيل، وباراغواي وأوروغواي، وشمال شرق الأرجنتين (باماس)، وأجزاء من بوليفيا، وشمال غرب بيرو، وإكوادور، وشمال غرب المكسيك، وتسبب ارتفاع معدل الهطول في زيادة بلغت نسبتها 10% في تواتر الفيضانات من نهر الأمازون عند أوبيدوس؛ وزيادة بلغت نسبتها 50% في تدفق مجاري الأنهار الكائنة في أوروغواي وبارانا وباراغواي؛ ومزيد من الفيضانات في حوض مامور في منطقة الأمازون البوليفية. ولوحظت أيضاً زيادة في أحداث المطر وأيام الجفاف المتعاقبة في المنطقة. وعلى خلاف ذلك، لوحظ اتجاه نحو الانخفاض في الهطول في شيلي، وجنوب غرب الأرجنتين، وشمال شرق البرازيل، وجنوب بيرو وغرب أمريكا الوسطى (مثل نيكاراغوا). [WGII 13.2.4.1]
- بلغ معدل ارتفاع مستوى سطح البحر ما يتراوح بين 2 و3 ملليمتر سنوياً أثناء العشرة إلى العشرين عاماً الأخيرة في الجنوب الشرقي لأمريكا الجنوبية. [WGII 13.2.4.1]
- ونقصت مساحة الأنهار الجليدية في مناطق الأنديز المدارية في بوليفيا وبيرو وإكوادور وكولومبيا بقدر مماثل للتغيرات العالمية منذ نهاية العصر الجليدي القصير (انظر الشكل 5.9). وكانت أصغر الأنهار الجليدية هي أشدها تأثراً (انظر الإطار 5.5). وأسباب هذه التغيرات ليست هي نفس أسباب التغيرات التي تحدث في الارتفاعات المتوسطة والعالية إذ إنها تتعلق باتحاد عوامل معقدة ومتباينة مكانياً تشمل ارتفاع درجات الحرارة والتغيرات في محتوى الغلاف الجوي من الرطوبة. [WGII 4.5.3]

وترد في الجدول 5.5 وفي الشكل 5.8 إشارات أخرى إلى الاتجاهات الملحوظة فيما يتعلق بالمتغيرات الهيدرولوجية.

5.5.2.2 الطاقة

الطاقة الكهرمائية هي المصدر الرئيسي للطاقة الكهربائية في معظم بلدان أمريكا اللاتينية، وهي سريعة التأثر بالاختلافات الواسعة النطاق والمستمرة في هطول المطر بسبب ظاهرتي النينيو والنينيا، حسبما لوحظ في الأرجنتين وكولومبيا والبرازيل وشيلي وبيرو وأوروغواي وفنزويلا. وتسبب اتحاد عاملي زيادة الطلب على الطاقة ونوبات الجفاف في تعطل فعلي للطاقة الكهربائية المائية في معظم أنحاء البرازيل في عام 2001، وأسهم في خفض الناتج الداخلي الإجمالي (Kane, 2002). كما يؤثر تراجع الأنهار الجليدية على توليد الطاقة الكهرمائية، حسبما لوحظ في مدينتي لاباز وليما. [WGII 13.2.2, 13.2.4]

5.5.2.3 الصحة

ثمة أوجه ارتباط بين الظواهر المتطرفة المتعلقة بالمناخ، والصحة في أمريكا اللاتينية. فنوبات الجفاف تشجع تفشي الأوبئة في كولومبيا وغيانا، بينما تولد الفيضانات الأوبئة في المنطقة الساحلية الشمالية الجافة في بيرو (Gagnon وآخرون، 2002). ويبدو أن الاختلافات السنوية في حمى الدنك/حمى الدنك النزفية في هندوراس ونيكاراغوا تتعلق بتقلبات راجعة إلى تأثير المناخ فيما يتعلق بكثافة عوامل نقل المرض (درجة الحرارة، والرطوبة، والإشعاع الشمسي، والمطر) (Patz وآخرون، 2005). وتؤدي الفيضانات إلى تفشي مرض داء البريميات leptospirosis في البرازيل، وخصوصاً في المناطق كثيفة السكان التي تفتقر إلى نظم الصرف الكافية (Ko وآخرون، 1999؛ Kupek وآخرون، 2000). وربما يرتبط توزيع انتشار البلهارسيا بعوامل مناخية. وفيما يتعلق بالأمراض التي تنقلها القوارض، ثمة أدلة جيدة على أن بعض الزيادات في الإصابة بها تلاحظ أثناء/بعد المطر الغزير والفيضان بسبب تغير أنماط الاتصال بين البشر – والعامل المسبب للمرض – والقوارض.

الجدول 5.5: بعض الاتجاهات التي ظهرت مؤخراً في المتغيرات الهيدرولوجية [WGII الجدول 13.1، الجدول 13.2، الجدول 13.3]

الهطول (التغير مبين بالنسبة المئوية ما لم ينص على خلاف ذلك)	الفترة	التغير
الاتجاهات الحالية في الهطول (WGII الجدول 13.2)		
منطقة الأمازون – الشمالية/الجنوبية (Marengo، 2004)	1999-1949	-11 إلى -17/-23 إلى +18
منطقة الأمازون البوليفية (Ronchail وآخرون، 2005)	منذ عام 1970	+15
الأرجنتين – الوسط والشمال الشرقي (Penalba and Vargas، 2004)	2000-1900	+1 SD إلى +2 SD
أوروغواي (Bidegain وآخرون، 2005)	2002-1961	+20
شيلي (الوسط) (Camilloni، 2005)	الـ 50 عاماً الأخيرة	-50
كولومبيا (Pabón، 2003)	1990-1961	-4 إلى +6
أحداث هيدرولوجية متطرفة مختارة وتأثيراتها، 2004-2006 (WGII الجدول 13.1)		
أمطار غزيرة أيلول/سبتمبر 2005	كولومبيا: وفاة 70 شخصاً، ووقوع 86 مصاباً، و6 حالات اختفاء و140000 شخص ضحايا الفيضان (الإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي NOAA، 2005).	
أمطار غزيرة شباط/فبراير 2005	فنزويلا: هطول غزير للمطر (أساساً على الساحل الأوسط وفي جبال الأنديز)، فيضانات شديدة وانهيالات أرضية كبيرة، وخسائر بلغت قيمتها 52 مليوناً من دولارات الولايات المتحدة؛ ووفاة 63 شخصاً، وإصابة 175000 شخص (جامعة فنزويلا المركزية UCV، 2005؛ DNPC، 2006/2005).	
نوبات جفاف 2006-2004	الأرجنتين – شاكو: خسائر تقدر بـ 360 مليوناً من دولارات الولايات المتحدة؛ فقدان 120000 من رؤوس الماشية، وإجلاء 10000 شخص في 2004 (SRA, 2005). وكذلك في بوليفيا وباراغواي: 2005/2004 البرازيل – منطقة الأمازون: ضَرَب جفاف شديد وسط وجنوب غرب المنطقة ربما اقترن بارتفاع درجات حرارة سطح البحر في منطقة المحيط الأطلسي الشمالي المدارية (http://www.cptec.inpe.br/). البرازيل – ريو جراندي دو سول: انخفاض بنسبة 65% و55% في إنتاج فول الصويا والذرة (http://www.ibge.gov.br/home/ InEnglish: http://www.ibge.gov.br/english/)	
اتجاهات تراجع الأنهار الجليدية (WGII الجدول 13.3)		
الأنهار الجليدية/ الفترة	*التغيرات/التأثيرات*	
بيرو أ ب الـ 35 عاماً الأخيرة	نقصان المساحة الإجمالية للأنهار الجليدية بنسبة 22% (قارن الشكل 5)؛ انخفاض كمية المياه العذبة في المنطقة الساحلية (حيث يعيش 60% من سكان البلد) بنسبة 12%. وتقدر الخسارة في كمية المياه بـ 7 000 6 10 x م 3 تقريباً	
بيرو ج الـ 30 عاماً الأخيرة	نقصان تصل نسبته إلى 80% في المساحة السطحية للأنهار الجليدية الصغيرة جداً؛ وخسارة تبلغ 188 6 10 x م 3 في احتياطيات المياه أثناء الخمسين عاماً الأخيرة.	
كولومبيا د 2000-1999	تقلص في مساحة الأنهار الجليدية بنسبة 82%، ويتوقع في إطار الاتجاه المناخي الحالي أن تختفي الأنهار الجليدية في كولومبيا تماماً في غضون المائة سنة المقبلة.	
إكوادور هـ 1998-1956	حدث تقلص تدريجي في طول النهر الجليدي؛ وانخفاض في إمدادات المياه اللازمة للري؛ وإمدادات المياه النظيفة لمدينة كيتو.	
بوليفيا و منذ منتصف التسعينات	التقلص المُسقط للنهر الجليدي في بوليفيا ينبئ بنتائج معاكسة بالنسبة لإمدادات المياه وتوليد الطاقة الكهرمائية لمدينة لاباز. انظر أيضاً الإطار 5.5.	

أ Vásquez، 2004؛ ب Mark and Seltzer، 2003؛ ج NC-Penú، 2001؛ د NC-Colombia، 2001؛ هـ NC-Ecuador، 2000؛ و Francou وآخرون، 2003.

وفي بعض المناطق الساحلية لخليج المكسيك، اقترن الارتفاع في درجة حرارة سطح البحر وزيادة الهطول بالزيادة في دورات سريان حمى الدنك (Hurtado-Diaz وآخرون، 2006). [WGII 13.2.2, 8.2.8.3]

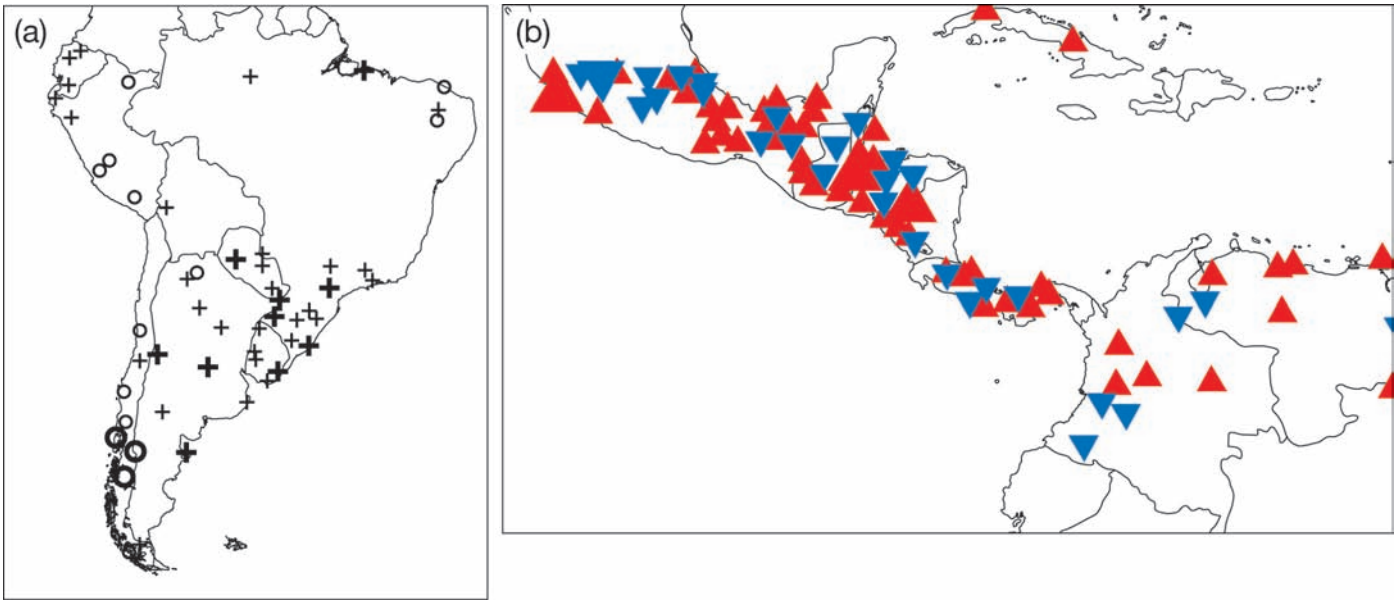
5.5.2.4 الزراعة

نتيجة لشدة هطول المطر وارتفاع نسبة الرطوبة التي سببتها ظاهرة النينيو EL Niño، لوحظت عدة أمراض تسببها الفطريات في الذرة والبطاطس والقمح والفاصوليا في بيرو. وأشير إلى حدوث بعض التأثيرات الإيجابية في منطقة بامباس الأرجنتينية حيث أدت الزيادة في الهطول إلى زيادة في غلات المحاصيل اقتربت من نسبة 38% في فول الصويا، و18% في الذرة، و13% في القمح و12% في عباد الشمس. وعلى نفس النحو، ازدادت إنتاجية المراعي بنسبة 7% في الأرجنتين وأوروغواي. [WGII 13.2.2, 13.2.4]

5.5.2.5 التنوع الأحيائي

هناك دراسات قليلة تعالج آثار تغير المناخ على التنوع الأحيائي، ومن الصعب فيها جميعاً التمييز بين الآثار التي سببها تغير المناخ والآثار الناجمة عن عوامل أخرى. ويزداد تعرض الغابات المدارية في أمريكا اللاتينية، وخصوصاً غابات منطقة الأمازون لاشتعال الحرائق بسبب ازدياد نوبات الجفاف المرتبطة بظاهرة النينيو، وتغير استخدام الأراضي (إزالة الأحراج، التشبع الانتقائي بالمياه، وتشذر الغابات). [WGII 13.2.2]

وفيما يتعلق بالتنوع الأحيائي، تبين أن تجمعات العلجوم (ضفدع الطين) والضفادع في غابات السحب تتأثر بعد سنوات من انخفاض هطول المطر. وتبين في أمريكا الوسطى والجنوبية، وجود صلات بين ارتفاع درجات الحرارة وانقراض الضفادع الذي يسببه مرض



الشكل 5.8: *الاتجاهات الملحوظة في هطول المطر السنوي في (أ) أمريكا الجنوبية (1960-2000). الزيادة مبينة بعلامة زائد، والنقصان بدائرة؛ والقيم المعبر عنها بلون أسود تدل على الأهمية عند $P \leq 0.05$ (معاد نشرها من Haylock وآخرين (2006) بإذن من الجمعية الأمريكية للأرصاد الجوية). (ب) أمريكا الوسطى وشمال أمريكا الجنوبية (1961-2003). تدل المثلثات الحمراء الكبيرة على اتجاهات إيجابية هامة، والمثلثات الحمراء الصغيرة على اتجاهات إيجابية غير هامة، والمثلثات الزرقاء الكبيرة على اتجاهات سلبية هامة، والمثلثات الزرقاء الصغيرة على اتجاهات سلبية غير هامة (معاد نشرها من Aguilar وآخرين (2005) بإذن من الاتحاد الجيوفيزيائي الأمريكي. [WGII الشكل 13.1]*

(Batrachochytrium dendrobatidis) الجلدي. وأثبتت دراسة لبيانات شملت الفترة من 1977 إلى 2001 أن غطاء الشعاب المرجانية في الحيد البحري للبحر الكاريبي نقص بمتوسط بلغت نسبته 17% في السنة التي أعقبت هبوب إعصار الهاريكين دون أن يظهر دليل على استعادة هذا الغطاء بعد ما لا يقل عن ثماني سنوات من حدوث التأثير. [WGII 13.2.2]

5.5.3 التغيرات المُسقطة

5.5.3.1 المياه والمناخ

يتراوح متوسط الاحترار المُسقط لأمريكا اللاتينية في عام 2100، وذلك بثقة متوسطة، ووفقاً لنماذج مناخ مختلفة بين درجة واحدة مئوية و4 درجات مئوية بالنسبة لسيناريو الانبعاثات باء 2 (B2)، وبين درجتين مئويتين و6 درجات مئوية بالنسبة للسيناريو ألف 2 (A2). وتشير معظم إسقاطات نموذج الدوران العام (GCM) إلى اختلافات أكبر (إيجابية أو سلبية) في هطول المطر في المنطقة المدارية، واختلافات أصغر في الجزء من أمريكا الجنوبية الكائن خارج المنطقة المدارية. وبالإضافة إلى ذلك، يتوقع في الإسقاطات أن تصبح الفصول الجافة المتطرفة أكثر تواتراً في أمريكا الوسطى، في جميع الفصول. وبخلاف هذه النتائج، هناك اتفاق ضئيل نسبياً بين النماذج على التغيرات في تواتر المواسم المتطرفة للهطول. وبالنسبة للهطول اليومي المتطرف، تشير دراسة استندت إلى نموذجين من النماذج المتقارنة للدوران العام بين الغلاف الجوي والمحيطات والجليد البحري AOGCMs إلى زيادة في عدد الأيام الممطرة في أجزاء من جنوب شرق أمريكا الجنوبية ومنطقة الأمازون الوسطى، وإلى هطول يومي متطرف أضعف على سواحل شمال شرق البرازيل. [WGII الجدول 11.1, 11.6؛ WGII 13ES, 13.3.1]

ويقدر عدد من يعيشون في مناطق مستجمعات المياه التي تعاني من الإجهاد المائي بالفعل (أي الذين لديهم إمدادات تقل عن 1000 متر مكعب للفرد في السنة) وبدون حدوث تغير في المناخ، بـ 22.2 مليون نسمة (في 1995). ويقدر في إطار التقرير الخاص بسيناريوهات الانبعاثات SRES للهيئة (IPCC) أن يزيد هذا العدد بما يتراوح بين 12 مليون و81 مليون نسمة في عشرينات القرن الحادي والعشرين (2020s)، وبما يتراوح بين 79 مليون و178 مليون نسمة في خمسينات القرن ذاته (2050s) (Arnell، 2004). ولا تأخذ هذه التقديرات في الحسبان عدد السكان الذين يغادرون المناطق التي تعاني من الإجهاد المائي، والمبين في الجدول 5.6. وستزداد مواطن الضعف الحالية الملاحظة في مناطق كثيرة من أمريكا اللاتينية بفعل الأثر السلبي المشترك لتزايد الطلب على إمدادات المياه والري بسبب تزايد معدل نمو السكان، وزيادة الجفاف المتوقعة في أحواض كثيرة. ولذلك ومع أخذ عدد من يعيشون في ظل تناقص الإجهاد المائي في الاعتبار، تظل هناك زيادة صافية في عدد من تتزايد معاناتهم من الإجهاد المائي. [WGII 13.4.3]

5.5.3.2 الطاقة

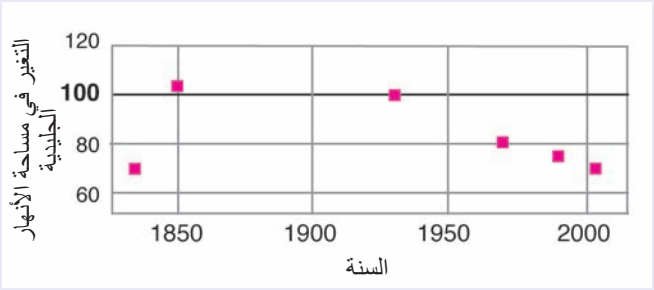
يتوقع أن يؤثر المزيد من تراجع الأنهار الجليدية على توليد الطاقة الكهربائية المائية في بلدان من مثل كولومبيا وبيرو (جامعة سان ماركو الوطنية الكبرى، ليما، بيرو UNMSM، 2004). وقد اختفت بعض الأنهار الجليدية المدارية الصغيرة بالفعل، ويرجح أن تختفي أنهار جليدية أخرى في غضون العقود القليلة المقبلة، مع ما يصحب ذلك من آثار محتملة على توليد الطاقة الكهرمائية (Ramirez، وآخرون، 2001). [WGI 4.5.3; WGII 13.2.4]

5.5.3.3 الصحة

يعيش نحو 262 مليون نسمة، يمثلون 31% من سكان أمريكا اللاتينية في

الإطار 5.5: التغيرات في الأنهار الجليدية في أمريكا الجنوبية. [WGII الإطار 1,1]

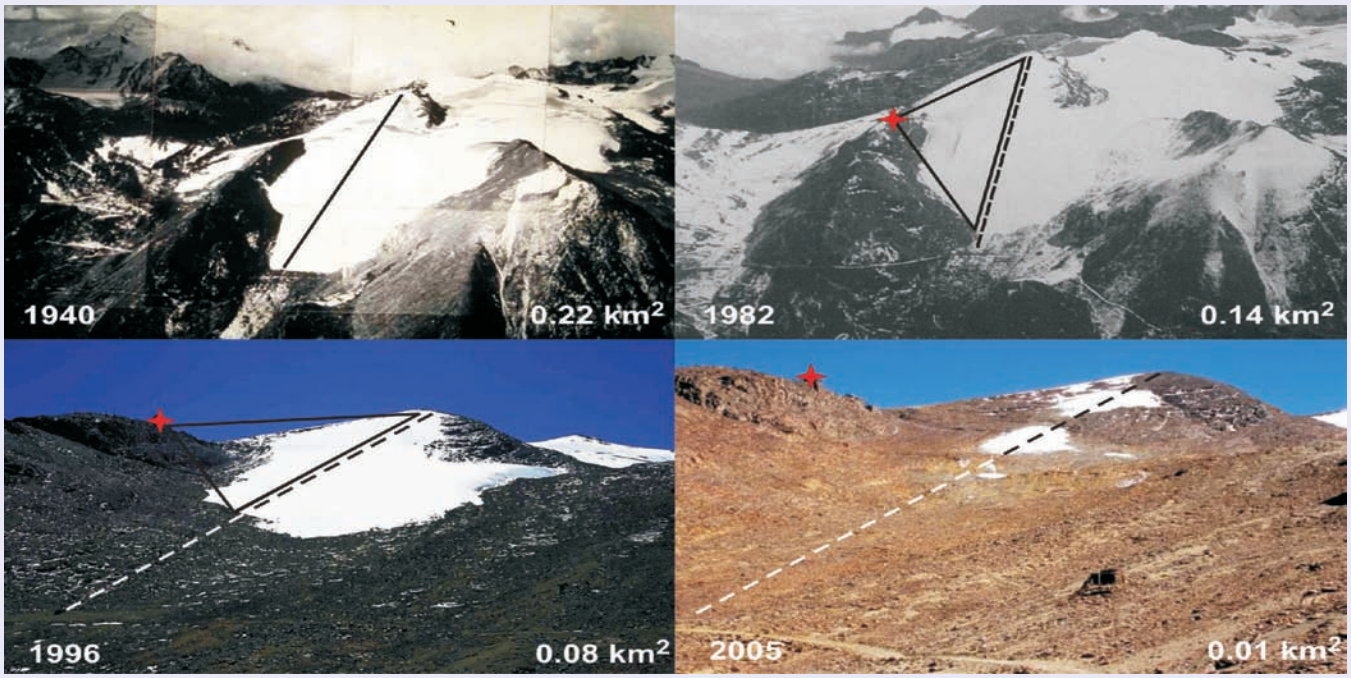
لوحظ حدوث تقلص عام في الأنهار الجليدية في منطقة الأنديز المدارية، وكما هو الحال في سلاسل جبلية أخرى، فإن أصغر الأنهار الجليدية هو أشدها تأثراً [WGI 4.5.3] وكثير من هذه الأنهار اختفى بالفعل أثناء القرن الأخير. وبالنسبة لسلاسل الجبال المغطاة بصورة واسعة بالأنهار الجليدية من مثل كورديرا بلانكا في بيرو وكورديرا ريال في بوليفيا، تقلصت المساحة الكلية للأنهار الجليدية بنحو ثلث مساحتها في العصر الجليدي القصير (الشكل 5.9).



الشكل 5.9: *امتداد (بالنسبة المئوية) إجمالي المساحة السطحية للأنهار الجليدية في كورديرا بلانكا المدارية، بيرو بالنسبة لمساحتها في حوالي عام 1925 (= 100) (Georges، 2004). كانت مساحة الأنهار الجليدية في كورديرا بلانكا في عام 1990 تبلغ 620 كيلومترا مربعاً. [مقتبسة من WGI الشكل 4.16]*

ويعد نهر شاكالتايا الجليدي في بوليفيا (خط العرض 16 درجة جنوباً) مثال نموذجي على تفكك، والأرجح تماماً، اختفاء الأنهار الجليدية الصغيرة. فقد كانت مساحة النهر الجليدي تبلغ في عام 1940، 0.22 كيلومتر مربع، وتقلصت هذه المساحة حالياً (في عام 2005) إلى أقل من 0.01 كيلومتر متربع (الشكل 5.10) (Ramirez وآخرون، 2001؛ Francou وآخرون، 2003؛ Berger وآخرون، 2005). وخلال الفترة من 1992 إلى 2005 فقد النهر 90% من مساحته السطحية، و97% من حجم جليده (Berger وآخرون، 2005). ويدل الاستكمال الخطي (بالاستقراء) من هذه الأرقام الملحوظة على أنه قد يختفي كلية قبل عام 2010 (Coudrain وآخرون، 2005). ومع أن توازن كتل الأنهار الجليدية في المناطق المدارية يستجيب بصورة حساسة للتغيرات في الهطول والرطوبة [WGI 4.5.3]، فإن تقلص نهر شاكالتايا يتسق مع صعود خط تساوي درجة الحرارة 0°C بنحو 50m/في العقد في مناطق الأنديز المدارية منذ الثمانينات (Vuille وآخرون، 2003).

وبمتوسط ارتفاع يبلغ 5260 متراً فوق مستوى سطح البحر، كان النهر الجليدي يمثل أعلى موقع للانزلاق على الجليد في العالم حتى سنوات قليلة. ويشير استمرار تقلص النهر الجليدي أثناء التسعينات إلى اختفائه القريب الحدوث، ونتيجة لذلك، تكون بوليفيا قد فقدت منتجعها الوحيد للانزلاق على الثلج (الشكل 5.10).



الشكل 5.10: *امتداد مساحة نهر شاكالتايا الجليدي، بوليفيا في الفترة من عام 1940 إلى عام 2005. كان النهر بحلول عام 2005 قد انقسم إلى ثلاثة أجزاء صغيرة متميزة. وموقع الكشك الخاص بالانزلاق الذي لم يكن قائماً في عام 1940 مبين بصليب أحمر. وكان طول مسار مصعد الانزلاق يبلغ نحو 800 متر في عام 1940 ونحو 600 متر في عام 1996 (مبين بخط متصل في عام 1940، وبخط متقطع في جميع الصور الفوتوغرافية الأخرى)، وكان يُركب عادة أثناء فصل الهطول. وبعد عام 2004، لم يعد الانزلاق على الثلج ممكناً.*
الصور لـ: Francou and Vincent (2006) وJordan (1991). [WGII الشكل 1.1]

مناطق معرضة لمخاطر الإصابة بالملاريا (أي المناطق المدارية وشبه المدارية) (منظمة الصحة للبلدان الأمريكية PAHO، 2003). وبالاستناد إلى سيناريوهات التقرير الخاص SRES، والسيناريوهات الاجتماعية – الاقتصادية، تشير بعض الإسقاطات إلى حدوث قِصَرْ في طول موسم سريان نواقل الإصابة بالملاريا أو سريان المرض في مناطق كثيرة يتوقع فيها حسب الإسقاطات نقصان الهطول مثل مناطق الأمازون وأمريكا الوسطى. وتشير النتائج المتحققة إلى أعداد إضافية من السكان المهددين بالمرض في المناطق الكائنة حول الحد الجنوبي لتوزيع المرض في أمريكا الجنوبية (van Lieshout وآخرون، 2004). وتنبأت نيكاراغوا وبوليفيا بزيادة ممكنة في نسبة الإصابة بالملاريا في 2010، وأشارتا إلى حدوث اختلافات بين الفصول في هذا الصدد (Aparicio، 2000؛ NC-Nicaragua، 2001). ويمكن أن تؤثر الزيادة في الإصابة بالملاريا وفي السكان المهددين بالإصابة بها على تكاليف الخدمات الصحية، بما في ذلك العلاج ومدفوعات الضمان الاجتماعي. [WGII 13.4.5]

وتُسقِط نماذج أخرى زيادة كبيرة في عدد السكان المهددين بحمى الدنك بسبب التغيرات في الحدود الجغرافية لسريان المرض في المكسيك والبرازيل وبيرو وإكوادور (Hales وآخرون، 2002). وتُسقِط بعض النماذج تغيرات في التوزيع المكاني (الانتشار) لناقل داء الليشمانيات الجلدي في بيرو والبرازيل وباراغواي وأوروغواي والأرجنتين وبوليفيا (Aparicio، 2000؛ Peterson and Shaw، 2003)، وكذلك في التوزيع الشهري لناقل حمى الدنك (Peterson وآخرون، 2005). [WGII 13.4.5]

5.5.3.4 الزراعة

أجريت عدة دراسات بشأن أمريكا اللاتينية استخدمت فيها نماذج محاكاة المحاصيل في ظل تغير المناخ، وتتعلق بالمحاصيل التجارية. ويتوقع أن يزداد عدد من يتعرضون لمخاطر الجوع في إطار سيناريو الانبعاثات SRES ألف 2 A2 بمقدار مليون نسمة في 2020، بينما يتوقع عدم حدوث تغيير في عام 2050، كما أن الرقم سينقص بمقدار 4 ملايين نسمة في عام 2080. [WGII الجدول 13.4.2, 13.5]

5.5.3.5 التنوع الأحيائي

من خلال مجموعة معقدة من التبدلات تشمل تغيراً في هطول المطر والجريان، يتوقع أن تحل السافانا محل الغابة المدارية في شرق منطقة الأمازون، والغابات المدارية في وسط وجنوب المكسيك، وأن يحل غطاء نباتي قاحل محل الغطاء النباتي شبه القاحل في أجزاء من شمال شرق البرازيل، ومعظم وسط وشمال المكسيك بسبب تداوب آثار استخدام الأراضي، والتغيرات المناخية، على السواء. وبحلول خمسينات القرن الحادي والعشرين 2050s، من المرجح جداً أن تتعرض نسبة 50% من الأراضي الزراعية للتصحر والتملح في بعض المناطق. [WGII 13ES, 13.4.1, 13.4.2]

5.5.4 التكيف وسرعة التأثر

5.5.4.1 التكيف في الماضي وفي الفترة الحالية

يعود عدم توافر إستراتيجيات تكيف ملائمة للتصدي لأخطار ومخاطر الفيضانات والجفاف في بلدان أمريكا اللاتينية إلى انخفاض الناتج الوطني الإجمالي (GNP)، وتزايد استقرار السكان في مناطق سريعة التأثر (معرضة للفيضانات، أو الانهيالات الأرضية أو الجفاف)، وعدم وجود أطر سياسية ومؤسسية وتكنولوجية ملائمة (Solanes and

الشكل 5.6: *الزيادة في أعداد من يعيشون في مناطق مستجمعات للمياه تعاني من الإجهاد المائي في أمريكا اللاتينية (بالمليون نسمة) بالاستناد إلى نماذج HadCM3 (Arnell، 2004). [WGII الجدول 13.6]*

السيناريو ونموذج الدوران العام GCM	1995	2025		2055	
		بدون حدوث تغير في المناخ	مع حدوث تغير في المناخ	بدون حدوث تغير في المناخ	مع حدوث تغير في المناخ
ألف 1 (A1)	22.2	35.7	21.0	54.0	60.0
ألف 2 (A2)	22.2	55.9	66.0–37.0	149.3	150.0–60.0
باء 1 (B1)	22.2	35.7	22.0	54.0	74.0
باء 2 (B2)	22.2	47.3	77.0–7.0	59.4	62.0

Jouravlev، 2006). ومع ذلك، فإن بعض المجتمعات المحلية والمدن التي نظمت نفسها أصبحت فعالة في الوقاية من آثار الكوارث (Fay وآخرون، 2003b). وتم تشجيع كثير من السكان الفقراء على مغادرة المناطق المعرضة لخطر الفيضان إلى أماكن أكثر أمناً. وبمساعدة من القروض المقدمة من البنك الدولي للإنشاء والتعمير IRDB والمصرف الدولي لتمويل التنمية IDFB شيدوا مساكن جديدة؛ من مثل ما حدث في عمليات إعادة التوطين في حوض نهر بارانا في الأرجنتين بعد فيضان عام 1992 (IRDB، 2000). وفي بعض الحالات، أدى حدوث تغير في الظروف البيئية أثر على الاقتصاد النمطي المعتاد الكائن في بامباس إلى إدخال أنشطة إنتاجية جديدة من خلال تربية الأحياء المائية باستخدام أنواع الأسماك الطبيعية الكائنة في الإقليم من مثل نوع pejerrey (Odontesthes bonariensis) (La Nación، 2002). وثمة مثل آخر، يتعلق في هذه الحالة بقدرة السكان على التكيف مع الإجهاد المائي، وتقدم هذا المثل برامج «التنظيم الذاتي» الرامية إلى تحسين نظم إمدادات المياه في المجتمعات المحلية الشديدة الفقر. وقد عملت مجموعتا المياه ومرافق النظافة الصحية التابعتان لمنظمة شركاء الأعمال التجارية من أجل التنمية Business Partners for Development على تنفيذ أربع خطط ذات «محاور تركيز» في أمريكا اللاتينية: في كارتاخينا (كولومبيا)، ولاباز، والألتو (بوليفيا)، وبعض المناطق الفقيرة المعدمة في بوينس آيرس الكبرى (الأرجنتين) (The Water Page، 2001؛ Water 21، 2002). وتعد نظم جمع مياه الأمطار وتخزينها سمات هامة للتنمية المستدامة في المناطق المدارية شبه القاحلة، وهناك بوجه خاص مشروع مشترك أعده في البرازيل مشروع Articulação no Semi-Árido (ASA) التابع لشبكة منظمة غير حكومية NGO، ويسمى مشروع المليون صهريج ريفي PIMC من أجل اضطلاع المجتمع المدني بتركيب مليون صهريج بطريقة لامركزية. وترمي الخطة إلى توفير مياه الشرب لمليون أسرة معيشية في المناطق المعرضة على نحو متواتر للجفاف والكائنة في المناطق البرازيلية المدارية شبه القاحلة (BSATs). وخلال المرحلة الأولى، قام مشروع (ASA) ووزارة البيئة البرازيلية ببناء 12000 صهريج، ومن المزمع بناء 21400 صهريج آخر بحلول نهاية عام 2004(Gnadlinger، 2003). وفي الأرجنتين، أنشأت البرامج الوطنية لتوفير المياه المأمونة للمجتمعات المحلية في المناطق القاحلة في مقاطعة سانتياجو دل إستيرو مستجمعات لمياه الأمطار ونظماً للتخزين في الفترة بين 2000 و2002 (Basán Nickisch، 2002). [WGII 13.2.5]

الإطار 5.6: القدرة على التكيف في المجتمعات المحلية الأصلية في الأراضي المرتفعة في أمريكا الجنوبية والسابقة على مجئ كولومبوس إلى العالم الجديد [WGII 13.4.5]

اعتمد بقاء حضارات أصلية في الأمريكتين على الموارد التي يتم الحصول عليها في ظل الظروف المناخية السائدة حول مستوطناتها. وفي الأراضي المرتفعة لأمريكا اللاتينية اليوم، كان أحد القيود البالغة الأهمية التي تؤثر على التطور، ولايزال حالياً هو التوزيع غير المنتظم للمياه. وهذا الوضع هو نتيجة لخواص عمليات الغلاف الجوي والأحوال المتطرفة، والجريان السريع في الوديان العميقة، وظروف التربة الآخذة في التغير. وكان ذوبان الأنهار الجليدية ولايزال مصدراً موثوقاً للمياه أثناء فصول الجفاف. إلا أن مجاري المياه التي تجري في الوديان ضمن مجاري مائية مقيدة، لا تحمل المياه إلا لمناطق معينة. ونظراً لقوة الطابع الموسمي لهطول الأمطار، فإن الجريان من الأنهار الجليدية هو المصدر الرئيسي الذي يعتمد عليه في التزود بالمياه أثناء الفصل الجاف، ومن ثم اتخذت المجتمعات المحلية السابقة على مجئ كريستوف كولومبوس إلى العالم الجديد إجراءات تكيف مختلفة لتلبية احتياجاتها. واليوم، فإن مشكلة تحقيق التوازن اللازم بين توافر المياه والطلب عليها هي عملياً نفس المشكلة التي واجهتها تلك المجتمعات وإن كان النطاق قد يكون مختلفاً.

وفي ظل هذه القيود، من المكسيك المعاصرة إلى شمال شيلي والأرجنتين، وفرت الحضارات السابقة على مجئ كريستوف كولومبوس إلى العالم الجديد القدرة اللازمة للتكيف مع الظروف البيئية المحلية. وشملت هذه القدرة، مقدرة هذه الحضارات على حل بعض المشاكل الهيدروليكية، وإدراكها المسبق للتغيرات المناخية وفترات الأمطار الفصلية. ومن الناحية الهندسية، شملت التطورات التي أحدثوها استخدام مياه الأمطار المحتجزة للزراعة والترشيح والتخزين؛ وإنشاء قنوات ري سطحية وتحت سطح الأرض، بما في ذلك أدوات لقياس كمية المياه المخزونة (الشكل 5.11) (Treacy، 1994؛ Wright and Valencia Zegarra، 2000؛ Caran and Nelly، 2006). واستطاعوا أيضاً توصيل أحواض الأنهار من مستجمعات المياه على ساحل المحيط الهادئ إلى نظيرتها على ساحل المحيط الأطلسي، في وادي كومبي Cumbe وفي كاخاماركا (Burger، 1992).

الشكل 5.11: نظام Nasca (الساحل الجنوبي لبيرو) لجمع المياه من أجل القنوات الجوفية لنقل المياه وتغذية طبقات المياه الجوفية الكائنة تحت النطاق المائي الساكن.

واستحدثت هذه الحضارات قدرات أخرى لاستشفاف الاختلافات المناخية وفترات المطر الفصلية لتنظيم مواعيد بذر الحبوب، وبرمجة غلاتها (Orlove وآخرون، 2000). ومكنت هذه الجهود من بقاء المجتمعات المحلية التي كانت تضم في ذروة حضارة الأنكا نحو 10 ملايين نسمة فيما يعتبر اليوم بيرو وإكوادور. ومكنتهم قدراتهم الهندسية أيضاً من تقويم مجاري الأنهار، مثلما في حالة نهر أوروبامبا، وبناء الجسور سواء المعلقة منها أو ذات الدعامات المثبتة في قيعان الأنهار. كما استخدموا المياه الجارية للاستجمام ولأغراض التعبد، حسبما يشاهد اليوم في الـ «Bano del Inca» «منتجع الأنكا المعدني» الذي يغذى من ينابيع حرارية أرضية، وفي أطلال حديقة لسماع الموسيقى في تامبوماكاي بالقرب من كوسكو (Cortazar، 1968). وقد استخدم كهنة حضارة Chavin التي نشأت في بيرو تدفق المياه الجارية داخل أنابيب محفورة في هياكل المعابد من أجل إصدار أصوات مثل زئير الجاجوار (النمر الأمريكي الاستوائي المرقّط) الذي يعتبر أحد معبوداتهم (Burger، 1992). واستخدمت المياه أيضاً لقطع الكتل الحجرية من أجل البناء. وكما يشاهد في أولنتيتامبو، على الطريق المؤدي إلى Machu Picchu قطعت هذه الأحجار بأشكال هندسية منتظمة عن طريق تسريب الماء في فراغات بينية أعدت بمهارة وتجميد الماء خلال ليل هضاب الأنديز المرتفعة Altiplano في درجات حرارة تحت الصفر. كما اكتسبوا القدرة على التنبؤ بتغيرات المناخ مثل تلك الناجمة عن ظاهرة النينيو EL Niño (Canziani and Mata، 2004)، مما مكن من تحقيق أفضل تنظيم ملائم ومناسب لإنتاج موادهم الغذائية. وباختصار، فإنهم بذلوا جهوداً رائدة للتكيف مع الظروف المحلية المعاكسة وتحديد مسارات تنموية مستدامة.

واليوم، في إطار تقلبات الطقس والمناخ التي يؤدي تزايد ظاهرة الدفيئة وتقلص الأنهار الجليدية إلى تفاقمها (Carey، 2005؛ Bradley وآخرون، 2006)، سيكون من المفيد للغاية الإطلاع من جديد على تدابير التكيف هذه وتحديثها. ويعد تثقيف وتدريب أفراد المجتمع الراهن على المعارف والقدرات الفنية لأسلافهم طريقة للسير قدماً نحو المستقبل. إجراءات اللجنة الاقتصادية لأمريكا اللاتينية ومنطقة البحر الكاريبي (ECLAC) من أجل إدارة التنمية المستدامة (Dourojeanni، 2000)، ولدى بحث الحاجة إلى إدارة ظواهر المناخ المتطرفة في الأراضي المرتفعة، يرجى الرجوع من جديد إلى الإستراتيجيات التي استخدمها السكان الأصليون في الري قبل مجئ كريستوف كولومبوس إلى العالم الجديد.

5.5.4.2 التكيف: الممارسات والخيارات والقيود

يتعين أن تكون سياسات إدارة المياه في أمريكا اللاتينية سياسات ملائمة، وينبغي إدراج هذه السياسات باعتبارها بنداً رئيسياً فيما يتعلق بمعايير التكيف، ومن شأن ذلك أن يعزز قدرة المنطقة على تحسين إدارتها لتوفير المياه. وستلزم استثمارات كبيرة في نظم إمدادات المياه للتكيف مع الظروف الأكثر جفافاً في قرابة 60% من مناطق أمريكا اللاتينية. وكانت إدارة عمليات تحويل مجاري الأنهار عبر الأحواض تمثل حلاً في مناطق كثيرة (مثل حوض ياكامبو في فنزويلا، وألتو بيورا وحوض مانتارو في بيرو). وأوصي باتباع ممارسات لصون المياه، وإعادة تدويرها وتعزيز فعالية استهلاكها أثناء فترات الإجهاد المائي (COHIFE، 2003)، (انظر الإطار 5.6). [WGII 13.5]

وتمثل المشاكل الناشئة في التعليم وخدمات الصحة العمومية عوائق أساسية أمام التكيف؛ مثلاً في حالة الظواهر المتطرفة (مثل الفيضانات أو الجفاف) في المناطق الريفية الفقيرة أساساً (Villagrán de León وآخرون، 2003). [WGII 13.5]

5.6 أمريكا الشمالية

5.6.1 السياق والتغيرات الملحوظة

سيؤدي تغير المناخ إلى تقييد استخدام موارد المياه الموزعة توزيعاً مفرطاً بالفعل في أمريكا الشمالية، ويزيد بالتالي المنافسة بين الاستخدامات الزراعية البلدية والصناعية، والإيكولوجية للمياه (ثقة عالية جداً). ويصدر بعض أهم التأثيرات المجتمعية والإيكولوجية لتغير المناخ المتوقعة في هذه المنطقة عن التغيرات في هيدرولوجيا المياه السطحية والمياه الجوفية. ويظهر الجدول 5.7 التغيرات الملحوظة في أمريكا الشمالية خلال القرن الماضي التي توضح الطائفة الواسعة من الآثار المترتبة على موارد المياه من جراء مناخ يتسم بالاحترار. [WGII 14. ملخص تنفيذي ES]

ونظراً لتسارع معدل الاحترار أثناء العقود المقبلة، يمكن توقع حدوث تغيرات في التوقيت والكمية والنوعية والتوزيع المكاني للمياه العذبة المتاحة للمستوطنات البشرية والزراعة ومستخدمي المياه الصناعيين في معظم مناطق أمريكا الشمالية. ولئن كان بعض التغيرات في موارد المياه التي ذكرت آنفاً ينطبق حقاً بالنسبة لمعظم أمريكا الشمالية، فإن اتجاهات القرن العشرين توحي بدرجة عالية من التقلبية الإقليمية فيما يتعلق بتأثيرات تغير المناخ على الجريان، وتدفق المجاري المائية وتغذية المياه الجوفية. وتسهم التغيرات في الثروة والجغرافيا أيضاً في توزيع غير متكافئ للتأثيرات المرجحة، ومواطن الضعف، والقدرة على التكيف في كندا والولايات المتحدة الأمريكية، على حد سواء. [ES. ملخص تنفيذي 14 WGII]

5.6.2 التغيرات المسقطة ونتائجها

5.6.2.1 موارد المياه العذبة

تختلف محاكاة الجريان السنوي في مستجمعات أمريكا الشمالية في المستقبل حسب المنطقة ونموذج الدوران العام (GCM) وسيناريو الانبعاثات. ويتوقع أن ينقص متوسط الهطول السنوي في الجنوب الغربي من الولايات المتحدة الأمريكية، وأن يزداد في الجزء المتبقي من أمريكا الشمالية حتى عام 2100. [WGI 11.5.3.2; WGII 14.3.1] ويتوقع حسب الإسقاطات أن تكون الزيادات في الهطول في كندا في نطاق + 20% بالنسبة للمتوسط السنوي و+ 30% في الشتاء، في إطار السيناريو ألف 1 باء (A1B). وتتوقع بعض الدراسات حدوث زيادات واسعة الانتشار في الهطول المتطرف [WGI 11.5.3.3; WGII 14.3.1]، بل والجفاف أيضاً المرتبط بزيادة التقلبية الزمنية في الهطول. وبوجه عام، فإن التغيرات المسقطة بالنسبة للهطول المتطرف أكبر من التغيرات في متوسط الهطول. [WGI 10.3.6.1; WGII 14.3.1]

ومن المرجح جداً أن يؤدي الاحترار والتغيرات في شكل الهطول وتوقيته وكميته إلى ذوبان مبكر لكمية الثلج السنوية وانخفاض ذي شأن في تلك الكمية في الجبال الغربية بحلول منتصف القرن الحادي والعشرين. وفي الإسقاطات الخاصة بمستجمعات المياه

الجدول 5.7: *التغيرات الملحوظة في موارد مياه أمريكا الشمالية خلال القرن الماضي (↑ = زيادة، ↓ = نقصان).*

التغير في موارد المياه	أمثلة من تقرير التقييم الرابع
التبكير بذروة تدفق المجاري المائية بما يتراوح بين أسبوع و4 أسابيع بسبب ذوبان الثلوج المبكر الناجم عن الاحترار	مناطق غرب الولايات المتحدة ونيو إنغلاند في الولايات المتحدة، وكندا [WGII 1.3, 14.2]
↓ هبوط نسبة الهطول على هيئة ثلج	مناطق غرب كندا ومراعيها، وغرب الولايات المتحدة [WGII 14.2, WGI 4.2]
↓ مدة ومدى الغطاء الثلجي	معظم أمريكا الشمالية [WGII 4.2]
↑ الهطول السنوي	معظم أمريكا الشمالية [WGII 3.3]
↓ مكافئ مياه ثلوج الجبال	غرب أمريكا الشمالية [WGII 4.2]
↓ الهطول السنوي	جبال روكي الوسطى، جنوب غرب الولايات المتحدة الأمريكية، المراعي الكندية، وشرق المنطقة القطبية الشمالية (أركتيكا) [WGII 14.2]
↑ تواتر أحداث الهطول الغزير	معظم الولايات المتحدة الأمريكية [WGII 14.2]
↓ الجريان وتدفق المجاري المائية	أحواض نهري كولورادو وكولومبيا [WGII 14.2]
سيحان واسع الانتشار للتربة الصقيعية	معظم شمال كندا، وألاسكا [WGII 14.4, 15.7]
↑ درجة حرارة مياه البحيرات (0.1 – 1.5 درجة مئوية)	معظم أمريكا الشمالية [WGII 1.3]
↑ تدفق المجاري المائية	معظم شرق الولايات المتحدة الأمريكية [WGII 14.2]
تقلص الأنهار الجليدية	جبال غرب الولايات المتحدة، وألاسكا، وكندا [WGI 4.ES, 4.5]
↓ الغطاء الجليدي	البحيرات العظمى، خليج سانت لورانس [WGII 4.4, 14.2]
تملح المياه السطحية الساحلية	فلوريدا، لويزيانا [WGII 6.4]
↑ فترات الجفاف	غرب الولايات المتحدة الأمريكية، وجنوب كندا [WGII 14.2]

الجبلية التي يغلب عليها ذوبان الثلوج، فإن جريان الثلوج المذابة يزداد، كما تزداد تدفقات الشتاء وأوائل الربيع (مما يزيد من احتمال حدوث فيضانات)، وتنقص تدفقات الصيف نقصاناً كبيراً. [WGII 14.4] وبالتالي قد تصبح النظم المفرطة في توزيع المياه في غرب الولايات المتحدة الأمريكية وكندا التي تعتمد على احتجاز جريان الثلج المذاب ضعيفة وقابلة للتأثر بصورة خاصة شأنها في ذلك شأن النظم التي تعتمد على الجريان من الأنهار الجليدية. [WGII 14.2, 15.2]

وفي كولومبيا البريطانية، تشمل التأثيرات المسقطة زيادة الهطول في الشتاء وزيادة شدة الفيضانات في الربيع على الساحل وفي الداخل، ومزيد من الجفاف في الصيف على طول الساحل الجنوبي، والجنوب، داخل البلد الأمر الذي ينقص تدفق المجاري المائية في هذه المناطق ويؤثر على بقاء الأسماك وإمدادات المياه في الصيف عندما يكون الطلب على المياه في ذروته. وفي منطقة البحيرات الكبرى، من المرجح أن تؤدي التأثيرات المسقطة المرتبطة بانخفاض مستويات المياه إلى تفاقم التحديات المتعلقة بنوعية المياه والملاحة، والاستجمام، وتوليد الطاقة الكهرمائية، وعمليات تحويل المياه والعلاقات الوطنية الثنائية. [WGII 14.2, 14.4] وتتوقع تقييمات كثيرة، لكن ليست جميعاً، انخفاض صافي إمدادات حوض البحيرات العظمى – حوض سانت لورانس ومستويات المياه فيه. [WGII 14.ES, 14.2] ومع تغير المناخ من المرجح أن يتأثر توافر المياه الجوفية بثلاثة عوامل رئيسية هي: المياه المسحوبة (التي تعكس مدى التطور، والطلب، وإتاحة مصادر أخرى)، والتبخر/ النتح (الذي يزداد مع ارتفاع درجة الحرارة) والتغذية (التي تحددها درجة الحرارة، وتوقيت الهطول وكميته، وتفاعلات المياه السطحية). وتبين المحاكاة أن التدفقات السنوية الأساسية للمياه الجوفية، ومستويات مستودعات المياه الجوفية تستجيب لدرجات الحرارة والهطول والضخ – وهي تتناقص في السيناريوهات الأكثر جفافاً أو ذات معدل الضخ الأعلى، وتتزايد في السيناريوهات الأكثر مطراً. وفي بعض الحالات، هناك تحولات في التدفقات الأساسية؛ حيث تتزايد في الشتاء وتتناقص في الربيع وأوائل الصيف. [WGII 14.4.1] ويمكن أن يؤدي ازدياد التبخر/ النتح أو ضخ المياه الجوفية في المناطق شبه القاحلة والقاحلة في أمريكا الشمالية إلى تملح مستودعات المياه الجوفية الضحلة. [WGII 3.4] وبالإضافة إلى ذلك، من المرجح أن يزيد تغير المناخ حدوث / طغيان المياه المالحة في مستودعات المياه الجوفية الساحلية مع ارتفاع مستوى سطح البحر. [WGII 3.4.2]

5.6.2.2 الطاقة

من المعروف أن إنتاج الطاقة الكهربائية المائية يتسم بحساسيته إزاء الجريان الكلي وتوقيته وإزاء مستويات المياه في المستودعات. وأثناء التسعينات، على سبيل المثال، هبطت مستويات البحيرات العظمى نتيجة لجفاف متطاول الأمد، وفي عام 1999 انخفض إنتاج الطاقة الكهرمائية انخفاضاً كبيراً سواء في نياجرا أو سولت سانت ماري Sault St. Marie (المجلس الكندي لوزراء البيئة CCME، 2003). [WGII 4.2] وبدرجة احترار تتراوح بين درجتين مئويتين وثلاث درجات مئوية في حوض نهر كولومبيا وفي مناطق الخدمات الهيدروليكية لكولومبيا البريطانية من المرجح أن تزداد (ثقة عالية) إمدادات الطاقة الكهربائية المائية في ظل ظروف مائية تمثل أسوأ حالة بالنسبة لذروة الطلب في الشتاء. وبالمثل، من المرجح أن تنقص إنتاجية الطاقة الكهرمائية في نهر كولورادو نقصاناً هاماً (Christensen وآخرون، 2004) وكذلك الطاقة الكهرمائية في منطقة البحيرات العظمى (Moulton and Cuthbert، 2000؛ Lofgren وآخرون، 2002؛ Mirza، 2004). ويمكن أن يؤدي انخفاض مستويات مياه البحيرات العظمى إلى خسائر اقتصادية كبيرة (خسائر كندية تتراوح قيمتها بين 437 و660 مليون دولار كندي سنوياً) بينما يؤدي ازدياد مستويات الماء إلى تحقيق مكاسب صغيرة (مكاسب كندية تتراوح بين 28 مليوناً و42 مليون دولار كندي سنوياً) (Buttle وآخرون، 2004؛ Ouranos، 2004). ومن المرجح أن يستفيد إنتاج الطاقة الكهرمائية في شمال كيبيك من ازدياد الهطول، وتوافر ظروف مائية أكثر انفتاحاً، لكن يرجح أن تتأثر الوحدات المائية في جنوب كيبيك بانخفاض مستويات المياه. أما النتائج المترتبة على التغيرات في توزيع التدفقات عبر الفصول وفي توقيت تكوّن الجليد، فإنها غير يقينية (Ouranos، 2004). [WGII 3.5, 14.4.8]

ويمكن أن تتأثر الموارد الشمسية بالتغيرات التي تحدث في درجة التغيم والتي يمكن أن تؤدي إلى زيادة طفيفة في إمكانيات الطاقة الشمسية في أمريكا الشمالية جنوب خط العرض 60 درجة شمالاً (بالاستناد إلى نماذج كثيرة لسيناريو الانبعاثات ألف 1 باء (AIB) للفترة 2080-2099 مقابل الفترة 1980-1999). [WGI الشكل 10.10] إلا أن بان Pan وآخرين (2004) أسقط العكس؛ وهو أن ازدياد درجة التغيم ستخفض الإنتاج المحتمل للتأثير الفلطائي الضوئي بنسبة تتراوح بين 0 و20% (بالاستناد إلى النموذجين HadCM2 وRegCM2[24] مع سيناريو مثالي المعالجة يتضمن زيادة في ثاني أكسيد الكربون). [WGII 14.4.8] وتتسم إمكانيات الطاقة الأحيائية بحساسيتها إزاء المناخ من خلال التأثيرات المباشرة للمناخ على نمو المحاصيل وإتاحة مياه الري. ويُتوقع أن تنافس محاصيل الطاقة الأحيائية بنجاح على المساحة الزراعية بسعر يبلغ 33 دولاراً أمريكياً/10^6g أو نحو 1.83 دولار أمريكي/ 10^9 joules (Walsh وآخرون، 2003). ويُتوقع أن تتيح الزيادة في الاحترار والهطول لمحاصيل الطاقة الأحيائية والمراعي العشبية في الفصل الدافئ أن تنافس بشكل فعال المحاصيل التقليدية في وسط الولايات المتحدة الأمريكية (بالاستناد إلى نموذج RegCM2 والتركز المضاعف لثاني أكسيد الكربون) (Brown وآخرون، 2000). [WGII 14.4.8]

5.6.2.3 الصحة

إن تفشي الأمراض المنقولة بالمياه هو على نحو واضح ولجميع الأسباب تفش موسمي في أمريكا الشمالية يتركز في مستجمعات المياه الرئيسية ويرتبط بالهطول الغزير للمطر (الولايات المتحدة الأمريكية: Curriero وآخرون، 2001) أو بالهطول المتطرف ودرجات الحرارة الأدفأ (في كندا: Thomas وآخرون، 2006). كما يمكن للجريان الشديد بعد هطول غزير للمطر أن يلوث أيضاً المياه في مناطق الاستجمام وأن يزيد مخاطر إصابة البشر بالأمراض (Schuster وآخرون، 2005) من خلال ازدياد أعداد البكتيريا. ويكون هذا الارتباط أقوى ما يكون غالباً في الشواطئ القريبة من الأنهار (Dwight وآخرون، 2002). ومن المرجح

[24] انظر التذييل الأول للاطلاع على وصف للنموذج.

أن تزداد الأمراض المنقولة بالمياه وأن تتدهور نوعية المياه مع مزيد من الهطول الغزير. وتظهر الأمراض المنقولة بالأغذية أيضاً علاقة ما مع اتجاهات درجات الحرارة. ففي ألبرتا، ترتبط درجة حرارة الهواء المحيط بقوة، لكن على نحو لاخطي، بظهور العوامل المسببة للأمراض المعوية (Fleury وآخرون، 2006). [WGII 14.ES, 14.2.5]
ومن المرجح أن تحدث زيادة في شدة أنشطة الأعاصير المدارية. [WGI SPM] ويشكل الفيضان الناجم عن عرام العواصف مشكلة بالفعل على طول خليج المكسيك وسواحل أمريكا الشمالية الكائنة بحذاء جنوب المحيط الأطلسي. ويقدر عدد الوفيات الناجمة عن إعصار الهاريكين كترينا في عام 2005 بـ 1800 شخص [WGII 6.4.2] وارتبطت بعض الوفيات وحالات كثيرة لأمراض الإسهال بتلوث إمدادات المياه (مركز مراقبة الأمراض بالولايات المتحدة CDC، 2005؛ Manuel، 2006). [WGII 8.2.2؛ انظر أيضاً الفرع 4.5 المتعلق بالفيضانات النهرية]

5.6.2.4 الزراعة

تؤيد البحوث التي أجريت منذ تقرير التقييم الثالث TAR الاستنتاج الذي مؤداه أن المرجح هو أن يؤدي التغير المعتدل في المناخ إلى زيادة غلات المحاصيل الزراعية التي تعتمد على المطر في أمريكا الشمالية لكن مع حدوث زيادات أصغر ومزيد من التقلبية المكانية مما ورد في تقديرات سابقة (ثقة عالية) (Reilly، 2002). إلا أنه يُتوقع في الإسقاطات أن تعاني محاصيل كثيرة تعد حالياً قرب العتبات المناخية من نقصان في الغلات والنوعية أو في كليهما حتى مع حدوث احترار متواضع (ثقة متوسطة) (Hayhoe وآخرون، 2004؛ White وآخرون، 2006). [WGII 14.4.4]

إن سرعة تأثر زراعة أمريكا الشمالية بالتغير المناخي متعددة الأبعاد وتحددها التفاعلات بين الظروف القائمة من قبل، والإجهادات غير المباشرة الناجمة عن تغير المناخ (مثل التغيرات في مزاحمة الآفات، وتوافر المياه)، وقدرة القطاع على التصدي لعوامل متعددة متفاعلة، بما في ذلك المنافسة الاقتصادية من مناطق أخرى والتحسينات المدخلة على أنواع المحاصيل المستنبتة وإدارة المزارع (Parson وآخرون، 2003). ويعد توافر المياه هو العامل الرئيسي الذي يحد من الزراعة في جنوب شرق أريزونا لكن المزارعين في المنطقة يلاحظون أن التكنولوجيات وعمليات التكيف من مثل التأمين على المحاصيل قد قللت مؤخراً سرعة التأثر (Vasquez-Leon وآخرون، 2003). وتعد المناطق ذات القدرات المالية الهامشية والموارد الطبيعية الهامشية (مثل السهول الشمالية في الولايات المتحدة الأمريكية) سريعة التأثر بوجه خاص لتغير المناخ (Antle وآخرون، 2004). وستنحو ممارسات استخدام الأراضي غير المستدامة نحو زيادة سرعة تأثر الزراعة في السهول الكبرى للولايات المتحدة بتغير المناخ (Polsky and Easterling، 2001). [WGII 14.4.4؛ انظر أيضاً الفقرة 4.2.2]
والمرجح أن تعاني النظم القائمة على المياه الجوفية التي تُستَخدم استخداماً بالغاً في جنوب غرب الولايات المتحدة الأمريكية من إجهاد إضافي بسبب تغير المناخ يؤدي إلى نقصان التغذية (ثقة عالية) مما يؤثر بالتالي على الإنتاجية الزراعية. [WGII 14.4.1]

والمرجح هو أن يؤدي التناقص في الغطاء الثلجي وزيادة الأمطار في الشتاء على الأرض العارية إلى إطالة أمد موسم التحات وزيادته مما يزيد من إمكانية إحداث تأثيرات على نوعية المياه في المناطق الزراعية. وقد لا توفر ممارسات إدارة التربة (مثل بقايا المحاصيل، والزراعة بدون حراثة) في حزام الحبوب في أمريكا الشمالية حماية كافية من التحات في مواجهة شدة الهطول في المستقبل وما يرتبط به من جريان (Hatfield and Pruger، 2004؛ Nearing وآخرون، 2004). [WGII 14.4.1]

5.6.2.5 التنوع الأحيائي

يمكن أن تتأثر طائفة واسعة من الأنواع والمناطق الأحيائية بالتغيرات المتوقعة في هطول الأمطار ورطوبة التربة ومستويات المياه السطحية، وتدفق المجاري المائية في أمريكا الشمالية خلال العقود المقبلة.

ويمكن أن يؤدي انخفاض مستويات مياه البحيرات والبرك، على سبيل المثال، إلى ضعف إنسال البرمائيات وتفقيس الأسماك، كما يمكن للاستجابات المتباينة بين الأنواع أن تغير تكوين المجتمع الأحيائي المائي وتدفقات المغذيات. ويمكن للتغيرات في أنماط هطول المطر ونظم الجفاف أن تسهّل أنماط أخرى من اضطرابات النظم الإيكولوجية تشمل الحرائق (Smith وآخرون، 2000) والاجتياح البيولوجي (Zavaleta and Hulvey، 2004). [WGII 14.4.2] وإن الحلول المتجه نحو اليابسة لأشجار المنغروف الاستوائية الأكثر قدرة على احتمال التملح، مثلاً في أراضي Everglades الرطبة شبه المدارية وذات المستنقعات القصبية في جنوب شرق فلوريدا منذ الأربعينات محل المستنقعات العشبية ذات المياه العذبة قد عُزي إلى الآثار المشتركة لارتفاع مستوى سطح البحر، وإدارة المياه التي نتج عنها انخفاض في المنسوب المائي السفلي (Ross وآخرون، 2000). [WGII 13.3.2]
ويمكن للتغيرات في جريان المياه العذبة نحو الساحل أن يغير ملوحة المياه وتعكرها وغيرهما من الجوانب المتعلقة بنوعية المياه التي تحدد إنتاجية وتوزيع المجتمعات الأحيائية النباتية والحيوانية. [WGII 6.4]

وفي خطوط العرض العالية، تحاكي عدة نماذج الزيادة الصافية للإنتاجية الأساسية للنظم الإيكولوجية لأمريكا الشمالية نتيجة لتوسع الغابات في التندرا، بالإضافة إلى ازدياد طول مواسم النمو (Berthelot وآخرون، 2002)، وذلك بالاستناد إلى حد كبير إلى ما إذا كانت هناك زيادة كافية في الهطول تعوِّض عن زيادة التبخر/النتح في مناخ أدفأ. ويبدو أن نمو الغابات يتسارع ببطء في المناطق التي كان نمو الأشجار فيها محدوداً تاريخياً بفعل انخفاض درجات الحرارة وقصر أمد مواسم النمو. ومع ذلك، فإن النمو يتباطأ في المناطق التي تتعرض للجفاف. وقد نقص النمو الإشعاعي للأشجار الراتينجية البيضاء من الفصيلة الصنوبرية على المنحدرات الجافة المواجهة للجنوب في ألاسكا على مدى التسعين عاماً الأخيرة بسبب زيادة الإجهاد من الجفاف (Barber وآخرون، 2000). وتتوقع برامج النمذجة التي قام بها Bachelet وآخرون (2001) أن يزداد امتداد مساحة النظم الإيكولوجية المحدودة الجفاف بنسبة 11% لكل ارتفاع في درجة الحرارة يبلغ درجة مئوية واحدة في الولايات المتحدة الأمريكية القارية. [WGII 14.4] وفي منطقة Pothole في مراعي أمريكا الشمالية، توقعت النماذج زيادة في الجفاف مع زيادة درجة الحرارة الإقليمية بمقدار 3 درجات مئوية وتغيرات متباينة في الهطول تؤدي إلى خسائر كبيرة في الأراضي الرطبة وإلى انخفاض في تجمعات طيور الماء التي تحقق إنسالها هناك (Johnson وآخرون، 2005). [WGII 4.4.10]

وترتبط الاستدامة الإيكولوجية لإنتاجية الأسماك ومصائد الأسماك ارتباطاً وثيقاً بإمدادات المياه ودرجة حرارة المياه. ومن المرجح أن تتأثر مصائد

الأسماك الكائنة في المياه الباردة تأثراً سلبياً بتغير المناخ؛ أما مصائد الأسماك في المياه الدافئة فستتحسن إنتاجيتها بوجه عام؛ كما ستكون النتائج بالنسبة لمصائد الأسماك في المياه الباردة مختلطة بحدوث مكاسب في الأجزاء الشمالية وخسائر في الأجزاء الجنوبية لنطاقاتها. والمرجح أن تعاني الأسماك السلمونية التي تفضل المياه الباردة الصافية من أكثر الآثار سلبية (Gallagher and Wood، 2003). ويحتمل أن تكون مصائد الأسماك في المياه العذبة في المنطقة القطبية الشمالية Arctic هي الأشد تأثراً لأنها ستعاني من أكبر قدر من الاحترار (Wrona وآخرون، 2005). وفي بحيرة Erie سيتوقف ورود يرقات الأسماك الجاحظة للتفريخ النهري على التغيرات في درجة الحرارة والتدفقات، لكن يرجح أن ينخفض التفريخ في البحيرات بسبب آثار الاحترار وانخفاض مستويات مياه البحيرات (Jones وآخرون، 2006). وستنحو نطاقات الأنواع التي تعيش في المياه الدافئة نحو الاتجاه شمالاً ونحو ارتفاعات أعلى (Clark وآخرون، 2001؛ Mohseni وآخرون، 2003) استجابة للتغيرات في درجة حرارة المياه. [WGII 14.4]

5.6.2.6 *دراسات حالة عن تأثيرات تغير المناخ على مستجمعات المياه الواسعة في أمريكا الشمالية*

يصف الإطاران 5.7 و5.8 حالتين توضحان التأثيرات المحتملة، والتحديات التي يطرحها تغير المناخ على الإدارة في البيئات التي تتسم «بندرة المياه» و«بوفرة المياه» في غرب أمريكا الشمالية: حوضا نهري كولورادو وكولومبيا، على التوالي.

5.6.3 التكيف

لئن كانت أمريكا الشمالية تمتلك قدرات كبيرة على التكيف مع الجوانب من تغير المناخ المتصلة بالمياه، فإن الممارسات الفعلية لم تستطع دائماً حماية الناس والممتلكات من الآثار المعاكسة للفيضانات والجفاف والعواصف وأحداث الطقس المتطرفة الأخرى. وتشمل المجموعات سريعة التأثر بوجه خاص السكان الأصليين والسكان المحرومين اجتماعياً أو اقتصادياً. وشجعت التقاليد والمؤسسات في أمريكا الشمالية وضع إطار لامركزي للاستجابة حيث ينحو التكيف نحو أن يكون تفاعلياً وغير متكافئ التوزيع، ومركزاً على التصدي للمشاكل بدلاً من منعها. والأمثلة على السلوك التكيفي الذي يتأثر على وجه الحصر وبصورة غالبة بالإسقاطات المتعلقة بتغير المناخ وآثاره على موارد المياه، غائبة إلى حد كبير من المؤلفات المتعلقة بهذا المجال. [WGII 14.5.2] ويتمثل شرط أساسي لتحقيق الاستدامة في أمريكا الشمالية في «إدماج» قضايا المناخ في صلب عملية صنع القرار. [WGII 14.7]

وتتوقف سرعة تأثر أمريكا الشمالية على فعالية التكيف وعلى توزيع القدرات على التصدي؛ وكلاهما غير متكافئ حالياً ولم يتمكنا دائماً من حماية المجموعات الضعيفة من التأثيرات المعاكسة للتقلبية المناخية وأحداث الطقس المتطرفة. [WGII 14.7] وإن الولايات المتحدة الأمريكية وكندا بلدان متقدمان اقتصادياً ذوا أبنية أساسية كبيرة ومؤسسات ناضجة وذات أوجه تباين إقليمية واجتماعية – اقتصادية هامة (منشورات NAST، 2000؛ Lemmen and Warren، 2004).

الإطار 5.7: الجفاف والتغيرات المناخية في حوض نهر كولورادو.

يوفر نهر كولورادو قدراً كبيراً من احتياجات المياه اللازمة لسبع ولايات في الولايات المتحدة الأمريكية، وولايتين مكسيكيتين، وأربع وثلاثين قبيلة أمريكية من السكان الأصليين (Pulwarty وآخرون، 2005). وتضم هذه المناطق عدد سكان يبلغ 25 مليون نسمة يتوقع أن يصبحوا 38 مليون نسمة في عام 2020. وعلى مدى المائة عام الماضية، بلغ متوسط نسبة المساحة الكلية التي تأثرت بالجفاف الشديد أو الأحداث المناخية المتطرفة في الولايات المتحدة الأمريكية نحو 14% كل عام وزادت هذه النسبة المئوية لتصل إلى 65% في عام 1934.

وإن توسع السكان والأنشطة الاقتصادية نحو الغرب، والاستجابات المتسقة لأحداث الجفاف نتجت عن عملية تكيف هيكلية هامة بما في ذلك إنشاء مئات من المستودعات ومشاريع الري وسحب المياه الجوفية في البيئات شبه القاحلة. وحسبما تم توثيق ذلك على نطاق واسع، فإن توزيع مياه نهر كولورادو على الولايات الكائنة في حوضه قد حدث خلال أكثر الفترات رطوبة على مدى 400 عام (أي من 1505 إلى 1925). وقد عانت المناطق الغربية من الولايات المتحدة الأمريكية مؤخراً من جفاف مستدام، وخضعت نسبة تتراوح بين 30% و40% من هذه المناطق لجفاف شديد منذ عام 1999، كما شهدت المنطقة أخفض فترة تدفق في نهر كولورادو استمرت خمس سنوات من عام 2000 إلى عام 2004. وفي الوقت ذاته تشهد ولايات جنوب غرب الولايات المتحدة الأمريكية بعض أسرع معدلات النمو في البلد بما يصحب ذلك من طلبات اجتماعية واقتصادية وبيئية على موارد المياه وما يرتبط بها من منازعات قانونية (Puwarty وآخرون، 2005).

وإن جزءاً صغيراً فقط من مساحة حوض نهر كولورادو الكلية (يبلغ نحو 15%) يزود معظم (85%) تدفقات النهر. وتبين التقديرات أنه مع ازدياد الاحترار المناخي والتبخر سيصل نقصان الجريان المصاحب لذلك إلى نسبة تبلغ 30% خلال القرن الحادي والعشرين (Milly وآخرون، 2005). وفي ظل هذه الظروف، ومع عمليات سحب المياه المتوقعة، قد لا يتم تلبية احتياجات نهر كولورادو إلا بنسبة تتراوح بين 60% و75% بحلول عام 2025 (Christensen وآخرون، 2004). وتشير بعض التقديرات إلى أنه بحلول عام 2050 يمكن أن يكون متوسط أحوال الرطوبة في جنوب غرب الولايات المتحدة الأمريكية مساوياً للأحوال الملاحظة في خمسينات القرن العشرين. ويمكن أن تحدث هذه التغيرات نتيجة لارتفاع درجات الحرارة (وذلك من خلال زيادة التسامي والتبخر وانخفاض رطوبة التربة)، حتى لو ظلت مستويات الهطول ثابتة نسبياً. ويبرهن بعض الباحثين على أن هذه التقييمات، وبسبب اختيار النموذج، ربما تهوّن فعلياً من تقدير مدى الانخفاض الذي يحدث في المستقبل في هذا الصدد.

وتبين معظم السيناريوهات الخاصة بتدفق نهر كولورادو في Lees Ferry (التي تفصل الحوض الأعلى عن الحوض الأدنى) أنه في غضون عشرين عاماً قد لا يكون صبيب النهر كافياً لتلبية الطلبات الاستهلاكية الجارية على موارد المياه. وتوضح الخبرات حديثة العهد أن الظروف «الحرجة» قائمة بالفعل في الحوض (Pulwarty وآخرون، 2005). وسينتج عن تقلبية المناخ وتغيره مع تزايد الضغوط الإنمائية تأثيرات تتعلق بالجفاف تتجاوز الخبرات المؤسسية في المنطقة وستؤدي إلى تفاقم المنازعات بين مستخدمي المياه.

الإطار 5.8: تغير المناخ يضيف تحديات لإدارة حوض نهر كولومبيا. [WGII الإطار 14.2]

تشمل الإدارة الجارية للمياه في حوض نهر كولومبيا ضرورة تحقيق التوازن بين طلبات معقدة وغالباً متنافسة على الطاقة الكهرمائية، والملاحة، ومكافحة الفيضانات، والري، والاستخدامات البلدية، والمحافظة على تجمعات عديدة للأنواع المهددة والمعرضة للانقراض (مثل سمك السلمون). والاحتياجات الحالية والمتوقعة لهذه الاستخدامات تتجاوز الالتزامات القائمة فيما يتعلق بالإمدادات. وتعمل إدارة المياه في الحوض من خلال وضع مؤسسي معقد يشمل دولتين ذاتي سيادة (معاهدة نهر كولومبيا المصدق عليها في عام 1964)، وسكان أصليين ذوي حقوق تعاهدية محددة («Boldt decision» في الولايات المتحدة ضد واشنطن في عام 1974)، وعديد من الوكالات الاتحادية، ووكالات الولايات، والوكالات الإقليمية ووكالات الحكم المحلي (Miles وآخرون، 2003). ويشكل التلوث (بصفة رئيسية من مصادر تلوث تنشأ في منطقة واسعة نسبياً وليس من نقطة واحدة) قضية هامة في روافد كثيرة. وإن الأحكام التي تنص على أن الأول زمنياً هو الأول في الحصول على الحقوق الواردة في قانون المياه الغربي، للجزء من الحوض الكائن في الولايات المتحدة يعقّد إدارة الحوض ويحد من إتاحة المياه لصغار مستخدمي المياه (Gray، 1999؛ Scott وآخرون، 2004). وتمتد التعقيدات إلى مختلف مسؤوليات الولايات القضائية عندما تكون التدفقات مرتفعة وعندما تكون منخفضة أو عندما يكون وجود الأنواع المحمية في الروافد أو في السد الرئيسي أو في المحيط (Miles وآخرون، 2000؛ Mote وآخرون، 2003).

ومع تغير المناخ، تتغير التدفقات السنوية المسقطة لنهر كولومبيا تغيراً محدوداً نسبياً لكن التدفقات الفصلية تتحول بشكل ملحوظ نحو تدفقات شتوية وربيعية أكبر وتدفقات صيفية وخريفية أصغر (Hamlet and Lettenmaier، 1999، Mote وآخرون، 1999). ويُحتمل أن تتزامن هذه التغيرات في التدفقات مع زيادة الطلب على المياه، بصفة أساسية بسبب النمو الإقليمي لكن يمكن أيضاً أن يستحثها تغير المناخ. ومن شأن نقصان إتاحة الماء في الصيف أن يؤدي إلى تفاقم نشوء المنازعات على المياه التي ظهرت بالفعل في سنوات انخفاض التدفقات (Miles وآخرون، 2000). ويُتوقع أن يؤثر تغير المناخ أيضاً على إمدادات المياه في المناطق الحضرية ضمن الحوض. فمثلاً ارتفاع درجة الحرارة المتوقع بمقدار درجتين في أربعينات القرن الحادي والعشرين 2040s من شأنه زيادة الطلب على المياه في بورتلاند وأوريغون بمقدار 5.7 مليون متر مكعب سنوياً بالإضافة إلى زيادة الطلب بمقدار 20.8 مليون متر مكعب سنوياً بسبب زيادة السكان مع تناقص إمدادات المياه بمقدار 4.9 مليون متر مكعب سنوياً (Mote وآخرون، 2003). وتتم على نحو متزايد دراسة التنبؤات المناخية الإرشادية طويلة الأجل فيما يتعلق بإدارة النهر لكن بطريقة محدودة (Hamlet وآخرون، 2002؛ Lettenmaier and Hamlet، 2003؛ Gamble وآخرون، 2004؛ Payne وآخرون، 2004). ولكل من الأحواض الفرعية البالغ عددها 43 حوضاً فرعياً للنظام خطته الخاصة لإدارة الحوض الفرعي بالنسبة للأسماك والأحياء البرية، ولا يعالج أي منها بشكل شامل انخفاض التدفقات الصيفية في ظل تغير المناخ (ISRP/ISAB، 2004).

ويحتمل أن تزداد التحديات التي تواجه إدارة المياه في حوض نهر كولومبيا مع تغير المناخ بسبب التغيرات في كمية الثلج السنوية والتدفقات الفصلية (Miles وآخرون، 2000؛ Parson وآخرون، 2001؛ Cohen وآخرون، 2003). والمرجح أن تنخفض قدرات المديرين على الوفاء بهدف التشغيل (الموثوقية) انخفاضاً كبيراً في ظل تغير المناخ حسبما أسقطت بواسطة (نماذج الدوران العام الغلاف الجوي – المحيط في مركز هادلي وأماكن أخرى) (HadCM2) والنماذج المتقارنة للدوران العام بين الغلاف الجوي والمحيطات والجليد البحري (AOGCMs) ونموذج الغلاف الجوي للمركز الأوروبي بهامبورج (ECHAM4/OPYC3) في إطار السيناريو IS92a للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ IPCC بالنسبة لعشرينات وتسعينات القرن الحادي والعشرين (Hamlet and Lettenmaier، 1999). ويتوقع أن يصل النقص في الموثوقية إلى نسبة 25% في نهاية القرن الحادي والعشرين (Mote وآخرون، 1999) وأن يتفاعل مع متطلبات القواعد التشغيلية. وعلى سبيل المثال، ستخفّض قواعد «fish first» الموثوقية القوية للطاقة بنسبة 10% في إطار المناخ الحالي وبنسبة 17% في سنوات المرحلة الدافئة من تذبذب المحيط الهادئ العقدي (PDO). وتنطوي تدابير التكيف على إمكانية تخفيف تأثير نقصان التراكم الثلجي السنوي في شهر نيسان/ أبريل لكنها يمكن أن تؤدي إلى خسائر تتراوح نسبتها بين 10 و20% في الطاقة الكهرمائية وإلى خفض التدفقات عن مستوى التدفقات الصيفية الجارية بالنسبة للأسماك (Payne وآخرون، 2004). ولايزال إدماج التكيف مع تغير المناخ في عمليات التخطيط الإقليمية في المراحل المبكرة من تطوره (Cohen وآخرون، 2006).

