
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 (Burn و Haerberli، 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 أجلاً (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 الركاب 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 المظمور أيضاً على خطر يزعزع استقرار الركاب 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 نزع 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 (Haerberli و Watson، 2004؛ Mölg وآخرون، 2005). ويبين الشكل 5.10 تأثيرات تراجع نهر ساكالتايا الجليدي على صفحة الأرض المحلية وعلى صناعة التزلج. وينتج عن الاحترار ازدياد ذوبان الأنهار الجليدية في فصلي الربيع والصيف، وخصوصاً في مناطق تلالشي الجليد البري، مع فقدان مماثل في الثلوج في الغطاء الثلجي الفصلي يؤدي إلى زيادة تعرض الأحاديث 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 (Hinzman و Yoshikawa، 2003) وفي سيبيريا (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 [Allard و Beaulieu، 2003]. [WGII 1.3.1.1]، الفصل 15]

3.1.2 الهيدرولوجيا وموارد المياه

3.1.2.1 التغيرات في النظم السطحية ونظم 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 وتشديد المستودعات. كما أن التغير في تدفقات الأنهار من سنة إلى أخرى يتأثر تأثيراً قوياً للغاية في بعض المناطق بأنماط الدوران الكبيرة النطاق في الغلاف الجوي والمرتبطة بظاهرة النينيو/التذبذب الجنوبي (ENSO)، والنمط الحلقي الشمالي (NAO) ونظم 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 بنحوم 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

3.1.2.2 جودة المياه

رصد احترار يتعلق بالمناخ للبحيرات والأنهار خلال العقود الأخيرة. [WGII 1.3.2] ونتيجة لذلك أظهرت النظم الإيكولوجية للمياه العذبة تغييرات في تكوين الأنواع، ووفرة الكائنات العنصرية، وفي الإنتاجية، والتحويلات الفينولوجية والتحويلات 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 مطوّل للأوكسجين في الطبقات الأعمق. [WGII 1.3.2] 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 الممرضة أو المغذيات) في البحيرات والأنهار والمياه الجوفية. [WGII 3.2]

البنية الحرارية للبحيرات

أشارت التقارير إلى ارتفاع درجات حرارة الماء في البحيرات استجابة لزيادة دفاء 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 شُمك 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 و 2.0 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 و 0.7 درجة مئوية منذ أوائل القرن العشرين في درجات حرارة المياه العميقة (التي تعكس اتجاهات طويلة الأجل) في البحيرات الكبيرة في شرق أفريقيا (بحيرات إدوارد وألبيرت وكيفو وفيكيتوريا وتنجانيقا وملاوي). كما أن زيادة درجة حرارة الماء والفصول الأطول الخالية من الجليد تؤثر على تراص الطبقات الحرارية والديناميكا المائية الداخلية للبحيرات. وفي السنوات الأدهأ، تكون درجات حرارة المياه السطحية أعلى، ويزداد فقدان المياه بالتبخّر، ويحدث تراص الطبقات في الصيف في فترة فصلية أبكر وتصبح طبقة تدرج الانحدار العامودي الحرارية الأقصى التيرموكلين، أكثر ضحالة. وفي العديد من البحيرات في أوروبا وأمريكا الشمالية، تقدّمت 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 التيرموكلين، 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 تركيزات 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 تركيزات الكبريتات والكاتيونات الخسيسة والسليكا وازدادت القلوية والموصلية المتصلة بزيادة تفكك

حدوث تغييرات إقليمية حول هذا الاتجاه، بيد أن هذا قول بالاعتراض بسبب تأثيرات الدوافع غير المناخية للجريان والانحياز بسبب العدد الصغير من نقاط البيانات (Legates وآخرون، 2005). وقدم 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 بقلبية 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 اتجاهات متناقصة 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 وينبيغ، كندا، لا تبين الرسوم المائية للآبار الضحلة اتجاهات واضحة، بل أنها تظهر اختلافات تتراوح بين 3 و 4 سنوات ترتبط بتغيرات في درجة الحرارة السنوية والهطول السنوي (George وFerguson، 2003). وبسبب الافتقار إلى البيانات وردّ الفعل البطيء جداً من نظم 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 تكوّن مؤقت للبحيرات بسبب بدء الذوبان، الذي أدى بسرعة إلى التصريف بسبب تدهور التربة الصقيعية (على سبيل المثال، Smith وآخرون، 2005). وقد تضمّنت التقارير تأثيراً مماثلاً فيما يتعلق ببحيرة تكوّنت فوق جرف جليدي في المنطقة المتجمدة الشمالية (أي بحيرة فوق الجرف¹²)، 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]

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

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 تحت 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، وتتجم 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، ونوبان الثلوج، وانهيار السدود، وقلة وسائل النقل بسبب الانسداد الجليدي المتراكم أو الانهيارات 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، مشبعة أو غير مشبعة)، ودرجة الرطوبة، ومعدل وتوقيت نوبان 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

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 النظم الإيكولوجية في جبال الألب الشامخة، تناقصت القلوية بسبب زيادة المدخلات الحمضية العضوية (Karst - Riddoch وآخرون، 2005). وعمل نوبان الأنهار الجليدية على زيادة مدخلات الكلورينات العضوية (التي انتقلت من خلال الغلاف الجوي إلى النهر الجليدي واختزنت 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 الكيميائية 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 - Wogroth وآخرون، 1997؛ Rogora Rogora وآخرون، 2003) ومزيد من توليد القلوية داخل البحيرات والزيادات في تركيزات أيونات الهيدروجين (PH) في بحيرات الماء اليبس (Schmidt و Psenner، 1992). كما أن نقصان القدرة على الإذابة من درجات حرارة أعلى ساهم بدرجة كبيرة في نسبة تتراروح 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 مثيلة الزئبق (معالجة بالكحول المثيلي) ومستويات أعلى من الزئبق في الأسماك (Bodaly وآخرون، 1993) وشهدت بحيرة بايكال في روسيا نقصاناً في محتوى السليكون يتصل بالاحتراق الإقليمي. وتشير البيانات الخاصة بنوعية

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

- الاقتصادية لنوبات الجفاف من التفاعل بين الأحوال الطبيعية والعوامل البشرية مثل التغيرات في استخدام الأراضي، والغطاء الأرضي، والطلب على المياه واستخدامهما. 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 - النتج 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 تحددت 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 تضاول 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) اتجاهًا 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 والأسكا، (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 (المعرفة 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 النينو/التذبذب الجنوبي فوق اليابسة، وماتلاً 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،

