اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا (الإسكوا)

تقييم أثر تغيّر المناخ على الموارد المائية وقابلية تأثر القطاعات الاجتماعية والاقتصادية في المنطقة العربية: إطار منهجي لإجراء تقييم متكامل

الأمم المتحدة

Distr.
GENERAL

E/ESCWA/SDPD/2011/1
22 August 2011
ARABIC
ORIGINAL: ENGLISH

اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا (الإسكوا)

تقييم أثر تغيّر المناخ على الموارد المائية وقابلية تأثر القطاعات الاجتماعية والاقتصادية في المنطقة العربية: إطار منهجي لإجراء تقييم متكامل

الأمم المتحدة
نيويورك، 2011

11-0199

المحتويات

المحتويات (تابع)

قائمة الجداول

قائمة الأشكال

المحتويات (تابع)

مقدمـة

تتعرض المنطقة العربية اليوم لتحديات كبرى ذات صلة بالإدارة المستدامة للموارد المائية وبتوفير خدمات المياه للمنازل والزراعة والصناعة. وتغيّر المناخ وتقلبه يمكن أن يزيدا من مخاطر إدارة الموارد المائية وتكاليفها وأن يؤثرا على كميتها ونوعيتها، وأن يؤديا إلى آثار جانبية تزيد من قابلية تأثر القطاعات الاجتماعية والاقتصادية وتقلل من الاستدامة البيئية. ولا بد في هذا الإطار من فهم واضح لهذه المخاطر والآثار يسترشد به في عمليتا وضع السياسات واتخاذ القرارات دعماً للجهود الرامية إلى تحقيق التنمية المستدامة في المنطقة العربية.

وتشير الدراسات إلى أن المناخ بدأ فعلاً بالتغير. ومنذ بداية القرن الواحد والعشرين والعالم قلق من هذه التغيرات ويربطها بتأثير النشاط البشري على مناخ الأرض. ولم يتم التحقق من هذه المخاوف إلا في السبعينات عندما وضعت نماذج إلكترونية قادرة على نمذجة التفاعلات المعقدة التي تؤثر على أنظمة الأرض. وأدى تقدم الأبحاث في الظواهر الطبيعية وتقييمها ورصدها إلى فهم علمي أفضل لتأثير النشاط البشري على المناخ وتقلبه.

وفي نهاية القرن المذكور، أصبح من المؤكد أن حرارة الأرض ارتفعت خلال السنوات المائة والخمسين الأخيرة وأن هذا الارتفاع يغير الأنماط المناخية كثيراً ويؤثر على استدامة النظم البرية والبحرية ونظم المياه العذبة. ولا شك أن فهم أسباب هذه التغيرات هو جزء أساسي من النقاش العلمي والسياسي العالمي، إلا أن التحدي الأكبر الذي يواجه المنطقة العربية هو كيفية تقييمها وتكييفها مع خصائص المنطقة وظروفها.

ولا بد من أن تنطلق هذه الجهود من تحليل عميق وتقييم إقليمي لتأثير تغيّر المناخ على الموارد المائية اليوم وفي المستقبل. ويحتاج هذا التحليل إلى تطبيق منهجية علمية دقيقة تنطلق من المنطقة وتستند إلى مجموعة مشتركة من الافتراضات والسيناريوهات لتفضي إلى بيانات يمكن مقارنتها في ما بين البلدان العربية. فيصبح بالإمكان التوصل إلى فهم مشترك لآثار تغيّر المناخ على الموارد المائية وإلى إطلاق حوار إقليمي ووضع سياسات لمعالجة قابلية تأثر القطاعات الاجتماعية الاقتصادية والتنمية المستدامة في المنطقة العربية.

1- الغاية من التقييم الإقليمي العربي

لم تجر حتى اليوم أي دراسة لتقييم تأثير تغيّر المناخ على الموارد المائية في المنطقة العربية، كوحدة جغرافية سياسية تستخدم فيها النماذج المناخية والهيدرولوجية الإقليمية. ولم يبذل أي جهد لإجراء تقييم متكامل لتأثير تغيّر المناخ على موارد المياه العذبة وقابلية تأثر القطاعات الاجتماعية والاقتصادية في البلدان العربية بناءً على إطار منهجي متكامل. واستندت التقارير التقييمية الأربعة السابقة الصادرة عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيّر المناخ إلى نماذج دوران التيارات العالمية (GCM's). أما تحليلها المتعلق بالبلدان العربية فقسم منه يتناول القارة الآسيوية والقسم الآخر القارة الأفريقية. ونتائج الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيّر المناخ جمعت من أبحاث ومجلات علمية تشير إلى بلدان ومناطق دون إقليمية عربية مختارة. استخلصت هذه النتائج من دراسات أسندت تحليلاتها إما إلى تكبير نماذج ذات استبانة (resolution) قليلة الدقة لدوران التيارات العالمية (GCM) أو إلى دمج نماذج مناخية مختلفة أجريت على المستوى الوطني أو دون الإقليمي باستخدام نماذج وافتراضات مختلفة.

والدراسات دون الإقليمية والوطنية التي تتناول بلدان عربية مختارة لا توفر صورة شاملة عن المنطقة العربية يمكن مقارنتها في ما بين البلدان. ولا يمكن أن تجمع النتائج ببساطة لرسم صورة متكاملة للمنطقة العربية نظراً إلى اختلاف الافتراضات والطرق والنماذج والسيناريوهات والبيانات المستخدمة لتوقع تغيّر المناخ وتحديد الآثار الهيدرولوجية ذات الصلة. وتقوم هذه الدراسات دون الإقليمية والوطنية بتكبير نماذج الدوران العالمية لتناسب المستوى الإقليمي أو الوطني دون تحسين الدقة أو إدخال معايير إضافية تدرج عادةً في النماذج المناخية الإقليمية. ونادراً ما ترتبط نماذج الدوران العالمية والنماذج المناخية الإقليمية بنماذج هيدرولوجية، فلا تؤدي بالتالي سوى إلى نتائج غير دقيقة في ما يتعلق بالآثار المتوقعة لتغيّر المناخ على موارد المياه العذبة. وتنشأ إشكاليات في هذا الإطار ولا سيما أن المنطقة العربية معروفة بندرة المياه وتعتمد اعتماداً كبيراً على موارد المياه السطحية والمياه الجوفية المشتركة. ونتيجة لذلك، فإن الآثار الطفيفة نسبياً على الموارد المائية في البلدان العربية بالمقارنة مع مناطق أخرى من العالم يمكن أن تؤدي إلى نتائج اجتماعية واقتصادية وبيئية وخيمة.

ولإجراء تقييم إقليمي والنظر في خصائص الموارد المائية دور أساسي في تعزيز الحوار المطلع بين الحكومات، وتحديد الأولويات والمواقف في ما يتعلق بتأثير تغيّر المناخ على الموارد المائية. وأحواض الأنهار غير محصورة بحدود سياسية، وغالباً ما تتجاوز موارد المياه السطحية والجوفية الحدودَ الدولية في العالم العربي. ولإعطاء صورة واضحة عن التفاعلات بين النظم المناخية والهيدرولوجية، ينبغي أن يراعي تقييم آثار تغيّر المناخ على موارد المياه في المنطقة العربية مصادر الموارد المائية والأماكن التي تجري فيها دون مراعاة الحدود. ولا يمكن إدراج هذه التفاعلات في تقييم وطني من دون الاستعانة بالمعلومات المتوفرة في نماذج الدوران العالمية أو نماذج المناخ الإقليمية. فالنموذج المناخي الإقليمي (RCM) والنموذج الهيدرولوجي الإقليمي العربيان يشكلان إذاً القاعدة التي يمكن أن ينطلق منها التقييم على مستوى الوطن وعلى مستوى الأحواض، بالاستناد إلى ديناميكيات تؤثر على النظم المناخية والهيدرولوجية الإقليمية. كما يمكن أن تؤدي التقييمات الإقليمية إلى وضع افتراضات وسيناريوهات ومسارات إنمائية مشتركة لضمان الاتساق في كيفية التوصل إلى إسقاطات وتطبيقها لتقييم الآثار على نظم المياه العذبة في المنطقة العربية. أما الإسقاطات التي يتم التوصل إليها، فتؤمن الأساس اللازم لتحديد المناطق الشديدة التأثر، والأولويات الإقليمية من أجل تنسيق التدابير المتخذة للتكيف مع تغيّر المناخ.