وأدت هذه القدرات إلى التكيف وإستراتيجيات للتصدي من خلال طائفة واسعة من الظروف التاريخية حققت نجاحات وإخفاقات على السواء. وتبحث معظم الدراسات المتعلقة بإستراتيجيات التكيف، التنفيذ القائم على الخبرات الماضية (Paavola and Adger، 2002). [WGII 14.5]

تعرضت الزراعة في أمريكا الشمالية لكثير من أحداث الطقس القاسية خلال العقد الماضي. وكان من شأن زيادة تقلب الطقس المقترنة بالهجرة من المناطق الريفية وصنوف الإجهاد الاقتصادي أن زاد ضعف القطاع الزراعي إجمالاً كما أثار القلق بشأن قدرته على التصدي في المستقبل لمناخ أكثر تقلباً (مجلس كندا، 2003؛ Wheaton وآخرون، 2005). ومع ذلك، فإن الزراعة في أمريكا الشمالية دينامية. والتكيف مع صنوف الإجهاد وتوافر فرص متعددة، بما في ذلك التغيرات في الأسواق والطقس، هي عملية عادية بالنسبة لهذا القطاع. وغالباً ما يستخدم تنوع المحاصيل والمؤسسات وصون التربة والمياه للحد من المخاطر المتعلقة بالطقس (Wall and Smit، 2205). [WGII 14.2.4]

وبدأت مدن كثيرة في أمريكا الشمالية اتخاذ إجراءات «لا يُندم عليها» تستند إلى الخبرة التاريخية (منطقة مياه المتروبوليتان التي توفر مياه الشرب لأجزاء من لوس أنجلوس وأورانج وسان دييجو (MWD، 2005). [WGII الإطار 14.3] كما تستثمر دوائر الأعمال التجارية في كندا والولايات المتحدة الأمريكية في عمليات التكيف المتعلقة بالتغيرات في موارد المياه وإن كان قليل من هذه الاستثمارات يستند فيما يبدو إلى الإسقاطات المتعلقة بتغير المناخ في المستقبل. [WGII 14.5.1] وتشمل الأمثلة على هذه الأنواع من التكيف ما يلي.

- استثمار شركات التأمين في البحوث الرامية إلى منع وقوع أضرار من المخاطر في المستقبل على الممتلكات المؤمن

عليها، وضبط نماذج التسعير (Munich Re، 2004؛ Mills and Lecompte، 2006). [WGII 14.2.4]

- استثمار مشغلي منتجعات التزلج في المصاعد التي تصل إلى الارتفاعات العالية، وفي التجهيزات الرامية إلى التعويض عن تناقص الغطاء الثلجي (Elsasser وآخرون، 2003؛ Cenus Bureau، 2004؛ Scott، 2005؛ Jones and Scott، 2006؛ Scott and Jones، 2006). [WGII 14.2.4]
- خفضت نيويورك مجمل استهلاك المياه بنسبة 27% واستهلاك الفرد بنسبة 34% منذ أوائل الثمانينات (مدينة نيويورك، 2005). [WGII 14.2.4]
- في منطقة لوس أنجلوس، شجعت البرامج الخاصة بالحوافز والبرامج الإعلامية لمرافق مناطق المياه المحلية صون المياه (MWD، 2005). [WGII الإطار 14.3]
- قيام المزارعين الذين تتوافر لهم معلومات تفصيلية إلى حد كبير عن الأحوال الجوية بضبط انتقاء المحاصيل والأنواع، وإستراتيجية الري واستخدامات مبيدات الآفات (Smii and Wall، 2003). [WGII 14.2.4]
- عانت مدينة بيتربورو، كندا، من حدثين للفيضانات التي تحدث كل مائة سنة في غضون 3 سنوات. واستجابت بإجراء تدفق مفاجئ لنظم الصرف، وإحلال نظم قنوات المجارير للوفاء بالمعايير الخاصة بمواجهة فيضانات أكثر تطرفاً لمدة 5 سنوات (Hunt، 2005). [WGII 14.5.1]
- أدت نوبات الجفاف التي حدثت مؤخراً في ست مدن رئيسية في الولايات المتحدة الأمريكية بما في ذلك نيويورك ولوس أنجلوس إلى تدابير للتكيف تشمل استثمارات في نظم صون المياه والمرافق الجديدة لإمدادات/توزيع المياه (Changnon and Changnon، 2000). [WGII 14.5.1]
- وللتصدي لزيادة في هطول المطر الغزير بلغت نسبتها 15% استخدمت برلنغتون وأوتاوا، أونتاريو تدابير هيكلية ولا هيكلية على السواء، بما في ذلك توجيه مزاريب سفلية إلى المروج بغية تشجيع التسرب وزيادة خفض المستوى وتخزين المحتجز من المياه في الشوارع (Waters وآخرون، 2003). [WGII 14.5.1]
- أدت زيادة في السكان بلغت نسبتها 35% (مليون شخص تقريباً) منذ عام 1970 إلى زيادة استخدام المياه في لوس أنجلوس بنسبة 7% فقط (مجموعة كاليفورنيا للتقييم الإقليمي، 2002). ويعود هذا بدرجة كبيرة إلى ممارسات عمليات صون المياه. [WGII الإطار 14.3]
- أعدت المنطقة الإقليمية لأوكاناغان الوسطى في كولومبيا البريطانية خطة لإدارة المياه في عام 2004 لمنطقة تخطيط تعرف باسم Trepanier Landscape Unit، تتناول بوضوح سيناريوهات المناخ، والتغيرات المسقطة فيما يتعلق بإمدادات المياه والطلب على المياه، وخيارات التكيف (Cohen وآخرون، 2004؛ Summit Environmental Consultants، 2004). [WGII الإطار 3.1، 20.8.2]

5.7 المنطقتان القطبيتان

5.7.1 السياق

المنطقتان القطبيتان هما المنطقتان من الأرض اللتان يتوقع أن تشهدا بعض أبكر التغيرات المتسحثة بفعل المناخ وأشدها عمقاً الأمر الذي يعود بدرجة كبيرة إلى مكونات غلافها الجليدي الواسع الذي يهيمن أيضاً على العمليات الهيدرولوجية وموارد المياه. وتم الإعراب بالنسبة للمنطقة القطبية الشمالية Arctic عن أكبر قدر من القلق بشأن آثار المناخ المتغير على موارد المياه في المنطقتين القطبيتين. وبالنسبة للمنطقة القطبية الجنوبية Antarctic، جرى التركيز على توازن كتلة صفائح الجليد الرئيسية وتأثيرها على مستوى سطح البحر، وبدرجة أقل، على التغيرات المستحثة في بعض النظم المائية. وتحتوي المنطقة القطبية الشمالية Arctic على تنوع ضخم في موارد المياه، بما في ذلك كثير من أكبر أنهار العالم (Lena, Ob, Mackenzie and Yenisey)، والدلتات الكبرى (Lena and Mackenzie)، والبحيرات الكبرى (مثل بحيرة Great Bear)، وأنهار جليدية، وقلنسوات جليدية ممتدة، ومناطق واسعة من الأراضي الرطبة. وبسبب صغر عدد السكان نسبياً (4 ملايين نسمة: Bogovavlenskiy and Siggner، 2004) وقسوة المناخ، فإن الصناعات المعتمدة على موارد المياه مثل الزراعة والحراجة هي صغيرة الحجم تماماً، في حين يوجد عديد من مصائد الأسماك التجارية والمعيشية. ولئن كان بعض الشعوب الرحّل لايزال ذا شأن في بعض بلدان القارة القطبية الشمالية Arctic، فإن السكان يتزايد تركزهم في مجتمعات أكبر (يعيش ثلثا السكان حالياً في مستوطنات تضم أكثر من 5000 من السكان) وإن كان معظم هذه المستوطنات كائن بالقرب من الطرق المائية الرئيسية كما يعتمد على الانتقال في هذه الطرق. وأدى الانتقال إلى المجتمعات المحلية الأكبر إلى زيادة الوصول، على سبيل المثال، إلى إمدادات المياه المعالجة وتصريف المجاري الحديثة (Hild and Stordhal، 2004). [WGI 10.6.4; WGII 15.2.1]

وترد نسبة هامة من موارد مياه المنطقة القطبية الشمالية Arctic من أحواض منابع الأنهار الكبرى التي تحمل التدفقات عبر المناطق الشمالية إلى المحيط المتجمد الشمالي. وكانت تدفقات هذه الأنهار محور تركيز عملية تطور كهرمائي هام وتظل تمثل بعض أكبر إمكانيات الطاقة الكهربائية المائية التي لم يُستفد منها بعد (Shiklomanov وآخرون، 2000؛ Prowse وآخرون، 2004). ونظراً لدور هذه الأنهار في نقل الحرارة والرُّسابة، والمغذيات، والملوثات، والكائنات الحية في الشمال فإن التغيرات المستحثة بفعل المناخ عند خطوط العرض المنخفضة تمارس أثراً قوياً على المنطقة القطبية الشمالية Arctic. وبالإضافة إلى ذلك، فإن التغيرات في التدفق المشترك لجميع مستجمعات المياه في المنطقة القطبية الشمالية Arctic هي التي حُددت على أنها هامة جداً لميزانية المياه العذبة في المحيط المتجمد الشمالي، ولإنتاج جليد البحر، ولها في نهاية المطاف، آثار محتملة على الدوران المدفوع بالتباين الحراري والملحي، والمناخ العالمي. [WGI 10.3.4, WGII 15.4.1]

5.7.2 التغيرات المرصودة

تمثل أهم تغير ملحوظ في موارد مياه القارة القطبية الشمالية Arctic في الزيادة التي حدثت منذ ثلاثينات القرن العشرين في التدفق المشترك من أكبر ستة أنهار أوراسية (بنسبة بلغت 7%: Peterson وآخرون، 2002). ولوحظت أيضاً زيادة الجريان إلى المحيط المتجمد الشمالي من الأنهار الجليدية الكائنة حول القطب ومن القلنسوات الجليدية وصفائح جليد غرينلاند التي حدثت في أواخر القرن العشرين والتي يمكن مقارنتها بالزيادة في الانصباب والدفق الداخلي النهري المشترك لأكبر أنهار عموم القارة القطبية الشمالية Arctic (Dyurgerov and Carter، 2004). وتتعلق التغيرات في توازن الكتل الجليدية باستجابة معقدة للتغيرات في الهطول ودرجات الحرارة تنتج عنها

اتجاهات إقليمية متعارضة من مثل تلك التي توجد بين الأجزاء الحدية وبعض الأجزاء الداخلية من الغطاء الجليدي لغرينلاند (Abdalati and Steffen، 2001؛ Johannessen وآخرون، 2005؛ Walsh وآخرون، 2005). وفي حالة زيادة التدفقات في الأنهار الأوراسية، فإن عوامل تحكم ممكنة من مثل ذوبان الثلوج من التربة الصقيعية، وأثر حرائق الغابات، والاختلافات في تخزين المياه في السدود، قد استُبعِدَت مسؤوليتها عن تلك الحالة (McClelland وآخرون، 2004)، وتشير دراسة نمذجة واحدة إلى أن عوامل التأثير البشري المنشأ في المناخ قد لعبت دوراً في هذا الصدد. وثبتت بوجه خاص صعوبة تقييم آثار المناخ والعوامل الأخرى على نهر ماكينزي وهو أكبر نهر متدفق من المنطقة القطبية الشمالية Arctic في أمريكا الشمالية بسبب الآثار الموهنة الكبيرة على التدفق الناجمة عن تأثير التخزين - الإطلاق الطبيعي للبحيرات والخزانات الكبرى (Gibson وآخرون، 2006؛ Peters وآخرون، 2006). [WGI 9.5.4; WGII 15.4.1.1]

ومن الصعب التحقق من آثار هطول الأمطار على الجريان الأمر الذي يعود بدرجة كبيرة إلى أوجه ضعف شبكة الهطول في Arctic وتفرقها، لكن يُعتقد أن الهطول زاد ببطء بلغت نسبته قرابة 1% في العقد (McBean وآخرون، 2005؛ Walsh وآخرون، 2005). ولوحظت أيضاً تغيرات في حجم الصبيب الشتوي في أنهار القارة القطبية الشمالية Arctic الرئيسية ورُبطت بزيادة الاحترار والهطول الشتوي في حالة نهر Lena (Yang وآخرون، 2002)؛ Berezovskaya وآخرون، 2005) مع أنه اعتُقد من قبل أيضاً أن هذه التغيرات مستحثة بفعل المناخ، وذلك ببساطة من أجل تنظيم الطاقة الكهربائية المائية المتولدة من نهري Ob وYang) Yenisei وآخرون، 2004a,b). وحدثت تغيرات أيضاً في توقيت سيول الربيع وهو حَدَث التدفق المهيمن على أنهار Arctic لكن هذه التغيرات لم تكن ثابتة مكانياً على مدى الستين عاماً الأخيرة، بينما أظهرت أنهار سيبيريا المجاورة اتجاهات نحو التزايد (Lena: Yang وآخرون، 2002) والتناقص على السواء (Yenisei: Yang وآخرون، 2004b) ويتحكم جليد المياه العذبة الطافي أيضاً في الديناميات الموسمية لأنهار وبحيرات Arctic، وخصوصاً نظم الفيضانات، ومع أنه لم يبلغ عن أي تغير في تواتر أو حجم الفيضانات المستحثة بفعل الجليد، فإن مدة الغطاء الجليدي قد نقصت في معظم منطقة شمال Arctic الساحلية. (Walsh وآخرون، 2005). [WGII 15.2.1, 15.4.1.1]

وحدثت تغيرات هامة في التربة الصقيعية في Arctic في نصف القرن الأخير (Walsh وآخرون، 2005) ونظراً لدور الأرض المتجمدة في التحكم في طرق مرور التدفقات، فإن سيحان التربة الصقيعية يمكن أن يؤثر على الاستجابات الموسمية للهطول – للجريان (Serreze وآخرون، 2003؛ Berezovskaya وآخرون، 2005؛ Zhang وآخرون، 2005). واشتبه أيضاً في أن سيحان التربة الصقيعية وما ارتبط به من زيادة في إنفاذية الطبقة السفلية قد أحدثا تغيرات في غزارة مياه البحيرات في بعض مناطق سيبيريا خلال فترة ثلاثة عقود في نهاية القرن العشرين (Smith وآخرون، 2005؛ انظر الشكل 5.12). وفي خطوط العرض الأعلى، يُعتقد أن السيحان الأولي قد زاد المياه السطحية للبرك وغزارة مياه البحيرات في حين في خطوط العرض الأدنى نقصت غزارة مياه البحيرات لأن السيحان الأوسع نطاقاً والأعمق غوراً أتاح لمياه البرك أن تصرّف مياهها إلى نظم التدفق تحت السطح. وفي مناطق Arctic الواسعة، تبين أن التكوين الأحيائي للمجتمعات الأحيائية المائية للبحيرات والبرك يستجيب للتغيرات في تزايد المتوسط السنوي والصيفي في درجات حرارة الهواء وما يتعلق به من تغيرات في التراصف/الاستقرار الحراري ومدة الغطاء الجليدي (Korhola وآخرون، 2002؛ Ruhland وآخرون، 2003؛ Pienitz وآخرون، 2004؛ Smol وآخرون، 2005؛ Prowse وآخرون، 2006). [WGI الفصل 4؛ WGII 15.4.1.1]

وتبين أيضاً أن النظم الإيكولوجية المائية للمياه العذبة في المنطقة القطبية الجنوبية Antarctic تستجيب بدرجة عالية للتغيرات في المناخ، وخصوصاً لدرجة حرارة الهواء، وإن كانت الاتجاهات في هذا الصدد قد تباينت عبر القارة. ولوحظ أن إنتاجية البحيرات في الوديان الجافة، على سبيل المثال، تنخفض مع تناقص درجة حرارة الهواء (Doran وآخرون، 2002). وعلى خلاف ذلك، فإن ارتفاع درجات حرارة الهواء في جزيرة Signy الكائنة في منطقة شمال Antarctic البحرية قد أنتج بعض أسرع وأضخم الاستجابات في درجات حرارة مياه البحيرات التي وثقت حتى الآن في نصف الكرة الأرضية الجنوبي (Quayle وآخرون، 2002). وبالإضافة إلى ذلك، أنتجت تأثيرات الاحترار على الثلج والغطاء الجليدي مجموعة مختلفة من اضطرابات النظام الإيكولوجي (Quayle وآخرون، 2003). [WGII 15.2.2.2]

5.7.3 التغيرات المسقطة

تثير التغيرات المسقطة فيما يتعلق بالهيدرولوجيا ومن ثم بموارد المياه في Arctic إشكالية بسبب التقلبية الشديدة في الموسمية والأنماط المكانية للهطول فيما بين نماذج الدوران العام GCMs. ولئن كان معظم النماذج يتنبأ بحدوث زيادة في الهطول فإن التنبؤ بالجريان من مُدخلات الهطول تفنده المشاكل الناشئة في توزيع الأمطار والثلوج مع ارتفاع درجة حرارة المنطقة أو عندما تصبح مصادر إضافية للرطوبة متاحة مع تراجع الجليد البحري. إلا أن آخر الإسقاطات المتعلقة بالجريان من مستجمعات المياه الرئيسية في Arctic تشير بوجه عام إلى زيادة إجمالية تتراوح نسبتها بين 10 و30%. إلا أن عاملاً واحداً غير مدرج في هذه الإسقاطات هو الزيادة في التبخر – النتح التي ستحدث مع تغير الغطاء النباتي الأرضي السائد من نباتات بهق الحجر الطفيلية الشبيهة بالطحالب والتي لا تنتح في التندرا إلى مختلف الأنواع الشجرية (Callaghan وآخرون، 2005)، وإن كان ذلك يمكن تعويضه بالانخفاض في النتح المستحث بفعل ثاني أكسيد الكربون (Gedney CO2 وآخرون، 2006). وبالمثل لم تدرج في إسقاطات الجريان الحالية آثار سيحان التربة الصقيعية في المستقبل وتعمق الطبقات النشطة (Anisimov and Belolutskaia، 2004؛ Instanes وآخرون، 2005)، الذي سيرتبط بشكل متزايد بين نظم التدفقات السطحية وتدفقات المياه الجوفية مما تنتج عنه تغيرات كبيرة في الخرائط البحرية الفصلية. وإن اتحاد ترطب التندرا أو جفافها المقترن بالاحترار وزيادة عمق الطبقة النشطة سيحدد حالة مصادر/بالوعات سريان الكربون وغاز الميثان. ويُتوقع أن يسبب سيحان التربة الصقيعية وازدياد الصبيب زيادة في حمولات المواد المترسبة النهرية (Syvitski، 2002) واحتمال حدوث تحولات كبيرة في شبكات القنوات (Bogaart and van Balen، 2000؛ Vandenberghe، 2002). [WGI الفصل 10؛ WGII 15.4.2.3, 15.4.1.2]

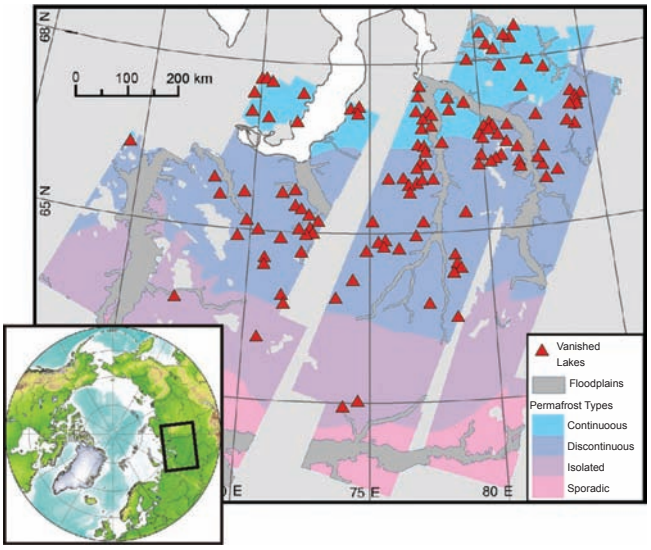
وسيزداد الجريان في كلتا المنطقتين القطبيتين بفعل فقدان الأنهار الجليدية والقلنسوات الجليدية والصفائح الجليدية في غرينلاند وAntarctic، وإن

كانت بعض القلنسوات الجليدية والصفائح الجليدية تسهم أكبر إسهام في توجيه المياه الناتجة عن ذوبان الجليد مباشرة إلى المحيطات المحيطة بهما. والأهم بالنسبة لموارد المياه الأرضية هي مختلف الأنهار الجليدية المنتشرة في كافة أنحاء Arctic والتي يُتوقع أن تتقلص إلى حد كبير بمضي الوقت. ولئن كان الاختفاء التدريجي لنهر جليدي أو نشوء موازنة جديدة أصغر لموارد النهر الجليدي تؤدي في البداية إلى تزايد تدفق المجرى المائي فإنها تؤدي في نهاية المطاف إلى خفض التدفقات، وخصوصاً أثناء فترات أواخر الصيف الأكثر جفافاً، والفترات الحرجة بالنسبة للمجموعات الأحيائية المائية في Arctic. [WGI الفصل 10؛ WGII 15.4.1.3]

وينطوي الاحترار المُسقط بداهة أيضاً على استمرار الاتجاهات التي ظهرت مؤخراً نحو تأخر تجمد جليد الأنهار والبحيرات، والتكسر المبكر لهذا الجليد (Walsh وآخرون، 2005) ونقصان سُمك الجليد الذي سيؤدي إلى تغيرات في الهياكل الحرارية للبحيرات وفي نوعية/كمية الموائل الكائنة تحت الجليد، وإلى آثار على انسداد الأنهار بالجليد وما ينجم عن ذلك من فيضانات (Beltaos وآخرون، 2006؛ Prowse وآخرون، 2006). والآثار الأخيرة هامة باعتبارها تشكل مخاطر على كثير من المستوطنات الشمالية المستندة إلى الأنهار لكنها خطيرة أيضاً على استدامة الصحة الإيكولوجية للنظم الإيكولوجية المشاطئة التي تعتمد على الغمر بالمياه، والمواد الرسوبية والمواد المغذية (Prowse وآخرون، 2006). [WGII 15.4.1.2, 15.6.2]

وستؤدي التحولات الكبرى المذكورة آنفاً في هيدرولوجيا Arctic الباردة إلى تغير التنوع الأحيائي المائي، وخصوبة الموئل، وإتاحته الفصلية، والتوزيع الجغرافي للأنواع بما في ذلك التجمعات الرئيسية لمصائد الأسماك (Prowse وآخرون، 2006؛ Reist وآخرون، 2006a, b, c؛ Wrona وآخرون، 2006). وتحصل الشعوب القاطنة Arctic التي تعمل في اقتصادات قائمة على الكفاف واقتصادات تجارية على خدمات كثيرة من النظم الإيكولوجية للمياه العذبة (مثلاً الكائنات الحية التي يمكن صيدها) كذلك من شأن التغيرات في وفرة هذه الموارد وملئها من جديد وإتاحتها وقابلية الوصول إليها أن يغير الاستخدام المحلي للموارد وأساليب المعيشة التقليدية (Nuttall وآخرون، 2005؛ Reist وآخرون، 2006a). [WGII 15.4.1.3]

ونظراً لأن المتوقع هو أن تغدو Arctic «أكثر رطوبة ومطراً» بوجه عام، فإن عدداً من العمليات الهيدرولوجية سيؤثر على المسالك المائية ويزيد حمل المواد الملوثة (مثل الملوثات العضوية دائمة المفعول، والزئبق) إلى النظم المائية لـ Arctic (MacDonald وآخرون، 2003). وتنطوي التغيرات في هيكل السلسلة الغذائية المائية والوترات الغذائية المائية (Wrona وآخرون، 2006) على إمكانية إضافية لتغيير تراكم المواد الكيميائية المكبِّرة أحيائياً. وقد شكل ذلك شواغل صحية خاصة للمقيمين الشماليين الذين يعتمدون على المصادر التقليدية للأغذية المحلية. كما ستؤدي التغيرات في التوقيت الفصلي للتدفقات والمياه السطحية المتاحة وكميتها أيضاً إلى إثارة شواغل لكثير من المجتمعات المحلية الشمالية التي تعتمد على المياه السطحية/أو المياه الجوفية غير المعالجة غالباً في الحصول على مياه الشرب (وكالة الحماية البيئية في الولايات المتحدة الأمريكية، 1997؛ Martin وآخرون، 2005). ويمكن أن تزداد مخاطر التلوث أيضاً مع انتقال الأنواع وما يرتبط



الشكل 5.12: *مواقع البحيرات السيبيرية التي اختفت بعد فترة ارتفاع في درجات حرارة التربة والهواء على مدى ثلاثة عقود (سُجلت التغيرات في صور التقطت من السواتل منذ أوائل السبعينات إلى الفترة 1997-2004)، والتقطت الصور فوق أنواع شتى من التربة الصقيعية. ويوحي النمط المكاني لاختفاء البحيرات بأن سيحان التربة الصقيعية هو الذي تسبب في الفقدان الملحوظ للبحيرات. من Smith وآخرين (2005). أعيد نشرها بإذن من الرابطة الأمريكية لتقدم العلوم AAAS. [WGII الشكل 15.4]*

بها من أمراض نحو الشمال، وتلويث مياه البحار لاحتياطيات المياه الجوفية بسبب ارتفاع مستوى سطح البحر في المجتمعات المحلية الساحلية (Warren وآخرون، 2005). [WGII 15.4.1]

وسيتأثر القدر الكبير من التطور والبنى الأساسية التي تنحو نحو التركز بالقرب من نظم المياه العذبة في Arctic تأثراً شديداً بالتغيرات في النظم الهيدرولوجية الشمالية. وتشمل الأمثلة الهامة على ذلك ضعف وانخفاض قدرة تجهيزات النقل والمجتمعات المحلية الشمالية على الوصول إلى الطرق الجليدية؛ والتغيرات في إتاحة المياه السطحية والمياه الجوفية للمجتمعات المحلية والصناعة؛ وفقدان الأمن فيما يتعلق باحتواء مخلفات المناجم في البحيرات الشمالية الكائنة تحت تربة صقيعية؛ وزيادة تدفق الجليد ومخاطره على منصات الحفر الكائنة في المجاري المائية والمستودعات الخاصة بتوليد الطاقة الكهربائية المائية (اللجنة العالمية المعنية بالسدود، 2000؛ Prowse وآخرون، 2004؛ Instanes وآخرون، 2005). ولئن كان لم يتم تقييم إنتاج الكهرباء في Arctic بأكملها في المستقبل، فإن التقدير الوارد في سيناريو الانبعاثات IS92a يشير إلى أن إمكانيات الطاقة الكهرمائية للوحدات القائمة في نهاية القرن العشرين ستزيد بنسب تتراوح بين 15 و30% في اسكندنافيا وشمال روسيا. [WGI 3.5.1; WGII 15.4.1.4]

5.7.4 التكيف وسرعة التأثر

يتعلق قدر كبير من سرعة التأثر الإجمالية لموارد المياه العذبة في Arctic بتغير المناخ، بالتغيرات المفاجئة المرتبطة بالتحولات في المراحل المائية من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة التي ستحدث في كثير من النظم الهيدرولوجية للغلاف الجليدي. وقد استطاعت النظم الإيكولوجية للمياه العذبة في Arctic تاريخياً التكيف مع التغيرات الكبيرة في المناخ لكن

على فترات مفرطة التطاول (مثلاً Ruhland وآخرون، 2003). إلا أنه من المتوقع أن تتجاوز المعدلات السريعة للتغير على مدى القرن المقبل قدرة بعض الكائنات الحية على التكيف (Wrona وآخرون، 2006)، وأن تنتج عنها تأثيرات سلبية أكثر منها إيجابية بالنسبة للنظم الإيكولوجية للمياه العذبة (Wrona وآخرون، 2005). [WGII 15.2.2.2]

ومن منظور الاستخدام البشري، فإن تدابير التكيف الممكنة هي غاية في الاختلاف، وتتراوح بين التدابير الرامية إلى تسهيل استخدام موارد المياه (مثل إجراء تغييرات في ممارسات إنشاء طرق الجليد، وزيادة النقل في المياه المفتوحة، وتنظيم التدفقات من أجل إنتاج الطاقة الكهربائية المائية، وإستراتيجيات جمع المياه، وأساليب الوصول إلى مياه الشرب). وإستراتيجيات التكيف التي تعالج مخاطر ازدياد/نقصان المياه العذبة (مثل الهياكل الحامية من أجل الحد من مخاطر الفيضانات أو زيادة التدفقات في النظم المائية؛ Prowse and Beltaos، 2002). إلا أن الارتباطات الثقافية و/أو الاجتماعية القوية بالاستخدامات التقليدية لموارد المياه من قبل بعض الشعوب الشمالية يمكن أن يعقد اعتماد بعض إستراتيجيات التكيف (McBean وآخرون، 2005؛ Nuttall وآخرون، 2005). [WGII 15.2.2.2]

5.8 الجزر الصغيرة

5.8.1 السياق

أشار تقرير التقييم الثالث TAR (الفصل 17؛ الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ IPCC، 2001b) إلى أن الدول الجزرية الصغيرة تشترك في أوجه تماثل كثيرة (مثلاً الحجم المادي الطبيعي، والتعرض للكوارث الطبيعية ولظواهر المناخ المتطرفة، والانفتاح المتطرف للاقتصادات وضعف القدرة على التكيف، وانتشار المخاطر) الذي يزيد من سرعة تأثرها ويضعف مرونتها إزاء تقلبية المناخ وتغيره. وعلى الرغم من الاختلافات في مجالات التركيز وفي الأولويات القطاعية بين مختلف الجزر فإنه تنشأ مع ذلك ثلاثة مواضيع مشتركة.

1- جميع الرسائل الوطنية [25] المبلغة من الدول الجزرية الصغيرة تشدد على مدى إلحاح اتخاذ إجراءات تكيف وعلى الموارد المالية اللازمة لدعم هذه الإجراءات.

2- يُنظر إلى المياه العذبة باعتبارها مسألة بالغة الأهمية في جميع الدول الجزرية الصغيرة سواء من حيث نوعية المياه أو من حيث كميتها.

3- أن دولاً جزرية صغيرة كثيرة، بما في ذلك جميع الدول الجزرية الصغيرة النامية (SIDS) تدرك الحاجة إلى زيادة التخطيط والإدارة المتكاملين لمستجمعات المياه. [WGII تقرير التقييم الثالث، الفصل 17]

والماء مورد متعدد القطاعات يرتبط بجميع أوجه الحياة وسبل المعيشة، بما في ذلك الأمن. ويُنظر إلى موثوقية توفير إمدادات المياه باعتبارها مشكلة بالغة الأهمية في جزر كثيرة في الوقت الحالي، وهي مشكلة ستزداد إلحاحاً في المستقبل. وثمة أدلة قوية على أنه في إطار معظم سيناريوهات تغير المناخ يُحتمل أن تتعرض موارد المياه في الجزر الصغيرة تعرضاً بالغاً للخطر (ثقة عالية جداً). ولمعظم الجزر الصغيرة إمدادات مياه محدودة، وتتسم موارد المياه في هذه الجزر بأنها سريعة التأثر بصفة خاصة بالتغيرات وبتوزيع الأمطار اللذين سيحدثان في المستقبل. ويرتبط مدى تدابير التكيف التي بُحثت، والأولويات التي حُددت ارتباطاً وثيقاً بالقطاعات الاجتماعية – الاقتصادية الرئيسية لكل بلد، وبشواغله البيئية الرئيسية، وبمناطقه المعرضة أشد تعرض لمخاطر تأثيرات تغير المناخ من مثل ارتفاع مستوى سطح البحر. [WGII 16.ES, 16.5.2]

5.8.2 الاتجاهات المناخية الملحوظة والإسقاطات في المناطق الجزرية

تثير الظروف الهيدرولوجية وإمـدادات المياه واستخدامها في الجزر الصغيرة مشاكل تكيف ومشاكل بحثية مختلفة تماماً مقارنة بالمشاكل التي تنشأ في الحالات القارية. ويتعين بحث هذه المشاكل ونمذجتها عبر مجموعة من الأنماط الجزرية التي تغطي جيولوجيا وطوبوغرافيا وغطاء للأراضي مختلفين، وعلى ضوء أحدث السيناريوهات والإسقاطات المتعلقة بتغير المناخ. [WGII 16.7.1] وتظهر عمليات الرصد الجديدة وإعادة تحليل متوسطات درجات الحرارة على سطحي الأرض والمحيطات منذ تقرير التقييم الثالث اتجاهات احترار ثابتة في جميع المناطق الجزرية الصغيرة على مدى الفترة من عام 1901 إلى عام 2004. إلا أن الاتجاهات ليست خطية، كما أن عدم الاحتفاظ بسجلات تاريخية يعوّق بشدة تحليل الاتجاهات. [WGII 16.2.2.2]

وتظهر الدراسات التي أجريت مؤخراً أن درجات الحرارة السنوية والفصلية لسطح المحيطات ودرجات حرارة هواء الجزر قد ارتفعا بنسب تتراوح بين 0.6 و1.0 درجة مئوية منذ عام 1910 في جزء كبير من المحيط الهادئ الجنوبي وجنوب غرب نطاق التقارب لجنوب المحيط الهادئ (SPCZ) [26] حيث لم تُشهد الزيادات العقدية في درجات الحرارة السنوية بما يتراوح بين 0.3 و0.5 درجة مئوية إلا منذ السبعينات، وسبقتها بعض البرودة بعد أربعينات القرن العشرين التي تمثل بداية السجل في شمال شرق نطاق التقارب SPCZ (Salinger، 2001؛ Folland وآخـرون، 2003). وتظهر التحليلات بالنسبة لمناطق البحر الكاريبي والمحيط الهندي والبحر الأبيض المتوسط، أن الاحترار تراوح بين 0.24 درجة مئوية و0.5 درجة مئوية للعقد في العقود المنصرمة بين عام 1971 وعام 2004. وشهدت بعض المناطق في خطوط العرض العالية، بما في ذلك أرشبيلاغو الأركتيكية في غرب كندا احتراراً بوتيرة أسرع من المتوسط العالمي (McBean وآخرون، 2005). [WGII 16.2.2.2]

[25] يطلب من البلدان بموجب اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ (UNFCC) ، تقديم إفادات وطنية دورية على مدى تقدمها في الحد من صافي إنبعاثات غازات التدفئة ، و السياسات و التدابير المقررة ، و تقييم الاحتياجات.

[26] يشكل نطاق التقارب لجنوب المحيط الهادي (SPCZ) جزءا من نطاق التقارب بين المدارين (ITCZ) وهو قطاع من التقارب المنخفض المستوى، و يمتد التغيم و الهطول من حوض غرب المحيط الهادئ الدافئ نحو الجنوب الشرقي إلى بولينيزيا الفرنسية .

وتُظهر اتجاهات هطول المطر اليومي ودرجات الحرارة المتطرفين عبر جنوب المحيط الهادئ في الفترة 1961-2003 زيادة في العدد السنوي للأيام الحارة والليالي الدافئة مع نقصان في العدد السنوي للأيام معتدلة البرودة والليالي الباردة، وخصوصاً في السنوات التي تعقب هبوب النينيو وتكون فيها اتجاهات هطول الأمطار المتطرفة، بوجه عام، أقل ترابطاً مكانياً من اتجاهات درجات الحرارة المتطرفة (Manton وآخرون، 2001؛ Griffiths وآخرون، 2003). وفي منطقة البحر الكاريبي، زادت النسبة المئوية للأيام ذات درجات الحرارة الدافئة جداً، الدنيا أو القصوى، زيادة شديدة منذ الخمسينات بينما نقصت النسبة المئوية للأيام ذات درجات الحرارة الباردة (Petersen وآخرون، 2002). [WGII 16.2.2.2]

وبالنسبة لمنطقة البحر الكاريبي، يُتوقع حسب الإسقاطات أن يؤثر ارتفاع يتراوح بين 1.5 درجة مئوية ودرجتين مئويتين في درجة حرارة الهواء العالمي على المنطقة من خلال [WGII تقرير التقييم الثالث الذي أعده الفريق العامل الثاني الفصل 17]:

- حدوث زيادات في الفاقد بسبب التبخر،
- حدوث نقصان في الهطول (استمرار اتجاه انخفاض هطول الأمطار الملاحظ في بعض أنحاء المنطقة)،
- قِصَر طول الفصل الممطر – بنسب تتراوح بين 7 و8% بحلول عام 2050،
- زيادة طول الفصل الجاف بنسب تصل إلى ما يتراوح بين 6 و8% بحلول عام 2050،
- زيادة تواتر الأمطار الغزيرة – بنسبة تصل إلى 20% بحلول عام 2050،
- زيادة التحات وتلوث المناطق الساحلية.

وتهيمن ظاهرة النينيو/ التذبذب الجنوبي ENSO والتقلبية العقدية على التقلبات في هبوب الأعاصير المدارية وفي خارج المنطقة المدارية، وأعاصير الهاريكين، وأعاصير التيفون الاستوائية في كثير من مناطق الجزر الصغيرة. وتنتج عن هذا إعادة توزيع للعواصف المدارية ومساراتها بحيث أن حدوث زيادة في هذه العواصف في حوض يقابله غالباً حدوث نقصان لها في أحواض أخرى. وعلى سبيل المثال، أثناء حدث لظاهرة النينيو، فإن نسبة حدوث أعاصير الهاريكين تنقص عادة في المحيط الأطلسي، وفي أقصى غرب المحيط الهادئ، وفي مناطق أستراليا، بينما تزداد في وسط وشمال وجنوب المحيط الهادئ، وخصوصاً في منطقة الأعاصير الاستوائية (التيفون) في شمال غرب المحيط الهادئ. وهناك أدلة مستمدة من عمليات الرصد على شدة نشاط الأعاصير المدارية في شمال المحيط الأطلسي منذ عام 1970 تقريباً ارتبطت بارتفاع في درجات حرارة سطح البحر SSTs في المناطق المدارية. وهناك دلائل أيضاً على حدوث زيادات في شدة نشاط الأعاصير المدارية في مناطق أخرى تزداد فيما يتعلق بها الشواغل بشأن مدى جودة البيانات. وتعقد التقلبية متعددة العقود ونوعية السجلات السابقة على حوالي عام 1970 كشف الاتجاهات الطويلة الأمد. وتشير تقديرات القدرة التدميرية المحتملة للأعاصير المدارية إلى اتجاه صعودي أساسي منذ منتصف السبعينات. [الفريق العامل الأول، الملخص الفني، WGI TS, 3.8.3; WGII 16.2.2.2]

وتظهر تحليلات سجلات مستوى سطح البحر التي تحتوي على بيانات مسجلة كل ساعة لمدة 25 عاماً على الأقل من المحطات المنشأة حول حوض المحيط الهادئ، معدل متوسط إجمالي فيما يتعلق بارتفاع مستوى سطح البحر يبلغ 0.7 مليمتر/سنوياً (Mitchell وآخرون، 2001).ومع التركيز فقط على المحطات الكائنة في الجزر ذات البيانات التي غطت أكثر من 50 عاماً (أربعة أماكن فقط)، فإن المعدل المتوسط لارتفاع مستوى سطح البحر (بالنسبة إلى القشرة الأرضية) يبلغ 1.6 ملليمتر/ سنوياً. [WGI 5.5.2]

5.8.2.1 المياه

يستند الجدول 5.8 إلى سبعة نماذج للدوران العام GCMs، وبالنسبة لمجموعة من سيناريوهات الانبعاثات، سيناريوهات التقرير الخاص SRES، يقارن بين إسقاطات التغيرات في الهطول على الجزر الصغيرة حسب المناطق. ففي منطقة البحر الكاريبي، يتوقع أن تشهد جزر كثيرة زيادة في الإجهاد المائي نتيجة لتغير المناخ بينما تسقط جميع سيناريوهات الانبعاثات SRES انخفاضاً في هطول الأمطار في الصيف عبر المنطقة. ومن غير المرجح أن يتسنى تلبية الطلب أثناء فترات انخفاض هطول الأمطار. ومن غير المحتمل أن تؤدي زيادة الأمطار في نصف الكرة الأرضية الشمالي في الشتاء إلى التعويض عن ذلك بسبب اتحاد عاملي عدم التخزين، والجريان العالي أثناء العواصف. [WGII 16.3.1]

وفي المحيط الهادئ، سيؤدي انخفاض بنسبة 10% في متوسط هطول الأمطار (بحلول عام 2050) إلى انخفاض تبلغ نسبته 20% في حجم الطبقات الرسوبية الحاوية للمياه العذبة في جزيرة تاراوا المرجانية، كيريباتي. ومن شأن انخفاض هطول الأمطار المقترن بارتفاع مستوى سطح البحر أن يؤدي إلى تفاقم المخاطر بشأن مدى موثوقية الاعتماد على إمدادات المياه. [WGII 16.4.1]

وبدأت جزر صغيرة كثيرة، الاستثمار في تنفيذ إستراتيجيات التكيف، بما في ذلك إزالة ملوحة مياه البحر للتعويض عن النقص الجاري والمُسقط في المياه. إلا أن تأثيرات محطات إزالة الملوحة ذاتها على المرافق البيئية، والحاجة إلى معالجة الاحتياجات البيئية من المياه معالجة كاملة، لم تُبحث بحثاً كاملاً بعد. [WGII 16.4.1]

ونظراً لأن أعاصير الهاريكين هي أحداث بارزة الوضوح إلى حد كبير وذات تأثيرات كبيرة، فإن نوبات الجفاف تلقت اهتماماً أقل من قبل الباحثين والمخططين، مع أن هذه الحالات يمكن أن تؤدي إلى زيادة المسحوبات من المياه وإمكانيات اقتحام المياه المالحة في مستودعات المياه الجوفية القريبة من الشواطئ. وفي جزر البهاما، مثلاً، فإن الطبقات الرسوبية الحاوية للمياه العذبة هي التي تشكل موارد المياه الجوفية الوحيدة التي يمكن استغلالها. وتتأثر هذه المناطق بصفة دورية بعمليات اقتحام المياه المالحة التي يسببها إفراط الضخ وفرط التبخر – النتح. وتنتقل المياه الجوفية في معظم الحالات ببطء، ونتيجة لذلك يتباطأ تعويض الانخفاض الشديد في احتياطيات المياه الجوفية. وقد لا يتسنى عكس هذا الوضع؛ وتتسم التقلبية في الكميات السنوية للمياه المتاحة بأنها ليست بوجه عام متطرفة كما هو الحال بالنسبة لموارد المياه السطحية؛ كما أن لتدهور نوعية المياه والتلوث آثاراً طويلة المدى، لا يمكن معالجتها بسرعة. [WGII 16.4.1]

ويركز بعض الدول الجزرية مثل مالطة (وزارة الشؤون الريفية والبيئة (MRAE، 2004) على القطاعات الاقتصادية التي يُحتمل

أن تتطلب تكيفاً، بما في ذلك توليد الطاقة الكهربائية والنقل وإدارة النفايات؛ في حين تبرز الأرقام المتعلقة بالزراعة والصحة البشرية بجلاء في الإفادات الواردة من جزر القمر (النفقات المحلية الإجمالية GDE، 2002)، وفانواتو (جمهورية فانواتو، 1999) وسانت فنسنت وغرينادين (المجلس الاستشاري الوطني بشأن البيئة، NEAB

الجدول 5.8: *التغير المسقط في الهطول على الجزر الصغيرة، حسب المناطق (بالنسبة المئوية). النطاقات الزمنية مستمدة من سبعة نماذج متقارنة للدوران العام بين الغلاف الجوي والمحيطات والجليد البحري AOGCMs في إطار سيناريوهات الانبعاثات، سيناريوهات التقرير الخاص SRES باء 1 (B1) وباء (B2) 2وألف (A2) 2 وسيناريوهات الوقود الأحفوري المركز AIFI. [WGII الجدول 16.2]*

المناطق	2010-2039	2069–2040	2099–2070
البحر الأبيض المتوسط	-35.6 إلى +55.1	-52.6 إلى +38.3	-61.0 إلى +6.2
البحر الكاريبي	-14.2 إلى +13.7	-36.3 إلى +34.2	-49.3 إلى +28.9
المحيط الهندي	-5.4 إلى +6.0	-6.9 إلى +12.4	-9.8 إلى +14.7
شمال المحيط الهادئ	-6.3 إلى +9.1	-19.2 إلى +21.3	-2.7 إلى +25.8
جنوب المحيط الهادئ	-3.9 إلى +3.4	-8.23 إلى +5.7	-14.0 إلى +14.6

2000). وفي هذه الحالات لا يُنظر إلى ارتفاع مستوى سطح البحر باعتباره أكثر العوامل أهمية، وإن كان هو كذلك بالفعل في دول الجزر المرجانية المنخفضة من مثل كريباتي وتوفالو وجزر مارشال وملديف. [WGII 16.4.2]

5.8.2.2 الطاقة

يعد الحصول على الطاقة الموثوقة وبتكلفة محتملة عنصراً حيوياً في معظم الجزر الصغيرة حيث يعتبر ارتفاع تكاليف الطاقة بمثابة عائق أمام هدف تحقيق التنمية المستدامة. وتعتمد الجزر الصغيرة مثل دومينيكا في منطقة البحر الكاريبي على الطاقة الكهرمائية فيما يتعلق بجزء هام من تزودها بالطاقة. ويمكن لأنشطة البحث والتطوير فيما يتعلق بتحقيق كفاءة الطاقة، والخيارات الملائمة للجزر الصغيرة من مثل خيارات الطاقة الشمسية والرياح أن تساعد في كلتا إستراتيجيات التكيف والتخفيف وأن تعزز في الوقت نفسه إمكانيات تحقيق النمو المستدام. [WGII 16.4.6, 16.4.7]

5.8.2.3 الصحة

تقع جزر صغيرة كثيرة في مناطق مدارية أو شبه مدارية ذات طقس يؤدي إلى سريان أمراض من مثل الملاريا، وحمى الدنك، وداء الخيطيات، والبلهارسيا، والأمراض المنقولة بالأغذية وبالمياه. وتتزايد معدلات الإصابة بكثير من هذه الأمراض في الجزر الصغيرة لعدد من الأسباب، تشمل ضعف الممارسات المتعلقة بالصحة العمومية، وعدم كفاية البنى الأساسية، وضعف ممارسات إدارة النفايات، وتزايد السفر العالمي، وتغير الأحوال المناخية (منظمة الصحة العالمية، 2003). وفي منطقة البحر الكاريبي، تزداد نسبة الإصابة بحمى الدنك أثناء سنوات دورات ظاهرة النينيو ENSO الدافئة (Rawlins وآخرون، 2005). ونظراً لأن أكبر مخاطر سريان حمى الدنك يحدث أثناء الفصول السنوية الممطرة، فإن برامج مكافحة ناقل المرض ينبغي أن تستهدف تلك الفترات بغية الحد من أعباء المرض. وترتبط نسبة حدوث أمراض الإسهال بالمتوسط السنوي لدرجات الحرارة (Singh وآخرون، 2001) [WGII 8.2, 8.4] وترتبط سلبياً بإتاحة المياه في المحيط الهادئ (Singh وآخرون، 2001). ولذلك، يمكن لتزايد ارتفاع درجات الحرارة وتناقص إتاحة المياه بسبب تغير المناخ أن يزيدا أعباء أمراض الإسهال وغيرها من الأمراض المعدية في بعض الدول الجزرية الصغيرة. [WGII 16.4.5]

5.8.2.4 الزراعة

وتشمل التأثيرات المُسقطة لتغير المناخ فترات جفاف ممتدة من ناحية، ومن ناحية أخرى فقدان خصوبة التربة وتدهورها نتيجة لزيادة الهطول وكلاهما سيؤثر سلبياً على الزراعة والأمن الغذائي. وتبين للبنك الدولي (2000) في دراسته عن الآثار الاقتصادية والاجتماعية لتغير المناخ وتقلبيته بالنسبة لجزر مختارة في المحيط الهادئ أنه في غيبة إجراءات للتكيف فإن جزيرة عادية من مثل Viti Levu، فيجي، يمكن أن تصاب بأضرار تبلغ قيمتها ما يتراوح بين 23 و52 مليون من دولارات الولايات المتحدة سنوياً بحلول عام 2050 (وهو ما يعادل من 2 إلى 3% من الناتج المحلي الإجمالي لفيجي في عام 2002)، بينما قد تواجه مجموعة من الجزر المنخفضة من مثل تاراوا، كيريباتي، أضراراً تزيد قيمتها على ما يتراوح بين 8 ملايين و16 مليوناً من دولارات الولايات المتحدة سنوياً (وهو ما يعادل من 17 إلى 18% من الناتج المحلي الإجمالي لكيريباتي في عام 2002) في إطار سيناريوهات التقرير الخاص SRES ألف 2 (A2)، وباء 2 (B2). وفي جزر كثيرة في منطقة البحر الكاريبي، فإن الاعتماد على الواردات الزراعية التي تشمل هي ذاتها المياه المستخدمة في إنتاج هذه الواردات في بلدان المنشأ يشكل نسبة تصل إلى 50% من الإمدادات الغذائية. [WGII 16.4.3]

5.8.2.5 التنوع الأحيائي

يبين Burke وآخرون (2002) وBurke and Maidens (2004) أن نحو 50% من الشعب المرجانية في جنوب شرق آسيا و45% منها في منطقة البحر الكاريبي تصنف على أنها فئة تتعرض لمخاطر تتراوح بين العالية والعالية جداً (انظر أيضاً Graham وآخرين، 2006). إلا أن هناك اختلافات محلية وإقليمية هامة في نطاق ونمط التهديدات التي تتعرض لها مناطق الشعب المرجانية سواء في المناطق القارية أو في مناطق الجزر الصغيرة. [WGII 16.4.4]

وتعرضت كلتا النظم الإيكولوجية الأرضية للجزر الكبيرة، والنظم الإيكولوجية الساحلية لمعظم الجزر لتزايد التدهور والتدمير في العقود الأخيرة. فمثلاً، كشف تحليل الدراسات الاستقصائية المتعلقة بالشعب المرجانية على مدى ثلاثة عقود أن غطاء الشعب المرجانية في الشعب الكائنة في منطقة البحر الكاريبي انخفض بنسبة 80% في مجرد 30 عاماً، ويعود ذلك إلى حد كبير إلى التلوث، وعمليات الترسب، والأمراض البحرية، وفرط صيد الأسماك (Gardner وآخرون، 2003). ويمكن أن يكون للجريان من المناطق الأرضية بالإضافة إلى المُدخل المباشر من المياه العذبة من خلال أحداث المطر الغزير تأثيرات هامة على نوعية الشعب المرجانية، وسرعة تأثرها بالأمراض. [WGII 16.4.4]

5.8.3 التكيف، وسرعة التأثر، والاستدامة

كثيراً ما تُذكر التنمية المستدامة باعتبارها هدفاً لإستراتيجيات الإدارة الخاصة بالجزر الصغيرة. ومؤلفات قليلة نسبياً هي التي بحثت بوضوح ماذا تعني التنمية المستدامة للجزر في سياق تغير المناخ (Kerr، 2005). ومن المعروف منذ وقت طويل أن مشاكل الحجم الصغير والعزلة للاقتصادات المتخصصة، وكذلك القوى المتعارضة للعولمة والمحلية قد تعني أن تصبح التنمية الجارية في الجزر الصغيرة غير مستدامة في الأجل الطويل. [WGII 16.6]

ويرتبط هذا الخطر بتضييق نطاق خيارات التكيف مع التأثيرات المتوقعة لتغير لمناخ في ظل عدم اليقين من التأثيرات المادية المحتملة بفعل المناخ. ويلخص الجدول 5.9 نتائج عدة دراسات عن التأثيرات قائمة على سيناريوهات خاصة بالبيئات الجزرية من الفترة الحالية وحتى عام 2100، أي أن بعض التأثيرات يحدث بالفعل. ويتضمن الجدول السياق الخاص بتأثيرات المناخ المحتملة الأخرى التي يمكن أن تفاقم حالات الإجهاد المتعلقة بالمياه. فالعتبات قد تنشأ من عمليات اجتماعية وعمليات بيئية كذلك. وبالإضافة إلى ذلك، يتمثل التحدي المطروح في فهم إستراتيجيات التكيف التي اعتُمدت في الماضي وفوائدها وحدودها بالنسبة للتخطيط والتنفيذ في المستقبل. [WGII 16.5]

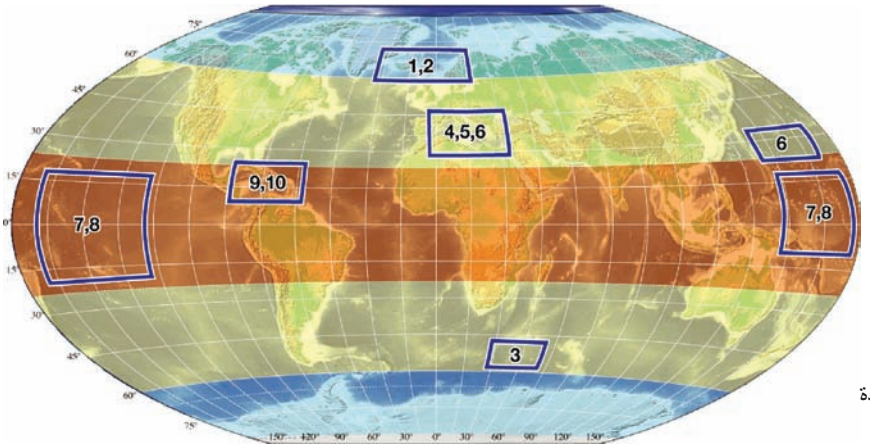
ولئن كان أحرز تقدم كبير في الإسقاطات الإقليمية لمستوى سطح البحر منذ تقرير التقييم الثالث، فإن هذه الإسقاطات لم يُنتفع بها انتفاعاً كاملاً في الجزر الصغيرة بسبب القدر الأكبر من عدم اليقين المرتبط بتجلياتها المحلية مقارنة بالإسقاطات العالمية. وإن الإسقاطات الموثوقة والمعقولة المستندة إلى مُخرجات ذات استبانة أدق، بالإضافة إلى البيانات المحلية، لازمتان لتزويد عملية وضع سيناريوهات موثوقة لتغير المناخ خاصة بالجزر الصغيرة. ويمكن أن تؤدي هذه النُهج إلى تحسين عمليات تقييم سرعة التأثر، وتحديد خيارات أكثر ملاءمة على نطاق الجزر، وعبر النطاقات الزمنية للتأثيرات المناخية. [WGII 16.7.1]

وتُظهر الدراسات المتعلقة بسرعة التأثر التي أجريت بالنسبة لجزر صغيرة مختارة (Nurse وآخرون، 2001) أن تكاليف البنى الأساسية وحماية المستوطنات تمثل نسبة هامة من الناتج المحلي الإجمالي غالباً ما تتجاوز إلى حد كبير الموارد المالية لمعظم الدول الجزرية الصغيرة؛ وهي مشكلة لا تشارك فيها دائماً الجزر التابعة للبلدان القارية. وحددت الدراسات الأحدث عهداً مجالات تكيف رئيسية تشمل موارد المياه، وإدارة مستجمعات المياه، وصون الشعب المرجانية، والإدارة الزراعية وإدارة الغابات، وصون التنوع الأحيائي، وتحقيق أمن الطاقة، وزيادة تنمية الطاقة المتجددة، وتحقيق أمثل استهلاك للطاقة. وإن وضع إطار يبحث سرعة التأثر المجتمعية الحالية وفي المستقبل، ويشمل منهجيات تدمج علم المناخ والعلوم الاجتماعية والاتصالات يوفر الأساس لبناء القدرة على التكيف. [WGII الإطار 16.7] ويقتضي هذا النهج من أفراد المجتمع تحديد ظروف المناخ الملائمة لهم وتقييم إستراتيجيات التكيف الراهنة والممكنة. وقد اختُبرت إحدى هذه المنهجيات في ساموا وحققت نتائج من قرية واحدة (Saoluafata: انظر Sutherland وآخرون، 2005). وفي هذه الحالة، حدد المقيمون المحليون عدة تدابير للتكيف تشمل بناء سور بحري، ونظام لصرف المياه، وصهاريج لحفظ المياه، وفرض حظر على قطع الأشجار، وإجراء بعض عمليات النقل، والتجديد في البنية الأساسية القائمة.[WGII 16.5]

وحدد تقرير التقييم الرابع للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ IPCC عدة مجالات وفجوات رئيسية ناقصة التمثيل في البحوث المعاصرة بشأن تأثيرات تغير المناخ على الجزر الصغيرة. [WGII 16.7] وتشمل هذه المجالات ما يلي:

- دور النظم الإيكولوجية الساحلية من مثل أشجار المنغروف الاستوائية، والشعب المرجانية، والشواطئ في توفير سبل حماية طبيعية ضد ارتفاع مستوى سطح البحر والعواصف؛
- تحديد استجابة النظم الإيكولوجية الأرضية في الأراضي المرتفعة وأراضي الداخل للتغيرات في متوسطات درجات الحرارة وهطول المطر وفي درجات الحرارة المتطرفة وهطول المطر المتطرف؛
- بحث الكيفية التي ستتأثر بها الزراعة التجارية، والحراجة، ومصائد الأسماك، والزراعة القائمة على الكفاف، وصيد الأسماك الحرفي والأمن الغذائي بفعل قوى تغير المناخ والقوى غير المتعلقة بالمناخ؛
- زيادة المعارف المتعلقة بالأمراض التي تتسم بحساسيتها للمناخ في الجزر الصغيرة من خلال إجراء بحوث وطنية وإقليمية – ليس فقط بشأن الأمراض التي تحملها نواقل الأمراض وإنما أيضاً بشأن الأمراض الجلدية وأمراض الأجهزة التنفسية والأمراض المنقولة بالمياه؛
- القيام، نظراً لتنوع «أنماط الجزر» وأماكنها، بتحديد أشد النظم والقطاعات تأثراً وفقاً لأنماط الجزر.

وعلى العكس من المناطق الأخرى الوارد ذكرها في هذا التقييم، هناك أيضاً غياب للسيناريوهات والإسقاطات الديمغرافية، والاجتماعية – الاقتصادية الموثوقة بالنسبة للجزر الصغيرة. والنتيجة هي أن التغيرات التي ستحدث في الظروف الاجتماعية – الاقتصادية في الجزر الصغيرة في المستقبل لم تقدم على نحو جيد في التقييمات القائمة. وعلى سبيل المثال، بدون التكيف أو التخفيف على السواء، ستكون تأثيرات ارتفاع مستوى سطح البحر، وازدياد شدة العواصف والتغيرات الأخرى في المناخ [WGII 6.3.2] كبيرة مما يشير إلى أن بعض الجزر والمناطق المنخفضة قد تصبح غير صالحة للعيش فيها بحلول عام 2100. [WGII 16.5]



* الأرقام المطبوعة باللون الأسود تتعلق بالمناطق المحددة على الخريطة.

الجدول 5.9: *مدى التأثيرات المستقبلية في الجزر الصغيرة ومواطن سرعة تأثرها. [WGII الإطار 16.1]*

المنطقة* والنظام المعرضان لمخاطر	السيناريو والمرجع	البارامترات المتغيرة	التأثيرات وسرعة التأثر
1- أيسلندا وجزر Svalbard المعزولة في المنطقة القطبية الشمالية Arctic وجزر Faroe: النظام الإيكولوجي البحري وأنواع النباتات	سيناريوهاالتقرير الخاص SRES ألف (A1) وباء (B2) (2005) (تقييم تأثير المناخ على أركتيكا ACIA)	ارتفاع مسقط في درجة الحرارة	• يؤدي الاختلال نتيجة لفقدان الأنواع وعمليات الإحلال إلى خسارة أولية في التنوع. ويؤدي التوسع نحو الشمال للشجيرات القزمية والغطاء النباتي الذي تغلب عليه الأشجار في المناطق الغنية بالأنواع المستوطنة النادرة، إلى فقدانها. • يؤدي الانخفاض الكبير في أعداد سلالة أسماك الكابلين capelin الأيسلندية أو حتى انهيارها الكامل إلى تأثيرات سلبية كبيرة على معظم سلالات الأسماك التجارية والحيتان والطيور البحرية.
2- جزر خطوط العرض العالية (جزر Faroe): أنواع النباتات	سيناريو I/II: زيادة/نقصان درجة الحرارة بمقدار درجتين مئويتين Fosaa وآخرون (2004)	تغيرات في درجة حرارة التربة والغطاء الثلجي ودرجات النمو اليومية	• السيناريو I: الأنواع التي تتأثر أكبر تأثر بالاحترار محصورة في الأجزاء العليا من الجبال. وبالنسبة للأنواع الأخرى، سيكون الأثر أساساً هو الهجرة نحو الارتفاعات الأعلى. • السيناريو II: الأنواع التي تتأثر بالبرودة هي الأنواع الكائنة في ارتفاعات أخفض.
3- جزر ماريون في منطقة شمال Antarctic الساحلية: النظام الإيكولوجي	سيناريوهاتخاصة Smith (2002)	تغيرات مسقطة في درجات الحرارة والهطول	• ستؤثر التغيرات تأثيراً مباشراً على الكائنات الحية الأصلية. بل ويتمثل خطر أكبر في أن تؤدي زيادة دفء المناخ إلى زيادة في السهولة التي يمكن بها لأنواع أجنبية غزو الجزر.
4- 5 جزر في حوض البحر الأبيض المتوسط: النظم الإيكولوجية	سيناريوها التقرير الخاص SRES والسيناريو (A1F1) وباء (B1) 1 Gritti وآخرون (2006)	غزو نباتات أجنبية في إطار السيناريوهاتالمناخية وسيناريو الاضطراب	• تأثيرات تغير المناخ ضئيلة القيمة في كثير من النظم الإيكولوجية البحرية التي جرت محاكاتها. • يصبح الغزو في النظم الإيكولوجية للجزر مشكلة متزايدة. وفي الأجل الأطول، ستسود النباتات الأجنبية في النظم الإيكولوجية بغض النظر عن معدلات الاضطراب.
5- البحر الأبيض المتوسط: الطيور المهاجرة (pied flycatchers صائد الذباب الأرقط - Ficedula hypoleuca)	لا شيء النموذج الخطي العام (GLM/STATISTICA) Sanz وآخرون (2003)	ارتفاع درجة الحرارة، تغيرات في مستويات المياه، ومؤشر الغطاء النباتي	• تعاني بعض عناصر الملاءمة لصائد الذباب الأرقط من تغير المناخ في تجمعين من تجمعات الإنسال الأوروبية الكائنة في أقصى الجنوب، وتترتب على ذلك تأثيرات معاكسة على الناتج الإنجابي لصائد الذباب الأرقط.
6- المحيط الهادئ والبحر الأبيض المتوسط: الأعشاب السامية الضارة (Chromolaena odorata)	لا شيء(نموذج CLIMEX للتنبؤ بأثر تغير المناخ على توزيع الأنواع) Kriticos وآخرون (2005)	• زيادة في الرطوبة، والبرد، والإجهاد الحراري وإجهاد الجفاف	• تعرُّض جزر المحيط الهادئ لمخاطر غزو الأعشاب السامية الضارة. ويتنبأ بأن تكون مناخات البحر الأبيض المتوسط شبه القاحلة والمعتدلة غير مناسبة لغزو هذه الأعشاب.
7- جزر المحيط الهادئ الصغيرة: التحات الساحلي، موارد المياه والمستوطنات البشرية	سيناريوها التقرير الخاص SRES وألف 2 (A2) وباء 2 (B2) البنك الدولي (2000)	• تغيرات في درجة الحرارة والمطر وارتفاع مستوى سطح البحر	• تحات ساحلي معجل، واقتحام المياه المالحة للمياه العذبة السطحية وتسبب زيادة الفيضانات من البحر آثاراً كبيرة على المستوطنات البشرية. • انخفاض معدل المطر المقترن بالارتفاع المتسارع في مستوى سطح البحر يؤدي إلى تفاقم المخاطر على موارد المياه؛ وانخفاض في متوسط هطول المطر تبلغ نسبته 10% بحلول عام 2050 يرجح أن يطابق نسبة انخفاض في كمية المياه العذبة السطحية تبلغ 20% في جزيرة تاراوا ال

المنطقة* والنظام المعرضان لمخاطر	السيناريو والمرجع	البارامترات المتغيرة	التأثيرات وسرعة التأثر
8- جزيرة ساموا الأمريكية: 15 جزيرة أخرى في المحيط الهادئ: أشجار المنغروف الاستوائية	ارتفاع مستوى سطح البحر بمقدار 0.88 م حتى عام 2100 Gilman وآخرون (2006)	• ارتفاع مُسقط في مستوى سطح البحر	• فقدان 50% من المنطقة المغطاة بأشجار المنغروف الاستوائية في ساموا الأمريكية؛ وانخفاض بنسبة 12% في المساحة المغطاة بأشجار المنغروف في 15 جزيرة أخرى في المحيط الهادئ.
9- منطقة البحر الكاريبي (Bonaire، جزر الأنتيل الهولندية): تحات الشواطئ والموائل التي تؤوي السلاحف البحرية	سيناريوهات التقرير الخاص SRES وألف (1 (A1 و(A1FI) باء 1 وألف 2 (A2) وباء (B2)2 Fish وآخرون (2005)	• ارتفاع مسقط في مستوى سطح البحر	• يمكن في المتوسط فقدان نسبة تصل إلى 38% (± 24% SD) من إجمالي الشواطئ الحالية نتيجة لارتفاع يبلغ 0.5 متر في مستوى سطح البحر، وتكون أشد الشواطئ تأثراً هي أخفضها ارتفاعاً وأضيقها مساحة مما يخفض توافر موئل السلاحف البحرية بنسبة الثلث.
10-منطقة البحر الكاريبي (Bonaire، بربادوس): السياحة	لا شيء Uyarra وآخرون (2005)	• تغيرات في الأحياء البرية البحرية، والصحة، والتضاريس الأرضية والظروف البحرية	• تتأثر صناعة السياحة القائمة على الشواطئ في بربادوس، وصناعة السياحة الإيكولوجية القائمة على الغطس البحري في Bonaire كلتاهما تأثراً سلبياً بتغير المناخ من خلال تحات الشواطئ في بربادوس وابيضاض الشعب المرجانية في Bonaire.

6

تدابير التخفيف من تغير المناخ، والماء

6.1 مقدمة

تتسم العلاقة بين تدابير التخفيف من تغير المناخ والمياه بأنها علاقة متبادلة. فتدابير الت خفيف يمكن أن تؤثر على موارد المياه وإدارتها، ومن المهم إدراك ذلك عند إعداد وتقييم خيارات التخفيف. ومن ناحية أخرى، يمكن للسياسات والتدابير المتعلقة بإدارة المياه أن تؤثر على انبعاثات غاز الدفيئة (GHG) وبالتالي على تدابير التخفيف القطاعية ذات الصلة؛ ويمكن للتدخلات في النظام المائي أن تأتي بعكس النتائج المرجوة منها عندما تقيَّم من حيث تخفيف تغير المناخ.

وقد عولجت مسألة التخفيف في تقرير التقييم الرابع الذي أعده الفريق العامل الثالث التابع للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ IPCC WGIII AR4 (التخفيف) حيث بُحثت القطاعات السبعة التالية: إمدادات الطاقة، والنقل وبنيته الأساسية، والمباني السكنية والتجارية، والصناعة، والزراعة، والحراجة، وإدارة النفايات. ونظراً لأن القضايا المتعلقة بالمياه لم تكن محور تركيز ذلك المجلد، لم تذكر سوى علاقاتها المتبادلة العامة مع تخفيف تغير المناخ، ومعظمها علاقات نوعية. إلا أن تقارير أخرى للهيئة IPCC من مثل تقرير التقييم الثالث TAR تتضمن أيضاً معلومات بشأن هذه المسألة.

ويمكن أن يكون لتدابير التخفيف المحددة قطاعياً آثار متنوعة على المياه وهو ما يتم توضيحه في الفقرات الواردة أدناه (انظر أيضاً الجدول 6.1). والأرقام الواردة بين أقواس في عناوين الفقرات الفرعية تقابل الممارسات أو خيارات التخفيف المحددة قطاعياً الوارد وصفها في الجدول 6.1.

6.2 التخفيف المحدد قطاعياً

6.2.1 احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه (CCS) (يرجى الرجوع إلى الرقم (1) في الجدول 6.1)

إن احتجاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) وتخزينه (CCS) عملية تتألف من فصل ثاني أكسيد الكربون عن المصادر الصناعية والمتعلقة بالطاقة، ونقله إلى مكان للتخزين وعزله لأمد طويل عن الغلاف الجوي. وإن حقن ثاني أكسيد الكربون في حيز لثقب دقيق وكسور لتكوين إنفاذي يمكن أن يزيح السائل الكائن في ذلك الموضع، أو يمكن لثاني أكسيد الكربون أن يذوب في السائل أو يختلط به أو يتفاعل مع الحبيبات المعدنية أو قد يحدث اتحاد بين بعض هذه العمليات. ومع انتقال ثاني أكسيد الكربون داخل التكوين فإن بعضاً منه سيذوب في ماء التكوين. وما أن يذوب ثاني أكسيد الكربون في سائل التكوين فإنه يُنقل بفعل تدفق المياه الجوفية الكائنة في المنطقة. ويمكن لتسرب ثاني أكسيد الكربون من آبار الحقن التسربية، أو الآبار المهجورة، وكذلك التسرب عبر الصدوع والطب قات الحاجزة غير الفعالة أن يؤدي إلى تدهور نوعية المياه الجوفية؛ كما يمكن لإطلاق ثاني أكسيد الكربون من جديد في الغلاف الجوي أن يثير أيضاً شواغل تتعلق بالصحة والسلامة المحليين. [5.ES احتجاز الكربون وتخزينه، ملخص لصانعي السياسات (CCS SPM)]

ومن المهم الإشارة إلى أنه حتى هذه اللحظة ليست هناك إطلالات فكرية كاملة في إمكان التطبيق العملي لمفهوم تنحية الكربون أو في نتائجه غير المقصودة. وسيتطلب تفادي التأثيرات أو تخفيفها اختيار مدقق للموقع، وإشراف تنظيمي فعال، وبرنامج مراقبة ملائم، وتنفيذ أساليب معالجة من أجل وقف أو مكافحة إطلاقات ثاني أكسيد الكربون. [CCS 5.ES, 5.2]

6.2.2 محاصيل إنتاج الطاقة الأحيائية (2)

تحقق الطاقة الأحيائية منافع تخفيفية عن طريق الحلول محل استخدام الوقود الأحفوري. [LULUCF 4.5.1] إلا أن إنتاج الوقود الأحيائي على نطاق واسع يثير أسئلة بشأن عدة قضايا تشمل الاحتياجات من الأسمدة، ومبيدات الآفات، ودوران المغذيات، وأرصدة ميزانيات الطاقة، وتأثيرات التنوع الأحيائي، والهيدرولوجيا والتحات، والمنازعات على إنتاج الأغذية، ومستوى الإعانات المالية اللازمة. [LULUCF 4.5.1] ويتوقف إنتاج الطاقة وإمكانيات تخفيف غاز الدفيئة من المحاصيل المخصصة لإنتاج الطاقة على إتاحة الأراضي التي ينبغي أن تلبي أيضاً الطلبات على الغذاء وعلى الحماية الطبيعية، والإدارة المستدامة للتربة واحتياطيات المياه وغيرها من المعايير الخاصة بتحقيق الاستدامة. وقد توصلت دراسات شتى إلى أرقام مختلفة بالنسبة للمساهمة المحتملة للكتلة الأحيائية في إمدادات الطاقة العالمية في المستقبل تتراوح بين ما دون 100 EJ/سنوياً إلى أكثر من 400 EJ/سنوياً في عام 2050 (Hoogwijk، 2004؛ Hoogwijk وآخرون، 2005؛ Sims وآخرون، 2006). وأوضح Smeets وآخرون (2007) أن الإمكانيات الفنية القصوى لمحاصيل إنتاج الطاقة من الأراضي الزراعية الحالية، ومع التقدم التكنولوجي المُسقط في الزراعة وتربية المواشي والدواجن يمكن أن توفر أكثر من 800 EJ (Etajoules)/سنوياً بدون تعريض الإمدادات الغذائية العالمية للخطر. وتعزى الاختلافات بين الدراسات إلى حد كبير إلى عدم اليقين من إتاحة الأراضي ومن غلات محاصيل إنتاج الطاقة، ومن الافتراضات بشأن التغيرات في الكفاءة الزراعية. وتفترض تلك العوامل مع أكبر إمكانيات مُسقطة ليس فقط أن تُستخدم الأراضي المتدهورة/الفائضة وإنما أن تستخدم أيضاً الأراضي الجاري استخدامها حالياً لإنتاج الأغذية، بما في ذلك أراضي المراعي (حسبما فعل Smeets وآخرون في عام 2007). [WGIII 8.4.4.2]

ويمكن للممارسات الزراعية الرامية إلى التخفيف من غازات الدفيئة GHGs أن تؤدي في بعض الحالات إلى تكثيف استخدام المياه، وبالتالي إلى الحد من تدفق المجاري المائية أو احتياطيات المياه الجوفية (Unkovich، 2003؛ Dias de Oliveira وآخرون، 2005). فمثلاً تستخدم نباتات إنتاج الطاقة الأحيائية العالية الإنتاجية والدائمة الخضرة والعميقة الجذور بوجه عام قدراً من المياه أكبر مما يستخدمه الغطاء النباتي الذي تحل محله (Berndes and Börjesson، 2002؛ Jackson وآخرون، 2005). ويمكن لبعض الممارسات أن تؤثر على نوعية المياه من خلال زيادة ارتشاح مبيدات الآفات والمغذيات (Machado and Silva، 2001؛ Freibauer وآخرون، 2004). [WGIII 8.8]

ويمكن لممارسات التخفيف الزراعية التي تحوِّل المنتجات إلى استخدامات بديلة (مثل محاصيل إنتاج الطاقة الأحيائية) أن تحث

الجدول 6.1: *تأثير خيارات التخفيف المحددة قطاعياً (أو نتائجها) على نوعية المياه وكميتها ومستواها. والآثار الإيجابية على المياه مبينة بعلامة [+]؛ والآثار السلبية بعلامة [-]؛ والآثار غير اليقينية بعلامة [؟]. والأرقام الواردة بين أقواس دائرية تحيل إلى الحواشي، وكذلك إلى أرقام الفقرات الفرعية الواردة في الفقرة 6.2.*

الجانب المتعلق بالمياه	الطاقة	المباني	الصناعة	الزراعة	الغابات	النفايات
النوعية						
الكيميائي/ الأحيائي	احتجاز الكربون وتخزينه CCS [1] [؟] أنواع الوقود الأحيائي [2] [+/-] الطاقة الحرارية الأرضية [5] [-] النفط غير التقليدي [13] [-]		CCS [1] [؟] معالجة المياه المستعملة [12] [-] كهرباء الكتلة الأحيائية [3] [؟/-]	تغير استخدام الأراضي وإدارتها[7] [+/-] إدارة الأراضي الزراعية (المياه) [8] [+/-]	التشجير (البالوعات) [10] [+]	إدارة النفايات الصلبة؛ معالجة المياه المستعملة [12] [+/-]
درجة الحرارة	كهرباء الكتلة الأحيائية [3] [+]			إدارة الأراضي الزراعية (تقليل الحراثة) [9] [+/-]		
الكمية						
الإتاحة/الطلب	الطاقة الكهرمائية [4] [+/-] نفط غير تقليدي [13] [-] الطاقة الحرارية الأرضية [5] [-]	استخدام الطاقة في المباني [6] [+/-]		تغير استخدام الأراضي وإدارتها [7] [+/-] إدارة الأراضي الزراعية (المياه) [8] [-] إدارة الأراضي الزراعية (تقليل الحراثة) [9] [+]	التشجير [+/-][10] تفادي/تقليل إزالة الغابات [11] [+]	معالجة المياه المستعملة [12] [+]
تغذية التدفق/ الجريان	أنواع الوقود الأحيائي [2] [+/-] الطاقة الكهرمائية [4] [+/-]					
مستوى المياه						
المياه السطحية	الطاقة الكهرمائية [4] [+/-]			تغير استخدام الأراضي وإدارتها [7] [+/-]		
المياه الجوفية	الطاقة الحرارية الأرضية [5] [-]			تغير استخدام الأراضي وإدارتها [7] [+/-]	التشجير [10] [-]	

الحواشي:

(1) يثير احتجاز الكربون وتخزينه (CCS) تحت سطح الأرض مخاطر محتملة على نوعية المياه الجوفية؛ ويبدو أكثر الخيارات أماناً هو التخزين في أعماق البحار (في عمق للمياه تحت 3000 متر ومئات أمتار قليلة من الترسبات).

(2) يمكن أن يتسبب توسيع نطاق محاصيل إنتاج الطاقة الأحيائية والغابات في تأثيرات سلبية من مثل زيادة الطلب على الماء وتلوث المياه الجوفية، وتشجيع إجراء تغييرات في استخدام الأراضي تؤدي إلى آثار غير مباشرة على موارد المياه؛ و/أو تأثيرات إيجابية من خلال تخفيض ارتشاح المغذيات، وتحات التربة، والجريان وتغرين المجرى في أسفل المجرى.

(3) كهرباء الكتلة الأحيائية: إن زيادة مساهمة الطاقة المتجددة، بوجه عام، (مقارنة بوحدات إنتاج الطاقة من الوقود الأحفوري) تعني انخفاضاً في تصريف مياه التبريد إلى المياه السطحية.