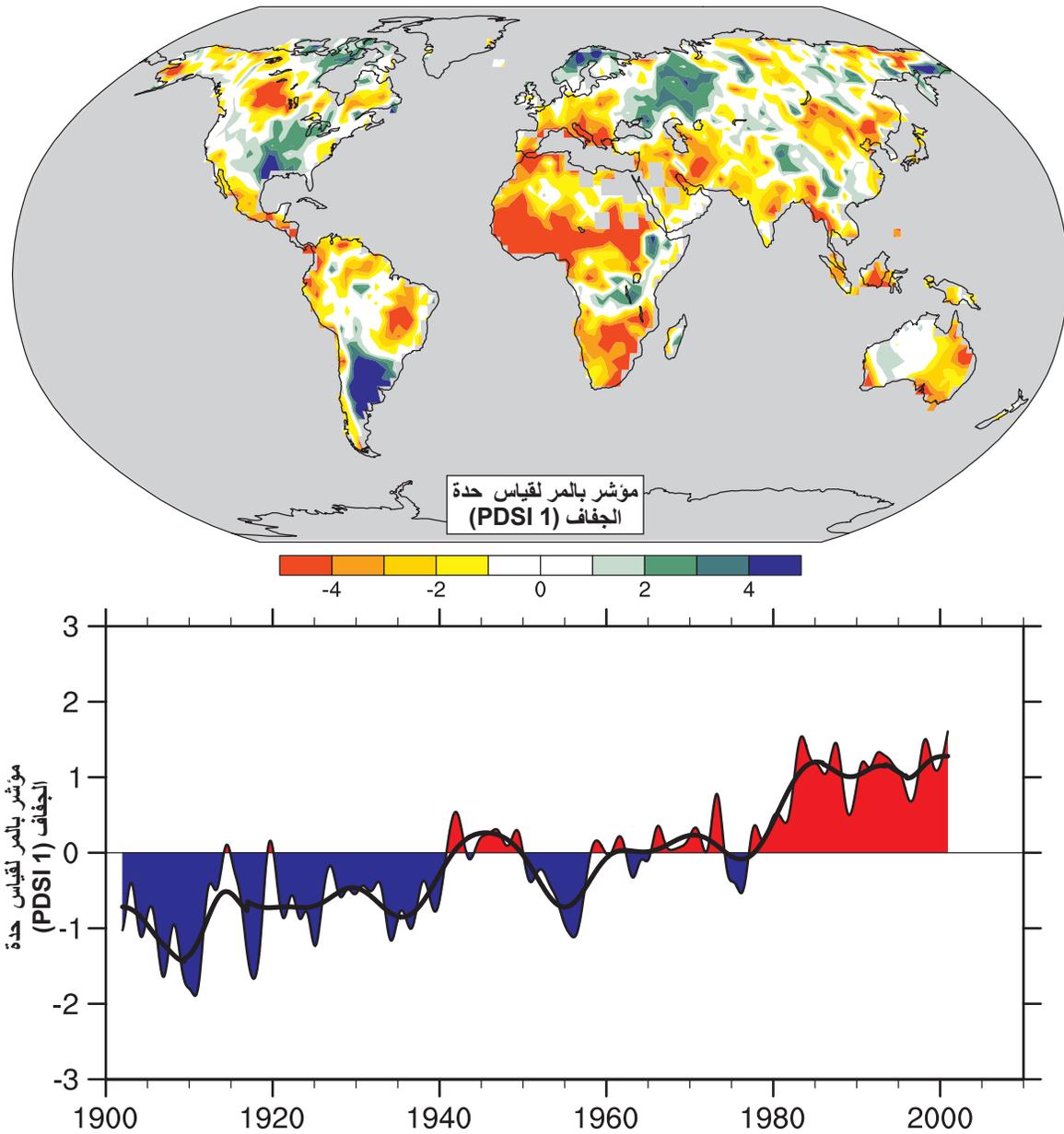
الأضرار التي يمكن إلحاقها. [WGII 3.4.3] كما أن الزيادة المرصودة في شدة هطول المطر وغير ذلك من تغيرات مناخية مرصودة، على سبيل المثال، الزيادة في أنماط الطقس الغربية أثناء الشتاء فوق أوروبا، تؤدي إلى نظم مطيرة جداً بسبب انخفاض الضغط الذي غالباً ما يفجر الفيضانات (Berz و Kron، 2007)، ويشير ذلك إلى أن تغيير 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 قبل 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 و Berz، 2007). أما العوامل المهيمنة المحركة لهذا الاتجاه المساعد فيما يتعلق بالأضرار التي تلحقها الفيضانات فإنها عوامل اجتماعية/اقتصادية مثل النمو الاقتصادي، والزيادات في أعداد السكان، وتركز الثروة في مناطق سريعة التأثير، 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؛ King و Clarke، 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 تتشاهد زيادة في كل مكان في الاتجاهات المدونة في الوثائق فيما يتعلق بتدفقات الأنهار العالية. ورغم أن Milly وآخرون، 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 مستجمعا 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



الشكل 3.1: أهم نمط مكاني (العنصر الأول لتحليل المكونات الأساسية: أعلى الصفحة) في مؤشر بالمر لقياس حدة الجفاف (PDSI) في الفترة 2002-1900، 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 محاسبية هيدرولوجية¹³ وتبين اللوحة السفلى كيف تغيرت علامة وشدة هذا الإطار منذ سنة 1900. فعندما تكون القيم المبيّنة 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 تقريبا مع اتجاه ما يعطل 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.

في كثير من الأحيان. ومع ذلك، قد تعمل زيادة تقليبية 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 تغذى 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: Flörke و Döll، 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 السيناريو هين A2 و B2 للانبعاثات الواردين في التقرير الخاص عن سيناريوهات الانبعاثات¹⁴) أشير في حسابات تغذية المياه الجوفية إلى أنها ستتناقص بحلول خمسينات القرن الحادي والعشرين بما يزيد على 70% في المنطقة الشمالية الشرقية من البرازيل، والجنوب الغربي من أفريقيا، والحاقة 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 تقليبية 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، وسيبيريا، 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 تملح 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 و Ulbrich، 2003، فيما يتعلق بمستجمع المياه في سلاسل الجبال المنخفضة في وسط أوروبا؛ وبروبر وأخرون، 2004 فيما يتعلق بمستودع مائي جوفي طباشيري في بلجيكا). وعلى سبيل المثال، تنقص تغذية المياه الجوفية الطبيعية المسقط في منطقة مستودع المياه الجوفية في أوغالا بما يزيد على 20% في جميع نماذج المحاكاة مع احتراق قدره 2.5 درجة مئوية أو أكثر من ذلك (Rosenberg وأخرون، 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