2- مصادر المبادرة الإقليمية لتقييم تأثير تغيّر المناخ على الموارد المائية وقابلية تأثر القطاعات الاجتماعية والاقتصادية في المنطقة العربية

دعا الإعلان الوزاري العربي حول التغيّر المناخي الذي اعتمده مجلس الوزراء العرب المسؤولين عن شؤون البيئة في كانون الأول/ديسمبر 2007 إلى تطوير ونشر المنهجيات والأدوات التي تقيم أثر تغيّر المناخ من أجل وضع تدابير تكييفية لا تتناقض إطلاقاً مع أهداف التنمية الاقتصادية والاجتماعية. وللاستجابة إلى هذه الدعوة، اعتمدت اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا (الإسكوا) في دورتها الوزارية الخامسة والعشرين في أيار/مايو 2008 قراراً يطالب بإعداد تقييم لقابلية تأثر التنمية الاقتصادية والاجتماعية في المنطقة بتغيّر المناخ، ولا سيما موارد المياه العذبة. وفي كانون الثاني/يناير 2009، وافقت القمة العربية الاقتصادية والتنموية والاجتماعية على إعداد مشروع لتقييم آثار تغيّر المناخ على الموارد المائية في المنطقة العربية، ودعت إلى وضع استراتيجية حول أمن المياه فيها. وركز الاجتماع القطاعي التاسع لجامعة الدول العربية ومنظمة الأمم المتحدة ومنظماتهما المتخصصة الذي عقد في القاهرة في حزيران/يونيو 2009 على تغيّر المناخ، وأوصى بإعداد تقييم مشترك لقابلية التأثر بتغيّر المناخ وتأثيره على الموارد المائية.

وجرى تحديد إطار منهجي لإجراء التقييم الإقليمي خلال اجتماع فريق الخبراء حول تقييم مدى تأثر الموارد المائية بتغيّر المناخ في المنطقة العربية الذي عقدته الإسكوا في بيروت في تشرين الأول/أكتوبر 2009 بالتعاون مع جامعة الدول العربية والمكتب الإقليمي لغرب آسيا التابع لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة وشركاء آخرين. وتوافق المجتمعون على تحديد أربع ركائز يستند إليها مشروع التقييم المشترك هي:

(أ) الدراسات والاستعراضات المرجعية؛
(ب) تحليل الآثار وتقييم قابلية التأثر؛
(ج) تعزيز الوعي ونشر المعلومات؛
(د) بناء القدرات وتعزيز المؤسسات[1].

ووضعت الإسكوا ملخص مشروع تضمن عناصر الإطار المفهومي الأربعة، وتممته في أوائل العام 2010، إثر مشاورات مع المشاركين في الاجتماع ومجموعة أساسية من الشركاء. وبرعاية الأمانة العامة لجامعة الدول العربية، قدم المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة نسخة بالعربية عن ملخص المشروع إلى المجلس الوزاري العربي للمياه، فوافق عليها في دورته الثانية التي عقدت في القاهرة في تموز/يوليو 2010 باعتبارها وسيلة لدعم الإدارة المتكاملة للموارد المائية في المنطقة وتطبيق إستراتيجية الأمن المائي في المنطقة العربية.

وأعربت الدول العربية الأعضاء ومنظمات الأمم المتحدة وجامعة الدول العربية عن التزامها ودعمها للمشروع خلال اجتماع فريق الخبراء لتقييم قابلية المنطقة العربية للتأثر بتغيّر المناخ بهدف دراسة آثاره على قطاع الموارد المائية الذي عقدته الإسكوا بالتعاون مع جامعة الدول العربية في بيروت في تشرين الثاني/نوفمبر 2010. وحوّل الاجتماع المذكور المشروع إلى مبادرة إقليمية تتألف من مجموعة متنوعة من الأنشطة والعناصر التي تساندها وكالات شريكة عدة. واتفق المجتمعون على اعتماد المعايير التالية لتطبيق المبادرة الإقليمية:

(أ) يُحدّد النطاق الجغرافي للتقييم الإقليمي بتحديد مجال عربي يكون الأساس في تطبيق نموذج واحد أو أكثر من النماذج المناخية الإقليمية؛

(ب) ترتكز النماذج المناخية الإقليمية على تصغير نماذج الدوران العالمية؛

(ج) تكون التوقعات والاستنتاجات المناخية المستخلصة من نموذج مناخي واحد أو أكثر أساساً لوضع سيناريوهات هيدرولوجية؛

(د) تطبّق قابلية التأثر المحدّدة عن طريق عناصر النماذج المناخية الهيدرولوجية على أكثر من قطاع؛

(هـ) تحدّد المناطق الشديدة التأثر بالاستناد إلى خرائط تتضمن مراجع زمنية ومكانية في المنطقة العربية وتطابق الخرائط لإجراء التحليل المكاني لمختلف معايير قابلية التأثر؛

---

(1) ESCWA (2010a).

(و) يشارك أصحاب المصلحة الإقليميون، ومستشارو السياسة العامة، وصانعو القرارات الحكوميون، والمنظمات الشريكة في أنشطة بناء القدرات لمختلف عناصر المشروع؛

(ز) تجرى مشاورات منتظمة مع المنظمات الإقليمية الشريكة لمناقشة الطرق المعتمدة والنتائج الأولية في كل مرحلة من مراحل التقييم[(2)].

وفي تشرين الثاني/نوفمبر 2010، كلفت آلية التنسيق الإقليمي وفريق عملها المعني بتغيّر المناخ الإسكوا بالإشراف على تطبيق المبادرة الإقليمية. وصدقت لجنة الموارد المائية في الإسكوا على المبادرة الإقليمية في دورتها التاسعة التي عقدت في آذار/مارس 2011. وتلقى المجلس الوزاري العربي للمياه في دورته الثالثة في حزيران/يونيو 2011 من المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة معلومات محدثة عن المبادرة الإقليمية ودورها في تقييم أثر تغيّر المناخ على الموارد المائية المتوفرة في المنطقة العربية في إطار متابعة استراتيجية الأمن المائي في المنطقة العربية الموافق عليها.