(4) يتعين أن يؤخذ في الاعتبار التأثير البيئي والمنافع المتعددة للطاقة الكهرمائية بالنسبة لأي تنمية؛ إذ يمكن أن تكون إما إيجابية وإما سلبية.

(5) يمكن أن يؤدي استخدام الطاقة الحرارية الأرضية إلى إحداث تلوث، وهبوط للأراضي وفي بعض الحالات مطالبات بشأن موارد المياه المتاحة.

(6) يمكن الحد من استخدام الطاقة في قطاع البناء بنهج وتدابير مختلفة ذات تأثيرات إيجابية وسلبية.

(7) يمكن لتغير استخدام الأراضي وإدارتها أن يؤثر على نوعية المياه السطحية والمياه الجوفية (مثلاً من خلال زيادة أو تقليل ارتشاح المغذيات ومبيدات الآفات) والدورة الهيدرولوجية (المحلية) (مثلاً زيادة استخدام المياه).

(8) يمكن أن يكون للممارسات الزراعية الرامية إلى التخفيف آثار إيجابية وسلبية على السواء على صون المياه ونوعيتها.

(9) تقليل الحراثة يعزز زيادة كفاءة استخدام المياه.

(10) يحسن التشجير بوجه عام نوعية المياه الجوفية ويقلل تحات التربة. ويؤثر على كلتا مستجمعات المياه والدورات الهيدرولوجية الإقليمية (خريطة مائية سلسلة، ويخفض بالتالي الجريان والفيضان). ويوفر بوجه عام حماية أفضل لمستجمعات المياه لكن على حساب إنتاجية المياه السطحية وتغذية مستودعات المياه الجوفية التي قد تكون بالغة الأهمية في المناطق شبه القاحلة والقاحلة.

(11) إن وقف/إبطاء إزالة الغابات وتدهورها يصون موارد المياه ويقي من الفيضانات، ويقلل الجريان ويكافح التحات، ويقلل غرينة الأنهار.

(12) يمكن لمختلف تكنولوجيات إدارة النفايات ومراقبة المياه المستعملة ومعالجتها أن تؤدي على السواء إلى خفض انبعاثات غازات الدفيئة GHG وإحداث آثار إيجابية على البيئة، لكنها يمكن أن تسبب تلوث المياه في حالة سوء تصميم المرافق أو سوء إدارتها.

(13) نظراً لأن إمدادات النفط التقليدية أصبحت شحيحة، وتكاليف الاستخراج تزداد، ستصبح أنواع الوقود السائل غير التقليدي أكثر جاذبية من الوجهة الاقتصادية لكن تقابل ذلك زيادة التكاليف البيئية (زيادة الطلب على الماء؛ وتكاليف مرافق النظافة الصحية

عملية تحويل الغابات إلى أراضي زراعية في أماكن أخرى. وعلى العكس من ذلك، يمكن لتزايد الإنتاجية في الأراضي الزراعية القائمة أن يؤدي إلى «استبقاء» بعض الغابات أو الأراضي العشبية (West and Marland، 2003؛ Balmford وآخرون، 2005؛ Moonez وآخرون، 2005). ولم يتم حتى الآن قياس الأثر الصافي لهذه المبادلات على التنوع الأحيائي وخدمات النظم الإيكولوجية الأخرى قياساً كاملاً (Huston and Marland، 2003؛ Green وآخرون، 2005). [WGIII 8.8]

وإذا اختيرت أماكن مزارع إنتاج الطاقة الأحيائية وصُممت وأديرت بصورة ملائمة، فإنها يمكن أن تخفض ارتشاح المغذيات وتحات التربة وتولد خدمات بيئية إضافية من مثل تراكم كربون التربة، وتحسين خصوبة التربة، وإزالة الكادميوم وغيره من المعادن الثقيلة من التربة أو النفايات. ويمكنها أيضاً أن تزيد إعادة دوران المغذيات، وأن تساعد في معالجة المياه المستعملة الغنية بالمغذيات وحمأة المجاري كما توفر موائل للتنوع الأحيائي على سطح الأراضي الزراعية (Berndes and Börjesson، 2002؛ Berndes وآخرون، 2004؛ Börjesson and Berndes، 2006) [WGIII 8.8] وفي حالة مزارع الغابات من أجل الحصول على أنواع الوقود الأحيائي يمكن تجنب تأثيرات بيئية سلبية من خلال التصميم الجيد للمشاريع. وتشمل المنافع البيئية ضمن منافع أخرى الحد من تدهور التربة، وجريان المياه، والتغرين أسفل المجرى واحتجاز الجريان الزراعي المسبب للتلوث. [LULUCF صحيفة الوقائع 4.21]

6.2.3 كهرباء الكتلة الأحيائية (3)

تشكل تكنولوجيات التزويد بالطاقة المتجددة غير المائية، وخصوصاً الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة الحرارية الأرضية والكتلة الأحيائية حالياً مساهمات إجمالية صغيرة في الحرارة العالمية وإمدادات الكهرباء لكنها تتزايد بأقصى سرعة وإن يكن من قاعدة منخفضة. ويقيِّد نمو كهرباء الكتلة الأحيائية بسبب تكاليف إنتاجها، وبسبب العوائق الاجتماعية والبيئية أيضاً. [WGIII 4.ES] وبالنسبة للحالة الخاصة بكهرباء الكتلة الأحيائية، فإن أية كميات من الكتلة الأحيائية تلزم فوق الكميات المتاحة من المخلفات والبقايا الزراعية وبقايا الغابات [WGIII الفصلان 8 و9] سوف يتعين زيادتها تبعاً للغرض المقصود، ولذلك يمكن أن تعوَّق بفعل المدى المتاح من الأراضي والمياه. وهناك عدم يقين كبير في هذا الصدد لكن ينبغي أن يكون هناك قدر ممكن وكاف من الإنتاج في جميع المناطق لتلبية التوليد الإضافي من الطاقة الأحيائية بمقدار 432 TWh/ سنوياً بحلول عام 2030 حسب الإسقاط الوارد في هذا التحليل. [WGIII 4.4.4] وبوجه عام، فإن استبدال أنواع الوقود الأحفوري بالكتلة الأحيائية في توليد الكهرباء سوف يخفض كمية مياه التبريد المصرّفة إلى مجاري المياه السطحية.

6.2.4 الطاقة الكهرمائية (4)

يمكن لنظم الطاقة المتجددة من مثل الطاقة الكهربائية المائية أن تسهم في تحقيق أمن إمدادات الطاقة وحماية البيئة. إلا أن بناء محطات توليد الطاقة الكهربائية من مصادر مائية يمكن أن يسبب أيضاً تأثيرات إيكولوجية على النظم الإيكولوجية ومصائد الأسماك في الأنهار القائمة تحتها التغيرات في نظام التدفق (في النهر بمضي الوقت) وفقدان المياه بفعل التبخر (في حالة المساكن التي تعتمد على الطاقة الكهربائية المعتمدة على السدود). كذلك يمكن أن يشكل الاضطراب الاجتماعي أحد التأثيرات. وأخيراً، فإن إتاحة المياه للنقل البحري (عمق المياه) يمكن أن يسبب مشكلة. وتتمثل الآثار الإيجابية في: تنظيم التدفق، ومكافحة الفيضانات، وإتاحة المياه للري أثناء فصول الجفاف. وبالإضافة إلى ذلك، فإن الطاقة الكهرمائية لا تتطلب مياهاً من أجل التبريد (مثلما في حالة وحدات إنتاج الطاقة الحرارية) أو في حالة أنواع الوقود الأحيائي من أجل النمو. وقد بني نحو 75% من مستودعات المياه في العالم من أجل الري ومكافحة الفيضانات، ونظم إمدادات المياه للمناطق الحضرية، كما يمكن لكثير منها إضافة معدات صغيرة لتوليد الطاقة الكهرمائية بدون أية تأثيرات إضافية على البيئة. [WGIII 4.3.3]

حققت النظم الكبيرة (MW <10) لتوليد الطاقة الكهربائية المائية أكثر من TWh 2,800 من الطاقة المستهلكة في عام 2004 ووفرت نسبة 16% من الطاقة الكهربائية العالمية (90% من الكهرباء المتجددة). ويمكن للمشاريع المائية قيد الإنشاء أن تزيد نصيب الطاقة الكهرمائية بنحو 4.5 في المائة عند إتمامها، ويمكن نشر مشاريع جديدة لتوفير ناتج فعلي إضافي للطاقة يبلغ 6,000 TWh/سنوياً أو أكثر من الكهرباء وعلى نحو اقتصادي، وبصفة أساسية في البلدان النامية. وإن إعادة تزويد محطات توليد الطاقة القائمة بتصاميم لتوربينات أكثر قوة وكفاءة يمكن أن يكون فعالاً بالقياس إلى التكلفة أياً كان حجم محطة توليد الطاقة. [WGIII 4.3.3.1] وإن أنظمة توليد الطاقة الكهرمائية الصغيرة (MW <10) والبالغة الصغر (MW <1) وهي عادة مشاريع قائمة على نمط التدفق الطبيعي للنهر الذي تعود فيه المياه من محطة توليد الطاقة إلى النهر بدون تغيير تدفقه القائم أو مستوى مياهه قد وفرت المياه إلى كثير من المجتمعات المحلية الريفية في البلدان النامية من مثل نيبال. وإنتاجها الحالي فيما يتعلق بتوليد الطاقة غير يقيني، وتتراوح التنبؤات بالإنتاج الفعلي للطاقة بين 4 TWh/سنوياً و9% من إجمالي إنتاج الطاقة الكهرمائية عند 250 TWh/سنوياً. وتتراوح الإمكانيات الفنية العالمية للمشاريع الصغيرة والبالغة الصغر لإنتاج الطاقة الكهرمائية بين 150 و200 GW رغم إتاحة مواقع كثيرة للموارد غير مستغلة. [WGIII 4.3.3.1]

ويتعين بالنسبة لأي تنمية تقييم المنافع الكثيرة للطاقة الكهرمائية، بما في ذلك الري وإيجاد موارد لإمدادات المياه، والاستجابة السريعة للتقلبات في طلب الشبكات بسبب فترات الذروة أو الانقطاعات في أنواع الطاقة المتجددة، والمنافع من بحيرات الاستجمام، ومكافحة الفيضانات، وكذلك تقييم الجوانب السلبية. [WGIII 4.3.3.1]

6.2.5 الطاقة الحرارية الأرضية (5)

استخدمت موارد الطاقة الحرارية الأرضية منذ أمد طويل لاستخلاص الحرارة من أجل تدفئة المناطق الحضرية، وعمليات المعالجة الصناعية، وتسخين المياه في المنازل وتدفئة الأماكن، والتطبيقات المتعلقة بتزجية أوقات الفراغ والعلاج بمياه الينابيع المعدنية. [WGIII 4.3.3.4]

والحقول الحرارية الأرضية ذات البخار الطبيعي نادرة، ومعظمها مزيج من البخار والماء الساخن وتتطلب نظم وميض منفرد أو مزدوج لفصل الماء الساخن الذي يمكن استخدامه بعدئذ في وحدات ثنائية العنصر أو للتدفئة المباشرة. ومن شأن إعادة حقن السوائل أن يبقي على ضغط مستمر في المستودع، ومن ثم يزيد عمر الحقل، ويحد من الشواغل المتعلقة بالتأثيرات على البيئة. [WGIII 4.3.3.4]

إن الشواغل الخاصة بالاستدامة فيما يتعلق بهبوط الأراضي، ومعدلات استخلاص الحرارة التي تتجاوز إمكانات إعادة التزود الطبيعية (Bromley and Currie، 2003)، والتلوث الكيميائي لمجاري المياه (بالزرنيخ مثلاً) وما يرتبط بذلك من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون قد أدت إلى رفض منح التصاريح لمحطات إنتاج الطاقة الحرارية الأرضية. ويمكن التغلب على ذلك جزئياً بتقنيات إعادة الحقن. ويمكن لتكنولوجيا الحفر إلى مستويات أكثر عمقاً أن تساعد في توفير قدر وفير من الصخور الجافة الحارة على نطاق واسع حيث تحقن المياه في صخور مكسَّرة اصطناعياً وتستخلص الحرارة كبخار. إلا أن هذا يعني في الوقت ذاته نشوء طلب على موارد المياه المتاحة. [WGIII 4.3.3.4]

6.2.6 استخدام الطاقة في المباني (6)

يعني التبريد البخري، كتدبير من تدابير التخفيف تحقيق وفورات كبيرة في استخدام الطاقة السنوي من أجل تبريد المساكن. إلا أن هذا النمط من التبريد يمارس ضغطاً إضافياً على موارد المياه المتاحة. ويمكن الحد من استخدام الطاقة من أجل تبريد المباني بتدابير مختلفة، على سبيل المثال، بتقليل حمل التبريد من خلال شكل المباني وتوجيهها. ويعني الحد من هذه الطاقة في حالة استخدام المياه من أجل التبريد، خفض الطلب على المياه. [WGIII 6.4.4]

6.2.7 تغير استخدام الأراضي وإدارتها (7)

وفقاً لدليل الممارسات الجيدة للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) فيما يتعلق باستخدام الأراضي والحراجة LULUCF، هناك ست فئات عامة ممكنة لاستخدام الأراضي تتمثل في: أراضي الغابات، والأراضي الزراعية، والأراضي العشبية، والأراضي الرطبة، والمستوطنات وغيرها. ويمكن للتغيرات في استخدام الأراضي (من مثل تحويل الأراضي الزراعية إلى أراضي عشبية) أن يؤدي إلى تغيرات صافية في مخزونات الكربون وإلى تأثيرات مختلفة على موارد المياه. وبالنسبة للتغييرات في استخدام الأراضي غير تحويلها إلى غابات (حسبما نوقش في الفرع 6.2.10)، تتضمن الوثائق السابقة للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) إشارات قليلة جداً إلى تأثيراتها على موارد المياه. وتؤدي استعادة الأراضي الرطبة وهي إحدى ممارسات التخفيف الرئيسية في الزراعة [WGIII 8.4.1.3] إلى تحسين نوعية المياه والحد من الفيضانات. [LULUCF الجدول 4.10] ناهيك عن ممارسات تخفيف أخرى حددها الفريق العامل الثالث WGIII قد تكون لها تأثيرات إيجابية سواء على صون المياه أو على نوعيتها. [WGIII الجدول 8.12]

ويمكن أيضاً أن يكون لممارسات إدارة الأراضي المنفذة لتخفيف تغير المناخ تأثيرات مختلفة على موارد المياه. فكثير من الممارسات التي تحظى بالتأييد من أجل المحافظة على كربون التربة – تقليل حراثة الأراضي، وزيادة الغطاء النباتي، وزيادة استخدام المحاصيل الدائمة طول العام – تمنع أيضاً التحات، ويمكن أن تحقق منافع بالنسبة لتحسين المياه ونوعية الهواء (Cole وآخرون، 1993). ويمكن أن يكون لهذه الممارسات أيضاً آثار معاكسة محتملة أخرى على الأقل في بعض المناطق أو الظروف. وتشمل الآثار الممكن حدوثها زيادة تلوث المياه الجوفية بالمغذيات أو مبيدات الآفات عن طريق الارتشاح في ظل تقليل الحراثة (Cole وآخرون 1993؛ Isensee and Sadeghi، 1996). إلا أن هذه الآثار السلبية الممكن حدوثها لم يتم تأكيدها أو قياسها على نطاق واسع، كما أن المدى الذي يمكن أن توازن به المنافع البيئية لتنحية الكربون مدى غير يقيني. [WGIII TAR 4.4.2]

وتشمل مجموعة الممارسات المعروفة بتكثيف الزراعة (Lal وآخرون، 1999؛ Bationo وآخرون، 2000؛ Resck وآخرون، 2000؛ Swarup وآخرون، 2000)، بما فيها تلك الممارسات التي تعزز الإنتاج ومدخلات البقايا المتخلفة من النباتات في التربة (دورات المحاصيل، تقليل الأراضي البور العارية، المحاصيل الواقية، وأنواع المحاصيل العالية المردود، والإدارة المتكاملة بشأن الآفات، والتسميد الملائم، والتحسينات العضوية، والري، وإدارة المنسوب المائي الجوفي، والإدارة المحددة للموقع، وغيرها) وهي ذات منافع إضافية عديدة أهمها هو زيادة إنتاج الأغذية والمحافظة عليه. ويمكن أن تشمل المنافع البيئية، مكافحة التحات وصون المياه وتحسين نوعيتها، والحد من تغرين المستودعات والمجاري المائية. وتتأثر التربة ونوعية المياه تأثراً معاكساً من الاستخدام المشوّش للمدخلات الزراعية ومياه الري. [LULUCF صحيفة الوقائع 4.1]

وتحدث إدارة المغذيات في سعيها لتحقيق كفاءة استخدام الأسمدة تأثيرات إيجابية على نوعية المياه. [WGIII الجدول 8.12] وبالإضافة إلى ذلك، فإن الممارسات التي تقلل انبعاثات أكسيد النيتروز تحسِّن غالباً كفاءة استخدام النيتروجين من هذه المصادر وغيرها (الأسمدة مثلاً)، وبالتالي، تقلل أيضاً انبعاثات غاز الدفيئة GHG من صناعة الأسمدة وتفادي الآثار الضارة للملوثات النيتروجينية بنوعية المياه والهواء (Dala وآخرون، 2003؛ Paustian وآخرون، 2004؛ Oenema وآخرون، 2005؛ Olesen وآخرون، 2006). [WGIII 8.8]

ويمكن أن توفر نظم الحراجة الزراعية (زراعة الأشجار في الأرضي الزراعية) منافع متعددة بما في ذلك توفير الطاقة إلى المجتمعات المحلية الريفية، وكذلك أوجه تآزر بين التنمية المستدامة والتخفيف من انبعاثات غازات الدفيئة [LULUCF 4.5.1] إلا أن الحراجة الزراعية قد يكون لها تأثيرات سلبية على صون المياه. [WGIII الجدول 8.12]

6.2.8 إدارة الأراضي الزراعية (المياه) (8)

يمكن أن يكون للممارسات الزراعية التي تعزز تخفيف انبعاثات غازات الدفيئة آثار سلبية وإيجابية على السواء على صون المياه ونوعيتها. وحيث تعزز التدابير كفاءة استخدام المياه (على سبيل المثال تقليل حراثة الأراضي) فإنه يمكنها تحقيق منافع. لكن في بعض الحالات، يمكن أن تؤدي الممارسات إلى تكثيف استخدام

المياه، وبالتالي تخفض تدفق المجاري المائية أو احتياطيات المياه الجوفية (Unkovich، 2003؛ Dias de Oliveira وآخرون، 2005). وكانت لإدارة زراعة الأرز بوجه عام تأثيرات إيجابية على نوعية المياه من خلال خفض كمية المواد الملوِّثة الكيميائية في مياه الصرف. [WGIII الجدول 8.12]

6.2.9 إدارة الأراضي الزراعية (تقليل حراثة الأراضي) (9)

إن مصطلح الحراثة من أجل صون الأراضي هو مصطلح عام يشمل طائفة واسعة من ممارسات حراثة الأراضي بما في ذلك الحراثة بالإزميل، وحراثة الضلع المرتفع من الأرض، وحراثة القطاع، وحراثة المهاد، والزراعة بدون حراثة (مركز معلومات تكنولوجيا الصون (الزراعة والبيئة، 1998). وينطوي اعتماد الحراثة من أجل صون الأراضي على منافع إضافية عديدة. والمهم من هذه المنافع هو مكافحة تحات المياه والرياح، وصون المياه، وزيادة القدرة على الاحتفاظ بالمياه، وتقليل التراص، وزيادة مرونة التربة إزاء المدخلات الكيميائية، وزيادة جودة الهواء والتربة، وتعزيز التنوع الأحيائي للتربة، وتقليل استخدام الطاقة، وتحسين نوعية المياه، وتقليل تغرين المستودعات والمجاري المائية، وإمكان زراعة محصولين. وفي بعض المناطق (على سبيل المثال استراليا)، فإن زيادة الارتشاح نتيجة لزيادة استبقاء المياه مع الحراثة الرامية إلى صون الأراضي يمكن أن تسبب تملح هابط. [LULUCF صحيفة الوقائع 4.3) وتشمل منافع ثانوية هامة لاعتماد الحراثة من أجل صون الأراضي تقليل تحات التربة، وتحقيق تحسينات في نوعية الهواء، وزيادة كفاءة الوقود، وتحقيق زيادات في إنتاجية المحاصيل. [LULUCF 4.4.2.4] كما أن لإدارة حراثة الأرض/والبقايا تأثيرات إيجابية على صون المياه. [WGIII الجدول 8.12].

6.2.10 التشجير أو إعادة التشجير (10)

يتوقع بوجه عام أن تستخدم الغابات قدراً من المياه (مجمل كمية مياه النتح والتبخر الناجمة عن اعتراض الأجزاء العليا المتغصنة من الغابة) أكبر من الذي تستخدمه المحاصيل، أو الأعشاب، أو الغطاء النباتي الطبيعي القصير. وقد يكون هذا الأثر الذي يحدث في الأراضي التي تتعرض للتشجير أو إعادة التشجير متعلقاً بزيادة الفاقد بسبب الاعتراض، وخصوصاً عندما تكون الأجزاء العليا المتغصنة من الغابة مبللة خلال جزء كبير من العام (Calder، 1990)، أو قد يتعلق في المناطق الأكثر جفافاً بنشوء مزيد من نظم الجذور على نطاق واسع مما يتيح سحب المياه واستخدامها أثناء فصول الجفاف متطاولة الأمد. [LULUCF 2.5.1.1.4]

ويكون الفاقد من المياه بسبب الاعتراض أكبر ما يكون في الغابات التي تشمل مناطق واسعة من الأغصان وأوراق النباتات طوال العام. وبالتالي، فإن هذا الفاقد ينحو نحو الزيادة في الغابات دائمة الخضرة لا في الغابات النفضية (Hibbert، 1967؛ Schulze، 1982) ويتوقع أن يكون هذا الفاقد في الغابات السريعة النمو ذات المعدلات العالية من تخزين الكربون أكبر منه في الغابات البطيئة النمو. ومن ثم، فإن التشجير بالأشجار الصنوبرية السريعة النمو في الأراضي التي ليست غابات يخفض بوجه عام تدفق المياه من مستجمعات المياه، ويمكن أن يسبب نقصاً في المياه أثناء نوبات الجفاف (Hibbert، 1967؛ Swank and Douglass، 1974). وقد تبين لفنسنت Vincent (1995)، على سبيل المثال، أن غرس أنواع من أشجار الصنوبر ذات احتياج عال إلى المياه لتجديد وإحياء مستجمعات المياه المتدهورة في تايلند قد خفض بشكل ملحوظ تدفق المجاري المائية خلال فصل الجفاف مقارنة بالغابات النفضية الأصلية. ومع أن الغابات تخفض متوسط التدفقات، فإنها يمكن أن تخفض ذروة التدفقات، وأن تزيد التدفقات أثناء فصول الجفاف لأن أراضي الغابات ذات قدرة أفضل على تسريب المياه، وقدرة عالية على استبقائها (Jones and Grant، 1996). وتؤدي الغابات أيضاً دوراً هاماً في تحسين نوعية المياه. [LULUCF 2.5.1.1.4]

وفي مناطق كثيرة في العالم حيث تنمو الغابات فوق مناسيب مائية جوفية ملحية ضحلة فإن نقصان استخدام المياه عقب إزالة الغابات يمكن أن يسبب ارتفاع المنسوب المائي الجوفي حاملاً الملح إلى السطح (Morris and Thomson، 1983). وفي حالات من هذا القبيل يمكن أن يكون استخدام الأشجار الكبير للمياه (مثلاً من خلال التشجير أو إعادة التشجير) مفيداً (Schofield، 1992). [LULUCF 2.5.1.1.4]

وفي المناطق المدارية الجافة تستخدم الغابات المزروعة غالباً قدراً من المياه أكبر مما تستخدمه النباتات القصيرة لأن الأشجار يمكنها الوصول إلى الماء على عمق أكبر وتبخير قدر أكبر من المياه المعتَرَضة. ويمكن للغابات المزروعة حديثاً أن تستخدم قدراً من المياه (من خلال النتح والاعتراض) أكبر من كمية المطر السنوية من خلال الارتواء من المياه المخزونة (Greenwood وآخرون، 1985). ولذلك، يمكن أن يكون للتشجير أو إعادة التشجير على نطاق واسع في المناطق المدارية الجافة تأثير خطير على إمدادات المياه الجوفية وتدفقات الأنهار. ومع ذلك، ليس من الواضح بما فيه الكفاية ما إذا كان استبدال الغابات الطبيعية بغابات مزروعة حتى بأنواع غريبة يزيد استخدام المياه في المناطق المدارية عندما لا يكون هناك تغير في عمق جذور أنواع الأشجار أو في سلوكها الثغيري. وفي المناطق الهندية الجافة، يكون استخدام مزارع اليوكالبتوس Eucalyptus للمياه مماثلاً لاستخدام الغابة النفضية الجافة الأصلية: وكلا النوعين من الغابات يستخدم بصفة أساسية كل كمية المطر السنوية (Calder، 1992). [LULUCF 2.5.1.1.4]

ويمكن أن يكون للتشجير وإعادة التشجير مثل حماية الغابات آثار هيدرولوجية مفيدة أيضاً. فبعد التشجير في المناطق الرطبة تتناقص كمية الجريان المباشر تناقصاً سريعاً في البداية، لكنها تصبح ثابتة بالتدريج، كما يزداد التدفق الأساسي ببطء مع ازدياد عمر الحرجة المتماثلة الشجر نحو النضوج (Fukushima، 1987؛ Kobayashi، 1987)، مما يوحي بأن إعادة التشجير والتشجير يساعدان في الحد من الفيضان ويعززان صون المياه. وفي المناطق المحدودة المياه، يمكن أن يسبب التحريج، وخصوصاً مزارع الأنواع التي تحتاج إلى قدر كبير من المياه انخفاضاً هاماً في تدفق المجاري المائية يؤثر على سكان الحوض (Le Maitre and Versfeld، 1997)، ويخفض تدفق المياه إلى النظم الإيكولوجية والأنهار الأخرى وبالتالي يؤثر

على مستودعات المياه الجوفية والتغذية (Jackson وآخرون، 2005). وبالإضافة إلى ذلك، فإن بعض التغيرات الممكنة في خصائص التربة تتأثر إلى حد كبير بالتغيرات الهيدرولوجية. ولعل الفوائد الهيدرولوجية للتشجير تحتاج إلى تقييم لكل موقع على حدة [WGIII TAR 4.4.1]

وينبغي الموازنة بين الفوائد الاجتماعية – الاقتصادية الإيجابية من مثل الثروة أو خلق الوظائف وخسارة الرفاه الناجمة عن انخفاض المياه المتاحة، والمراعي والموارد الطبيعية والأراضي الزراعية. وقد يكون لتشجير الأراضي المتحاتة من قبل أو المتدهورة لسبب آخر تأثير بيئي إيجابي صاف؛ وفي مستجمعات المياه التي تكون إنتاجيتها المائية كبيرة أو لا يكون استخدام مياهها كثيفاً فإن انخفاض تدفق المجرى المائي قد لا يكون خطيراً. [LULUCF 4.7.2.4]

6.2.11 تفادي/تقليل إزالة الغابات (11)

يمكن أن يسهم وقف إزالة الغابات وتدهور الغابات (فقدان كثافة الكربون) أو إبطائهما والإدارة المستدامة للغابات إسهاماً كبيراً في تفادي الانبعاثات، وصون موارد المياه ومنع الفيضانات وخفض الجريان ومكافحة التحات وخفض تغرين الأنهار وحماية مصائد الأسماك والاستثمارات في مرافق إنتاج الطاقة الكهربائية المائية؛ والمحافظة على التنوع الأحيائي في الوقت نفسه (Parrotta، 2002). [WGIII 9.7.2]

وتصون المحافظة على الغابات موارد المياه وتحول دون حدوث الفيضانات. وعلى سبيل المثال، أدى فقدان الغطاء الحرجي إلى زيادة واضحة في الأضرار الناجمة عن الفيضان الذي حدث في أمريكا الوسطى عقب إعصار ميتش. فالغابات من خلال خفضها للجريان تكافح التحات والملوحة. ومن ثم، فإن المحافظة على الغطاء الحرجي يمكن أن تخفض تغريُن الأنهار وأن تحمي مصائد الأسماك والاستثمار في مرافق إنتاج الطاقة الكهربائية المائية (Chomitz and Kumari، 1996). [WGIII TAR 4.4.1]

ويمكن لإزالة الغابات وتدهور مستجمعات المياه في الأراضي المرتفعة أن تسبب اختلال النظم الهيدرولوجية وأن تستبدل التدفقات المائية على مدار العام في مناطق المجاري السفلية للأنهار، بنظم الفيضان والجفاف (Myers، 1997). ولئن كانت هناك غالباً أوجه تآزر بين زيادة تخزين الكربون من خلال أنشطة التشجير، وإعادة التشجير، وإزالة الغابات (ARD) وما يرتبط بها من تأثيرات مرغوبة أخرى، فإنه لا يمكن تطبيق قواعد عامة في هذا الصدد؛ وينبغي تقييم التأثيرات على نحو منفرد لكل حالة محددة. ويمكن أن تكون التأثيرات المصاحبة ذات شأن، كما يمكن أن تتأثر المرغوبية الإجمالية في أنشطة تشجير وإعادة تشجير وإزالة غابات ARD محددة تأثراً كبيراً بالتأثيرات المصاحبة لها. [LULUCF 3.6.2]

6.2.12 إدارة النفايات الصلبة؛ معالجة المياه المستعملة (12)

إن مطارح النفايات الخاضعة للرقابة (مع استخلاص الغاز واستعماله أو بدون استخلاصه) تتحكم في انبعاثات غاز الدفيئة وتخفضها لكن قد تكون لها تأثيرات سلبية على نوعية المياه في حالة المواقع غير المدارة إدارة سليمة. وينطبق هذا أيضاً على المعالجة الإحيائية الهوائية (الكمر) والمعالجة الأحيائية اللاهوائية (الهضم اللاهوائي). وإن إعادة تدوير النفايات وإعادة استعمالها والتقليل منها إلى أدنى حد يمكن أن يكون سلبياً بالنسبة لزوال الملوثات الجوية للنفايات من مواقع إلقاء النفايات المفتوحة، وتكون إحدى النتائج المحتملة لذلك هي تلوث المياه. [WGIII الجدول 10.7]

ومن شأن تكنولوجيات نقل المياه المستعملة ومعالجتها إذا طُبقت على نحو تتوافر فيه الكفاءة أن تخفض توليد وانبعاثات غاز الدفيئة GHG أو أن تستبعده. وبالإضافة إلى ذلك، تعزز إدارة المياه المستعملة صون المياه من خلال منع تلوث المياه السطحية، والمياه الجوفية، والتربات، والمناطق الساحلية من عمليات التصريف غير المعالجة، وبالتالي فإنها تخفض حجم الملوثات، وتحتاج إلى كمية أصغر من المياه لمعالجتها. [WGIII 10.4.6]

ويمكن بالنسبة للمياه المستعملة المعالجة إما إعادة استعمالها أو تصريفها لكن إعادة الاستعمال هي أكثر الخيارات استصواباً بالنسبة للري الزراعي وري البساتين وتربية الأسماك، والتغذية المصطنعة لمستودعات المياه الجوفية، أو التطبيقات الصناعية. [WGIII 10.4.6]

6.2.13 النفط غير التقليدي (13)

نظراً لأن إمدادات النفط التقليدية أصبحت شحيحة كما أن تكاليف استخراجها تتزايد، فإن أنواع الوقود السائل غير التقليدية ستصبح أكثر جاذبية من الناحية الاقتصادية، وإن كانت ستقابل ذلك زيادة في التكاليف البيئية (Williams وآخرون، 2006). ويتطلب استخراج وتحسين طفل النفط ونفط الرمال إتاحة مياه وفيرة. وتشمل التكنولوجيات الرامية إلى استخلاص الرمال من القار عملية استخلاص مفتوحة (سطحية) للنفايات حيث تكون الترسبات ضحلة بما فيه الكفاية أو حقن للبخار في الآبار في الموقع لخفض لزوجة النفط قبل استخراجه. وتستخدم عملية الاستخراج نحو أربعة لترات من المياه لإنتاج لتر واحد من النفط لكنها تنتج منتجاً قابلاً للتكرير. وتستخدم العملية المنفذة في الموقع نحو لترين من المياه لكل لتر من النفط لكن المنتج الثقيل جداً يحتاج إلى تنظيف وتخفيف (بالنفتا عادة) في معمل تكرير النفط أو يتعين إرساله إلى مرفق تحسين من أجل إنتاج نفط اصطناعي بكفاءة طاقة تبلغ نحو 75% (المجلس الوطني للطاقة NEB، 2006). وتبلغ نسبة كفاءة استخدام الطاقة في تحسين نفط الرمال حوالي 75%. ويخلّف استخلاص الرمال من النفط كميات كبيرة من الملوثات ومناطق من الأراضي المضطربة [WGIII 4.3.1.4]

6.3 آثار سياسات وتدابير إدارة المياه على انبعاثات غاز الدفيئة والتخفيف منها

حسبما أشير في القسم السابق، يمكن أن يكون لممارسات تخفيف تغير المناخ في قطاعات شتى تأثير على موارد المياه وفي مقابل ذلك، يمكن أن يكون لسياسات وتدابير إدارة المياه تأثير على انبعاثات غاز الدفيئة المصاحبة لقطاعات مختلفة ومن ثم على تدابير التخفيف الخاصة بها (الجدول 6.2).

الجدول 6.2: تأثير إدارة المياه على الانبعاثات القطاعية لغاز الدفيئة GHG. وزيادة هذه الانبعاثات مبينة بعلامة [-]، (لأن هذه الزيادة تنطوي على تأثير سلبي)، وانخفاض انبعاثات غاز الدفيئة GHG بعلامة [+]. والأرقام الواردة بين أقواس مستديرة تحيل إلى الحواشي، وكذلك إلى أرقام الفقرات الفرعية الواردة في القسم 6.3.

القطاع	النوعية		الكمية		مستوى المياه	
	الكيميائية/ البيولوجية	درجة الحرارة	متوسط الطلب	رطوبة التربة	المياه السطحية	المياه الجوفية
الطاقة		لطاقة الحرارية الأرضية (7) [+]	سدود مائية (1) [-/+] الري (2) [-] الطاقة الحرارية الأرضية (7) [+] إزالة الملوحة (6)[-]		سدود مائية (1) [-/+]	
الزراعة			السدود المائية (1) [-]	الري (2) [-/+] غلة بقايا (المحاصيل أو النباتات) (3) [+]		**صرف الأراضي الزراعية (4) [-/+]**
النفايات	معالجة المياه المستعملة (5) [-/+]					

الحواشي:
(1) لا تتطلب الطاقة الكهرمائية وقوداً أحفورياً وهي مصدر هام للطاقة المتجددة. إلا أن بصمة غاز الدفيئة GHG في خزانات توليد الطاقة الكهرمائية تعرضت للشك مؤخراً. وبوجه خاص، يمثل غاز الميثان مشكلة.
(2) يمكن أن يؤدي تطبيق تدابير أكثر فعالية للري إلى زيادة تخزين الكربون في التربة من خلال زيادة غلات المحاصيل وغلات بقاياها، لكن بعض هذه المكاسب يمكن أن تقابلها انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من الطاقة المستخدمة في إمدادات المياه. ويمكن للري أن يستحث أيضاً انبعاثات إضافية لتركيز ثاني أكسيد الكبريت في الهواء المحيط CH_4 وانبعاثات أكسيد النيتروز N_2O، رهناً بظروف كل حالة محددة.
(3) سيؤدي عائد البقايا في الحقول من أجل تحسين القدرة على الاحتفاظ بالمياه إلى تنحية الكربون من خلال زيادة إنتاجية المحاصيل وخفض تنفس التربة، على حد سواء.
(4) يمكن لصرف الأراضي الزراعية في المناطق الرطبة أن يعزز الإنتاجية (ومن ثم كربون التربة) وربما يُخمد أيضاً انبعاثات أكسيد النيتروز N_2O من خلال تحسين التهوية. إلا أن أي نتروجين يفقد أثناء الصرف يمكن أن يتعرض للفقد كأكسيد نيتروز N_2O.
(5) رهناً بتصميم وإدارة مرافق (معالجة المياه المستعملة وتكنولوجيات تنقية المعالجة) يمكن أن تصدر انبعاثات تزيد أو تقل من تركيز ثاني أكسيد الكبريت CH_4 وأكسيد النيتروز N_2O وتكون الانبعاثات الرئيسية لغاز الدفيئة GHG من المياه المستعملة خلال جميع المراحل من المصدر إلى التصريف؛ إلا أنه من الناحية العملية يحدث معظم الانبعاثات خلال الأطوار الأولية للمعالجة.
(6) تتطلب إزالة الملوحة استخدام الطاقة، وبالتالي فإنها تولد انبعاثات غاز الدفيئة GHG.
(7) لا يولد استخدام الطاقة الحرارية الأرضية لأغراض التدفئة انبعاثات غاز الدفيئة GHG كما هو الحال مع الأساليب الأخرى لإنتاج الطاقة.

6.3.1 السدود المائية (1)

شيِّد نحو 75% من خزانات المياه في العالم من أجل الري ومكافحة الفيضانات ونظم إمدادات المياه للمناطق الحضرية. وتختلف انبعاثات غاز الدفيئة باختلاف مواقع الخزانات، وكثافة الطاقة (قدرة الطاقة بالنسبة للمساحة المغمورة بالمياه) ومعدل التدفق، وما إذا كانت محطة توليد الطاقة تستند إلى سد أو إلى نمط التدفق الطبيعي للنهر الذي تعود فيه المياه من محطة توليد الطاقة الكهربائية إلى النهر بدون تغيير تدفقه القائم أو مستوى مياهه أو يستعمل فيه خزان كبير عند منبع النهر. وكانت بصمة غاز الدفيئة الخاصة بخزانات توليد الطاقة الكهرمائية موضع شك مؤخراً. وتبين أن بعض الخزانات تمتص ثاني أكسيد الكربون في سطحها لكن معظمها يبعث كميات صغيرة من غازات الدفيئة عندما تنقل المياه الكربون وتُدخِله في دورة الكربون الطبيعية. وقد سُجلت انبعاثات عالية لغاز الميثان في الخزانات المدارية الضحلة الكائنة في الهضاب حيث تكون دورة الكربون الطبيعية في أقصى إنتاجيتها، بينما تصدر الخزانات ذات المياه العميقة قدراً أخفض من الانبعاثات. ويمكن كتم غاز الميثان المنبعث من السهول الفيضية الطبيعية والأراضي الرطبة إذا غُمرت بمياه خزان جديد نظراً لأن الميثان يتأكسد عندما يرتفع من خلال عمود الماء. ويتضمن تكوين الميثان في المياه العذبة مركبات منتجات ثانوية كربونية (الحامض الفينولي والحامض الدبّالي) التي تنحي أيونات الكربون المتضمنة تنحية فعالة. وبالنسبة للخزانات المدارية الضحلة، يلزم مزيد من البحث لتحديد المدى الذي قد تزيد فيه هذه الخزانات انبعاثات غاز الميثان. [WGIII 4.3.3.1]

إن انبعاث غازات الدفيئة من الخزانات بسبب تعفن النباتات ودفق الكربون الداخلي من مستجمعات المياه هو تأثير تم تحديده مؤخراً للسدود على النظام الإيكولوجي. ويتحدى هذا التأثير الحكمة التقليدية التي مؤداها أن الطاقة الكهرمائية تنتج فقط آثاراً إيجابية في الغلاف الجوي (على سبيل المثال تخفيض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، وأكسيدات النيتروز) مقارنة بمصادر توليد الطاقة التقليدية (اللجنة العالمية المعنية بالسدود، 2000).

وأظهرت عمليات تقييم دورة حياة مشاريع الطاقة الكهرمائية المتاحة وقت إصدار تقرير التقييم الرابع انبعاثات إجمالية منخفضة صافية لغاز الدفيئة. ونظراً لأن قياس الانبعاثات الإضافية المتعلقة بالأنشطة البشرية المنشأ من خزانات المياه العذبة لاتزال غير يقينية، استبعد المجلس التنفيذي لاتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ UNFCCC المشاريع المائية الكبيرة التي تحقق تخزيناً كبيراً للمياه من آليته للتنمية النظيفة (CDM). [WGIII 4.3.3.1]

6.3.2 الري (2)

تتلقى نسبة تبلغ نحو 18% من الأراضي الزراعية في العالم حالياً مياهاً إضافية من خلال الري (تقييم النظام الإيكولوجي للألفية، 2005a, b). وإن توزيع هذه المساحة (حيث تسمح احتياطيات المياه بذلك) أو تنفيذ تدابير ري أكثر فعالية يمكن أن يعزز تخزين الكربون في التربات من خلال زيادة غلة المحاصيل وعائد البقايا (Follett، 2001؛ Lal، 2004). إلا أنه يمكن أن يقابل هذه المكتسبات انبعاث ثاني أكسيد الكربون من الطاقة المستخدمة لتوفير المياه (Schlesinger، 1999؛ Mosier وآخرون، 2005) أو من انبعاثات أكسيد النيتروز من ارتفاع نسبة الرطوبة ومدخلات نيتروجين الأسمدة (Liebig وآخرون، 2005) وإن كان أثر العامل الأخير لم يتم قياسه على نطاق واسع [WGIII 8.4.1.1.d]. ويمكن أن يسبب توسيع نطاق مساحة زراعة الأرز في الأراضي الرطبة أيضاً زيادة في انبعاثات غاز الميثان من التربة (Yan وآخرون، 2003). [WGIII 8.4.1.1.e]

6.3.3 عائد البقايا (3)

يشكل تنافس وتزاحم الأعشاب الضارة على المياه سبباً هاماً للإخفاق أو النقصان في غلات المحاصيل على النطاق العالمي. وتتيح صنوف التقدم التي تحققت في أساليب مكافحة الأعشاب الضارة وفي آلية الزراعة حالياً إمكان نمو محاصيل كثيرة بحد أدنى من الحراثة للأرض (الحراثة المخفضة) أو بدون حراثة (الزراعة بدون حراثة). وهذه الممارسات التي تفضي إلى المحافظة على مخلفات وبقايا المحاصيل وبالتالي تحول دون فقدان المياه بسبب التبخر تستخدم بصورة متزايدة حالياً في كافة أنحاء العالم (مثل Cerri وآخرون، 2004). ونظراً لأن اضطراب التربة ينحو نحو حفز فقدان كربون التربة من خلال زيادة التحلل والتحات (Madari وآخرون، 2005)، فإن الزراعة القائمة على تقليل حراثة الأرض أو عدم حراثتها ينتج عنها غالباً مكاسب في كربون التربة وإن لم يكن ذلك يحدث دائماً (West and Post، 2002؛ Alvarez، 2005؛ Gregorich وآخرون، 2005؛ Ogle وآخرون، 2005). ويمكن لاعتماد أسلوب تقليل حراثة الأرض أو عدم حراثتها أن يؤثر أيضاً على انبعاثات أكسيد النيتروز N_2O لكن الآثار الصافية ليست متسقة ولم يتم قياسها قياساً جيداً على النطاق العالمي (Cassman وآخرون، 2003؛ Smith and Conen، 2004؛ Helgason وآخرون، 2005؛ Li وآخرون، 2005). وقد يتوقف أثر تقليل حراثة الأرض على انبعاثات أكسيد النيتروز على ظروف التربة والأحوال المناخية: ففي بعض المناطق يؤدي تقليل حراثة الأرض إلى تعزيز انبعاثات أكسيد النيتروز، وفي أماكن أخرى يمكنه أن يخفض الانبعاثات أو يكون له تأثير غير قابل للقياس (Marland وآخرون، 2001). وبالإضافة إلى ذلك يمكن لأنظمة عدم حراثة الأرض أن تخفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من استخدام الطاقة (Marland وآخرون، 2003؛ Koga وآخرون، 2006). وتنحو النظم التي تستبقي بقايا المحاصيل أيضاً نحو زيادة الكربون في التربة لأن هذه البقايا هي سلائف المواد العضوية في التربة التي هي المخزن الرئيسي للكربون في التربة. وإن تفادي حرق البقايا (على سبيل المثال ميكنة محصول قصب السكر يستبعد الحاجة إلى الإحراق قبل الحصاد؛ Cerri وآخرون، 2004)، ويتفادى أيضاً الانبعاثات من الأهباء الجوية وغازات الدفيئة GHGs المتولدة من الحريق، وإن كانت انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من استخدام الوقود يمكن أن تزداد. [WGIII 8.4.1.1.c]

6.3.4 عمليات الصرف في الأراضي الزراعية (4)

يمكن لعملية الصرف في الأراضي الزراعية في المناطق الرطبة أن تعزز إنتاجية الأراضي (ومن ثم الكربون في التربة) وربما أيضاً تخمد انبعاثات أكسيد النيتروز N_2O من خلال تحسين التهوية (Monteny وآخرون، 2006). إلا أن أي نتروجين يُفقد خلال عملية الصرف يمكن أن يتعرض للفقدان باعتباره أكسيد النيتروز N_2O (Reay وآخرون، 2003). [WGIII 8.4.1.1.d]

6.3.5 معالجة المياه المستعملة (5)

فيما يتعلق بتركيز ثاني أكسيد الكبريت في الهواء المحيط CH_4 وهو أكبر مصدر لانبعاثات غاز الدفيئة GHG من قطاع النفايات، تستمر الانبعاثات عدة عقود بعد التخلص من النفايات، ومن ثم فإن تقدير اتجاهات الانبعاثات يتطلب نماذج تشمل الاتجاهات الزمنية. وينبعث تركيز ثاني أكسيد الكبريت CH_4 أيضاً أثناء نقل المياه المستعملة، وعمليات معالجة مياه المجاري، والتسرب من الهضم اللاهوائي للرواسب الطينية في النفايات أو المياه المستعملة. وتتمثل المصادر الرئيسية لأكسيد النيتروز N_2O في المجارير الخاصة بالبشر، وفي معالجة المياه المستعملة. [WGIII 10.3.1]

ويُتوقع أن تزداد انبعاثات غاز الميثان من المياه المستعملة وحدها بنسبة تبلغ قرابة 50% بين عام 1990 وعام 2020، وخصوصاً في البلدان السريعة النمو في شرق آسيا وجنوبها. والتقديرات المتعلقة بانبعاثات أكسيد النيتروز N_2O العالمية من المياه المستعملة تقديرات غير كاملة وتستند فقط إلى معالجة المجارير الخاصة بالبشر، لكن هذه التقديرات تشير إلى زيادة تبلغ نسبتها 25% بين عام 1990 وعام 2020. إلا أنه من المهم التأكيد على أن هذه السيناريوهات هي سيناريوهات Business-as-usual أي تقوم على إسقاطات، وقد تكون الانبعاثات الفعلية أخفض بكثير إذا ما نفذت تدابير إضافية. وسيتوقف تخفيض الانبعاثات من قطاع النفايات في المستقبل جزئياً على إتاحة آليات كيوتو بعد عام 2012 من مثل آلية التنمية النظيفة CDM. [WGIII 10.3.1]

وفي البلدان النامية وبسبب الزيادة السريعة للسكان والتوسع الحضري بدون تنمية متزامنة للبنية الأساسية اللازمة لمعالجة المياه المستعملة، تكون انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت CH_4 وأكسيد النيتروز N_2O من المياه المستعملة بوجه عام أعلى منها في البلدان المتقدمة. ويمكن تبين ذلك من فحص تقديرات انبعاثات غاز الميثان وأكسيد النيتروز N_2O لعام 1990 والاتجاهات المسقطة لعام 2020 من المياه المستعملة والمجارير الخاصة بالبشر. [WGIII 10.3.3]

ولئن كانت انبعاثات غاز الدفيئة GHG الحالية من المياه المستعملة أخفض من الانبعاثات الصادرة من النفايات، فإن من المسلم به أن هناك قدراً كبيراً من الانبعاثات التي لا تقيسها التقديرات الحالية، وخصوصاً من خزانات التعفين والمراحيض، وعمليات التصريف التي لا تخضع لرقابة في البلدان النامية. ويمكن لعمليات المعالجة «الطبيعية» اللامركزية وخزانات التعفين في البلدان النامية أن تنتج انبعاثات كبيرة نسبياً من غاز الميثان وأكسيد النيتروز N_2O، وخصوصاً في الصين والهند

وإندونيسيا. وإن المجارير المفتوحة أو المياه المستعملة التي تحولت على نحو غير نظامي إلى برك في البلدان النامية تنتج عنها غالباً عمليات تصريف لا رقابة عليها إلى الأنهار والبحيرات مسببة تزايداً سريعاً في كميات المياه المستعملة يواكب التنمية الاقتصادية. ومن ناحية أخرى، تستخدم في المكسيك وزيمبابوي والصين والسويد مراحيض تتسم بانخفاض استخدامها للمياه (من 3 إلى 5 ليترات) ونُهُج للنظافة الصحية الإيكولوجية (بما في ذلك المراحيض الإيكولوجية) حيث يعاد تدوير المغذيات بأمانٍ في زراعة مثمرة وفي البيئة. ويمكن تطبيق هذه النُهُج أيضاً في كثير من البلدان النامية والبلدان المتقدمة، وخصوصاً حيث يكون هناك نقص في المياه، أو عدم انتظام في إمداداتها أو حيث يلزم اتخاذ تدابير إضافية من أجل صون موارد المياه. وتشجع جميع هذه التدابير أيضاً وحدات معالجة المياه المستعملة الأصغر حجماً ذات الأحمال المنخفضة من المغذيات وانبعاثات متناسبة أخفض لغاز الدفيئة GHG.[WGIII 10.6.2] والحاصل هو أن كمية المياه المستعملة المجمّعة والمعالجة تتزايد في بلدان كثيرة من أجل المحافظة على نوعية مياه الشرب وتحسينها ومن أجل تحقيق منافع تتعلق بالصحة العمومية وحماية البيئة. وعلى نحو متزامن، ستنخفض انبعاثات غاز الدفيئة GHG من المياه المستعملة على نحو تناسبي مع الزيادة في تجميع ومعالجة المياه المستعملة في المستقبل. [WGIII 10.6.2]

6.3.6 إزالة الملوحة (6)

يمكن في المناطق الشحيحة المياه أن يتم توفير إمدادات المياه (جزئياً) من خلال إزالة ملوحة المياه المالحة. وتحتاج هذه العملية إلى الطاقة، وينطوي ذلك ضمنياً على توليد انبعاثات غاز الدفيئة GHG في حالة استخدام الوقود الأحفوري.[WGIII 3.3.2]

6.3.7 الطاقة الحرارية الأرضية (7)

لا يولد استخدام الطاقة الحرارية الأرضية لأغراض التدفئة انبعاثات غاز الدفيئة GHG كما هو الحال مع الأساليب الأخرى لتوليد الطاقة (انظر أيضاً الفقرة 6.2.5).

6.4 المنازعات المحتملة بشأن موارد المياه بين التكيف والتخفيف

يمكن أن تنشأ منازعات بين التكيف والتخفيف بشأن موارد المياه. وتبين الدراسات القليلة القائمة (على سبيل المثال Dang وآخرون، 2003) أن مضاعفات التدابير المتخذة للتخفيف على التكيف، والعكس بالعكس، هامشية إلى حد كبير على المستوى العالمي وإن كان يمكن أن تكون هامة على النطاق الإقليمي. ففي المناطق التي سيؤدي فيها تغير المناخ إلى إحداث تحولات هامة في النظام الهيدرولوجي بينما لاتزال إمكانات الطاقة الكهرمائية متاحة، فإن ذلك سيزيد التنافس على المياه، وخصوصاً إذا نفذت الجهود الرامية إلى التكيف مع تغير المناخ في قطاعات شتى (مثل التنافس على موارد المياه السطحية بين الري من أجل التصدي لتأثيرات تغير المناخ على الزراعة، وزيادة الطلب على مياه الشرب، وزيادة الطلب على مياه التبريد من أجل قطاع إنتاج الطاقة). ويؤكد هذا أهمية وضع استراتيجيات متكاملة لإدارة الأراضي والمياه من أجل أحواض الأنهار لضمان تحقيق التوزيع الأمثل للموارد الطبيعية الشحيحة (الأراضي، المياه). كذلك يتعين تقييم التخفيف والتكييف على السواء في الوقت ذاته مع إجراء عمليات مبادلة واضحة بغية تعزيز فعالية الاستثمارات الاقتصادية مع تعزيز التنمية المستدامة في الوقت ذاته. [WGII 18.8, 18.4.3]

وتؤكد دراسات عديدة حدوث صدامات محتملة بين إمدادات المياه، ومكافحة الفيضانات، وإنتاج الطاقة الكهرمائية والحد الأدنى لتدفق المياه في المجاري المائية (اللازم للأغراض الإيكولوجية ولأغراض نوعية المياه) في ظل الظروف المناخية والهيدرولوجية المتغيرة (Christensen وآخرون، 2004؛ Van Rheenen وآخرون، 2004). [WGII 18.4.3]

كما يتطلب التكيف مع النظم الهيدرولوجية المتغيرة وإتاحة المياه مدخلات إضافية مستمرة من الطاقة. وفي المناطق الشحيحة المياه، من شأن تزايد إعادة استعمال المياه المستعملة وما يرتبط بها من معالجة، والضخ من الآبار العميقة، وخصوصاً إزالة الملوحة على نطاق واسع أن تزيد استخدام الطاقة في قطاع المياه (Boutkan and Stikker، 2004)، وبالتالي تولد انبعاثات غاز الدفيئة GHG، إلا إذا استخدمت خيارات «الطاقة النظيفة» لتوليد المدخلات اللازمة من الطاقة. [WGII 18.4.3]

7

الآثار على السياسة والتنمية المستدامة

يثير تغير المناخ ومفهومه تحدياً كبيراً أمام القائمين بإدارة المياه ومستخدمي مواردها (مثلاً في الزراعة)، وكذلك لواضعي السياسات عموماً، إذ لم يعد من المناسب افتراض استمرار الظروف المناخية والهيدرولوجية الماضية وتكرارها في المستقبل أيضاً. وتمارس إدارة موارد المياه تأثيراً واضحاً على عديد من مجالات السياسات الأخرى (مثلاً الطاقة، والصحة، والأمن الغذائي، والمحافظة على الطبيعة). لهذا، يجب أن يشمل تقييم خيارات التكيُّف والتخفيف قطاعات متعددة تعتمد على المياه.

وقد رُصدت تغيُّرات جوهرية خلال العقود الأخيرة في عدة متغيرات متعلقة بالمياه، ولكن لا يمكن عموماً، في الوقت الحاضر، أن تُعزى التغيُّرات المرصودة، بشكل رسمي قاطع، إلى أسباب طبيعية أو إلى أسباب بشرية المنشأ. فتوقعات المستقبل فيما يتعلق بالترسب والهطول، ورطوبة التربة، والجريان على النطاقات الإقليمية، يمكن أن تكون موضع عدم يقين كبير. وفي عديد من الأقاليم، لا تتفق النماذج بشأن بوادر التغيّر المتوقع. ولكن، توجد ظواهر نمطية ضخمة في التوقعات الاحتمالية المناخية النموذجية. فمن المرجح إلى حد كبير احتمال حدوث زيادات في الترسب والهطول (وتدفق الأنهار) في بعض المناطق البعيدة عن خط الاستواء وفي بعض المناطق المدارية الرطبة (بما فيها مناطق مزدحمة بالسكان في شرق آسيا وفي جنوب شرق آسيا)، بينما يرجح إلى حد كبير احتمال حدوث نقص في جزء كبير من مناطق خطوط العرض المتوسطة والمناطق المدارية الجافة [تقرير الفريق العامل الثاني، الشكل 3.4]. وقد تحسَّن في الآونة الأخيرة تفسير حالات عدم اليقين وتحديد مقدارها، ويجري استحداث طرائق جديدة (مثلاً النهوج القائمة على تنبؤات المجموعات) لتحديد خصائص تلك الحالات [الفريق العامل الثاني، الشكلان 3.4 و 3.5]. ومع ذلك، فإن التوقعات الاحتمالية للتغيُّرات الكمية في الترسب والهطول وتدفق الأنهار ومستويات المياه على نطاق الأحواض النهرية مازالت مشوبة بعدم اليقين، بحيث إن القرارات المتعلقة بالتخطيط الخاص بتغيُّر المناخ يجب أن تتخذ في سياق عدم اليقين. [WG II، الملخص الفني، 3.3.1 و 3.4]

والتكيُّف الفعال وفقاً لتغير المناخ يتم على النطاقين الزمني والمكاني، مع مراعاة الدروس المستخلصة من الاستجابات لتقلبية المناخ والجهود الأطول أجلاً الرامية إلى تخفيض التعرض للمخاطر، في إطار آليات الإدارة الرشيدة التي تستخدمها المجتمعات المحلية، والخبرات الخاصة بالاتفاقات الدولية. فالاستثمار المستمر في التكيُّف استجابة للتجربة التاريخية وحدها، بدلاً من التوقعات الاحتمالية للظروف المقبلة التي من شأنها أن تشمل التقلبية والتغيُّر على السواء، يُرجَّح احتمال أن يزيد تعرُّض قطاعات كثيرة لمخاطر تغير المناخ. [WG II، الملخص الفني، 14.5]

7.1 الانعكاسات على السياسة بحسب القطاع

إدارة موارد المياه

- بدأت مستجمعات المياه، التي تتكون غالباً من غطاء ثلجي موسمي، تتعرض فعلاً إلى ذروة تدفقها في وقت مبكر في الربيع. ومن المتوقع استمرار هذا التحول في ظروف ازدياد دفء المناخ. وفي الارتفاعات الأدنى، سيأخذ الهطول الشتوي، على نحو متزايد، شكل هطول أمطار بدلاً من التساقط الثلجي. ففي العديد من المناطق الجبلية، مثلاً في مناطق الأنديز الجبلية وفي عدة جبال آسيوية، حيث تمثل الأنهار الجليدية الجريان الرئيسي للمياه السطحية خلال المواسم الجافة المؤكدة، يُتوقع انخفاض كميات المياه المخزونة في الأنهار الجليدية والغطاء الثلجي. ويزداد الجريان خلال المواسم الدافئة والجافة، بينما تتقلص الأنهار الجليدية، ولكنه سينخفض بشكل هائل بعد اختفائها. [WG II 3.4.1]
- ويُرجَّح احتمال ازدياد المناطق المتأثرة بالجفاف؛ وستؤدي أحداث الترسب المتطرفة، التي يُرجح إلى حد كبير احتمال ازدياد وتيرتها وشدتها، إلى تفاقم خطر الفيضانات، علماً بأن نسبة عالية، تصل إلى 20%، من سكان العالم تعيش في أحواض نهرية يُرجَّح احتمال تأثرها بزيادة خطر الفيضانات بحلول الثمانينات القادمة خلال تغيُّر المناخ. [WG II 3.4.3]
- وتتعرض المناطق شبه القاحلة والمناطق القاحلة لآثار تغيُّر المناخ على المياه العذبة. وسوف يعاني عديد من هذه المناطق (مثلاً حوض البحر المتوسط، وغرب الولايات المتحدة الأمريكية، والجنوب الأفريقي، وشمال شرق البرازيل، وجنوب أستراليا وشرقها) من نقص في موارد المياه نتيجة لتغيُّر المناخ. [الفريق العامل الثاني، الملخص الفني، الإطار، 5 و 3.4 و 3.7] وفضلاً عن ذلك، فإن الجهود الهادفة إلى تعويض انخفاض توافر المياه السطحية بسبب تقلبية الهطول المتزايدة سوف يعرقلها الانخفاض الكبير المتوقع في تجدُّد المياه الجوفية في بعض المناطق التي تعاني نقصاً شديداً في المياه [WG II 3.4.2]، ويزداد هذا النقص حدة بالطلب المتزايد على الماء. [WG II 3.5.1]
- ويؤدي ارتفاع درجات حرارة المياه، وزيادة شدة الهطول، وامتداد فترات التدفق المنخفض، إلى تفاقم خطورة العديد من أشكال تلوث المياه، مما ترتب عليه آثار على النظم الإيكولوجية، والصحة البشرية، ومدى التعويل على نظم المياه، والتكاليف التشغيلية. [WG II 3.2 و3.4.4 و 3.4.5]
- وستواجه المناطق، التي يُتوقع أن ينخفض فيها الجريان، انخفاضاً في قيمة الخدمات التي توفرها موارد المياه. والآثار الحميدة المفيدة الناجمة عن زيادة الجريان السنوية في بعض المناطق الأخرى سوف تقللها التأثيرات السلبية، الناتجة عن تقلبية الهطول المتزايدة وعن تحولات الجريان الموسمية، على إمدادات المياه وجودتها، بالإضافة إلى مخاطر الفيضانات. [WG II 3.4 و 3.5]
- ويتضح على المستوى العالمي أن آثار تغيُّر المناخ السلبية على نظم المياه العذبة تطغى على المنافع المكتسبة. [WG II 3.4 و 3.5]
- وتزيد تأثيرات المناخ المعاكسة على نظم المياه العذبة من خطورة آثار الضغوط الأخرى مثل النمو السكاني، وتغيُّر استخدام الأراضي، والتحضُّر [WGII 3.3.2 و 3.5] وعلى المستوى العالمي، سينمو الطلب على المياه في العقود المقبلة، أساساً بسبب النمو السكاني وزيادة التدفق. [WG II 3.5.1]
- ويؤثر تغيُّر المناخ على وظيفة وتشغيل البنية الأساسية القائمة للمياه، كما يؤثر عل ممارسات إدارة المياه. ويُرجَّح إلى حد كبير احتمال أن تكون ممارسات إدارة المياه الراهنة غير كافية لتخفيف آثار تغيُّر المناخ السلبية على مدى التعويل على إمدادات المياه، وآثار مخاطر الفيضانات، والآثار على الصحة والطاقة والنظم الإيكولوجية المائية. [WG II، الملخص الفني، 3.4 و 3.5 و 3.6]
- ويجري حالياً إعداد إجراءات للتكيُّف وممارسات لإدارة المخاطر من أجل قطاع المياه في بعض البلدان والمناطق (مثلاً في منطقة

البحر الكاريبي، وكندا، وأستراليا، وهولندا، والمملكة المتحدة، والولايات المتحدة الأمريكية، وألمانيا). وتقر هذه بعدم يقين التغيُّرات الهيدرولوجية المتوقعة، ولكن هناك حاجة إلى وضع معايير للتقييم بشأن الفعالية. [WG II 3.6]

النظم الإيكولوجية

- إن مرونة العديد من النظم الإيكولوجية وقدرتها على التكيُّف بشكل طبيعي من المرجح أن تتجاوزهما بحلول عام 2100 توليفة منقطعة النظير من تغيُّر في المناخ واضطرابات مرتبطة به (مثلاً الفيضانات، والجفاف، وحرائق البراري) وغيرها من دوافع التغيُّر العالمي (مثلاً تغيُّر استخدام الأراضي، والتلوث، والإفراط في استغلال الموارد). [WG II، الملخص الفني]
- ويُرجح احتمال أن تؤدي زيادة تقلبية هطول الأمطار إلى إضعاف الأراضي الرطبة عن طريق تحولات في أوقاتها ومدتها وعمق منسوب المياه.[WG II 4.4.8]
- وستعاني النظم الإيكولوجية للمياه العذبة، أكثر مما يعاني أي من النظم الإيكولوجية كافة، من أنها ستحتوي أعلى نسبة من الأنواع المهددة بالانقراض نتيجة لتغيُّر المناخ. [WG II 4.4.8]
- وليست ممارسات الحفظ الراهنة عموماً مهيأة بما فيه الكفاية للتكيُّف مع التغيُّرات المتوقعة في موارد المياه خلال العقود المقبلة. WG [II، الملخص التنفيذي 4]
- ويُرجح احتمال أن يكون تنفيذ استجابات التكيُّف الفعالة التي ستحفظ التنوع الأحيائي، وأن يكون توفير خدمات النظم الإيكولوجية الأخرى، باهظ التكلفة، ولكن ما لم تُدرج الاحتياجات الخاصة بحفظ المياه في إستراتيجيات التكيُّف، سينحدر العديد من النظم الإيكولوجية الطبيعية والأنواع التي تدعمها تلك النظم. [WG II، الملخص التنفيذي 4، 4.4.11، والجدول 4.1، و 4.6.1، و 4.6.2]

الزراعة، الغابات

- تؤثر زيادة وتيرة حالات الجفاف والفيضانات تأثيراً سلبياً على غلة المحاصيل والحيوانات الزراعية، بحدوث آثار أكبر وأبكر من المتنبأ بها باستخدام التغيُّرات في المتغيرات المتوسطة وحدها. [WG II 5.4.1 و5.4.2] وستؤثر الزيادات في وتيرة حالات الجفاف والفيضانات تأثيراً سلبياً على الإنتاج المحلي، لاسيما في قطاعات المعيشة في المناطق القريبة من خط الاستـــواء. [WG II ملخص لصانعي السياسات WGII SPM]
- وقد تكون آثار تغيّر المناخ على متطلبات مياه الري كبيرة. [WG II 5.4] ويمكن أن تـؤدي مخزونات المياه الجديدة، السطحية والجوفية على السواء، إلى تخفيف وطأة حالات نقص المياه، ولكنها ليست متوافرة دائماً.[WG II 5.5.2]
- وقد يتمكن المزارعون من إجراء تعديلات جزئية بتغيير أنواع النباتات و/ أو مواعيد الزراعة للمحاصيل السنوية، وباعتماد إستراتيجيات أخرى. وينبغي مراعاة احتمال ظهور احتياجات أكبر للمياه في تصميم نظم إمدادات الري الجديدة، وفي تجديد النظم القديمة. [WG II 5.5.1]
- ولابد من الحرص على الدقة في إدارة تدابير مكافحة ندرة المياه، مثلاً إعادة استخدام المياه المستعملة في الزراعة، وذلك لتفادي الآثار السلبية على الصحة المهنية وسلامة الأغذية. [WG II 8.6.4]
- ويمكن أن تؤدي التدابير الأحادية الخاصة بمعالجة حالات نقص المياه الناجم عن تغيُّر المناخ إلى التنافس على موارد المياه. ويستلزم الأمر اتباع نهوج دولية وإقليمية لإيجاد حلول مشتركة. [WG II 5.7]

النظم الساحلية والمناطق المنخفضة

- سيؤدي ارتفاع سطح البحر إلى تمديد مناطق ملوحة المياه الجوفية ومصبات الأنهر، مما يقلل توافر المياه العذبة. [WG II 3.2 و 3.4.2]
- وتتعرض المستوطنات في المناطق الساحلية المنخفضة الضعيفة القدرة على التكيُّف و/أو الشديدة القابلية للتعرض، إلى أخطار متزايدة من جراء الفيضانات وارتفاع سطح البحر. وتشمل هذه المناطق دلتا الأنهار، خاصة الدلتا الضخمة الآسيوية (مثلاً غانجيز – براهما بوترا في بنغلاديش وبنغال الغربية)، والمناطق الحضرية الساحلية المنخفضة، خاصة المناطق المعرضة للانخساف لأسباب طبيعية أو لأسباب بشرية المنشأ، والانهيار الأرضي نتيجة للعواصف المدارية (مثلاً نيوأورليانز، وشنغهاي). [WG II 6.5 و 6.4]

الصناعة والمستوطنة والمجتمع

- تتسم البنية الأساسية، مثلاً نظم إمدادات المياه الحضرية، بقابليتها للتعرض للخطر، خاصة في المناطق الساحلية، نتيجة لارتفاع سطح البحر وانخفاض الترسب على المستوى الإقليمي. [WG II 7.4.3 و 7.5]
- وتنطوي الزيادات المُسقطة في أحداث الهطول المتطرفة على آثار مهمة للبنية الأساسية: تصميم شبكة تصريف مياه العواصف، ومجاري المياه القذرة تحت الطرق، والجسور، وسدود منع الفيضانات والأشغال المتصلة بكبحها، بما في ذلك تقدير أحجام الخزانات المستخدمة لحجز مياه الفيضانات. [WG II 7.4.3.2]
- ويمكن استخدام لوائح تنظيمية للتخطيط لمنع مشاريع التنمية في المناطق المعرضة لأخطار الفيضانات الكبيرة (مثلا السهول المعرضة للإنغمار بمياه الفيضانات)، بما في ذلك مشاريع الإسكان والتنمية الصناعية وتحديد مواقع مطارح النفايات، وما إلى ذلك. [WG II 7.6]
- وسوف يستفيد تطوير البنية الأساسية، الذي يستغرق وقتا طويلا ويتطلب استثمارات كبيرة، من إدراج المعلومات المتعلقة بتغيُّر المناخ. [WG II 14.5.3، الشكل 14.3]

مرافق النظافة الصحية والصحة البشرية

- تشكل الآثار الناجمة عن تغير المناخ على المياه تهديدا للصحة البشرية عن طريق التغيرات في جودة المياه وتوافرها. وعلى الرغم من أن توافر إمدادات المياه ومرافق النظافة الصحية تحددهما بالدرجة الأولى عوامل غير مناخية، فان تغيُّر المناخ يُتوقع أن يفاقم مشاكل ومرافق النظافة الصحية على المستوى الأسري في بعض المجموعات السكانية. [WG II 8.2.5]
- ولابد من تطوير التخطيط والتأهب للكوارث بشكل مناسب للتصدي لخطر الفيضان المتزايد نتيجة لتغيُّر المناخ، وللتخفيف من الآثار على الصحة والنظم الصحية. [WG II 8.2.2]

الاحتياجات من المعلومات المناخية

- إن التقدم في فهم تأثير المناخ على الدورة المائية يعتمد على تحسين توافر البيانات. فقصور السجلات النسبي فيما يتعلق بقياسات ثقل المياه النوعي وغيرها من القياسات الهيدرولوجية يمكن أن

يؤدي إلى الاستخفاف بنطاق التقلبية الطبيعية الكامل، في حين أن المراقبة الشاملة للمتغيرات المتصلة بالمياه، من حيث الكمية والنوعية على السواء، تدعم صنع القرارات وتمثل شرطاً ضرورياً لإدارة التكيُّف المطلوبة في ظروف تغيُّر المناخ. [WG II 3.8]

7.2 التأثيرات الرئيسية المسقطة ذات الصلة بالمياه بحسب المناطق

أفريقيا

- يُرجح احتمال أن تكون آثار تغيُّر المناخ في أفريقيا أكبر ما تكون عندما تحدث في آن واحد مع طائفة ضغوط أخرى (النمو السكاني؛ وعدم التكافؤ في الحصول على الموارد؛ وعدم كفاية الفرص المتاحة للحصول على المياه والصحة العامة، [WG II 9.4.1]؛ وعدم الأمن الغذائي [WG II 9.6]؛ والنظم الصحية الهزيلة [WG II 9.2.2 و 9.4.3]. وهذه الضغوط، إلى جانب تغيُّر المناخ، سوف تفاقم قابلية التعرض للخطر في حالة العديد من الناس في أفريقيا. [WG II 9.4]
- ويُتوقع حدوث زيادة بنسبة 5-8% (60-90 مليون هكتار) في الأراضي القاحلة وشبه القاحلة في أفريقيا بحلول ثمانينات هذا القرن (2080s) في مجموعة سيناريوهات متعلقة بتغيُّر المناخ. [WG II 9.4.4]
- ويُرجح احتمال انخفاض الغلة الزراعية بسبب الجفاف وتدهور الأراضي، خاصة في المناطق الهامشية. إن النظم المختلطة للزراعة المطرية في الساحل سوف تتأثر كثيراً بتغيُّر المناخ. كما أن النظم المختلطة المطرية ونظم الأراضي الجبلية الدائمة طوال السنة في منطقة البحيرات الكبرى وغيرها من الأجزاء في شرق أفريقيا سوف تتأثر إلى درجة خطيرة. [WG II، الملخص الفني 9.4.4، الإطار 6]
- ويُرجح احتمال زيادة ضغوط المياه الحالية في أفريقيا نتيجة لتغيُّر المناخ، ولكن إدارة المياه، وإدارة أحواض المياه، يجب مراعاتها في التقييمات المستقبلة لضغوط المياه في أفريقيا. ويتوقع احتمال حدوث زيادات في الجريان في شرق أفريقيا (وزيادة خطر أحداث الفيضانات)، وحدوث نقص في الجريان (وزيادة خطر الجفاف) في مناطق أخرى (مثلاً أفريقيا الجنوبية)، بحلول خمسينات هذا القرن. [WG II 9.4.1 و 9.4.2 و 9.4.8]
- وستكون لأي تغيُّرات في الإنتاج الرئيسي لبحيرات كبيرة آثار مهمة على الإمدادات الغذائية المحلية. فبحيرة تنجانيقا توفر حالياً 25-40% من زاد البروتينات الحيوانية لسكان المناطق المحيطة بها، ويُرجح احتمال أن يؤدي تغيُّر المناخ إلى تخفيض الإنتاج الرئيسي، وربما إنتاج الأسماك كذلك، بنسبة 30%. [WG 9.4.5 و3.4.7 و 5.4.5] ويُرجح احتمال أن يؤدي ضعف القرارات الإدارية بشأن صيد الأسماك كذلك إلى مفاقمة انخفاض إنتاج الأسماك من البحيرات. [WG II، الملخص الفني 9.2.2، الإطار والإطار 6]

آسيا

- يُتوقع أن ينخفض توافر المياه العذبة للفرد في الهند من نحو 1820 متراً مكعباً حالياً إلى أقل من 1000 متر مكعب بحلول عام 2025 نتيجة لتأثيرات النمو السكاني وتغيُّر المناخ معاً. [WG II 10.4.2.3]
- وسيؤدي ازدياد شدة الأمطار والفيضانات المفاجئة خلال موسم الرياح الجنوبية الغربية في الهند والبلدان المجاورة لها إلى نسبة أعلى للجريان وإلى انخفاض في نسبة المياه الجوفية. [WG II 10.4.2]
- ويُتوقع ازدياد الطلب على الري الزراعي في المناطق القاحلة وشبه القاحلة في شرق آسيا بنسبة 10% مقابل زيادة في درجة الحرارة مقدارها درجة واحدة مئوية (1°c). [WG II 10.4.1]
- وستتعرض المناطق الساحلية، وخاصة مناطق الدلتا الكبرى الآسيوية الكثيفة السكان، إلى أكبر خطر نتيجة لزيادة الفيضان من البحر، وكذلك من الأنهار في بعض مناطق الدلتا الكبرى. [WG II 6.4 و 10.4.3]
- وستؤثر تغيُّرات ذوبان الثلوج والأنهار الجليدية، وكذلك ارتفاع الخطوط الثلجية في جبال الهيمالايا، على تغيُّرات الجريان الموسمية، مما يؤدي إلى حالات نقص في المياه خلال شهور الصيف الجافة. وسيتضرر نتيجة لذلك ربع سكان الصين ومئات الملايين في الهند.(Stern، 2007) [10.4.2.1 و WG II 3.4.1]

أستراليا ونيوزيلندا

- يُرجَّح إلى حد كبير احتمال ازدياد المشاكل المستمرة المتعلقة بأمن المياه في جنوب أستراليا وشرقها (مثلاً حدوث انخفاض تتراوح نسبته من صفر% إلى 45% في الجريان في فكتوريا بحلول عام 2030، ومن 10 إلى 25% في تدفق الأنهار في حوض ماري - دارلنغ الأسترالي بحلول عام 2050)، وكذلك في منطقة نورثلاند وبعض المناطق الشرقية في نيوزيلندا. [WG II 11.4.1]
- ويُرجَّح احتمال ازدياد الأخطار التي تهدد البنية الأساسية المهمة نتيجة لتغيُّر المناخ. ويُرجح إلى حد كبير احتمال تجاوز معايير التصميم المتعلقة بالاحتياط للأحداث المتطرفة بصورة أكثر تكراراً بحلول عام 2030. وتشمل الأخطار قصور وعجز سدود منع الفيضان ونظم تصريف المياه الحضرية، واجتياح الفيضانات للمدن الساحلية والقريبة من الأنهار. [WG II، الملخص التنفيذي 11 و 11.4.5 و 11.4.7]
- ويتوقع احتمال انخفاض الإنتاج من الزراعة والغابات بحلول عام 2030 على امتداد جزء كبير جنوب أستراليا وشرقها، وأجزاء من شرق نيوزيلندا، بسبب عدة عوامل منها ازدياد الجفاف. ولكن، يُتوقع في نيوزيلندا تحقُّق فوائد أولية من المناطق الغربية والجنوبية، وبالقرب من الأنهار الكبيرة، مع ازدياد هطول الأمطار. [WG II 11.4]

أوروبا

- يتوقع ازدياد احتمال أن يتجاوز الهطول الشتوي المتطرف انحرافين قياسيين فوق العادة بمعامل مقداره 5 في أجزاء من المملكة المتحدة وأوروبا الشمالية بحلول الثمانينات مع مضاعفة ثاني أكسيد الكربون. [WG II 12.3.1]
- ويتوقع، بحلول السبعينات، ازدياد الجريان السنوي في أوروبا الشمالية، وانخفاضه بنسبة تصل إلى 36% في أوروبا

الجنوبية، مع انخفاض التدفقات الصيفية المنخفضة أصلاً بنسبة تصل إلى 80% بحسب سيناريو الملخص التنفيذي [WG II IS92a. الملخص التنفيذي 12.4.1 و12.2T]