(2005)، من نوبات جفاف أكثر شدة، ومتعددة السنوات. [WGII 3.2] وصاحب موجة الحر في سنة 2003 في أوروبا، والتي عزيت إلى احترار عالمي (Schär وأخرون، 2004)، حالات نقص في هطول المطر السنوي بلغ مقدارها 300 مم. وساهم هذا الجفاف في الانخفاض المقدر بنسبة 30% في الإنتاج الأولي الإجمالي للنظم الإيكولوجية الأرضية في أوروبا (Ciais وأخرون، 2005). وسجل 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 (Diaz و Beniston، 2004؛ Zebisch وأخرون، 2005). غير أن حالة التطرف في نوبان الأنهار الجليدية في منطقة الألب حالت حتى دون تدني التدفقات في نهري الدانوب والراين (Fink وأخرون، 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 لنظم 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 الأحوال التي تسبب عليها الثلوج وفي المناطق الساحلية. وبالنسبة للأخيرة بسبب تأثير درجة الحرارة على سطح البحر (ارتفاع مستوى سطح البحر التجسيمي بسبب التوسع الحراري للمياه). [WGII 3.3.1]

ويرد في الفرع 2.3 وصف للتغيرات المسقط في هذه المكونات الخاصة بالرصيد المائي. وباختصار، من المقدر 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 يُغذى من المياه السطحية، فإن المتوقع هو أن تؤثر نظم تدفق المياه السطحية على المياه الجوفية. وقد تعمل زيادة تقليبية هطول المطر على

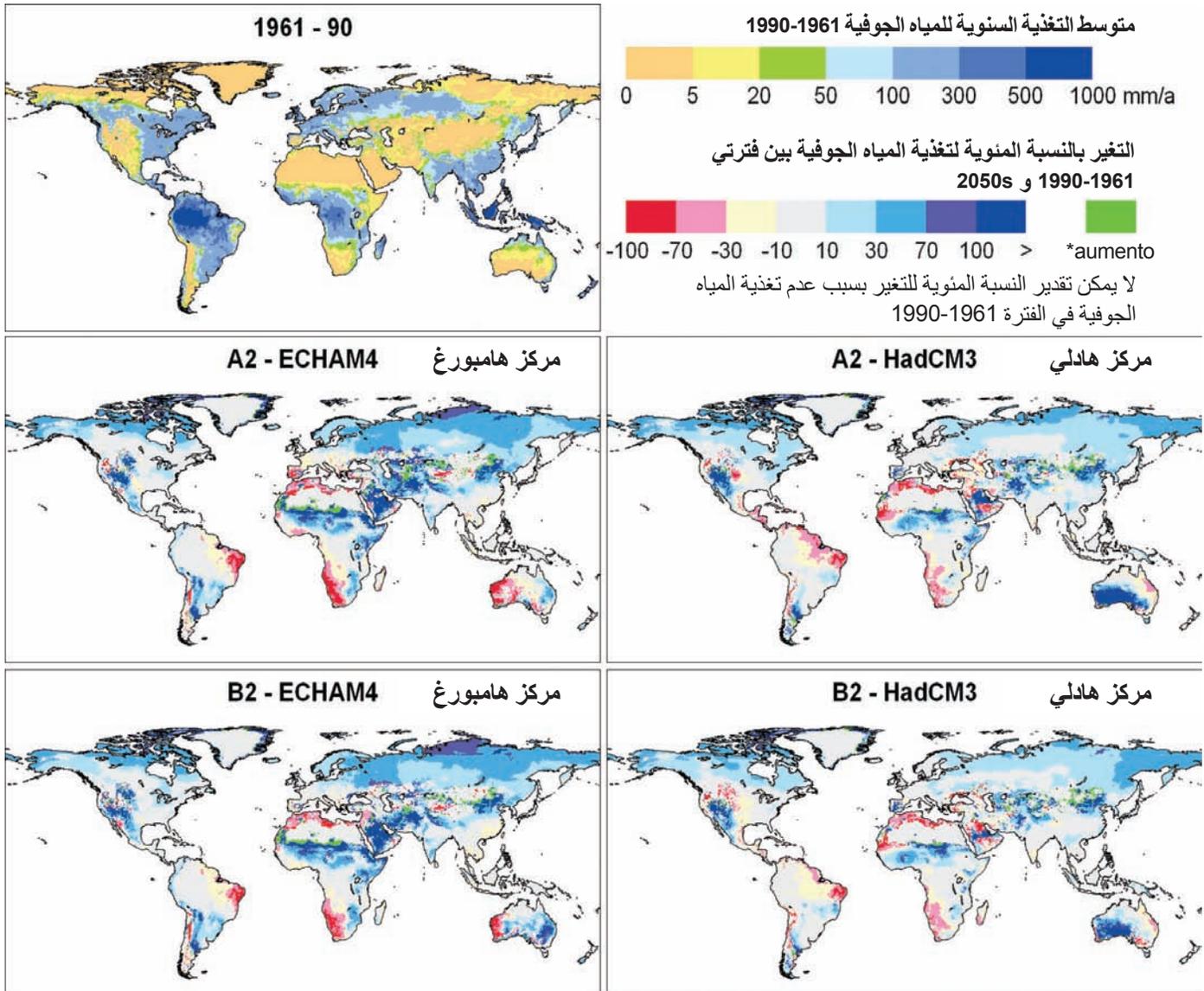
انخفاض تغذية المياه الجوفية في المناطق الرطبة لأن تكرار حدوث ظواهر الهطول الغزير قد يسفر عن تجاوز قدرة التربة على الترشيح

¹⁴ انظر التذييل الأول فيما يتعلق بوصف النماذج.

الشتاء كما أشارت الإسقاطات أيضاً إلى زيادة في نشوء مخاطر فصل موسميات مطير جدا في آسيا (Palmer و Räsänen، 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 للأشهر 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 الدائبة في فيضانات الربيع (Zhang وآخرون، 2005). [WGII 3.4.3]

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

وتضمن تحليل متعدد النماذج أجراه Palmer و Räsänen (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 بخاطر حدوث فيضان في



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 (1990-1961) وخمسينات القرن الحادي والعشرين (2050s (2070-2041)، على النحو المحسوب بالنموذج الهيدرولوجي العالمي (WGII)، مع تطبيق أربعة سيناريوهات مختلفة 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) (Flörke و Döll، 2005). [WGII Figure 3.5]

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. [10 WGI 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 10 أضعاف 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

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 المعمر¹⁵ 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]