ونوقش الإطار المنهجي لتطبيق المبادرة الإقليمية وتمت الموافقة عليه في اجتماع فريق الخبراء حول تقييم آثار تغيّر المناخ على الموارد المائية والتنمية الاجتماعية والاقتصادية الذي استضافته الإسكوا وجامعة الدول العربية وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة في بيروت في تموز/يوليو 2011. وأعلن خلال الاجتماع عن التزام الجهات المانحة وجهات أخرى مشتركة بين الوكالات بدعم المبادرة الإقليمية، وعن اهتمام عدد من مؤسسات البحث في المنطقة بها. ونتج عن اجتماع فريق الخبراء عدد من التوصيات في ما يتعلق بموضوعي تقييم الأثر وقابلية التأثر في المشروع:

(أ) ينبغي اختيار النماذج وتحسينها بما يراعي الخصائص الإقليمية كالوديان، والعواصف الرملية، وعواصف الغبار، والصحارى، وتسرب المياه المالحة، وملوحة المياه، وموارد الأرض، وأشجار النخيل، إلخ؛

(ب) لا تتوفر استبانة واضحة في غالبية نماذج الدوران العالمية لتمكنها من النظر في آثار تغيّر المناخ على المستويات الإقليمي أو الوطني أو المحلي؛

(ج) توفر النماذج المناخية الإقليمية مصدراً إضافياً من المعلومات لدعم جهود وضع النماذج على المستوى الوطني، ويمكن الاستعانة بها لتحسين نتائج نماذج الدوران العالمية؛

(د) من الممكن أن توفر النماذج الهيدرولوجية الإقليمية التي تستند إلى نتائج النماذج المناخية الإقليمية المزيد من النتائج التفصيلية حول أثر تغيّر المناخ على الموارد المائية؛

(هـ) تساهم النتائج المستخلصة من نماذج متعددة في تضييق هامش عدم اليقين المرتبط بمخرجات النماذج المناخية والهيدرولوجية بما في ذلك نتائج النماذج المناخية والهيدرولوجية الإقليمية؛

(و) تستند توقعات تغيّر المناخ التي تجرى في إطار المبادرة الإقليمية إلى واحد أو أكثر من مسارات التركيز التمثيلية (RCP's) وهي السيناريوهات التي وضعتها حديثاً الهيئة الحكومية الدولية المعنية

---

(2) ESCWA (2010b).

بتغيّر المناخ واستخدمتها في تقريرها التقييمي الخامس عوضاً عن تلك الواردة في تقريرها الخاص حول سيناريوهات الانبعاثات والتي كانت تنطلق منها التوقعات في تقاريرها التقييمية السابقة.

إن هذه التوصيات وتلك الناتجة عن اجتماعات فريق الخبراء السابقة في إطار المبادرة الإقليمية ساعدت على إعداد هذا الإطار المنهجي لتقييم أثر تغيّر المناخ على الموارد المائية وما يترتب عنه من نتائج على قابلية تأثر القطاعات الاجتماعية والاقتصادية في المنطقة العربية.

وتعمل الإسكوا بوصفها جهة تنسيق المبادرة الإقليمية مع كل من الحكومات العربية، ومنظمات الأمم المتحدة، والأمانة العامة لجامعة الدول العربية ومنظماتها المتخصصة، والمؤسسات الدولية والإقليمية، والجهات المانحة، ومراكز الأبحاث على تنفيذ هذه المبادرة بناء على ركائزها الأربع وبنيتها المتفق عليها. ولدعم عملية التنفيذ المذكورة، تعرض هذه الوثيقة الإطار اللازم لإعداد عنصري تحليل أثر تغيّر المناخ وتقييم قابلية التأثر في المبادرة الإقليمية بناءً على منهجية متكاملة في التقييم. كما تتناول العناصر الأساسية الخمسة لإجراء تقييم متكامل لتأثير تغيّر المناخ على الموارد المائية ونتائجه على قابلية تأثر القطاعات الاجتماعية والاقتصادية في المنطقة العربية.

وتستند منهجية التقييم المتكاملة هذه إلى العناصر التالية المفصلة في الفصول اللاحقة: وضع نماذج الدوران العالمية لتغيّر المناخ، ووضع نماذج مناخية إقليمية، ووضع نماذج هيدرولوجية إقليمية، وتقييم قابلية تأثر القطاعات الاجتماعية والاقتصادية ووضع خرائط متكاملة. وتسترشد هذه العناصر باختصاصات عدة لعرض النتائج الإقليمية وتعزيز الحوار الإقليمي، ودعم المساهمات الإقليمية في المنتديات العالمية، وإنشاء قاعدة معرفية إقليمية، وإعلام البلدان العربية بالقضايا المشتركة في ما يتعلق بدعم تدابير التكيف مع تغيّر المناخ.

أولاً- الإطار المنهجي

ألف- فهم التقييم المتكامل

حددت استراتيجية الأمن المائي في المنطقة العربية التي أُعدت برعاية المجلس الوزاري العربي للمياه تغيّر المناخ بأنه أحد التحديات الأساسية للتنمية المستدامة في المنطقة العربية وأحد المهددات الرئيسية لأمن المياه[3]. فتغيّر المناخ يزيد من حدة المتغيرات الاجتماعية والاقتصادية ذات الصلة بالمياه في المنطقة العربية، وهي متغيرات متأثرة أصلاً بأنماط الإنتاج والاستهلاك غير المستدامة. فمعدلات نمو السكان المرتفعة، وزيادة النشاط الاجتماعي والاقتصادي في المناطق الحضرية، والاستخدام المفرط للمياه في الزراعة، وتردي نوعية المياه بسبب التلوث والملوحة، كلها عوامل تضغط على الموارد المائية الشحيحة. والاعتماد على الموارد المائية المشتركة ولا سيما تلك التي تنبع من خارج المنطقة العربية يعقّد القرارات الإدارية وعملية إيجاد حلول لتغيّر المناخ.

إن قضايا تغيّر المناخ وإدارة الموارد المائية والأمن الغذائي تتطلب إعداد تقييم متكامل لتأثير تغيّر المناخ على الموارد المائية في المنطقة العربية. ولا يهدف التقييم إلى تحديد هذه الآثار على موارد المياه العذبة وحسب، إنما يهدف أيضاً إلى تحديد نتائج هذه الآثار الأولية والثانوية على قابلية تأثر القطاعات الاجتماعية والاقتصادية وعلى التنمية المستدامة. لذا، لا بد من إجراء هذا التقييم مع استخدام الإسقاطات التي توصلت إليها نماذج تقييم أثر تغيّر المناخ والأثر الهيدرولوجي تمهيداً لتقييم قابلية تأثر القطاعات الاجتماعية والاقتصادية وتحديد المناطق الشديدة التأثر.

والتقييم المتكامل يواجهه تحد مزدوج: متابعة التحليل العلمي وإرشاد عملية وضع السياسات. وهو يعتمد على آليات تغيّر المناخ والعمليات الهيدرولوجية، ويشرح ارتباطاتها بالمجتمع والاقتصاد ويحدد المخاطر والسياسات الممكنة لتخفيف حدتها. ولطالما ظهر هذا التحدي المزدوج في اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغيّر المناخ وإستراتيجية الأمن المائي في المنطقة العربية اللتين تهدفان إلى تقييم تأثير تغيّر المناخ على الموارد المائية ومعالجته من أجل دفع عجلة التنمية المستدامة. فمنهجية التقييم المتكاملة تهدف إذاً إلى إنشاء رابط بين كل من:

- **العلم** - ودوره فهم آليات تغيّر المناخ (العلوم الطبيعية)، والعمليات الهيدرولوجية (العلوم الطبيعية والتطبيقية)، والروابط الاجتماعية الاقتصادية (العلوم الاجتماعية) وتحديد طبيعة المخاطر والسياسات التي يمكن اعتمادها (العلوم التطبيقية والاجتماعية)؛
- **وضع السياسات** – ودوره اتخاذ قرار بشأن مستوى المخاطر المقبول، بهدف تحديد المخاطر التي تشكل خطراً ولا بد من تجنبها، والاتفاق على مسار العمل الواجب اتخاذه[4].

يتزامن هذا النهج مع ارتفاع الطلب على التنسيق بين علم وضع النماذج المناخية من جهة، ونتائج السياسة المتعلقة بآثار تغيّر المناخ على المجتمعات والاقتصادات والنظم الإيكولوجية من جهة أخرى. يظهر ذلك في تأليف لجنة استشارية لنمذجة التقييم المتكامل برعاية الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيّر المناخ في

---

(3) LAS (2010).

(4) Schneider (2006), p. 609.