- ويُتوقع ازدياد النسبة المئوية لمنطقة الحوض النهري في فئة الإجهاد المائي الخطير (نسبة المسحوبات من المياه إلى التوافر أعلى من 0.4) من 19% حالياً إلى 34-36% بحلول السبعينات. [WG II 12.4.1]
- ويُرجَّح احتمال ازدياد عدد السكان الإضافيين الذين سوف يعيشون في مناطق مستجمعات مياه تعاني من الإجهاد المائي في 17 بلداً في أوروبا الغربية بنحو 16-44 مليون شخص (نتائج النموذج المناخي HadCM3) بحلول ثمانينات هذا القرن. [WG II 12.4.1]
- ويتوقع، بحلول سبعينات هذا القرن، انخفاض إمكانية القوة الكهربائية المائية لأوروبا كلها بنسبة 6%، مع تفاوتات إقليمية كبيرة تتمثل في انخفاض بنسبة 20-50% في منطقة البحر المتوسط، وزيادة بنسبة 15-30% في أوروبا الشمالية وفي أوروبا الشرقية. [WG II 12.4.8]
- وسوف تختفي الأنهار الجليدية الجبلية الصغيرة في مناطق مختلفة، في حين أن الأنهار الجليدية الأكبر ستتعرض إلى انخفاض في الحجم تتراوح نسبته بين 30% و 70% بحلول عام 2050 وفقاً لعدة سيناريوهات خاصة بالانبعاثات، وسوف تلازم ذلك حالات انخفاض في تدفق المياه في فصلي الربيع والصيف. [WG II 12.4.3]

أمريكا اللاتينية

- يُرجَّح احتمال أن يؤدي أي انخفاض في هطول الأمطار في المناطق القاحلة وشبه القاحلة في الأرجنتين وشيلي والبرازيل إلى نقص خطير في المياه. [WG II 13.4.3]
- ويُتوقع نتيجة لتغيُّر المناخ والنمو السكاني أن يصل عدد السكان الذين يعيشون في مستجمعات مياه تعاني من نقص المياه الشديد إلى 37-66 مليون شخص بحلول العشرينات (مقارنة بنحو 56 مليون شخص من دون تغيُّر المناخ) بحسب السيناريو SRES A2. [WG II، 13.4.3]
- وتشمل مناطق أمريكا اللاتينية التي تعاني من إجهاد مائي شديد شرق أمريكا الوسطى، والسهول، ووادي موتاغوا، ومنحدرات غواتيمالا على المحيط الهادئ، والمناطق الشرقية والغربية في السلفادور، والوادي الأوسط ومناطق المحيط الهادئ في كوستاريكا، والمناطق الشمالية والوسطى والغربية الجبلية في هندوراس، وشبه جزيرة أزويرو في بنما. وفي هذه المناطق، يمكن أن تتأثر إمدادات المياه وتوليد الكهرباء المائية إلى درجة خطيرة بسبب تغيُّر المناخ. [WG II 13.4.3]
- ويُتوقع احتمال أن يؤدي تقلُّص الأنهار الجليدية إلى زيادة حالات نقص المياه في موسم الجفاف مع احترار المناخ، مما يؤدي إلى عواقب وخيمة بالنسبة إلى توافر المياه وتوليد الكهرباء المائية في بوليفيا وبيرو وكولومبيا وإكوادور. ويُتوقع أن يزداد خطر الفيضانات خلال موسم الأمطار. [WG II 13.2.4 و 13.4.3]

أمريكا الشمالية

- يُرجَّح إلى حد كبير احتمال أن يسبب الاحترار المتوقع حدوثه في الجبال الغربية بحلول منتصف القرن الحادي والعشرين حالات نقص كبيرة في تراكم الثلج، وذوبان الثلج في وقت أبكر، وهطول مزيد من الأمطار الشتوية، وازدياد حالات ذروة التدفقات الشتوية والفيضان، وانخفاض التدفقات الصيفية. [WG II 14.4.1]
- ويُرجَّح احتمال أن يؤدي انخفاض إمدادات المياه، المقترن بالزيادات في الطلب عليها، إلى زيادة حدة التنافس على موارد المياه والسعي إلى مخصصات إضافية منها. [WG II 14.2.1 والإطار 14.2]
- ويُتوقع أن يؤدي تغيُّر المناخ المعتدل في العقود الأولى من القرن إلى زيادة غلة الزراعة المطرية بنسبة 5-20%، ولكن مع تفاوت كبير بين الأقاليم. ويتوقع ظهور تحديات كبيرة بالنسبة إلى المحاصيل التي يمكن أن تعاني من احتمال ارتفاع درجة الحرارة إلى مستوى يتجاوز النطاق المناسب لها، أو المحاصيل التي تعتمد على موارد المياه المستخدمة على نطاق واسع. [WG II 14.4.4]
- ويُرجَّح احتمال أن تتركز قابلية التأثر بتغيُّر المناخ في مجموعات ومناطق محددة، بما فيها مجموعات ومناطق السكان الأصليين وغيرهم ممن يعتمدون على موارد محدودة والفقراء ومن هم في سن الشيخوخة في المدن. [WG II 14.2.6 و 14.4.6]

المنطقتان القطبيتان

- يُرجَّح احتمال أن يتقلص مدى التربة الصقيعية في نصف الكرة الأرضية الشمالي بنسبة 20-35% بحلول عام 2050. ويُتوقع احتمال زيادة عمق ذوبان الثلج الفصلي بنسبة 15-25% في معظم المناطق بحلول عام 2050، وبنسبة 50% أو أكثر في أماكن في أقصى الشمال وفقاً للنطاق الكامل لسيناريوهات التقرير الخاص (SRES). [WG II 15.3.4] وفي المنطقة القطبية الشمالية، يتوقع أن يؤدي ذلك إلى تمزيق النظم الإيكولوجية. [WG II 15.4.1]
- ويُتوقع احتمال استمرار انخفاض الغطاء الجليدي فوق البحيرات والأنهار، مما يؤثر على البنى الحرارية ونوعية كمية البيئة الحيوانية والنباتية تحت الجليد، وكذلك على تحديد وقت وشدة التصلُّب الجليدي في المنطقة القطبية الشمالية وما يترتب على ذلك من فيضانات لاحقة. ويُتوقع أن يؤثر احترار المياه العذبة على إنتاجية وتوزُّع الأنواع المائية، خاصة الأسماك، مؤدياً إلى تغيُّرات في تربية الأسماك وانخفاض في الأنواع التي تفضِّل المياه الباردة. [WG II 15.4.1]
- وتهدد الزيادات في تكرار وشدة الفيضان، وتآكُل ودمار التربة الصقيعية، المجتمعات المحلية في المنطقة القطبية الشمالية والبنية الأساسية الصناعية وإمدادات المياه. [WG II 15.4.6]

الجزر الصغيرة

- يوجد دليل قوي على أنه يُرجّح، وفقاً لمعظم سيناريوهات تغيُّر المناخ، احتمال تعرُّض موارد المياه في الجزر الصغيرة إلى خطر جدي. [WG II، الملخص التنفيذي 16] فمعظم الجزر الصغيرة تعاني من كون إمدادات المياه محدودة، فضلاً عن أن موارد المياه في تلك الجزر معرَّضة بشكل خاص لتغيُّرات في المستقبل، لاسيما في توزُّع هطول الأمطار. ويرجح احتمال أن تتعرض عدة جزر في منطقة البحر الكاريبي إلى إجهاد نتيجة لنقص في المياه على نحو متزايد بسبب تغيُّر المناخ. وتتوقع جميع سيناريوهات التقرير الخاص (SRES) انخفاض هطول

الأمطار في الصيف في هذه المنطقة، وبالتالي ليس من المرجح تلبية الطلب على المياه خلال فترات الانخفاض. وليس من المرجح أن تؤدي زيادة هطول الأمطار في الشتاء إلى التعويض عن النقص نتيجة لعدم تخزين المياه وشدة الجريان خلال أحداث العواصف. [WG II 16.4.1]

- وسيؤدي انخفاض متوسط هطول الأمطار إلى انخفاض في حجم مصادر المياه العذبة. وفي منطقة المحيط الهادئ، سيؤدي انخفاض متوسط هطول الأمطار بنسبة 10% (بحلول عام 2050) إلى انخفاض حجم المياه العذبة بنسبة 20% على جزيرة طراوه المرجانية في كيريباتي. وسيؤدي انخفاض هطول الأمطار المقترن بحالات انقطاع متزايدة، وارتفاع مستوى سطح البحر وما يترتب على ذلك من اقتحام المياه المالحة، إلى مفاقمة هذا الخطر. [WG II 16.4.1]
- وقد بدأ العديد من بلدان الجزر الصغيرة (مثلاً، بربادوس، ومليديف، وسيشيل، وتوفالو) يستثمر في تنفيذ استراتيجيات للتكيُّف، بما فيها تحلية المياه، للتعويض عن نقص المياه الحالي والمتوقع. [WG II 16.4.1]

7.3 الآثار على سياسة التخفيف من آثار تغير المناخ

- قد تكون لتنفيذ خيارات التخفيف المهمة، مثل التشجير والكهرباء المائية وأنواع الوقود الحيوي، آثار إيجابية وآثار سلبية على موارد المياه العذبة بحسب أوضاع متعلقة بمواقع بذاتها. ولهذا، لابد من إجراء تقييم مشترك لكل موقع بذاته، ووضع أفضل تدابير ممكنة للتخفيف (من حيث الفعالية)، وتحسين الآثار المتعلقة بالمياه.
- ويمكن أن يؤدي توسيع المساحات المرويّة وتوليد الطاقة الكهربائية المائية القائمة على الخزانات إلى تخفيض الفعالية المرتبطة بإمكانية التخفيف. وفي حالة الري، فان انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناجمة عن استهلاك الطاقة من أجل ضخ الماء، وانبعاثات الميثان في حقول الأرز، قد تعوض أي آثار للتخفيف. وقد تنتج خزانات المياه العذبة من أجل توليد الطاقة الكهربائية المائية بعض انبعاثات غازات الدفيئة. وبالتالي، لابد من إجراء تقييم عام لكل حالة بذاتها فيما يتعلق بميزانية غازات الدفيئة في نهاية المطاف. [WG II 4.3.3.1 و 8.4.1.1]

7.4 الانعكاسات على التنمية المستدامة

- يتوقع أن تظل البلدان والأقاليم ذات الدخل المنخفض عرضة للخطر خلال الأجل المتوسط، نظراً لقلة خياراتها مقارنة بالبلدان ذات الدخل العالي، فيما يتعلق بالتكيُّف مع تغيُّر المناخ. ولذلك، ينبغي إعداد استراتيجيات التكيُّف في سياق السياسات المتعلقة بالتنمية والبيئة والصحة، علماً بأن العديد من الخيارات التي يمكن استخدامها لتخفيض التعرض للخطر مستقبلاً تُعتبر قيِّمة في التكيُّف مع الظروف المناخية الراهنة ويمكن استخدامها لتحقيق أهداف أخرى بيئية واجتماعية.
- وفي عديد من مناطق العالم، يمكن أن تكون لآثار تغيُّر المناخ على موارد المياه العذبة انعكاسات على التنمية المستدامة، وتهدد المساعي المبذولة لتخفيض الفقر والوفيات بين الأطفال (الجدول 7.1). ويُرجَّح إلى حد كبير احتمال عدم إمكان تفادي الانعكاسات السلبية لتكرار وشدة الفيضانات وظروف الجفاف بشكل متزايد على التنمية المستدامة. [WG II 3.7] ولكن، لولا الأحداث المتطرفة الكبيرة، نادراً ما يكون تغيُّر المناخ هو العامل الرئيسي الضاغط على الاستدامة. فأهمية تغيُّر المناخ تكمن في تفاعلاته مع مصادر تغيُّر وإجهاد أخرى؛ وينبغي النظر إلى انعكاساته ضمن سياق كهذا متعدد الأوجه. [WG II 7.1.3 و 7.2 و 7.4]

الجدول 7.1: *التوزيع المحتمل لقطاع المياه لتحقيق الأهداف الإنمائية للألفية. [WG II، الجدول 3.6]*

الأهداف	الصلة المباشرة بالمياه	الصلة غير المباشرة بالمياه
الهدف 1: القضاء على الفقر المدقع والجوع	(توفير المياه باعتبارها عاملاً مهماً في عديد من أنشطة الإنتاج (مثلاً، الزراعة، وتربية الحيوانات الداجنة، وصناعات البيوت الريفية) الإنتاج المستدام للأسماك والمحاصيل الشجرية والأغذية الأخرى وتجميعها في موارد ممتلكات مشتركة	تخفيض تدهور النظم الإيكولوجية المفضي إلى تحسين التنمية المستدامة على المستوى المحلي تخفيض الفقر الحضري من خلال الأغذية الأرخص عن طريق التوافر الأكثر موثوقية لإمدادات المياه
الهدف 2: تحقيق تعميم التعليم الابتدائي		تحسين الحضور المدرسي من خلال تحسين الصحة وتخفيض أعباء حمل الماء، خاصة للفتيات
الهدف 3: تعزيز المساواة بين الجنسين وتمكين المرأة	عداد برامج لإدارة المياه تراعي المساواة بين الجنسين	تخفيض الوقت الضائع والأعباء الصحية عن طريق تحسين الخدمات المتعلقة بالمياه، بحيث يمكن إتاحة مزيد من الوقت لكسب الدخل وتحقيق توازن أكبر بين أدوار الجنسين
الهدف 4: تقليل وفيات الأطفال	تحسين فرص الحصول على مياه الشرب بكميات أوفر وبجودة أفضل، وتحسين الصحة العامة، من أجل تقليل العوامل الرئيسية المسببة للمراضة والوفيات بين الأطفال الأحداث	
الهدف 6: مكافحة فيروس نقص المناعة البشرية/ متلازمة نقص المناعة المكتسب (الإيدز) والملاريا وغيرهما من الأمراض	تحسين فرص الحصول على الماء ومرافق النظافة الصحية بدعم الأسر المصابة بالإيدز وقد يحسّن تأثير برامج الرعاية الصحية. ويؤدي تحسين إدارة المياه إلى تخفيض مواطن الناموس وتخفيض خطر نقل الملاريا	
الهدف 7: كفالة الاستدامة البيئية	تحسين إدارة المياه بحيث يؤدي إلى تخفيض استهلاك الماء، وإلى إعادة تدوير المخلفات والمواد العضوية اتخاذ إجراءات لضمان الحصول على صحة عامة إيكولوجية محسّنة، وربما منتجة، للأسر الفقيرة اتخاذ إجراءات لتحسين إمدادات المياه والخدمات الصحية العامة للمجتمعات المحلية الفقيرة اتخاذ إجراءات لتخفيض كميات مياه البواليع وتحسين الصحة البيئية في الأحياء الفقيرة	تطوير نظام التشغيل والصيانة واسترداد التكاليف لضمان استدامة توفير الخدمات

8

الثغرات في المعارف والمقترحات من أجل العمل اللاحق

توجد أدلة كافية من تسجيلات الرصد والتوقعات الاحتمالية المتعلقة بالمناخ على أن موارد المياه العذبة مهددة ويمكن أن تتأثر تأثُّراً شديداً بتغيُّر المناخ. بيد أن القدرة على تحديد كمية التغيرات المستقبلية في المتغيرات الهيدرولوجية وآثارها على النظم والقطاعات محدودة بعدم اليقين في جميع مراحل عملية التقديرات. وينشأ عدم اليقين عن مدى سيناريوهات التنمية الاجتماعية - الاقتصادية ومدة التوقعات النموذجية المناخية لسيناريو معين، وتخفيض نطاق التأثيرات المناخية إلى نطاقات محلية/إقليمية وتقديرات الآثار وبيانات التغذية المرتدة من أنشطة التكيُّف والتخفيف من الآثار. وحالات القصور في عمليات الرصد والفهم تقيِّد قدرتنا الراهنة على تخفيض حالات عدم اليقين. ويتعين على صنع القرار أن يعمل في سياق عدم اليقين هذا. ومازالت الأساليب الفعالة لتقدير المخاطر، القائمة على حالات عدم اليقين، في مرحلة مبكرة من تطورها.

إن القدرة على التخفيف من آثار تغيُّر المناخ والتكيُّف معها محدودة بمدى توافر التكنولوجيات المناسبة وإمكانية مواصلة استخدامها من الناحية الاقتصادية، والعمليات التعاونية النشطة من أجل صنع القرار بين أصحاب المصلحة والشأن المتعددين، والمعايير الإدارية. كما أن معرفة التكاليف والمنافع (بما فيها الأضرار التي يتم تفاديها)، المرتبطة بخيارات محددة، غير متوفرة إلا فيما ندر. وتتطلب الإستراتيجيات الإدارية التي تتكيف مع تغيُّر المناخ شبكة رصد وافية لتزويدها بالمعلومات. وليس هناك سوى فهم محدود للأطر القانونية والمؤسسية وإحصاءات الطلبات الضرورية لتوجيه عملية التكيّف بإدراجها ضمن خطط التنمية لتخفيض حالات التعرض للمخاطر المتصلة بالمياه، وللقنوات المناسبة لتدفق الأموال إلى قطاع المياه من أجل الاستثمار في التكيُّف.

ويشير هذا القسم إلى عدة ثغرات رئيسية في المعارف المتعلقة بهذه الاحتياجات.

8.1 الاحتياجات في مجال الرصد

هناك حاجة ماسة إلى تحسين بيانات الرصد وإمكان الحصول عليها لتحسين فهم التغيُّرات الجارية وتقييد إسقاطات النماذج بشكل أفضل، وذلك لأن بيانات الرصد متطلب أساسي لإدارة التكيُّف اللازمة في ظروف تغيُّر المناخ. ويعتمد تقدم المعارف على تحسين توافر البيانات. ويحدث حالياً تقليص لبعض شبكات الرصد. وقد لا يكشف قصور التسجيلات النسبي عن المدى الكامل للتقلبية الطبيعية، وقد يربك الدراسات المتعلقة بالكشف، في حين أن استعادة صورة الأوضاع الطويلة الأجل يمكن أن تضع آخر الاتجاهات والأحداث المتطرفة في سياق أوسع. وقد حُدِّدت أهم الثغرات في رصدات تغيُّر المناخ المتصلة بدورة المياه العذبة والدورة الهيدرولوجية على النحو التالي [الفريق العامل الأول، WG I، الملخص الفني 6؛ و3.8 WG II]:

- مازالت الصعوبات في قياس الهطول مجال اهتمام في التحديد الكمي لاتجاهاته العالمية والإقليمية. ولاتزال قياسات الهطول فوق المحيطات (من السواتل) في مرحلة تطور. وهناك حاجة إلى ضمان مراقبة ساتلية مستمرة، وإعداد إحصاءات موثوقة لبيانات الهطول الاستدلالية. [3.3.3، WG I و 3.3.4]
- وقد تتاح فرص لإنقاذ البيانات المتعلقة بتدفق الأنهار في بعض المناطق. وينبغي النظر في إمكانية بناء شبكات رصد جديدة في الأماكن التي لا توجد فيها رصدات. [WG I 3.3.4]
- وتفتقر المياه الجوفية إلى مراقبة جيدة، كما تفتقر عملية استنفادها وتجددها إلى نمذجة جيدة في عدة مناطق. [WG I 3.3.4]
- وثمة حاجة إلى بيانات المراقبة المتعلقة بجودة المياه واستخدامها وانتقال الرسوب.
- ولا يوجد حصر كامل للبيانات المتعلقة بالثلج والجليد والأرض المتجمدة. ومراقبة التغيُّرات موزعة توزيعاً غير متكافئ في المكان والزمان على السواء. وهناك افتقار عام إلى بيانات من نصف الكرة الأرضية الجنوبي. [WG I، الملخص الفني 6.2، و 4.2.2، و 4.3]
- وثمة حاجة إلى مزيد من المعلومات عن استجابات التبخر - النتح النباتي لمجمل تأثيرات زيادة ثاني أكسيد الكربون الجوي وارتفاع درجة الحرارة وزيادة تركيز تبخر الماء الجوي، وذلك لتحسين فهم العلاقة بين تأثيرات إثراء ثاني أكسيد الكربون الجوي المباشرة والتغيرات في الدورة الهيدرولوجية. [WG I 7.2]
- ويمكن أن تكون هناك أهمية لتوكيد الجودة ومواءمة مجموعات البيانات والمعايرة الدولية للأساليب والإجراءات في الحالات التي تحافظ فيها مختلف الوكالات والبلدان إلخ على المراقبة داخل منطقة واحدة أو مستجمع من مستجمعات المياه.

8.2 فهم الإسقاطات المناخية وتأثيراتها

8.2.1 فهم تغيُّر المناخ وإسقاطاته

إن أهم حالات عدم اليقين في فهم ونمذجة التغيرات المناخية المتعلقة بالدورة الهيدرولوجية تشمل ما يلي [التقرير التجميعي SYR؛ WG I، الملخص الفني 6]:

- لا يوجد تحديد كمي شامل ولا فهم كامل للتغيرات في عدد من المؤثرات الإشعاعية المناخية (مثلاً الهباء الجوي وتأثيراته على خصائص السحب، والميثان، والأوزون، والبخار المائي الستراتوسفيري، وتغيُّر استخدام الأراضي، والتغيرات الشمسية الماضية).
- وتؤدي حالات عدم اليقين في التأثير الإشعاعي، بالإضافة إلى عدم اليقين في العمليات الجارية ورصداتها، إلى الحد من الثقة في عزو بعض ظواهر تغير المناخ المرصودة إلى عمليات بشرية المنشأ أو إلى عمليات طبيعية. وتزداد صعوبة عزو هذه الظواهر إلى مسبباتها الفعلية عندما يتعلق الأمر بنطاقات مكانية وزمانية أصغر، كما إن الثقة فيما يتعلق بفهم تغيَّرات الهطول أقل مما في حالة درجة الحرارة. وهناك دراسات قليلة جداً فيما يتعلق بعزو هذه الظواهر لأسبابها الفعلية، لاسيما بالنسبة إلى التغيُّرات في الأحداث المتطرفة.
- أما عدم اليقين في نمذجة بعض أشكال تقلبية المناخ وتوزيع

- الهطول بين الأحداث الثقيلة والخفيفة، فلايزال كبيراً. وفي عدة مناطق، تتفاوت إسقاطات التغيُّرات فيما يتعلق بالهطول المتوسط تفاوتاً كبيراً بين النماذج، حتى في علامة التغيُّر. ولابد من تحسين فهم مصادر عدم اليقين.
- وفي عديد من المناطق، التي يتم فيها تحديد نطاقات مكانية دقيقة بطريقة طوبوغرافية، توجد معلومات غير كافية عن الطريقة التي سيُعبَّر بها عن تغيُّر المناخ في تلك النطاقات.
- ولاتزال النماذج المناخية محدودة بالاستبانة الفضائية وحجم المجموعات التي يمكن تحقيقها بالإمكانات الحاسوبية الراهنة، ومحدودة أيضاً بالحاجة إلى إدخال بعض العمليات الإضافية، وبحالات عدم اليقين الكبيرة في نمذجة تغذيات مرتدة معينة (مثلاً من السحب ودورة الكربون).
- وتؤدي المعارف المحدودة المتعلقة بالعمليات المتصلة بالصفيحة الجليدية والجرف الجليدي إلى حالات عدم يقين بمقدار غير محدد فيما يتعلق بالتوقعات الخاصة برصيد كتل الصفيحة الجليدية في المستقبل، مما يؤدي بدوره إلى عدم اليقين بشأن الإسقاطات المتعلقة بارتفاع مستوى سطح البحر.

8.2.2 التأثيرات المتصلة بالمياه [WG II 3.5.1 و 3.8]

- نظراً لحالات عدم اليقين المذكورة آنفاً، يلزم اعتماد نُهج احتمالية لتمكين القائمين بإدارة موارد المياه من القيام بتحليلات للمخاطر التي ينطوي عليها تغيُّر المناخ. ويجري استحداث تقنيات لتصور توزيعات احتمالية لنتائج محددة. ويتطلب الأمر مواصلة تطوير هذه البحوث والتقنيات اللازمة لإيصال النتائج وتطبيقها في أوساط المستخدمين.
- ويلزم أيضاً مواصلة العمل على كشف التغيُّرات الهيدرولوجية الحالية وتحديد مسبباتها الفعلية، ولاسيما التغيرات في موارد المياه وفي وقوع الأحداث المتطرفة. وفي إطار هذا الجهد، يلزم وضع مؤشرات لآثار تغيُّر المناخ على المياه العذبة، واستحداث نظم تشغيلية لمراقبتها.
- ولايزال هناك عدم اتساق نطاقي بين النماذج المناخية الواسعة النطاق ونطاق مستجمعات المياه، الذي يمثل أهم نطاق لإدارة المياه. ولهذا يستلزم الوضع نماذج مناخية عالية الاستبانة مع خصائص وتفاعلات أفضل لسطح الأرض، من أجل الحصول على معلومات أوثق صلة بإدارة المياه. ويمكن أن يسهم في ذلك تقليص النطاق إحصائياً ومادياً.
- وتشمل معظم دراسات أثر تغيُّر المناخ على الإجهاد المائي في البلدان تقدير الطلب والعرض على أساس سنوي. والتحليل على أساس شهري أو على أساس نطاق زمني باستبانة أعلى أمر مستصوب، لأن التغيرات في الأنماط الفصلية واحتمالية الأحداث المتطرفة قد تعوِّض التأثير الإيجابي لزيادة توافر موارد المياه.
- وأثر تغيُّر المناخ على الثلج والجليد والأرض المتجمدة بوصفها متغيرات تخزين حساسة في الدورة المائية هو أثر غير خطي للغاية، ويقتضي الأمر نمذجة أكثر توجهاً إلى الخصائص المادية والعمليات، بالإضافة إلى تخفيض النطاق الجوي بشكل محدد. ويُفتقر إلى معرفة تفصيلية بخصوص تغيُّرات الجريان التي تسببها الأنهار الجليدية المتغيرة، والغطاء الثلجي المتغير، وتحول الأمطار إلى ثلوج، والأرض المتجمدة في المناطق المناخية المختلفة.
- وتوجد حاجة إلى تحسين الأساليب التي تساعد على تقدير تأثيرات تقلبية المناخ المتغيرة على موارد مياه الشرب. وعلى وجه التحديد، هناك حاجة إلى إعداد مجموعات بيانات على نطاق محلي، ونماذج مستجمعات مياه مطرية بسيطة متصلة بالمناخ ومحوسبة، وذلك لمساعدة القائمين بإدارة المياه على تقدير الآثار وتقييم أداء ومرونة نظم الإدارة، نظراً لمدى عدم اليقين المحيط بالتوقعات الاحتمالية المناخية المستقبلية.
- وينبغي إجراء تحليل أكثر إفاضة للتأثير التفاعلي بين استخدام الأراضي وتغيُّر المناخ (بما في ذلك تغيُّر النباتات والنشاط البشري المنشأ مثل الري وبناء الخزانات)، مثلاً عن طريق اقتران نمذجة المناخ واستخدام الأراضي.
- وثمة حاجة إلى تحسين تقدير نتائج السياسات المناخية المختلفة المتصلة بالمياه، وإلى سبل تحسين التنمية.
- إن فهم تأثيرات تغيُّر المناخ على جودة المياه ضعيف بالنسبة للبلدان النامية والمتقدمة على السواء، خاصة فيما يتعلق بآثار الأحداث المتطرفة.
- والنتائج المتاحة قليلة نسبياً فيما يخص الجوانب الاجتماعية - الاقتصادية لتأثيرات تغيُّر المناخ المتصلة بموارد المياه، بما فيها تأثيرات تغيُّر المناخ على طلب المياه.
- وليس هناك فهم واف لتأثيرات تغيُّر المناخ على النظم الإيكولوجية المائية (ولا يقتصر هذا على درجات الحرارة، بل يشمل كذلك نظم التدفق، ومستويات المياه، والغطاء الثلجي).
- وعلى الرغم من أهمية المياه الجوفية، فإنها لم تجد اهتماماً إلا بقدر ضئيل في تقدير تأثير تغيُّر المناخ مقارنة بموارد المياه السطحية.

8.3 التكيُّف والتخفيف

- من الواضح أن إدارة موارد المياه تؤثر على عدة مجالات أخرى متعلقة بالسياسات (مثلاً توقعات الطاقة، واستخدام الأراضي، والأمن الغذائي، والمحافظة على الطبيعة. وليست هناك أدوات وافية متاحة لتيسير تقييم خيارات التكيُّف والتخفيف للقطاعات المتعددة المتصلة بالمياه، بما في ذلك اعتماد تكنولوجيات وممارسات فعالة للمياه.
- وفي غياب توقعات موثوقة للتغيُّرات المستقبلية فيما يتعلق بالمتغيرات الهيدرولوجية، فإن عمليات وأساليب التكيُّف التي يمكن تنفيذها بشكل مفيد، حتى في غياب التوقعات الدقيقة، مثل تحسين الكفاءة في استخدام المياه وإدارة الطلب على المياه، تتيح خيارات فعالة للتصدي لتغيُّر المناخ. [WG II 3.8]
- التنوع الأحيائي: تحديد الاحتياجات من موارد المياه من أجل المحافظة على القيم والخدمات البيئية، ولاسيما المتصلة بالنظم الإيكولوجية في الدلتا والأراضي الرطبة والتدفق النهري الداخلي بقدر كاف.
- احتجاز الكربون وتخزينه: توجد حاجة إلى فهم أفضل لعمليات الارتشاح نظراً لتدهور جودة المياه الجوفية المحتمل. ويتطلب هذا الأمر تحسين القدرة على مراقبة سلوك ثاني أكسيد الكربون المخزون في الطبقات الجيولوجية والتحقق من هذا السلوك. [احتجاز الكربون وتخزينه ccc، الملخص الفني، الفصل 10]

- الطاقة الكهربائية المائية/ بناء الخزانات: لابد من نهج متكامل نظراً لتنوع المصالح (مراقبة الأغذية، والطاقة الكهربائية المائية، والري، وإمدادات المياه الحضرية، والنظم الإيكولوجية، ومصائد الأسماك، والملاحة)، وذلك للت وصل إلى حلول مستدامة. ولابد من إجراء تقدير لانبعاثات الميثان، كما يجب تقييم الأثر الصافي على ميزانية الكربون في المنطقة المتأثرة.
- الطاقة الأحيائية: يلزم إنعام النظر في الطلب على المياه وآثاره، فيما يخص احتياجات الزراعة الواسعة النطاق المتعلقة بمحاصيل الطاقة الأحيائية التجارية. [WG III 4.3.3.3]
- الزراعة: لابد من فهم أفضل للتأثيرات الصافية الناجمة عن زيادة فعالية الري على ميزانية غازات الدفيئة (تخزين الكربون بكميات أكبر في التربة عن طريق تحسين الغلات والعوائد المتبقية، وتعويضه بانبعاثات ثاني أكسيد الكربون من نظم الطاقة لتوفير المياه، أو بانبعاثات أكسيد النتروز من الرطوبة المرتفعة ومدخلات الأسمدة. [WG III 8.4.1.1]
- الغابات: هناك حاجة إلى فهم أفضل لتأثيرات التشجير المكثَّف على العمليات التي تشكل الدورة الهيدرولوجية، مثل هطول الأمطار، والتبخر النتحي، والجريان، والترشيح وتجدد المياه الجوفية. [WG III 9.7.3]
- مياه البواليع وإعادة استخدام المياه: يلزم نفاذ النظر في الانبعاثات من عمليات المعالجة اللامركزية، وعمليات تفريغ مياه البواليع غير المراقبة في البلدان النامية. ويجب فهم تأثير إعادة استخدام المياه بشكل مناسب على إستراتيجيات التخفيف والتكيُّف، وتحديد حجم هذا التأثير.

المراجع

Abdalati, W. and K. Steffen, 2001: Greenland ice sheet melt extent: 1979–1999. *J. Geophys. Res.*, **106**(D24), 33983–33988.

Abeku, T.A., G.J. van Oortmarssen, G. Borsboom, S.J. de Vlas and J.D.F. Habbema, 2003: Spatial and temporal variations of malaria epidemic risk in Ethiopia: factors involved and implications. *Acta Trop.*, **87**, 331-340.

Abou-Hadid, A.F., 2006: *Assessment of Impacts: Adaptation and Vulnerability to Climate Change in North Africa: Food Production and Water Resources*. Washington, DC, 127 pp. http://www.aiaccproject.org/Final%20Reports/Final%20Reports/FinalRept_AIACC_AF90.pdf.

Abou-Hadid, A.F., R. Mougou, A. Mokssit and A. Iglesias, 2003: *Assessment of Impacts, Adaptation, and Vulnerability to Climate Change in North Africa: Food Production and Water Resources.* AIACC AF90 Semi-Annual Progress Report, 37 pp.

Abu-Taleb, M.F., 2000: Impacts of global climate change scenarios on water supply and demand in Jordan. *Water International*, **25**(3), 457–463.

ACIA (Arctic Climate Impact Assessment), 2004: *Impacts of a Warming Arctic: Synthesis Report of the Arctic Climate Impact Assessment*, Policy Document prepared by the Arctic Council and presented at the Fourth Arctic Council Ministerial Meeting, Reykjavik, 24 November 2004, 140 pp.

ACIA (Arctic Climate Impact Assessment), 2005: *Arctic Climate Impact Assessment*. Cambridge University Press, Cambridge, 1042 pp.

ADB (Asia Development Bank), 1994: *Climate Change in Asia: Vietnam Country Report.* Asia Development Bank, Manila, 103 pp.

Adler, R.F. and Co-authors, 2003: The version 2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) monthly precipitation analysis (1979–present). *J. Hydrometeorol*., **4**, 1147–1167.

AEMA**,** 2002: *Uso sostenible del agua en Europa*. *Gestión de la demanda*. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 94 pp.

Agarwal, P.K., S.K. Bandyopadhyay, H. Pathak, N. Kalra, S. Chander and S. Kumar, 2000: Analysis of yield trends of the rice–wheat system in north-western India. *Outlook on Agriculture*, **29**(4), 259–268.

Agoumi, A., 2003: *Vulnerability of North African Countries to Climatic Changes: Adaptation and Implementation Strategies for Climatic Change,* IISD. http://www.cckn.net//pdf/north_africa.pdf.

Aguilar, E., T.C. Peterson, P. Ramírez Obando, R. Frutos, J.A. Retana, M. Solera, J. Soley, I. González García and co-authors, 2005: Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961–2003. *J. Geophys. Res.*, **110**, D23107, doi:10.1029/2005JD006119.

Alcamo, J. and T. Henrichs, 2002: Critical regions: a model-based estimation of world water resources sensitive to global changes. *Aquat. Sci.*, **64**, 352-362.

Alcamo, J., P. Döll, T. Henrichs, F. Kaspar, B. Lehner, T. Rösch and S. Siebert, 2003a: Development and testing of the WaterGAP 2 global model of water use and availability. *Hydrol. Sci. J.*, **48**, 317–338.

Alcamo, J., P. Döll, T. Henrichs, F. Kaspar, B. Lehner, T. Rösch and S. Siebert, 2003b: Global estimates of water withdrawals and availability under current and future "business-as-usual" conditions. *Hydrol. Sci. J.*, **48**, 339–348.

Alcamo, J. and Co-authors, 2004: A new perspective on the impacts of climate change on Russian agriculture and water resources. *Proc. World Climate Change Conference*, 29 September–3 October, 2003, Moscow, 324–335.

Alcamo, J., M. Flörke and M. Marker, 2007: Future long-term changes in global water resources driven by socio-economic and climatic change. *Hydrol. Sci. J.*, **52**, 247–275.

Aldhous, P., 2004: Borneo is burning. *Nature*, **432**, 144–146.

Alexander, L.V., X. Zhang, T.C. Peterson, J. Caesar, B. Gleason, A.M.G. Klein Tank, M. Haylock, D. Collins, B. Trewin, F. Rahimzadeh, A. Tagipour, K. Rupa Kumar, J. Revadekar, G. Griffiths, L. Vincent, D.B. Stephenson, J. Burn, E. Aguilar, M. Brunet, M. Taylor, M. New, P. Zhai, M. Rusticucci and J.L. Vazquez-Aguirre, 2006: Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *J. Geophys. Res.*, **111**, D05109, doi:10.1029/2005JD006290.

Allen Consulting Group, 2005: *Climate Change Risk and Vulnerability: Promoting an Efficient Adaptation Response in Australia.* Report to the Australian Greenhouse Office by the Allen Consulting Group, 159 pp. http://www.greenhouse.gov.au/impacts/publications/risk-vulnerability.html.

Alvarez, R., 2005: A review of nitrogen fertilizer and conservative tillage effects on soil organic storage. *Soil Use Manage.*, **21,** 38-52.

Álvarez Cobelas, M., J. Catalán and D. García de Jalón, 2005: Impactos sobre los ecosistemas acuáticos continentales. *Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático,* J.M. Moreno, Ed., Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 113–146.

Ames, A., 1998: A documentation of glacier tongue variations and lake development in the Cordillera Blanca, Peru. *Z. Glet. Glazialgeol.*, **34**(1), 1–26.

Andréasson, J., S. Bergström, B. Carlsson, L.P. Graham and G. Lindström, 2004: Hydrological change: climate impact simulations for Sweden. *Ambio*, **33**(4–5), 228–234.

Andreone, F., J.E. Cadle, N. Cox, F. Glaw, R.A. Nussbaum, C.J. Raxworthy, S.N. Stuart amd D. Vallan, 2005: Species review of amphibian extinction risks in Madagascar: conclusions from the Global Amphibian Assessment. *Conserv. Biol.*, **19**, 1790–1802.

Anisimov, O.A. and M.A. Belolutskaia, 2004: Predictive modelling of climate change impacts on permafrost: effects of vegetation. *Meteorol. Hydrol.*, **11**, 73–81.

Antle, J.M., S.M. Capalbo, E.T. Elliott and K.H. Paustian, 2004: Adaptation, spatial heterogeneity, and the vulnerability of agricultural systems to climate change and CO_2 fertilization: an integrated assessment approach. *Climatic Change*, **64**, 289-315.

Aparicio, M., 2000: *Vulnerabilidad y Adaptación a la Salud Humana ante los Efectos del Cambio Climático en Bolivia*. Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación. Viceministerio de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Desarrollo Forestal. Programa Nacional de Cambios Climáticos. PNUD/GEF.

Arkell, B.P. and Darch, G.J.C., 2006: Impact of climate change on London's transport network. *Proc. Institution of Civil Engineers-Municipal Engineer*, **159**(4), 231–237.

Arnell, N.W., 2003: Relative effects of multi-decadal climatic variability and changes in the mean and variability of climate due to global warming: future streamflows in Britain. *J. Hydrol.*, **270**, 195-213.

Arnell, N.W., 2004: Climate change and global water resources: SRES emissions and socio economic scenarios. *Global Environmen. Chang.*, **14**, 31–52.

Arnell, N.W., 2006a: Global impacts of abrupt climate change: an initial assessment. Working Paper 99, Tyndall Centre for Climate Change Research, University of East Anglia, Norwich, 37 pp.

Arnell, N.W., 2006b: Climate change and water resources: a global perspective. *Avoiding Dangerous Climate Change*, H.J. Schellnhuber, W. Cramer, N. Nakićenović, T. Wigley and G. Yohe, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 167-175.

Arnell, N.W. and E.K. Delaney, 2006: Adapting to climate change: public water supply in England and Wales, *Climatic Change*, **78**, 227-255.

Arnell, N.W., M.J.L. Livermore, S. Kovats, P.E. Levy, R. Nicholls, M.L. Parry and S.R. Gaffin, 2004: Climate and socio-economic scenarios for global-scale climate change impacts assessments: characterising the SRES storylines. *Global Environ. Chang.*, **14**, 3–20.

Ashton, P.J., 2002: Avoiding conflicts over Africa's water resources, *Ambio*, **31(**3), 236–242.

Attaher, S., M.A. Medany, A.A. Abdel Aziz and A. El-Gindy, 2006: Irrigation-water demands under current and future climate conditions in Egypt. *Misr. Journal of Agricultural Engineering*, **23**, 1077-1089.

Auer, I. and Co-authors, 2007: Histalp - historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region 1760-2003. *Int. J. Climatol.*, **27**, 17-46.

Bachelet, D., R.P. Neilson, J.M. Lenihan and R.J. Drapek, 2001: Climate change effects on vegetation distribution and carbon budget in the United States. *Ecosystems*, **4**, 164-185.

Baker, T.R., O.L. Phillips, Y. Malhi, S. Almeida, L. Arroyo, A. Di Fiore, T. Erwin, N. Higuchi, and Co-authors, 2004: Increasing biomass in Amazonian forest plots. *Philos. T. Roy. Soc. Lond. B*, **359**, 353–365.

Balmford, A., P. Crane, A. Dobson, R.E. Green and G.M. Mace, 2005: The 2010 challenge: data availability, information needs and extraterrestrial insights. *Philos. T. Roy. Soc. Lond. B*, **360**, 221-228.

Barber, V.A., G.P. Juday and B.P. Finney, 2000: Reduced growth of Alaskan white spruce in the twentieth century from temperature-induced drought stress. *Nature*, **405**, 668-673.

Barnett, T.P., R. Malone, W. Pennell, D. Stammer, B. Semtner and W. Washington, 2004: The effects of climate change on water resources in the West: introduction and overview. *Climatic Change*, **62**, 1–11.

Barnett, T.P., J.C. Adam and D.P. Lettenmaier, 2005: Potential impacts of warming climate on water availability in snow-dominated regions. *Nature*, **438**, 303–309.

Barras, J., S. Beville, D. Britsch, S. Hartley, S. Hawes, J. Johnston, P. Kemp, Q. Kinler, A. Martucci, J. Porthouse, D. Reed, K. Roy, S. Sapkota and J. Suhayda, 2003: *Historical and Projected Coastal Louisiana Land Changes: 1978–2050*. Open File Report 03-334. U.S. Geological Survey. 39 pp.

Barreira, A., 2004: *Dams in Europe. The Water Framework Directive and the World Commission on Dam Recommendations: A Legal and Policy Analysis*. http://assets.panda.org/downloads/wfddamsineurope.pdf

Basán Nickisch, M., 2002: Sistemas de captación y manejo de agua. Estación Experimental Santiago del Estero. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. http://www.inta.gov.ar/santiago/info/documentos/agua/0001res_sistemas.htm.

Batima, P., 2003: Climate change: pasture–livestock. Synthesis Report. *Potential Impacts of Climate Change, Vulnerability and Adaptation Assessment for Grassland Ecosystem and Livestock Sector in Mongolia*. Admon Publishing, Ulaanbaatar, 36–47.

Batima, P., Batnasan N. and Lehner B., 2004: *The Freshwater Systems of Western Mongolia's Great Lakes Basin: Opportunities and Challenges in the Face of Climate Change*. Admon Publishing, Ulaanbaatar, 95 pp.

Batima, P., T. Ganbaatar, D. Tumerbaatar, B. Erdenetsetseg, B. Bolortsetseg, B. Gantsetseg, G. Sanjid and S. Khudulmur, 2005: Climate change impacts on environment. *Climate Change Impacts*, P. Batima and B. Bayasgalan, Eds., Admon Publishing, Ulaanbaatar, 59–115.

Bationo, A., S.P. Wani, C.L. Bielders, P.L.G. Velk and A.U. Mokwunye, 2000: Crop residues and fertilizer management to improve soil organic carbon content, soil quality and productivity in the desert margins of West Africa. *Global Climate Change and Tropical Ecosystems*, R. Lal, J.M. Kimble and B.A. Stewart, Eds., CRC-Lweis Publishers, Boca Raton, FL, 117-146.

Bauder, E.T., 2005: The effects of an unpredictable precipitation regime on vernal pool hydrology. *Freshw. Biol.*, **50**, 2129–2135.

Beare, S. and A. Heaney, 2002: *Climate change and water resources in the Murray Darling Basin, Australia; impacts and adaptation.* Conference Paper 02.11, Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics, 33 pp. http://www.abarepublications.com/product.asp?prodid=12389.

Beaulieu, N. and M. Allard, 2003: The impact of climate change on an emerging coastline affected by discontinuous permafrost: Manitounuk Strait, northern Quebec. *Can. J. Earth Sci.*, **40**, 1393-1404.

Beck, C., J. Grieser and B. Rudolph, 2005: A New Monthly Precipitation Climatology for the Global Land Areas for the Period 1951 to 2000. DWD, *Klimastatusbericht 2004*, 181–190.

Beltaos, S. and Co-authors, 2006: Climatic effects on ice-jam flooding of the Peace-Athabasca Delta. *Hydrol. Process.,* **20**(19), 4031–4050.

Benhin, J.K.A., 2006: *Climate change and South African agriculture: impacts and adaptation options*. CEEPA Discussion Paper No.21. Special Series on Climate Change and Agriculture in Africa. The Centre for Environmental Economics and Policy in Africa, University of Pretoria, Pretoria, 78 pp.

Beniston, M. and H.F. Díaz, 2004: The 2003 heatwave as an example of summers in a greenhouse climate? Observations and climate model simulations for Basel, Switzerland. *Global Planet. Change*, **44**, 73–81.

Beniston, M., D.B. Stephenson, O.B. Christensen, C.A.T. Ferro, C. Frei, S. Goyette, K. Halsnaes, T. Holt, K. Jylhä, B. Koffi, J. Palutikof, R. Schöll, T. Semmler and K. Woth, 2007: Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections. *Climatic Change,* **81**(Suppl. 1), 71-95.

Berezovskaya, S., D.Q. Yang and L. Hinzman, 2005: Long-term annual water balance analysis of the Lena River. *Global Planet. Change*, **48**(1–3), 84–95.

Berger, T., J. Mendoza, B. Francou, F. Rojas, R. Fuertes, M. Flores, L. Noriega, C. Ramallo, E. Ramírez and H. Baldivieso, 2005: Glaciares Zongo – Chacaltaya – Charquini Sur – Bolivia 16°S. Mediciones Glaciológicas, Hidrológicas y Meteorológicas, Año Hidrológico 2004-2005. *Informe Great Ice Bolivia, IRD-IHH-SENMAHI-COBEE*, 171.

Berndes, G. and P. Börjesson, 2002: Multi-functional biomass production systems. http://www.brdisolutions.com/pdfs/bcota/abstracts/6/70.pdf.

Berndes, G., F. Fredrikson, and P. Borjesson, 2004: Cadmium accumulation and Salix-based phytoextraction on arable land in

Sweden. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **103**, 207-223.

Berthelot, M., P. Friedlingstein, P. Ciais, P. Monfray, J.L. Dufresen, H.L. Treut and L. Fairhead, 2002: Global response of the terrestrial biosphere and CO_2 and climate change using a coupled climate-carbon cycle model. *Global Biogeochem. Cy.*, **16**, doi:10.1029/2001GB001827.

Betts, R.A., P.M. Cox, S.E. Lee and F.I. Woodward, 1997: Contrasting physiological and structural vegetation feedbacks in climate change simulations. *Nature*, **387**, 796–799.

Betts, R.A., O. Boucher, M. Collins, P.M. Cox, P.D. Falloon, N. Gedney, D.L. Hemming, C. Huntingford, C.D. Jones, D. Sexton and M. Webb, 2007: Projected increase in continental runoff due to plant responses to increasing carbon dioxide. *Nature,* **448**, 1037-1041.

Beuhler, M., 2003: Potential impacts of global warming on water resources in southern California. *Water Sci. Technol.*, **47**(7–8), 165–168.

Bhadra, B., 2002: Regional cooperation for sustainable development of Hindu Kush Himalaya region: opportunities and challenges. Keynote paper presented at *T*he *Alpine Experience – An Approach for other Mountain Regions*, Berchtesgaden, Germany, June 26–29.

Bidegain, M., R.M. Caffera, F. Blixen, V.P. Shennikov, L.L. Lagomarsino, E.A. Forbes and G.J. Nagy, 2005: Tendencias climáticas, hidrológicas y oceanográficas en el Río de la Plata y costa Uruguaya. *El Cambio Climático en el Río de la Plata,* V. Barros A. Menéndez and G.J. Nagy, Eds., Proyectos AIACC, 137-143.

Bigio, A., 2003: Cities and climate change. *Building Safer Cities: The Future of Disaster Risk*, A. Kreimer, M. Arnold and A. Carlin, Eds., World Bank, Washington, DC, 91-100.

Bindoff, N., J. Willebrand, V. Artale, A. Cazenave, J. Gregory, S. Gulev, K. Hanawa, C.L. Quéré, S. Levitus, Y. Nojiri, C.K. Shum, L. Talley and A. Unnikrishnan, 2007: Observations: oceanic climate change and sea level. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report*, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 385-432.

Blais, J.M., D.W. Schindler, D.C.G. Muir, M. Sharp, D. Donald, M. Lafreniere, E. Braekevelt and W. M.J. Strachan, 2001: Melting glaciers: a major source of persistent organochlorines to subalpine Bow Lake in Banff National Park, Canada. *Ambio*, **30**, 410-415.

Blythe, E.M., A.J. Dolman and J. Noilhan, 1994: The effect of forest on mesoscale rainfall: an example from HAPEX-MOBILHY. *J. Appl. Meteorol.,* **33**, 445-454.

Bobba, A., V. Singh, R. Berndtsson and L. Bengtsson, 2000: Numerical simulation of saltwater intrusion into Laccadive Island aquifers due to climate change. *J. Geol. Soc. India*, **55**, 589–612.

Bodaly, R.A., J.W.M. Rudd, R.J.P. Fudge and C.A. Kelly, 1993: Mercury concentrations in fish related to size of remote Canadian shield lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **50**, 980-987.

Bogaart, P.W. and R.T. van Balen, 2000: Numerical modeling of the response of alluvial rivers to Quaternary climatic change. *Global Planet. Change*, **27**, 124–141.

Bogoyavlenskiy, D. and A. Siggner, 2004: Arctic demography. *Arctic Human Development Report (AHDR),* N. Einarsson, J.N. Larsen, A. Nilsson and O.R. Young, Eds., Steffanson Arctic Institute, Akureyri, 27–41.

Börjesson, P. and G. Berndes, 2006: The prospects for willow plantations for wastewater treatment in Sweden. *Biomass and Bioenergy*, **30**, 428-438.

Bouma, M.J., 2003: Methodological problems and amendments to demonstrate effects of temperature on the epidemiology of malaria: a new perspective on the highland epidemics in Madagascar, 1972–1989. *Trans. Roy. Soc. Trop. Med. Hyg.*, **97**, 133-139.

Bouraoui, F., B. Grizzetti, K. Granlund, S. Rekolainen and G. Bidoglio, 2004: Impact of climate change on the water cycle and nutrient losses in a Finnish catchment. *Climatic Change*, **66**, 109–126.

Boutkan, E. and A. Stikker, 2004: Enhanced water resource base for sustainable integrated water resource management. *Nat. Resour. Forum*, **28**, 150-154.

Bou-Zeid, E. and El-Fadel, M., 2002: Climate change and water resources in Lebanon and the Middle East. *J. Water Res. Pl.-ASCE*, **128**(5), 343–355.

Box, J.E. and Co-authors, 2006: Greenland ice-sheet surface mass balance variability (1988-2004) from calibrated polar MM5 output. *J. Clim.*, **19**(12), 2783–2800.

Bradley, R.S., F.T. Keimig and H.F. Diaz, 2004: Projected temperature changes along the American cordillera and the planned GCOS network. *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L16210, doi:10.1029/2004GL020229.

Bradley, R.S., M. Vuille, H. Diaz and W. Vergara, 2006: Threats to water supplies in the tropical Andes. *Science*, **312**, 1755-1756.

Braun, O., M. Lohmann, O. Maksimovic, M. Meyer, A. Merkovic, E. Messerschmidt, A. Reidel and M. Turner, 1999: Potential impact of climate change effects on preferences for tourism destinations: a psychological pilot study, *Clim. Res.*, **11**, 2477–2504.

Briers, R.A., J.H.R. Gee and R. Geoghegan, 2004: Effects of North Atlantic oscillation on growth and phenology of stream insects. *Ecography*, **27**, 811–817.

Brklacich, M., C. Bryant, B. Veenhof and A. Beauchesne, 1997: Implications of global climatic change for Canadian agriculture: a review and appraisal of research from 1984–1997. *Canada Country Study: Climate Impacts and Adaptation*, Environment Canada, Toronto, ON, 220–256.

Bromley, C.J. and S. Currie, 2003: Analysis of subsidence at Crown Road, Taupo: a consequence of declining groundwater. *Proc. 25th New Zealand Geothermal Workshop*, Auckland University, 113-120.

Brouyere, S., G. Carabin and A. Dassargues, 2004: Climate change impacts on groundwater resources: modelled deficits in a chalky aquifer, Geer basin, Belgium. *Hydrogeol. J.*, **12**(2), 123–134.

Brown, R.A., N.J. Rosenberg, C.J. Hays, W.E. Easterling and L.O. Mearns, 2000: Potential production and environmental effects of switchgrass and traditional crops under current and greenhouse-altered climate in the central United States: a simulation study. *Agric. Ecosyst. Environ.*, **78**, 31-47.

Brown, R.D. and R.O. Braaten, 1998: Spatial and temporal variability of Canadian monthly snow depths. *Atmos.-Ocean*, **36**, 37–54.

Bruinsma, J., 2003: *World Agriculture: Towards 2015/2030. An FAO Perspective*. Earthscan, London, 444 pp.

Brutsaert, W. and M.B. Parlange, 1998: Hydrologic cycle explains the evaporation paradox. *Nature*, **396**, 30.

Bunn, S.E. and Arthington, A.H., 2002: Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environ. Manage.*, **30**, 492–507.

Burger, R.L., 1992: *Chavin and the Origins of Andean Civilization*. Thames and Hudson, London, 240 pp.

Burke, E.J., S.J. Brown, and N. Christidis, 2006: Modelling the recent evolution of global drought and projections for the 21 st century with the Hadley Centre climate model. *J. Hydrometeorol.*, **7**, 1113–1125.

Burke, L. and J. Maidens, 2004: *Reefs at Risk in the Caribbean*. World Resources Institute, Washington, DC, 81 pp. http://archive.wri.org/publication_detail.cfm?pubid=3944.

Burke, L., E. Selig and M. Spalding, 2002: *Reefs at Risk in Southeast Asia*. World Resources Institute, Washington DC, 37 pp. http://www.wri.org/biodiv/pubs_description.cfm?PubID=3144.

Burkett, V.R. and J. Kusler, 2000: Climate change: potential impacts and interactions in wetlands of the United States. *J. Am. Water Resour. Assoc.*, **36**, 313–320.

Burkett, V.R., D.A. Wilcox, R. Stottlemeyer, W. Barrow, D. Fagre, J. Baron, J. Price, J. Nielsen, C.D. Allen, D.L. Peterson, G. Ruggerone amd T. Doyle, 2005: Nonlinear dynamics in ecosystem response to climate change: case studies and policy implications. *Ecological Complexity*, **2**, 357–394.

Buttle, J., J.T. Muir and J. Frain, 2004: Economic impacts of climate change on the Canadian Great Lakes hydro-electric power producers: a supply analysis. *Can. Water Resour. J.*, **29**, 89–109.

Calder, I.R., 1990: *Evaporation in the Uplands.* John Wiley and Sons, Chichester, 148 pp.

Calder, I.R., 1992: Water use of eucalyptus – a review. *Growth and Water Use of Forest Plantations,* I.R. Calder, R.L. Hall and P.G. Adlard, Eds., John Wiley and Sons, Chichester, 167-179.

Caldwell, C.R., S.J. Britz and R.M. Mirecki, 2005: Effect of temperature, elevated carbon dioxide, and drought during seed development on the isoflavone content of dwarf soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] grown in controlled environments. *J. Agr. Food Chem.*, **53**(4), 1125–1129.

California Regional Assessment Group, 2002: *The Potential Consequences of Climate Variability and Change for California: The California Regional Assessment.* National Center for Ecological Analysis and Synthesis, University of California Santa Barbara, Santa Barbara, California, 432 pp. http://www.ncgia.ucsb.edu/pubs/CA_Report.pdf.

Callaghan, T.V., L.O. Björn, F.S. Chapin III, Y. Chernov, T.R. Christensen, B. Huntley, R. Ims, M. Johansson, D.J. Riedlinger, S. Jonasson, N. Matveyeva, W. Oechel, N. Panikov and G. Shaver, 2005: Arctic tundra and polar desert ecosystems. *Arctic Climate Impact Assessment (ACIA): Scientific Report*, C. Symon, L. Arris and B. Heal, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 243-352.

Camilloni, I., 2005: Tendencias climáticas. *El Cambio Climático en el Río de la Plata*, V. Barros, A. Menéndez and G.J. Nagy, Eds., CIMA/CONICET-UBA, Buenos Aires, 13-19.

Canziani, O.F. and L.J. Mata, 2004: The fate of indigenous communities under climate change. UNFCCC Workshop on impacts of, and vulnerability and adaptation to, climate change. *Tenth Session of the Conference of Parties (COP-10)*, Buenos Aires, 3 pp.

Caran, S.C. and J.A. Nelly, 2006: Hydraulic engineering in prehistoric Mexico. *Sci. Am. Mag.*, **October**, 8 pp.

Carey, M., 2005: Living and dying with glaciers: people's historical vulnerability to avalanches and outburst floods in Peru. *Global Planet. Change*, **47**, 122-134.

Cassman, K.G., A. Dobermann, D.T. Walters and H. Yang, 2003: Meeting cereal demand while protecting natural resources and improving environmental quality. *Annu. Rev. Environ. Resour.*, **28**, 315-358.

CCME, 2003: *Climate, Nature, People: Indicators of Canada's Changing Climate*. Climate Change Indicators Task Group of the Canadian Council of Ministers of the Environment, Canadian Council of Ministers of the Environment Inc., Winnipeg, Canada, 51 pp.

CDC (Centers for Disease Control), 2005: Vibrio illnesses after Hurricane Katrina: multiple states, August–September 2005. *MMWR–Morb. Mortal. Wkly. Rep.*, **54**, 928-931.

Census Bureau, 2004: *(U. S. Census Bureau), NP-T1. Annual Projections of the Total Resident Population as of July 1: Middle, Lowest, Highest, and Zero International Migration Series, 1999 to 2100.* Population Division, U.S. Census Bureau, Washington, D.C. 20233, Washington DC. http://www.census.gov/population/projections/nation/summary/np-t1.txt.

Cerri, C.C., M. Bernoux, C.E.P. Cerri and C. Feller, 2004: Carbon cycling and sequestration opportunities in South America: the case of Brazil. *Soil Use Manage.*, **20,** 248-254.

Chan, N.W., 1986: Drought trends in northwestern peninsular Malaysia: is less rain falling? *Wallaceana*, **4**, 8-9.

Chang, H., C.G. Knight, M.P. Staneva and D. Kostov, 2002: Water resource impacts of climate change in southwestern Bulgaria. *GeoJournal*, **57**, 159–168.

Changnon, S.A., 2005: Economic impacts of climate conditions in the United States: past, present, and future – an editorial essay. *Climatic Change*, **68**, 1–9.

Changnon, S.A. and D. Changnon, 2000: Long-term fluctuations in hail incidences in the United States. *J. Climate*, **13**, 658–664.

Chappell, A. and C.T. Agnew 2004: Modelling climate change in West African Sahel rainfall (1931–90) as an artifact of changing station locations. *Int. J. Clim.*, **24**(5), 547–554.

Chattopadhyay, N. and M. Hulme, 1997: Evaporation and potential evapotranspiration in India under conditions of recent and future climate change. *Agric. For. Meteorol.*, **87**, 55–73.

Chauhan, M. and B. Gopal, 2001: Biodiversity and management of Keoladeo National Park (India): a wetland of international importance. *Biodiversity in Wetlands: Assessment, Function and Conservation*. Volume 2. Backhuys Publishers, Leiden, 217–256.

Checkley, W., L.D. Epstein, R.H. Gilman, D. Figueroa, R.I. Cama, J.A. Patz and R.E. Black, 2000: Effects of El Niño and ambient temperature on hospital admissions for diarrhoeal diseases in Peruvian children. *Lancet*, **355**, 442–450.

Cheikh, N., P.W. Miller and G. Kishore, 2000: Role of biotechnology in crop productivity in a changing environment. *Global Change and Crop Productivity*, K.R. Reddy and H.F. Hodges, Eds., CAP International, New York, 425-436.

Chen, C., D. Gillig and B.A. McCarl, 2001: Effects of climatic change on a water dependent regional economy: a study of the Texas Edwards Aquifer. *Climatic Change*, **49**, 397–409.

Chen, M., P. Xie, and J.E. Janowiak, 2002: Global land precipitation: a 50-yr monthly analysis based on gauge observations. *J. Hydrometeorol.*, **3**, 249–266.

Chen, Z., S. Grasby and K. Osadetz, 2004: Relation between climate variability and groundwater levels in the upper carbonate aquifer, southern Manitoba, Canada. *J. Hydrol.*, **290**(1–2), 43–62.

Chiew, F.H.S., T.I. Harrold, L. Siriwardenena, R.N. Jones and R. Srikanthan, 2003: Simulation of climate change impact on runoff using rainfall scenarios that consider daily patterns of change from GCMs. *MODSIM 2003: Proc. International Congress on Modelling and Simulation*, D.A. Post, Ed., Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, Canberra ACT, Townsville, 154–159.

Choi, O. and A. Fisher, 2003: The impacts of socioeconomic development and climate change on severe weather catastrophe losses: Mid-Atlantic Region MAR and the U.S. *Climatic Change*, **58**(1–2), 149–170.

Chomitz, K.M. and K. Kumari, 1996: *The domestic benefits of tropical forests: a critical review emphasizing hydrological functions.* Policy Research Working Paper, World-Bank, No. WPS1601, 41 pp.

Christensen, J.H. and O.B. Christensen, 2003: Severe summertime flooding in Europe. *Nature*, **421**, 805.

Christensen, J.H., B. Hewitson, A. Busuioc, A. Chen, X. Gao, I. Held, R. Jones, R.K. Koli, W.-T. Kwon, R. Laprise, V.M. Rueda, L. Mearns, C.G. Menéndez, J. Räisänen, A. Rinke, A. Sarr and P. Whetton, 2007: Regional climate projections. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 847-940.

Christensen, N.S., A.W. Wood, N. Voisin, D.P. Lettenmaier and R.N. Palmer, 2004: The effects of climate change on the hydrology and water resources of the Colorado River basin. *Climatic Change*, **62**(1–3), 337–363.

Ciais, P., M. Reichstein, N. Viovy, A. Granier, J. Ogee, V. Allard, M. Aubinet, N. Buchmann, et al., 2005: Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature*, **437**, 529–533.

City of New York, 2005: New York City's Water Supply System. The City of New York Department of Environmental Protection, New York, New York. http://www.ci.nyc.ny.us/html/dep/html/watersup.html.

Clark, M.E., K.A. Rose, D.A. Levine and W.W. Hargrove, 2001: Predicting climate change effects on Appalachian trout: combining GIS and individual-based modeling. *Ecol. Appl.*, **11**, 161-178.

Clarke, R. and J. King, 2004: *The Atlas of Water*. Earthscan, London, 128 pp.

Cohen, S., D. Neilsen and R. Welbourn, Eds., 2004: *Expanding the dialogue on climate change and water management in the Okanagan Basin, British Columbia*. Final Report 1 January 2002 to 30 June 2004. http://www.ires.ubc.ca/aird/documents/Okanagan2004-final.pdf.

Cohen, S.J., R. de Loë, A. Hamlet, R. Herrington, L.D. Mortsch and D. Shrubsole, 2003: *Integrated and cumulative threats to water availability. Threats to Water Availability in Canada*. National Water Research Institute, Burlington, Ontario, 117-127. http://www.nwri.ca/threats2full/ThreatsEN_03web.pdf.

COHIFE, 2003: Principios rectores de Política Hídrica de la República Argentina. *Acuerdo Federal del Agua, Consejo Hídrico Federal*, COHIFE 8, August 2003, Argentina.

Cole, C.V., K. Flach, J. Lee, D. Sauerbeck and B. Stewart, 1993: Agricultural sources and sinks of carbon. *Water Air Soil Poll.,* **70**, 111-122.

Coleman, J.M. and O.K. Huh, 2004: *Major World Deltas: A Perspective fromSpace*. Coastal Studies Institute, Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana. http://www.geol.lsu.edu/WDD/PUBLICATIONS/introduction.htm

Compton, K., T. Ermolieva, and J.C. Linnerooth-Bayer, 2002: Integrated Disaster Risk Management: Megacity Vulnerability and Resilience, *Proc. Second Annual IIASA-DPRI Meeting*, IIASA Laxenburg, 20 pp.

Conde, C., D. Liverman, M. Flores, R. Ferrer, R. Araujo, E. Betancourt, G. Villareal and C. Gay, 1997: Vulnerability of rainfed maize crops in Mexico to climate change. *Clim. Res.*, **9**, 17–23.

Conway, D., 2005: From headwater tributaries to international river: observing and adapting to climate variability and change in the Nile basin. *Global Environ. Chang.*, **15**, 99–114.

Cook, E.R., R.D. D'Arrigo and M.E. Mann, 2002: A well-verified, multiproxy reconstruction of the winter North Atlantic Oscillation index since A.D. 1400. *J. Clim.*, **15**, 1754–1764.

Cortazar, P.F., 1968: Documental del Perú, Departamento del Cusco, S.A. Ioppe. Ed., February 1968.

Cosgrove, W., R. Connor and J. Kuylenstierna, 2004: Workshop 3 (synthesis): climate variability, water systems and management options. *Water Sci. Techn.*, **7**, 129–132.

Coudrain, A., B. Francou and Z.W. Kundzewicz, 2005: Glacier shrinkage in the Andes and consequences for water resources: Editorial. *Hydrol. Sci. J.*, **50**(6), 925–932.

Crabbe, P. and M. Robin, 2006: Institutional adaptation of water resource infrastructures to climate change in Eastern Ontario. *Climatic Change*, **78**(1), 103–133.

Craig, M.H., I. Kleinschmidt, D. Le Sueur and B.L. Sharp, 2004: Exploring thirty years of malaria case data in KwaZulu-Natal, South Africa. Part II. The impact of non-climatic factors. *Trop. Med. Int. Health*, **9**, 1258-1266.

Cross, J., 2001: Megacities and small towns: different perspectives on hazard vulnerability. *Environmental Hazards*, **3**, 63–80.

CTIC, 1998: *17th Annual Crop Residue Management Survey Report.* Conservation Technology Information Center, West Lafayette, IN. http://www.ctic.purdue.edu.

Cullen, P., 2002: Living with water: sustainability in a dry land. *Adelaide Festival of Arts, Getting it Right Symposium, 1–12 March, 2002.*

Curriero, F., J.A. Patz, J.B. Rose and S. Lele, 2001: The association between extreme precipitation and waterborne disease outbreaks in the United States, 1948–1994. *Am. J. Public Health*, **91**, 1194–1199.

Cury, P. and L. Shannon, 2004: Regime shifts in upwelling ecosystems: observed changes and possible mechanisms in the northern and southern Benguela. *Prog. Oceanogr.*, **60**, 223–243.

CWC (Central Water Commission), 2001: *Water and related statistics*, Report of the Ministry of Water Resources, New Delhi.

DAFF, 2006a: *National Water Initiative.* Department of Agriculture, Forestry and Fisheries, Australia. http://www.pmc.gov.au/water_reform/nwi.cfm.

DAFF, 2006b: Contours. Department of Agriculture, Fisheries and Forestry, Australia, 24 pp. http://www.daff.gov.au/__data/assets/pdf_file/0020/98201/contours-dec-06.pdf.

Dai, A. and K.E. Trenberth, 2002: Estimates of freshwater discharge from continents: Latitudinal and seasonal variations. *J. Hydrometeorol*., **3**, 660–687.

Dai, A., P.J. Lamb, K.E. Trenberth, M. Hulme, P.D. Jones and P. Xie, 2004a: The recent Sahel drought is real. *Int. J. Climatol.*, **24**, 1323–1331.

Dai, A., K.E. Trenberth and T. Qian, 2004b: A global data set of Palmer Drought Severity Index for 1870–2002: relationship with soil moisture and effects of surface warming. *J. Hydrometeorol.*, **5**, 1117–1130.

Dalal, R.C., W. Wang, G.P. Robertson and W.J. Parton, 2003: Nitrous oxide emission from Australian agricultural lands and mitigation options: a review. *Australian J. Soil Res.*, **41**, 165-195.

Dang, H.H., A. Michaelowa and D.D. Tuan, 2003: Synergy of adaptation and mitigation strategies in the context of sustainable development: the case of Vietnam. *Clim. Policy*, **3**, S81-S96.

DaSilva, J., B. Garanganga, V. Teveredzi, S. Marx, S. Mason and S. Connor, 2004: Improving epidemic malaria planning, preparedness and response in Southern Africa. *Malaria J.*, **3**, 37.

Davis, J.R., Ed., 1997: *Managing Algal Blooms. Outcomes from CSIRO's Multi-Divisional Blue-Green Algae Program.* CSIRO Land and Water, Canberra, 113 pp.

de Wit, M. and J. Stankiewicz, 2006: Changes in surface water supply across Africa with predicted climate change. *Science Express*, doi:10.1126/science.1119929. http://www.scienceexpress.org.

Declerck, S., J. Vandekerkhove, L.S. Johansson, K. Muylaert, J.M. Conde-Porcuna, K. van der Gucht, C. Pérez-Martínez, T.L. Lauridsen, K. Schwenk, G. Zwart, W. Rommens, J. López-Ramos, E. Jeppesen, W. Vyverman, L. Brendonck and L. de Meester, 2005: Multi-group biodiversity in shallow lakes along gradients of phosphorus and water plant cover. *Ecology*, **86**, 1905–1915.

Delworth, T.L. and M.E. Mann, 2000: Observed and simulated multidecadal variability in the Northern Hemisphere. *Clim. Dyn.*, **16**, 661–676.

Dessai, S., X. Lu and J.S. Risbey, 2005: On the role of climate scenarios for adaptation planning. *Global Environ. Chang.*, **15**, 87–97.

DEUS, 2006: *NSW Government Water Savings Fund.* Department of Energy, Utilities and Sustainability, 17 pp. http://www.deus.nsw.gov.au/Publications/WaterSavingsFundR3Guide.pdf.

Dias de Oliveira, M.E., B.E. Vaughan, and E.J. Rykiel, Jr., 2005: Ethanol as fuel: energy, carbon dioxide balances, and ecological footprint. *BioScience*, **55**, 593-602.

Diaz-Nieto, J. and R. Wilby, 2005: A comparison of statistical downscaling and climate change factor methods: impact on low flows in the river Thames, United Kingdom. *Climatic Change*, **69**, 245–268.

Dinesh Kumar, P.K., 2006: Potential vulnerability implications of sea level rise for the coastal zones of Cochin, southwest coast of India. *Environ. Monit. Assess.*, **123**, 333–344.

DNPC, 2005/2006: Informe de las lluvias caídas en Venezuela en los meses de Febrero y marzo de 2005 y Febrero 2006. Dirección Nacional de Protección Civil, República Bolivariana de Venezuela.

Döll, P., 2002: Impact of climate change and variability on irrigation requirements: a global perspective. *Climatic Change*, **54**, 269–293.

Döll, P. and M. Flörke, 2005: Global-scale estimation of diffuse groundwater recharge. *Frankfurt Hydrology Paper 03*, Institute of Physical Geography, Frankfurt University, Frankfurt.

Döll, P., M. Flörke, M. Mörker and S. Vassolo, 2003: Einfluss des Klimawandels auf Wasserressourcen und Bewässerungswasserbedarf: eine globale Analyse unter Berücksichtigung neuer Klimaszenarien (Impact of climate change on water resources and irrigation water requirements: a global analysis using new climate change scenarios). *Klima–Wasser–Flussgebietsmanagement – im Lichte der Flut*, H.-B. Kleeberg, Ed., *Proc. Tag der Hydrologie 2003 in Freiburg, Germany, Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung,* 11–14.

Donevska, K. and S. Dodeva, 2004: Adaptation measures for water resources management in case of drought periods. *Proc. XXIInd Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management.* Brno, 30 August–2 September 2004, CD-edition.

Doran, P.T. and Co-authors, 2002: Antarctic climate cooling and terrestrial ecosystem response. *Nature*, **415**, 517–520.

Dore, M. and I. Burton, 2001: *The Costs of Adaptation to Climate Change in Canada: A Stratified Estimate by Sectors and Regions – Social Infrastructure*. Climate Change Laboratory, Brock University, St Catharines, ON, 117 pp.

Douglas, E.M., R.M. Vogel and C.N. Kroll, 2000: Trends in floods and low flows in the United States: impact of spatial correlation. *J. Hydrol.*, **240**(1–2), 90–105.

Dourojeanni, A., 2000: *Procedimientos de Gestión para el Desarrollo Sustentable*. ECLAC, Santiago, 376 pp.

Douville, H., F. Chauvin, S. Planton, J.F. Royer, D. Salas-Melia and S. Tyteca, 2002: Sensitivity of the hydrological cycle to increasing amounts of greenhouse gases and aerosols. *Clim. Dyn.*, **20**, 45–68.

Downing, T.E., R.E. Butterfield, B. Edmonds, J.W. Knox, S. Moss, B.S. Piper, E.K. Weatherhead and the CCDeW Project Team, 2003: *Climate change and the demand for water, Research Report*. Stockholm Environment Institute, Oxford Office, Oxford.

DPMC, 2004: *Water Reform.* Department of Prime Minister and Cabinet, Australia. http://www.dpmc.gov.au/nwi/index.cfm.

Drennen, P.M., M. Smith, D. Goldsworthy and J. van Staten, 1993: The occurrence of trahaolose in the leaves of the desiccation-tolerant angiosperm *Myronthamnus flabellifoliius* Welw. *J. Plant Physiol.*, **142**, 493-496.

du Plessis, C., D.K. Irurah and R.J. Scholes, 2003: The built environment and climate change in South Africa. *Build. Res. Inf.*, **31**(3–4), 240–256.

Duguay, C.R. and Co-authors, 2003: Ice-cover variability on shallow lakes at high latitudes: model simulations and observations. *Hydrol. Process.*, **17**, 3465–3483.

Duong, L.C., 2000: Lessons from severe tropical storm Linda, Workshop Report: "The Impact of El Niño and La Niña on Southeast Asia", 21–23 February, Hanoi.

Dwight, R.H., J.C. Semenza, D.B. Baker and B.H. Olson, 2002: Association of urban runoff with coastal water quality in Orange County, California. *Water Environ. Res.*, **74**, 82-90.

Dyurgerov, M. and M.F. Meier, 2005: *Glaciers and Changing Earth System: A 2004 Snapshot*. 58, INSTAAR, Boulder, CO.

Dyurgerov, M.B. and C.L. Carter, 2004: Observational evidence of increases in freshwater inflow to the Arctic Ocean. *Arct. Antarct. Alp. Res.*, **36**(1), 117–122.

Eakin, H. and M.C. Lemos, 2006: Adaptation and the state: Latin America and the challenge of capacity – building under globalization. *Global Environ. Chang.*, **16**, 7–18.

Easterling, W.E., 2003: Observed impact of climate change in agriculture and forestry. *IPCC Workshop on the Detection and Attribution of the Effects of Climate Change*, GISS, New York, 54-55.

Ebi, K.L., D.M. Mills, J.B. Smith and A. Grambsch, 2006: Climate change and human health impacts in the United States: an update on the results of the US National Assessment. *Environ. Health Persp.*, **114**(9), 1318–1324

ECF (European Climate Forum) and Potsdam Institute, 2004: *Report on the Beijing Symposium on Article 2*, September, 2004.

Eckhardt, K. and U. Ulbrich, 2003: Potential impacts of climate change on groundwater recharge and streamflow in a central European low mountain range. *J. Hydrol.*, **284**(1–4), 244–252.

EEA, 2004: *Impacts of Europe's changing climate: an indicator-based assessment.* EEA Report No 2/2004, European Environment Agency, Copenhagen, Denmark (or: Luxembourg, Office for Official Publications of the EC), 107 pp.

EEA, 2005: *Vulnerability and adaptation to climate change in Europe*. EEA Technical Report No. 7/2005, European Environment Agency, Copenhagen, Denmark (or: Luxembourg, Office for Official Publications of the EC).

Eheart, J.W. and D.W. Tornil, 1999: Low-flow frequency exacerbation by irrigation withdrawals in the agricultural Midwest under various climate change scenarios. *Water Resour. Res.*, **35**, 2237–2246.

Eid, H.M., S.M. El-Marsafawy and S.A. Ouda, 2006: *Assessing the Impacts of Climate Change on Agriculture in Egypt: a Ricardian Approach.* Centre for Environmental Economics and Policy in Africa (CEEPA) Discussion Paper No. 16, Special Series on Climate Change and Agriculture in Africa, University of Pretoria, Pretoria, 1-33.

Eisenreich, S.J., Ed., 2005: *Climate Change and the European Water Dimension.* Report to the European Water Directors. European Commission-Joint Research Centre, Ispra, 253 pp.

Eitzinger, J., M. Stastna, Z. Zalud and M. Dubrovsky, 2003: A simulation study of the effect of soil water balance and water stress in winter wheat production under different climate change scenarios. *Agric. Water Manage.,* **61**, 195-217.

El-Gindy, A., A.A. Abdel Azziz and E.A. El-Sahaar, 2001: *Design of Irrigation and Drainage Networks.* Faculty of Agriculture lectures, Ain Shams University, 28 pp (in Arabic).

Ellis, J., 1995: Climate variability and complex ecosystem dynamics; implications for pastoral development. *Living with Uncertainty: New Directions in Pastoral Development in Africa*, I. Scoones, Ed., Intermediate Technology Publications, London, 37-46.

Elpiner**,** L.I., 2004: Scenarios of human health changes under global hydroclimatic transformations. *Proc. Climate Change and Public Health in Russia in the XXI Century.* April 5–6, 2004, Publishing Company "Adamant", Moscow, 195–199 (in Russian).

Elsasser, H. and R. Burki, 2002: Climate change as a threat to tourism in the Alps. *Clim. Res.*, **20**, 253–257.

Elsasser, H., R. Bürki and B. Abegg, 2003: *Fifth World Conference on Sport and the Environment*, IOC/UNEP, Turin. http://www.unep.org/sport_env/Documents/torinobuerki.doc.

Enfield, D.B., A.M. Mestas-Nuñez and P.J Trimble, 2001: The Atlantic Multidecadal Oscillation and its relation to rainfall and river flows in the continental US. *Geophys. Res. Lett.*, **28**, 2077–2080.

Environment Canada, 2001: *Threats to sources of drinking water and aquatic ecosystems health in Canada. National Water Research Report No.1*. National Water Resources Research Institute, Burlington, Ontario, 72 pp.