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 المسقطنة الرئيسية حسب القطاع
الزراعة والحراجة، والنظم الإيكولوجية (4.4، 4.5)	مرجح جداً	الصناعة، المستوطنات والمجتمع [7.4]
ظواهر هطول غزير؛ يزداد تواترها في معظم المناطق	مرجح جداً	الصحة البشرية [8.2]
أضرار تصيب المحاصيل؛ تحات التربة، عدم القدرة على زراعة الأرض بسبب تشبع التربة بالماء	مرجح جداً	الموارد المائية [3.4]
أضرار تصيب المحاصيل؛ تحات التربة، عدم القدرة على زراعة الأرض بسبب تشبع التربة بالماء	مرجح جداً	الصحة البشرية [8.2]
تدهور الأراضي، غلات/محاصيل أقل؛ أضرار وعجز؛ زيادة نفوق الماشية؛ زيادة الخطر على الحياة البرية	مرجح	الموارد المائية [3.4]
تدهور الأراضي، غلات/محاصيل أقل؛ أضرار وعجز؛ زيادة نفوق الماشية؛ زيادة الخطر على الحياة البرية	مرجح	الصحة البشرية [8.2]
أضرار تصيب المحاصيل؛ خلع (اقتلاع) الأشجار؛ وأضرار تصيب الشعب المرجانية	مرجح	الموارد المائية [3.4]
أضرار تصيب المحاصيل؛ خلع (اقتلاع) الأشجار؛ وأضرار تصيب الشعب المرجانية	مرجح	الصحة البشرية [8.2]

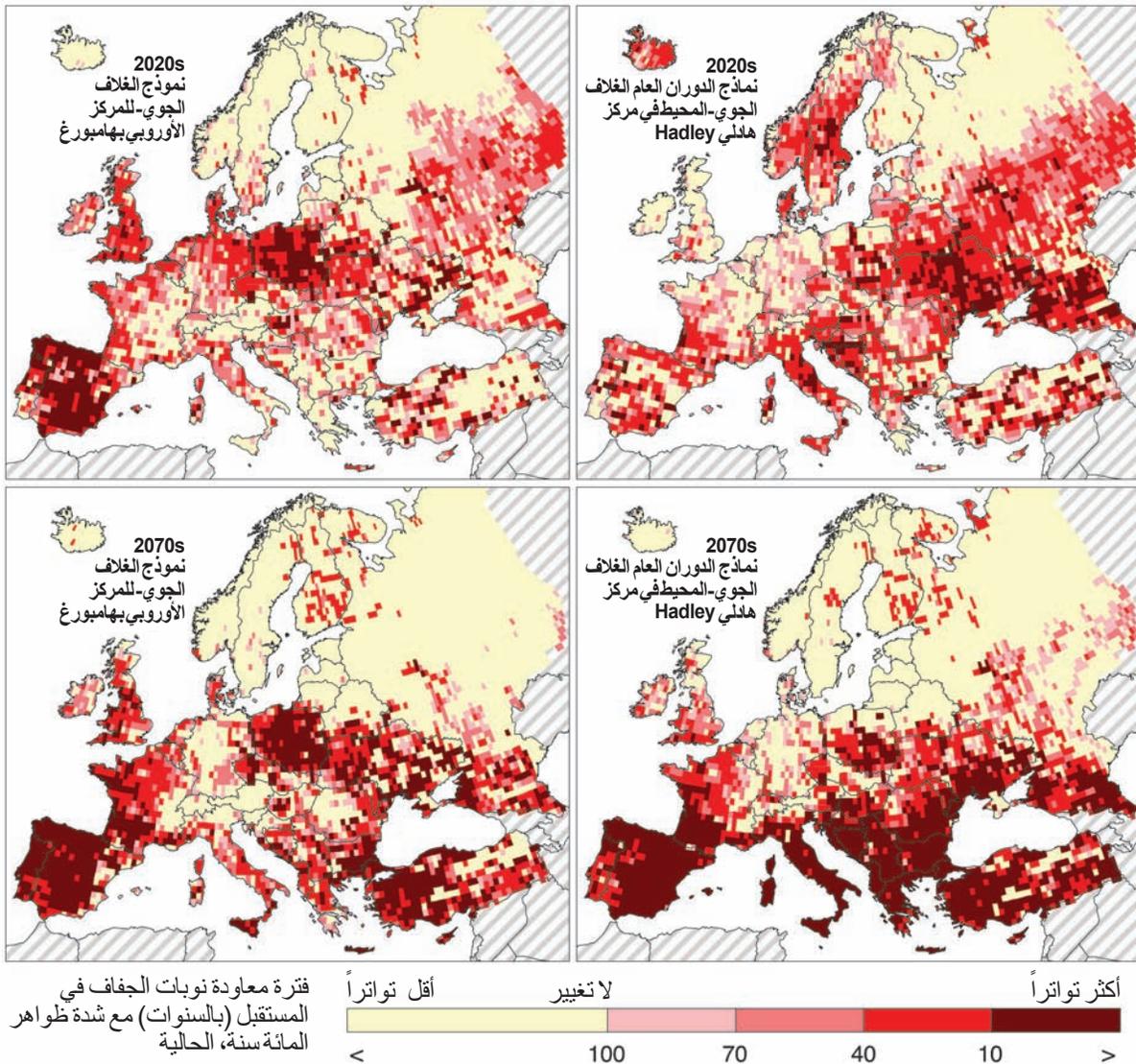
(أ) انظر الجدول 3.7 في التقييم الرابع الذي أجراه الفريق العامل الأول (WGI)، للاطلاع على تفاصيل أخرى بشأن التعاريف.

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

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]

نسبة التبخر)، مما سيؤدي إلى انخفاض رطوبة التربة في الصيف (انظر Douville وآخرون، 2002؛ Christensen وآخرون، 2007) وزيادة نوبات الجفاف المتكررة والشديدة. [WGII 3.4.3]. وكما هو مبين في الشكل 3.3، تشير الإسقاطات إلى أنه بحلول سبعينات هذا القرن، سوف يعود جفاف المائة سنة¹⁶ 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



الشكل 3.3: التغيير 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 3.6 WGII]

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، والكريبون العضوي المذاب، والكائنات الممرضة، 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 النظم الإيكولوجية، وعلى الصحة البشرية، وعلى الموثوقية وتكاليف تشغيل نظم المياه. [WGII 3 ملخص تنفيذي]