تشرين الثاني/نوفمبر 2006[5]. وكانت الهيئة قد ركزت في دراستها الفنية حول تغيّر المناخ والماء على الحاجة إلى ملء الفجوات المعرفية في هذا المجال بالمراقبة والبحث. وتوصل الخبراء إلى استنتاجات مشابهة، وكانوا أعربوا عن قلقهم من أن التقييمات والممارسات الحالية في مجال إدارة المياه قد لا تعالج آثار تغيّر المناخ على المياه. فالنماذج القديمة قامت على فرضية "الجمود الهيدرولوجي"[6] أي أن المعايير الإحصائية للمتغيرات الهيدرولوجية لا تتغير مع مرور الزمن. غير أن الملاحظة والتحليل التجريبي يدعوان إلى إعادة النظر في هذا الافتراض. وينبغي إعادة النظر في نماذج تقييم إدارة المياه من خلال نهج متعدد الاختصاصات وديناميكي ومتكامل لتوجيه عمليات صنع القرارات.

ويأخذ نهج التقييم المتكامل في الاعتبار مجموع التفاعلات بين تغيّر المناخ والموارد المائية لتوضيح كيفية تغير كل من نوعية السياسة العامة، وصنع القرارات، واستجابات النظام المناخي، وقدرات توقعات النماذج وفقاً للمقياس الزمني[7]. لذا، تجمع التقييمات المتكاملة بين منهجيات النمذجة الرياضية الشكلية والنهج التجريبية ضمن إطار يراعي السياسة العامة. ويمكن إدراج النماذج الرياضية كبرامج في الحواسيب لمحاكاة الحركة الديناميكية لنظم مناخ الأرض المعقدة. إلا أن هذه النماذج لا تستطيع بالضرورة التقاط التعقيدات والتفاصيل الدقيقة والغموض في التفاعلات الديناميكية بين المناخ والطبيعة والمجتمع[8]. وتكتمل هذه النماذج بالنهج والصيغ التجريبية التي تأخذ في الاعتبار أيضاً تأثير النظم الاجتماعية والاقتصادية. ويمكن اللجوء إلى التقييم المتكامل لإعلام عمليات صنع السياسات المبنية على أدلة في المنطقة العربية ولا سيما أنه يدمج النماذج الرياضية بالنهج التجريبية التي تراعي الخصائص الإقليمية للمياه والمناخ، والتأثير الأولي والثانوي المحتمل لتغيّر المناخ على الموارد المائية وقابلية التأثر على الصعد الاجتماعية والاقتصادية.

ويمكن التوصل إلى هذا التكامل بين مختلف فروع المعرفة من خلال دمج نماذج تقييم الأثر وأدوات تقييم قابلية التأثر في منهجية تقييمية متكاملة. وتطبق منهجيات تقييم الأثر للتوصل إلى نتائج حول تأثير مجموعة محددة من الضغوطات الطبيعية أو الخارجية على النظام. وفي حالة النمذجة المناخية، يستخدم أحد السيناريوهات أو الاختلالات في انبعاثات غاز الاحتباس الحراري ضمن مسار تركيز تمثيلي كأساس لتقييم تأثير مجموعة من التغيرات الجوية المختلفة على الدورة المناخية على المستويين العالمي والإقليمي. ويقابل التوقع الذي يتم التوصل إليه بنموذج هيدرولوجي إقليمي يمكن أن يوفر مزيداً من التفاصيل المحددة عن تأثير دورة المناخ على الدورة المائية في زمان ومكان معينين بالاستناد إلى السيناريو نفسه. ويمكن بالتالي أن يستخدم التقييم المتكامل نتائج تقييم الأثر لفهم قابلية التأثر بالاستناد إلى التوقع نفسه.

ويدمج تقييم قابلية تأثر القطاعات الاجتماعية والاقتصادية البعد البشري في التقييم المتكامل. وفي حين تختلف أنواع تقييم قابلية التأثر، صمم عنصر تقييم قابلية تأثر القطاعات الاجتماعية والاقتصادية في المبادرة الإقليمية لمعالجة نتائج تغيّر المناخ على الجوانب الاجتماعية والاقتصادية والبيئية للتنمية المستدامة. فتقييم قابلية التأثر يستند إذاً إلى النتائج التي توصل إليها تحليل الأثر المناخي والهيدرولوجي لتوفير المعلومات اللازمة للرد على الأسئلة التي تركز على السياسة العامة كتلك المتعلقة بأمن المياه، وأمن الغذاء، والفقر، والصحة، والعمل، والتنوع البيولوجي. ويمكن أن تكون بعض التقييمات المتكاملة من النوع الذي يعتمد على

(5) IPCC (2008).

(6) Bates et al. (2008).

(7) IPCC (2008).

(8) Yarnal (1998), p. 66.

التكرار ويسمح بإدراج بعض الضغوط الخارجية كالتغيرات في السلوك البشري مثلاً في التحليل، مما يؤيد إنشاء نظام لدعم اتخاذ القرارات.

وللتوصل إلى هذه النتائج، تقدَّم نواتج النماذج التي وضعها علماء المناخ والهيدرولوجيا والجيولوجيا المائية والرياضيات ومبرمجو الحواسيب إلى علماء الاقتصاد والمهندسين الزراعيين وعلماء الاجتماع والعاملين في القطاع الصحي والأخصائيين في النوع الاجتماعي وفي البيئة وغيرهم من أصحاب المصلحة في الحكومة والمجتمع المدني لتحديد الآثار الاجتماعية والاقتصادية وتقييم قابلية التأثر. أما الهدف من هذه العملية المتعددة الاختصاصات فتحديد المناطق الشديدة التأثر، والتكاليف، والفوائد، والمخاطر، والمسائل الأخرى ذات الاهتمام المشترك. ومن ثم تستخدم هذه النتائج في وضع السياسات وتحديد الأولويات وصنع القرارات للتكيف مع تغيّر المناخ.

فوائد التقييم المتكامل

- تشارك فيه مجموعة من أصحاب المصلحة من مختلف القطاعات ابتداءً من الحكومة وحتى المجتمع المدني؛
- يدمج المنهجيات العلمية والتقاليد والمعايير في تحليل متعدد التخصصات لسد الهوة بين العلم وصنع السياسات؛
- يربط تقييم الأثر بتقييم قابلية التأثر؛
- يجري تحاليل وتقييمات بعدة مقاييس جغرافية وزمنية ذات صلة؛
- يتوقف عند الخصائص الإقليمية ويراعيها؛
- يأخذ في الاعتبار عدم اليقين العلمي ويسعى إلى تقليله عبر المنهجيات الموضوعية.

باء- لمحة عامة عن المنهجية

تركز هذه الوثيقة على إعداد تقييم متكامل لقابلية تأثر القطاعات الاجتماعية والاقتصادية بنتائج تغيّر المناخ على الموارد المائية في المنطقة العربية. وتسعى إلى تحقيق الأهداف التالية:

(أ) وضع إطار مفهومي منهجي لتنظيم المعرفة الحالية بنماذج دوران التيارات العالمية والنماذج المناخية الإقليمية المتعلقة بالمنطقة العربية؛

(ب) عرض الروابط بين وضع النماذج المناخية ووضع النماذج الهيدرولوجية لتحديد الآثار المحتملة لتغيّر المناخ على موارد المياه العذبة في المنطقة وعرض نتائجها على استدامة الموارد المائية على مستوى الإقليم ومستوى الأحواض؛

(ج) استعراض واقتراح طرق لتحديد قابلية تأثر القطاعات الاجتماعية والاقتصادية في المنطقة العربية بآثار تغيّر المناخ على الموارد المائية، لتصنيف أهمية وتأثير مختلف المتغيّرات المناخية والهيدرولوجية على قابلية تأثر القطاعات الاجتماعية والاقتصادية وعلى التنمية المستدامة بطريقة تطبق بشكل متسق في المنطقة العربية؛