EPIQ (Environmental Policy and Institutional Strengthening Indefinite

Quantity, Water Policy Reform Activity, Agricultural Policy Reform Programme and Market-Based Incentives Team), 2002: Economic Instruments for Improved Water Resources Management in Egypt, Prepared for the United States Agency for International Development/Egypt, No. PCE-I-00-96-00002-00, 173 pp.

Ericson, J.P., C.J. Vorosmarty, S.L. Dingman, L.G. Ward and M. Meybeck, 2006: Effective sea-level rise and deltas: causes of change and human dimension implications. *Global Planet. Change*, **50**, 63–82.

Etchevers, P., C. Golaz, F. Habets and J. Noilhan, 2002: Impact of a climate change on the Rhone river catchment hydrology. *J. Geophys. Res.*, **107**, 4293, doi:10.1029/2001JD000490.

Evans, E., R. Ashley, J. Hall, E. Penning-Rowsell, A. Saul, P. Sayers, C. Thorne and A. Watkinson, 2004: *Foresight. Future Flooding. Scientific Summary: Volume 1. Future Risks and their Drivers*. Office of Science and Technology, London.

Falconer, I.R., 1997: Blue-green algae in lakes and rivers: their harmful effects on human health. *Australian Biologist*, **10**(2), 107–110.

FAO (Food and Agriculture Organization), 2003: *World Agriculture Towards 2015/2030*. http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/004/y3557e/y3557e00.htm.

FAO (Food and Agriculture Organization), 2004a: *Yearbook of Fishery Statistics 2002*. Capture Production, Vol. 94/1, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 654 pp.

FAO (Food and Agriculture Organization), 2004b: *Yearbook of Fishery Statistics 2002*, Aquaculture production, Vol. 94/2, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 206 pp.

FAO (Food and Agriculture Organization), 2004c: *Data Base*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

FAO (Food and Agriculture Organization), 2006: Third Session of the Sub-Committee on Aquaculture: Committee on Fisheries (COFI). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), New Delhi, India, 4-8 September.

Faruqui, N.I., A.K. Biswas and M.J. Bino, Eds., 2001: *Water Management in Islam*. United Nations University Press, Tokyo, 149 pp.

Fay, M., F. Ghesquiere and T. Solo, 2003b: Natural disasters and the urban poor. *IRDB En Breve,* **32**, The World Bank, 4 pp.

Fay, P.A., J.D. Carlisle, A.K. Knapp, J.M. Blair and S.L. Collins, 2003a: Productivity responses to altered rainfall patterns in a C-4-dominated grassland. *Oecologia*, **137**(2), 245–251.

Fedorov, A. and P. Konstantinov, 2003: Observations of surface dynamics with thermokarst initiation, Yukechi site, Central Yakutia. *Proc. VII International Permafrost Conference*, Switzerland, 21–25 July, 139–243.

Feng, S. and Q. Hu, 2004: Changes in agro-meteorological indicators in the contiguous United States: 1951-2000. *Theor. Appl. Climatol.*, **78**, 247-264.

Ferguson, G. and S.S. George, 2003: Historical and estimated ground water levels near Winnipeg, Canada and their sensitivity to climatic variability. *J. Am. Water Resour. As.*, **39**, 1249-1259.

Fink, A.H., T. Brücher, A. Krüger, G.C. Leckebusch, J.G. Pinto, and U. Ulbrich, 2004: The 2003 European summer heatwaves and drought: synoptic diagnosis and impacts. *Weather*, **59**, 209–216.

Fischer, G., M. Shah and H.V. Velthuizen, 2002a: *Climate Change and Agricultural Vulnerability*. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, 152 pp.

Fischer, G., H. van Velthuizen, M. Shah and F.O. Nachtergaele, 2002b: *Global Agro-ecological Assessment for Agriculture in the 21st Century: Methodology and Results*. Research Report RR-02-02. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, 119 pp and CD-Rom.

Fischer, G., F.N. Tubiello, H. van Velthuizen and D. Wiberg, 2006: Climate change impacts on irrigation water requirements: global and regional effects of mitigation, 1990–2080. *Tech. Forecasting Soc. Ch.,* **74,** doi:10.1016/j.techfore.2006.05.021.

Fish, M.R., I.M. Cote, J.A. Gill, A.P. Jones, S. Renshoff and A. Watkinson, 2005: Predicting the impact of sea level rise on Caribbean sea turtle nesting habitat. *Conserv. Biol.*, **19**(2), 482–491.

Fleury, M.D., D. Charron, J. Holt, B. Allen and A. Maarouf, 2006: The role of ambient temperature in foodborne disease in Canada using time series methods *Int. J. Biometeorol.*, **50**, doi:10.1007/s00484-00006-00028-00489.

Folland, C. K., J.A. Renwick, M.J. Salinger, N. Jiang and N.A. Rayner, 2003: Trends and variations in South Pacific islands and ocean surface temperatures. *J. Climate*, **16**, 2859–2874.

Follett, R.F., 2001: Organic carbon pools in grazing land soils. *The Potential of U.S. Grazing Lands to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect.* R.F. Follett, J.M. Kimble and R. Lal, Eds., Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 65-86.

Fosaa, A.M., M.T. Sykes, J.E. Lawesson and M. Gaard, 2004: Potential effects of climate change on plant species in the Faroe Islands, *Global Ecol. Biogeogr.*, **13**, 427–437.

Francou, B. and C. Vincent, 2006: Les glaciers à l'épreuve du climat. IRD/BELIN, Paris, 274 pp.

Francou, B., M. Vuille, P. Wagnon, J. Mendoza and J.-E. Sicart, 2003: Tropical climate change recorded by a glacier in the central Andes during the last decades of the twentieth century: Chacaltaya, Bolivia, 16°S. *J. Geophys. Res.*, **108**, doi:10.1029/2002JD002959.

Frauenfeld, O.W., T. Zhang, R.G. Barry and D. Gilichinsky, 2004: Interdecadal changes in seasonal freeze and thaw depths in Russia. *J. Geophys. Res*., **109**, doi:10.1029/2003JD004245.

Freibauer, A., M. Rounsevell, P. Smith and A. Verhagen, 2004: Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe. *Geoderma,* **122**, 1-23.

Frich, P., L.V. Alexander, P. Della-Marta, B. Gleason, M. Haylock, A.M.G.K. Tank and T. Peterson, 2002: Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Clim. Res*., **19**, 193–212.

Frolov, I., G. Alekseev and A. Danilov, 2004: Climate change in polar areas. *Proc. World Climate Change Conference*, Moscow, 29 September–3 October 2003, 484–490.

Fukushima, Y., 1987: Influence of forestation on mountainside at granite highlands. *Water Sci.*, **177**, 17-34.

Gagnon, A.S., K.E. Smoyer-Tomic and A. Bush, 2002: The El Niño Southern Oscillation and malaria epidemics in South America. *Int. J. Biometeorol.*, **46**, 81-89.

Gallagher, P. and L. Wood, 2003: *Proc. World Summit on Salmon*, June 10-13, 2003, Vancouver, British Columbia. http://www.sfu.ca/cstudies/science/summit.htm.

Gardner, T.A., I. Cote, G. Gill, A. Grant and A. Watkinson, 2003: Long-term region-wide declines in Caribbean corals. *Science*, **301**, 958–960.

Gash, J.H.C. and W.J. Shuttleworth, 1991: Tropical deforestation: albedo and the surface energy balance. *Climatic Change*, **19**, 123-133.

Gavriliev, P.P. and P.V. Efremov, 2003: Effects of cryogenic processes on Yakutian landscapes under climate warming. *Proc. VII International Permafrost Conference*, Switzerland, 21–25 July, 277–282.

GDE (General Directorate of Environment, Comoros), 2002: *Initial National Communication on Climate Change*, Union des Comoros, Ministry of Development, Infrastructure, Post and Telecommunications.

Gedney, N., P.M. Cox, R.A. Betts, O. Boucher, C. Huntingford and P.A. Stott, 2006: Detection of a direct carbon dioxide effect in continental river runoff records. *Nature*, **439**(7078), 835–838.

Genovese, G., C. Lazar and F. Micale, 2005: Effects of observed climate fluctuation on wheat flowering as simulated by the European

crop growth monitoring system (CGMS). *Proc. Workshop on Adaptation of Crops and Cropping Systems to Climate Change, 7-8 November 2005, Dalum Landbrugsskole, Odense, Denmark*. Nordic Association of Agricultural Scientists, 12 pp.

Genthon, C., G. Krinner and M. Sacchettini, 2003: Interannual Antarctic tropospheric circulation and precipitation variability. *Clim. Dyn.*, **21**, 289–307.

GEO-3, 2003: *Global Environmental Outlook*. United Nations Environmental Program, 279 pp. http://www.unep.org/geo/pdfs/GEO__lac2003English.pdf.

Georges, C., 2004: The 20th century glacier fluctuations in the Cordillera Blanca (Perú). *Arct. Antarct. Alp. Res.*, **36**(1), 100–107.

Geres, D., 2004: Analysis of the water demand management. *Proc. XXII Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management.* Brno, 30 August–2 September 2004. CD-edition.

Gerolomo, M. and M.F. Penna, 1999: Os primeiros cinco anos da setima pandemia de cólera no Brasil. *Informe Epid. SUS*, **8**(3), 49–58.

Gerten, D., S. Schaphoff, U. Haberlandt, W. Lucht and S. Sitch, 2004: Terrestrial vegetation and water balance: hydrological evaluation of a dynamic global vegetation model. *J. Hydrol.*, **286**(1–4), 249–270.

Gibson, J.J., T.D. Prowse and D.L. Peters, 2006: Partitioning impacts of climate and regulation on water level variability in Great Slave Lake. *J. Hydrol.*, **329**, 196-206.

Gilman, E., H. Van Lavieren, J. Ellison, V. Jungblut, L. Wilson, F.Ereki, G. Brighouse, J. Bungitak, E. Dus, M. Henry, I. Sauni, M. Kilman, E. Matthews, N.Teariki-Ruatu, S. Tukia, K. Yuknavage, 2006: Pacific island mangroves in a changing climate and rising sea. *UNEP Regional Sea Reports and Studies,* **179**, United Nations Environment Programme, Regional Sea 44 Programme, Nairobi, 45 pp.

Giorgi, F., X. Bi and J. Pal, 2004: Mean, interannual variability and trend in a regional climate change experiment over Europe. II: Climate change scenarios 2071–2100. *Clim. Dyn.,* **23,** doi:10.1007/s00382-004-0467-0.

Gitay, H., S. Brown, W. Easterling and B. Jallow, 2001: Ecosystems and their goods and services. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken and K.S. White, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 237-342.

Gitay, H., A. Suárez, R.T. Watson and D.J. Dokken, Eds., 2002: *Climate Change and Biodiversity*. IPCC Technical Paper V, IPCC, Geneva, 85 pp.

Githeko, A.K. and W. Ndegwa, 2001: Predicting malaria epidemics in Kenyan highlands using climate data: a tool for decision makers. *Global Change Human Health*, **2**, 54-63.

Glantz, M.H., Ed., 2001: *Once Burned, Twice Shy? Lessons Learned from the 1997–98 El Niño*, United Nations University, 294 pp.

Gnadlinger, J., 2003: *Captação e Manejo de gua de Chuva e Desenvolvimento Sustentável do Semi-rido Brasileiro - Uma Visão Integrada,* 4º Simpósio Brasileiro de captação e Manejo de água de chuva. 9-12/07/2003. Juazeiro, BA, 2003.

Goldenberg, S.B. and Co-authors, 2001: The recent increase in Atlantic hurricane activity: causes and implications. *Science*, **293**, 474–479.

Golubev, V.S. and Co-authors, 2001: Evaporation changes over the contiguous United States and the former USSR: a reassessment. *Geophys. Res. Lett.*, **28**, 2665–2668.

Gonzalez, P., 2001. Desertification and a shift of forest species in the West African Sahel. *Clim. Res.*, **17**, 217–228

Good, P., L. Bärring, C. Giannakopoulos, T. Holt and J. Palutikof, 2006: Non-linear regional relationships between climate extremes and annual mean temperatures in model projections for 1961-2099 over Europe. *Clim. Res.*, **31**, 19–34.

Gordon, W. and J.S. Famiglietti, 2004: Response of the water balance to climate change in the United States over the 20th and 21st centuries: results from the VEMAP phase 2 model intercomparisons. *Global Biogeochem. Cy.*, **181**, GB1030.

Gorham, E., 1991: Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming. *Ecol. Appl.*, **1**, 182–195.

Government of South Australia, 2005: *Water Proofing Adelaide: A Thirst for Change 2005–2025*. Government of SA, 64 pp. http://www.waterproofingadelaide.sa.gov.au/pdf/wpa_Strategy.pdf.

Government of Western Australia, 2003: *Securing our Water Future: A State Water Strategy for Western Australia*. Government of WA, 64 pp. http://dows.lincdigital.com.au/files/State_Water_Strategy_complete_001.pdf.

Government of Western Australia, 2006: *Draft State Water Plan.* Government of WA, 88 pp. http://dows.lincdigital.com.au/files/Draft%20State%20Water%20Plan.pdf.

Graham, N.A.J., S.K. Wilson, S. Jennings, N.V.C. Polunin, J.P. Bijoux and J. Robinson, 2006: Dynamic fragility of oceanic coral reef ecosystems. *P. Natl. Acad. Sci. USA*, **103**, 8425–8429.

Graves, H. M. and M. C. Phillipson, 2000: Potential implications of climate change in the built environment. *FBE Report* **2**. Building Research Establishment Press, London, 74 pp.

Green, R.E., S.J. Cornell, J.P.W. Scharlemann and A. Balmford, 2005: Farming and the fate of wild nature. *Science*, **307**, 550-555.

Greenwood, E.A.N., L.B. Klein, J.D. Beresford and G.D. Watson, 1985: Differences in annual evaporation between grazed pasture and eucalyptus species in plantation on a saline farm catchment. *J. Hydrol.*, **78**, 261-278.

Gregorich, E.G., P. Rochette, A.J. van den Bygaart and D.A. Angers, 2005: Greenhouse gas contributions of agricultural soils and potential mitigation practices in Eastern Canada. *Soil and Tillage Res.*, **83**, 53-72.

Griffiths, G.M., M.J. Salinger and I. Leleu, 2003: Trends in extreme daily rainfall across the South Pacific and relationship to the South Pacific Convergence Zone. *J. Climatol.*, **23**, 847–869.

Gritti, E.S., B. Smith and M.T. Sykes., 2006: Vulnerability of Mediterranean Basin ecosystems to climate change and invasion by exotic plant species. *J. Biogeogr.*, **33**, 145–157.

Groisman, P.Y., R.W. Knight, T.R. Karl, D.R. Easterling, B. Sun and J.H. Lawrimore, 2004: Contemporary changes of the hydrological cycle over the contiguous United States: trends derived from *in situ* observations. *J. Hydrometeorol.*, **5**, 64–85.

Groisman, P.Y. and Co-authors, 2005: Trends in intense precipitation in the climate record. *J. Clim.*, 18, 1326–1350.

Gruza, G. and E. Rankova, 2004: Detection of changes in climate state, climate variability and climate extremity, in *Proc. World Climate Change Conference*, 29 September–3 October, 2003, Moscow, 90–93.

Gueye, L., M. Bzioul and O. Johnson, 2005: Water and sustainable development in the countries of Northern Africa: coping with challenges and scarcity. *Assessing Sustainable Development in Africa*, Africa's Sustainable Development Bulletin, Economic Commission for Africa, Addis Ababa, 24-28.

Guo, Q.X., J.L. Li, J.X. Liu and Y.M. Zhang, 2001: The scientific significance of the forest vegetation ecotone between Daxing'an and Xiaoxing'an Mountains to global climate change study. *J. Forestry, Northeast University*, **29**(5), 1–4.

Gupta, S.K. and R.D. Deshpande, 2004: Water for India in 2050: first-order assessment of available options. *Current Sci.*, **86**(9), 1216–1224.

Gutiérrez Teira, B., 2003: Variaciones de las comunidades y poblaciones de macroinvertebrados del tramo alto del río manzanares a causa de la temperatura. Posibles efectos del cambio climático. *Tesis*

Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.

GWP (Global Water Partnership), 2002: *Dialogue on Effective Water Governance*, GWP, 6 pp.

Haeberli, W. and C. Burn, 2002: Natural hazards in forests - glacier and permafrost effects as related to climate changes. *Environmental Change and Geomorphic Hazards in Forests,* R.C. Sidle, Ed., IUFRO Research Series, 9, 167-202.

Hales S., N. de Wett, J. Maindonald and A. Woodward, 2002: Potential effect of population and climates change models on global distribution of dengue fever: an empirical model. *Lancet*, **360**, 830-834.

Hall, C.J. and C.W. Burns, 2002: Mortality and growth responses of *Daphnia carinata* to increases in temperature and salinity. *Freshw. Biol.*, **47**, 451–458.

Hall, G., R. D'Souza and M. Kirk, 2002: Foodborne disease in the new millennium: out of the frying pan and into the fire? *Med. J. Australia*, **177**, 614-618.

Hall, J.W., P.B. Sayers and R.J. Dawson, 2005: National-scale assessment of current and future flood risk in England and Wales. *Nat. Hazards*, **36**, 147–164.

Hamlet, A.F., 2003: The role of transboundary agreements in the Columbia River Basin: an integrated assessment in the context of historic development, climate, and evolving water policy. *Climate, Water, and Transboundary Challenges in the Americas*, H. Diaz and B. Morehouse, Eds., Kluwer Press, Dordrecht, 263-289.

Harding, R.J., 1992: The modification of climate by forests. *Growth and Water Use of Forest Plantations,* I.R. Calder, R.L. Hall and P.G. Adlard, Eds., John Wiley and Sons, Chichester, 332-346.

Hareau, A., R. Hofstadter and A. Saizar, 1999: Vulnerability to climate change in Uruguay: potential impacts on the agricultural and coastal resource sectors and response capabilities. *Clim. Res.*, **12**, 185–193.

Harman, J., M. Gawith and M. Calley, 2005: Progress on assessing climate impacts through the UK Climate Impacts Programme, *Weather*, **60**, 258–262.

Harrison, G.P. and H.W. Whittington, 2002: Susceptibility of the Batoka Gorge hydroelectric scheme to climate change. *J. Hydrol.*, **264**(1–4), 230–241.

Hartmann, J., K. Ebi, J. McConnell, N. Chan and J.P. Weyant, 2002: Stable malaria transmission in Zimbabwe under different climate change scenarios. *Global Change and Human Health*, **3**, 2–14.

Hatfield, J.L. and J.H. Pruger, 2004: Impacts of changing precipitation patterns on water quality. *J. Soil Water Conserv.*, **59**, 51-58.

Hay, S.I., D.J. Rogers, S.E. Randolph, D.I. Stern, J. Cox, G.D. Shanks and R.W. Snow, 2002a: Hot topic or hot air? Climate change and malaria resurgence in East African highlands. *Trends Parasitol.*, **18**, 530-534.

Hay, S.I., J. Cox, D.J. Rogers, S.E. Randolph, D.I. Stern, G.D. Shanks, M.F. Myers and R.W. Snow, 2002b: Climate change and the resurgence of malaria in the East African highlands. *Nature*, **415**, 905-909.

Hay, S.I., G.D. Shanks, D.I. Stern, R.W. Snow, S.E. Randolph and D.J. Rogers, 2005: Climate variability and malaria epidemics in the highlands of East Africa. *Trends Parasitol.*, **21**, 52-53.

Hayhoe, K. and Co-authors, J.H., 2004: Emissions pathways, climate change, and impacts on California. *P. Natl. Acad. Sci. USA*, **101**, 12422-12427.

Haylock, M.R. and C.M. Goodess, 2004: Interannual variability of extreme European winter rainfall and links with mean large-scale circulation. *Int. J. Climatol*., **24**, 759–776.

Haylock, M.R., T. Peterson, L.M. Alves, T. Ambrizzi, Y.M.T. Anunciação, J. Baez, V.R. Barros, M.A. Berlato and Co-authors, 2006: Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. *J. Climate*, **19**, 1490-1512.

Helgason, B.L., H.H. Janzen, M.H. Chantigny, C.F. Drury, B.H. Ellert, E.G. Gregorich, Lemke, E. Pattey, P. Rochette and C. Wagner-Riddle, 2005: Toward improved coefficients for predicting direct N_2O emissions from soil in Canadian agroecosystems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, **71**, 7-99.

Helms, M., B. Büchele, U. Merkel and J. Ihringer, 2002: Statistical analysis of the flood situation and assessment of the impact of diking measures along the Elbe (Labe) river. *J. Hydrol.*, **267**, 94–114.

Hemp, A., 2005: Climate change-driven forest fires marginalize the impact of ice cap wasting on Kilimanjaro. *Glob. Change Biol.*, **11**, 1013-1023.

Hendy, C. and J. Morton, 2001: Drought-time grazing resources in Northern Kenya. *Pastoralism, Drought and Planning: Lessons from Northern Kenya and Elsewhere*, J. Morton, Ed., Natural Resources Institute, Chatham, 139-179.

Herath, S. and U. Ratnayake, 2004: Monitoring rainfall trends to predict adverse impacts: a case study from Sri Lanka (1964–1993). *Global Environ. Change*, **14**, 71–79.

Herron, N., R. Davis and R. Jones, 2002: The effects of large-scale afforestation and climate change on water allocation in the Macquarie River catchment, NSW, Australia. *J. Environ. Manage.*, **65**, 369–381.

Hewitt, K., 2005: The Karakoram anomaly? Glacier expansion and the "elevation effect", Karakoram Himalaya. *Mountain Research and Development*, **25**(4), 332–340.

Hibbert, A.R., 1967: Forest treatment effects on water yield. *Forest Hydrology. Proc. International Symposium on Forest Hydrology,* W.E. Sopper and H.W. Lull, Eds., Forest hydrology, Pergamon Press, London, 527-543.

Higashi, H., K. Dairaku and T. Matuura, 2006: Impacts of global warming on heavy precipitation frequency and flood risk, *Jour. Hydroscience and Hydraulic Engineering*, **50**, 205–210.

Hild, C. and V. Stordhal, 2004: Human health and well-being. *Arctic Human Development Report (AHDR)*. N. Einarsson, J.N. Larsen, A. Nilsson and O.R. Young, Eds., Steffanson Arctic Institute, Akureyri, 155-168 pp.

Hinzman, L., N. Bettez, W. Bolton, F. Chapin, M. Dyurgerov, C. Fastie, B. Griffith, R. Hollister and Co-authors., 2005: Evidence and implications of recent climate change in northern Alaska and other Arctic regions. *Climatic Change*, **72**, 251–298.

Hoanh, C.T., H. Guttman, P. Droogers and J. Aerts, 2004: Will we produce sufficient food under climate change? Mekong Basin (South-east Asia). *Climate Change in Contrasting River Basins: Adaptation Strategies for Water, Food, and Environment*, Aerts, J.C.J.H. Aerts and P. Droogers, Eds., CABI Publishing, Wallingford, 157–180.

Hobbins, M.T., J.A. Ramirez, and T.C. Brown, 2004: Trends in pan evaporation and actual evapotranspiration across the conterminous U.S.: Paradoxical or complementary? *Geophys. Res. Lett*., **31**, L13503, doi:10/10029/2004GL019846.

Hock, R., P. Jansson and L. Braun, 2005: Modelling the response of mountain glacier discharge to climate warming. *Global Change and Mountain Regions: A State of Knowledge Overview.* Advances in Global Change Series, U.M. Huber, M.A. Reasoner and H. Bugmann, Eds., Springer, Dordrecht, 243–252.

Hodgkins, G.A., R.W. Dudley and T.G. Huntington, 2003: Changes in the timing of high river flows in New England over the 20th century. *J. Hydrol.*, **278**(1–4), 244–252.

Hodgkins, G.A., R.W. Dudley and T.G. Huntington, 2005: Summer low flows in New England during the 20th century. *J. Am. Water Resourc. Assoc.*, **41**(2), 403–412.

Hoelzle, M., W. Haeberli, M. Dischl and W. Peschke, 2003: Secular glacier mass balances derived from cumulative glacier length

changes. *Global Planet. Change*, **36**, 295–306.

Holden, N.M., A.J. Brereton, R. Fealy and J. Sweeney, 2003: Possible change in Irish climate and its impact on barley and potato yields. *Agric. For. Meteorol.*, **116**, 181–196.

Hood, A. and Co-authors, 2002: Options for Victorian *A*griculture in a "New" Climate: *A Pilot Study Linking Climate Change Scenario Modelling* and *Land Suitability Modelling*. Volume One - *Concepts and Analysis*. 62 pp. Volume Two - *Modelling Outputs*. Department of Natural Resources and Environment – Victoria, Australia, 83 pp.

Hoogwijk, M., 2004: *On the Global and Regional Potential of Renewable Energy Sources.* PhD thesis, Copernicus Institute, Utrecht University, Utrecht, 256 pp.

Hoogwijk, M., A. Faaij, B. Eickhout, B. de Vries and W. Turkenburg, 2005: Potential of biomass energy out to 2100, for four IPCC SRES land-use scenarios. *Biomass and Bioenergy,* **29**, 225-257.

Hooijer, M., F. Klijn, G.B.M. Pedroli and A.G. van Os, 2004: Towards sustainable flood risk management in the Rhine and Meuse river basins: synopsis of the findings of IRMA-SPONGE. *River Res. Appl*., **20**, 343–357.

Hortle, K. and S. Bush, 2003: Consumption in the Lower Mekong Basin as a measure of fish yield. *New Approaches for the Improvement of Inland Capture Fishery Statistics in the Mekong Basin*, T. Clayton, Ed., FAO RAP Publication 2003/01, Bangkok, 76-88.

Howe, A.D., S. Forster, S. Morton, R. Marshall, K.S. Osborn, P. Wright and P.R. Hunter, 2002: *Cryptosporidium* oocysts in a water supply associated with a cryptosporidiosis outbreak. *Emerg. Infect. Dis.*, **8**, 619–624.

Howe, C., R.N. Jones, S. Maheepala and B. Rhodes, 2005: *Implications of Potential Climate Change for Melbourne's Water Resources.* CSIRO Urban Water, CSIRO Atmospheric Research and Melbourne Water, Melbourne, 26 pp.

Hu, D.X., W.Y. Han and S. Zhang, 2001: *Land–Ocean Interaction in Changjiang and Zhujiang Estuaries and Adjacent Sea Areas*. China Ocean Press, Beijing, 218 pp (in Chinese).

Huang, H.J., F. Li, J.Z. Pang, K.T. Le and S.G. Li, 2005: *Land–Ocean Interaction between Huanghe Delta and Bohai Gulf and Yellow Sea*. China Science Press, Beijing, 313 pp (in Chinese).

Huang, Z.G. and Xie X.D., 2000: *Sea Level Changes in Guangdong and its Impacts and Strategies*. Guangdong Science and Technology Press, Guangzhou, 263 pp.

Huffaker, R., 2005: Finding a modern role for the prior appropriation doctrine in the American West. *Water Institutions: Policies, Performance and Prospects,* C. Gopalakrishnan, C. Tortajada and A.K. Biswas, Eds., Springer, Berlin, 187–200.

Hunt, M., 2005: *Flood Reduction Master Plan,* Presented to the City of Peterborough City Council, Peterborough, Canada.

Hunter, P.R., 2003: Climate change and waterborne and vector-borne disease. *J. Appl. Microbiol.*, **94**, 37S–46S.

Huntington, T.G., 2006: Evidence for intensification of the global water cycle: review and synthesis. *J. Hydrol.*, **319**, 83–95.

Hurrell, J.W. and Co-authors, 2003: An overview of the North Atlantic Oscillation. *The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact*, J.W. Hurrell and Co-authors, Eds., Geophysical Monograph 134, American Geophysical Union, Washington, DC, 1–35.

Hurtado-Díaz, M., H. Riojas-Rodríguez, S.J. Rothenberg, H. Gomez-Dantés and E. Cifuentes-García, 2006: Impacto de la variabilidad climática sobre la incidencia del dengue en México. *International Conference on Environmental Epidemiology and Exposure*, Paris.

Huston, M.A. and G. Marland, 2003: Carbon management and biodiversity. *J. Environ. Manage.*, **67**, 77-86.

Hyvarinen,V., 2003: Trend and characteristics of hydrological time series in Finland. *Nordic Hydrol.,* **34**, 71-91.

Iafiazova, R.K., 1997: Climate change impact on mud flow formation in Trans-Ili Alatay mountains. *Hydrometeorology and Ecology*, **3**, 12–23 (in Russian).

ICID (International Commission on Irrigation and Drainage, New Delhi), 2005: *Water Policy Issues of Egypt*, Country Policy Support Programme, 36 pp.

Iglesias, A., T. Estrela and F. Gallart, 2005: Impactos sobre los recursos hídricos. *Evaluación Preliminar de los Impactos en España for Efecto del Cambio Climático*, J.M. Moreno, Ed., Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 303–353.

Inouye, D.W., B. Barr, K.B. Armitage and B.D. Inouye, 2000: Climate change is affecting altitudinal migrants and hibernating species. *P. Natl. Acad. Sci. USA*, **97**(4), 1630–1633.

Instanes, A. and Co-authors, 2005: Infrastructure: buildings, support systems, and industrial facilities. *Arctic Climate Impact Assessment, ACIA*. C. Symon, L. Arris and B. Heal, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 907–944.

IOCI, 2002: *Climate Variability and Change in SouthWest Western Australia.* Indian Ocean Climate Initiative. Perth, Australia, 36 pp. http://www.ioci.org.au/publications/pdf/IOCI_CVCSW02.pdf.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2000: *Land Use, Land-Use Change and Forestry*, R. T. Watson, I. R. Noble, B. Bolin, N. H. Ravindranath, D. J. Verardo and D. J. Dokken, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 375 pp.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2001a: *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C.A. Johnson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 881 pp.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2001b: *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken and K.S. White, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 1032 pp.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2001c: *Climate Change 2001*: *Mitigation. Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, B. Metz, O. Davidson, R. Swart and J. Pan, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 760 pp.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007a: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 996 pp.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007b: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change,* M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 976 pp.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007c: *Climate Change 2007*: *Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, B. Metz, O. Davidson, P.Bosch, R. Dave and L. Meyer, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 851 pp.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007d: *Climate Change 2007: Synthesis Report*. *Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change,* Core Writing Team, R.K Pachauri and A. Reisinger, Eds., IPCC, Geneva, 102 pp.

IRDB, 2000: *Gestión de los Recursos Hídricos de Argentina.*

Elementos de Política para su Desarrollo Sustentable en el siglo XXI. Oficina Regional de América Latina y Caribe. Unidad Departamental de Argentina y los Grupos de Finanzas, Sector Privado y Infraestructura, y Medio Ambiente y Desarrollo Social Sustentable. Informe No. 20.729-AR. August 2000.

Isensee, A.R. and A.M. Sadeghi, 1996: Effect of tillage reversal on herbicide leaching to groundwater. *Soil Sci.,* **161**, 382-389.

Ivanov, B. and T. Maximov, Eds., 2003: *Influence of Climate and Ecological Changes on Permafrost Ecosystems*. Yakutsk Scientific Center Publishing House, Yakutsk, 640 pp.

Ivey, J.L., J. Smithers, R.C. de Loe and R.D. Kreutzwiser, 2004: Community capacity for adaptation to climate-induced water shortages: linking institutional complexity and local actors. *Environ. Manage.*, **33**(1), 36–47.

Izrael, Y.A. and Y.A. Anokhin, 2001: Climate change impacts on Russia. *Integrated Environmental Monitoring*, Nauka, Moscow, 112–127 (in Russian with an English abstract).

Izrael, Y.A., Y.A. Anokhin and A.V. Pavlov, 2002: Permafrost evolution and the modern climate change. *Meteorol. Hydrol.*, **1**, 22–34.

Jackson, R.B., E.G. Jobbágy, R. Avissar, S. Baidya Roy, D. Barrett, C.W. Cook, K.A. Farley, D.C. le Maitre, B.A. McCarl and B.C. Murray, 2005: Trading water for carbon with biological carbon sequestration. *Science*, **310**, 1944-1947.

Jansson, P., R. Hock and T. Schneider, 2003: The concept of glacier storage: a review. *J. Hydrol.,* **282**, 116–129.

Jasper, K., P. Calanca, D. Gyalistras and J. Fuhrer, 2004: Differential impacts of climate change on the hydrology of two alpine rivers. *Clim. Res.*, **26**, 113–125.

Jenkins, B., 2006: Overview of Environment Canterbury water issues. managing drought in a changing climate. *Royal Society of New Zealand Drought Workshop, 10 April 2006*, Christchurch, NZ. http://www.rsnz.org/advisory/nz_climate/workshopApr2006/.

Jeppesen, E., J.P. Jensen and M. Søndergaard, 2003: Climatic warming and regime shifts in lake food webs: some comments. *Limnol. Oceanogr*., **48**, 1346–1349.

Jiménez, B., 2003: Health risks in aquifer recharge with recycle water. *State of the Art Report Health Risk in Aquifer Recharge using Reclaimed Water,* R. Aertgeerts and A. Angelakis, Eds., WHO Regional Office for Europe, 54–172.

Jin, Z.Q., C.L. Shi, D.K. Ge and W. Gao, 2001: Characteristic of climate change during wheat growing season and the orientation to develop wheat in the lower valley of the Yangtze River. *Jiangsu J. Agric. Sci.*, **17**(4), 193–199.

Jiongxin, X., 2003: Sediment flux to the sea as influenced by changing human activities and precipitation: example of the Yellow River, China. *Environ. Manage*, **31**, 328–341.

Johannessen, O.M., Khvorostovsky, K., Miles, M.W. and Bobylev, L.P., 2005: Recent ice-sheet growth in the interior of Greenland. *Science*, **310**(5750), 1013–1016.

Johnson, W.C., B.V. Millett, T. Gilmanov, R.A. Voldseth, G.R. Guntenspergen and D.E. Naugle, 2005: Vulnerability of northern prairie wetlands to climate change. *BioScience*, **55**(10), 863–872.

Jones, B. and D. Scott, 2006: Implications of climate change to Ontario's provincial parks. *Leisure*, **30** (1), 233-261.

Jones, J.A. and G.E. Grant, 1996: Peak flow response to clear-cutting and roads in small and large basins, western Cascades, Oregon. *Water Resourc. Res.*, **32**, 959-974.

Jones, M.L., B.J. Shuter, Y.M. Zhao and J.D. Stockwell, 2006: Forecasting effects of climate change on Great Lakes fisheries: models that link habitat supply to population dynamics can help. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **63**, 457-468.

Jones, P.D., T.J. Osborn and K.R. Briffa, 2003a: Pressure-based measures of the North Atlantic Oscillation (NAO): A comparison and an assessment of changes in the strength of the NAO and in its influence on surface climate parameters. *The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact*, Hurrell, J.W. and Co-authors, Eds., Geophysical Monograph 134, American Geophysical Union, Washington, DC, 51–62.

Jones, P.D., D.H. Lister, K.W. Jaggard and J.D. Pidgeon, 2003b: Future climate impact on the productivity of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in Europe. *Climatic Change*, **58**, 93–108.

Jones, R. and P. Durack, 2005: *Estimating the Impacts of Climate Change on Victoria's Runoff using a Hydrological Sensitivity Model.* Consultancy Report for the Victorian Department of Sustainability and Environment, 50 pp.

Jones, R.N. and C.M. Page, 2001: Assessing the risk of climate change on the water resources of the Macquarie River catchment. *Integrating Models for Natural Resources Management Across Disciplines: Issues and Scales*, F. Ghassemi, P.H. Whetton, R. Little and M. Littleboy, Eds., Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, Canberra, 673–678.

Jordan, E., 1991: *Die gletscher der bolivianischen Anden: eine photogrammetrisch-kartographische Bestandsaufnahme der Gletscher Boliviens als Grundlage für klimatische Deutungen und Potential für die wirtschaftliche Nutzung (The Glaciers of the Bolivian Andes, A Photogrammetric-Cartographical Inventory of the Bolivian Glaciers as a Basis for Climatic Interpretation and Potential for Economic Use)*. Erdwissenschaftliche Forschung 23, Franz Steiner Verlag, Stuttgart, 401 pp.

Jorgenson, M.T., C.H. Racine, J.C. Walters and T.E. Osterkamp, 2001: Permafrost degradation and ecological changes associated with a warming climate in central Alaska. *Climatic Change*, **48**(4), 551–571.

Justic, D., N.N. Rabalais and R.E. Turner, 2005: Coupling between climate variability and coastal eutrophication: evidence and outlook for the northern Gulf of Mexico. *J. Sea Res.*, **54**(1), 25–35.

Kabat, P., R.E. Schulze, M.E. Hellmuth and J.A. Veraart, Eds., 2002: *Coping with Impacts of Climate Variability and Climate Change in Water Management: a Scoping Paper.* DWC Report No. DWCSSO-01(2002), International Secretariat of the Dialogue on Water and Climate, Wageningen.

Kajiwara, M., T. Oki and J. Matsumoto, 2003: *Inter-annual Variability of the Frequency of Severe Rainfall in the Past 100 Years over Japan*. Extended abstract for a bi-annual meeting of the Meteorological Society of Japan (in Japanese).

Kanai, S., T. Oki and A. Kashida, 2004: Changes in hourly precipitation at Tokyo from 1890 to 1999. *J. Meteor. Soc. Japan*, **82**, 241–247.

Kane, R.P., 2002: Precipitation anomalies in southern America associated with a finer classification of El Niño and La Niña events. *Int. J. Climatol.*, **22**, 357-373.

Kang, G., B.S. Ramakrishna, J. Daniel, M. Mathan and V. Mathan, 2001: Epidemiological and laboratory investigations of outbreaks of diarrhoea in rural South India: implications for control of disease. *Epidemiol. Infect.*, **127**, 107.

Karst-Riddoch, T.L., M.F.J. Pisaric and J.P. Smol, 2005: Diatom responses to 20th century climate-related environmental changes in high-elevation mountain lakes of the northern Canadian Cordillera. *J. Paleolimnol.*, **33**, 265-282.

Kaser, G. and H. Osmaston, 2002: *Tropical Glaciers*. UNESCO International Hydrological Series. Cambridge University Press, Cambridge, 207 pp.

Kaser, G. and Co-authors, 2003: The impact of glaciers on the runoff and the reconstruction of mass balance history from hydrological data in the tropical Cordillera Blanca, Peru. *J. Hydrol.*, **282**, 130–144.

Kashyap, A., 2004: Water governance: learning by developing adaptive capacity to incorporate climate variability and change. *Water Sci. Technol.*, **19**(7), 141–146.

Kaspar, F., 2003: *Entwicklung und Unsicherheitsanalyse eines globalen hydrologischen (Model Development and Uncertainty Analysis of*

a Global Hydrological Model). University of Kassel, Kassel, PhD thesis.

Kaste, Ø., K. Rankinen and A. Leipistö, 2004: Modelling impacts of climate and deposition changes on nitrogen fluxes in northern catchments of Norway and Finland. *Hydrol. Earth Syst. Sci*., **8**, 778–792.

Kay, A., V. Bell and H. Davies, 2006a: *Model Quality and Uncertainty for Climate Change Impact*. Centre for Ecology and Hydrology, Wallingford.

Kay, A., N.A. Reynard and R.N. Jones, 2006b: RCM rainfall for UK flood frequency estimation. II. Climate change results. *J. Hydrol.*, **318**, 163–172.

Keddy, P.A., 2000: *Wetland Ecology: Principles and Conservation*. Cambridge University Press, Cambridge, 614 pp.

Keller, F., S. Goyette and M. Beniston, 2005: Sensitivity analysis of snow cover to climate change scenarios and their impact on plant habitats in alpine terrain. *Climatic Change*, **72**(3), 299–319.

Kergoat, L., S. Lafont, H. Douville, B. Berthelot, G. Dedieu, S. Planton and J.-F. Royer, 2002: Impact of doubled CO_2 on global-scale leaf area index and evapotranspiration: conflicting stomatal conductance and LAI responses. *J. Geophys. Res.*, **107**(D24), 4808.

Kerr, R., 2000: A North Atlantic climate pacemaker for the centuries. *Science*, **288**, 1984–1985.

Kerr, S.A., 2005: What is small island sustainable development about? *Ocean Coast. Manage.*, **48**, 503–524.

Khan, T.M.A., O.P. Singh and M.S. Rahman, 2000: Recent sea level and sea surface temperature trends along the Bangladesh coast in relation to the frequency of intense cyclones. *Marine Geodesy*, **23**(2), 103–116.

Kharkina, M.A., 2004: Natural resources in towns. *Energia*, **2**, 44–50.

Kirschbaum, M. and A. Fischlin, 1996: Climate change impacts on forests. *Climate Change 1995: Impacts; Adaptations and Mitigation of Climate Change. Scientific-Technical Analysis. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change.*, R. Watson, M.C. Zinyowera and R.H. Moss, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 95-129.

Kirshen, P., M. McCluskey, R. Vogel and K. Strzepek, 2005a: Global analysis of changes in water supply yields and costs under climate change: a case study in China. *Climatic Change*, **68**(3), 303–330.

Kirshen, P., M. Ruth and W. Anderson, 2005b: Responding to climate change in Metropolitan Boston: the role of adaptation. *New Engl. J. Public Pol.*, **20**(2), 89–104.

Kirshen, P., M. Ruth and W.Anderson, 2006: Climate's long-term impacts on urban infrastructures and services: the case of Metro Boston. *Regional Climate Change and Variability: Impacts and Responses*, M. Ruth, K. Donaghy and P.H. Kirshen, Eds., Edward Elgar Publishers, Cheltenham, 190–252.

Kishor, P.B.K., Z. Hong, G. Miao, C. Hu and D. Verma, 1995: Overexpression of Δ1-pyrroline-5-carboxylase synthase increases praline production and confers osmotolerance in transgenic plants. *J. Plant Physiol.*, **108**, 1387-1394.

Kistemann, T., T. Classen, C. Koch, F. Dagendorf, R. Fischeder, J. Gebel, V. Vacata and M. Exner, 2002: Microbial load of drinking water reservoir tributaries during extreme rainfall and runoff. *Appl. Environ. Microbiol.*, **68**(5), 2188–2197,

Kjellström, E., 2004: Recent and future signatures of climate change in Europe. *Ambio*, **23**, 193-198.

Klanderud, K. and H.J.B. Birks, 2003: Recent increases in species richness and shifts in altitudinal distributions of Norwegian mountain plants. *Holocene,* **13**(1), 1.

Klein, R.J., T.J. Nicholls, and J. Thomalla, 2003: The resilience of coastal mega cities to weather-related hazards in building safer cities*: The Future of Climate Change*, A. Kreimer, M. Arnold and A. Karlin, Eds., World Bank, Washington, DC, 101–121.

Klein Tank, A.M.G., J.B. Wijngaard, G.P. Konnen, R. Bohm, G. Demaree, A. Gocheva, M. Mileta, S. Pashiardis, L. Hejkrlik, C. Kern-Hansen, R. Heino, P. Bessemoulin, G. Muller-Westermeier, M. Tzanakou, S. Szalai, T. Palsdottir, D. Fitzgerald, S. Rubin, M. Capaldo, M. Maugeri, A. Leitass, A. Bukantis, R. Aberfeld, A.F.V. VanEngelen, E. Forland, M. Mietus, F. Coelho, C. Mares, V. Razuvaev, E. Nieplova, T. Cegnar, J.A. López, B. Dahlstrom, A. Moberg, W. Kirchhofer, A. Ceylan, O. Pachaliuk, L.V. Alexander and P. Petrovic, 2002: Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment. *Int. J. Climatol*., **22**, 1441–1453.

Klein Tank, A.M.G. and G.P. Können, 2003: Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946–1999. *J. Clim.*, **16**, 3665–3680.

Klijn, F., J. Dijkman and W. Silva, 2001: *Room for the Rhine in the Netherlands. Summary of Research Results*. RIZA Report 2001.033, Rijkswaterstaat, Utrecht.

Klijn, F., M. van Buuren and S.A.M. van Rooij, 2004: Flood-risk management strategies for an uncertain future: living with Rhine river floods in the Netherlands? *Ambio*, **33**(3), 141–147.

Knight, C.G., I. Raev, and M. P. Staneva, Eds., 2004: *Drought in Bulgaria: A Contemporary Analog of Climate Change*. Ashgate, Aldershot, Hampshire 336 pp.

Knight, J. and Co-authors, 2005: a signature of persistent natural thermohaline circulation cycles in observed climate. *Geophys. Res. Lett*., **32**, L20708, doi:1029/2005GL024233.

Knowles, N., M.D. Dettinger and D.R. Cayan, 2006: Trends in snowfall versus rainfall for the western United States, 1949–2004. *J. Climate*, **18**, 1136–1155.

Ko, A., R.M. Galvão, D. Ribeiro, C.M. Dourado, W.D. Johnson Jr. and L.W. Riley, 1999: Urban epidemic of severe leptospirosis in Brazil, Salvador. Leptospirosis Study Group. *Lancet*, **354**, 820-825.

Kobayashi, K., 1987: Hydrologic effects of rehabilitation treatment for bare mountain slops. *Bull. Forestry Forest Products Res. Instit.*, **300**, 151-185.

Koga, N., T. Sawamoto and H. Tsuruta 2006: Life cycle inventory-based analysis of greenhouse gas emissions from arable land farming systems in Hokkaido, northern Japan. *Soil Science and Plant Nutrition,* **52**, 564-574.

Korhola, A. and Co-authors, 2002: A multi-proxy analysis of climate impacts on recent ontogeny of subarctic Lake Sannajärvi in Finnish Lapland. *J. Paleolimnol.*, **1**, 59–77.

Körner, C., 1999: *Alpine Plant Life: Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems*. Springer, Berlin, 343 pp.

Kosek, M., C. Bern and R.L. Guerrent, 2003: The global burden of diarrhoeal disease, as estimated from studies published between 1992 and 2000. *Bull. World Health Organ.*, **81**, 197-204.

Kovats, R.S. and C. Tirado, 2006: Climate, weather and enteric disease. *Climate Change and Adaptation Strategies for Human Health,* B. Menne and K.L. Ebi, Eds., Springer, Darmstadt, 269–295.

Kovats, R.S., Campbell-Lendrum D. and Matthies, F., 2005: Climate change and human health: estimating avoidable deaths and disease. *Risk Analysis*, **25**(6), 1409–1418.

Kramer, R., D. Richter, S. Pattanayak and N. Sharma, 1997: Economic and ecological analysis of watershed protection in eastern Madagascar. *J. Environ. Manage.,* **49**, 277-295.

Krauss, K.W., J.L. Chambers, J.A. Allen, D.M. Soileau Jr and A.S. DeBosier, 2000: Growth and nutrition of baldcypress families planted under varying salinity regimes in Louisiana, USA. *J. Coast. Res.*, **16**, 153–163.

Kriticos, D.J., T. Yonow and R.C. McFadyen, 2005: The potential distribution of *Chromolaena odorata* (Sim weed) in relation to climate. *Weed Research*, **45**, 246–254

Kron, W. and G. Berz, 2007: Flood disasters and climate change: trends and options – a (re-)insurer's view. *Global Change: Enough Water for All?* J.L. Lozán, H. Graßl, P. Hupfer, L. Menzel and C.-D. Schönwiese, Eds., University of Hamburg, Hamburg, 268-273.

Krüger, A., U. Ulbrich and P. Speth, 2002: Groundwater recharge in Northrhine-Westfalia by a statistical model for greenhouse gas scenarios. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, **26**, 853–861.

Krysanova, V. and F. Wechsung, 2002: Impact of climate change and higher CO_2 on hydrological processes and crop productivity in the state of Brandenburg, Germany. *Climatic Change: Implications for the Hydrological Cycle and for Water Management*, M. Beniston, Ed., Kluwer, Dordrecht, 271–300.

Krysanova, V., F. Hattermann and A. Habeck, 2005: Expected changes in water resources availability and water quality with respect to climate change in the Elbe River basin (Germany). *Nordic Hydrol.*, **36**(4–5), 321–333.

Kumagai, M., K. Ishikawa and J. Chunmeng, 2003: Dynamics and biogeochemical significance of the physical environment in Lake Biwa. *Lakes Reserv. Res. Manage.*, **7**, 345-348.

Kumar, P.K., 2006: Potential vulnerability implications of sea level rise for the coastal zones of Cochin, southwest coast of India. *Environ. Monitor. Assess.*, **123**, 333–344.

Kundzewicz, Z.W., U. Ulbrich, T. Brücher, D. Graczyk, A. Krüger, G. Leckebusch, L. Menzel, I. Pińskwar, M. Radziejewski and M. Szwed, 2005: Summer floods in Central Europe climate change track? *Nat. Hazards*, **36**(1/2), 165–189.

Kundzewicz, Z.W., M. Radziejewski and I. Pińskwar, 2006: Precipitation extremes in the changing climate of Europe. *Clim. Res,* **31**, 51–58.

Kunkel, K.E. and Co-authors, 2003: Temporal variations of extreme precipitation events in the United States: 1895–2000. *Geophys. Res. Lett*., **30**, 1900, doi:10.1029/2003GL018052.

Kupek, E., M.C. de Sousa Santos Faversani and J.M. de Souza Philippi, 2000: The relationship between rainfall and human leptospirosis in Florianópolis, Brazil, 1991–1996. *Braz. J. Infect. Dis.*, **4**, 131-134.

La Nación, 2002: Buenos Aires, 13 March.

Labat, D. and Co-authors, 2004: Evidence for global runoff increase related to climate warming. *Adv. Water Resources*, **27**, 631–642.

Lal, M., 2002: *Global climate change: India's monsoon and its variability*, Final Report under "Country Studies Vulnerability and Adaptation" Work Assignment with Stratus Consulting's Contract of the U.S. Environmental Protection Agency, September 2002, 58 pp.

Lal, R., 2003: Offsetting global CO_2 emissions by restoration of degraded soils and intensification of world agriculture and forestry. *Land Degradation and Dev*., **14**, 309–322.

Lal, R., 2004: Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science,* **304**, 1623-1627.

Lal, R., J.M. Kimble and R.F. Follett, 1999: Agricultural practices and policies for carbon sequestration in soil. *Recommendation and Conclusions of the International Symposium,* 19-23 July 1999, Columbus, OH, 12 pp.

Lama, J.R., C.R. Seas, R. León-Barúa, E. Gotuzzo and R.B. Sack, 2004: Environmental temperature, cholera, and acute diarrhoea in adults in Lima, Peru. *J. Health Popul. Nutr*., **22**, 399–403.

Larsen, C.F., R.J. Motyka, J.T. Freymueller, K.A. Echelmeyer and E.R. Ivins, 2005: Rapid uplift of southern Alaska caused by recent ice loss. *Geophys. J. Int.*, **158**, 1118-1133.

Laternser, M. and M. Schneebeli, 2003: Long-term snow climate trends of the Swiss Alps (1931–99). *Int. J. Climatol*., **23**, 733–750.

Latif, M., 2001: Tropical Pacific/Atlantic Ocean interactions at multi-decadal time scales. *Geophys. Res. Lett*., **28**, 539–542.

Le Maitre, D.C. and D.B. Versfeld, 1997: Forest evaporation models: relationships between stand growth and evaporation. *J. Hydrol.*, **193**, 240-257.

Le Treut, H., R. Somerville, U. Cubasch, Y. Ding, C. Mauritzen, A. Mokssit, T. Peterson and M. Prather, 2007: Historical overview of climate change science. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 93-128.

Lean, J., C.B. Buntoon, C.A. Nobre and P.R. Rowntree, 1996: The simulated impact of Amazonian deforestation on climate using measured ABRACOS vegetation characteristics. *Amazonian Deforestation and Climate,* J.H.C Gash, C.A. Nobre, J.M. Roberts and T.L. Victoria, Eds., John Wiley and Sons, Chicester, 549-576.

Leary, N., J. Adejuwon, W. Bailey, V. Barros, M. Caffera, S. Chinvanno, C. Conde, A. De Comarmond, A. De Sherbinin, T. Downing, H. Eakin, A. Nyong, M. Opondo, B. Osman, R. Payet, F. Pulhin, J. Pulhin, J. Ratnasiri, E. Sanjak, G. von Maltitz, M. Wehbe, Y. Yin and G. Ziervogel, 2006: For whom the bell tolls: vulnerabilities in a changing climate. *AIACC Working Paper No.* **30**, International START Secretariat, Washington, DC, 31 pp.

Leemans, R. and A. Kleidon, 2002: Regional and global assessment of the dimensions of desertification. *Global Desertification: Do Humans Cause Deserts?* J.F. Reynold and D.S. Smith, Eds., Dahlem University Press, Berlin, 215-232.

Legates, D.R., H.F. Lins and G.J. McCabe, 2005: Comments on "Evidence for global runoff increase related to climate warming" by Labat et al. *Adv. Water Resour.*, **28**, 1310-1315.

Lehner, B., G. Czisch and S. Vassolo, 2005: The impact of global change on the hydropower potential of Europe: a model-based analysis. *Energ. Policy*, **33**, 839–855.

Lehner, B., P. Döll, J. Alcamo, T. Henrichs and F. Kaspar, 2006: Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: a continental, integrated analysis. *Climatic Change*, **75**, 273–299.

Leipprand, A. and D. Gerten, 2006: Global effects of doubled atmospheric CO_2 content on evapotranspiration, soil moisture and runoff under potential natural vegetation. *Hydrol. Sci. J.*, **51**, 171–185.

Lemmen, D. S. and F. J. Warren, Eds., 2004: *Climate Change Impacts and Adaptation: A Canadian Perspective*. Climate Change Impacts and Adaptation Directorate, Natural Resources Canada, Ottawa, Canada, 201 pp, http://adaptation.nrcan.gc.ca/perspective_e.asp.

Lenderink, G., A. vanUlden, B. van den Hurk and E. van Meijgaard, 2007: Summertime inter-annual temperature variability in an ensemble of regional model simulations: analysis of the surface energy budget. *Climatic Change*, **81**, S233-S247.

Lewsey, C., Gonzalo, C. and Kruse, E., 2004: Assessing climate change impacts on coastal infrastructure in the Eastern Caribbean. *Marine Policy*, **28**, 393–409.

Li, C., S. Frolking and K. Butterbach-Bahl, 2005: Carbon sequestration in arable soils is likely to increase nitrous oxide emissions, offsetting reductions in climate radiative forcing. *Climatic Change,* **72**, 321-338.

Li, C.X., D.D. Fan, B. Deng and V. Korotaev, 2004: The coasts of China and issues of sea level rise. *J. Coast. Res.*, **43**, 36–47.

Liebig, M.A., J.A. Morgan, J.D. Reeder, B.H. Ellert, H.T. Gollany and G.E. Schuman, 2005: Greenhouse gas contributions and mitigation potential of agricultural practices in northwestern USA and western Canada. *Soil and Tillage Res.,* **83**, 25-52.

Lincoln Environmental, 2000: *Information on Water Allocation in New Zealand.* Report No. 4375/1, prepared for Ministry for the Environment by Lincoln Ventures Ltd, Canterbury, New Zealand. http://www.mfe.govt.nz/publications/water/water-allocation-apr00.pdf.

Lindstrom, G. and S. Bergstrom, 2004: Runoff trends in Sweden

1807–2002. *Hydrol. Sci. J.*, **49**(1), 69–83.

Liniger, H. and R. Weingartner, 1998: Mountains and freshwater supply. *Unasylva,* **195**(49), 39-46.

Lipp, E. and Co-authors, 2001: The effects of seasonal variability and weather on microbial faecal pollution and enteric pathogens in a subtropical estuary. *Estuaries*, **24**, 226–276.

Liu, B.H. and Co-authors, 2004: A spatial analysis of pan evaporation trends in China, 1955–2000. *J. Geophys. Res.*, **109**, D15102, doi:10.1029/2004JD004511.

Liu, C.Z., 2002: Suggestion on water resources in China corresponding with global climate change. *China Water Resources*, **2**, 36–37.

Liu, S.G., Li, C.X., Ding, J., Li, X.Z. and Ivanov, V.V., 2001: The rough balance of progradation and erosion of the Yellow River delta and its geological meaning. *Marine Geology and Quaternary Geology*, **21**(4), 13–17.

Liu, Y.B. and Y.N. Chen, 2006: Impact of population growth and land-use change on water resources and ecosystems of the arid Tarim River Basin in western China. *Int. J. Sust. Dev. World*, **13**, 295-305.

Llasat, M.C., 2001: An objective classification of rainfall intensity in the Northeast of Spain. *Int. J. Climatol.*, **21**, 1385–1400.

Lofgren, B., A. Clites, R. Assel, A. Eberhardt and C. Luukkonen, 2002: Evaluation of potential impacts on Great Lakes water resources based on climate scenarios of two GCMs. *J. Great Lakes Res.*, **28**(4), 537–554.

London Climate Change Partnership, 2004: *London's Warming*: *A Climate Change Impacts in London Evaluation Study*, London, 293 pp.

LOSLR (International Lake Ontario–St. Lawrence River Study Board), 2006: *Options for Managing Lake Ontario and St. Lawrence River Water Levels and Flows.* Final Report to the International Joint Commission. http://www.losl.org/reports/finalreport-e.html.

Luoto, M., R.K. Heikkinen and T.R. Carter, 2004: Loss of palsa mires in Europe and biological consequences. *Environ. Conserv.*, **31**, 30–37.

MacDonald, R., T. Harner, J. Fyfe, H. Loeng and T. Weingartner, 2003: Influence of Global Change on Contaminant Pathways to, within and from the Arctic. *ANAO Assessment 2002.* Arctic Monitoring and Assessment Programme. Oslo, 65 pp.

Machado, P.L.O.A. and C.A. Silva, 2001: Soil management under notillage systems in the tropics with special reference to Brazil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, **61**, 119-130.

Madari, B., P.L.O.A. Machado, E. Torres, A.G. Andrade and L.I.O. Valencia, 2005: No tillage and crop rotation effects on soil aggregation and organic carbon in a Fhodic Ferralsol from southern Brazil. *Soil and Tillage Research,* **80**, 185-200.

Magadza, C., 2000: Climate change impacts and human settlements in Africa: prospects for adaptation. *Environ. Monit. Assess.*, **61**(1), 193–205.

Magrin, G.O., M.I. Travasso and G.R. Rodríguez, 2005: Changes in climate and crops production during the 20th century in Argentina. *Climatic Change*, **72**, 229–249.

Manton, M.J., P.M. Della-Marta, M.R. Haylock, K.J. Hennessy, N. Nicholls, L.E. Chambers, D.A. Collins, G. Daw, A. Finet, D. Gunawan, K. Inape, H. Isobe, T.S. Kestin, P. Lefale, C.H. Leyu, T. Lwin, L.Maitrepierre, N. Ouprasitwong, C.M. Page, J. Pahalad, N. Plummer, M.J. Salinger, R. Suppiah, V.L. Tran, B. Trewin, I. Tibig and D. Lee, 2001: Trends in extreme daily rainfall and temperature in Southeast Asia and the South Pacific; 1961–1998, *Int. J. Climatol*., **21**, 269–284.

Manuel, J., 2006: In Katrina's wake. *Environ. Health Persp.*, **114**, A32-A39.

Marengo, J.A., 2004: Interdecadal variability and trends of rainfall variability in the Amazon basin. *Theor. Appl. Climatol.*, **78**, 79-96.

Mark, B.G. and G.O. Seltzer, 2003: Tropical glacier meltwater contribution to stream discharge: a case study in the Cordillera Blanca, Perú. *J. Glaciol.*, **49**, 271-281.

Marland, G., B.A. McCarl and U.A. Schneider, 2001: Soil carbon: policy and economics. *Climatic Change,* **51**, 101-117.

Marland, G., T.O. West, B. Schlamadinger and L. Canella, 2003: Managing soil organic carbon in agriculture: the net effect on greenhouse gas emissions. *Tellus*, **55B**, 613-621.

Martin, D., Belanger, D., Gosselin, P., Brazeau, J., Furgal, C. and Dery, S., 2005: *Climate change, Drinking Water, and Human Health in Nunavik: Adaptation Strategies.* Final Report submitted to the Canadian Climate Change Action Fund, Natural Resources Canada. CHUL Research Institute, Quebec, 111 pp.

Martin, E. and P. Etchevers, 2005: Impact of climatic change on snow cover and snow hydrology in the French Alps. *Global Change and Mountain Regions (A State of Knowledge Overview),* U.M. Huber, H. Bugmann, and M.A. Reasoner, Eds., Springer, New York, 235–242.

Mata, L.J, M. Campos, E. Basso, R. Compagnucci, P. Fearnside, G. Magri, J. Marengo, A.R. Moreno, A. Suaez, S. Solman, A. Villamizar and L. Villers, 2001: Latin America. *Climate Change 2001, Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. *Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change,* J. J McCarthy, O. Canziani, N.Leary, D. Dokken and K.White, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 691–734.

Maya, C., N. Beltran, B. Jiminez and P. Bonilla, 2003: Evaluation of the UV disinfection process in bacteria and amphizoic amoebeae inactivation. *Water Science and Technology*, **3**(4), 285–291.

Mazhitova, G., N. Karstkarel, N. Oberman, V. Romanovsky and P. Kuhty, 2004: Permafrost and infrastructure in the Usa Basin (Northern European Russia): possible impacts of global warming. *Ambio*, **3**, 289–294.

McBean, G. and Co-authors, 2005: Arctic Climate: past and present. *Arctic Climate Impacts Assessment (ACIA)*, C. Symon, L. Arris and B. Heal, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 21–60.

McCabe, G.J., M. Palecki and J.L. Betancourt, 2004: Pacific and Atlantic Ocean influences on multi-decadal drought frequency in the United States. *P. Natl. Acad. Sci. USA*, **101**, 4136–4141.

McClelland, J.W., R.M. Holmes and B.J. Peterson, 2004: Increasing river discharge in the Eurasian Arctic: consideration of dams, permafrost thaw, and fires as potential agents of change. *J. Geophys. Res.-Atmos.*, **109,** D18102, doi:10.1029/2004JD004583.

McKerchar, A.I. and R.D. Henderson, 2003: Shifts in flood and low-flow regimes in New Zealand due to inter-decadal climate variations. *Hydrol. Sci. J.*, **48**(4), 637–654.

McMichael, A. and Co-authors, Eds., 2003: *Climate Change and Human Health: Risks and Responses*. WHO, Geneva, 322 pp.

McPeak, J.G. and C.B. Barrett, 2001: Differential risk exposure and stochastic poverty traps among East African pastoralists. *Am. J. Agr. Econ.*, **83**, 674-679.

MDBC, 2006: *Basin Statistics*. Murray Darling Basin Commission. http://www.mdbc.gov.au/about/basin_statistics.

Meehl, G.A. and C. Tebaldi, 2004: More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. *Science*, **305**, 994–997.

Meher-Homji, V.M., 1992: Probable impact of deforestation on hydrological process. *Tropical Forests and Climate,* N. Myers, Ed., Springer, Berlin, 163-174.

Melbourne Water, 2006: Eastern Treatment plant: treating sewage from Melbourne's south-eastern and eastern suburbs. http://www.melbournewater.com.au/content/sewerage/eastern_treatment_plant/eastern_treatment_plant.asp?bhcp=1.

Melnikov B.V. and A. L. Revson, 2003: Remote sensing of northern regions of West Siberia. *Cryosphere of Earth*, **4**, 37–48 (in Russian).

Mendelsohn, R., M. Morrison, M. Schlesinger and N. Andronova,

2000a: Country-specific market impacts from climate change, *Climatic Change,* **45**, 553–569.

Mendelsohn, R., A. Dinar and A. Dalfelt, 2000b: *Climate change impacts on African agriculture.* Paper prepared for the World Bank, Washington, DC, 25 pp

Menzel, A., G. Jakobi, R. Ahas, H. Scheifinger and N. Estrella, 2003: Variations of the climatological growing season (1951-2000) in Germany compared with other countries. *Int. J. Climatol.*, **23**, 793-812.

Menzel, L. and G. Bürger,, 2002: Climate change scenarios and runoff response in the Mulde catchment (Southern Elbe, Germany). *J. Hydrol.*, **267**(1–2), 53–64.

Mercier, F., A. Cazenave and C. Maheu, 2002: Interannual lake level fluctuations (1993–1999) in Africa from Topex/Poseidon: connections with ocean-atmosphere interactions over the Indian Ocean, *Global Planet. Change*, **32**, 141–163.

Metz, B., O. Davidson, H. de Coninck, M. Loos and L. Meyer, Eds., 2005: *Carbon Dioxide Capture and Storage*. Cambridge University Press, Cambridge, 431 pp.

Middelkoop, H. and J.C.J. Kwadijk, 2001: Towards an integrated assessment of the implications of global change for water management: the Rhine experience. *Phys Chem Earth, Part B Hydrology, Oceans and Atmosphere*, **26**(7–8), 553–560.

Middelkoop, H., K. Daamen, D. Gellens, W. Grabs, J.C.J. Kwadijk, H. Lang, B.W.A.H. Parmet, B. Schädler, J. Schulla and K. Wilke, 2001: Impact of climate change on hydrological regimes and water resources management in the Rhine basin. *Climatic Change*, **49**, 105–128.

Miettinen, I., O. Zacheus, C. von Bonsdorff and T. Vartiainen, 2001: Waterborne epidemics in Finland in 1998–1999. *Water Sci. Technol.*, **43**, 67–71.

Miles, E.L., A.K. Snover, A. Hamlet, B. Callahan and D. Fluharty, 2000: Pacific Northwest Regional Assessment: the impacts of climate variability and climate change on the water resources of the Columbia River Basin. *J. Amer. Water Resour. Assoc.*, **36**, 399-420.

Mileti, D., 1999: *Disasters by Design: A Reassessment of Natural Hazards in the United States*. National Academy Press, Washington, DC, 376 pp.

Millennium Ecosystem Assessment, 2005a: *Ecosystems and Human Well-being: Volume 2 – Scenarios*. Island Press, Washington, DC, 515 pp.

Millennium Ecosystem Assessment, 2005b: *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC, 155 pp.

Miller, K.A. and D. Yates, 2006: *Climate Change and Water Resources: A Primer for Municipal Water Providers*. AWWA Research Foundation, Denver, CO, 83 pp.

Miller, K.A., S.L. Rhodes and L.J.MacDonnell, 1997: Water allocation in a changing climate: institutions and adaptation. *Climatic Change*, **35**, 157–177.

Miller, M.G. and A. Veltman, 2004: Proposed Canterbury Natural Resources Plan for river and groundwater allocation policies and the implications for irrigation dependent farming in Canterbury. *Proc. New Zealand Grassland Association*, **66**, 11–23.

Mills, E., 2005: Insurance in a climate of change. *Science*, **309**, 1040–1044.

Mills, E. and E. Lecomte, 2006: *From Risk to Opportunity: How Insurers Can Proactively and Profitably Manage Climate Change*. Ceres, Boston, MA, 42 pp.

Mills, P.F., 1994: The agricultural potential of northwestern Canada and Alaska and the impact of climatic change. *Arctic*, **47**(2), 115–123.

Milly, P.C.D., R.T. Wetherald, K.A. Dunne and T.L. Delworth, 2002: Increasing risk of great floods in a changing climate. *Nature*, **415**, 514–517.

Milly, P.C.D., K.A. Dunne and A.V. Vecchia, 2005: Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. *Nature*, **438**(7066), 347–350.

Mimikou, M., E. Blatas, E. Varanaou and K. Pantazis, 2000: Regional impacts of climate change on water resources quantity and quality indicators. *J. Hydrol.*, **234**, 95-109.

Min, S.K., W.T. Kwon, E.H. Park and Y. Choi, 2003: Spatial and temporal comparisons of droughts over Korea with East Asia. *Int. J. Climatol.*, **23**, 223–233.

Ministry for the Environment, 2004: *Climate Effects and Impacts Assessment: a Guidance Manual for Local Government in New Zealand.* Prepared by David Wratt, Brett Mullan and Jim Salinger (NIWA), Sylvia Allen and Tania Morgan (MWH New Zealand Ltd.) and Gavun Kenny (Earthwise Consulting). Ministry for the Environment Report ME 513, Wellington, 153 pp.

Mirza, M.M.Q., 2002: Global warming and changes in the probability of occurrence of floods in Bangladesh and implications. *Global Environ. Chang.*, **12**, 127–138.

Mirza, M.M.Q., 2003: Three recent extreme floods in Bangladesh: a hydro-meteorological analysis. *Nat. Hazards*, **28**, 35–64.

Mirza, M.M.Q., 2004: *Climate Change and the Canadian Energy Sector: Report on Vulnerability and Adaptation.* Adaptation and Impacts Research Group, Atmospheric Climate Science Directorate, Meteorological Service of Canada Downsview, Ontario, 52 pp.

Mirza, M.M.Q., R.A. Warrick and N.J. Ericksen, 2003: The implications of climate change on floods of the Ganges, Brahmaputra and Meghna Rivers in Bangladesh. *Climatic Change*, **57**, 287–318.

Mitchell, T.D. and P.D. Jones, 2005: An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. *Int. J. Climatol.*, **25**, 693–712.

Mitchell, W., J. Chittleborough, B. Ronai and G.W. Lennon, 2001: Sea level rise in Australia and the Pacific. *Proc. Science Component. Linking Science and Policy.* Pacific Islands Conference on Climate Change, Climate Variability and Sea Level Rise. 3-7 April 2000, Rarotonga, Cook Islands, National Tidal Facility, The Flinders University of South Australia, Adelaide, 47–58.

Moench, M., A. Dixit, S. Janakarajan, M.S. Rathore and S. Mudrakartha, 2003: *The Fluid Mosaic: Water Governance in the Context of Variability, Uncertainty and Change – A Synthesis Paper*. Nepal Water Conservation Foundation, Kathmandu, 71 pp.

Mohseni, O., H.G. Stefan and J.G. Eaton, 2003: Global warming and potential changes in fish habitat in U.S. streams. *Climatic Change*, **59**, 389-409.

Mölg, T., D.R. Hardy, N. Cullen and G. Kaser, 2005: Tropical glaciers in the context of climate change and society: focus on Kilimanjaro (East Africa). *Contribution to Mountain Glaciers and Society Workshop*. California University Press, Wengen, 28 pp.

Monson, R.K., D.L. Lipson, S.P. Burns, A.A. Turnipseed, A.C. Delany, M.W. Williams and S.K. Schmidt, 2006: Winter forest soil respiration controlled by climate and microbial community composition. *Nature*, **439**(7077), 711–714.

Monteny, G.-J., A. Bannink and D. Chadwick, 2006: Greenhouse gas abatement strategies for animal husbandry. *Agri. Ecosys. Environ.,* **112**, 163-170.

Mool, P.K., D. Wangda and S.R. Bajracharya, 2001: *Inventory of Glaciers, Glacial Lakes and Glacial Lake Outburst Floods: Monitoring and Early Warning Systems in the Hindu Kush-Himalayan Region: Bhutan*. ICIMOD, Kathmandu, 227 pp.

Moonen, A.C., L. Ercoli, M. Mariotti and A. Masoni, 2002: Climate change in Italy indicated by agrometeorological indices over 122 years. *Agr. Forest Meteorol.*, **111**, 13-27.

Mooney, H., A. Cropper and W. Reid, 2005: Confronting the human dilemma. *Nature*, **434**, 561-562.

Moore, M.V., M.L. Pace, J.R. Mather, P.S. Murdoch, R.W. Howarth, C.L. Folt, C.Y. Chen, H.F. Hemond, P.A. Flebbe and C.T. Driscoll,

1997: Potential effects of climate change on freshwater ecosystems of the New England/Mid-Atlantic region. *Hydrol. Process.*, **11**, 925–947.

Morris, J.D. and L.A.J. Thomson, 1983: The role of trees in dryland salinity control. *Proc. Roy. Soc. Victoria*, **95**, 123-131.

Morton, J., 2006: Pastoralist coping strategies and emergency livestock market intervention. *Livestock Marketing in Eastern Africa: Research and Policy Challenges,* J.G. McPeak and P.D. Little, Eds., ITDG Publications, Rugby, 227-246.

Mosier, A.R., A.D. Halvorson, G.A. Peterson, G.P. Robertson and L. Sherrod, 2005: Measurement of net global warming potential in three agroecosystems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems,* **72**, 67-76.

Moss, B., D. Mckee, D. Atkinson, S.E. Collings, J.W. Eaton, A.B. Gill, I. Harvey, K. Hatton, T. Heyes and D. Wilson, 2003: How important is climate? Effects of warming, nutrient addition and fish on phytoplankton in shallow lake microcosms. *J. Appl. Ecol*., **40**, 782–792.

Mote, P., A.F. Hamlet, M.P. Clark and D.P. Lettenmaier, 2005: Declining mountain snowpack in western North America. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **86**, doi: 10.1175/BAMS-1186-1171-1139.

Mote, P.W., D.J. Canning, D.L. Fluharty, R.C. Francis, J.F. Franklin, A.F. Hamlet, M. Hershman, M. Holmberg, K.N. Gray-Ideker, W.S. Keeton, D.P. Lettenmaier, L.R. Leung, N.J. Mantua, E.L. Miles, B. Noble, H. Parandvash, D.W. Peterson, A.K. Snover and S.R. Willard, 1999: *Impacts of Climate Variability and Change, Pacific Northwest*, 110 pp. http://www.usgcrp.gov/usgcrp/Library/nationalassessment/pnw.pdf.

Mote, P.W., E.A. Parson, A.F. Hamlet, W.S. Keeton, D. Lettenmaier, N. Mantua, E.L. Miles, D.W. Peterson, D.L. Peterson, R. Slaughter and A.K. Snover, 2003: Preparing for climatic change: the water, salmon, and forests of the Pacific Northwest. *Climatic Change*, **61**, 45-88.

Moulton, R. and D. Cuthbert, 2000: Cumulative impacts/risk assessment of water removal or loss from the Great Lakes–St. Lawrence River system. *Can. Water Resour. J.*, **25**, 181-208.

Mountain Agenda, 1997: *Mountains of the World: Challenges of the 21st Century.* Mountain Agenda, Bern, 36 pp.

MRAE (Ministry of Rural Affairs and the Environment, Malta), 2004: *The First Communication of Malta to the United Nations Framework Convention on Climate Change*, Ministry for Rural Affairs and the Environment, Malta.

MRC, 2003: *State of the Basin Report: 2003*. Mekong River Commission, Phnom Penh, 300 pp.

Mueller, D.R., W.F. Vincent and M.O. Jeffries, 2003: Break-up of the largest Arctic ice shelf and associated loss of an epishelf lake. *Geophys. Res. Lett.*, **30**, 2031, doi:10.1029/2003GL017931.

Mullan, A.B., A. Porteous, D. Wratt and M. Hollis, 2005: *Changes in Drought Risk with Climate Change*. NIWA Report WLG2005. http://www.mfe.govt.nz/publications/climate/drought-risk-may05/drought-risk-climate-change-may05.pdf.

Munich Re, 2004: *Annual Review of Natural Catastrophes 2003*. Munich, 8 pp. http://www.munichre.com/app_resources/pdf/ts/geo_risks/topicsgeo_2003_siebert_en.pdf.

MWD, 2005: *The Family of Southern California Water Agencies. Metropolitan Water District of Southern California.* http://www.bewaterwise.com/index.html.

Myers, N., 1997: The world's forests and their ecosystem services. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems.* G.C. Daily, Ed., Island Press, Washington, DC, 215-235.

Naess, L.O., G. Bang, S. Eriksen and J. Vevatne, 2005: Institutional adaptation to climate change: flood responses at the municipal level in Norway. *Global Environ. Chang.*, **15**, 125–138.

Nagy, G.J., R.M. Caffera, M. Aparicio, P. Barrenechea, M. Bidegain, J.C. Jiménez, E. Lentini, G. Magrin and Co-authors, 2006: *Understanding the Potential Impact of Climate Change and Variability in Latin America and the Caribbean*. Report prepared for the Stern Review on the Economics of Climate Change, 34 pp. http://www.sternreview.org.uk.

Nakićenović, N. and R. Swart, Eds., 2000: *Special Report on Emissions Scenarios*. Cambridge University Press, Cambridge, 599 pp.

Namjou, P. and Co-authors, 2006: The integrated catchment study of Auckland City (New Zealand): long-term groundwater behaviour and assessment. *Proc. World Environmental and Water Resources Congress 2006,* R. Graham, Ed., May 21-25, 2006, Omaha, Nebraska, doi:10.1061/40856(200)311.

NAST, 2000: *Climate Change Impacts in the United States, Overview.* Report for the U.S. Global Change Research Program. National Assessment Synthesis Team Members (NAST), 154 pp.

Natsagdorj, L., P. Gomboluudev and P. Batima, 2005: Climate change in Mongolia. *Climate Change and its Projections*, P. Batima and B.Myagmarjav, Eds., Admon Publishing, Ulaanbaatar, 39–84.

NC-Colombia, 2001: *1st National Communication to the UNFCCC*, 267 pp. http://unfccc.int/national_reports/non-annex_i_natcom/items/2979.php.

NC-Ecuador, 2000: *1st National Communication to the UNFCCC*, 128 pp. http://unfccc.int/national_reports/non-annex_i_natcom/items/2979.php.

NC-Nicaragua, 2001: *Impacto del Cambio Climático en Nicaragua*. Primera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático, PNUD/MARENA, 127 pp.

NC-Perú, 2001: *1st National Communication to the UNFCCC*, 155 pp. http://unfccc.int/resource/docs/natc/pernc1.pdf.

Nchito, M., P. Kelly, S. Sianongo, N.P. Luo, R. Feldman, M. Farthing and K.S. Baboo, 1998: *Cryptosporidiosis* in urban Zambian children: an analysis of risk factors. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, **59**, 435–437.

Ndikumana, J., J. Stuth, R. Kamidi, S. Ossiya, R. Marambii and P. Hamlett, 2000: *Coping Mechanisms and their Efficacy in Disaster-prone Pastoral Systems of the Greater Horn of Africa: Effects of the 1995-97 Drought and the 1997-98 El Niño Rains and the Responses of Pastoralists and Livestock.* ILRI Project Report. A-AARNET (ASARECA-Animal Agriculture Research Network), Nairobi, Kenya, GL-CRSP LEWS (Global Livestock- Collaboratve Research Support Program Livestock Early Warning System), College Station, Texas, USA, and ILRI (International Livestock Research Institute), Nairobi, 124 pp.