ومن المرجح أن يعمل ارتفاع درجات الحرارة على خفض نوعية المياه في البحيرات من خلال زيادة تثبيت الحرارة وتغيير الأنماط المختلطة، مما ينتج عنه انخفاض في تركيزات الأوكسجين وزيادة إطلاق الفوسفور من الترسبات. وعلى سبيل المثال، يمكن لتركيزات 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 التبريد في تكسر الجليد وما ينتج عن ذلك من ارتفاع معدلات الأوكسجين، 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 المعلقة (التعكر بالمواد العالقة) في البحيرات والمستودعات بسبب تحات غرين التربة (Kleidon و Leemans، 2002)، كما يؤدي إلى إدخال ملوثات (Mimikou وآخرون، 2000؛ Neff وآخرون، 2000؛ Bouraoui وآخرون، 2004). ومن المتوقع أن تعمل الزيادة المسقط في كثافة الهطول إلى تدهور في نوعية المياه، نظراً لأنه تنتج عن ذلك زيادة انتقال الكائنات الممرضة وغيرها من الملوثات الذائبة (مثل مبيدات الآفات) في المياه السطحية والمياه الجوفية؛ وزيادة التحات، التي تؤدي بدورها إلى تجمع الملوثات الممتصة مثل الفوسفور والمعادن الثقيلة. إضافة إلى ذلك، سوف يشكل المزيد من سقوط الأمطار الغزيرة المتكررة عبئاً مفرطاً على قدرة نظم صرف المجاري ووحدات معالجة المياه والمياه المستعملة في كثير من الأحيان. [WGII 3.4.4] وسوف تؤدي زيادة حدوث التدفقات المنخفضة إلى الحد من القدرة على تخفيف الملوثات، وبالتالي إلى زيادة تركيزات الملوثات، بما في ذلك الكائنات الممرضة. [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 المرجح أن يعمل تغير المناخ على زيادة تملح المياه الجوفية الضحلة بسبب زيادة عملية التبخر - النتج [WGII 3.4.2]. ونظراً لأن التقديرات المسقط 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 13 و19 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 ومصبات الأنهار. [WGII 11.4]

وربما تكون لارتفاع مستويات سطح البحر في المناطق الساحلية آثار سلبية على صرف مياه العواصف والتخلص من مياه المجاري [WGII 3.4.4] وزيادة إمكانية اقتحام المياه المالحة للمياه الجوفية العذبة في مستجمعات المياه الجوفية الساحلية، مما يؤثر تأثيراً سلباً على موارد المياه الجوفية. [WGII 3.4.2] وفيما يتعلق بجزييرتين صغيرتين مسطحتين من الجزر المرجانية أمام ساحل الهند، وضعت تقديرات حسابية لسك الطريقات الرسوبية الحاوية للمياه العذبة تشير إلى أنها ستخفض 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 تقادم تأثير ارتفاع مستوى سطح البحر. وفي المستودعات المائية الجوفية داخل البلدان، يمكن أن يؤدي أي انخفاض في تغذية المياه الجوفية إلى اقتحام المياه المالحة المتأينة 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 تلج 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 التربة 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 للتكيف. [WGII 3.4.5] وتشير الدراسات القليلة جداً بشأن أثر تغير المناخ على انتقال الترسبات 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، وتشبيد وإدارة المستودعات المائية، والانبعاثات من الملوثات، والمياه، ومعالجة المياه والمياه المستعملة. وتؤثر على استخدام المياه التغيرات في نمو السكان واستهلاك الأغذية، والاقتصاد (بما في ذلك تسعير المياه)، والتكنولوجيا وأساليب الحياة والآراء المجتمعية بشأن قيمة النظم الإيكولوجية للمياه العذبة. وتعتمد سرعة تأثر نظم المياه العذبة بتغير المناخ أيضاً على الإدارة الوطنية والدولية للمياه. ويمكن للإنسان أن يتوقع أن يُحتذى

ويمكن أن تسفر غزارة الهطول المتزايد عن فترات من تزايد التعرُّق 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 و Yates، 2006). [WGII 3.5.1]

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 تأثير نظم 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 المرجح جداً فيما يتعلق بإمدادات المياه، أن تفوق تكاليف تغير المناخ الفوائد المرجوة منه على النطاق العالمي. ومن بين الأسباب هو أن تقلبية الهطول من المرجح 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 تتغذى 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 نواح 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 يولد 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 حسن أيضاً غلات 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 (Kharikina، 2004) ومن المرجح 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]

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 وُضع نموذج لتأثير تغير المناخ على فترات النمو المثلى وعلى استخدام مياه الري المُنتجة لأقصى الغلات، 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 المفسر بنموذجين من نماذج المناخ، أشارت التقديرات المسقطة 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 رهنا بسيناريوهات الانبعاثات ونموذج المناخ (Döll، 2002؛ Döll وآخرون، 2003). وتتضمن نماذج المناخ المختلفة إسقاطات مختلفة للتغيرات على نطاق العالم في صافي احتياجات الري، مع زيادات مقدرة 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 الريح 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 و Tornil، 1999). وأظهرت هذه الدراسة أيضاً أن استخدام مياه الري على نحو يضاعف الريح 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 المرجح 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 يعرف 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 يخرط فيه المستعملون وخبراء التخطيط ووضع 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.

(عندما يُقَسَّر بأن نسبة مسحوبات الماء إلى الموارد المائية). ووضِع نموذج للإجهاد المائي لينخفض بحلول الخمسينيات 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). وتُعتبر زيادة توافر الماء بسبب تزايد هطول المطر هي السبب الأساسي لانخفاض الإجهاد المائي، في حين أن مسحوبات المياه المتزايدة تُعتبر السبب الرئيسي لتزايد الإجهاد المائي. وتبين أن النمو في الاستخدام المنزلي للمياه، الذي يحفز 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

يُعتبر 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، يؤدي 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 للتغيرات المستحقة 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 تغذية 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 المجهدة 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)	(2004)(Arnell)	(2007) (Alcamo وآخرون)
خط الأساس 1995	1,4	1,6
سيناريو الانبعاثات A2	4,4-5,7	6,4-6,9
سيناريو الانبعاثات B2	2,8-4,0	4,9-5,2

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

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 بمعدل 11 لتر/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، 2007؛ Oki وآخرون، 2003؛ Arnell، 2004). ومع ذلك، فإن تغير المناخ هو أحد عوامل كثيرة تؤثر على الإجهاد المائي في المستقبل؛ ويُحتمل أن تؤدي التغيرات الديمغرافية والاجتماعية - الاقتصادية والتكنولوجية أدواراً أهم في معظم الأفاق، وفي معظم الأماكن. وفي الخمسينيات 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 يعانون إجهاداً مائياً بعد الخمسينيات من هذا القرن اعتماداً كبيراً على السيناريو المعتمد 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 Kanoe، 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 المكثسة 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 تُخزن مياه إضافية؛ ولن تُخفف الإجهاد المائي في مناطق أخرى من العالم. وقد تعوّض التغيرات في الأنماط الفصلية وتزايد إمكانية حدوث ظواهر متطرفة آثار زيادة الموارد السنوية المتوافرة من المياه العذبة والتغيرات 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

ونون (Downton، 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 مسقطة بشأن تأثير تغير المناخ من حيث الأضرار التي تلحقها الفيضانات، استناداً إلى تغيرات نمذجة فيما يتعلق بالفواصل الزمنية المتكررة للفيضانات الحالية والتي تبلغ 20 أو 100 سنة. وبالاقتراح 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 (Schneider وآخرون، 2000). [WGII 3.5.2]