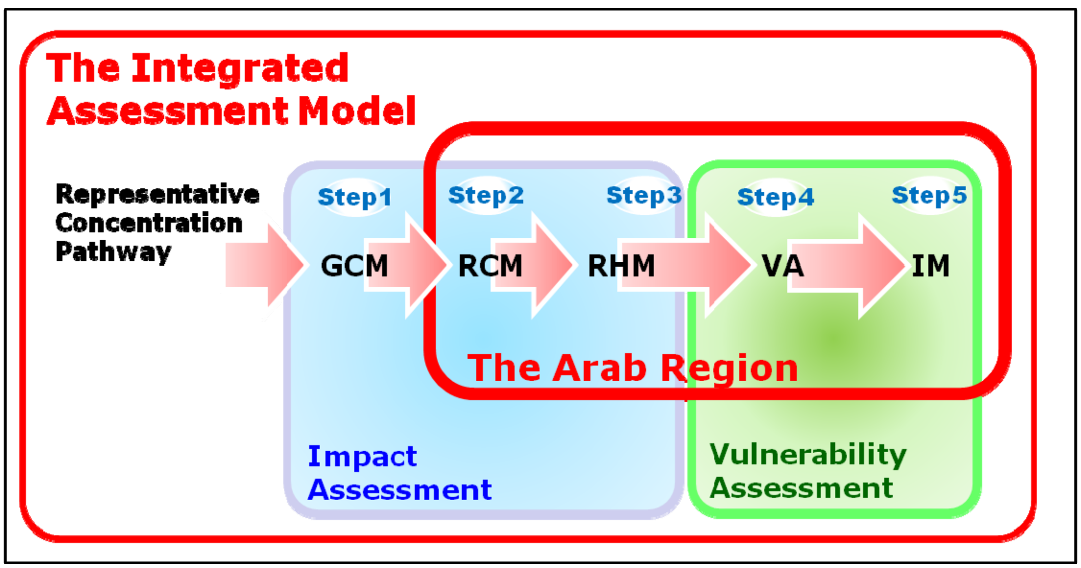
(د) اقتراح طرق وآليات ونظم معلومات وأدوات لرسم خرائط متكاملة للمساهمة في إنشاء نظم لدعم اتخاذ القرار لمساعدة البلدان العربية على المشاركة في عمليات التكيف على المستويين الإقليمي والوطني.

تندرج هذه الأهداف في منهجية من خمس مراحل تهدف إلى تطبيق التقييم المتكامل. يدمج النهج نماذج تقييم الأثر (المراحل 1-3) بتقييم قابلية التأثر (المرحلة 4) وأدوات رسم الخرائط المتكاملة (المرحلة 5) لتسهيل فهم ورعاية حوار السياسة العامة بشأن آثار تغيّر المناخ المتوقعة على الموارد المائية وقابلية تأثر القطاعات الاجتماعية والاقتصادية في المنطقة العربية.

تبدأ المنهجية بتحديد مسارات التركيز التمثيلية المقبولة دولياً التي ستستخدم كأساس تستند إليه نمذجة المناخ العالمي من خلال نماذج دوران التيارات العالمية. ومن ثم يدرج واحد أو أكثر من النماذج المناخية الإقليمية في واحد أو أكثر من نماذج دوران التيارات العالمية لتحديد كيفية تأثير النظام المناخي العالمي على المناخ في المنطقة العربية استناداً إلى مسار التركيز التمثيلي المستخدم. ثم تستخدم نتائج النماذج المناخية الإقليمية لإبراز كيفية تأثير تغيّر المناخ العالمي والإقليمي على النظام الهيدرولوجي في المنطقة من خلال نموذج هيدرولوجي إقليمي. ويمكن تكرار العملية نفسها لنموذج مناخي إقليمي آخر يؤدي إلى سيناريو آخر لتقييم الأثر. يمكن بعدئذٍ استخدام إسقاطات المناخ وتحليل تأثير تغيّر المناخ على الموارد المائية في المنطقة العربية لإجراء تقييم لقابلية التأثر. وتستخدم في عملية التقييم أدوات رسم الخرائط المتكاملة التي تنقل نتائج تغيّر المناخ المحتملة على الموارد المائية وقابلية تأثر القطاعات الاجتماعية والاقتصادية بشكل عروض بصرية. ومن المتوقع أن تحسن هذه النتائج والأدوات عملية صنع القرارات المتعلقة بالتكيف مع تغيّر المناخ وأن تدعم التقدم نحو تحقيق التنمية المستدامة.

وفي الشكل 1 استعراض تفصيلي لهذه الخطوات الخمس من التحليل. وهي مذكورة بإسهاب في الفصول اللاحقة من هذه الوثيقة.

الشكل 1- منهجية التقييم المتكامل



الخطوة 1: وضع نماذج للمناخ العالمي

تستخدم نماذج الدوران العالمية في تقييم تغيّر المناخ. ويتطلب ذلك:

- ☑ استعراض الاتجاهات المناخية العالمية بالاستناد إلى البيانات المرصودة؛
- ☑ استعراض نماذج الدوران العالمية المتوفرة واختيار نموذجين أو أكثر منها لوضع أسس نماذج محاكاة المناخ في المنطقة؛
- ☑ اختيار مسار تركيز تمثيلي واحد على الأقل لتحديد فرضيات عمليات محاكاة نماذج الدوران العالمية ونطاقها. يمكن أن يكون المسار المختار من ضمن مسارات التركيز التمثيلية المستخدمة في الإعداد للتقرير التقييمي الخامس للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيّر المناخ؛
- ☑ معرفة أي من نماذج الدوران العالمية أدى إلى نتائج لأي من مسارات التركيز التمثيلية، نظراً إلى إدراجها حديثاً في العملية؛
- ☑ توضيح التفاعل بين نماذج الدوران العالمية والنماذج المناخية الإقليمية التي يجرى النظر فيها؛
- ☑ إدراك حالات عدم اليقين والأحداث غير المتوقعة على الصعيد العالمي لتقدير تأثيراتها على الصعيد الإقليمي؛
- ☑ التأكد من أن العمل الحالي يتناسب مع الاتجاهات والتطورات المستقبيلة في نمذجة المناخ وجمع البيانات.

وفي ما يلي النواتج المتوقعة من المرحلة 1:

- تحديد اتجاهات تغيّر المناخ العالمي بالاستناد إلى مجموعة محددة من المعايير المتعلقة بكل مسار تركيز تمثيلي في مراحل زمنية محددة يمكن أن تساهم في وضع الافتراضات الأساسية لنماذج المناخ الإقليمية؛
- التحقق من نماذج الدوران العالمية لتوفير مدخلات لنماذج المناخ الإقليمية واختيار واحد أو أكثر من مسارات التركيز التمثيلية؛
- تعميم النتائج الأولية على مجموعة واسعة من المعايير باستبانة تغطي خانة الشبكة الأفقية ذات المقاييس 200 كم x200 كم إلى 300 كم x300 كم.

الخطوة 2: وضع نماذج مناخية إقليمية

سيدرج نموذج المناخ الإقليمي في نموذج أو أكثر من نماذج الدوران العالمية لوضع نماذج مناخية على قياس المنطقة العربية. ويتطلب ذلك:

- ☑ الإجماع على نوع المعلومات المطلوبة من عملية وضع النماذج المناخية الإقليمية، بما في ذلك النطاق والاستبانة والفترات الزمنية المطلوبة؛
- ☑ تحديد المجال العربي بالاستناد إلى تحليل حساسية تأثر النتائج؛

- ☑ اختيار نموذج أو أكثر من النماذج المناخية الإقليمية لتطبيقه ضمن حدود المجال العربي الذي يمكن أن يستفيد من المعلومات التي أدى إليها نموذج أو أكثر من نماذج الدوران العالمية في ما يتعلق بالمناطق الواقعة خارج المجال العربي؛
- ☑ تحديد المراحل الزمنية والاستبانة التي ستستخدم لاستنتاج معلومات من الإسقاطات؛
- ☑ تصغير النطاق من النماذج المناخية العالمية إلى النماذج المناخية الإقليمية؛
- ☑ أخذ حالات عدم اليقين والأحداث غير المتوقعة على المستوى الإقليمي في عين الاعتبار في إطار الخصائص الإقليمية؛
- ☑ تنسيق البيانات وتحليلها في إطار إقليمي بما يشمل ذلك تقديم المساعدة الفنية لإنشاء قواعد بيانات مناخية متجانسة طويلة الأمد تحدّث يومياً، وجمع البيانات وتخزينها. وينبغي التنبه إلى تخزين البيانات بشكل موثوق، وإلى جعلها متاحة بسهولة وبدون مقابل.