NEAB (National Environment Advisory Board, St Vincent and the Grenadines), 2000: *Initial National Communication on Climate Change*, National Environment Advisory Board and Ministry of Health and the Environment, 74 pp.

Nearing, M.A., F.F. Pruski and M.R. O'Neal, 2004: Expected climate change impacts on soil erosion rates: a review. *J. Soil Water Conserv.*, **59**, 43-50.

NEB, 2006: *Canada's Oil Sands: Opportunities and Challenges to 2015: An Update*. National Energy Board, Calgary, Alberta, 85 pp.

Neff, R., H. Chang, C. Knight, R. Najjar, B. Yarnal and H. Walker, 2000: Impact of climate variation and change on Mid-Atlantic Region hydrology and water resources. *Climate Res.*, **14**, 207-218.

Nelson, F.E., 2003: (Un)frozen in time. *Science*, **299**, 1673–1675.

New, M., 2002: Climate change and water resources in the southwestern Cape, South Africa. *S. Afri. J. Sci.*, **96**, 369–373.

Nicholls, K.H., 1999: Effects of temperature and other factors on summer phosphorus in the inner Bay of Quinte, Lake Ontario: implications for climate warming. *J. Great Lakes Res.*, **25**(5), 250–262.

Nicholson, S., 2005: On the question of the "recovery" of the rains in

the West African Sahel. *J. Arid Environ.*, **63**, 615–641.

Nicholson, S.E. and J.C. Selato, 2000: The influence of La Niña on African rainfall. *Int. J. Climatol.,* **20**, 1761–1776.

Nicholson, S.E., B. Some and B. Kone, 2000: An analysis of recent rainfall conditions in West Africa, including the rainy seasons of the 1997 El Niño and the 1998 La Niña years. *J. Clim*., **13**, 2628–2640.

Nilsson, C., C.A. Reidy, M. Dynesius and C. Revenga, 2005: Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems. *Science*, **308**, 405–408.

NLWRA, 2001: *Australian Water Resources Assessment 2000.* National Land and Water Resources Audit, Land and Water Australia.

NOAA, 2005: *Hazards/Climate Extremes*. National Climatic Data Center, U.S. Department of Commerce, http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/research/2005/aug/hazards.html.Flooding.

Noone, D. and I. Simmonds, 2002: Annular variations in moisture transport mechanisms and the abundance of $\delta^{18}O$ in Antarctic snow. *J. Geophys. Res.*, **107**, 4742, doi:10.1029/2002JD002262.

Norrant, C. and A. Douguédroit, 2006: Monthly and daily precipitation trends in the Mediterranean. *Theor. Appl. Climatol.*, **83**, 89–106.

Nurse, L. and Co-authors, 2001: Small Island States. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. *Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change,* J.J. McCarthy, O. F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken and K.S. White, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 843–876.

Nuttall, M., F. Berkes, B. Forbes, G. Kofinas, T. Vlassova and G. Wenzel, 2005: Hunting, herding, fishing and gathering: indigenous peoples and renewable resource use in the Arctic. *Arctic Climate Impacts Assessment, ACIA*, C. Symon, L. Arris and B. Heal, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 649–690.

O'Reilly, C., S. Alin, P. Plisnier, A. Cohen and B. McKee, 2003: Climate change decreases aquatic ecosystem productivity of Lake Tanganyika, Africa. *Nature*, **424**, 766-768.

Oba, G., 2001: The importance of pastoralists' indigenous coping strategies for planning drought management in the arid zone of Kenya. *Nomadic Peoples*, **5**, 89-119.

OECD, 2003: *Development and climate change in Nepal: focus on water resources and hydropower*. COM/ENV/EPOC/DCD/DAC(2003)1/FINAL, Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, 64 pp.

Oenema, O., N. Wrage, G.L. Velthof, J.W. van Groenigen, J. Dolfing and P.J. Kuikman, 2005: Trends in global nitrous oxide emissions from animal production systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems,* **72**, 51-65.

Ogle, S.M., F.J. Breidt and K. Paustian, 2005: Agricultural management impacts on soil organic carbon storage under moist and dry climatic conditions of temperate and tropical regions. *Biogeochem.,* **72,** 87-121.

Oki, T. and S. Kanae, 2006: Global hydrological cycles and world water resources. *Science*, **313**, 1068–1072.

Oki, T., Y. Agata, S. Kanae, T. Saruhashi and K. Musiake, 2003: Global water resources assessment under climatic change in 2050 using TRIP. *Water Resources: Systems Water Availability and Global Change,* S.W. Franks, G. Böschl, M. Kumagai, K. Musiake and D. Rosbjerg, Eds., IAHS Publication, 124–133.

Olesen, J.E. and M. Bindi, 2002: Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. *European J. Agronomy*, **16**, 239–262.

Olesen, J.E., T.R. Carter, C.H. Díaz-Ambrona, S. Fronzek, T. Heidmann, T. Hickler, T. Holt, M.I. Minguez, P. Morales, J. Palutikov, M. Quemada, M. Ruiz-Ramos, G. Rubæk, F. Sau, B. Smith, B. and M. Sykes, 2006: Uncertainties in projected impacts of climate change on European agriculture and terrestrial ecosystems based on scenarios from regional climate models. *Climatic Change*, **81**(Suppl. 1), doi: 10.1007/s10584-006-9216-1.

Olsen, J.R., 2006: Climate change and floodplain management in the United States, *Climatic Change*, **76**, 407–426.

Oltchev, A., J. Cermak, J. Gurtz, A. Tishenko, G. Kiely, N. Nadezhdina, M. Zappa, N. Lebedeva, T. Vitvar, J.D. Albertson, F. Tatarinov, D. Tishenko, V. Nadezhdin, B. Kozlov, A. Ibrom, N. Vygodskaya and G. Gravenhorst 2002: The response of the water fluxes of the boreal forest region at the Volga source area to climatic and land-use changes. *Phys. Chem. Earth, Parts A/B/C*, **27**, 675–690.

Opopol, N., R. Corobov, A. Nicolenco and V. Pantya, 2003: Climate change and potential impacts of its extreme manifestations on health. *Curier Medical,* **5**, 6-9.

Orlove, B.S., J.C.H. Chiang and M.A. Cane, 2000: Forecasting Andean rainfall and crop yield from the influence of El Niño on Pleiades visibility. *Nature*, **403**, 68-71.

Osman-Elasha, B., N. Goutbi, E. Spanger-Siegfried, B. Dougherty, A. Hanafi, S. Zakieldeen, A. Sanjak, H.A. Atti and H.M. Elhassan, 2006: *Adaptation Strategies to Increase Human Resilience Against Climate Variability and Change: Lessons from the Arid Regions of Sudan.* AIACC Working Paper No. 42, Assessment of Impacts and Adaptation to Climate Change in Multiple Regions and Sectors Programme, 42 pp.

Osterkamp, T.E., L. Vierek, Y. Shur, M.T. Jorgenson, C. Racine, A. Doyle and R.D. Boone, 2000: Observations of thermokarst and its impact on boreal forests in Alaska, U.S.A. *Arct. Antarct. Alp. Res.*, **32**, 303–315.

Ouranos, 2004: *Adapting to Climate Change*. Ouranos, Montreal, ON, 91 pp. http://www.ouranos.ca/cc/climang5.pdf.

Paavola, J. and W. Adger, 2002: *Justice and Adaptation to Climate Change.* Tyndall Centre for Climate Change Research, Norwich, 24 pp. http://www.tyndall.ac.uk/publications/working_papers/wp23.pdf.

Pabón, J.D., 2003: El cambio climático global y su manifestación en Colombia. *Cuadernos Geograf.*, **12**, 111-119.

Pachauri, R., 2004: Climate change and its implications for development: the role of IPCC assessments. *Inst. Devel. Stud. Bull.*, **35**, 11.

PAGASA (Philippine Atmospheric, Geophysical and Astronomical Services Administration), 2001: *Documentation and Analysis of Impacts of and Responses to Extreme Climate Events*. Climatology and Agrometeorology Branch Technical Paper No. 2001-2, 55 pp.

PAHO, 2003: *Status Report on Malaria Programs in the Americas*. 44th Directing Council, 55th Session of the Regional Comité. Pan American Health Organization, Washington, DC.

Palmer, T.N. and J. Räisänen, 2002: Quantifying the risk of extreme seasonal precipitation events in a changing climate. *Nature*, **415**, 512–514.

Pan, X.L., W. Deng and D.Y. Zhang, 2003: Classification of hydrological landscapes of typical wetlands in northeast China and their vulnerability to climate change. *Res. Environ. Sci.*, **16**(1), 14–18.

Pan, Z.T.,M. Segal, R.W.Arritt and E.S. Takle, 2004: On the potential change in solar radiation over the US due to increases of atmospheric greenhouse gases. *Renew. Energ.*, **29**, 1923-1928.

Parkinson, A.J. and J.C. Butler, 2005: Potential impacts of climate change on infectious diseases in the Arctic. *Int. J. Circumpolar Health*, **64**, 478–486.

Parrotta, J.A., 2002: Restoration and management of degraded tropical forest landscapes. *Modern Trends in Applied Terrestrial Ecology,* R.S. Ambasht and N.K. Ambasht, Eds., Kluwer Academic/Plenum Press, New York, 135-148.

Parry, M., C.A. Rosenzweig, M. Iglesias, M. Livermore and G. Fisher, 2004: Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socioeconomic scenarios. *Global Environ. Chang.,* **14**(1), 53–67.

Parry, M.L., Ed., 2000: *Assessment of potential effects and adaptations to climate change in Europe: The Europe Acacia Project*. Report of concerted action of the environment programme of the Research Directorate General of the Commission of the European Communities, Jackson Environmental Institute, University of East Anglia, Norwich, 320 pp.

Parson, E.A., P.W. Mote, A. Hamlet, N. Mantua, A. Snover, W. Keeton, E. Miles, D. Canning and K.G. Ideker, 2001: Potential consequences of climate variability and change for the Pacific Northwest. *Climate Change Impacts on the United States - The Potential Consequences of Climate Variability and Change-Foundation Report*, National Assessment Synthesis Team, Ed., Cambridge University Press, Cambridge, 247-280.

Parson, E.A., R.W. Corell, E.J. Barron, V. Burkett, A. Janetos, L. Joyce, T.R. Karl, M. MacCracken, J. Melillo, M.G. Morgan, D.S. Schimel and T. Wilbanks, 2003: Understanding climatic impacts, vulnerabilities and adaptation in the United States: building a capacity for assessment. *Climatic Change*, **57**, 9-42.

Pascual, M., J.A. Ahumada, L.F. Chaves, X. Rodo and M. Bouma, 2006: Malaria resurgence in the East African highlands: temperature trends revisited. *P. Natl. Acad. Sci. USA*, **103**, 5829-5834.

Pattanayak, S. and R. Kramer, 2000: Worth of watersheds: a producer surplus approach for valuing drought control in eastern Indonesia. *Environment and Development Economics,* **6**, 123-146.

Patz, J.A., 2002: A human disease indicator for the effects of recent global climate change. *P. Natl. Acad. Sci. USA*, **99**, 12506-12508.

Patz, J.A., D. Campbell-Lendrum, T. Holloway and J.A.N. Foley, 2005: Impact of regional climate change on human health. *Nature*, **438**, 310-317.

Paustian, K., B.A. Babcock, J. Hatfield, R. Lal, B.A. McCarl, S. McLaughlin, A. Mosier, C. Rice, G.P. Robertson, N.J. Rosenberg, C. Rosenzweig, W.H. Schlesinger and D. Zilberman, 2004: *Agricultural Mitigation of Greenhouse Gases: Science and Policy Options*. CAST (Council on Agricultural Science and Technology) Report, R141 2004, Ames, Iowa, 120 pp.

Payne, J.T., A.W. Wood, A.F. Hamlet, R.N. Palmer and D.P. Lettenmaier, 2004: Mitigating the effects of climate change on the water resources of the Columbia River basin. *Climatic Change*, **62**(1–3), 233–256.

Penalba, O.C. and W.M. Vargas, 2004: Interdecadal and interannual variations of annual and extreme precipitation over central-northeastern Argentina. *Int. J. Climatol.*, **24**, 1565-1580.

Peters, D.L., T.D. Prowse, A. Pietroniro and R. Leconte, 2006: Establishing the flood hydrology of the Peace–Athabasca Delta, northern Canada. *Hydrol. Process.*, **20**, 4073-4096.

Petersen, T.C., M.A. Taylor, R. Demeritte, D.L. Duncombe, S. Burton, F. Thompson, A. Porter, M. Mercedes, E. Villegas, R. Semexant Fils, A. Klein Tank, A. Martis, R. Warner, A. Joyette, W. Mills, L. Alexander and B. Gleason, 2002: Recent changes in climate extremes in the Caribbean region. *J. Geophys. Res.*, **107 D21**, 4601, doi:10.1029/2002JD002251.

Peterson, A.T. and J. Shaw, 2003: *Lutzomyia* vectors for cutaneous leishmaniasis in southern Brazil: ecological niche models, predicted geographic distributions, and climate change effects. *Int. J. Parasitol.*, **33**, 919-931.

Peterson, A.T., C. Martínez-Campos, Y. Nakazawa and E. Martínez-Meyer, 2005: Time-specific ecological niche modeling predicts spatial dynamics of vector insects and human dengue cases. *T. Roy. Soc. Trop. Med. H.*, **99**, 647-655.

Peterson, B.J., R.M. Holmes, J.W. McClelland, C.J. Vorosmarty, R.B. Lammers, A.I. Shiklomanov, I.A. Shiklomanov and S. Rahmstorf, 2002: Increasing river discharge to the Arctic Ocean. *Science*, **298**, 2172–2173.

Peterson, T.C. and R.S. Vose, 1997: An overview of the Global Historical Climatology Network temperature database. *Bull. Am. Meteorol. Soc*., **78**, 2837–2848.

Peterson, T.C., V.S. Golubev and P.Y. Groisman, 1995: Evaporation losing its strength. *Nature*, **377**, 687–688.

Petheram, C., G. Walker, R. Grayson, T. Thierfelder and L. Zhang, 2001: Towards a framework for predicting impacts of land-use on recharge. *Aust. J. Soil Res.*, **40**, 397-417.

Pielke, R.A., Jr and M.W. Downton, 2000: Precipitation and damaging floods: trends in the United States, 1932–97. *J. Climate*, **13**, 3625-3637.

Pienitz, R., M.S.V. Douglas and J.P. Smol, 2004: *Long-term Environmental Change in Arctic and Antarctic Lakes*. Springer Verlag, Berlin, 562 pp.

Pilon-Smits, E.A.H., M.J. Ebskamp, M. Ebskamp, M. Paul, M. Jeuken, P. Weisbeek and S. Smeekens, 1995: Improved performance of transgenic fructan-accumulating tobacco under drought stress. *Plant Physiol.*, **107**, 125-130.

Pittock, B., 2003: *Climate Change: An Australian Guide to the Science and Potential Impacts*. Australian Greenhouse Office, Canberra, 239 pp.

Polemio, M. and D. Casarano, 2004: *Rainfall and Drought in Southern Italy (1821–2001)*. UNESCO/IAHS/IWHA, Pub. 286.

Polsky, C. and W.E. Easterling, 2001: Adaptation to climate variability and change in the US Great Plains: a multi-scale analysis of Ricardian climate sensitivities. *Agr. Ecosyst. Environ.*, **85**, 133-144.

Porter, J.R. and M.A. Semenov, 2005: Crop responses to climatic variation. *Philos. Trans. R. Soc. B: Biological Sciences*, **360**, 2021–2035.

Pounds, J.A. and R. Puschendorf, 2004: Ecology: clouded futures. *Nature*, **427**, 107–109.

Pounds, J. A., M. R. Bustamante, L.A. Coloma, J.A. Consuegra, M.P.L. Fogden, P.N. Foster, E. La Marca, K.L. Masters, A. Merino-Viteri, R. Puschendorf, S.R. Ron, G.A. Sanchez-Azofeifa, C.J. Still and B. E. Young, 2006: Widespread amphibian extinctions from epidemic disease driven by global warming. *Nature*, **439**(7073), 161–167.

Premier of Victoria, 2006: Ballarat's future water supplies secured by major Bracks government action plan. Media release, 17 October 2006. http://www.premier.vic.gov.au/newsroom/news_item.asp?id=978.

Protopapas, L., S. Katchamart and A. Platonova, 2000: Weather effects on daily water use in New York City. *J. Hydrol. Eng.*, **5**, 332–338.

Prowse, T.D. and S. Beltaos, 2002: Climatic control of river-ice hydrology: a review. *Hydrol. Process.*, **16**, 805-822.

Prowse, T.D., F.J. Wrona and G. Power, 2004: *Threats to Water Availability in Canada*. Environment Canada, NWRI Scientific Assessment Report No. 3, 9–18.

Prowse, T.D. and Co-authors, 2006: Historical changes in Arctic freshwater ecosystems. *Ambio*, **35**(7), 339–346.

Prudhomme, C. and H. Davies, 2006: Comparison of different sources of uncertainty in climate change impact studies in Great Britain. Hydrological Processes: Special Issue of International Workshop "Climatic and Anthropogenic Impacts on Water Resources Variability". *Technical Document in Hydrology No.* **80** / *Document technique en hydrologie No.* **80**, UNESCO, Paris / UMR 5569, HydroSciences Montpellier, 2007, 183-190. http://unesdoc.unesco.org/images/0015/001502/150251M.pdf.

Prudhomme, C., D. Jakob and C. Svensson, 2003: Uncertainty and climate change impact on the flood regime of small UK catchments. *J. Hydrol.*, **277**, 1–23.

Psenner, R. and R. Schmidt, 1992: Climate-driven pH control of remote Alpine lakes and effects of acid deposition. *Nature*, **356**, 781-783.

Pulwarty, R., K. Jacobs and R. Dole, 2005: The hardest working river: drought and critical water problems on the Colorado. *Drought and Water Crises: Science, Technology and Management,* D. Wilhite Ed., Taylor and Francis Press, Boca Raton, FL, 249-285.

Pulwarty, R.S. and T.S. Melis, 2001: Climate extremes and adaptive management on the Colorado River: lessons from the 1997–1998 ENSO event. *J. Environ. Manage.*, **63**, 307-324.

Qian, T. and Co-authors, 2006a: Simulation of global land surface conditions from 1948–2004. Part I: Forcing data and evaluations. *J. Hydrometeorol.*, **7**, 953–975.

Qian, Y. and Co-authors, 2006b: More frequent cloud-free sky and less surface solar radiation in China from 1955 to 2000. *Geophys. Res. Lett.*, **33**, L01812, doi:10.1029/2005GL024586.

Qin, D.H., 2002: *Assessment of Environment Change in Western China*, *2nd Volume, Prediction of Environment Change in Western China*. Science Press, Beijing, 64, 73, 115, 132, 145-154, 160-161.

Quadrelli, R. and J.M. Wallace, 2004: A simplified linear framework for interpreting patterns of Northern Hemisphere wintertime climate variability. *J. Climate*, **17**, 3728–3744.

Quayle, W.C., L.S. Peck, H. Pet, J.C. Ellis-Evans and P.R. Harrigan, 2002: Extreme responses to climate change in Antarctic lakes. *Science*, **295**(5555), 645–645.

Quayle, W.C., P. Convey, L.S. Peck, J.C. Ellis-Evans, H.G. Butler and H.J. Peat, 2003: Ecological responses of maritime Antarctic lakes to regional climate change. *Antarctic Peninsula Climate Variability: Historical and Palaeoenvironmental Perspectives*. E. Domack, A. Leventer, A. Burnett, R. Bindschadler, P. Convey and M. Kirby, Eds., American Geophysical Union, Washington, DC, 159–170.

Queensland Government, 2005: *Queensland Water Plan 2005-2010.* Queensland Government, 27 pp. http://www.nrw.qld.gov.au/water/pdf/qld_water_plan_05_10.pdf.

Ragab, R. and C. Prudhomme, 2002: Climate change and water resources management in arid and semi-arid regions: prospective and challenges for the 21st century. *Biosys. Engineering*, **81**, 3–34.

Räisänen, J., Hansson, U., Ullerstieg, A., Döscher, R., Graham, L.P., Jones, C., Meier, H.E.M., Samuelson, P. and Willén, U., 2004: European climate in the late twenty-first century: regional simulations with two driving global models and two forcing scenarios. *Clim. Dyn.*, **22**, 13–31.

Ramírez, E., B. Francou, P. Ribstein, M. Descloitres, R. Guérin, J. Mendoza, R.Gallaire, B. Pouyaud and E. Jordan, 2001: Small glaciers disappearing in the tropicalAndes: a case study in Bolivia: the Chacaltaya glacier, 16°S. *J. Glaciol.*, **47**, 187–194.

Rawlins, S. C., A. Chen, M. Ivey, D. Amarakoon and K. Polson, 2005: The impact of climate change/variability events on the occurrence of dengue fever in parts of the Caribbean: a retrospective study for the period 1980-2002. *West Indian Med. J. Suppl*., **53**(2), 54.

Reay, D.S., K.A. Smith and A.C. Edwards, 2003: Nitrous oxide emission from agricultural drainage waters. *Global Chang. Biol.,* **9**, 195-203.

Reilly, J. and Co-authors, 2003: U.S. agriculture and climate change: new results. *Climatic Change*, **57**, 43–69.

Reilly, J.M., Ed., 2002: *Agriculture: The Potential Consequences of Climate Variability and Change*. Cambridge University Press, Cambridge, 136 pp.

Reist, J.D. and Co-authors, 2006a: General effects of climate change on arctic fishes and fish populations. *Ambio*, **35**(7), 370–380.

Reist, J.D. and Co-authors, 2006b: An overview of effects of climate change on selected arctic freshwater and anadromous fishes. *Ambio,* **35**(7), 381–387.

Reist, J.D. and Co-authors, 2006c: Effects of climate change and UV radiation on fisheries for arctic freshwater and anadromous species. *Ambio*, **35**(7), 402–410.

Republic of Vanuatu, 1999: *Vanuatu National Communication to the Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change*, 55 pp.

Resck, D.V.S., C.A. Vasconcellos, L. Vilela and M.C.M Macedo, 2000: Impact of conversion of Brazilian cerrados to cropland and pastureland on soil carbon pool and dynamics. *Global Climate Change and Tropical Ecosystems,* R. Lal, J.M. Kimble and B.A. Stewart, Eds., CRC-Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 169-195.

Reynard, N., S. Crooks, R. Wilby and A. Kay, 2004: Climate Change and Flood Frequency in the UK. *Proc. 39th DEFRA Flood and Coastal Management Conference*, York. Defra, London, 11.1.1-11.1.12.

Richardson, D., 2002: Flood risk: the impact of climate change. *Proc. Inst. Civil Engineers-Civil Engineering*, **150**, 22–24.

Riebsame, W.E., K.M. Strzepek, J.L. Wescoat, Jr, R. Perrit, G.L. Graile, J. Jacobs, R. Leichenko, C. Magadza, H. Phien, B.J. Urbiztondo, P. Restrepo, W.R. Rose, M. Saleh, L.H. Ti, C. Tucci and D. Yates, 1995: Complex river basins. *As Climate Changes: International Impacts and Implications,* K.M. Strzepek and J.B. Smith, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 57–91.

Rivera, A., G. Casassa, R. Thomas, E. Rignot, R. Zamora, D. Antúnez, C. Acuña and F. Ordenes, 2005: Glacier wastage on Southern Adelaide Island and its impact on snow runway operations. *Ann. Glaciol.*, **41**, 57-62.

Robeson, S.M., 2002: Increasing growing-season length in Illinois during the 20th century. *Climatic Change*, **52**, 219-238.

Robock, A. and Co-authors, 2000: The global soil moisture data bank. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **81**, 1281–1299.

Robock, A. and Co-authors, 2005: Forty five years of observed soil moisture in Ukraine: no summer desiccation (yet). *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L03401, doi:10.0129/2004GL021914.

Rockstrom, J., 2003: Water for food and nature in drought-prone tropics: vapour shift in rain-fed agriculture. *Philos. Trans. Roy. Soc. London - Series B*, **358**, 1997–2009.

Roderick, M.L. and G.D. Farquhar, 2004: Changes in Australian pan evaporation from 1970 to 2002. *Int. J. Climatol.*, **24**, 1077-1090.

Roderick, M.L. and G.D. Farquhar, 2005: Changes in New Zealand pan evaporation since the 1970s. *Int. J. Climatol.*, **25**, 2031-2039.

Rogora, M., R. Mosello and S. Arisci, 2003: The effect of climate warming on the hydrochemistry of Alpine lakes. *Water Air Soil Pollut.*, **148**, 347-361.

Ronchail, J., L. Bourrel, G. Cochonneau, P. Vauchel, L. Phillips, A. Castro, J.L. Guyot and E. Oliveira, 2005: Inundations in the Mamoré Basin (south-western Amazon-Bolivia) and sea-surface temperature in the Pacific and Atlantic Oceans. *J. Hydrol.*, **302**, 223-238.

Root, T.L. and S.H. Schneider, 2002: Climate change: overview and implications for wildlife. *Wildlife Responses to Climate Change: North American Case Studies*, S.H. Schneider and T.L. Root, Eds., Island Press, Washington, DC, 1–56.

Root, T.L., J.T. Price, K.R. Hall, S.H. Schneider, C. Rosenzweig and J.A. Pounds, 2003: Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature*, **421**(6918), 57–60.

Rosenberg, N.J., D.J. Epstein, D. Wang, L. Vail, R. Srinivasan and J.G. Arnold, 1999: Possible impacts of global warming on the hydrology of the Ogallala aquifer region. *Climatic Change*, **42**, 677-692.

Rosenberg, N.J., R.A. Brown, C. Izaurralde and A.M. Thomson, 2003: Integrated assessment of Hadley Centre HadCM2 climate change projections on agricultural productivity and irrigation water supply in the conterminous United States. I. Climate change scenarios and impacts on irrigation water supply simulated with the HUMUS model. *Agri. Forest Meteorol.*, **117**(1–2), 73–96.

Rosenzweig, C. and F.N. Tubiello, 2007: Adaptation and mitigation strategies in agriculture: an analysis of potential synergies. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, **12**, 855-873.

Rosenzweig, C., F.N. Tubiello, R. Goldberg, E. Mills and J. Bloomfield, 2002: Increased crop damage in the US from excess precipitation

under climate change. *Global Environ. Chang.*, **12**, 197–202.

Ross, M.S., J.F. Meeder, J.P. Sah, P.L. Ruiz and G.J. Telesnicki, 2000: The southeast saline Everglades revisited: 50 years of coastal vegetation change. *J. Vegetation Sci.,* **11**, 101–112.

Rowell, A. and P.F. Moore, 2000: *Global Review of Forest Fires.* WWF/IUCN, Gland, 66 pp. http://www.iucn.org/themes/fcp/publications/files/global_review_forest_fires.pdf.

Ruhland, K.M., A. Priesnitz and J.P. Smol, 2003: Paleolimnological evidence from diatoms for recent environmental changes in 50 lakes across Canadian Arctic treeline. *Arct. Antarct. Alp. Res.*, **35**, 110–123.

Ruosteenoja, K., T.R. Carter, K. Jylhä, and H. Tuomenvirta, 2003: *Future Climate in World Regions: An Intercomparison of Model-Based Projections for the New IPCC Emissions Scenarios.* The Finnish Environment **644**, Finnish Environment Institute, Helsinki, 83 pp.

Ruth, M., B. Davidsdottir and A. Amato, 2004: Climate change policies and capital vintage effects: the case of U.S. pulp and paper, iron and steel, and ethylene, *J. Environ. Manage.*, **70**, 235–252.

Saintilan, N. and R.J. Williams 1999: Mangrove transgression into saltmarsh environments in south east Australia. *Global Ecol. Biogeogr.*, **8**(2), 117–124.

Sala, O.A., F.S. Chapin III, J.J. Armesto, E. Berlow, J. Bloomfield, R. Dirzo, E. Huber-Sanwald, L.F. Huenneke, R.B. Jackson, A. Kinzig, R. Leemans, D.M. Lodge, H.A. Mooney, M. Oesterheld, N.L. Poff, M.T. Sykes, B.H. Walker, M. Walker and D.H. Wall, 2000: Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, **287**, 1770-1774.

Salewicz, A., 1995: Impact of climate change on the operation of Lake Kariba hydropower scheme on the Zambezi River. *Water Resources Management in the Face of Climatic and Hydrologic Uncertainties,* Z. Kaczmarek, Ed., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 395 pp.

Salinger, M. J., 2001: Climate variation in New Zealand and the Southwest Pacific. *The Physical Environment. A New Zealand Perspective*, A. Sturman and R. Spronken-Smith, Eds., Oxford University Press, Victoria, 35 pp.

Sanders, C. and M. Phillipson, 2003: UK adaptation strategy and technical measures: the impacts of climate change on buildings. *Build. Res. Inf.*, **31**(3–4), 210–221

Sand-Jensen, K. and N.L. Pedersen, 2005: Broad-scale differences in temperature, organic carbon and oxygen consumption among lowland streams. *Freshw. Biol.*, **50**, 1927–1937.

Sankaran, M., N.P. Hanan, R.J. Scholes, J. Ratnam, D.J. Augustine, B.S. Cade, J. Gignoux, S.I. Higgins, X. le Roux, F. Ludwig, J. Ardo, F. Banyikwa, A. Bronn, G. Bucini, K.K. Caylor, M.B. Coughenour, A. Diouf, W. Ekaya, C.J. Feral, E.C. February, P.G.H. Frost, P. Hiernaux, H. Hrabar, K.L. Metzger, H.H.T. Prins, S. Ringrose, W. Sea, J. Tews, J. Worden and N. Zambatis, 2005: Determinants of woody cover in African savannas. *Nature*, **438**, 846-849.

Santos**,** F.D., K. Forbes and R. Moita, Eds., 2002: *Climate Change in Portugal: Scenarios, Impacts and Adaptation Measures*. SIAM Project Report, Gradiva, Lisbon, 456 pp.

Sanz, J.J., T.J. Potti, J. Moreno, S. Merion and O. Frias, 2003: Climate change and fitness components of a migratory bird breeding in the Mediterranean region, *Global Change Biol.*, **9**, 461–472.

Scaife, A., J. Knight, G. Vallis and C.K. Folland, 2005: A stratospheric influence on the winter NAO and North Atlantic surface climate. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L18715, doi: 10.1029/2005GL023226.

Scavia, D., J.C. Field, D.F. Boesch, R. Buddemeier, D.R. Cayan, V. Burkett, M. Fogarty, M. Harwell, R. Howarth, C. Mason, D.J. Reed, T.C. Royer, A.H. Sallenger and J.G. Titus, 2002: Climate change impacts on U.S. coastal and marine ecosystems. *Estuaries*, **25**, 149–164.

Schallenberg, M., C.J. Hall and C.W. Burns, 2003: Consequences of climate-induced salinity increases on zooplankton abundance and diversity in coastal lakes. *Marine Ecol. Prog. Ser.*, **251**, 181–189.

Schär, C., P.L. Vidale, D. Luthi, C. Frei, C. Haberli, M.A. Liniger and C. Appenzeller, 2004: The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature*, **427**(6972), 332–336.

Scheffer, M., S. Carpenter, J.A. Foley, C. Folke and B. Walker, 2001: Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature*, **413**, 591-596.

Schiermeier, Q., 2006: Insurers' disaster files suggest climate is culprit. *Nature*, **441**(7094), 674–675.

Schijven, J.F. and A.M. de Roda Husman, 2005: Effect of climate changes on waterborne disease in the Netherlands. *Water Sci. Technol.*, **51**, 79-87.

Schlenker, W., W.M. Hanemann and A.C. Fisher, 2005: Will U.S. agriculture really benefit from global warming? Accounting for irrigation in the hedonic approach. *American Economic Review*, **95**, 395–406.

Schlesinger, M.E. and N. Ramankutty, 1994: An oscillation in the global climate system of period 65–70 years. *Nature*, **367**, 723–726.

Schlesinger, W.H., 1999: Carbon sequestration in soils. *Science,* **284**, 2095.

Schneeberger, C., H. Blatter, A. Abe-Ouchi and M. Wild, 2003: Modelling changes in the mass balance of glaciers of the northern hemisphere for a transient 2× CO_2 scenario. *J. Hydrol.*, **282**(1–4), 145–163.

Schofield, N.J., 1992: Tree planting for dryland salinity control in Australia. *Agroforestry Sys.,* **20**, 1-23.

Schreider, S.Y., D.I. Smith and A.J. Jakeman, 2000: Climate change impacts on urban flooding. *Climatic Change*, **47**(1–2), 91–115.

Schröter D., W. Cramer, R. Leemans, I.C. Prentice, M.B. Araújo, N.W. Arnell, A. Bondeau, H. Bugmann, T.R. Carter, C.A. Gracia, A.C. de la Vega-Leinert, M. Erhard, F. Ewert, M. Glendining, J.I. House, S. Kankaanpää, R.J.T. Klein, S. Lavorell, M. Linder, M.J. Metzger, J. Meyer, T.D. Mitchell, I. Reginster, M. Rounsevell, S. Sabaté, S. Sitch, B. Smith, J. Smith, P. Smith, M.T. Sykes, K. Thonicke, W. Thuiller, G. Tuck, S. Zaehle and B. Zierl, 2005. Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe. *Science*, **310**, 1333–1337.

Schulze, E.-D., 1982: Plant life forms and their carbon, water and nutrient relations. *Physiology and Plant Ecology II. Water Relations and Carbon Assimilation,* O.L. Lange, C.B. Osmond and H. Ziegler, Eds., Springer-Verlag, Berlin, 615-676.

Schuster, C.J., A. Ellis, W.J. Robertson, J.J. Aramini, D.F. Charron and B. Marshall, 2005: Drinking water related infectious disease outbreaks in Canada, 1974-2001. *Can. J. Public Health*, **94**, 254-258.

Scott, D., 2005: Ski industry adaptation to climate change: hard, soft and policy strategies. *Tourism and Global Environmental Change*, S. Gossling and M. Hall, Eds. Routledge, Oxford. 265–285.

Scott, D. and B. Jones, 2006: *Climate Change and Seasonality in Canadian Outdoor Recreation and Tourism,* Climate Change Action Fund, University of Waterloo, Faculty of Environmental Studies, Waterloo, ON, 33 pp.

Scudder, T., 2005: *The Future of Large Dams*. Earthscan, London, 408 pp.

Semenov, S.M., V.V. Yasukevich and E.S. Gel'ver, 2006: *Identification of Climatogenic Changes*. Publishing Centre, Meteorology and Hydrology, Moscow, 325 pp.

Senate of Canada, 2003: *Climate change: We are at Risk.* Final Report*,* Standing Senate Committee on Agriculture and Forestry, Ottawa.

Senhorst, H.A. and J.J. Zwolsman, 2005: Climate change and effects on water quality: a first impression. *Water Sci. Technol*., **51**, 53–59.

Seo, S. N. and R. Mendelsohn, 2006: Climate change impacts on animal husbandry in Africa: a Ricardian analysis. *CEEPA Discussion Paper No.***9**. Special Series on Climate Change and Agriculture in Africa. The Centre for Environmental Economics and Policy in Africa, University of Pretoria, Pretoria, 42 pp.

Serreze, M.C. and Co-authors, 2003: Large-scale hydro-climatology of the terrestrial Arctic drainage system. *J. Geophys. Res.*, **108**(D2), 8160.

Shabbar, A. and W. Skinner, 2004: Summer drought patterns in Canada and the relationship to global sea surface temperatures. *J. Clim.*, **17**, 2866–2880.

Shanks, G.D., S.I. Hay, D.I. Stern, K. Biomndo and R.W. Snow, 2002: Meteorologic influences on *Plasmodium falciparum* malaria in the highland tea estates of Kericho, western Kenya. *Emerg. Infect. Dis.*, **8**, 1404-1408.

Shen, X.T., Z.C. Mao and J.R. Zhu, 2003: *Saltwater Intrusion in the Changjiang Estuary*. China Ocean Press, Beijing, 175 pp (in Chinese).

Sherbinin, A., A. Schiller and A. Pulsipher, 2007: The vulnerability of global cities to climate hazards. *Environ. Urbaniz.*, **12**(2), 93–102.

Shiklomanov, I.A., Shiklomanov, A.I., Lammers, R.B., Peterson, B.J. and Vorosmarty, C.J., 2000: The dynamics of river water inflow to the Arctic Ocean. *The Freshwater Budget of the Arctic Ocean*, E.L. Lewis, E.P. Jones, T.D. Prowse and P. Wadhams, Eds., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 281–296.

Shrestha, A.B., C.P. Wake, J.E. Dibb and P.A. Mayewski, 2000: Precipitation fluctuations in the Nepal Himalaya and its vicinity and relationship with some large-scale climatological parameters. *Int. J. Climatol.*, **20**, 317–327.

Shrestha, M.L. and A.B. Shrestha, 2004: *Recent Trends and Potential Climate Change Impacts on Glacier Retreat/Glacier Lakes in Nepal and Potential Adaptation Measures.* ENV/EPOC/GF/SD/RD(2004)6/FINAL, OECD, Paris, 23 pp.

Shukla, P.R., M. Kapshe and A. Garg, 2005: Development and climate: impacts and adaptation for infrastructure assets in India. *Proc. OECD Global Forum on Sustainable Development: Development and Climate Change*, Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, 38 pp.

Silander, J., B. Vehviläinen, J. Niemi, A. Arosilta, T. Dubrovin, J. Jormola, V. Keskisarja, A. Keto, A. Lepistö, R. Mäkinen, M. Ollila, H. Pajula, H. Pitkänen, I. Sammalkorpi, M. Suomalainen and N. Veijalainen, 2006: *Climate Change Adaptation for Hydrology and Water Resources*. FINADAPT Working Paper 6, Finnish Environment Institute Mimeographs 336, Helsinki, 54 pp.

Silvestri, G.E. and C.S. Vera, 2003: Antarctic Oscillation signal on precipitation anomalies over southeastern South America. *Geophys. Res. Lett.*, **30**, 2115, doi:10.1029/2003GL018277.

Simonovic, S.P. and L.H. Li, 2003: Methodology for assessment of climate change impacts on large-scale flood protection system. *J. Water Res. Pl.-ASCE*, **129**(5), 361–371.

Sims, R.E.H., A. Hastings, B. Schlamadinger, G. Taylor and P. Smith, 2006: Energy crops: current status and future prospects. *Global Change Biol.*, **12**, 1-23.

Sinclair, M.R., J.A. Renwick and J.W. Kidson, 1997: Low-frequency variability of Southern Hemisphere sea level pressure and weather system activity. *Mon. Weather Rev.*, **125**, 2531–2543.

Sinclair, T.R. and L.C. Purcell, 2005: Is a physiological perspective relevant in a 'genocentric' age? *J. Exp. Bot.*, **56**, 2777-2782.

Singh, R.B.K., S. Hales, N. de Wet, R. Raj, M. Hearnden and P. Weinstein, 2001: The influence of climate variation and change on diarrhoeal disease in the Pacific Islands. *Environ. Health Persp.*, **109**, 155–1594.

Small, C. and R.J. Nicholls, 2003: A global analysis of human settlement in coastal zones. *J. Coastal Res.*, **19**, 584–599.

Smeets, E.M.W., A.P.C. Faaij, I.M. Lewandowski and W.C. Turkenburg, 2007: A bottom up quickscan and review of global bio-energy potentials to 2050. *Prog. Energy Comb. Sci.*, **33**, 56-106.

Smit, B. and E. Wall, 2003: *Adaptation to Climate Change Challenges and Opportunities: Implications and Recommendations for the Canadian Agri-Food Sector,* Senate Standing Committee on Forestry and Agriculture, Ottawa, Canada. http://www.parl.gc.ca/37/2/parlbus/commbus/senate/Com-e/agri-e/power-e/smith-e.htm.

Smith, K.A. and F. Conen, 2004: Impacts of land management on fluxes of trace greenhouse gases. *Soil Use Manage.,* **20**, 255-263.

Smith, L.C., Y. Sheng, G.M. MacDonald and L.D. Hinzman, 2005: Disappearing Arctic lakes. *Science*, **308**, 1429.

Smith, S.D., T.E. Huxman, S.F. Zitzer, T.N. Charlet, D.C. Housman, J.S. Coleman, L.K. Fenstermaker, J.R. Seemann and R.S. Nowak, 2000: Elevated CO_2 increases productivity and invasive species success in an arid ecosystem. *Nature*, **408**, 79 - 82.

Smith, V.R., 2002: Climate change in the sub-Antarctic: an illustration from Marion Island. *Climatic Change,* **52**(3), 345–357.

Smol, J.P. and Co-authors, 2005: Climate driven regime shifts in the biological communities of arctic lakes. *P. Natl. Acad. Sci. USA*, **102**(12), 4397–4402.

SOE, 2001: *Australia State of the Environment 2001*, Independent Report to the Commonwealth Minister for the Environment and Heritage. Australian State of the Environment Committee, CSIRO Publishing on behalf of the Department of the Environment and Heritage, 129 pp. http:/www.ea.gov.au/soe/2001.

Solanes, M. and A. Jouravlev, 2006: *Water Governance for Development and Sustainability*. Economic Commission for Latin America and the Caribbean, Santiago, 84 pp.

Somlyódy, L., 2002: *Strategic Issues of the Hungarian Water Resources Management*. Academy of Science of Hungary, Budapest, 402 pp (in Hungarian).

Sommaruga-Wograth, S., K.A. Koinig, R. Schmidt, R. Sommaruga, R. Tessadri and R. Psenner, 1997: Temperature effects on the acidity of remote alpine lakes. *Nature*, **387**, 64-67.

Sorensen, I., P. Stone and B. Rogers, 2000: Effect of time of sowing on yield of a short and a long-season maize hybrid. *Agronomy New Zealand*, **30**, 63–66.

SRA, 2005: Sequía en el Chaco genera fuerte pérdidas. Comunicado de prensa de la Sociedad Rural Argentina. http://www.ruralarg.org.ar/.

Stakhiv, E.Z., 1998: Policy implications of climate change impacts on water resource management. *Water Policy*, **1**, 159–175.

Steenvoorden, J. and T. Endreny, 2004: *Wastewater Re-use and Groundwater Quality*. IAHS Publication 285, 112 pp.

Stern, N., 2007: *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge University Press, Cambridge, 692 pp.

Stewart, I.T., D.R. Cayan and M.D. Dettinger, 2005: Changes toward earlier streamflow timing across western North America. *J. Climate*, **18**, 1136–1155.

Stige, L.C., J. Stave, K.S. Chan, L. Ciannelli, N. Pettorelli, Glantz, P., H.R Herren and N.C. Stenseth, 2006: The effect of climate variation on agro-pastoral production in Africa. *P. Natl. Acad. Sci. USA*, **103**, 3049–3053.

Straile, D., D.M. Livingstone, G.A. Weyhenmeyer and D.G. George, 2003: The response of freshwater ecosystems to climate variability associated with the North Atlantic Oscillation. *The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact*, Geophysical Monograph, 134. American Geophysical Union, Washington, DC, 279 pp.

Suarez, P., W. Anderson, V. Mahal and T.R. Lakshmanan, 2005: Impacts of flooding and climate change on urban transportation: a systemwide performance assessment of the Boston Metro Area. *Transportation Research Part D-Transport and Environment*, **10**(3), 231–244.

Summit Environmental Consultants, 2004: *Trepanier Landscape Unit (Westside) Water Management Plan.* Regional District of Central Okanagan and British Columbia, Ministry of Sustainable Resource Management, Kelowna, 300 pp.

Sutherland, K., B. Smit, V. Wulf, and T. Nakalevu, 2005: Vulnerability

to climate change and adaptive capacity in Samoa: the case of Saoluafata village. *Tiempo*, **54**, 11–15.

Sutherst, R.W., 2004: Global change and human vulnerability to vector-borne diseases. *Clin. Microb. Rev*., **17**, 136–173.

Sutton, R.T. and D.L.R. Hodson, 2003: Influence of the ocean on North Atlantic climate variability 1871–1999. *J. Clim.*, **16**, 3296–3313.

Sutton, R.T. and D.L.R. Hodson, 2005: Atlantic Ocean forcing of North American and European summer climate. *Science*, **290**, 2133–2137.

Swank, W.T. and J.E. Douglass, 1974: Streamflow greatly reduced by converting deciduous hardwood stands to pine. *Science*, **185**, 857-859.

Swarup, A., M.C. Manna and G.B. Singh, 2000: Impact of land use and management practices on organic carbon dynamics in soils of India. *Global Climate Change and Tropical Ecosystems*, R. Lal, J.M. Kimble and B.A. Stewart, Eds., CRC-Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 261-282.

Swiss Re, 1998: *Floods: An Insurable Risk*, Swiss Reinsurance Company, Zurich, 51 pp.

Syvitski, J.P.M., 2002: Sediment discharge variability in Arctic rivers: implications for a warmer future. *Polar Res.*, **21**(2), 323–330.

Syvistki, J.P.M., C.J. Vorosmarty, A.J. Kettner and P. Green, 2005: Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean. *Science*, **308**, 376–380.

Szolgay, J., K. Hlavcova, S. Kohnová and R. Danihlik, 2004: Assessing climate change impact on river runoff in Slovakia. *Characterisation of the Runoff Regime and its Stability in the Tisza Catchment. Proc. XXII Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management.* Brno, 30 August–2 September 2004. Brno, 2004. CD-edition.

Tao, F., M. Yokozawa, Y. Hayashi and E. Lin, 2003a: Changes in agricultural water demands and soil moisture in China over the last half-century and their effects on agricultural production. *Agri. Forest Meteorol.*, **118**, 251–261.

Tao, F., M. Yokozawa, Y. Hayashi and E. Lin, 2003b: Future climate change, the agricultural water cycle, and agricultural production in China. *Agri. Eco. Environ.*, **95**, 203–215.

Tao, F., M. Yokozawa, Z. Zhang, Y. Hayashi, H. Grassl and C. Fu, 2004: Variability in climatology and agricultural production in China in association with the East Asia summer monsoon and El Niño South Oscillation, *Clim. Res.*, **28**, 23–30.

Tao, F.L., M. Yokozawa, Y. Hayashi and E. Lin, 2005: A perspective on water resources in China: interactions between climate change and soil degradation. *Climatic Change*, **68**(1–2), 169–197.

Tebakari, T., J. Yoshitani, and C. Suvanpimol, 2005: Time-space trend analysis in pan evaporation over kingdom of Thailand. *J. Hydrol. Eng*., **10**, 205-215.

Thanh, T.D., Y. Saito, D.V. Huy, V.L. Nguyen, T.K.O. Ta and M. Tateishi, 2004: Regimes of human and climate impacts on coastal changes in Vietnam. *Reg. Environ. Change*, **4**, 49–62.

The Water Page, 2001: BPD business partners for development water and sanitation clusters. http://www.africanwater.org/bpd.htm.

Thomas, C.D., A. Cameron, R.E. Green, M. Bakkenes, L.J. Beaumont, Y.C. Collingham, B.F.N. Erasmus, M.F. de Siqueira and Co-authors, 2004: Extinction from climate change. *Nature*, **427**, 145-148.

Thomas, J.M.G., K.J. Boote, L.H. Allen Jr., M. Gallo-Meagher and J.M. Davis, 2003: Elevated temperature and carbon dioxide effects on soybean seed composition and transcript abundance. *Crop Science*, **43**(4), 1548–1557.

Thomas, M.K., D.F. Charron, D. Waltner-Toews, C. Schuster, A.R. Maarouf and J.D. Holt, 2006: A role of high impact weather events in waterborne disease outbreaks in Canada, 1975-2001. *Int. J. Environ. Health Res.*, **16**, 167-180.

Thomson, A.M., N.J. Rosenberg, R.C. Izaurralde and R.A. Brown, 2005a: Climate change impacts for the conterminous USA: an integrated assessment Part 5. Irrigated agriculture and national grain crop production. *Climatic Change*, **69**, 89-105.

Thomson, M.C., S.J. Mason, T. Phindela and S.J. Connor, 2005b: Use of rainfall and sea surface temperature monitoring for malaria early warning in Botswana. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, **73**, 214-221.

Thomson, M.C., F.J. Doblas-Reyes, S.J. Mason, R. Hagedorn, S.J. Connor, T. Phindela, A.P. Morse and T.N. Palmer, 2006: Malaria early warnings based on seasonal climate forecasts from multi-model ensembles. *Nature*, **439**, 576-579.

Thornton, P.K., P.G. Jones, T.M. Owiyo, R.L. Kruska, M. Herero, P. Kristjanson, A. Notenbaert, N. Bekele and A Omolo, with contributions from V. Orindi, B. Otiende, A. Ochieng, S. Bhadwal, K. Anantram, S. Nair, V. Kumar and U. Kulkar, 2006: *Mapping Climate Vulnerability and Poverty in Africa.* Report to the Department for International Development, ILRI, Nairobi, 200 pp.

Treacy, J.M., 1994: *Las Chacras de Coparaque: Andenes y Riego en el Valle de Colca*. Instituto de Estudios Peruanos, Lima, 298 pp.

Trenberth, K.E., 1990: Recent observed interdecadal climate changes in the Northern Hemisphere. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, **71**, 988–993.

Trenberth, K.E. and J.M. Caron, 2000: The Southern Oscillation revisited: sea level pressures, surface temperatures and precipitation. *J. Clim.*, **13**, 4358–4365.

Trenberth, K.E and T.J. Hoar, 1997. El Niño and climate change. *Geophys. Res. Lett.*, **24**, 3057–3060.

Trenberth, K.E., and D.J. Shea, 2006: Atlantic hurricanes and natural variability in 2005, *Geophys. Res. Lett.*, **33**, L12704, doi:10.1029/2006GL026894.

Trenberth, K.E. and D.P. Stepaniak, 2001: Indices of El Niño evolution. *J. Clim.*, 14, 1697–1701.

Trenberth, K.E., A.G. Dai, R.M. Rasmussen and D.B. Parsons, 2003: The changing character of precipitation. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, **84**, 1205–1217.

Trenberth, K.E., D.P. Stepaniak and L. Smith, 2005: Interannual variability of the patterns of atmospheric mass distribution. *J. Clim.*, **18**, 2812–2825.

Trnka, M., M. Dubrovski and Z. Zalud, 2004: Climate change impacts and adaptation strategies in spring barley production in the Czech Republic. *Climatic Change*, **64**, 227–255.

Tuchman, N.C., K.A. Wahtera, R.G. Wentzel and J.A. Teeri, 2003: Elevated atmospheric CO_2 alters leaf litter quality for stream ecosystems: an *in situ* leaf decomposition study. *Hydrobiologica*, **495**, 203-211.

Tumerbaatar, D., 2003: *Annual report on permafrost: potential impacts of climate change, vulnerability and adaptation assessment for grassland ecosystem and livestock sector in Mongolia*, AIACC Project Report.

UCV, 2005: Análisis de las lluvias diarias y acumuladas durante Febrero de 2005 en la región central capital. Facultad de Ingeniería, Instituto de Mecánica de Fluidos Departamento de Ingeniería Hidrometeorológica, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

UK Water Industry Research, 2004: *Climate Change and the Hydraulic Design of Sewerage Systems: Summary Report.* Report 03/CC/10/0, UKWIR, London.

UN, 2002: *CEO Briefing on Climate Change and the Financial Services Industry.* Environment Programme Finance Initiatives (UNEP FI).

UN, 2003: *World Water Development Report: Water for Life, Water for People*. UNESCO, Paris and Berghahn Books, Barcelona, 36 pp.

UN, 2006: *World Water Development Report 2: Water, a Shared Responsibility*. UNESCO, Paris, 601 pp.

UNCHS, 2003: *Local Action for Global Goals: Water and Sanitation in the World's Cities 2003*. Earthscan, London.

UNCHS, 2006: *Meeting Development Goals in Small Urban Centres: Water and Sanitation in the World's Cities 2006.* Earthscan,

London, 273 pp.

UNDP, 2006: *Beyond Scarcity: Power, Poverty, and the Global Water Crisis*. Human Development Report 2006. United Nations Development Program, New York.

UNEP/GRID-Arendal, 2002: *Vital Climate Graphics*. United Nations Environment Programme. http://www.grida.no/climate/vital/index.htm.

UN-HABITAT, 2003: *The Challenge of Slums: Global Report on Human Settlements 2003*, Earthscan Publications, London, 310 pp.

United States Environmental Protection Agency, 1997: Need for American Indian and Alaska Native water systems. *Drinking Water Infrastructure Needs Survey First Report to Congress.* EPA 812-R-97-001, UNEPA, Washington, DC, 27-33. http://www.epa.gov/ogwdw/needssurvey/pdfs/1997/report_needssurvey_1997_findings-tribal.pdf

Unkovich, M., 2003: Water use, competition, and crop production in low rainfall, alley farming systems of south-eastern Australia. *Australian J. Agri. Res.*, **54**, pp. 751-762.

UNMSM, 2004: Calor intenso y largas sequías. Especials, Perú. http://www.unmsm.edu.pe/Destacados/contenido.php?mver=11.

UNWWAP (United Nations World Water Assessment Programme), 2003: *Water for People, Water for Life - UN World Water Development Report,* UNESCO, Paris, and Berghahn Books, Oxford, 688 pp.

UNWWAP (United Nations World Water Assessment Programme), 2006: *Water: A Shared Responsibility*. UNESCO, Paris, and Berghahn Books, Oxford, 600 pp.

US Department of the Interior, 2005: *Water 2025: Preventing Crises and Conflict in the West*. Water 2025 Status Report, Washington, DC, 36 pp. http://www.doi.gov/water2025.

US Global Change Research Program, 2000: *Water: the Potential Consequences of Climate Variability and Change for the Water Resources of the United States.* National Water Assessment Group, U.S. Global Change Research Program, 160 pp. http://www.gcrio.org/NationalAssessment/water/water.pdf.

Uyarra, M., I. Cote, J. Gill, R. Tinch, D. Viner and A.L Watkinson, 2005: Island-specific preferences of tourists for environmental features: implications of climate change for tourism-dependent states. *Environ. Cons.*, **32**(1), 11–19.

van Lieshout, M., R.S. Kovats, M.T.J. Livermore and P. Martens, 2004: Climate change and malaria: analysis of the SRES climate and socio-economic scenarios. *Global Environ. Chang.*, **14**, 87-99.

Van Rheenen, N.T., A.W. Wood, R.N. Palmer and D.P. Lettenmaier, 2004: Potential implications of PCM climate change scenarios for Sacramento–San Joaquin River Basin hydrology and water resources. *Climatic Change*, **62**, 257-281.

Vandenberghe, J., 2002: The relation between climate and river processes, landforms and deposits during the Quaternary. *Quaternary Int.*, **91**, 17–23.

VanRheenen, Vasilev, V., 2003: Variability of Shigella flexneri serotypes during a period in Israel, 2000-2001. *Epidemiol. Infect*., **132**, 51–56.

Vásquez, O.C., 2004: *El Fenómeno El Niño en Perú y Bolivia: Experiencias en Participación Local*. Memoria del Encuentro Binacional Experiencias de prevención de desastres y manejo de emergencias ante el Fenómeno El Niño, Chiclayo, Peru. ITDG, 209 pp.

Vasquez-Leon, M., C.T. West, and T.J. Finan, 2003: A comparative assessment of climate vulnerability: agriculture and ranching on both sides of the US-Mexico border. *Global Environ. Chang.*, **13,** 159-173.

Venegas, S.A. and L.A. Mysak, 2000: Is there a dominant timescale of natural climate variability in the Arctic? *J. Clim.*, **13**, 3412–3434.

Vesely, J., V. Majer, J. Kopacek and S.A. Norton, 2003: Increasing temperature decreases aluminium concentrations in Central European lakes recovering from acidification. *Limnol. Oceanogr.*, **48**, 2346-2354.

Vic DSE, 2006: *Wimmera Mallee Pipeline.* Department of Sustainability and Environment, Victoria.

Villagrán de León, J., J. Scott, C. Cárdenas and S. Thompson, 2003: *Early Warning Systems in the American Hemisphere: Context, Current Status, and Future Trends.* Final Report. Hemispheric Consultation on Early Warning, Antigua, 15 pp.

Vincent, J.R., 1995: Timber trade, economics and tropical forest management. *Ecology, Conservation and Management of Southeast Asia Rainforests*, B.R. Primack and T.E. Lovejoy, Eds., Yale University Press, New Haven, CN, 241-261.

Viner, D., M. Sayer, M. Uyarra and N. Hodgson, 2006: *Climate Change and the European Countryside: Impacts on Land Management and Response Strategies*. Report prepared for the Country Land and Business Association, CLA, Norwich, 180 pp.

Viney, N.R., Bates, B.C., Charles, S.P., Webster, I.T., Bormans, M. and Aryal, S.K., 2003: Impacts of climate variability on riverine algal blooms. *Proc. International Congress on Modelling and Simulation, MODSIM 2003 14–17 July*, Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand Inc., 23–28. http://mssanz.org.au/modsim03/Media/Articles/Vol%201%20Articles/23-28.pdf.

Vörösmarty, C.J., P.J. Green, J. Salisbury and R.B. Lammers, 2000: Global water resources: vulnerability from climate change and population growth. *Science*, **289**, 284–288.

Vörösmarty, C.J., E.M. Douglas, A.A. Green and C. Ravenga, 2005: Geospatial indicators of emerging water stress: an application to Africa. *Ambio*, **34**(3), 230–236.

Vuille, M., R.S. Bradley, M. Werner and F. Keimig, 2003: 20th century climate change in the tropical Andes: observations and model results. *Climatic Change*, **59**, 75-99.

Wahab, H.M., 2005: The impact of geographical information system on environmental development. *Unpublished MSc Thesis*, Faculty of Agriculture, Al-Azhar University, Cairo, 149 pp.

Wall, E., and B. Smit, 2005: Climate change adaptation in light of sustainable agriculture. *J. Sustainable Agric.*, **27**, 113–123.

Walsh, J.E. and Co-authors, 2005: Cryosphere and hydrology. *Arctic Climate Impacts Assessment, ACIA*, C. Symon, L. Arris and B. Heal, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 183–242.

Walsh, M.E., D.G. de la Torre Ugarte, H. Shapouri and S.P. Slinsky, 2003: Bioenergy crop production in the United States. *Environ. Res. Econ.*, **24**, 313-333.

Walter, M.T., D.S. Wilks, J.Y. Parlange and B.L. Schneider, 2004: Increasing evapotranspiration from the conterminous United States. *J. Hydrometeorol.*, **5**, 405-408.

Wang, T., 2003: Study on desertification in China. Contents of desertification research. *J. Desert Res.*, **23**(5), 477–482.

Warren, J., J. Berner and J. Curtis, 2005: Climate change and human health: infrastructure impacts to small remote communities in the North. *Int. J. Circumpolar Health*, **64**(5), 498.

Warren, R., N. Arnell, R. Nicholls, P. Levy and J. Price, 2006: *Understanding the Regional Impacts of Climate Change.* Research Report prepared for the Stern Review on the Economics of Climate Change. Tyndall Centre for Climate Change Research, Working Paper 90, UEA, Norwich, 223 pp

Wassmann, R., X.H. Nguyen, T.H. Chu and P.T. To, 2004: Sea-level rise affecting the Vietnamese Mekong Delta: water elevation in the flood season and implications for rice production. *Climatic Change*, **66**, 89-107.

Water 21, 2002: Joining forces. *Magazine of the International Water Association*, **October**, 55-57.

Water Corporation, 2006: *Planning for New Sources of Water.* West

Australian Water Corporation. http://www.watercorporation.com.au/W/water_sources_new.cfm.

Waters, D., W.E. Watt, J. Marsalek and B.C. Anderson, 2003: Adaptation of a storm drainage system to accommodate increased rainfall resulting from climate change *J. Environ. Plan. Manag.*, **46**, 755–770.

Watson, R.T. and W. Haeberli, 2004: Environmental threats, mitigation strategies and high mountain areas. Mountain Areas: A Global Resource. *Ambio*, **13**, 2-10.

Watson, R.T., M.C. Zinyowera and R.H. Moss, Eds., 1997: *The Regional Impacts of Climate Change: An Assessment of Vulnerability*. Cambridge University Press, Cambridge, 517 pp.

WDR, 2003: *World Disaster Report: Focus on Ethics in Aid*. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, Geneva, 240 pp.

WDR, 2004: *World Disaster Report: Focus on Community Resilience*. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, Geneva, 240 pp.

Webster, P.J., V.O. Magana, T.N. Palmer, J. Shukla, R.A. Tomas, M. Yanagi and T. Yasunari, 1998: Monsoons: processes, predictability and the prospects for prediction. *J. Geophys. Res*., **103**, 14451–14510.

Werritty, A., 2001: Living with uncertainty: climate change, river flow and water resources management in Scotland. *Sci. Total Environ.*, **294**, 29–40.

West, T.O. and G. Marland, 2003: Net carbon flux from agriculture: carbon emissions, carbon sequestration, crop yield, and land-use change. *Biogeochem.*, **63**, 73-83.

West, T.O. and W.M. Post, 2002: Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.,* **66**, 1930-1946.

Wheaton, E., V. Wittrock, S. Kulshretha, G. Koshida, C. Grant, A. Chipanshi and B. Bonsal, 2005: *Lessons Learned from the Canadian Drought Years of 2001 and 2002: Synthesis Report.* Saskatchewan Research Council Publication No. 11602-46E03, Saskatoon, Saskatchewan. http://www.agr.gc.ca/pfra/drought/info/11602-46E03.pdf.

White, M.A., N.S. Diffenbaugh, G.V. Jones, J.S. Pal and F. Giorgi, 2006: Extreme heat reduces and shifts United States premium wine production in the 21st century. *P. Natl. Acad. Sci. USA*, **103**, 11217-11222.

Whittington, H. and S.W. Gundry, 1998: Global climate change and hydroelectric resources. *Eng. Sci. Ed. J.*, **7**, 29-34.

WHO (World Health Organization), 2003: *Report of Synthesis Workshop on Climate Change and Health in Small Islands States*, 1-4 December 2003, Republic of the Maldives. World Health Organization, Geneva, 95 pp.

WHO (World Health Organization), 2004: *Guidelines for Drinking Water Quality. Volume 1: Recommendations*, Third Edition, WHO, Geneva, 366 pp.

WHO (World Health Organization), 2005: *Water Safety Plans: Managing Drinking Water Quality from Catchment to Consumer*. Prepared by A. Davison and Co-authors, WHO/SDE/WSH/05.06, WHO, Geneva, 235 pp.

WHO/UNICEF, 2000: *Global water supply and sanitation assessment 2000 report.* World Health Organization with UNICEF, Geneva, 79 pp. http://www.who.int/docstore/water_sanitation_healt/Globassessment/GlobalTOC.htmWHO/UNICEF.

Wijeratne, M.A., 1996: Vulnerability of Sri Lanka tea production to global climate change. *Water Air Soil Poll.,* Historical Archive, 87–94.

Wilby, R.L., 2006: When and where might climate change be detectable in UK river flows? *Geophys. Res. Lett.*, **33**(19), L19407, doi:10.1029/2006GL027552.

Wilby R.L. and I. Harris, 2006: A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: low-flow scenarios for the River Thames, UK. *Water Resour. Res*., **42**, W02419, doi:10.1029/2005WR004065.

Williams, K.L., K.C. Ewel, R.P. Stumpf, F.E. Putz and T.W. Workman, 1999: Sea-level rise and coastal forest retreat on the west coast of Florida. *Ecology*, **80**, 2045–2063.

Williams, R.H., E.D. Larson and H. Jin, 2006: Synthetic fuels in a world of high oil and carbon prices. *Proc. 8th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies*, Trondheim, Norway, June.

Williams, S.E., E.E. Bolitho and S. Fox, 2003: Climate change in Australian tropical rainforests: an impending environmental catastrophe. *P. Roy. Soc. Lond. B Bio.*, **270**, 1887-1892.

Winter, T.C. and M.K. Woo, 1990: Hydrology of lakes and wetlands. *Surface Water Hydrology,* M.G. Wolman and H.C. Riggs, Eds., Geological Society of America, Boulder, CO, Vol. 0-1, 159–188.

Woo, M.K., R.D. Rowsell and R.G. Clark, 1993: *Hydrological Classification of Canadian Prairie Wetlands and Prediction of Wetland Inundation in Response to Climatic Variability.* Canadian Wildlife Service, Environment Canada, Ottawa, ON, 23 pp.

Woodruff, R.E. and Co-authors, 2002: Predicting Ross River virus epidemics from regional weather data. *Epidemiology*, **13**, 384–393.

Woodruff, R.E., C.S. Guest, M.G. Garner, N. Becker and M. Lindsay, 2006: Early warning of Ross River virus epidemics: combining surveillance data on climate and mosquitoes. *Epidemiology*, **17**(5), 569–575.

Woods, R.A. and C. Howard-Williams, 2004: Advances in freshwater sciences and management. *Freshwaters of New Zealand*, J.S. Harding, M.P. Mosley, C.P. Pearson and B.K. Sorrell, Eds., New Zealand Hydrological Society Inc. and New Zealand Limnological Society Inc., Christchurch, 764 pp.

Woodworth, P.L. and D.L. Blackman, 2004: Evidence for systematic changes in extreme high waters since the mid-1970s. *J. Climate*, **17**, 1190-1197.

World Bank, 2000: *Cities, Seas and Storms: Managing Change in Pacific Island Economies. Vol. IV, Adapting to Climate Change.* The World Bank, Washington, DC, 72 pp.

World Bank, 2002: *World Development Indicators*, CD-ROM, The World Bank, Washington, DC.

World Bank, 2004a: *Water Resources Sector Strategy: Strategic Directions for World Bank Engagement*. Pub. No. 28114, The World Bank, Washington, DC, 88 pp.

World Bank, 2004b: *Modelled Observations on Development Scenarios in the Lower Mekong Basin*. Mekong Regional Water Resources Assistance Strategy, prepared for theWorld Bank with Mekong River Commission cooperation, Washington, DC and Vientiane, 142 pp. http://www. mrcmekong.org/free_download/report.htm.

World Commission on Dams, 2000: *Dams and Development: A New Framework for Decision-Making.* Earthscan, London, 442 pp.

World Water Council, 2006: *Final* R*eport of the 4th World Water Forum*. National Water Commission of Mexico, Mexico City, 262 pp.

World Water Forum, 2000: *The Africa Water Vision for 2025: Equitable and Sustainable Use of Water for Socioeconomic Development*. World Water Forum, The Hague, 30 pp.

Wright, K.R. and A. Valencia Zegarra, 2000: *Machu Picchu: A Civil Engineering Marvel*. American Society of Civil Engineers Press, Reston, Virginia, 144 pp.

Wrona, F.J. and Co-authors, 2005: Freshwater ecosystems and fisheries. *Arctic Climate Impact Assessment, ACIA*, C. Symon, L. Arris and B. Heal, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 353–452.

Wrona, F.J., T.D. Prowse, J.D. Reist, J.E. Hobbie, L.M.J. Lévesque and W.F. Vincent, 2006: Climate change effects on aquatic biota, ecosystem structure and function. *Ambio*, **35**(7), 359–369.

WWF, 2005: *An Overview of Glaciers, Glacier Retreat, and Subsequent Impacts in Nepal, India and China.* WWF Nepal Programme, 79 pp. http://assets.panda.org/downloads/himalayaglaciersreport2005.pdf.

Xu, C.X., 2003: *China National Offshore and Coastal Wetlands Conservation Action Plan*. China Ocean Press, Beijing, 116 pp (in Chinese).

Yamada, T., 1998: *Glacier Lake and its Outburst Flood in the Nepal Himalaya.* Monograph No. 1, March 1998, Data Center for Glacier Research, Japanese Society of Snow and Ice, Tokyo, 96 pp.

Yan, X., T. Ohara and H. Akimoto, 2003: Development of region-specific emission factors and estimation of methane emission from rice field in East, Southeast and South Asian countries. *Global Change Biology,* **9**, 237-254.

Yang, D., B. Ye and A. Shiklomanov, 2004a: Discharge characteristics and changes over the Ob River watershed in Siberia. *J. Hydrometeorol.*, **5**, 595–610.

Yang, D., B. Ye and D.L. Kane, 2004b: Streamflow changes over Siberian Yenisei River basin. *J. Hydrol.*, **296**, 59–80.

Yang, D.Q., D.L. Kane, L.D. Hinzman, X. Zhang, T. Zhang and H. Ye, 2002: Siberian Lena River hydrologic regime and recent change. *J. Geophys. Res.*, **107**(D23), 4694, doi:10.1029/2002JD002542.

Yin, Y.Y., Q.L. Miao and G.S. Tian, 2003: *Climate Change and Regional Sustainable Development*. Science Press, Beijing, 224 pp.

Yoshikawa, K. and L.D. Hinzman, 2003: Shrinking thermokarst ponds and groundwater dynamics in discontinuous permafrost. *Permafrost Periglac. Proc.*, **14**(2), 151–160.

Young, R.A., 2005: *Determining the Economic Value of Water: Concepts and Methods*. Resources for the Future Press, Washington, DC, 300 pp.

Zavaleta, E.S. and K.B. Hulvey, 2004: Realistic species losses disproportionately reduce grassland resistance to biological invaders. *Science*, **306**, 1175-1177.

Zebisch, M., T. Grothmann, D. Schroeter, C. Hasse, U. Fritsch and W. Cramer, 2005: *Climate Change in Germany: Vulnerability and Adaptation of Climate Sensitive Sectors*. Federal Environmental Agency (Umweltbundesamt), Dessau, 205 pp.

Zeidler, R.B., 1997: Continental shorelines: climate change and integrated coastal management. *Ocean Coast. Manage.*, **37**(1), 41–62.

Zhai P. and X. Pan, 2003: Trends in temperature extremes during 1951–1999 in China. *Geophys. Res. Lett.*, **30**(17), 1913, doi:10.1029/2003GL018004.

Zhai, P.M., 2004: Climate change and meteorological disasters. *Sci. Techn. Rev.*, **193**(7), 11–14.

Zhai, P.M., A. Sun, F. Ren, X. Liu, B. Gao and Q. Zhang, 1999: Changes of climate extremes in China. *Climatic Change*, **42**, 203–218.

Zhang, T.J., O.W. Frauenfeld, M.C. Serreze, A. Etringer, C. Oelke, J. McCreight, R.G. Barry, D. Gilichinsky, D.Q. Yang, H.C. Ye, F. Ling and S. Chudinova, 2005: Spatial and temporal variability in active layer thickness over the Russian Arctic drainage basin. *J. Geophys. Res.*, **110**(D16), D16101, doi:10.1029/2004JD005642.

Zhang, Y., W. Chen and J. Cihlar, 2003: A process-based model for quantifying the impact of climate change on permafrost thermal regimes, *J. Geophys. Res.*, **108**(D22), 4695 doi:10.1029/2002JD003354.

Zhou, G., N. Minakawa, A.K. Githeko and G. Yan, 2004: Association between climate variability and malaria epidemics in the East African highlands. *P. Natl. Acad. Sci. USA*, **101**, 2375-2380.

Zhou, Y. and R.S.J. Tol, 2005: Evaluating the costs of desalination and water transport. *Water Resourc. Res.*, **41**, 1–10.

Zierl, B. and H. Bugmann, 2005: Global change impacts on hydrological processes in Alpine catchments. *Water Resourc. Res.*, **41**(2), 1–13.

التذييل الأول: أوصاف النماذج المناخية

النموذج	الأصل	الاستبانة (خط العرض/خط الطول)		المرجع لوصف النموذج (انظر أدناه)
CGCM1	المركز الكندي للنمذجة والتحاليل المناخية، كندا	مكوِّن الغلاف الجوي: 3.7° مكوِّن المحيطات: 1.8° x 1.8° ~	~ 3.7° x 3.7° ~ 1.8° x 1.8°	Flato وآخرون، 2000
HadCM2	مركز هادلي التابع لمكتب الأرصاد الجوية، المملكة المتحدة	2.5° x 3.75°		Johns وآخرون، 1997
HadCM3	مركز هادلي التابع لدائرة الأرصاد الجوية في المملكة المتحدة،	2.5° x 3.75°		Gordon وآخرون، 2000 Pope وآخرون، 2000
RegCM2	المركز الوطني لبحوث الغلاف الجوي، الولايات المتحدة الأمريكية	~50 km		Giorgi وآخرون، 1993a, b
ECHAM4 (with OPYC3)	معهد ماكس بلانك للأرصاد الجوية (MPI) والمركز الألماني للبحوث المناخية، (DKRZ) ألمانيا	~2.8° x 2.8°		Roeckner وآخرون، 1996

المراجع:

Flato, G.M., G.J. Boer, W.G. Lee, N.A. McFarlane, D. Ramsden, M.C. Reader and A.J. Weaver, 2000: المركز الكندي لنمذجة وتحاليل المناخ - النموذج العالمي الاقتراني والمناخ *Clim. Dyn.*, 16, 451-467.

Johns, T.C, R.E. Carnell, J.F. Crossley, J.M. Gregory, J.F.B. Mitchell, C.A. Senior, S.FB. Tett and R.A. Wood, 1997: نموذج مركز هادلي العالمي الخاص بالمحيطات والغلاف الجوي: وصف النموذج وإقرار صلاحيته. *Clim. Dyn.*, 13, 103-134.

Gordon, C, C. Cooper, C.A. Senior, H.T. Banks, J.M. Gregory, T.C. Johns, J.F.B. Mitchell and R.A. Wood, 2000: محاكاة درجة حرارة سطح البحر ومدى الجليد البحري وانتقال حرارة المحيطات في صيغة نموذج مركز هادلي بدون إجراء تعديلات على الدفق *Clim. Dyn.*, 16, 147-168.

Pope, V, M.L. Gallani, RR. Rowntree and R. A. Stratton, 2000: أثر تحديدات البارامترات الفيزيائية في نموذج المناخ لمركز هادلي. *Clim. Dyn.*, 16, 123-146.

Giorgi, E, M.R. Marinucci and G. T. Bates, 1993: استحداث جيل ثان من نموذج المناخ الإقليمي (RegCM2). Part I. الطبقة المتاخمة وعمليات الانتقال الإشعاعي. *Mon. Weather Rev.*, **121**, 2794-2813.

Giorgi, E, M.R. Marinucci, G. T. Bates and G. DeCanio, 1993: استحداث جيل ثاني من نموذج المناخ الإقليمي (RegCM2). Part II، عمليات النقل الحراري واستيعاب الظروف الحدودية الطرفية *Mon. Weather Rev.*, **121**, 2814-2832.

Roeckner, E., K. Arpe, L. Bengtsson, M. Christoph, M. Claussen, L. Dumenil, M. Esch, M. Giorgetta, U. Schlese and U. Schulzweida, 1996: نموذج الدوران العام في الغلاف الجوي *ECHAM-4*: وصف النموذج ومحاكاة مناخ اليوم. Max-Planck Institute for Meteorology, Report No.218, Hamburg, Germany, 90 pp.

التذييل الثاني: مسرد المصطلحات

المحرر: Jean Palutikof (المملكة المتحدة)
المحرران المشاركان: Clair Hanson (المملكة المتحدة)، و Bryson Bates (أستراليا)

تستند قائمة المصطلحات هذه إلى المصطلحات التي نشرت في تقرير التقييم الرابع الذي أعدته الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ.

والكلمات المطبوعة بأحرف مائلة تشير إلى *مادة وردت في هذه القائمة*، وإلى مادة ثانوية (أي إلى مصطلح ورد ضمن مساهمات الأفرقة العاملة في تقرير التقييم الرابع الذي أعدته الهيئة IPCC، أو إلى مصطلح عرِّف لدى شرح مادة من مواد مسرد المصطلحات هذا).

A

Abrupt climate change
تغير المناخ المفاجئ

قد تؤدي لا خطية *النظام المناخي* إلى *تغير المناخ* على نحو مفاجئ يسمى أحياناً «التغير المناخي السريع» أو «الأحداث المفاجئة» أو حتى «المفاجآت المناخية». وغالباً ما تشير كلمة «مفاجئ» إلى نطاق زمني يتسم بسرعة أكبر من سرعة النطاق الزمني العادي لعملية التأثير التي يعزى إليها ذلك. ولكن لا حاجة إلى *تأثير خارجي* لإحداث جميع التغيرات المناخية المفاجئة إذ تنطوي بعض التغيرات المفاجئة المحتملة المفترضة على إعادة تنظيم بالغة للدوران المدفوع بقوة التباين الحراري والملحي، والانحسار الجليدي السريع والذوبان الكبير *للتربة الصقيعية* أو ازدياد تنفس التربة مما يؤدي إلى تغيرات سريعة في *دورة الكربون*. وقد تكون أحداث أخرى غير متوقعة بالفعل وتنتج عن عمليات تأثير قوية وسريعة التغير لنظام لا خطي.

Active layer
الطبقة الناشطة

هي الطبقة المعرضة للذوبان والتجمد السنويين في المناطق التي تقع فوق *التربة الصقيعية*.

Adaptation
التكيف

المبادرات والتدابير التي ترمي إلى الحد من تعرض النظم الطبيعية والبشرية لتأثيرات *تغير المناخ* الحالية أو المتوقعة. ويمكن التمييز بين أنواع عديدة من التكيف، مثل التكيف الاستباقي والتفاعلي، والتكيف الخاص والعام، والتكيف الذاتي والمخطط. ومن الأمثلة عليه، إنشاء السدود على الأنهر أو مصدات الفيضانات على السواحل، والاستعاضة عن المنشآت الحساسة بمنشآت أكثر مقاومة للحرارة والصدمات، وما إلى ذلك.

Adaptive capacity
القدرة على التكيّف

مجموع القدرات والموارد والمؤسسات الموجودة في بلد أو *منطقة* لتنفيذ تدابير *تكيف* فعالة.

Aerosols
الأهباء الجوية

مجموعة من الجسيمات الصلبة أو السائلة التي يحملها الهواء ويتراوح حجمها عادة بين 0,01 ميكرون و10 ميكرونات (جزء من مليون من المتر)، وتبقى هذه الجسيمات في الغلاف الجوي لعدة ساعات على الأقل. وقد تكون الأهباء الجوية طبيعية أو *بشرية المنشأ*. وقد تؤثر في *المناخ* بطريقتين اثنتين: إما مباشرة من خلال استطارة *وامتصاص* الإشعاع أو بصورة غير مباشرة من خلال العمل في شكل نويات تكثيف لتكوينات السحب أو تعديل الخصائص البصرية للسحب وفترة بقائها.