ووضع Fisher وChoi (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 للنتيجة، 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 بتعرض 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 التغييرات 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 بالتكيف، بحلول سنة 2100، بالنسبة لما قد يمكن توقعه 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 التكيف مثل الوقاية الشاملة من الفيضانات عن طريق السهول الفيضية. [WGII 3.5.2]

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

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). وبيّنت الدراسات المتعلقة بحوض نهر الباي إسقاطات تشير إلى حدوث زيادة في التبخر - النتج بحلول سنة 2050 (Krysanova وWechsung، 2002)، في حين من المرجح أن ينخفض تدفق الأنهار، وتغذية المياه الجوفية، وغللات المحاصيل، وأن ينتشر تلوث المصدر (Krysanova وآخرون، 2005). [WGII 3.5.1]

ومن المرجح 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 يُعتبر فيها الإجهاد المائي الحالي منخفضاً (على سبيل المثال Changjiang) ومرتفعاً في المناطق التي يكون فيها الإجهاد المائي مرتفعاً (على سبيل المثال نهر هونغ)، (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 أُريد الاستعاضة عن إمدادات المياه العذبة بمياه أُزيلت ملوحتها بسبب تغير المناخ، عندئذٍ 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 الأخضر (المالح نوعاً ما) (ToI وZhou، 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 بانبعثات أقل من غازات الدفيئة. إضافة إلى ذلك، يمكن لتكاليف إزالة الملوحة من الماء الأخضر أن تحسّن اقتصاديات مشاريع من هذا القبيل (انظر الفرع 4.4.4). [WGII 3.5.1]

وسوف تعتمد التعويضات عن أضرار الفيضانات في المستقبل إلى حد كبير على أنماط التسويات، والقرارات الخاصة باستخدام الأراضي، ونوعية التنبؤ بالفيضانات، ونظم الإنذار والاستجابة وقيمة الهياكل وغيرها من الممتلكات الواقعة في أماكن معرضة للمخاطر (Mileti، 1999؛ Pielke

المحيط لمركز هادلي (HadCM2) زيادة صغيرة في إمكانية الطاقة الكهربائية (+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 مؤبطين يمكن أن يُخفّض طاقة توليد الطاقة الكهربائية في نهر سانت لورانس بمقدار 1 إلى 17 في المائة (دراسات بشأن بحيرة أونتاريو - نهر سانت لورانس [WGII 3.5.1]، (LOSLR، 2006).

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 المثلى للمياه من المرجح جداً عدم إمكان تجنب التأثيرات السلبية على التنمية المستدامة. ويبين 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 المستخدمين المتراحمين، 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. وتعتبر 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 المسقطّة لتغير المناخ على نظم المياه العذبة

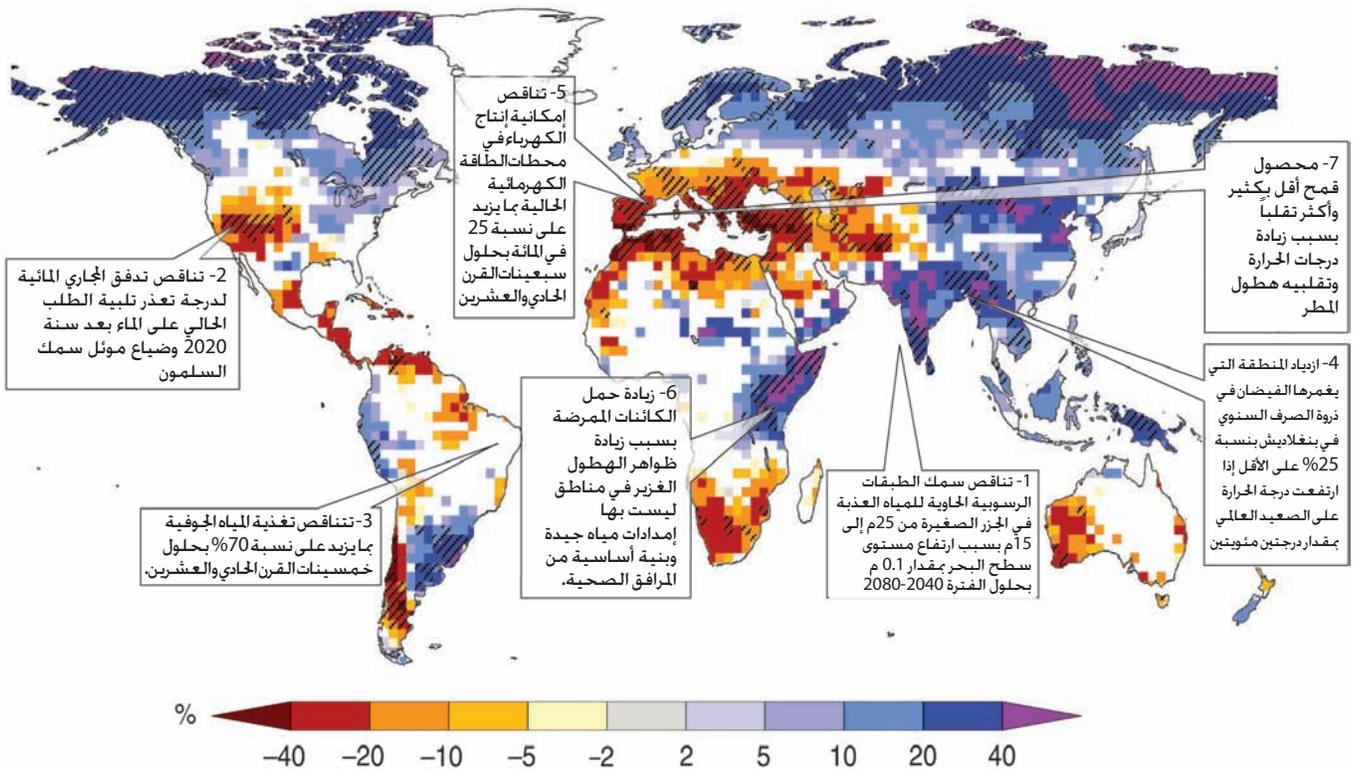
ترجع جوانب عدم اليقين في تأثيرات تغير المناخ على موارد المياه في المقام الأول إلى عدم اليقين من إسهامات هطول المطر، وترجع بشكل أقل إلى جوانب عدم اليقين من انبعاثات غازات الدفيئة (Döll وآخرون، 2003؛ Arnell، 2004)، وعدم اليقين من الحسابات المناخية (Prudhomme وآخرون، 2003)، أو من النماذج الهيدرولوجية ذاتها (Kaspar، 2003). ويتمثل مصدر آخر من مصادر عدم اليقين بشأن التأثيرات المسقطّة لتغير المناخ على نظم 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 تتخذ للتكيف. فالتأثيرات التفاعلية من تدابير التكيف مع تغير المناخ لا تؤخذ بشكل كامل في الاعتبار في إسقاطات المستقبل الحالية، مثل تطاول أمد فصل نمو المحاصيل، والمزيد من التنظيمات بشأن تدفق