وفي ما يلي النواتج المتوقعة من المرحلة 2:

- تحديد اتجاهات تغيّر المناخ الإقليمي وآثاره بالاستناد إلى مجموعة محددة من المعايير الناتجة عن مسار تركيز تمثيلي محدد في مراحل زمنية محددة، والتوصل إلى تفاعلات في الآثار الإقليمية المحددة حديثاً تكون أكثر تعقداً من تلك المستخلصة من نواتج نماذج الدوران العالمية؛
- توحيد البيانات الجغرافية المكانية لآثار المناخ المتوقعة في المنطقة العربية، المستخلصة من نموذج مناخي إقليمي واحد أو أكثر بالاستناد إلى معايير ومراحل زمنية محددة، تنتج عن مسارات التركيز التمثيلية المختارة وتؤدي إلى نواتج ذات استبانة أوضح، تستند إلى شبكة أفقية في خانة بمقاييس 50 كلم x 50 كلم إلى 25 كلم x 25 كلم؛
- تحديد وتقييم الحاجة إلى بيانات، ومصادر البيانات وتوفرها وفجواتها للتحقق من النموذج المناخي وتكييف النموذج الهيدرولوجي لتحسين النتائج على المستوى الإقليمي.

الخطوة 3: وضع نماذج هيدرولوجية إقليمية

تستفيد النماذج الهيدرولوجية الإقليمية من قاعدات البيانات العالمية والإقليمية للتوصل إلى مجموعة من عمليات محاكاة الأثر الهيدرولوجي الإقليمي لنظم المياه السطحية والجوفية في الإسقاطات المناخية المختلفة. ويتطلب ذلك:

- ☑ تحديد المعايير والمستلزمات لمتابعة وضع النماذج الهيدرولوجية الإقليمية في المنطقة العربية بناءً على الخصائص الإقليمية والمحلية؛
- ☑ تحديد المعايير الهيدرولوجية لتضمينها بالنموذج الرقمي؛
- ☑ اختيار النماذج الهيدرولوجية الإقليمية التي ينبغي استخدامها للتوصل إلى مجموعة من النواتج الهيدرولوجية بناءً على إسقاط أدى إليه نموذج مناخي إقليمي واحد خاص بمسار تركيز تمثيلي محدد، يمكن تكراره لاحقاً في إسقاطات نماذج مناخية إقليمية أخرى ومسارات تركيز تمثيلية أخرى. ويتضمن ذلك توضيح الواجهة البينية بين النماذج المناخية الإقليمية والنماذج الهيدرولوجية الإقليمية المختارة وتحديدها، وضمان أن تكون مجموعة النماذج الهيدرولوجية الإقليمية المختارة متناسقة بهدف المساهمة في إجراء التحاليل واستخلاص النتائج؛

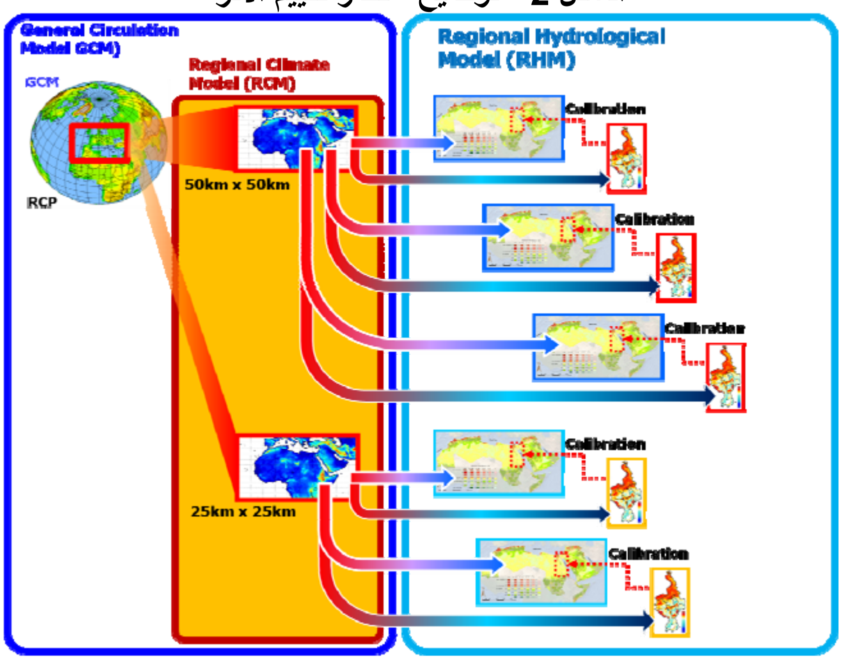
☑ اختيار وتطبيق واحد أو أكثر من النماذج الهيدرولوجية الخاص بالأحواض في أحواض الاختبار لتكييف النماذج الهيدرولوجية الإقليمية ومعالجة حالات يمكن أن تتطلب تحليلاً أكثر تفصيلاً للظواهر الخاصة كالجفاف أو الفيضانات. ويتطلب ذلك تحديد الواجهة البينية بين النموذج المناخي الإقليمي والنموذج الهيدرولوجي الخاص بالأحواض، لأغراض التكييف أو دراسات الحالة المحتملة.

وفي ما يلي النتائج المتوقعة من المرحلة 3:

- مجموعات من البيانات الجغرافية المكانية الموحدة لآثار تغيّر المناخ المتوقعة على موارد المياه الإقليمية في المنطقة العربية بالاستناد إلى معايير هيدرولوجية محددة ومراحل زمنية مرتبطة بواحد أو أكثر من مسارات التركيز التمثيلية الناتجة عن واحد أو أكثر من النماذج المناخية الإقليمية؛
- بيانات هيدرولوجية أكثر تفصيلاً تتعلق بالدورة المائية والموارد المائية يمكن استخلاصها من إسقاطات نماذج الدوران العالمية أو النماذج المناخية الإقليمية؛
- التمييز بين الآثار الأولية لتغيّر المناخ على الهيدرولوجيا في المنطقة، والآثار الثانوية على مؤشرات اجتماعية واقتصادية وبيئية معينة في المنطقة العربية؛
- يمكن عند الحاجة دراسة أحواض معينة في المنطقة العربية عبر النماذج الهيدرولوجية التي تركز على الأحواض.

ويوضح الشكل الثاني الروابط بين نماذج الدوران العالمية، والنماذج المناخية الإقليمية، والنماذج الهيدرولوجية الإقليمية، والنماذج الهيدرولوجية التي تركز على الأحواض، ويبين كيفية انتقال البيانات من مرحلة إلى أخرى من مراحل التحليل.