Afforestation
التشجير

غرس غابات جديدة في أراض لم تكن فيها غابات في الماضي (منذ خمسين سنة على الأقل). ولمناقشة مصطلح «الغابة» وما يتصل به من مصطلحات مثل «التشجير» و«*إعادة التشجير*» و«*إزالة الأشجار*»، انظر تقرير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ عن استخدام الأراضي، وتغير استخدام الأراضي، والحراجة (IPCC، 2000).

Albedo
البياض

الجزء من *الإشعاع الشمسي* الذي يعكسه سطح أو جسم، ويعبر عنه عادة بنسبة مئوية. وللسطوح المغطاة بالثلوج عادة بياض شديد. ويتراوح بياض التربة بين شديد ومنخفض، وأما السطوح المغطاة بالنباتات والمحيطات فلهما بياض منخفض. والبياض الأرضي يختلف أساساً نتيجة لتباين درجة التغيم والثلوج والجليد ومناطق الأوراق والتغيرات في الغطاء الأرضي.

Algal bloom
تكاثر الطحالب

انفجار تكاثر الطحالب في البحيرات أو الأنهار أو المحيطات.

Alpine
ألبي

منطقة حيوية جغرافية تتكون من منحدرات فوق حد نمو الأشجار

وتتسم بوجود نباتات عشبية نجمية الشكل ونباتات خشبية في شكل جنيبات قصيرة بطيئة النمو.

Annex I countries
البلدان المدرجة في المرفق الأول

مجموعة البلدان المدرجة في المرفق الأول (بموجب تعديل عام 1998) *باتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ (UNFCCC)*، بما فيها جميع البلدان الأعضاء في منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي والاقتصادات التي تمر بمرحلة انتقالية. ووفقاً للمادتين 4.2 (أ) و4.2 (ب) من الاتفاقية، تلتزم البلدان المدرجة في المرفق الأول فردياً أو مجتمعة التزاماً محدداً بهدف إعادة مستويات انبعاثات *غاز الدفيئة* إلى مستويات عام 1999 وذلك بحلول عام 2000. ولذلك يُشار إلى البلدان الأخرى، بأنها البلدان غير المدرجة في المرفق الأول.

Annex II countries
البلدان المدرجة في المرفق الثاني

مجموعة البلدان المدرجة في المرفق الثاني *باتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ (UNFCCC)*، بما فيها جميع البلدان الأعضاء في منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي في عام 1990. ووفقاً للمادة 4.2 (ز) من الاتفاقية، يتوقع من هذه البلدان توفير الموارد المالية لمساعدة البلدان النامية على الامتثال لالتزاماتها كإعداد التقارير الوطنية. كما يتوقع من البلدان المدرجة في المرفق الثاني تعزيز نقل التكنولوجيا السليمة بيئياً إلى البلدان النامية.

Annex B countries
البلدان المدرجة في المرفق باء

هي البلدان المدرجة في المرفق باء في *بروتوكول كيوتو* التي وافقت على الرقم المستهدف لانبعاثات غازات الدفيئة فيها بما في ذلك جميع *البلدان المدرجة في المرفق الأول* (بموجب تعديل 1998) باستثناء تركيا وبيلاروس. انظر *بروتوكول كيوتو*.

Annular modes
الأنماط الحلقية

أنماط التغير الأكثر شيوعاً في دوران الغلاف الجوي التي تتطابق مع التغيرات الطارئة على الرياح الغربية المحسوب معدلها النطاقي على مستوى خطوط العرض الوسطى. وينحاز *النمط الحلقي الشمالي* نحو شمال الأطلسي ويرتبط ارتباطاً وثيقاً *بالتذبذب في شمال الأطلسي*، ويشاهد *النمط الحلقي الجنوبي* في النصف الجنوبي من الكرة الأرضية. وتعرف تقلبية الرياح الغربية التي تضرب خطوط العرض الوسطى أيضاً بتذبذب الدفق النطاقي (أو الريح) وتحدد بموجب مؤشر نطاقي.

Anthropogenic
بشري المنشأ

ناتج عن الأنشطة البشرية أو من صنع الإنسان.

Aquaculture
تربية الأحياء المائية

تربية وتعهّد الأسماك أو الحيوانات المائية مثل السلمون أو المحار في برك خاصة بهدف الحصول على الغذاء.

Aquifer
مستودع مياه جوفية

طبقة من الصخور المسامية تحتوي على المياه. وتتغذى مستودعات المياه الجوفية غير المحصورة، بصورة مباشرة من هطول المطر محلياً وبالأنهار والبحيرات، كما أن معدل التغذية يتأثر بنفاذية الصخور والتربة الفوقية.

Arid region
منطقة قاحلة

منطقة أرضية يتدنى مستوى هطول الأمطار فيها، «والتدني» المقبول على نطاق واسع، يعني المستوى الذي يقل عن 250 مم في السنة.

Atlantic Multi-decadal Oscillation (AMO)
التذبذب المتعدد العقود في المحيط الأطلسي

تقلبات تدوم عقوداً عديدة (65 إلى 75 سنة) في شمال الأطلسي شهدت خلالها *درجات حرارة سطح البحر* فترات دافئة بين حوالي عام 1860 وعام 1880 ومن عام 1930 إلى عام 1960، وفترات باردة من عام 1905 إلى 1925 ومن عام 1970 إلى عام 1990 بلغ نطاقها 0.4 درجات مئوية.

Atmosphere
الغلاف الجوي

هو الغلاف الغازي المحيط بالكرة الأرضية. ويتألف الغلاف الجوي الجاف بصورة كلية تقريباً من النيتروجين (نسبة الخلط الحجمية 78.1 في المائة) والأكسجين (نسبة الخلط الحجمية 20.9 في المائة)، إلى جانب عدد من الغازات النزرة مثل الأرغون (نسبة الخلط الحجمية 0.93 في المائة)، والهليوم، وغازات الدفيئة الفاعلة إشعاعياً مثل *ثاني أكسيد الكربون* (نسبة الخلط الحجمية 0.035 في المائة) *والأوزون*. وإضافة إلى ذلك، يحتوي الغلاف الجوي على بخار الماء في غازات الدفيئة الذي يتباين مقداره كثيراً بين غاز وآخر، لكنه يقارب عادة نسبة خلط حجمي تبلغ 1 في المائة. ويحتوي الغلاف الجوي أيضاً على غيوم *وأهباء جوية أيروسولات*.

Atmospheric boundary layer
الطبقة المتاخمة للغلاف الجوي

وهي الطبقة المتاخمة لسطح الأرض المعرض للتأثر بالاحتكاك بهذه الطبقة المتاخمة ولاحتمال التأثر بمتغيرات انتقال الحرارة أو المتغيرات الأخرى على طول ذلك السطح (الجمعية الأمريكية للأرصاد الجوية، 2000). وتسمى الحوالى 10 أمتار الأوطأ، من الطبقة المتاخمة حيث يتركز فيها التوليد الميكانيكي للاضطرابات، بالطبقة السطحية المتاخمة أو الطبقة السطحية.

Attribution
العزو (تحديد الأسباب)

انظر *الكشف والعزو (تحديد الأسباب) Detection and attribution*.

B

Barrier
الحاجز

هو أي عائق يعترض تحقيق هدف أو إمكانية *تكيف* أو *تخفيف* ويمكن التغلب عليه أو الحدّ منه من خلال سياسة أو برنامج أو تدبير. وتشمل

إزالة الحواجز عملية تصحيح إخفاقات السوق بصورة مباشرة أو تقليص تكاليف المعاملات في القطاعين العام والخاص، بطرق مثل تحسين قدرات المؤسسات والحد من المخاطر وعدم اليقين، وتيسير معاملات السوق، وتطبيق السياسات التنظيمية.

Baseline
خط الأساس
هو المرجع للكميات القابلة للقياس التي يمكن على أساسها قياس نتيجة بديلة، *فسيناريو* عدم التدخل مثلاً يُستخدم كمرجع لتحليل سيناريوهات التدخل.

Basin
الحوض
منطقة صرف مياه مجرى أو نهر أو بحيرة.

Biodiversity
التنوع الأحيائي
إجمالي تنوع الكائنات والنظم الإيكولوجية كافة على مختلف النطاقات المكانية (من الجينات وصولاً إلى *الوحدات الأحيائية* الكاملة).

Bioenergy
الطاقة الأحيائية
الطاقة المشتقة من الكتلة الأحيائية

Biofuel
الوقود الأحيائي
وقود يُنتج من مادة عضوية أو من زيوت قابلة للاحتراق تولدها النباتات. ومن الأمثلة على الوقود الأحيائي الكحول، وسائل أسود ينجم عن عملية صنع الورق، والخشب، وزيت فول الصويا.

Biomass
الكتلة الأحيائية
مجموع كتلة الكائنات الحية في مساحة معينة من الأرض أو في مياه من حجم معين، وكثيراً ما تندرج المواد النباتية الميتة حديثاً فيها باعتبارها كتلة أحيائية ميتة. أما كمية الكتلة الأحيائية فيعبر عنها بالوزن الجاف أو *بالطاقة* أو محتواها من الكربون أو النيتروجين.

Biome
وحدة أحيائية
عنصر إقليمي رئيسي ومميز في *المحيط الحيوي*، يتألف عادة من عدة أنظمة إيكولوجية (مثل *الغابات* والأنهار والبرك والمستنقعات ضمن *منطقة* ذات مناخ مشابه). وتتميز الوحدات الأحيائية بمجموعات نباتية وحيوانية خاصة بها.

Biosphere (terrestrial and marine)
الغلاف الحيوي (أرضي وبحري)
الجزء من نظام الأرض الذي يتألف من جميع *النظم الإيكولوجية* والكائنات الحية في *الغلاف الجوي*، وعلى الأرض (الغلاف الحيوي للأرض)، أو في المحيطات (الغلاف الحيوي البحري)، بما في ذلك المادة العضوية الميتة الناشئة من كائنات حية مثل النفايات والمادة العضوية الموجودة في التربة ومخلفات المحيطات.

Biota
الكائنات الحية
كل الكائنات الحية التي تعيش في منطقة ما، وتعتبر النباتات والحيوانات وحدة واحدة.

Black carbon
الكربون الأسود
نوع محدد عملياً من أنواع *الهباء الجوي* استناداً إلى قياس امتصاص الضوء والتفاعل الكيميائي و/أو الاستقرار الحراري، ويتألف من السناج والفحم و/أو المادة العضوية غير القابلة للصهر والماصة للضوء.

Bog
السبخة، المستنقع
أرض رطبة حمضية تتألف من *الخث* المتراكم.

Boreal forest
غابة بوريالية (شمالية)
غابات من الصنوبر، والتنوب، والشوح، واللاركس تمتد من الساحل الشرقي لكندا إلى ألاسكا غرباً، وتستمر في امتدادها غرباً من سيبيريا عبر كامل أراضي روسيا إلى السهل الأوروبي.

Boundary layer
انظر *Atmospheric boundary layer الطبقة المتاخمة للغلاف الجوي*

C

C3 plants
نباتات C3
النباتات التي تنتج مركبات من ثلاثة أنواع من الكربون خلال عملية *التمثيل الضوئي*، وتشمل معظم الأشجار والمحاصيل الزراعية مثل الأرز والقمح وفول الصويا والبطاطا والخضار.

C4 plants
نباتات C4
النباتات التي تنتج مركبات من أربعة أنواع من الكربون خلال عملية *التمثيل الضوئي*، ومعظمها مدارية المنشأ، وتشمل الحشائش والمحاصيل الهامة من الناحية الزراعية مثل الذرة وقصب السكر وحبّة الدُّخن والسرغوم.

Carbon (Dioxide) Capture and Storage (CCS)
احتجاز (ثاني أكسيد الكربون) وتخزينه
عملية مكونة من فصل *ثاني أكسيد الكربون* عن المصادر الصناعية والمرتبطة بالطاقة، ونقله إلى موقع تخزين، وعزله عزلاً طويل الأجل عن *الغلاف الجوي*.

Carbon cycle
دورة الكربون
يستخدم هذا المصطلح في وصف تدفق الكربون (في أشكال مختلفة مثل *ثاني أكسيد الكربون*) من خلال *الغلاف الجوي*، والمحيطات، و*الغلاف الحيوي* الأرضي، والقشرة الأرضية.

Carbon dioxide (CO_2)
ثاني أكسيد الكربون

غاز يوجد في الطبيعة، وهو أيضاً أحد النواتج الثانوية الناجمة عن احتراق الوقود الأحفوري من رواسب الكربون الأحفورية، مثل النفط والغاز والفحم، وعن احتراق *الكتلة الأحيائية*، ونتيجة تغير *استخدام الأراضي*، وغير ذلك من العمليات الصناعية. وهو أهم *غازات الدفيئة البشرية المنشأ* الذي يؤثر في التوازن الإشعاعي للأرض. وهو الغاز المرجعي الذي تقاس على أساسه سائر غازات الدفيئة ولذلك تقدر *إمكانية إحداث الاحترار العالمي* بـ 1.

Carbon dioxide (CO_2) enrichment
انظر *Carbon dioxide (CO_2) fertilisation*

Carbon dioxide (CO_2) fertilisation
التخصيب بثاني أكسيد الكربون

تعزيز نمو النباتات نتيجة لزيادة تركيز *ثاني أكسيد الكربون* (CO_2) في الغلاف الجوي. وتعد بعض أنواع النباتات الخاصة بالتمثيل الضوئي، أكثر حساسية من سواها للتغيرات الطارئة على تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، وذلك وفقاً لآليتها الخاصة *بالتمثيل الضوئي*.

Carbon sequestration
عزل الكربون

امتصاص المواد المحتوية على الكربون، ولاسيما *ثاني أكسيد الكربون*. انظر *Sequestration* عزل

Catchment
مستجمع مياه

منطقة لتجميع مياه المطر وصرفها.

Cholera
الكوليرا

عدوى معوية منقولة بالماء تسببه جرثومة (ضمات الكوليرا) ما يؤدي إلى إسهال شديد متكرر ونوبات مغص حادة في البطن ومن ثم إلى الانهيار نتيجة للتجفاف والصدمة.

Clean Development Mechanism (CDM)
آلية التنمية النظيفة

وفقاً للتعريف الوارد في المادة 12 من *بروتوكول كيوتو*، تهدف آلية التنمية النظيفة إلى بلوغ هدفين هما: (1) مساعدة الأطراف غير المدرجة في *المرفق الأول* في تحقيق *التنمية المستدامة*، وفي الإسهام في تحقيق الهدف النهائي للاتفاقية؛ (2) ومساعدة الأطراف المدرجة في المرفق الأول على الامتثال لالتزاماتها بتحديد كميات الانبعاثات وخفضها. ويمكن أن تضيف الأطراف المدرجة في المرفق باء للمستثمر (الحكومة أو الصناعة) وحدات الخفض المعتمدة للانبعاثات في مشروعات آلية التنمية النظيفة التي تنفذ في البلدان غير المدرجة في المرفق الأول والتي تحد أو تخفض من انبعاثات غازات الدفيئة، عندما تعتمدها كيانات التشغيل التي يعينها مؤتمر الأطراف/اجتماع الأطراف. ويستخدم جزء من عائدات أنشطة المشاريع المعتمدة في تغطية المصاريف الإدارية فضلاً عن مساعدة الأطراف من البلدان النامية المعرضة بصورة خاصة لآثار *تغير المناخ* الضارة في تغطية تكاليف *التكيف*.

Climate
المناخ

المناخ بمعناه الضيق، يعرّف عادة بأنه متوسط الطقس، أو على نحو أدق بأنه الوصف الإحصائي لمتوسط وتقلبية الكميات ذات الصلة خلال فترة زمنية تتراوح بين أشهر وآلاف أو ملايين السنين. والفترة التقليدية لتحديد متوسط هذه المتغيرات هي 30 عاماً، حددتها المنظمة العالمية للأرصاد الجوية (WMO) وهذه الكميات هي، في أغلب الأحيان، من متغيرات سطح الأرض مثل درجات الحرارة، والهطول، والرياح. والمناخ، بمعناه الأوسع هو حالة من حالات *نظام المناخ* تشمل وصفاً إحصائياً.

Climate change
تغير المناخ

مصطلح تغير المناخ يشير إلى تغير في حالة *المناخ* يمكن تحديده (عن طريق استخدام اختبارات إحصائية مثلاً) بتغيرات في متوسط خصائصه و/أو تقلبها، ويدوم لفترة متطاولة تدوم عموماً عقوداً أو فترات أطول من ذلك. وقد يعزى تغير المناخ إلى عمليات داخلية طبيعية أو *تأثيرات خارجية*، أو تغييرات مستمرة *بشرية المنشأ* في تركيب *الغلاف الجوي* و*استخدام الأراضي*. ويلاحظ أن *اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ (UNFCCC)* تعرّفه في المادة الأولى منها بأنه "التغير في المناخ الذي يعزى بصورة مباشرة أو غير مباشرة إلى النشاط البشري الذي يغير من تكوين الغلاف الجوي للعالم والذي يكون إضافة إلى التقلبية في المناخ الطبيعي الملاحظة خلال فترات زمنية متماثلة" وعلى ذلك فإن الاتفاقية الإطارية تميز بين تغير المناخ الذي يعزى إلى الأنشطة البشرية التي تغير من تكوين الغلاف الجوي و"تقلبية المناخ" التي تعزى إلى أسباب طبيعية. انظر أيضاً *Climate variability; Detection and Attribution*.

Climate feedback
التأثير التفاعلي في المناخ

تدعى آلية التفاعل بين العمليات في *النظام المناخي* التأثير المناخي التفاعلي عندما تؤدي نتيجة أية عملية أولية إلى إحداث تغيرات في عملية ثانية تؤثر بدورها على العملية الأولية. والتأثير التفاعلي الإيجابي يعزز العملية الأصلية، بينما يقللها التأثير التفاعلي السلبي.

Climate model
النموذج المناخي

عرض عددي *للنظام المناخي* يقوم على الخصائص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية لعناصره وتفاعلاتها وعمليات *التأثير التفاعلي*، ويمثل كل خصائصه المعروفة أو بعضها. ويمكن أن يُمثَّل النظام المناخي بنماذج تختلف درجات تعقيدها، أي أنه يمكن تحديد هيكل هرمي من النماذج لأي عنصر من عناصره أو لمجموعة من تلك العناصر. وهذه النماذج تختلف في بعض الجوانب مثل عدد الأبعاد المكانية، ومدى تمثيل العمليات الفيزيائية أو الكيميائية أو البيولوجية تمثيلاً واضحاً أو المستوى الذي يتم عليه أخذ عمليات تحديد البارامترات في الاعتبار. وتوفر النماذج المتقارنة للدوران العام بين الغلاف الجوي والمحيطات والجليد البحري (AOGCMS) تمثيلاً للنظام المناخي يقارب نهاية الطيف الحالي الأكثر شمولاً. وهناك تطور نحو نماذج أكثر تعقيداً تشمل التفاعل بين الكيمياء والبيولوجيا (انظر الفصل 8 في تقرير الفريق العامل الأول) وتطبق النماذج المناخية كأداة من أدوات البحوث، لدراسة ومحاكاة *المناخ* وتستخدم أيضاً في الأغراض العملية بما فيها التنبؤات المناخية الشهرية والفصلية وتلك الخاصة بفترات ما بين السنوات.

Climate projection
توقعات (إسقاطات) المناخ

إسقاط استجابة *النظام المناخي* لسيناريوهات *الانبعاثات* أو تركيزات *غازات الدفيئة* و*الأهباء الجوية* أو *سيناريوهات المؤثر الإشعاعي*، هو إسقاط يستند في معظم الأحيان إلى عمليات محاكاة بواسطة *النماذج المناخية*. ويقصد بتمييز إسقاطات المناخ عن تنبؤات المناخ التوكيد على أن إسقاطات المناخ تعتمد على سيناريو الانبعاثات /التركيز/ المؤثر الإشعاعي الذي يستخدم والذي يعتمد على افتراضات تتعلق مثلاً، بالتطورات الاقتصادية - الاجتماعية والتكنولوجية المستقبلية التي قد تتحقق أو لا تتحقق والتي تخضع تالياً لقدر كبير من *عدم اليقين*.

Climate scenario
سيناريو المناخ

تمثيل معقول، ومبسط في معظم الأحيان، *للمناخ* الذي سيسود في المستقبل استناداً إلى مجموعة متسقة داخلياً من العلاقات المناخية التي وضعت للاستخدام الصريح في تحري العواقب المحتملة *لتغير المناخ البشري المنشأ* والتي تستخدم في كثير من الأحيان كمدخلات لنماذج التأثر. و*إسقاطات المناخ* تستخدم في الغالب كمادة خام لوضع سيناريوهات المناخ، إلا أن هذه السيناريوهات تحتاج عادة إلى معلومات إضافية مثل المعلومات عن المناخ الحالي المرصود. وسيناريو تغير المناخ هو الفارق بين سيناريو المناخ والسيناريو الحالي.

Climate system
نظام المناخ

نظام المناخ هو النظام الشديد التعقيد الذي يتألف من خمسة عناصر رئيسية هي : *الغلاف الجوي*، *والهيدروسفير*، *والغلاف الجليدي*، وسطح الأرض، *والمحيط الحيوي*، والتفاعلات بينها. ويتطور نظام المناخ عبر الزمن بتأثير ديناميته الداخلية الخاصة وبسبب *تأثيرات خارجية* مثل ثورات البراكين، والتباينات الشمسية، والتأثيرات *بشرية المنشأ* مثل تغير تكوين الغلاف الجوي *وتغير استخدام الأراضي*.

Climate variability
تقلبية المناخ

تشير تقلبية المناخ إلى التباينات في متوسط حالة *المناخ* وغيره من الإحصاءات المناخية (مثل الانحرافات المعيارية، وحدوث الظواهر المتطرفة وما إلى ذلك) بجميع النطاقات الزمنية والمكانية التي تتجاوز نطاق الظواهر الجوية الإفرادية. وقد تعزى التقلبية إلى عمليات داخلية طبيعية في إطار *نظام المناخ* (التقلبية الداخلية) أو إلى تباينات في *المؤثر الإشعاعي الخارجي* الطبيعي أو *البشري المنشأ* (التقلبية الخارجية). انظر أيضاً *Climate Change تغير المناخ*.

CO_2-fertilization
التخصيب بثاني أكسيد الكربون

انظر *التخصيب بثاني أكسيد الكربون*.

Confidence
الثقة

يشار في هذه الورقة الفنية إلى مستوى الثقة في صحة نتيجة من النتائج باستعمال مصطلحات موحدة معرَّفة أيضاً في الإطار 1-1 انظر أيضاً: *الأرجحية*؛ *عدم اليقين*.

Control run
تشغيل اختباري

يتم تشغيل نموذج ما بهدف إرساء *أساس* للمقارنة مع الاختبارات المرتبطة بتغير المناخ. ويستعمل التشغيل الاختباري قيماً ثابتة *للتأثير الإشعاعي* الناتج عن *غازات الدفيئة* تناسب الظروف السائدة حالياً أو قبل الثورة الصناعية.

Coral
المرجان

تحمل كلمة 'المرجان' معان عدة، لكنها غالباً ما تعني الاسم الشائع لرتبة السكليراكتينيا، حيث يتميز جميع أعضائها بهياكل كلسية صلبة، وتقسم إلى المرجان الذي يبني الشُعب والمرجان الذي لا يبني الشعب، أو إلى مرجان المياه الباردة ومرجان المياه الدافئة. انظر *الشُعب المرجانية*.

Coral reefs
الشعب المرجانية

هياكل من حجر الجير (كربونات الكالسيوم) شبيهة بالصخر يشكلها *المرجان* قرب سواحل المحيطات (الشعاب الحدودية) أو على ضفاف أو أجراف سطحية مغمورة بالمياه (الشعاب الحاجبة، الحلقات المرجانية) ووجود معظمها بارز في المحيطات المدارية وشبه المدارية.

Cost
التكلفة

هي استهلاك الموارد مثل وقت العمل، ورأس المال، والمواد، والوقود وما إلى ذلك كنتيجة لعمل ما. وفي علم الاقتصاد، تقيم الموارد كافة من حيث تكلفة الفرص البديلة، وهي قيمة الاستعمال البديل الأكثر قيمة لتلك الموارد. ويتم تحديد التكاليف بطرق شتى وفي إطار افتراضات تؤثر على القيمة. وتضم أنواع التكاليف: التكاليف الإدارية، وتكاليف الأضرار (التي تلحق بالنظم الإيكولوجية، والناس والاقتصادات بسبب الآثار السلبية الناشئة عن *تغير المناخ*)، وتكاليف تطبيق تكاليف تغير القواعد والأنظمة القائمة، وجهود بناء القدرات، والإعلام، والتدريب، والتثقيف، وما إلى ذلك. والتكاليف الخاصة يتحملها الأفراد أو الشركات أو الكيانات الأخرى الخاصة التي تقوم بذلك العمل، أما التكاليف الاجتماعية فتضم كذلك التكاليف الخارجية المترتبة على البيئة وعلى المجتمع ككل. أما التكاليف السلبية فهي منافع (وتسمى أحياناً تكاليف سلبية). وصافي التكاليف هو التكاليف مطروحاً منها المنافع.

Cryosphere
الغلاف الجليدي

عنصر من عناصر *النظام المناخي* يتألف من جميع كميات الثلج والجليد و*الأرض المتجمدة* (بما فيها *التربة الصقيعية*) الموجودة فوق أو تحت سطح الأرض والمحيطات. انظر أيضاً *Glacier; Ice sheet*.

D

Deforestation
إزالة الغابات (أو الأحراج)

تحويل الغابات إلى مناطق غير حرجية. وللاطلاع على مناقشة مصطلح «*غابة*» وما يتصل به من مصطلحات مثل «*التشجير*» و«*إعادة التشجير*» و«إزالة الغابات» انظر تقرير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ بشأن استخدام الأراضي وتغيير استخدام الأراضي والحراجة (IPCC، 2000).

Dengue fever
حمى الدنك

مرض فيروسي *معدٍ* ينقله البعوض وكثيراً ما يُطلق عليه اسم الحمى المؤلمة للعظام لأنها تظهر على شكل آلام شديدة في المفاصل والظهر. وقد تؤدي العدوى اللاحقة بالفيروس إلى الإصابة بحمى الدنك النزفية (DHF) ومتلازمة صدمة الدنك (DSS) التي قد تؤدي إلى الموت.

Desert
الصحراء

منطقة تتميز بهطول متدنٍ جداً للمطر، حيث تعتبر «النسبة المتدنية» جداً المتعارف عليها أقل من 100 ميلليمتر في السنة.

Desertification
التصحر

تدهور الأراضي في المناطق القاحلة وشبه القاحلة والجافة شبه الرطبة الناجم عن عوامل شتى منها تباينات المناخ والأنشطة البشرية. وعلاوة على ذلك تعرّف اتفاقية الأمم المتحدة لمكافحة التصحر (UNCCD) تدهور الأراضي بأنه تعرض المناطق القاحلة وشبه القاحلة والجافة شبه الرطبة لانخفاض أو خسارة الإنتاجية البيولوجية أو الاقتصادية أو تعقيدات الأراضي الزراعية المعتمدة على الأمطار والأراضي الزراعية المروية والمراعي وأراضي الرعي والغابات والجنبات نتيجة لاستخدام الأراضي أو نتيجة عملية أو مجموعة من العمليات بما فيها العمليات الناشئة عن الأنشطة البشرية والأنماط السكنية مثل (1) تحاتّ التربة بفعل الرياح و/ أو المياه؛ و(2) تدهور الخصائص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية أو الاقتصادية؛ و(3) فقدان الغطاء النباتي الطبيعي الطويل الأجل.

Detection and attribution
الكشف والعزو

يتغير *المناخ* باستمرار على جميع النطاقات الزمنية. والكشف عن *تغير المناخ* هو العملية التي تبين أن المناخ قد تغير من بعض النواحي الإحصائية المحددة بدون إبداء سبب لهذا التغير. وتحديد أسباب تغير المناخ هو عملية بيان أرجح أسباب التغير المكتشف بياناً على قدر محدد من *الثقة*.

Development path or pathway
نهج التنمية

هو تطور يرتكز على مجموعة من الخصائص التكنولوجية والاقتصادية والاجتماعية والمؤسساتية والثقافية والبيولوجية - الفيزيائية يُحدد التفاعلات بين *النظم* الطبيعية و*البشرية* بما في ذلك أنماط الإنتاج والاستهلاك في كافة البلدان، على مر الزمن وفي نطاق معين. أما النهوج البديلة للتنمية، فتشير إلى مسارات ممكنة مختلفة إزاء التنمية، وما استمرار الاتجاهات الحالية إلا نهجاً واحداً من نهوج عديدة.

Disturbance regime
نظام اضطرابي

تواتر الاضطرابات وشدتها وأنواعها، مثل الحرائق أو تفشي الحشرات أو الآفات، والفيضانات ونوبات الجفاف.

Downscaling
تقليص النطاقات

طريقة اشتقاق المعلومات بالنطاق المحلي إلى الإقليمي (10 إلى 100 كلم) من النماذج الأوسع نطاقاً أو تحاليل البيانات. ويمكن التمييز هنا بين طريقتين: تقليص النطاقات الديناميكي والتقليص التجريبي الإحصائي. وتستعمل الطريقة الديناميكية مخرجات *النماذج المناخية* الإقليمية، والنماذج العالمية ذات الاستبانة المكانية المتغيرة أو نماذج عالمية عالية الاستبانة أما الطرق التجريبية/الإحصائية فتقيم علاقات إحصائية تربط متغيرات الغلاف الجوي الواسعة النطاق مع المتغيرات المناخية المحلية/الإقليمية. وفي جميع الأحوال ترتبط نوعية المنتج المقلص النطاق بنوعية النموذج الدافع.

Drought
الجفاف

الجفاف بوجه عام هو «انعدام الهطول أو نقصه نقصاً ملحوظاً لفترة زمنية متطاولة»، وهو «نقص يسفر عن نقص في الماء اللازم لنشاط ما أو لمجموعة ما»، أو «فترة طقس جاف على نحو غير معتاد بحيث يسبب غياب الهطول خللاً خطيراً في التوازن المائي» (Heime، 2002). وقد عرّف الجفاف بعدد من الطرق. فالجفاف الزراعي يتعلق بنقص الرطوبة في الطبقة العليا من التربة التي يقارب عمقها متراً واحداً (طبقة الجذور) مما يؤثر على المحاصيل، أما الجفاف الناجم عن عوامل جوية فيعني في الأساس نقصاً مطولاً في الهطول، ويرتبط الجفاف الهيدرولوجي بتدفق المجاري المائية ومستويات البحيرات والمياه الجوفية على نحو أقل من المعتاد. أما الجفاف الواسع المدى فهو طويل الأمد وعميم، فيدوم فترة أطول كثيراً من المعتاد، تبلغ عادة عقداً أو أكثر.

Dyke
مصدّ الفيضانات

جدار أو سد صخري من صنع الإنسان، يقام على طول الساحل لحماية الأراضي المنخفضة من الفيضانات.

Dynamic Global Vegetation Model (DGVM)
النموذج الديناميي للغطاء النباتي العالمي

نماذج تحاكي نمو النباتات وديناميتها عبر المكان والزمن، إثر تأثير المناخ والتغيرات البيئية الأخرى.

Dynamical ice discharge
التصريف الديناميي للجليد

تصريف الجليد من *الصفائح الجليدية* أو من *القلنسوات الجليدية* بفعل ديناميات الصفائح الجليدية أو القلنسوات الجليدية (مثلاً في شكل تدفق *أنهار جليدية*، وجداول جليدية، وانفصال جبال جليدية) وليس بفعل الذوبان أو *الجريان*.

E

Ecological Community
فصيلة إيكولوجية

فصيلة من النباتات والحيوانات تتسم بتجمع خاص من الأنواع وبكثرتها. انظر أيضاً *نظام إيكولوجي ecosystem*

Ecosystem
النظام الإيكولوجي

نظام من الكائنات الحية المتفاعلة فيما بينها ومع بيئتها الفيزيائية. وحدود ما يمكن أن يسمى نظاماً إيكولوجياً اعتباطية هي حدود إلى حد ما تعتمد

على محور الاهتمام أو الدراسة. وبالتالي قد يتراوح حجمه بين نطاقات مكانية بالغة الصغر يقابلها كوكب الأرض بكامله في نهاية المطاف.

EL Niño-Southern Oscillation (ENSO)
ظاهرة النينيو/ التذبذب الجنوبي

استعمل مصطلح النينيو أصلاً لوصف تيار من المياه الدافئة التي تتدفق دورياً على طول ساحل إكوادور وبيرو، مما يؤدي إلى تعطيل صناعة صيد الأسماك المحلية. ومن ثم أخذ يعرف باحترار منطقة المحيط الهادئ المدارية على نطاق الحوض كله شرقي خط التوقيت الدولي. ويرتبط هذا الحدث المحيطي بتقلب في نمط الضغط السطحي المداري وشبه المداري على النطاق العالمي وهو ما يُعرف باسم التذبذب الجنوبي. وظاهرة الاقتران هذه بين *الغلاف الجوي* والمحيط في نطاقات زمنية شائعة تتراوح بين سنتين ونحو سبع سنين تعرف باسم جمعي هو النينيو - التذبذب الجنوبي أو أنسو (ENSO). وغالباً ما تقاس بواسطة الاختلاف في شذوذ الضغط السطحي بين داروين وتاهيتي ودرجات حرارة سطح البحر في المنطقة الوسطى والشرقية من المحيط الهادئ الاستوائي. وأثناء وقوع ظاهرة النينيو – التذبذب الجنوبي تضعف الرياح التجارية السائدة مما يخفض من حدة صعود التيارات المحيطية العميقة وتبدلها بحيث يؤدي ذلك إلى ارتفاع درجات حرارة سطح البحر واستمرار إضعاف الرياح التجارية. ولهذه الظاهرة تأثير كبير على الرياح ودرجات حرارة سطح البحر وأنماط الهطول في منطقة المحيط الهادئ المدارية. وهي تطال بتأثيراتها المناخية كامل *منطقة* المحيط الهادئ وأنحاء أخرى كثيرة من العالم من خلال الارتباط العالمي عن بعد. وتسمى مرحلة النينيو - التذبذب الجنوبي الباردة بالنينيا (La Niña).

Emission scenario
سيناريو الانبعاثات

تمثيل معقول للتطورات المستقبلية لانبعاثات المواد التي يحتمل أن تكون نشطة إشعاعياً (مثل *غازات الدفيئة* و*الأهباء الجوية*) استناداً إلى مجموعة متجانسة ومتسقة داخلياً من الافتراضات بشأن القوى المحركة (مثل التطورات الديمغرافية والاجتماعية – الاقتصادية والتغيرات التكنولوجية) والعلاقات الرئيسية التي تربط بينها. وتستخدم سيناريوهات التركيزات، المستخلصة من سيناريوهات الانبعاثات، كمدخلات في *نموذج مناخي* لحساب *الإسقاطات المناخية*. انظر: *سيناريوهات التقرير الخاص (SRES)*.

Endemic
متوطن

مقتصر على أو خاص بناحية أو منطقة. ويمكن أن تشير كلمة متوطن، في ما يتعلق بصحة الإنسان، إلى مرض أو ناقل للمرض موجود أو سائد عادة في مجموعة سكانية أو منطقة جغرافية في جميع الأوقات.

Energy
الطاقة

هي مقدار الجهد المبذول في العمل أو الحرارة المورَّدة. وتصنَّف الطاقة في أنواع مختلفة، وتصبح مفيدة للإنسان عندما تتدفق من مكان إلى آخر أو تحوَّل من نوع إلى نوع آخر. فالطاقة الأولية (تسمى أيضاً مصادر الطاقة) فهي الطاقة المتجسدة في الموارد الطبيعية (مثل الفحم، والنفط الخام، والغاز الطبيعي، واليورانيوم) والتي لم تخضع لأي تحويل بشري المنشأ. وهذه الطاقة الأولية من الضروري تحويلها ونقلها كي تصبح طاقة قابلة للاستخدام (مثل الإنارة). وأما الطاقة المتجددة فيُحصل عليها من تيارات الطاقة المستمرة والمتكررة الموجودة في البيئة الطبيعية، وتضم هذه الطاقة المتجددة التكنولوجيات غير المنتجة للكربون كالطاقة الشمسية، والطاقة المائية، والرياح، والمد والجزر، والطاقة الحرارية الأرضية، فضلاً عن التكنولوجيات الغير مؤثرة على انبعاثات ثاني أكسيد الكربون مثل الكتلة الأحيائية. أما الطاقة المتجسدة فهي الطاقة المستخدمة لإنتاج مادة (مثل المعادن المجهزة أو مواد البناء)، على أن تؤخذ في الاعتبار الطاقة المستخدمة في منشأة التصنيع (غياب الطلبيات)، والطاقة المستخدمة في إنتاج المواد التي تستخدمها المنشأة (الطلبية الأولى)، وما إلى ذلك.

Ensemble
المجموعة

مجموعة من نماذج المحاكاة المتوازية تستعمل في *الإسقاطات المناخية*. وينجم عن أي تغير في النتائج بالنسبة لجميع نماذج المجموعة تقدير لمدى *عدم اليقين*. ولا تحدد المجموعات ذات النموذج ذاته ولكن مع اختلاف ظروفها الأولية سوى ذلك القدر من عدم اليقين المرتبط *بتقلبية المناخ* الداخلية، بينما تضم المجموعات المتعددة النماذج بما في ذلك المحاكاة بنماذج عديدة أيضاً، تأثيراً لاختلافات بين النماذج. وتهدف المجموعات المضطربة البارامترات والتي تتغير بارامتراتها بشكل نظامي، إلى وضع تقدير أكثر موضوعية لعدم اليقين المتصل بالنمذجة مما هو الحال بالنسبة للمجموعات المتعددة النماذج التقليدية.

Epidemic
وباء

يظهر فجأة فينعكس في معدلات الوقوع التي تفوق بصورة واضحة ما هو متوقع عموماً ويُطلق هذا الاسم خاصة على الأمراض المعدية ولكنه ينطبق كذلك على أي مرض أو إصابة أو أي حدث له علاقة بالصحة يقع في إطار هذه الفاشيات.

Equilibrium line
خط التوازن

الحدود بين المنطقة القائمة على *النهر الجليدي* التي تتعرض لخسارة سنوية صافية في الكتلة الجليدية (منطقة تلاشي الجليد) وزيادة سنوية صافية (منطقة التراكم). ويطلق على ارتفاع تلك الحدود اسم *ارتفاع خط التوازن*.

Erosion
انجراف، تحات

عملية انجراف أو تحات انتقال التربة والصخور والانحلال بفعل العوامل الجوية وتلف الكتل وبفعل المجاري المائية *والأنهار الجليدية* والأمواج والرياح والمياه الجوفية.

Eutrophication
وفرة المغذيات

العملية التي تصبح بمقتضاها كتلة مائية (ضحلة في أغلب الأحيان) (سواء بشكل طبيعي أو بفعل التلوث) غنية بالمغذيات المذابة، مع حدوث نقص فصلي في الأكسجين المذاب.

Evaporation
التبخر
العملية التي يتحول نتيجة لها السائل إلى غاز.

Evapotranspiration
التبخر – النتح
العملية التي تجمع بين التبخر من سطح الأرض والنتح من النبات.

External forcing
تأثير خارجي
التأثير الخارجي يشير إلى عامل تأثير يقع خارج *النظام المناخي* ويسبب تغييراً فيه. ومن أشكال التأثير الخارجي هذا الثوران البركاني، والتبدل الشمسي، وما ينجم عن *الأنشطة البشرية المنشأ* من تغيرات في تكوين *الغلاف الجوي* وفي *تغيير استخدام الأراضي*.

Extinction
الانقراض
اختفاء نوع ما بأكمله من العالم.

Extirpation
الاستئصال
اختفاء نوع ما من جزء من المجال الذي يعيش فيه: *انقراض محلي*.

Extreme weather event
ظاهرة جوية متطرفة
ظاهرة نادرة الحدوث في مكان معين ووقت معين من السنة. وتتفاوت تعاريف كلمة «نادرة»، لكن ظاهرة الطقس المتطرفة تكون في العادة نادرة أو أكثر ندرة من المئين العاشر أو المئين التسعين لدالة كثافة الاحتمالات المرصودة. ووفقاً للتعريف، فإن خصائص ما يسمى الطقس المتطرف قد تختلف من مكان إلى آخر بالمعنى المطلق. ولا يمكن عزو أحداث متطرفة منفردة عزواً بسيطاً ومباشراً إلى *تغير المناخ البشري المنشأ*، نظراً لوجود إمكانية محدودة دوماً لأن تكون الظاهرة المعنية قد حدثت بصورة طبيعية. وعندما يستمر نمط من الطقس المتطرف لبعض الوقت، كأن يمتد لموسم كامل، قد يصنف على أنه ظاهرة مناخية متطرفة خاصة إذا أسفر عن نتيجة متطرفة في متوسطها أو إجمالا (مثل *الجفاف* أو الهطول الغزير لموسم كامل).

F

Feedback
انظر *Climate feedback*

Food chain
سلسلة غذائية
سلسلة *علاقات اغتذائية* تتشكل إذا تغذت أنواع عدة ببعضها البعض. انظر أيضاً شبكة غذائية *food web*

Food security
الأمن الغذائي
الوضع الذي ينشأ عندما يملك الناس سبل الحصول المضمونة على كميات كافية من الأغذية المأمونة والمغذية من أجل نموهم الطبيعي وتطورهم وعيشهم حياة نشطة وفي صحة سليمة. وينعدم الأمن الغذائي عند عدم توفر الأغذية أو قصور القدرة الشرائية والتوزيع غير المناسب أو استخدام الأغذية بصورة غير كافية على مستوى الأسر المعيشية.

Food web
الشبكة الغذائية
شبكة *العلاقات الاغتذائية* في أية *مجموعة إيكولوجية* تضم سلاسل غذائية عديدة مترابطة فيما بينها.

Forcing
التأثير
انظر التأثير الخارجي *External forcing*

Forest
الغابة
نوع من الغطاء النباتي تغلب عليه الأشجار. ويُستخدم كثير من التعاريف لمصطلح الغابة في مختلف أنحاء العالم، مما يعكس الفوارق الشاسعة في الأحوال البيولوجية – الفيزيائية، والبنية الاجتماعية، والاقتصاد. وتنطبق معايير محددة بموجب *بروتوكول كيوتو*. وللاطلاع على مناقشة لمصطلح الغابة والمصطلحات المرتبطة به مثل *التشجير وإعادة التشجير وإزالة الغابات*، انظر «التقرير الخاص للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ بشأن استخدام الأراضي وتغيير استخدام الأراضي والحراجة» (الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، 2000).

Fossil fuels
الوُقد الأحفورية
وُقد أساسها الكربون ناتجة عن ترسبات هيدروكربونية أحفورية شاملة للفحم، والخُثّ، والنفط ، والغاز الطبيعي.

Framework Convention on Climate Change
الاتفاقية الإطارية بشأن تغير المناخ
انظر *اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ (UNFCCC)*.

Freshwater lens
الطبقات الرسوبية الحاوية للمياه العذبة
كتلة مائية جوفية على شكل عدسة تقع تحت جزيرة محيطية وتقع تحتها مياه مالحة.

Frozen ground
الأرض المتجمدة
التربة أو الصخر اللذان يتجمد في مسامهما جزء من الماء أو كل الماء وتشمل الأرض المتجمدة *التربة الصقيعية*. أما الأرض التي تتعرض للتجمد والذوبان سنوياً، فتسمى بالأرض الموسمية التجمد.

G

General circulation model
نموذج الدوران العام
انظر *Climate model*

Glacial lake
بحيرة جليدية
بحيرة تتكون من المياه الناشئة عن ذوبان مياه *نهر جليدي*، وتقع إمّا أمام النهر (فتعرف باسم بحيرة جليدية أمامية)، أو على سطح النهر (فتعرف باسم بحيرة جليدية، عُلوية)، أو في باطن النهر (بحيرة جليدية داخلية)، أو في قاع النهر (بحيرة جليدية سفلية).

Glacier
النهر الجليدي
كتلة من الجليد الأرضي تتدفق إلى الأسفل بفعل جاذبية الأرض (من خلال التفكك الداخلي و/أو الانزلاق عند القاعدة) ويكبحها الضغط الداخلي والاحتكاك عند القاعدة والجوانب. وتبقى الأنهار الجليدية نتيجة لتراكم الثلوج على ارتفاعات عالية، ويوازنها حدوث الذوبان على الارتفاعات المنخفضة أو تصريف المياه إلى البحر. انظر: *التوازن الكتلي*.

Global warming
الإحترار العالمي
يُقصد بظاهرة الاحترار العالمي زيادة تدريجية مرصودة أو مُسقطة في متوسط درجة الحرارة السطحية العالمية باعتبار ذلك إحدى عواقب التأثير الإشعاعي للانبعاثات البشرية المنشأ.

Globalization
العولمة
التداخل والترابط المتزايدان بين الدول على مستوى عالمي، إثر تزايد حجم الصفقات العابرة للحدود وتنوعها لجهة السلع والخدمات ونتيجة تدفقات حرة للرأس المال العالمي، فضلاً عن انتشار أسرع وأوسع نطاقاً للتكنولوجيا والمعلومات والثقافة.

Governance
الإدارة الرشيدة
تغيرت الطريقة التي يفهم بها معنى الحكم استجابة للتغيرات الاجتماعية والاقتصادية والتكنولوجية التي حدثت خلال العقود الأخيرة. وهناك تحول مناظر من الحكم المحدد على وجه الدقة بالدولة - القومية إلى مفهوم جامع للإدارة الرشيدة، وهو مفهوم أكثر شمولاً يدرك ويعترف بمساهمات مختلف مستويات الحكم (العالمية أو الدولية أو الإقليمية أو المحلية) ، وأدوار القطاع الخاص والجهات الفاعلة غير الحكومية والمجتمع المدني.

Greenhouse effect
ظاهرة الدفيئة (ظاهرة الاحتباس الحراري)
تمتص *غازات الدفيئة* على نحو فعال الإشعاع *الحراري دون الأحمر* الذي ينطلق من سطح الأرض، ومن *الغلاف الجوي* نفسه بسبب الغازات هذه، ومن السحب. وينبعث إشعاع الغلاف الجوي في جميع الاتجاهات، بما في ذلك إلى الأسفل نحو سطح الأرض. وهكذا تختزن غازات الدفيئة الحرارة داخل نظام السطح – *التروبوسفير*. ويطلق على ذلك اسم ظاهرة الدفيئة. ويقترن الإشعاع الحراري دون الأحمر بقوة مع درجة حرارة الغلاف الجوي على الارتفاع الذي ينبعث عنده. وتنخفض درجة الحرارة بصورة مطردة بصفة عامة مع ازدياد الارتفاع في التروبوسفير. أما من الناحية العملية، فإن الإشعاع دون الأحمر الذي ينبعث في الفضاء ينشأ عن ارتفاع يبلغ عنده متوسط درجة الحرارة - 19 درجة مئوية مما يتوازن مع صافي الإشعاع الشمسي الوارد، بينما تظل درجة حرارة سطح الأرض مرتفعة بصورة أكبر بكثير حيث تبلغ في المتوسط +14 درجة مئوية. وتفضي أية زيادة في تركيز غازات الدفيئة إلى تزايد عدم الشفافية تحت الحمراء للغلاف الجوي، ومن ثم إلى الإشعاع الفعال في الفضاء من ارتفاع أعلى عند درجة حرارة أدنى. ويؤدي ذلك إلى حدوث *تأثير إشعاعي*، وهو اختلال يعزز عامل الدفيئة، ويُدعى ظاهرة الدفيئة المعززة.

Greenhouse gas
غاز الدفيئة
غازات الدفيئة هي المكونات الغازية *للغلاف الجوي* سواء كانت طبيعية أم *بشرية المنشأ* وهي تمتص وتطلق الإشعاع عند أطول موجات محددة في نطاق طيف *الإشعاع الحراري دون الأحمر* الذي يطلقه كل من سطح الأرض والغلاف الجوي ذاته، والسحب. وتؤدي هذه الخاصية إلى تكون *ظاهرة الدفيئة*. وغازات الدفيئة الرئيسية الموجودة في الغلاف الجوي هي بخار الماء (H_2O) و*ثاني أكسيد الكربون* (CO_2) و*أكسيد النيتروز* (N_2O) و*الميثان* (CH_4) و*الأوزون* (O_3). وبالإضافة إلى ذلك، يوجد في الغلاف الجوي عدد من غازات الدفيئة البشرية المنشأ كلياً، مثل الهالوكربونات وغيرها من المواد المحتوية على الكلور والبروم التي يتم معالجتها بموجب بروتوكول مونتريال. وبالإضافة إلى ثاني أكسيد الكربون وأكسيد النيتروز والميثان، يتناول *بروتوكول كيوتو* سادس فلوريد الكبريت والمركبات الكربونية الفلورية الهيدرولوجية (HFCs) والمركبات الكربونية الفلورية المشبعة (PFCs).

Gross Domestic Product (GDP)
الناتج المحلي الإجمالي
يعتبر الناتج المحلي الإجمالي هو القيمة النقدية لكافة السلع والخدمات التي ينتجها أي بلد من البلدان.

Gross National Product (GNP)
الناتج القومي الإجمالي
يمثل مجموع القيمة النقدية للسلع والخدمات المكونة لاقتصاد أمة معينة، بما في ذلك الدخل الذي يكسبه السكان المحليون في الخارج عدا ما يكسبه الأجانب.

Gross Primary Production
الإنتاج الأوّلي الإجمالي
إجمالي الكربون الذي تثبته النبتة من خلال عملية *التمثيل الضوئي*.

Groundwater recharge
تغذية المياه الجوفية
عملية تقضي بإضافة المياه الخارجية إلى منطقة تشبع أي *مستودع للمياه الجوفية* سواء كان ذلك بشكل مباشر داخل التكوين أو بشكل غير مباشر عن طريق تكوين آخر.

H

Habitat
الموئل أو الموطن
الموقع الذي يعيش فيه نبات أو حيوان ما أو مجموعة من الكائنات الحية الوثيقة الارتباط بعضها ببعض.

Hadley Circulation
حركة دوران هادلي
خلية انقلابية مباشرة في *الغلاف الجوي* مدفوعة حرارياً تتألف من تدفق قطبي الاتجاه في طبقة *التروبوسفير* العليا، وتجعل الهواء ينخسف داخل الأعاصير المضادة شبه الاستوائية، وهي تدفق عائد كجزء من الرياح التجارية القريبة من السطح مصحوب بارتفاع الهواء قرب خط الاستواء فيما يسمى *بمنطقة التلاقي المشتركة بين المدارات* (الرياح التجارية والهطول الغزير).

Herbaceous
عشبي، معشوشب
النباتات المزهرة غير الخشبية.

Heterotrophic respiration
التنفس المتباين التغذية
تحول مواد عضوية إلى ثاني أكسيد كربون بفعل كائنات مجهرية حية أخرى غير النباتات.

Holocene
الحقبة الهولوسينية
هي حقبة جيولوجية تمتد من حوالي 11600 سنة حتى الآن بما في ذلك الوقت الحاضر.

Human system
نظام بشري
أي نظامٍ تلعب فيه المنظمات البشرية دوراً رئيسياً. وكثيراً، ولكن ليس دائماً، ما يكون هذا المصطلح لكلمة 'مجتمع' أو 'نظام اجتماعي' مثل النظام الزراعي، والنظام السياسي، والنظام التكنولوجي والنظام الاقتصادي.

Hydrological Cycle
دورة الماء (الدورة الهيدرولوجية)
الدورة التي يتبخر فيها ماء المحيطات وسطح اليابسة، وينتقل فوق الأرض في دوران الغلاف الجوي في شكل بخار الماء الذي يتكثف سحباً، ويتساقط من جديد مطراً أو ثلجاً تعترضه الأشجار والغطاء النباتي، ويوفر *جرياناً* على سطح الأرض، ويتسرب إلى التربة، ويغذي المياه الجوفية، ويصب في الأنهار، ويتدفق أخيراً إلى المحيطات ليتبخر من جديد (AMS) الجمعية الأمريكية للأرصاد الجوية 2000). ويشار إلى مختلف النظم التي تشارك في دورة الماء، عادة، باسم النظم الهيدرولوجية.

Hydrological systems
النظم الهيدرولوجية
انظر الدورة الهيدرولوجية *Hydrological cycle*

Hydrosphere
الغلاف المائي (الهيدروسفير)
عنصر *النظام المناخي* المؤلف من السطح السائل والمياه الموجودة تحت سطح الأرض، مثل المحيطات، والبحار، والأنهار، وبحيرات المياه العذبة، والمياه الجوفية، وغير ذلك.

Hypolimnetic
منطقة تحت طبقة الهبوط الحراري
يدل هذا المصطلح على أي جزء من أية بحيرة موجودة تحت طبقة *الهبوط الحراري* والمتألف من المياه الراكدة ذات درجات الحرارة الموحدة بشكل عام باستثناء فترة الدوران.

I

Ice cap
القلنسوة الجليدية
كتلة جليدية على شكل قبة، تغطي عادة منطقة مرتفعة أصغر بكثير من نطاق *الصفيحة الجليدية*.

Ice sheet
الصفيحة الجليدية
كتلة من الجليد الأرضي عمقها يكفي لتغطية معظم تضاريس القاعدة الصخرية التي تقع تحتها لدرجة أن شكل الصفيحة يتحدد بالدرجة الأولى من خلال ديناميتها الداخلية (أي تدفق الجليد أثناء تفككه داخلياً و/أو انزلاقه عن قاعدته). والصفيحة الجليدية تنساب نحو الخارج من هضبة وسطى عالية ذات انحدار سطحي متوسطه صغير. وتنحدر الحواف عادة بصورة حادة، وينصرف الجليد من خلال المجاري الجليدية سريعة التدفق أو من خلال *الأنهار الجليدية* التي تشكل منافذ، وينصرف الجليد في بعض الحالات إلى البحار أو إلى الأجرف الجليدية الطافية على سطح البحر. وفي العالم الحديث، لا توجد إلا ثلاث صفائح جليدية كبيرة، واحدة في جرينلاند، واثنتان في أنتاركتيكا هما الصفيحة الجليدية في شرق أنتاركتيكا والصفيحة الجليدية في غرب أنتاركتيكا اللتان تفصل بينهما سلسلة الجبال العابرة، لأنتاركتيكا (TAM). وقد وجدت صفائح أخرى في العصور الجليدية.

Ice shelf
الجرف الجليدي
صفيحة جليدية طافية ذات كثافة كبيرة تمتد من الساحل (وهو عادة ذو امتداد أفقي كبير بسطح مستو أو منحدر بصورة سلسة) وهو غالباً امتداد *للصفائح الجليدية* في اتجاه البحر. وتكاد تنحصر جميع الصفائح الجليدية في المنطقة القطبية الجنوبية.

(Climate change) Impacts
(تغير المناخ) التأثيرات
هي آثار *تغير المناخ* على *النظم* الطبيعية *والبشرية*. وإذا أخذ *التكيف* في الاعتبار، أمكن التمييز بين الآثار المحتملة والآثار المتبقية:
- *التأثيرات المحتملة: هي كل التأثيرات التي قد تحدث بالنظر إلى التغيرات المتوقعة في المناخ دون أخذ التكيف في الاعتبار.*
- *التأثيرات المتبقية: هي تأثيرات تغير المناخ التي قد تحدث بعد عملية التكيف.*

انظر أيضاً الآثار السوقية market impacts والآثار غير السوقية non-market impacts.

Indigenous peoples
الشعوب الأصلية
لا يوجد تعريف للشعوب الأصلية يلقى قبولاً عالمياً. أما الخصائص المشتركة التي تطبق في أحيان كثيرة في إطار القانون الدولي ومن قبل

وكالات الأمم المتحدة لتمييز الشعوب الأصلية فتضم ما يلي: الإقامة أو الارتباط بموئل جغرافي تقليدي واضح المعالم، أو بأراضي الأجداد، وموارد الطبيعية؛ والمحافظة على الهويتين الثقافية والاجتماعية، وعلى مؤسسات اجتماعية واقتصادية وثقافية وسياسية منفصلة عن المجتمعات والثقافات السائدة أو المسيطرة؛ والتحدر من مجموعات سكانية موجودة في منطقة معلومة وذلك في أغلب الأحيان قبل إنشاء الدول أو الأقاليم الحديثة وترسيم الحدود الحالية؛ وتعريفهم لأنفسهم على أنهم ينتمون إلى مجموعة ثقافية أصلية مميزة، ورغبتهم في التمسك بتلك الهوية الثقافية.

Indirect aerosol effect
أثر الهباء غير المباشر

قد يؤدي *الهباء* إلى *تأثير إشعاعي* غير مباشر في *النظام المناخي* من خلال العمل كنواة تكثيف أو تعديل الخصائص البصرية وفترة بقاء السحب. ويمكن تمييز نوعين من الآثار غير المباشرة:

أثر ألبيدو السحب: هو تأثير إشعاعي يحدث نتيجة زيادة *الأهباء البشرية المنشأ* التي تفضي إلى زيادة أولية في تركيز القطيرات وتناقص حجمها بالنسبة لمحتوى ثابت من الماء السائل، وهو ما يفضي إلى زيادة *ألبيدو* السحب.

أثر طول بقاء السحب: هو تأثير ناتج عن زيادة في *الأهباء البشرية المنشأ* التي تسبب تناقصاً في حجم القطيرات، مما يقلل من كفاءة الهطول ومن ثم يعدل من المحتوى الثابت للماء السائل وعمق السحب وفترة بقائها. وإلى جانب هذين الأثرين غير المباشرين، قد تترك *الأهباء الجوية* تأثيراً شبه مباشر، وهذا يعني امتصاص الإشعاع الشمسي من جانب هذه الأهباء ما يؤدي إلى زيادة حرارة الجو ويميل إلى زيادة استقرار السطح الستاتي. وقد يؤدي أيضاً إلى *تبخر* قطيرات السحب.

Infectious disease
الأمراض المعدية

أي مرض تسببه العوامل الجرثومية ويمكن أن ينتقل من شخص إلى شخص آخر أو من الحيوان إلى الإنسان. وقد يحدث ذلك بالتماس البدني المباشر أو بلمس شيء علقت به كائنات حية مُعدية، أو عن طريق حامل للمرض، أو المياه الملوثة أو بتناثر قطيرات تحمل العدوى في الجو نتيجة للسعال أو الزفير.

Infrastructure
البنية الأساسية

هي المعدات الأساسية والمرافق والمؤسسات الإنتاجية والمنشآت والخدمات التي لا غنى عنها بالنسبة لتطور وعمل ونمو منظمة أو مدينة أو بلد.

Integrated water resources management (IWRM)
الإدارة المتكاملة للموارد المائية

المفهوم السائد لإدارة المياه رغم أنه لم يعرّف تعريفاً لا يكتنفه غموض. وتستند الإدارة المتكاملة للموارد المائية إلى أربعة مبادئ وضعها المؤتمر الدولي المعني بالمياه والبيئة الذي عقد في دبلن، سنة 1992: (1) المياه العذبة مورد محدود وعرضة للمخاطر، وهو ضروري لاستدامة الحياة والتنمية والبيئة؛ (2) وجوب أن تستند تنمية موارد المياه وإدارتها إلى نهج تشاركي، يضم المستخدمين وواضعي الخطط وصانعي السياسة العامة على كافة المستويات؛ (3) تؤدي المرأة دوراً مركزياً في التزويد بالمياه وإدارتها والحفاظ عليها؛ (4) للمياه قيمة اقتصادية في كافة استعمالاتها المتنافسة ويجب الاعتراف بها على أنها سلعة اقتصادية.

Interdecadal Pacific Oscillation (IPO)
تذبذب المحيط الهادئ ما بين العقود

المعروف أيضاً باسم تذبذب المحيط الهادئ العقدي *Pacific Decadal Oscillation* (PDO). انظر أيضاً *North Pacific Index* [للاطلاع على مزيد من التفاصيل انظر الإطار 3.4 الذي أعده الفريق العامل الأول WG I]

Internal Variability
التقلبية الداخلية

انظر *Climate variability* تقلبية المناخ.

Irrigation water-use efficiency
كفاءة استخدام المياه في الري

إن كفاءة استخدام المياه في الري هي كمية الكتلة الأحيائية أو مردود البذور لكل وحدة ري من المياه المستخدمة وهي تساوي عادة طناً واحداً من المادة الجافة لكل 100 مم من المياه المستخدمة.

IS92 scenarios
انظر *Emission scenarios*.

Isostacy
التضاغط أو توازن القشرة الأرضية

يشير مصطلح توازن القشرة الأرضية إلى الطريقة المرنة واللذجة التي تستجيب بها القشرة الأرضية للتغيرات في الحمولات السطحية. وعندما تتغير حمولة القشرة الأرضية و/ أو غلاف اليابسة نتيجة تغيرات في كتلة الجليد الأرضي أو كتلة المحيطات أو الترسبات أو التحات أو الجبال، ينتج عن ذلك ضبط للتوازن الرأسي للقشرة الأرضية وذلك لتحقيق توازن الحمولة الجديدة.

K

Kyoto Protocol
بروتوكول كيوتو

اعتمد بروتوكول كيوتو الملحق *باتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ (UNFCCC)* في الدورة الثالثة لمؤتمر الأطراف (COP) في الاتفاقية الذي عقد في كيوتو باليابان، في عام 1997. ويشمل البروتوكول تعهدات ملزمة قانوناً بالإضافة إلى تلك التعهدات الواردة في الاتفاقية (UNFCCC). وقد وافقت البلدان المدرجة في *المرفق باء* الملحق بالبروتوكول (معظم بلدان منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي والبلدان التي تمر اقتصاداتها بمرحلة انتقالية) على تخفيض انبعاثاتها من *غازات الدفيئة البشرية المنشأ* (*ثاني أكسيد الكربون، والميثان، وأكسيد النيتروز*، والهيدروفلوروكربون، والهيدروكربون المشبع بالفلور وسداسي فلوريد الكبريت) بنسبة خمسة في المائة على الأقل دون مستويات عام 1990 وذلك خلال فترة الالتزام الممتدة من 2008 إلى 2012. ودخل *بروتوكول كيوتو* حيز النفاذ في 16 شباط/فبراير 2005.

L

La Niña

انظر ظاهرة النينيو/ التذبذب الجنوبي *EL Niño-Southern Oscillation (ENSO)*.

Land use and Land use change

استخدام الأراضي وتغير استخدام الأراضي

استخدام الأراضي مصطلح يشير إلى مجموع الترتيبات، والأنشطة، والمدخلات التي توضع موضع التنفيذ في نوع معين من الغطاء الأرضي (مجموعة من الأفعال البشرية). ويستعمل هذا المصطلح أيضاً بمعنى الأغراض الاجتماعية والاقتصادية المنشودة من إدارة الأراضي (مثل الرعي واستخراج الأخشاب وصيانتها). أما مصطلح *تغير استخدام الأراضي* فيشير إلى تغير في استخدام أو إدارة الإنسان للأراضي قد يُفضي إلى تغير في الغطاء الأرضي. وقد يؤثر الغطاء الأرضي والتغير في استخدام الأراضي على *الألبيدو*، *والتبخر – النتح*، *والمصادر*، *ومصارف غازات الدفيئة* أو غير ذلك من خصائص *النظام المناخي*، ولذلك قد يولد *تأثيراً إشعاعياً* و/أو تأثيرات أخرى على *المناخ* على الصعيد المحلي أو العالمي. انظر أيضاً تقرير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ بشأن استخدام الأراضي وتغير استخدام الأراضي والحراجة. (الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، 2000).

Landfill

مدفن قمامة

هو موقع مكبّ نفايات صلبة حيث يتم التخلص من القمامة على مستوى الأرض أو فوقه أو تحته. وهو محدود بالمناطق المخصصة للقمامة مع مواد تغطية، ومراقبة للنفايات التي يتم التخلص منها وإدارة للسوائل والغازات، فهو يستثني بالتالي التخلص من النفايات غير الخاضعة للمراقبة.

Landslide

انهيال الأرضي

كتلة من المواد المنهالة إلى الأسفل على المنحدرات بفعل الجاذبية، غالباً ما يساعد على ذلك المياه عندما تتشبع بها تلك المواد؛ وهي أيضاً الحركة السريعة لكتلة من التراب أو الصخور أو التحات إلى أسفل منحدر ما.

Lapse rate

معدل التفاوت

معدل التبدل الذي يشهده أي متغير في الغلاف الجوي، وعموماً ما يكون درجات الحرارة، تبعاً للارتفاع. ويعتبر معدل التفاوت إيجابياً عندما يتناقص هذا المتغير تبعاً للارتفاع.

Latent heat flux

التدفق الحراري الكامن

التدفق الحراري المتصاعد من سطح الأرض نحو *الغلاف الجوي*، وهو مرتبط بتبخر أو تكثف بخار الماء على السطح، ويشكل عنصراً من عناصر ميزانية الطاقة السطحية.

Leaching

غسل التربة

إزالة عناصر التربة أو المواد الكيميائية المستخدمة بواسطة حركة المياه في التربة.

Likelihood

الأرجحية

احتمال وقوع حدث أو ظهور حصيلة أو نتيجة، حيث يمكن تقدير ذلك على نحو احتمالي والتي يشار إليها في هذه الورقة الفنية باستعمال المصطلحات المعيارية المعرّفة في الإطار 1-1.
انظر أيضاً *الثقة Confidence*، *وعدم اليقين Uncertainty*

Little Ice Age

العصر الجليدي القصير

الفترة الزمنية بين حوالي 1400و1900 بعد الميلاد عندما كان النصف الشمالي من الكرة الأرضية أكثر برودة بشكل عام من اليوم، وخاصة في أوروبا.

M

Malaria

الملاريا

مرض طفيلي متوطن أو وبائي تسببه أنواع طفيلية من جنس البلازموديوم (الأوالي) وينتقل إلى البشر بواسطة البعوض من جنس أنوفيليس؛ ويحدث هذا المرض نوبات حرارة مرتفعة واضطرابات في الأجهزة ويصيب حوالي 300 مليون شخص ويقضي على حوالي مليوني شخص سنوياً في شتى أرجاء العالم.

Market impacts

تأثيرات سوقية

هي *تأثيرات* يمكن قياسها بمقاييس نقدية، وهي تؤثر بصورة مباشرة على *الناتج المحلي الإجمالي*، مثل التغييرات في سعر المدخلات و/أو السلع الزراعية. انظر أيضاً *تأثيرات غير سوقية non-market impacts*.

Mass balance (of glaciers, ice caps or ice sheets)

توازن الكتل (كتل الأنهار الجليدية، أو القلنسوة الجليدية، أو الصفائح الجليدية)

هو توازن بين الكتلة التي تدخل في الجسم الجليدي (التراكم) والكتلة التي يفقدها (اضمحلال الكتل أو انشعاب الجبال الجليدية). وتضم مصطلحات توازن الكتل ما يلي:
التوازن الكتلي المعيّن: صافي الزيادة أو النقصان في حجم الكتلة خلال *دورة هيدرولوجية* في نقطة معينة على سطح *نهر جليدي*. إجمالي التوازن الكتلي (للنهر الجليدي): التوازن الكتلي المعين المدمج مكانياً على كامل مساحة النهر الجليدي، ما يوازي إجمالي الكتلة التي يخسرها النهر الجليدي أو يكتسبها خلال دورة هيدرولوجية. متوسط التوازن الكتلي المعين: إجمالي التوازن الكتلي في كل وحدة من وحدات مساحة النهر الجليدي. وإذا كان السطح معيناً (توازن كتلي سطحي معين، وما إليه) لا يؤخذ عندئذ بمساهمات التدفق الجليدي، وإلا ضم التوازن الكتلي مساهمات التدفق الجليدي وانشعاب الجبل الجليدي. والتوازن الكتلي السطحي المعين يكون إيجابياً في مساحة التراكم وسلبياً في مساحة الاضمحلال.

Meningitis

التهاب السحايا

التهاب سحايا الدماغ (وهي القشرة التي تغطي الدماغ) تسببه عادة البكتيريا أو الفيروسات أو الفطريات.

Meridional Overfurning Circulation (MOC)
الدوران التقلبي الجنوبي
دوران تقلبي جنوبي (شمال – جنوب) واسع النطاق في المحيطات ومحسوب معدله النطاقي على مستوى خطوط العرض الوسطى. وفي المحيط الأطلسي، ينقل هذا الدوران مياهاً دافئة نسبياً من سطح المحيطات في اتجاه الشمال، وينقل مياهاً عميقة باردة نسبياً في اتجاه الجنوب. والتيار المعروف باسم مجرى الخليج (Gulf Stream) يشكل جزءاً من هذا الدوران الأطلسي.

Methane (CH_4)
الميثان
الميثان هو أحد *غازات الدفيئة* الستة التي يتعين الحد منها بمقتضى *بروتوكول كيوتو*. وهو المكون الأساسي للغاز الطبيعي ويرتبط بكافة أنواع وقود الهيدروكربون، وتربية الحيوانات، والزراعة. وميثان طبقة الفحم هو الغاز الموجود في عروق الفحم.

Millennium Development Goals (MDGs)
الأهداف الإنمائية للألفية
مجموعة أهداف اتفق عليها في قمة الأمم المتحدة للألفية التي عقدت في عام 2000، وهي أهداف ذات أطر زمنية محددة وقابلة للقياس، القصد منها مكافحة الفقر، والجوع، والمرض، والأمية، والتمييز ضد المرأة، وتردي البيئة.

Mires
المستنقعات
أراضٍ رطبة يتراكم فيها *الخث*. انظر أيضاً *السبخة*/ *المستنقع Bog*.

Mitigation
التخفيف
تغيير واستبدال تكنولوجيات للحد من الموارد التي تشكل مدخلات وتقليل الانبعاثات لكل وحدة من المخرجات. ورغم أن سياسات اجتماعية واقتصادية وتكنولوجية عديدة يمكن أن تحدث انخفاضاً في الانبعاثات، إلا أن التخفيف، في سياق *تغير المناخ*، يعني تطبيق سياسات للحد من انبعاثات *غازات الدفيئة* وتعزيز *مصارف امتصاصها*.

Monsoon
الريح الموسمية
الريح الموسمية هي انقلاب موسمي مداري وشبه مداري في الرياح السطحية وفيما يتصل بها من هطول، وذلك سببه الفارق في درجات الحرارة بين الكتلة البرية القارية والمحيط المجاور لها. ويسقط معظم الأمطار الموسمية على سطح الأرض في فصل الصيف.

Montane
شبه ألبي
المنطقة البيوجغرافية التي تتألف من منحدرات المرتفعات الرطبة والباردة نسبياً والتي تقع تحت منطقة جنوب الألب التي تتميز بوجود خليط من الأشجار المتساقطة الأوراق على المرتفعات المتدنية والأشجار الصنوبرية الدائمة الخضرة على مرتفعات أعلى.

Morbidity
المراضة
معدل ظهور مرض أو اضطراب صحي آخر في صفوف السكان، وهو معدل يأخذ في الاعتبار معدلات المراضة في فئات عمرية معينة. وتشمل مؤشرات المراضة معدل الإصابة بمرض مزمن أو انتشاره، ومعدلات دخول المستشفى، وعدد الاستشارات المتعلقة بالرعاية الأولية، وعدد أيام العجز الصحي (أي عدد أيام الغياب عن العمل)، ومعدل انتشار الأعراض.

Mortality
الوفيات
معدل الوفيات في صفوف السكان. وتراعى في حساب معدل الوفيات معدلات وفيات فئات عمرية محددة، وبذلك يمكن حساب العمر المتوقع ومدى الموت المبكر.

N

Net ecosystem production (NEP)
صافي إنتاج النظام الإيكولوجي
صافي إنتاج النظام الإيكولوجي هو الفرق بين *صافي الإنتاج الأولي (NPP)* و*التنفس المتباين التغذية* (الناجم في الغالب عن تحلل مواد عضوية ميتة) لذلك *النظام الإيكولوجي* ضمن المنطقة ذاتها.

Net primary production (NPP)
صافي الإنتاج الأولي
يساوي صافي الإنتاج الأولي *الإنتاج الأولي الإجمالي* ناقصاً الكربون المفقود نتيجة *التنفس* الذاتي التغذية، أي مجموع عمليات الأيض والاتزان لنمو النبتة والمحافظة عليها ضمن المنطقة ذاتها.

Nitrous oxide (N_2O)
أكسيد النيتروز
أحد أنواع *غازات الدفيئة* الستة التي يتعين الحد منها بمقتضى *بروتوكول كيوتو*. والمصدر البشري الرئيسي لأكسيد النيتروز هو الزراعة (إدارة التربة والسماد الحيواني)، ولكن من مصادره الهامة أيضاً معالجة مياه الصرف، وحرق الوقود الأحفوري، والعمليات الصناعية الكيميائية. ويأتي أكسيد النيتروز بصورة طبيعية أيضاً من مصادر بيولوجية عديدة متنوعة في التربة والمياه، لاسيما فعل الجراثيم في الغابات الاستوائية الرطبة.

No-regrets policy
سياسة لا يُندم عليها
سياسة من شأنها أن تؤدي إلى جني منافع اجتماعية و/ أو اقتصادية صافية سواء حدث *تغير مناخي بشري المنشأ* أو لم يحدث.

Non-governmental Organisation (NGO)
منظمة غير حكومية
مجموعة أو رابطة لا تستهدف الربح، منظمة خارج إطار البنى السياسية المؤسسية لبلوغ أهداف اجتماعية و/أو بيئية معينة، أو لخدمة جمهور معين.

Non-linearity
اللاخطية
اسم يطلق على أيه عملية عندما لا تكون هناك علاقة تناسبية بسيطة بين العلة والمعلول (السبب والنتيجة). ويتضمن *النظام المناخي* عمليات لاخطية كثيرة من هذا القبيل، ينجم عنها نظام يمكن أن يكون مساره معقد للغاية.

Non-market impacts
تأثيرات غير سوقية
التأثيرات التي تطال *النظم الإيكولوجية (ecosystems)* أو الرفاه البشري، ولكن ليس من اليسير التعبير عنها بمبالغ نقدية، ومن الأمثلة عليها تزايد خطر الوفاة باكراً، أو تزايد عدد الناس الذين يواجهون خطر الجوع. انظر أيضاً: *آثار سوقية market impacts*.

North Atlantic Oscillation (NAO)
تذبذب شمال المحيط الأطلسي
يتألف تذبذب شمال المحيط الأطلسي من تغيرات متعاكسة للضغط البارومتري بالقرب من أيسلندا وبالقرب من جزر الأزور، وبالتالي فإنه يتطابق مع التقلبات في شدة الرياح الغربية الرئيسية العابرة للأطلسي نحو أوروبا، أي التقلبات في الأعاصير الأساسية وما يرتبط بها من أنظمة جبهية. انظر الإطار 3.4 الذي أعده الفريق العامل الأول WG I

North Pacific Index (NPI)
مؤشر شمال المحيط الهادئ
مؤشر شمال المحيط الهادئ هو متوسط معدل شذوذ ضغط مستوى سطح البحر في الجزر الأليوتية المنخفضة فوق خليج ألاسكا. (30º درجة شمالاً – 65º درجة شمالاً؛ 160º درجة شرقاً – 140º درجة غرباً). وهو مؤشر *تذبذب المحيط الهادئ العقدي* (المعروف أيضاً باسم *تذبذب المحيط الهادئ فيما بين العقود*). للاطلاع على مزيد من المعلومات انظر الإطار WG I 3.4.

O
Oil sands and oil shale
رمال النفط والطفل الزيتي
رمال مسامية غير متجمدة وصخور من الحجر الرملي المسامي وطفل يحتوي على فحم قاري يمكن تعدينه وتحويله إلى وقود سائل.

Ombrotrophic bog
السبخة الأمبروتروفية
أرض رطبة حمضية يتراكم فيها الخث تغذيها مياه الأمطار (بدلاً من المياه الجوفية)، وبالتالي فهي فقيرة في المغذيات

Ozone (O_3)
الأوزون
الأوزون، الذي يتكون من ثلاث ذرات من الأكسجين (O_3)، هو أحد المكونات الغازية *للغلاف الجوي*. وفي *التروبوسفير*، مكون الأوزون بصورة طبيعية وعن طريق التفاعلات الكيميائية الضوئية التي تشمل غازات ناشئة عن الأنشطة البشرية (الضباب الدخاني). وفي التروبوسفير، يعمل الأوزون عمل *غاز من غازات الدفيئة*. وينشأ أوزون *الستراتوسفير* عن التفاعل بين الإشعاع الشمسي فوق البنفسجي وبين جزيئات الأوكسجين (O_2). ويؤدي أوزون الستراتوسفير دوراً رئيسياً في التوازن الإشعاعي للستراتوسفير. ويبلغ تركيزه حده الأقصى في طبقة الأوزون.

P
Pacific Decadal Oscillation (PDO)
تذبذب المحيط الهادئ العقدي
المعروف أيضاً باسم تذبذب المحيط الهادئ ما بين العقود (IPO). انظر *مؤشر شمال المحيط الهادئ* (الإطار WG I 3.4).

Pacific-North American (PNA) pattern
نمط شمال أمريكا – المحيط الهادئ (PNA)
نمط موجة جوية واسعة النطاق، يمثل سلسلة من ظواهر الشذوذ التروبوسفيرية المرتفعة والمتدنية الضغط تمتد من المنطقة شبه المدارية الغربية للمحيط الهادئ إلى الشاطئ الشرقي لأمريكا الشمالية [الإطار WG I 3.4]

Peat
الخث
يتكون الخث من النباتات الميتة عموماً كطحالب الإسفنجوم التي تحللت جزئياً بسبب بقائها دائماً تحت سطح الماء وبوجود مواد حافظة مثل الأحماض الدبالية.

Peatland
أرض الخث
أرض رطبة عادة *كالمستنقع* تشهد تراكماً بطيئاً *للخث*.