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 النتائج المحلي الإجمالي. أما الأضرار السنوية، في عالم سيناريو من النمط A1 فسوف تبلغ 15 بليون جنيه استرليني بحلول الخمسينات من هذا القرن، وبلغ 21 بليون جنيه استرليني بحلول ثمانينات هذا القرن (Evans وآخرون، 2004؛ Hall وآخرون، 2005). [WGII 3.5.2]

وسوف تعطل فترات الفيضان المتزايدة في المستقبل الملاحقة في كثير من الأحيان، وقد تزداد أحوال التدفقات المنخفضة التي تقيد 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 الكهربائية. وقدّرت تأثيرات القوة الكهربائية فيما يتعلق بأوروبا باستخدام نموذج هيدرولوجي كبير النطاق. وتشير النتائج إلى أنه بحلول سبعينات هذا القرن سوف تزداد إمكانية إنتاج الكهرباء من مولدات الطاقة الكهربائية القائمة في نهاية القرن العشرين (مع افتراض سيناريو الانبعاثات IS92a) بنسبة تتراوح بين 15 و30% في اسكندنافيا والمناطق الشمالية من روسيا حيث يُنتج حالياً ما يتراوح بين 19% (فنلندا) ونحو 100% (النرويج) من الكهرباء عن طريق الطاقة الكهربائية (Lehner وآخرون، 2005). وتوجد انخفاضات بنسبة تتراوح بين 20 و50% وما هو أكثر من ذلك في البرتغال وإسبانيا وأوكرانيا وبلغاريا، في حين تنتج حالياً نسبة تتراوح بين 10% (أوكرانيا وبلغاريا) و39% من الكهرباء من الطاقة الكهربائية (Lehner وآخرون، 2005). وفيما يتعلق بأوروبا كلها (مع نسبة طاقة كهربائية تبلغ 20%)، تشير الإسقاطات إلى أن إمكانات الطاقة الكهربائية سوف تتناقص بنسبة تتراوح بين 7 و12% 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 الكهربائية في نياغرا وفي نهر سانت لورانس (Lofgren وآخرون، 2002). وفيما يتعلق بإسقاطات نموذج الدوران العام المتقارن 1 (CGCM1) ومع احترار عالمي قدره درجتين مؤبطين، سوف ينخفض توليد الطاقة الكهربائية 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 -



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: Flörke و Döll (2005)، 4: Mirza وآخرون (2003)، 5: Lehner وآخرون (2005)، 6: Kistemann وآخرون (2007)، 7: Porter و Semenov (2005)، خريطة تتضمن معلومات أساسية، انظر الشكل 2.10: تغير في متوسط المجموعات فيما يتعلق بالجران السنوي (%) بين فترة (1999-1980) الحالية والفترة 2099-2090 فيما يتعلق بسيناريو الانبعاثات AIB الوارد في التقرير الخاص عن سيناريوهات الانبعاثات (SRES) (استناداً إلى Milly وآخرون، 2005). وتشير المناطق ذات اللون الأزرق (الأحمر) إلى الزيادة (النقصان) في الجريان السنوي. [استناداً إلى الشكل 3.8 WGII والشكل 3.5 من التقرير التجميعي]

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 تعتبر متماثلة القدر فيما يتعلق بالأفاق الزمنية الحالية والمستقبلية. ويعتبر هذا على درجة من الأهمية بوجه خاص فيما يتعلق بإسقاطات هطول المطر، حيث تعتبر الفروق بين القيم المرصودة والقيم المحسّبة 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 التهورين 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 الكمي لأثر تغير المناخ على موارد المياه العذبة.

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

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، وتتلوها سيناريوهات الانبعاثات والنمذجة الهيدرولوجية. وتوصل Prudhomme و Davies (2006) إلى نتائج مماثلة فيما يخص متوسط التدفقات الشهرية، وإحصاءات التدفق المنخفضة في بريطانيا العظمى. [WGII 3.3.1]

وتعتبر النهج 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، استخدمت دراسات عديدة بشأن التأثيرات الهيدرولوجية مدخلات مناخية متعددة النماذج (على سبيل المثال Arnell سنة 2004) على النطاق العالمي و Kaspar وآخرون (2004) على نطاق أحواض الأنهار، بيد أن الدراسات التي تشمل على تقييمات احتمالية تعتبر 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

لأنها تشتمل على استهلاك عالٍ للطاقة، على سبيل المثال، من أجل إزالة ملوحة مياه البحر، وضخ المياه.

وكثيراً ما يجري التمييز بين إجراءات التكيّف الذاتي والإجراءات المخطط لها. فإجراءات التكيّف 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 التكيّف 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 التكيّف الذاتي بما في ذلك استخدام إدارة التحويلات عبر الأحواض وتحقيق الاستخدام الأمثل للمياه. [WGII 13.5.1.3] وفي أفريقيا، استحدثت المجتمعات المحلية والمزارعون نظماً للتكيّف من أجل التنبؤ بسقوط الأمطار باستخدام الخبرات المتراكمة. ويستخدم المزارعون في منطقة الساحل أيضاً نظماً تقليدية لتجميع المياه لاستكمال ممارسات الري. [WGII 9.5.1, 9.6.2.1, الجدول 9.2]

أما إجراءات التكيّف المخططة فهي نتيجة قرارات متعدّدة في مجال السياسات وهي تأخذ في الاعتبار بالتحديد تغير المناخ وتقليبه، وقد نُفذت 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 اتُخذت إجراءات التكيّف هذه بوجه عام شكل تعديلات في الوسائل والإجراءات، مثل معايير التصميم. وحساب حصص الانبعاثات فيما يتعلق بتغير المناخ. وعلى سبيل المثال، نُفذت إجراءات التكيّف هذه من أجل التأهب لمواجهة الفيضانات في المملكة المتحدة وهولندا (Klijn وآخرون، 2001؛ Richardson، 2002)، ومن أجل إمدادات المياه في المملكة المتحدة (Delaney و Arnell، 2006)، وبالتخطيط للمياه بوجه عام في بنغلاديش. [WGII 3.6.5, 17.2.2] وتعتبر الأمثلة على الإجراءات 'الملموسة' في قطاع المياه للتكيّف بالتحديد وبشكل منفرد مع تغير المناخ، نادرة جداً. ويرجع هذا إلى حد ما إلى أن تغير المناخ قد يكون فحسب أحد عوامل دافعة كثيرة تؤثر على الإستراتيجيات وخطط الاستثمار (وقد لا يكون هو أهم عنصر في