الشكل 2- توضيح عنصر تقييم الأثر



الخطوة 4: تقييم قابلية التأثر

يجرى تقييم قابلية تأثر القطاعات الاجتماعية والاقتصادية بناءً على نتائج تقييم الأثر، من خلال دمج المعايير الاجتماعية والاقتصادية والبيئية في ما بينها. ويتطلب ذلك:

- ☑ اختيار نوع أو أنواع تقييم قابلية التأثر الأكثر تناسباً مع منهجية التقييم المتكامل المطبقة، بناءً على فهم لمختلف منهجيات ونهج تقييم قابلية التأثر المستخدمة في المنطقة؛
- ☑ تحديد نطاق تقييم قابلية تأثر القطاعات الاجتماعية والاقتصادية ومقياسه بالاستناد إلى مشاورات مع أصحاب المصلحة الإقليميين في مختلف الاختصاصات. ويتضمن ذلك تحديد أنواع الاستجابات البشرية ومهددات التنمية المستدامة التي ينبغي تقييمها بناء على نتائج تحليل الأثر والأولويات التي حددها كبار صناع القرارات لدعم التخطيط الإنمائي والتكيف مع تغيّر المناخ؛
- ☑ تحديد الحاجة إلى البيانات، والمؤشرات، والتحليل المتعدد الاختصاصات، والنماذج المتخصصة التي ينبغي تطبيقها لإجراء التقييم بالاستناد إلى النطاق والمقياس المحددين لتقييم قابلية التأثر، مع الأخذ في الاعتبار العمل الذي أنجز في المنطقة؛
- ☑ إعداد تقييم قابلية التأثر بناءً على معايير ذات صلة، ومجموعات من البيانات الموحدة، ونماذج تجريبية، وتقييمات نوعية.

وفي ما يلي النتائج المتوقعة من المرحلة 4:

- إجماع على المعايير والمؤشرات الاجتماعية والاقتصادية ذات الصلة التي تتضمن تقييم قابلية التأثر وتنظمه، وتحديد المناطق الشديدة التأثر؛
- مجموعات من البيانات الجغرافية المكانية الموحدة لمعايير ومؤشرات رقمية لقابلية تأثر القطاعات الاجتماعية والاقتصادية، ترتبط بإسقاطات مسارات تركيز تمثيلية ((RCP's) سيناريوهات) ونماذج مناخية إقليمية محددة.

الخطوة 5: رسم الخرائط المتكاملة

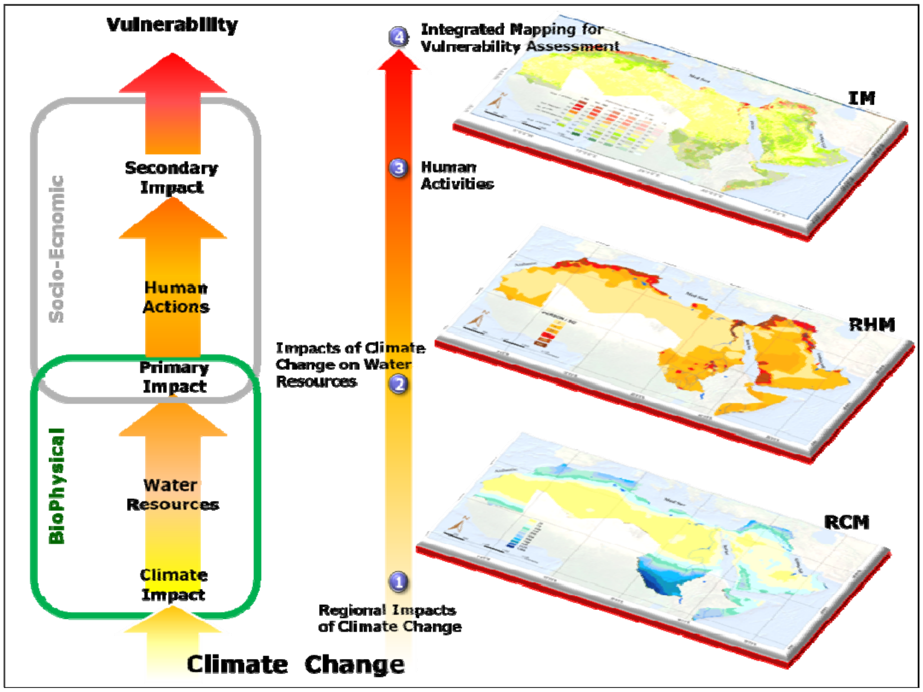
يسهّل وضع الخرائط المتكاملة للنواتج المستخلصة من تقييم الأثر (الخطوات 1-3) وتقييم قابلية التأثر (الخطوة 4) فهم النتائج وتحليلها. ويتطلب ذلك:

- ☑ إنشاء مركز لإدارة المعرفة تخزن فيه وتنشر المعلومات الناتجة عن إعداد عنصري تقييم الأثر وتقييم قابلية التأثر في التقييم المتكامل؛
- ☑ إنشاء قاعدة بيانات منسقة لتحويل المعلومات إلى خرائط مرئية من خلال نظام المعلومات الجغرافية؛
- ☑ تحديد المناطق الشديدة التأثر من خلال استخدام الخرائط المتكاملة والمعلومات الموضوعة عليها بعد استخلاصها من تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية والآثار المتوقعة لتغيّر المناخ على الموارد المائية في المنطقة العربية، وقابلية تأثر القطاعات الاجتماعية والاقتصادية والبيئية بهذه الآثار.

وفي ما يلي النتائج المتوقعة من الخطوة 5:

- تمثيل جغرافي لآثار تغيّر المناخ على الموارد المائية والمناطق الأكثر تأثراً على الصعيدين الاجتماعي والاقتصادي، يمكن رؤيته من خلال أدوات رسم الخرائط المتكاملة؛
- مركز لإدارة المعرفة يسهل الوصول إليه، يتضمن قواعد بيانات وتطبيقات لنظام المعلومات الجغرافية لنشر المعلومات الناتجة عن المبادرة الإقليمية.

الشكل 3- عنصر رسم الخرائط المتكاملة



من المتوقع أن يساعد كل من الخرائط المتكاملة ومركز إدارة المعرفة على تنمية نظم دعم القرارات التي من شأنها توجيه عمليات التخطيط للتكيف مع تغيّر المناخ وتحديد الأولويات على المستويين الإقليمي والوطني. وهكذا يصبح من الممكن توحيد المواقف الإقليمية في ما يتعلق بالقضايا ذات الاهتمام المشترك التي ينبغي معالجتها في المشاورات العالمية، كتلك الجارية ضمن اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغيّر المناخ وفي منتديات أخرى ذات صلة بإجراءات التكيف مع تغيّر المناخ وتمويلها. ويمكن أيضاً الاستفادة من المعلومات الناتجة عن المشروع والمتاحة عبر مركز إدارة المعرفة لإجراء تقييمات أكثر تخصصاً وذات استبانة أدنى على المستويين الوطني والمحلي.

ومن المتوقع أن تؤدي هذه المراحل الخمس إلى إجراء تقييم متكامل لأثر تغيّر المناخ على الموارد المائية وما يترتب عنه من نتائج على قابلية تأثر القطاعات الاجتماعية والاقتصادية في المنطقة العربية. وسيؤدي التقييم المتكامل إلى تعزيز الحوار الإقليمي المطلع وعمليات صنع القرارات المتعلقة بتغيّر المناخ ونتائجه على التنمية المستدامة في المنطقة.

ثانياً- الخطوة الأولى: وضع نماذج للمناخ العالمي

التقلبات القصيرة الأمد (التي تحدث كل ساعة وكل يوم) هي التي تحدد الطقس، في حين تحدد المناخ التغيرات والاتجاهات الأطول أمداً (على مدى سنوات وعقود). وتتحكم بالمناخ العالمي تدفقات الطاقة عبر الغلاف الجوي للأرض. ومعظم هذه التدفقات تحدثها المياه عندما تتحول من سائلة إلى بخار إلى ثلج، في ما يعرف بالدورة المائية. والدورة المائية تحرك الطاقة الشمسية والحرارية الوافدة في المحيطات، وسطح الأرض، والغلاف الجوي، وأصبحت تتأثر بشكل متزايد بالنشاط البشري. ولهذه الأفعال البشرية المنشأ آثار شديدة الأهمية على تفاعلات الطقس. فالإنسان اليوم في مرحلة من التفاعل بين نظم الأرض الطبيعية والنشاط البشري، وكلها تؤثر على المناخ.