Percentile
المئين
المئين قيمة مد على مقياس يتدرج من صفر إلى 100، ويشير إلى النسبة المئوية من قيم مجموعات بيانات تعادله أو تكون أدنى منه. وغالباً ما يستعمل المئين لتقدير نسب التوزيع القصوى والدنيا. كأن يستعمل المئين التسعون (العاشر) للدلالة على عتبة التوزيعات القصوى العليا (الدنيا).

Permafrost
التربة الصقيعية
أرض (تربة أو صخر بما يضمّان من جليد ومواد عضوية) تظل درجة حرارتها أقل من درجة الصفر لسنتين متتاليتين على الأقل. انظر أيضاً *الأرض المتجمدة Frozen Ground*.

pH
درجة الحموضة
هي قياس بلا أبعاد لحموضة الماء (أو أي محلول). ودرجة الحموضة في الماء النقي تساوي 7 (pH=7). وتقل درجة الحموضة في المحاليل الحمضية عن 7 وتزيد في المحاليل القاعدية عن 7. وتقاس درجة الحموضة على مقياس لوغارتمي. وبالتالي فإن أي انخفاض في درجة الحموضة بمقدار وحدة واحدة يوازي زيادة قدرها عشرة أضعاف في الحموضة.

Phenology
الفينولوجيا
دراسة الظواهر الطبيعية في النظم البيولوجية، هذه الظواهر التي يتكرر حدوثها بصورة دورية (مراحل التطور والهجرة مثلاً) وعلاقتها بالمناخ وبالتغيرات الفصلية.

Photosynthesis
التمثيل الضوئي
عملية تمتص بها النباتات الخضراء والطحالب وبعض البكتيريا *ثاني أكسيد الكربون* من الهواء (أو من البيكربونات في الماء) لتكوين الكربوهيدرات. وهناك عدة طرق للتمثيل الضوئي مصحوبة باستجابات متفاوتة لتركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. انظر *التخصيب بثاني أكسيد الكربون*.

Plankton
العوالق
أجسام مجهرية تعيش في الطبقات العليا من النظم المائية. وهناك تمييز بين العوالق النباتية التي تعتمد على التمثيل الضوئي للتزود بالطاقة وبين العوالق الحيوانية التي تتغذى بالعوالق النباتية.

Policies
السياسات
في لغة *اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ (UNFCCC)*، السياسات تعتمدها و/ أو تقتضي اعتمادها الحكومة بالاشتراك غالباً مع قطاعي الأعمال والصناعة داخل بلدها، أو بالاشتراك مع بلدان أخرى، لتسريع إجراءات *التخفيف* و*التكيف*. ومن الأمثلة على السياسات، ضريبة الكربون أو غيرها من ضرائب الطاقة، ومقاييس كفاءة السيارات في استهلاك الوقود، وما إلى ذلك. وتشير السياسات المشتركة أو المنسقة أو المنسجمة إلى السياسات التي تعتمدها الأطراف على نحو مشترك.

Primary production
الإنتاج الأولي
كل أشكال الإنتاج التي تقوم به النباتات وتسمى أيضاً بالمنتج الأولي. انظر *Gross Primary production الإنتاج الأولي الإجمالي*، و*Net primary production صافي الإنتاج الأولي*، و*Net ecosystem production صافي إنتاج النظام الإيكولوجي*.

Projection
الإسقاط (التوقع الاحتمالي)
هو إمكانية نشوء كمية أو مجموعة كميات في المستقبل تحسب في أكثر الأحيان حساباً يُستعان فيه بنموذج. وتميز الإسقاطات عن التنبؤات للتشديد على أن الإسقاطات تنطوي على افتراضات تتعلق مثلاً بالتطورات الاجتماعية – الاقتصادية والتكنولوجية المستقبلية التي قد تتحقق أو لا تتحقق، ومن ثم تكون خاضعة لقدر كبير من *عدم اليقين*. انظر أيضاً الإسقاطات المناخية.

Proxy
بيانات غير مباشرة
المؤشر *المناخي* غير المباشر هو سجل محلي يتم تفسيره باستخدام المبادئ الفيزيائية والفيزيائية البيولوجية لتمثيل مجموعة من التغيرات المرتبطة بالمناخ في الماضي. ويُشار إلى البيانات المرتبطة بالمناخ المستمدة بهذه الطريقة بأنها بيانات غير مباشرة. ومن أمثلة البيانات غير المباشرة سجلات تحليل غبار الطلع وحلقات جذوع الأشجار والسمات المميزة للشعاب المرجانية ومختلف البيانات المستقاة من عينات من جوف الجليد.

R

Radiative forcing
التأثير الإشعاعي
التأثير الإشعاعي هو تغير صافي الإشعاع تغيراً يساوي الإشعاع النازل مطروحاً منه الإشعاع الصاعد (يقاس بالواط/ المتر المربع، و/م^2) في التروبوبوز نتيجة لتغير في مُسبِّب خارجي من مسببات *تغير المناخ* مثل التغير في تركيز ثاني أكسيد الكربون أو في الإشعاع الشمسي. ويُحسب التأثير الإشعاعي بتثبيت جميع خصائص *التروبوسفير* عند قيمها غير المضطربة، وبعد الأخذ في الاعتبار تكيف درجات حرارة الستراتوسفير من جديد، إذا اضطربت، مع التوازن الإشعاعي – الديناميكي. وإذا لم يؤخذ في الاعتبار أي تغير في درجات حرارة الستراتوسفير، يسمى التأثير الإشعاعي تأثيراً فورياً. ولأغراض هذه الورقة الفنية، يعرف التأثير الإشعاعي كذلك بأنه التغير بالنسبة إلى عام 1750، ويشير إلى متوسط للقيمة العالمية والسنوية ما لم يذكر خلاف ذلك.

Rangeland
المراعي
الأراضي المعشوشبة وأراضي الجنيبات *والسافانا والتندرا* التي لا تدخل عليها أية تحسينات.

Reconstruction
إعادة البناء
استعمال المؤشرات *المناخية* للمساعدة على تحديد النظم المناخية (الماضية عموماً).

Reforestation
إعادة التشجير
زراعة *غابات* على أراض وجدت فيها غابات من قبل ولكنها تحولت إلى استخدامات أخرى. وللاطلاع على مناقشة لمصطلح *الغابة* وما يتصل بها من مصطلحات، مثل *التشجير* وإعادة التشجير و*إزالة الغابات*، يمكن الرجوع إلى تقرير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ عن استخدام الأراضي وتغير استخدام الأراضي والحراجة (الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، 2000).

Region
الإقليم
منطقة تتميز بسمات جغرافية ومناخية محددة. ويتعرض *مناخ* الإقليم لتأثيرات على المستويين الإقليمي والمحلي مثل الطوبوغرافيا وخصائص *استخدام الأراضي*، والبحيرات وما إليها، فضلاً عن التأثيرات البعيدة من أقاليم أخرى.

Reservoir
مستودع
مكان طبيعي أو مصطنع لتخزين المياه مثل البحيرات أو البرك أو

مستودعات المياه الجوفية التي يمكن سحب المياه منها لأغراض مثل الري أو لتوفير إمدادات المياه.

Resilience
المرونة
هي قدرة نظام اجتماعي أو إيكولوجي على استيعاب الاضطرابات والاحتفاظ في الوقت ذاته بنفس البنية وطرق العمل الأساسية، والقدرة على التنظيم الذاتي، والقدرة على التكيف مع الإجهاد والتغيير.

Respiration
التنفس
العملية التي تحول عن طريقها الكائنات الحية المادة العضوية إلى *ثاني أكسيد الكربون* لإطلاق الطاقة واستهلاك الأوكسجين.

Riparian
مشاطئ
يعيش أو يقع على ضفاف مجرى مائي طبيعي (كالأنهار) أو بحيرة أحياناً أو مياه المد والجزر.

Runoff
جريان
ذلك الجزء من الهطول الذي لا يتبخر ولا ينتح، لكنه يتدفق على سطح الأرض ويعود إلى المجاري والمجمعات المائية. انظر *الدورة الهيدرولوجية Hydrological cycle*.

S

Salinisation
التملح
تراكم الأملاح في التربة.

Saltwater intrusion
اقتحام الماء المالح
إزاحة المياه السطحية العذبة أو المياه الجوفية العذبة بفعل تقدم المياه المالحة لكونها أشد كثافة من تلك المياه. ويحدث ذلك عادة في المناطق الساحلية أو عند مصاب الأنهار بسبب انخفاض التأثير الأرضي (إما إثر تقلص *الجريان* وتغذية المياه الجوفية ذات الصلة بذلك، على سبيل المثال، وإما إثر الإفراط في سحب المياه من مستودعات المياه الجوفية) أو بسبب ازدياد التأثير البحري (الارتفاع النسبي في *مستوى سطح البحر*، على سبيل المثال).

Savanna
السافانا
أرض معشوشبة أو أحراج مدارية أو شبه مدارية أو وحدات أحيائية مع جنيبات (شجيرات) متناثرة أو أشجار فردية أو غطاء واسع الأشجار، كلها تتميز *بمناخ* جاف (قاحل أو شبه قاحل أو شبه رطب).

Scenario
سيناريو
وصف معقول، وفي أغلب الأحيان مبسط، للطريقة التي قد يتطور بها المستقبل استناداً إلى مجموعة افتراضات متجانسة ومتسقة داخلياً بشأن القوى المحركة والعلاقات الرئيسية. وقد تُستمد السيناريوهات من *الإسقاطات*، ولكنها تستند عادة إلى معلومات إضافية من مصادر أخرى، وتقترن في بعض الأحيان بوصف قصصي. انظر أيضاً التقرير *الخاص عن سيناريوهات الانبعاثات؛ سيناريو المناخ climate scenario؛ وسيناريوهات الانبعاثات emissions scenarios*.

Sea ice
الجليد البحري
أي شكل من أشكال الجليد الموجود في البحار والناشئ عن تجمد مياهها. وهو إما قطعة جليدية غير متواصلة (الطوَّف الجليدي المسطح) تحركها الرياح والتيارات على سطوح المحيطات (كتل جليدية طافية)، أو صفيحة جليدية ساكنة ملتصقة بالشاطئ (الجليد الملاصق للسابسة).

Sea-ice biome
الوحدة الأحيائية في الجليد البحري
هي *الوحدة* التي تشكل من جميع الكائنات البحرية التي تعيش في الجليد البحري العائم (ماء البحر المتجمد) أو فوقه في المحيطات القطبية.

Sea level change/Sea level rise
تغير مستوى سطح البحر/ ارتفاع مستوى سطح البحر
يمكن أن يتغير مستوى سطح البحر على النطاقين العالمي والمحلي نتيجة: '1' حدوث تغيرات في شكل أحواض المحيطات، '2' وتغيرات في إجمالي الكتلة المائية، '3' وتغيرات في كثافة المياه. والعوامل التي تؤدي إلى ارتفاع مستوى سطح البحر في حال الاحترار العالمي تشمل الزيادات في إجمالي كتلة المياه المكونة جراء ذوبان الثلج والجليد الأرضيين، والتغيرات في كثافة المياه جراء زيادة في درجات حرارة مياه المحيطات، والتغيرات في الملوحة. ويحدث ارتفاع نسبي في مستوى سطح البحر عند حدوث زيادة محلية في مستوى المحيط بالنسبة إلى الأرض، وهذا قد يعزى إلى ارتفاع مستوى المحيطات و/ أو انخفاض في مستوى الأرض.

Sea –level equivalent (SLE)
تكافؤ مستوى سطح البحر
تغير في المنسوب الإجمالي لسطح البحر يحدث عند إضافة كمية من الماء أو الجليد إلى المحيطات أو إزالتها.

Sea surface temperature (SST)
درجة حرارة سطح البحر
يُعنى بدرجة حرارة سطح البحر مجموع درجات حرارة السوائل تحت سطح البحر مباشرة أي في الأمتار القليلة العليا من المحيط، وتقاس بواسطة السفن والمحطات الطافية الغاطسة والمحطات العائمة المنساقة. وتم اعتباراً من الأربعينات من القرن الماضي التحول من القياس بواسطة السفن، باستعمال الدلو، إلى جمع عينات من الماء الذي تسحبه المحركات. ويستخدم أيضاً القياس بواسطة الساتل لتحديد حرارة الغشاء السطحي (الطبقة العليا، وسمكها جزئ من المليمتر) كما تستخدم لهذا الغرض الأشعة دون الحمراء أو السنتيمتر الأعلى أو الموجات المتناهية الصغر ولكن لابد من تعديلها كي تتوافق مع درجات حرارة السوائل.

Seasonally frozen ground
الأرض المتجمدة موسمياً
انظر *الأرض المتجمدة*.

Semi-arid regions
المناطق شبه القاحلة
المناطق التي تشهد هطولاً متدنياً، لا تتمتع بإنتاج عال وعادة ما تصنف ضمن *أراضي المراعي*. أما مفهوم «متوسط التدني» المعترف به بشكل عام فيعني هطولاً يتراوح بين 100 و250 مم في السنة الواحدة. راجع أيضاً *منطقة قاحلة air region*.

Sensitivity
الحساسية
مدى تأثر النظام تأثراً ضاراً أو مفيداً نتيجة *تقلبية المناخ* أو *تغيره*. وقد يكون الأثر مباشراً (كحدوث تغير في غلة المحاصيل إثر تغير في متوسط درجات الحرارة أو نطاقها أو تقلبيتها) أو غير مباشر (كحدوث أضرار ناجمة عن زيادة تواتر الفيضانات الساحلية بسبب ارتفاع مستوى سطح البحر).

Sequestration
تنحية الكربون
تخزين الكربون في *مستودعات* أرضية أو بحرية. وتشمل التنحية البيولوجية الإزالة المباشرة لثاني أكسيد الكربون CO_2 من الغلاف الجوي من خلال *تغير استخدام الأراضي*، والتشجير، وإعادة التشجير، وتخزين الكربون في *مدافن القمامة* والممارسات التي تعزز وجود كربون التربة في الزراعة.

Silviculture
الحراجة
زراعة *الغابات* وتنميتها ورعايتها.

Sink
بالوعة، مصرف
أية عملية أو أنشطة أو آلية تزيل *غازاً من غازات الدفيئة* أو *هباءً من الأهباء* الجوية أو أحد سلائف غاز من غازات الدفيئة أو هباءً جوياً من *الغلاف الجوي*.

Snow pack
التراكم الثلجي
التراكم الفصلي للثلوج البطيئة الذوبان.

Snow water equivalent
المكافئ المائي للثلج
مقدار/ حجم المياه المكافئ المتولد عند تذويب كتلة محددة من الثلج أو الجليد.

Soil moisture
رطوبة التربة
الماء المخزن في التربة أو على سطح الأرض والمتاح *للتبخر*.

Source
المصدر
لفظ المصدر يشير في معظم الأحيان إلى أي عملية أو نشاط أو آلية تطلق *غازاً من غازات الدفيئة* أو *هباءً من الأهباء الجوية*، أو أحد سلائف غازات الدفيئة أو الأهباء الجوية في *الغلاف الجوي*. ويمكن أن يشير هذا اللفظ أيضاً إلى مصدر من مصادر *الطاقة*، على سبيل المثال.

Southern Oscillation Index (SOI)
مؤشر التذبذب الجنوبي (النينيو)
انظر *EL Niño-Southern Oscillation التذبذب الجنوبي (النينيو)*.

Spatial and temporal scales
النطاقات المكانية والزمنية
قد يتفاوت *المناخ* على نطاقات مكانية وزمنية واسعة. وقد تتراوح النطاقات المكانية بين محلية (أقل من 100 000 كيلومتر مربع)، وإقليمية (بين 100 000 و10 ملايين كيلومتر مربع) وقارية (من 10 ملايين إلى 100 مليون كيلومتر مربع). وقد تتراوح النطاقات الزمنية بين موسمية وجيولوجية (تبلغ مئات الملايين من الأعوام).

SRES scenarios
سيناريوهات التقرير الخاص
سيناريوهات التقرير الخاص هي *سيناريوهات الانبعاثات* التي وضعها ناكيسينوفيتش وسوارت (2000) وتستخدم هي وسيناريوهات أخرى كأساس لبعض *الإسقاطات المناخية* الواردة في تقرير التقييم الرابع. وتساعد المصطلحات التالية على تحسين فهم هيكل مجموعة سيناريوهات التقرير الخاص وكيفية استخدامها.

- Scenario family أسرة سيناريوهات: سيناريوهات تتشابه في سردها خط أحداث التغير الديمغرافي والاجتماعي والاقتصادي والفني. وتوجد أربع أسر من السيناريوهات في مجموعة سيناريوهات التقرير الخاص هي : ألف 1، وألف 2، وباء 1، وباء 2.

- Illustrative Scenario السيناريو التوضيحي: سيناريو يوضح كل فئة من فئات السيناريوهات الست الواردة في الملخص لصانعي السياسات الذي وضعه ناكيسينوفيتش وسوارت (2000). وتشمل هذه الفئات أربعة سيناريوهات دالة منقحة لفئات السيناريوهات ألف 1 باء، وألف 2، وباء 1، وباء 2، وسيناريوهين إضافيين لفئة سيناريوهات الوقود الأحفوري المركز A1FI وفئة سيناريوهات الوقود غير الأحفوري A1T. وجميع فئات السيناريوهات سليمة وصحيحة بنفس الدرجة.

- Marker Scenario السيناريو الدالّ: سيناريو نُشر أصلاً في شكل مشروع سيناريو على موقع التقرير الخاص الإلكتروني على الشبكة ليمثل أسرة معينة من السيناريوهات. واستند اختيار السيناريوهات الدّالة إلى القياسات الكمية الأولية التي تعبر أفضل تعبير عن خط الأحداث، وإلى سمات نماذج محددة. ولا تعد السيناريوهات الدّالة أرجح من السيناريوهات الأخرى، ولكن فريق كتابة التقرير الخاص يعتبرها موضحة لخط معين من الأحداث. وقد أورد ناكيسينوفيتش

وسوارت (2000) السيناريوهات الدالة في شكل منقح. وخضعت هذه السيناريوهات لأدق الفحوص من جانب فريق الكتابة كله ومن خلال العملية المفتوحة لإعداد التقرير الخاص. واختيرت السيناريوهات أيضاً لتوضيح الفئتين الأخريين من السيناريوهات.

- Storyline خط الأحداث: وصف سردي للسيناريو (أو لأسرة من السيناريوهات) يبرز السمات الأساسية للسيناريو والعلاقات بين القوى الدافعة الرئيسة وحركة تطورها.

Stakeholder
صاحب الشأن (المصلحة)
شخص أو منظمة ممن لهم مصلحة مشروعة في مشروع أو كيان، أو ممن قد يتأثرون بإجراء محدد أو *سياسة* محددة.

Storm surge
عرام العواصف
الزيادة المؤقتة في ارتفاع البحر في مكان معين من جراء الأحوال الجوية المتطرفة (انخفاض الضغط الجوي و/أو الرياح العنيفة). ويعرف عرام العواصف بأنه القدر الزائد فوق المستوى المتوقع من تغير المد والجزر وحده في ذلك الوقت وفي ذلك المكان.

Storm tracks
مسارات العواصف
مصطلح استعمل في الأصل للإشارة فقط إلى مسارات نظم الطقس الإعصاري الفردية، ولكنه يشير اليوم إلى *المناطق* التي تحدث فيها المسارات الرئيسية للاضطرابات فوق المدارية، بوصفها سلسلة من أنظمة ضغط متدنية (إعصارية) وعالية (إعصارية مضادة).

Storyline
خط الأحداث
وصف سردي للسيناريو (أو لأسرة من السيناريوهات) يبرز السمات الأساسية للسيناريو، والعلاقات بين القوى الدافعة الرئيسية وحركة تطورها.

Stratosphere
الستراتوسفير
منطقة *الغلاف الجوي* المعروفة بكثرة طبقاتها، والواقعة فوق *التروبوسفير*، ويتراوح ارتفاعها بين نحو 10 كيلومترات وقرابة 50 كيلومتراً (يتراوح في المتوسط بين 9 كيلومترات في مناطق خطوط العرض العليا و16 كيلومتراً في المنطقة المدارية) كحد متوسط وقرابة 50 كيلومتراً.

Streamflow
تدفق المجاري المائية
تدفق الماء في مجرى النهر، يقاس مثلاً بالمتر المكعب/ ثانية. وهو مرادف لمصطلح تدفق الأنهار.

Subsidy
الإعانة
مدفوعات مباشرة تؤديها الحكومة أو خفض ضريبي لطرف خاص من أجل تنفيذ ممارسة ترغب الحكومة في تشجيعها. ويتم الحفز على تخفيض *انبعاثات غاز الدفيئة* عن طريق خفض الإعانات المالية القائمة للممارسات التي يكون من أثرها زيادة الانبعاثات (من مثل الإعانات المالية المتعلقة باستخدام الوقود الأحفوري) أو من خلال تقديم إعانات مالية للممارسات التي تخفض الانبعاثات أو تعزز البالوعات (المصارف) (من أجل عزل المباني أو غرس الأشجار، على سبيل المثال).

Succulent
النبات الريّان
هي نباتات مثل الصبّار، ذات أعضاء تخزن المياه، مما يساعدها على العيش والبقاء في ظروف الجفاف.

Sustainable Development (SD)
التنمية المستدامة
التنمية التي تلبي احتياجات الحاضر دون أن تضعف قدرة الأجيال اللاحقة على تلبية احتياجاتها الخاصة.

T

Taiga
حزام *الغابات البوريالية (الشمالية)* الواقعة في أقصى الشمال والمجاورة للسهول الجرداء *التندرا* الكائنة في المنطقة القطبية الشمالية (أركتيكا).

Technology
التكنولوجيا
التطبيق العملي للمعرفة بهدف إنجاز مهام محددة، وهو تطبيق تستخدم فيه الأدوات الفنية (المعدات والأجهزة) والمعلومات (الاجتماعية) ("البرامجيات" والدراية الفنية في إنتاج الأدوات واستخدامها).

Teleconnection
الارتباط عن بعد
هو الرابط بين *التقلبات المناخية* من مناطق في العالم شديدة التباعد. وتعتبر الارتباطات عن بعد، بمعناها الفيزيائي، تداعيات لحركة موجية واسعة النطاق تنقل الطاقة من الأقاليم المصدر وعبر المسارات المعتادة في *الغلاف الجوي*.

Thermal expansion
التمدد الحراري
فيما يتعلق *بارتفاع مستوى سطح البحر*، يشير هذا المصطلح إلى الزيادة في الحجم (والانخفاض في الكثافة) التي تنجم عن احترار المياه. ويؤدي احترار المحيطات إلى تمدد حجمها ومن ثم إلى زيادة مستوى سطح البحر. انظر *تغير مستوى سطح البحر*.

Thermocline
الثيرموكلاين
منطقة في محيطات العالم تقع على عمق كيلومتر واحد بوجه عام، تتناقص فيها درجات الحرارة بسرعة مع تزايد العمق وتشكل الحد الفاصل بين السطح والمحيط.

Thermohaline circulation (THC)
الدوران المدفوع بقوة التباين الحراري والملحي

دوران واسع النطاق في المحيطات يرتهن مداه بالكثافة وتسببه الاختلافات في درجات الحرارة والملوحة ويتكون الدوران المدفوع بالتباين الحراري والملحي في شمالي الأطلسي من مياه سطحية دافئة تتدفق باتجاه الشمال، وتتدفق مياه عميقة باردة باتجاه الجنوب مما يؤدي إلى انتقال صاف للحرارة نحو القطب. وتغور المياه السطحية في مناطق محدودة للغاية تقع في خطوط العرض العليا. ويسمى أيضاً *الدوران التقلبي الجنوبي*.

Thermokarst
الكارست الحراري

منطقة من الأرض وعرة ومليئة بالحفر السطحية والتلال الجليدية والمنخفضات التي غالباً ما تمتلئ بالمياه (البرك) التي تنتج عن ذوبان الجليد الأرضي أو *التربة الصقيعية* وتعتبر عمليات الترموكارست عمليات يسببها الاحترار الذي يؤدي إلى تشكل الترموكارست.

Threshold
العتبة

هي مستوى أهمية عملية نظام ما يحدث عنده تغير مفاجئ أو سريع. والعتبة هي النقطة أو المستوى الذي تظهر عنده خصائص جديدة في نظام إيكولوجي أو اقتصادي أو أي نظام آخر، تبطل التنبؤات المبنية على علاقات رياضية تنطبق على مستويات أدنى.

Transpiration
النتح

تبخر بخار الماء من السطح الملس لأوراق النباتات عبر فتيحات تنفس الأوراق.

Trend
التوجّه

تعني كلمة توجه في هذه الورقة الفنية أي *تغير* أحادي الوتيرة في قيمة متغيرة ما.

Trophic relationship
علاقة غذائية

العلاقة الإيكولوجية الناشئة عن تغذي نوع من نوع آخر.

Troposphere
تروبوسفير

الجزء السفلي من *الغلاف الجوي* الممتد من سطح الأرض إلى ارتفاع قدره نحو 10 كم من منطقة خطوط العرض الوسطى (ويتراوح في المتوسط بين نحو 9 كم في منطقة خطوط العرض العليا و16 كم في المنطقة المدارية) حيث تظهر السحب وظواهر الطقس. وتنخفض درجات الحرارة في التروبوسفير بصفة عامة مع الارتفاع.

Tundra
التندرا

سهل منبسط ذو تضاريس غير حادة ولا أشجار فيه ويميز المناطق الواقعة في المنطقة المتجمدة الشمالية والشبه متجمدة التي تسود فيها درجات حرارة متدنية وبفصول نمو قصيرة.

U

Uncertainty
عدم اليقين

تعبير يدل على درجة عدم معرفة قيمة ما (مثل حالة *النظام المناخي* في المستقبل). وقد ينشأ عدم اليقين عن الافتقار إلى المعلومات أو عن عدم الاتفاق على ما هو معروف أو حتى على ما يمكن معرفته. وقد تتعدد أنواع مصادر عدم اليقين، ابتداء من الأخطاء القابلة للتقييم الكمي في البيانات وانتهاء بالتعريف الغامض للمفاهيم أو المصطلحات، أو *الإسقاطات* غير المؤكدة للسلوك البشري. ولذا يمكن تمثيل عدم اليقين بمقاييس كمية مثل نطاق القيم المحسوبة بنماذج مختلفة أو مثل البيانات النوعية كتلك التي تعكس حكم أي فريق من الخبراء. انظر أيضاً *الأرجحية*، *الثقة*.

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)
اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ

اعتمدت الاتفاقية في 9 أيار/مايو 1992 في نيويورك ووقع عليها في قمة الأرض التي عقدت في عام 1992 في ريو دي جانيرو أكثر من 150 بلداً والجماعة الأوروبية. وهدف الاتفاقية النهائي هو 'تثبيت تركيزات غازات الدفيئة في الغلاف الجوي عند مستوى يمنع التدخلات البشرية المنشأ الخطرة في النظام المناخي'. وتتضمن التزامات لجميع الأطراف. وبموجب الاتفاقية تستهدف الأطراف المدرجة في *المرفق الأول* للاتفاقية (جميع البلدان الأعضاء في منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي في عام 1990 والبلدان التي تمر اقتصاداتها بمرحلة انتقالية) العودة بانبعاثات *غازات الدفيئة* التي لا ينظمها بروتوكول مونتريال إلى مستويات عام 1990 بحلول عام 2000. وقد دخلت الاتفاقية حيز النفاذ في آذار/مارس 1994. انظر *بروتوكول كيوتو Protocol Kyoto*.

Urbanization
التوسع الحضري (العمراني)

تحويل الأراضي من حالتها الطبيعية أو حالتها الطبيعية التي تخضع للتدبير (مثل الزراعة) إلى مدن؛ وهي عملية يحركها صافي الهجرة من الأرياف إلى المدن وتأتي من خلالها نسب متزايدة باطراد من السكان في أي بلد أو منطقة للعيش في مستوطنات يطلق عليها اسم مراكز حضرية.

V

Vector
الناقل

كائن حي، مثل الحشرات، ينقل العوامل الممرضة من حاضن إلى آخر.

Vector-borne diseases
الأمراض المحمولة بالنواقل

هي أمراض تحملها من حاضن إلى آخر كائنات تسمى النواقل (كالبعوض أو القراد) مثل، الملاريا، وحمى الدنك وداء الليشمانيات.

Vulnerability
سرعة التأثر

مدى مايكون النظام عرضة للآثار الضارة أو غير قادر على مواجهة تلك الآثار المترتبة على *تغير المناخ*، بما فيه *تقلبية المناخ* والظواهر الجوية المتطرفة. وسرعة التأثر تتوقف على سمات وحجم ومعدل تغير المناخ والتقلب الذي يتعرض له النظام وعلى *حساسية* ذلك النظام و*قدرته على التكيف*.

W

Water consumption
استهلاك المياه

كمية المياه المستخرجة التي تُفقد بدون رجعة في إقليم ما في أثناء عملية استخدامها (تفقد بالتبخر وإنتاج السلع). واستهلاك المياه يعادل كميات المياه المسحوبة ناقصاً منها تدفق كميات المياه العائدة إلى الأرض.

Water security
الأمن المائي

التوافر الموثوق للمياه بكميات وجودة كافيتين للمحافظة على الصحة البشرية وأسباب المعيشة والإنتاج والبيئة.

Water stress
الإجهاد المائي

يُعد البلد مُجهداً من الناحية المائية إذا كانت إمداداته المتاحة من المياه العذبة بالمقارنة مع الكميات المائية المسحوبة تشكل عقبة هامة تعيق التنمية. وفي التقييمات التي تجرى على النطاق العالمي، كثيراً ما تعرّف الأحواض المجهدة مائياً بأنها الأحواض التي تقل فيها حصة الفرد الواحد من المياه المتوفرة عن 1000 م3 / السنة (وذلك استناداً إلى متوسط الجريان الطويل الأجل). وإذا تجاوزت كميات المياه المسحوبة نسبة 20% من إمدادات المياه المتجددة فإن ذلك يعتبر مؤشراً على الإجهاد المائي. ويعد أي محصول مُجهداً من الناحية المائية إذا قلت المياه الموجودة في التربة، وبالتالي *التبخر – النتح* الفعلي، عن المتطلبات المحتملة من التبخر – النتح.

Water-use efficiency
الكفاءة في استخدام المياه

هي عبارة عن كمية الكربون التي يتم ربحها في عملية *التمثيل الضوئي* بالنسبة لكل وحدة مائية تفقد في عملية *التبخر / النتح*. ويمكن قياس هذه الكفاءة على المدى القصير، بوصفها نسبة ربح الكربون نتيجة لعملية التمثيل الضوئي حسب الوحدة من المياه المفقودة في عملية النتح أو على أساس فصلي بوصفها نسبة *صافي الإنتاج الأولي* أو الغلة الزراعية إلى كمية المياه المتاحة.

Wetland
الأرض الرطبة

منطقة انتقالية تتغذى بالمياه باستمرار وذات تربة تصرف صرفاً محدوداً للمياه، تتواجد عادة بين *نظام إيكولوجي* مائي وآخر أرضي. وهي منطقة تتغذى من مياه الأمطار أو من المياه السطحية أو الجوفية. وتتميز الأراضي الرطبة بتواجد ملحوظ للنباتات المعتادة على العيش في تربة مشبعة بالمياه.

المراجع

AMS, 2000: *AMS Glossary of Meteorology,* 2ª edición. American Meteorological Society, Boston, MA. http://amsglossary.allenpress.com/glossary/browse.

Heim, R.R., 2002: A review of twentieth century drought indices used in the United States. *Bull. Am. Meteorol. Soc,* 83, 1149-1165.

IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático), 2000: *Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura,* R. T. Watson, I. R. Noble, B. Bolin, N. H. Ravindranath, D. J. Verardo y D. J. Dokken, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 375 pp.

IUCN, 1980: *The World Conservation Strategy: living resource conservation for sustainable development.* IUCN/PNUMA/WWF, Gland.

Nakicenovic, N. y R. Swart, Eds., 2000: *Special Report on Emissions Scenarios*. Cambridge University Press, 599 pp.

التذييل الثالث: المختصرات، والرموز الكيميائية، والوحدات القياسية العلمية

ثالثًا 1: المختصرات، والرموز الكيميائية

ACIA	تقدير تأثير مناخ المنطقة القطبية الشمالية
AIDS	مرض متلازمة نقص المناعة المكتسب/الإيدز
AMO	التذبذب الأطلسي المتعدد العقود
AOGCM	نموذج الدوران العام للمحيطات والغلاف الجوي
AR4	تقرير التقييم الرابع (الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ)
ARD	التشجير وإعادة التشجير وإزالة الأحراج
CCS	احتجاز الكربون وتخزينه
CDM	آلية التنمية النظيفة
CH4	الميثان، انظر مسرد المصطلحات
CO2	ثاني أكسيد الكربون، انظر مسرد المصطلحات
CRU	وحدة البحوث المناخية
DJF	ديسمبر، يناير، فبراير
ECLAC	اللجنة الاقتصادية لأمريكا اللاتينية والكاريبي
ENSO	النينيو – التذبذب الجنوبي
EROS	رصد موارد الأرض والعلم
ES	ملخص تنفيذي
EU	الاتحاد الأوروبي
FAO	منظمة الأغذية والزراعة
FAQ	الأسئلة المتكررة
FAR	تقرير التقييم الأول (الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيُّر المناخ)
GCM	نموذج الدوران العام
GDP	الناتج المحلي الإجمالي
GHCN	الشبكة العالمية لعلم المناخ التاريخي
GHG	غاز الدفيئة
GLOF	الفيضان المفاجئ للبحيرات الجليدية
GNP	الناتج القومي الإجمالي
GPCC	المركز العالمي لمناخيات الهطول
GPCP	المشروع العالمي لمناخيات الهطول
HABs	ازدهار النبات الطحلبي الضار
HIV	فيروس نقص المناعة البشرية
IIASA	المعهد الدولي لتحاليل النظم التطبيقية
IPCC	الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ
IPO	تذبذب المحيط الهادئ ما بين العقود
IUCN	الاتحاد الدولي لحفظ الطبيعة والموارد الطبيعية (الاتحاد العالمي للحفظ)
JJA	يونيو، يوليو، أغسطس
LIA	العصر الجليدي الصغير
LULUCF	استخدام الأراضي، وتغيُّر استخدام الأراضي والحراجة
MARA/ARMA	تحديد المناطق المهددة بخطر مرض الملاريا في أفريقيا
MDG	الأهداف الإنمائية للألفية
MOC	الدوران التقلبي الجنوبي
N2O	أكسيد النتروز، انظر مسرد المصطلحات
NAM	النمط الحلقي الشمالي
NAO	تذبذب شمال الأطلسي
NASA	الإدارة الوطنية للملاحة الجوية والفضاء
NGO	منظمة غير حكومية
NH	نصف الكرة الأرضية الشمالي
OECD	منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي
PCBs	ثنائي البنزين ذو الروابط الكلورية المتعددة
PDO	تذبذب المحيط الهادئ العقدي
PDR	الجمهورية الديمقراطية الشعبية
PDSI	مؤشر بالمر لشدة الجفاف
pH	انظر مسرد المصطلحات تحت PH
PNA	(نمط) المحيط الهادئ – أمريكا الشمالية
ppm	أجزاء من المليون، انظر التذييل الثالث - 2
PREC/L	استعادة صورة الأوضاع المتعلقة بهطول الأمطار على الأرض
PSA	(نمط) المحيط الهادئ – أمريكا الجنوبية
SAM	النمط الحلقي الجنوبي
SAR	تقرير التقييم الثاني (الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ)
SD	الانحراف المعياري
SI	مؤشر المواءمة
SIDS	الدول الجزرية الصغيرة النامية
SLE	مكافئ مستوى سطح البحر
SM	مادة (مواد) تكميلية
SOI	مؤشر التذبذب الجنوبي
SPCZ	منطقة الالتقاء في جنوب المحيط الهادئ
SPM	ملخص لواضعي السياسات
SRES	التقرير الخاص بشأن سيناريوهات الانبعاثات
SST	درجة حرارة سطح البحر
SWE	المكافئ المائي للثلج
SYR	التقرير التجميعي (تقرير التقييم الرابع للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ)
TAR	تقرير التقييم الثالث للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ
TS	الملخص الفني

UK	المملكة المتحدة	WGI	الفريق العامل الأول (التابع للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ)
UN	الأمم المتحدة		
UNDP	برنامج الأمم المتحدة للبيئة	WGII	الفريق العامل الثاني (التابع للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ)
UNFCCC	اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ		
UNICEF	اليونيسيف	WGIII	الفريق العامل الثالث (التابع للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ)
$US	دولار/ الولايات المتحدة		
USA	الولايات المتحدة الأمريكية	WHO	منظمة الصحة العالمية
WCP	برنامج المناخ العالمي	WSP	خطة تحقيق مأمونية المياه

ثالثًا 2: الوحدات القياسية العلمية

الوحدات القياسية للنظام الدولي

الكمية الفيزيائية	*اسم الوحدة*	*الرمز*
الطول	متر	م
الكتلة	كيلوغرام	كغ
الوقت	ثانية	ثانية
درجة الحرارة الدينامية	كيلفن	كيلفن
الطاقة	جول	جول

الكسور والمضاعفات

الكسر	*البادئة*	*الرمز*	*المضاعف*	*البادئة*	*الرمز*
10^{-1}	deci	d	10	deca	da
10^{-2}	centi	c	10^{2}	hecto	h
10^{-3}	milli	m	10^{3}	kilo	k
10^{-6}	micro	µ	10^{6}	mega	M
10^{-9}	nano	n	10^{9}	giga	G
10^{-12}	pico	p	10^{12}	tera	T
10^{-15}	femto	f	10^{15}	peta	P
10^{-18}	atto	a	10^{18}	exa	E

الوحدات القياسية العلمية والكميات والمختصرات ذات الصلة من غير النظام الدولي

°C	درجة مئوية (سيلسيوس): (0°C = 273 كيلفن تقريباً): تُبين فروق درجة الحرارة أيضاً بالدرجات المئوية بدلاً من درجات سيلسيوس الأكثر دقة.
ppm	أجزاء بالمليون (10^{6}) بالحجم (نسبة الخلط كمقياس لتركيز غازات الدفيئة)
watt	واط: دفق الطاقة أو الدفق الإشعاعي (1 واط = 1 جول/ثانية = 1 كغ متر مربع/ثانية^{3}
yr	سنة

التذييل الرابع: قائمة بأسماء المؤلفين

Bates, Bryson
CSIRO
أستراليا

Kundzewicz, Zbigniew W.
Polish Academy of Sciences, Poland, and
Potsdam Institute for Climate Impact Research, ألمانيا

Wu, Shaohong
Institute of Geographical Sciences
and Natural Resources
Research
Chinese Academy of Sciences
الصين

Arnell, Nigel
Walker Institute for Climate System
Research at the University of Reading
المملكة المتحدة

Burkett, Virginia
US Geological Survey
الولايات المتحدة الأمريكية

Döll, Petra
University of Frankfurt
ألمانيا

Gwary, Daniel
University of Maiduguri
نيجيريا

Hanson, Clair
Met Office Hadley Centre
المملكة المتحدة

Heij, BertJan
Bergonda Science Communication
هولندا

Jiménez, Blanca Elena
Universidad Nacional Autonoma de Mexico
المكسيك

Kaser, Georg
University of Innsbruck
النمسا

Kitoh, Akio
Japan Meteorological Agency
اليابان

Kovats, Sari
London School of Hygiene and Tropical Medicine
المملكة المتحدة

Kumar, Pushpam
University of Liverpool
المملكة المتحدة

Magadza, Christopher H.D.
University of Zimbabwe
زمبابوي

Martino, Daniel
Carbosur
أوروغواي

Mata, Luis Jose
Nord-Sud Zentrum fur Entwicklungsforschung
ألمانيا/فنزويلا

Medany, Mahmoud
The Central Laboratory for Agricultural Climate
مصر

Miller, Kathleen
National Center for Atmospheric Research
الولايات المتحدة الأمريكية

Arblaster, Julie
National Center for Atmospheric Research,
USA and Bureau of Meteorology
أستراليا

Betts, Richard
Met Office Hadley Centre
المملكة المتحدة

Dai, Aiguo
National Center
for Atmospheric Research
الولايات المتحدة الأمريكية

Milly, Christopher
US Geological Survey
الولايات المتحدة الأمريكية

Mortsch, Linda
Environment Canada
كندا

Nurse, Leonard
,University of the West Indies
Cave Hill Campus
بربادوس

Payne, Richard
Department of Agriculture
and Food Western
أستراليا

Pinkswar, Iwona
Polish Academy of Sciences
بولندا

Wilbanks, Tom
Oak Ridge National Laboratory
الولايات المتحدة الأمريكية

Oki, Taikan
University of Tokyo
اليابان

Osman, Balgis
Higher Council for Environment
and Natural Resources
السودان

Palutikof, Jean
Met Office Hadley Centre
المملكة المتحدة

Prowse, Terry
Environment Canada and University of Victoria
كندا

Pulwarty, Roger
NOAA/CIRES/Climate Diagnostics Center
الولايات المتحدة الأمريكية/ترينيداد وتوباغو

Räisänen, Jouni
University of Helsinki
فنلندا

Renwick, James
National Institute of Water
and Atmospheric Research
نيوزيلندا

Tubiello, Francesco Nicola
Columbia University
الولايات المتحدة الأمريكية/المعهد الدولي
لتطبيقات تحليل النظم/إيطاليا

Wood, Richard
Met Office Hadley Centre
المملكة المتحدة

Zhao, Zong-Ci
China Meteorological Administration
الصين

التذييل الخامس: قائمة بأسماء المستعرضين

Andressen, Rigoberto
Universidad de Los Andes
فنزويلا

Asanuma, Jun
University of Tsukuba
اليابان

Bandyopadhyay, Jayanta
Indian Institute of Management
الهند

Bayoumi, Attia
Ministry of Water Resources and Irrigation
مصر

Bergstrom, Sten
Swedish Meteorological and Hydrological Institute
السويد

Bernstein, Leonard
International Petroleum Industry Environmental Conservation Association
المملكة المتحدة

Bidegain, Mario
أوروغواي

Bojariu, Roxana
National Meteorological Administration
رومانيا

de Loë, Rob
University of Guelph
كندا

Diaz Morejon, Cristobel Felix
Ministry of Science, Technology and the Environment
كوبا

Elgizouli, Ismail
Higher Council for Environment and Natural Resources
السوادان

Fobil, Julius
University of Ghana, Legon
غانا

Folland, Chris
Met Office Hadley Centre
المملكة المتحدة

Gallart, Francesc
CSIC
إسبانيا

Gerten, Dieter
Potsdam Institute for Climate Impact Research
ألمانيا

Gillett, Nathan
University of East Anglia
المملكة المتحدة

Ginzo, Héctor
Ministerio de Relaciones Exteriores
الأرجنتين

Grabs, Wolfgang
World Meteorological Organization
سويسرا

Hatfield, Jerry
US Department of Agriculture
الولايات المتحدة الأمريكية

Jacob, Daniela
Max Planck Institute for Meteorology
ألمانيا

Jacobs, Katharine
Arizona Universities
الولايات المتحدة الأمريكية

Jeffrey, Paul
Cranfield University
المملكة المتحدة

Jouzel, Jean
Institut Pierre-Simon Laplace
فرنسا

Jin, Byung-bok
Environmental Management Corporation
جمهورية كوريا

Kadaja, Jüri
Estonian Research Institute of Agriculture
إستونيا

Kaser, Georg
University of Innsbruck
النمسا

Kimball, Bruce
US Department of Agriculture
الولايات المتحدة الأمريكية

Knutson, Thomas
Princeton University
الولايات المتحدة الأمريكية

Komen, Gerbrand
Royal Netherlands Meteorological Institute
هولندا

Kotwicki, Vincent
Kuwait Institute for Scientific Research
الكويت

Lai, Murari
CESDAC
الهند

Lapin, Milan
Comenius University
سلوفاكيا

Leon, Alejandro
Universidad de Chile
شيلي

Liu, Chunzhen
Ministry of Water Resources
الصين

Mares, Constantin
Romanian Academy of Technical Sciences
رومانيا

Mares, Ileana
Romanian Academy of Technical Sciences
رومانيا

Mariotti, Annarita
ENEA
إيطاليا

Morgenschweis, Gerd
Water Resources Management
ألمانيا

Müller, Lars
Climate Strategy
الاتحاد الأوروبي (ألمانيا)

Njie, Momodou
Blue Gold Solutions
غامبيا

Noda, Akira
Frontier Research Centre for Global Change
اليابان

Parry, Martin
Co-chair IPCC Working Group II
المملكة المتحدة

Ragab, Ragab
Centre for Ecology and Hydrology
المملكة المتحدة

Ren, Guoyu
National Climate Centre
الصين

Robock, Alan
Rutgers University
الولايات المتحدة الأمريكية

Roy, Rene
Ouranos, Consortium on Climate Change
كندا

Savard, Martine M.
Natural Resources Canada
كندا

Schipper, Lisa
Chulalongkorn University
تايلند

Şen, Zekai
Istanbul Technical University
تركيا

Sherwood, Steve
Yale University
الولايات المتحدة الأمريكية

Shim, Kyo-moon
National Institute of Agricultural
Science and Technology
كوريا الجنوبية

Sorooshian, Soroosh
University of California, Irvine
الولايات المتحدة الأمريكية

Szolgay, Jan
Slovak University of Technology
سلوفاكيا

Tabet-Aoul, Mahi
Research Centre on Social and Cultural
Anthropology (CRASC)
الجزائر

Trenberth, Kevin
National Center for Atmospheric Research
الولايات المتحدة الأمريكية

Van Walsum, Paul
Wageningen University
and Research Centre
هولندا

Wojciech, Majewski
Institute of Meteorology and
Water Management
بولندا

Wratt, David
National Institute of Water and Atmospheric
Research
نيوزيلندا

Wurzler, Sabine
,North Rhine Westphalia State Agency for Nature
Environment and Consumer Protection
ألمانيا

Yabi, Ibouraïma
LECREDE/DGAT/FLASH/UAC
جمهورية بنن

Zhao, Zong-Ci
China Meteorological Administration
الصين

التذييل السادس: الإذن بالنشر

أذنت بالنشر الجهات التالية التي تملك حق النشر:

الشكل 3.2: أعيد طبعه بإذن مشكور من Petra Döll

الشكل 3.3: أعيد طبعه بإذن من Lehner, B. ومؤلفين مشاركين، 2005: تقدير تأثير التغير العالمي على مخاطر الفيضان والجفاف في أوروبا: تقييم قاري، متكامل. التغير المناخي، **75**, 273-299، بإذن مشكور منSpringer Science and Business Media.

الشكل 4.1(a): من Fischer, G. ومؤلفين مشاركين، 2002: تقدير زراعي - إيكولوجي عالمي للزراعة في القرن الحادي والعشرين: المنهجية والنتائج. تقرير بحثي رقم 02-RR-02.
International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg، النمسا. أعيد طبعه بإذن مشكور من IIASA.

الشكل 5.1: أعيد طبعه بإذن من Macmillan Publishers Ltd [Nature] O'Reilly, C.M. ومؤلفين مشاركين، 2003: تخفيض تغير المناخ لإنتاجية النظام الإيكولوجي المائي لبحيرة تنجانيقا، أفريقيا. 768-766 ,424 ,Nature. 2003 Copyright.

الشكل 5.3: من 2005 ،Hemp. A.: حرائق الغابات التي يسببها تغير المناخ تهمِّش تأثير تبديد القلنسوة الجليدية على جبل كليمنجارو. .Glob Change Biol., **11**, 1013-1023 أعيد طبعه بإذن من Blackwell Publishing Ltd.

الشكل 5.4: من Arnell, N.W., 2006b: تغير المناخ وموارد المياه: منظور عالمي. تفادي تغير المناخ الخطير، H.J. Schellnhuber, W. Cramer, N. Nakićenović, T. Wigley and G. Yohe, Eds., Cambridge University Press, , 167-175.
أعيد طبعه بإذن من: Cambridge University Press.

الشكل 5.8(a): من M.R. Haylock، ومؤلفين مشاركين، 2006: الاتجاهات الملحوظة في هطول المطر الإجمالي والمتطرف 1960-2000 والارتباطات مع درجة حرارة سطح البحر. J. Climate, **19**, 1490-1512. أعيد طبعه بإذن من American Meteorological Society.

الشكل 5.8(b): من Aguilar, E. ومؤلفين مشاركين، 2005: التغيرات في الهطول ودرجات الحرارة المتطرفة في أمريكا الوسطى وشمالي أمريكا الجنوبية، 1961-2003. J. Geophys. Res., **110**, D23107, doi:10.1029/
2005JD006119. Copyright (2005) American Geophysical Union. أعيد طبعه بإذن من American Geophysical Union.

الشكل 5.12: من Smith, L.C. ومؤلفين مشاركين، 2005: اختفاء بحيرات المنطقة القطبية الشمالية (أركتيكا)Scienc, **308**, 1429 ، أعيد طبعه بإذن من AAAS.

الفهرس

ملاحظة: تشير أرقام الصفحات المطبوعة بحروف مطبعية سوداء إلى أرقام الصفحات الخاصة بالفصول بأكملها. وتشير الأرقام المطبوعة بحروف طباعية مائلة إلى الجداول أو الأشكال أو الإطارات.

A
التكيف 4، 50-53
الذاتي 50، 67
أمثلة *52*
القيود على51
التخفيف، المنازعات المحتملة بين 133
المخطط 50-51، 67
الخيارات في جانب العرض وخيارات في جانب الطلب 50، 52
الآثار على التنمية المستدامة 141
الحد من سرعة التأثر بـ 51
أنظر أيضاً التخفيف
التكيف، سرعة التأثر، والتنمية المستدامة 135-142
أفريقيا *52*، 90
الزراعة 66-71
آسيا 93-96
أستراليا ونيوزيلندا *52*، 98-99، *98*
الاقتصاد، التأمين، السياحة، الصناعة والنقل 79-80
أوروبا *52*، 98-101
الصحة البشرية 73
أمريكا اللاتينية *52*، 106-108، 107
أمريكا الشمالية *52*، 110-113
المنطقتان القطبيتان *52*، 115-116
المستوطنات والبنية الأساسية 78-79
الجزر الصغيرة *52*، 117، 118-121
إمدادات المياه ومرافق النظافة الصحية 75-77
عمليات الأهباء الجوية 15
التشجير 4، 62، *126*، 129-130
أفريقيا 83-90، 138-140
التكيف وسرعة التأثر *52*، 89
الرصدات الحالية 84-87
النظم الإيكولوجية للغابات 62
جبل كليمنجارو *86*
البحيرات والأنهار 36، 140
إستراتيجيات التغلب على المشكلات الرعوية *67*
الهطول 16، 26، 61
التغيرات المُسقطة 87-90، 138-140
الجريان 22-23، 35
مواطن الضعف 70، 138
الزراعة 61، 71، 138
التكيف، سرعة التأثر، والتنمية المستدامة 67-71
التكنولوجيا الأحيائية 69
الصرف من الأراضي الزراعية 132
إدارة الأراضي الزراعية (تقليل حراثة الأرض) *126*، 86، 130، 132
إدارة الأراضي الزراعية (الماء) *126*، 128
المحاصيل 64-66
استخدام الأسمدة 11، 128
تكثيف 129
الاحتياجات من مياه الري 4، 10، 64، 65، 138
تدابير التخفيف والماء *126*، 128
نمذجة *64*
الرصدات *63*، 64
الإسقاطات 62-67، 138
عائد (غلة) البقايا 130-132
إدارة المياه وانبعاثات غاز الدفيئة *132*
الآثار على جودة المياه 10
انظر أيضاً الزراعة: الجوانب الإقليمية؛ الري
الزراعة: الجوانب الإقليمية
أفريقيا 85، 87، *88*
آسيا 92، 93
أستراليا ونيوزيلندا 97
أوروبا 98
أمريكا اللاتينية 102، 106
أمريكا الشمالية 109-110
الجزر الصغيرة 118
الحراجة الزراعية 127
تكاثر الطحالب 59، 72، 75
النظم الإيكولوجية الألبية 61
البرمائيات 57، 61، 103
الأنماط الحلقية 23-24، 31
تربية الأحياء المائية 70
المناطق القاحلة وشبه القاحلة
التغيرات المرصودة 38
التغيرات المسقطة 63، 136، 138
سرعة التأثر 3، 136
انظر أيضاً نوبات الجفاف
آسيا 90-96، 139
التكيف وسرعة التأثر *52*، 93-95
الفيضانات 37، 91

الأنهار الجليدية 91، 139
البحيرات والأنهار 36
التأثيرات المرصودة 90-92
الهطول 16، 26
التأثيرات المسقطة ومواطن الضعف 92-93، 139
الجريان 20، 29، 47-47
إمدادات المياه 45، 139
عزو تغير المناخ 15، 16-17
أستراليا ونيوزيلندا 96-100، 139
التكيف وسرعة التأثر *52*، 98-99، 98
نوبات الجفاف 40، 70
المياه الجوفية 36
البنية الأساسية 139
التغيرات المرصودة 96-97، *96*
الهطول 16، 62
التغيرات المسقطة 97-98، *139*

B
محاصيل إنتاج الطاقة الأحيائية 4، 125-127، 126
التنوع الأحيائي 57، 138
أفريقيا 85، 88-89، *88*
آسيا *92*
أستراليا ونيوزيلندا 97-98
أوروبا 98
أمريكا اللاتينية 102-103، 106
أمريكا الشمالية 110
المنطقتان القطبيتان 114
الجزر الصغيرة 118
الوقد الأحيائية 70
التأثيرات التفاعلية الكيميائية الأحيائية الأرضية 25
كهرباء الكتلة الأحيائية *126*، 127
التكنولوجيا الأحيائية 69، *69*
المباني 78، 126، 127

C
داء العطائف 72
دورة الكربون، التأثيرات التفاعلية 24
ثاني أكسيد الكربون وديناميات الماء 62
انظر أيضاً انبعاثات غاز الدفيئة (GHG)
احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه(CCS) 125-132، *126*
التخصيب بثاني أكسيد الكربون 61
مصارف (بالوعات) الكربون 24
منطقة البحر الكاريبي 25، 117
انظر أيضاً الجزر الصغيرة
نهر شاكالتايا الجليدي 35، *105*
المناخ
تعقد الاستجابة 15
التأثيرات التفاعلية مع الدورة الهيدرولوجية 15، 23-24
النماذج (*انظر* نماذج المناخ)
التغيرات المرصودة 15-23
التغيرات المسقطة 24-31
التقلبية، الأنماط واسعة النطاق 22-23، 31
تغير المناخ 13-31
تفاقم آثار إجهادات أخرى 4، 141
عزو15، 16-17
التأثيرات على التنمية المستدامة *49*، **135-142**
التأثيرات على موارد المياه 35-47، *47*، **135-142**
تدابير التخفيف (*انظر* التخفيف)
انظر أيضاً الربط بين تغير المناخ وموارد المياه
تغير المناخ والماء 5-11
الخلفية والنطاق والسياق 7-11
دوافع نظم المياه العذبة المتصلة بالمناخ 24-31، 38-43
الربط بين تغير المناخ وموارد المياه **33-53**
التأثيرات السلبية مقابل المنافع عالمي 3، 137
التغيرات المرصودة 8-9، 35-38
التغيرات المسقطة 38-50
التأثيرات المسقطة بحسب المناطق **81-121**، 138-141
التأثيرات المسقطة بحسب القطاعات 62-78، 137-138
التأثيرات المسقطة بحسب النظم 57-60
ملخص **1-4**
النماذج المناخية 3، 24-31، 50
النهج الاحتمالية متعددة النماذج 26-27، 50
الاحتياجات الخاصة بالرصد 146
إسقاطات من 24-31، 146-147
سيناريوهات/ خطوط الأحداث 9-10، 10، 24
المناطق الساحلية
التأثيرات المستقبلية 45، 60-61، 138
المستوطنات البشرية والبنية الأساسية 77، 78
حوض نهر كولورادو 53، *53*، 111
حوض نهر كولومبيا *113*
مستويات الثقة *انظر* عدم اليقين
التكاليف والجوانب الاجتماعية - الاقتصادية 45-47، 78-79
الغلاف الجليدي
التغيرات المرصودة 3، *19-20*، 19-20، 35
التغيرات المسقطة 27-28
داء **البويغات المستخفية** 72، 75
الأعاصير المدارية
التغيرات المرصودة 17-18
التغيرات المسقطة 27، 31، *41*، 109

D
السدود
التشييد والوقف عن العمل 9-10، 147
انبعاثات غاز الدفيئة من 4، 130، *131*، 141
تخزين المياه بواسطة 10
إزالة الغابات 23، 62، 63
تفادي/ الحد من *126*، 130

الدلتات، التأثيرات المسقطة 60، 105، 138
إزالة الملوحة 10، 46، 76، 141
انبعاثات غاز الدفيئة من *132*، 133
جودة مياه الشرب 45، 71-72، 76
نوبات الجفاف
تواتر نوبات الجفاف كل 100 سنة، المسقط *42*
الصحة البشرية 72
التغيرات المرصودة *37*، 38، *39*
التغيرات المسقطة 26-27، *41-42*، 42-43، 136
انظر أيضاً مناطق محددة
المناطق الجافة *انظر* المناطق القاحلة وشبه القاحلة
العواصف الترابية 72

E
النمو الاقتصادي استخدام المياه و 9
الاقتصاد 78-79
النظم الإيكولوجية 57-60، 139-140
مصر الزراعة في 87، *88*
التذبذب الجنوبي – النينيو (ENSO) 22، 31، 90
الطاقة
أفريقيا 84، 86
آسيا 93
أستراليا ونيوزيلندا 97
أوروبا 95
البنية الأساسية 78
أمريكا اللاتينية 101، 103
تدابير التخفيف والمياه *126*
أمريكا الشمالية 109
الجزر الصغيرة 118
إدارة المياه وانبعاثات غاز الدفيئة *132*
ENSO *انظر* التذبذب الجنوبي/ النينيو
التحات، التربة 45، 60
أوروبا 99-102، 139
التكيف وسرعة التأثر *52*، **100-101**
نوبات الجفاف 38، 99-100، *99*
الفيضان، تقديرات الأضرار 46
الموجة الحرارية في عام 2003 38
النظم الإيكولوجية الجبلية 61
التغيرات المرصودة 99، *99*
الهطول 25، 42، 62
التغيرات المسقطة 29، *42*، 99-139، 100
الجريان 21-22، 29، 35، 45، 139
المناطق المجهدة مائياً، 139
التبخر - النتح
التأثيرات التفاعلية 23
التغيرات المرصودة 20-21
التغيرات المسقطة 25-26، *27*، 29
الإنقراض 57، 58-59، 89، 97، 103، 138
انظر أيضاً التنوع الأحيائي

F
التأثيرات التفاعلية للمناخ والدورة الهيدرولوجية 23-24
الانبعاثات والبالوعات (المصارف) 24
تأثيرات سطح الأرض 23
دوران المحيطات 24
مصائد الأسماك 66-67، 70، 141
إستراتيجيات التكيف 68
مثل نهر الميكونغ *67*
الفيضانات
تكاليف التأثيرات المستقبلية 48، 79
في أوروبا 99-100، *99*
تواتر فيضانات الـ 100 سنة، المسقط 41
الصحة البشرية و 72
التأثيرات على النقل والبنية الأساسية 77-78
التأمين و 79
التغيرات المرصودة 37-38، *37*
التغيرات المسقطة 26، 41-42، *41*، 137
توافر الغذاء/ الأمن الغذائي 3، 62، 62-65، 69-70
الغابات/ الحراجة 62-63، 63، 138
إستراتيجيات التكيف 68-69
الحراجة الزراعية 127
التكنولوجيا الأحيائية 69، 69
التحويل إلى أراض زراعية 125
النظم الإيكولوجية 61
تدابير التخفيف والماء *126*
الأرض المتجمدة
التغيرات المرصودة 19، *19*، 35، 114
التغيرات المسقطة 27-28، 43، 114، 141
احتياجات البحوث في المستقبل 4، 144-148

G
نهر غانغوتري الجليدي 91، 91
ثغرات في المعرفة 4، **144-148**
الطاقة الحرارية الأرضية *126*، 127
انبعاثات غاز الدفيئة من *132*-133
الفيضانات المفاجئة للبحيرات الجليدية (GLOFs) 20، 35، 72
المشاريع الخاصة بالوقاية 93، *94*
الأنهار الجليدية
آسيا 45، 91-*91*، 139
نهر شاكالتايا الجليدي 35، *105*
أوروبا 139
أمريكا اللاتينية 35، 102، *105*، 139-140
التغيرات المرصودة 19-20، *19-20*، 35، *102*
التغيرات المسقطة 28، 43، 139
الأراضي العشبية 61، 66
انبعاثات غاز الدفيئة (GHG)
من سدود الطاقة الكهرمائية 4، 130، 131، 141
سياسات إدارة المياه 130-132، 132
المياه الجوفية

تدابير التخفيف و *126*
التغيرات المرصودة 9، 35-36
التغيرات المسقطة 38-41، *40*
تملح 3، 43

H
الصحة، *انظر* الصحة البشرية
الموجات الحرارية
الأوروبية (2003) 38
التغيرات المرصودة 15، 38، 62
التغيرات المسقطة 24، 26، 100
داء **الديدان الطفيلية** *70*، *73*
الصحة البشرية 71-73
التكيف وسرعة التأثر والتنمية المستدامة 73
أفريقيا 84-85، 87
استراليا ونيوزيلندا 97
أوروبا 100
أمريكا اللاتينية 101-102، 103-106
أمريكا الشمالية 109
الرصدات 73
الإسقاطات 73، 138
الجزر الصغيرة 118
جودة الماء و 70
المستوطنات البشرية 77-78، 138
الجوع 62
انظر أيضاً توافر الغذاء/ الأمن الغذائي
الدورة الهيدرولوجية
الافتراضات من الخبرات المناخية 4
التأثيرات التفاعلية والمناخ 15، 23-24
التغيرات المسقطة 3-4، 25-31، 38-50
أوجه عدم اليقين و24-25
التقلبية في 15
انظر أيضاً الهيدرولوجيا؛ المدخلات الناجمة عن المياه
الهيدرولوجيا
التغيرات المرصودة 35-36
التغيرات المسقطة 38-49
التأثيرات المسقطة بشأن النظم الإيكولوجية والتنوع الأحيائي 57-63
الطاقة المائية 47، *126*، 127، 147
أفريقيا 86
أوروبا 47، 139
انبعاثات غاز الدفيئة من 4، 130، *131*، 141
البنية الأساسية 78
أمريكا الشمالية 48
انظر أيضاً السدود؛ الطاقة

I
الجليد
التغيرات المرصودة 3، 19-20، *19-20*
التغيرات المسقطة 27-28، 141
الصفائح الجليدية
المساهمة في ارتفاع مستوى سطح البحر 20، 24، 28-29
التغيرات المرصودة 35
الصناعة 78-79، *126*، 138
البنية الأساسية 4، 77-78، 138
التأمين 78-79، 111
الإدارة المتكاملة لموارد المياه (IWRM) 44، 53، 133
الري
ممارسات التكيف 67-69، 130، *132*، 138
مساحة الأراضي المروية 9، 10
انبعاثات غاز الدفيئة و 130، *132*
استخدام المياه، التغيرات المرصودة 8-9
استخدام المياه، التغيرات المسقطة 4، 10، 44، 63، 64، 138

K
جبل كليمنجارو 86

L
البحيرات
نقص أوكسيجين الأنسجة وتكاثر الطحالب 58
الكيمياء 36
التحات والترسب 37
التغيرات المرصودة 36-37
التغيرات المسقطة 45، 57، 58، 139
البنية الحرارية 36، 58
تأثيرات سطح الأرض 23-24
استخدام الأراضي 62-63
التكيف 68
محاصيل إنتاج الطاقة الأحيائية و 125
تغير استخدام الأراضي والإدارة *126*، 127-128
أمريكا اللاتينية 96-108، 139-141
التكيف وسرعة التأثر *52*، 106-108، *107*
الأنهار الجليدية 35، *102*، *104*، 139-140
التغيرات المرصودة 101-103، *102*
عمليات التكيف السابقة على مجيء كريستوف كولومبوس 107
الهطول 16، *102-103*
التغيرات المسقطة 103-106، 139-140
الجريان 21-22، 30، 35
الإجهاد المائي 101، 103، *106*، 139
داء **البرّميات** *102*
الربط بين تغير المناخ وموارد المياه 33-53
التكيف مع تغير المناخ، المتصل بالماء 50-53
التغيرات في المياه في المستقبل بسبب تغير المناخ 38-50
التأثيرات المرصودة لتغير المناخ 35-38
انظر أيضاً جوانب محددة للتغير وموارد المياه
الماشية 66، 68

M
الملاريا 84-85، 106
نهر الميكونغ 67
التهاب السحايا 72
الدوران التقلبي الجنوبي (MOC) 24
الميثان
السدود المائية 130
مدافن القمامة/ المياه المستعملة 132
المصادر والبالوعات 24، 141
الأهداف الإنمائية للألفية، قطاع الماء و 142
التخفيف 123-133، 141
التشجير/إعادة التشجير *126*-128، 130
تفادي/الحد من إزالة الغابات *126*، 130
المنافع مقابل آثار الجوانب السلبية 4، 71، 141
محاصيل إنتاج الطاقة الأحيائية 122-127، *126*
كهرباء الكتلة الأحيائية *126*، 127
المباني، استخدام الطاقة في *126*، 127
احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه 125، *126*
الصرف من الأراضي الزراعية 132، *132*
إدارة الأراضي الزراعية *126*، 128
إزالة التملح *132*، 133
الاحتياجات من البيانات في المستقبل 147-148
الطاقة الحرارية الأرضية *126*، 127، *132*، 133
انبعاثات غاز الدفيئة (GHG) و -130، 132، *132*
السدود المائية 130، *131*
الطاقة الكهرمائية *126*، 127
الري 130، *131*
تغير استخدام الأراضي والإدارة *126*، 127-128
آثار السياسة العامة 141
العلاقة مع الماء 122
عائد (غلة) البقايا 130-131، *132*
أوجه التآزر مع التكيف 71
نفط غير تقليدي *126*، *130*
إدارة النفايات/المياه المستعملة *126*، 130، 132-133، *132*
سياسات إدارة المياه و 130-132، 132، 141
انظر أيضاً التكيف
النماذج. *انظر* نماذج المناخ
نظم الموسميات 25
النظم الإيكولوجية الجبلية 65

N
نظام الري Nasca لجمع المياه *107*
نيوزيلندا. *انظر* أستراليا ونيوزيلندا
نهر النيل 83، *89*
استخدام الأسمدة النيتروجينية 10، 128
الدوافع غير المناخية لموارد المياه 8، 10، 43-44
أمريكا الشمالية 108-113، 141
التكيف *52*، 110-112
دراسات حالة لتأثيرات تغير المناخ 110، *111-112*
نوبات الجفاف 38، 70
البحيرات والأنهار، البنية الحرارية 36
التغير المرصود 108
الهطول 16
التغير المسقط ونتائجه 108-110، *108*، 141
الجريان 21-22
تذبذب شمال الأطلسي (NAO) 15، 22، 31

O
التغيرات المرصودة
في المناخ 15-23
التأثيرات على موارد المياه 8-9، 35-38
ملخص 3-4
انظر أيضاً مناطق وقطاعات معينة
المحيطات
الدوران، التأثيرات التفاعلية المناخية من خلال 24
الملوحة 15، 24
انظر أيضاً ارتفاع مستوى سطح البحر
النفط، غير التقليدي *126*، 130

P
استراتيجيات التغلب على المشكلات الرعوية 68
التربة الصقيعية. *انظر* الأرض المتجمدة؛ الجليد
الفينولوجيا 62
المنطقتان القطبيتان *113-116*، *141*
التكيف وسرعة التأثر *52*، 115
التغيرات المرصودة 114، *115*
التغيرات المسقطة 114-115، 141
السياسات
آثار تغير المناخ بالنسبة لـ **135-142**
إدارة المياه 130-133، *132*
انظر أيضاً التكيف، سرعة التأثر والتنمية المستدامة
زيادة السكان
في المناطق الساحلية 77، 78
الطلب على الماء و 4، 8، 9
في المناطق المجهدة مائياً 45، 45
الهطول 15-19، 25-27
مساهمة بشرية المنشأ في 16-17
الأحوال المتطرفة 26-27، *28*
أحداث الهطول الغزير 3، 16-17، *18*، 41، *41*
أحداث الهطول الغزير، التكاليف بالنسبة للزراعة 63
أحداث الهطول الغزير، الصحة البشرية و 74-75، 138
المتوسط 25-26
نظم الموسميات 25
التغيرات المرصودة 3، 15-19، *16-18*
التغيرات المسقطة 3، *25-27*، 26-27، 41-42، *41*، 137
التقلبية في 3، 15
انظر أيضاً الأعاصير المدارية؛ الجفاف

التغيرات المسقطة
في المناخ 9، 24-31
ملخص 3-4
في موارد المياه 9-10، 38-50
انظر أيضاً مناطق وقطاعات معينة

R
المراعي 66
انظر أيضاً الأراضي العشبية
إعادة التشجير 4، 62، *126*، 128-129
التأثيرات الإقليمية 81-121، 138، 139
انظر أيضاً مناطق معينة
عائد (غلة) البقايا 130-131، *132*
الأنهار36، 57-58
التأثيرات المسقطة 58، 59-60
تصريف الأنهار 45-46، 59-60
انظر أيضاً الجريان
الجريان
تدابير التخفيف و 126
التغيرات المرصودة 3، 21-22، 35-36، 37
التخطيط لاستخدام 75
التغيرات المسقطة 3، 27، 29-30، 30، 30، 63، 63، 136

S
تملّح
المياه الساحلية 60
المياه الجوفية 3، 43، 75
انظر أيضاً إزالة التملح
مرافق النظافة الصحية. *انظر* الصحة البشرية
السافانا 61
السيناريوهات 9-10، *10*
انظر أيضاً النماذج المناخية
داء البلهارسيا 72-73، 102
ارتفاع مستوى سطح البحر
مساهمات في 20، 28-29
التغيرات المرصودة 20
التغيرات المسقطة وتأثيرات 3، 28-29، 43
جودة الماء و 10، 43
المناطق شبه القاحلة. *انظر* المناطق القاحلة وشبه القاحلة
المستوطنات والبنية الأساسية 77-78، 138
الجزر الصغيرة 115-119، 141
التكيف *52*، 117، 118-120
التغيرات المرصودة والإسقاطات، 115-117، *119*، 141
الإجهاد المائي 141
غطاء ثلجي
تأثيرات تفاعلية على المناخ 23-24
التغيرات المرصودة 3، 19، *19-20*، 35
التغيرات المسقطة 27-28
الجوانب الاجتماعية – الاقتصادية للمياه العذبة 45-47، 78-79
تحات التربة 43، 60
رطوبة التربة
التأثيرات التفاعلية 23
التغيرات المرصودة 21
التغيرات المسقطة *27*، 29
أمريكا الجنوبية *انظر* أمريكا اللاتينية
SRES التقرير الخاص بسيناريوهات الانبعاثات للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ 9، *10*، 24
خطوط الأحداث 9، *10*
التنمية المستدامة 135-142
تأثيرات تغير المناخ في المستقبل تهدد *47*، 141
الأهداف الإنمائية للألفية، قطاع الماء *142*
المجتمعات المحلية الريفية والمنازعات على الماء 70
انظر أيضاً التكيف، سرعة التأثر والتنمية المستدامة

T
الرمال القطرانية *126*، 130
الارتباطات عن بعد 22
درجة الحرارة
التغيرات المرصودة 15
التغيرات المسقطة 24، 31
تطور الكارست الحراري (الترموكارست) 60
السياحة 35، 78-79
النقل 77-79
الأعاصير المدارية، *انظر* المدارية، الأعاصير
مشروع الحد من مخاطر تشو رولبا *94*

U
عدم اليقين 11، *11*
انظر أيضاً ثغرات في المعرفة

V
التقلبية، الأنماط واسعة النطاق لـ 22-23، 31
الأمراض المحمولة بالنواقل 72-73
مواطن الضعف: موارد المياه 3-4، 9، 47، *47*
انظر أيضاً التكيف، سرعة التأثر والتنمية المستدامة؛ الإجهاد المائي

W
النفايات *126*، 130، *132*
إعادة استخدام المياه المستعملة *10*
معالجة المياه المستعملة *9*، *76*
انبعاثات غاز الدفيئة و132-133، *132*
تدابير التخفيف و *126*، 130
جودة المياه و 10
توافر المياه
تدابير التخفيف و *126*
الرصدات 73، *74*
الإسقاطات 44، 74-75

الأمراض المحمولة بالماء 72، 74، 85، 109
كيمياء الماء 36، *37*
الطلب على الماء
للري، المُسقط 4، **10**، **63**، **64**، 138
السكان و 4، 8، 9
التغيرات المسقطة 4، 38-47، 44-45
إدارة المياه 50-53، *51-52*
ممارسات التكيف 53
إدارة التكيف 67-71
في الزراعة 36-37
الافتراضات من الخبرات المناخية 4
تغير المناخ و 4، 43-44، 137
انبعاثات غاز الدفيئة و 125
التأثيرات على مجالات أخرى 4، 43-44، 47
الإدارة المتكاملة لموارد المياه(IWRM) 44، 53، 133
السياسات، الآثار على انبعاثات غاز الدفيئة والتخفيف 130-132، *131*
نهج يستند إلى سيناريو 53
انظر أيضاً التكيف
جودة المياه
التكيف و 75-76
مياه الشرب 45، 71-72، 76
تقلب التدفق 74-75
الملوِّثات الدقيقة 10
تدابير التخفيف *126*
التغيرات المرصودة 9، 36-37
التغيرات المسقطة 3، 10، 43، 70، 74-76
درجة الحرارة و75
موارد المياه
التكيف، نظرة عامة 50-53، *51-52*
إدارة؛ 76، 136
الدوافع المتصلة بالمناخ 24-31، 38-43
المنازعات المحتملة 133
التأثيرات التفاعلية مع المناخ 23-24
المناطق والقطاعات السريعة التأثر إلى حد كبير 47-*47*
أهمية 7
الارتباط بتغير المناخ **33-53**
تدابير التخفيف و(*انظر* التخفيف)
الدوافع غير المناخية 8، 10، 43-44
التأثيرات المرصودة لتغير المناخ 35-38
التأثيرات المسقطة لتغير المناخ 38-49
ملخص 3-4
أوجه عدم اليقين في التأثيرات المُسقطة؛ 49-50
انظر أيضاً مواطن الضعف: موارد المياه: الجوانب الإقليمية؛ *وموارد مياه معينة*
موارد المياه: الجوانب الإقليمية
أفريقيا 84، 85-86
آسيا 90-93
أستراليا ونيوزيلندا 97
أوروبا 99-101
أمريكا اللاتينية 102، 103
أمريكا الشمالية 108-110، *108*
الجزر الصغيرة 117، *117*
تخزين المياه
خلف السدود 10
في الأنهار الجليدية والغطاء الثلجي 3
الإجهاد المائي
أفريقيا *87*، 139
تعريف 8
أوروبا 139
تأثيرات تغير المناخ في المستقبل على 45، *45*
أمريكا اللاتينية 101، 103، *106*، 139
خريطة *9*
في الجزر الصغيرة 141
سرعة التأثر و 8
إمدادات المياه ومرافق النظافة الصحية 73-77
التكيف، سرعة التأثر والتنمية المستدامة 4، 75-77
الرصدات 73، *74*
الإسقاطات 74-75
درجة حرارة الماء
تدابير التخفيف و *126*
التغيرات المرصودة 36-*37*
التغيرات المسقطة *137*
استخدام المياه
التغيرات المرصودة 8-9
التغيرات المسقطة43-44، 66
بخار الماء
التغيرات المرصودة 16، 18-19
التغيرات المسقطة 25-26، 29
إدارة مستجمعات المياه 70-71
الأراضي الرطبة 58-59، 127

توفر تسجيلات الرصد والإسقاطات المناخية أدلة وافية على أن موارد المياه العذبة مهددة ويمكن أن تتأثر تأثراً قوياً بتغيُر المناخ على نحو تترتب عليه عواقب واسعة النطاق بالنسبة للمجتمعات البشرية والنظم الإيكولوجية.

والورقة الفنية التي أعدتها الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ بعنوان " تغير المناخ والماء" تحتوي على تجميع وتقييم للمعلومات الواردة في تقارير التقييم والتقرير الخاص التي أصدرتها الهيئة (IPCC) والمتعلقة بتأثيرات تغير المناخ على العمليات والنظم الهيدرولوجية وعلى موارد المياه العذبة - توافرها وجودتها واستخدامها وإدارتها. وتأخذ في الاعتبار مواطن الضعف الإقليمية الرئيسية الراهنة والمستقبلة والآفاق المرتقبة للتكيُف والعلاقات بين تخفيف آثار تغير المناخ والماء. وتهدف إلى تحقيق أمرين:

- تحسين فهم الصلات بين تغير المناخ الطبيعي والبشري المنشأ وتأثيراته وخياري الاستجابة المتمثلين في التكيف والتخفيف من جهة والقضايا المتصلة بالمياه من الجهة الأخرى؛
- إيصال هذا الفهم المتطور إلى واضعي السياسات وأصحاب المصلحة والشأن.

ويحرص نص الورقة الفنية على أن يتابع بدقة نص تقارير الهيئة (IPCC) الأساسية ولاسيما تقرير التقييم الرابع. وتعبر الورقة عن توازن وموضوعية تلك التقارير وأي اختلافات في النص إن وُجدت سيكون الغرض منها دعم استنتاجات تلك التقارير و/ أو توفير مزيد من الشرح لها. فكل فقرة أساسية في الورقة مصدرها تقرير من تقارير الهيئة.

لقد أنشئت الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) مشاركة بين المنظمة العالمية للأرصاد الجوية (WMO) وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP) لتقديم تقييم دولي ذي حجية للمعلومات العلمية الخاصة بتغير المناخ. والورقة المعنونة " تغير المناخ والماء" هي واحدة من ست ورقات فنية أعدتها الهيئة حتى الآن. وكان إعدادها استجابة لطلب من برنامج المناخ العالمي - الماء ولجنة التوجيه الدولية للحوار بشأن الماء والمناخ.