للمناخ الراهن سوف تظل صحيحة في إطار تغيرات الأحوال في المستقبل. ويمكن أن تسمح تقنيات تقليص النطاقات لوضعي النماذج بإدراج التقليدية اليومية فيما يتعلق بالتغيرات 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 النهج على مقارنة مصادر مختلفة لعدم اليقين مما يؤثر على إسقاطات موارد المياه. [WGII 3.3.1]

ويعوّق الجهود المبذولة لوضع تقييم كمي للتأثيرات الاقتصادية للتغيرات المتصلة بالمناخ على موارد المياه نقص البيانات وواقع أن التقديرات حساسة بدرجة عالية لوسائل التقييم والافتراضات المختلفة المستخدمة 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 التكيّف المتصل بالمياه مع تغير المناخ: نظرة عامة

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

ويلخص الجدول 3.4 بعض خيارات التكيّف 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 تفقر الخيارات المتعلقة بجانب الطلب إلى الفعالية العملية بسبب اعتمادها على الإجراءات التراكمية للأفراد. وربما تكون بعض الخيارات غير متوافقة مع تدابير التخفيف

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

جانب العرض	جانب الطلب
التقييب واستخراج المياه الجوفية	تحقيق تحسّن 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، وخطط 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

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 يُستند إليه (Wilby، 2006)، ومعنى هذا أن قرارات التكيف قد تتخذ 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؛ Li و Simonovic، 2003). ويجري استخدام هذا من الناحية العملية في بلدان مثل المملكة المتحدة (Arnell و Delaney، 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 محدّدة 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 و Harris، 2006). [WGII 3.6.4]

ورثة نهج ثان 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 لنقصي تدابير التكيف 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 تدفق المعلومات. ولا يلزم دائماً توافر نهج متكامل تماماً وإنما بالأحرى سوف يعتمد النطاق المناسب للتكامل على المدى الذي يُسهل به اتخاذ إجراءات فعالة استجابة للاحتياجات المحدّدة (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 يجزبون

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

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

ويعرض الجدول 3.5 بإيجاز بعض تدابير التكيف، 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 تُستخدم تدابير فردية كثيرة في كثير من الأماكن.

وهناك ثقة عالية في أن التكيف يمكنه أن يحد من سرعة التأثير، وخصوصاً في الأجل القصير. [WGII 17.2، 18.1، 16.5، 20.3، 20.8] ومع ذلك، تتصل القدرة على التكيف اتصالاً وثيقاً بالتنمية الاجتماعية والاقتصادية، بيد أنها ليست موزّعة بالتساوي عبر المجتمعات ودخلها. 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 التكيف 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 التكيف 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 التكيف ببساطة مكلفة 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؛ Robin و Crabbe، 2006)؛ وكلها تعمل كمعوقات مؤسسية للتكيف. [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 المعوقات الأساسية فيما يتعلق بالمعلومات الافتقار إلى النفاذ إلى المنهجيات اللازمة لمواجهة تغير المناخ بشكل ثابت وقوي. [WGII 17.4.2.4]

الجدول 3.5: بعض أمثلة التكيف في الممارسة العملية

المنطقة	تدابير التكيف	المصدر
أفريقيا	<ul style="list-style-type: none"> إنتاج تنبؤات فصلية، ونشرها، واستيعابها وإدراجها في نُظم لدعم صناعات القرارات تستند إلى نماذج تعزيز سهولة التكيف مع فترات إجهاد الجفاف مستقبلاً بإجراء تحسينات في نظم 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 تنسجم بالنضوج المبكر ومحاصيل بديلة وأنواع مهجنة 	<p>WGII 9.5، الجدول 9.2</p>
آسيا	<ul style="list-style-type: none"> إدخال تحسين على البنية الأساسية الزراعية بما في ذلك: <ul style="list-style-type: none"> 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) إعادة تدوير وإعادة استعمال المياه المستعملة البلدية، على سبيل المثال، سنغافورة الحد من فقد وتسرب المياه واستخدام نهج سوقية المنحى لخفض التبديد في استخدام المياه 	<p>WGII 10.5، الجدول 10.8</p> <p>WGII 10.5.2</p>
أستراليا ونيوزيلندا	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<p>WG II.2، الجدول 11.2، Box 11.2</p> <p>انظر الجدول 5.2 في هذا المجلد</p>
أوروبا	<ul style="list-style-type: none"> إستراتيجيات معنية بجانب الطلب، مثل صون المياه المنزلية والصناعية والزراعية، وإصلاح مستودعات مياه البلدية ومياه الري المتسربة في مناطق الهضاب، والحوجز الصخرية في المناطق الريفية 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 	<p>WGII 12.5.1</p>
أمريكا اللاتينية	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<p>WGII 13.2.5.3 WGII 13.2.5.1</p>
أمريكا الشمالية	<ul style="list-style-type: none"> تحسين عملية صون المياه وتنفيذ حراثة الصون والحماية استخدام استثمارات في نظم صون المياه، ونظام جديد لإمدادات المياه ومرافق توزيعها تغيير سياسة التأمين الوطني لمواجهة أخطار الفيضانات بالولايات المتحدة وذلك للحد من مخاطر المطالبات المتعلقة بالفيضانات الأسر المعيشية التي لها حالياً مطالبان متصلان 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 مجاري 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 	<p>WGII 14.2.4 WGII 14.5.1</p>
المناطق القطبية	<ul style="list-style-type: none"> 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 تنظيم التدفقات من أجل إنتاج طاقة كهرومائية، وتنفيذ إستراتيجيات لتجميع المياه وأساليب للحصول على مياه الشرب تنفيذ إستراتيجيات لمعالجة ازدياد نقصان مخاطر المياه العذبة (أي تحسينات للحماية من أجل الحد من مخاطر الفيضان أو ازدياد فيضانات من أجل النظم المائية) 	<p>WGII 15.6.2 WGII 15.2.2.2</p>
الجزر الصغيرة	<ul style="list-style-type: none"> وحدات لإزالة ملوحة مياه البحر مستودعات تخزين ضخمة وتحسين عملية تجميع المياه حماية المياه الجوفية، وزيادة تجميع مياه الأمطار والقدرة على التخزين واستخدام التقطير بالطاقة الشمسية، وإدارة مياه العواصف، وتخصيص مناطق لتغذية المياه الجوفية في الجزر 	<p>WGII 16.4.1 Box 16.5</p>

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 تيسر 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 زمنية 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 و Melis، 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 ميد
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 بشأن تسويق المياه من أجل المناطق المائية داخل وخارج الولاية
مستوى البلدية والمجتمعات المحلية	وضع جداول زمنية للمياه ومعالجتها والاستخدام المنزلي للمياه