ويقيّم العلماء التفاعل بين هذه العناصر من خلال قياس المعايير الإحصائية التي تتصف بها التغيرات في الغلاف الجوي والمحيطات واليابسة. فيتضح نمط العديد من هذه التفاعلات وتبرز العلاقة بين النشاط البشري والتغيرات في المناخ العالمي مع مرور الزمن. وبإمكان العلماء تقييم التغيرات التي طرأت في الماضي على تركيبة الغلاف الجوي إزاء مستوى النشاط الاقتصادي خلال الفترة نفسها، ومقارنة هذه البيانات بالاتجاهات المناخية الماضية والبيانات المناخية المرصودة. ثم يستندون إلى حصيلة التقييم لتوقع تغيرات مستقبلية في تركيبة الغلاف الجوي، وما يترتب عليها من تغيّرات وتقلبات في المناخ.

ألف- اتجاهات المناخ العالمي

تختلف التغيرات في الأنماط الجوية بين حتمية وعشوائية. ويعتبر العلماء أن النظم الحتمية هي التي يمكن وصف سلوكها المناخي المستقبلي من خلال العودة إلى القوانين الفيزيائية التي تخضع إليها الطبيعة. وتعتبر النظم عشوائية عندما تؤدي الاختلافات الصغيرة في الظروف الأساسية للمعايير الجوية إلى قيم شديدة التباين.

ويرتبط نطاق التغير العشوائي بالمقياس الزمني المعتمد. ويكون النظام المناخي عشوائياً إلى حد بعيد على صعيد الطقس، مما يؤثر على دقة التوقعات لأيام معدودة. لكن كلما كان المقياس الزمني أطول، أمكن التغلب على التغيرات العشوائية اليومية والسنوية في الطقس من خلال قسمة الإحصاءات الجوية على الفترات الزمنية المتتالية لتحديد الأنماط المناخية. ففي حين لا يمكن التنبؤ بطقس يوم محدد في المستقبل البعيد، يمكن توقع الاتجاهات في المناخ المستقبلي بدقة نسبية.

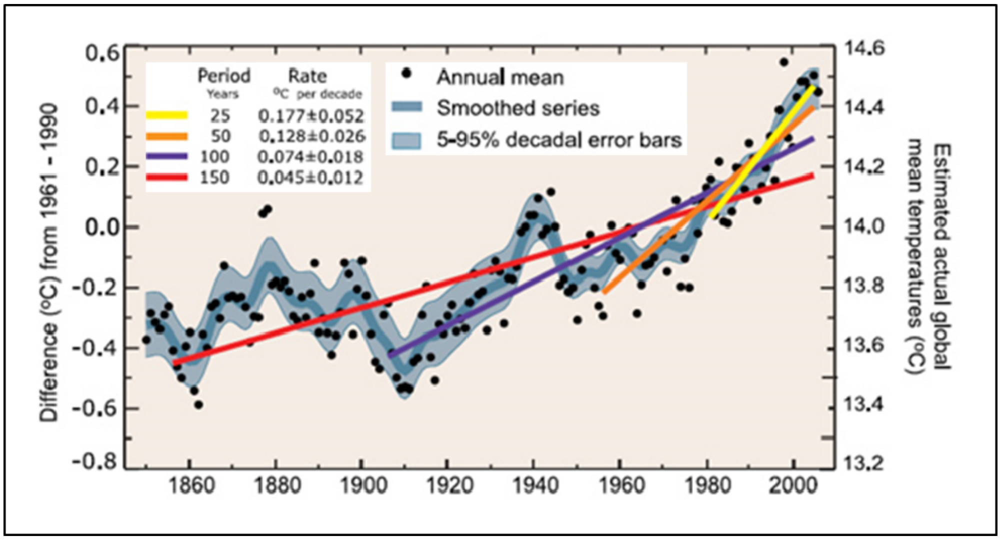
وتبين أن الفترات الزمنية المتتالية التي تمتد الواحدة منها على ثلاثين سنة تكفي لتحديد الأنماط المناخية بوضوح. وتحدد المنظمة العالمية للأرصاد الجوية الفترات الزمنية المذكورة التي تسمى المعدلات المعيارية المناخية. هذه المعدلات عبارة عن مجموعة من المعايير المناخية المقاسة (الطقس، هطول الأمطار، إلخ) التي حسبت لمجموعة محددة من السنوات، ولا سيما من 1901 إلى 1930، ومن 1931 إلى 1960، ومن 1961 إلى 1990. وإذا ما استمر الحساب فسيتناول الفترة المقبلة التي تمتد من 1 كانون الثاني/يناير 1991 إلى 31 كانون الأول/ديسمبر 2020[9].

---

(9) Trewin (2007).

وبالاستناد إلى البيانات المتوفرة التي تعود إلى منتصف القرن التاسع عشر، تظهر تقلبات المعدلات المعيارية المناخية أن المناخ قبل منتصف القرن العشرين كان يتقلب بشكل مستقر، مع اختلافات بسيطة من دورة إلى دورة (انظر الشكل 4). وبعد منتصف القرن العشرين، صار المناخ يزداد احتراراً كلما تقلب، مما يعني أن المعدلات المعيارية المناخية للفترة الحالية الممتدة من عام 1991 إلى عام 2020 قد تكون أعلى بكثير من معدلات الفترات السابقة. وفي الشكل 4 أدلة على هذا الاتجاه.

الشكل 4- التغيرات في متوسط درجة الحرارة العالمية (1850-2010)[10]



لتسهيل عملية نقل الملاحظات المناخية، يحدد المناخ من خلال مجموعة من المتغيرات المناخية الأساسية التي وضعها النظام العالمي لمراقبة المناخ[11]. تحدد هذه المجموعة مجموعة صغرى من المتغيرات اللازمة لوصف النظام المناخي[12]. يمكن استخدام هذه المتغيرات لإعلام عمليات صنع القرارات والسياسات وتحديد المعايير التي يحتاج إليها علماء المناخ لنماذجهم الحاسوبية[13]. وقائمة المتغيرات المناخية الأساسية هي حصيلة تعاون جهات مختلفة، وتوسعت بفعل تقدم الأبحاث والقدرة على الإبلاغ فأصبحت تتضمن 50 متغيراً تقريباً في عام 2011 بعد ان كانت تتضمن 44 متغيراً عند صدور التقرير التقييمي الرابع في عام 2007 (انظر الجدول 1).

(10) بتصرف من Solomon et al. (2007)، ص 253.

(11) النظام العالمي لمراقبة المناخ هو مبادرة مشتركة بين المنظمة العالمية للأرصاد الجوية واللجنة الأوقيانوغرافية الحكومية الدولية التابعة لليونسكو وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة والمجلس الدولي للعلم.

(12) Kuhn (2010), p. 18.

(13) Doherty et al. (2009), p. 503.

الجدول 1- قائمة المتغيرات المناخية الأساسية[14]

النطاق	النطاق الفرعي	المتغيرات المناخية الأساسية وفقاً للنظام العالمي لمراقبة المناخ	
الغلاف الجوي (المحيط بالبر والبحر والجليد)	السطح[أ]	• حرارة الهواء • سرعة الريح واتجاهه • تبخر المياه	• الضغط • ميزانية الاشعاع السطحي
	الغلاف الجوي العلوي (حتى الستراتوبوز)	• الحرارة • سرعة الريح واتجاهه • تبخر المياه	• خصائص الغيوم • ميزانية الإشعاع الأرضي (بما في ذلك الإشعاع الشمسي)
	التركيبة	• ثاني أكسيد الكربون • غاز الميثان وغازات الاحتباس الحراري المعمرة الأخرى: أكسيد النيتروجين، ومركبات الكلورفلوركربون، والهيدرو كلورو فلورو كربون، ومركبات الهيدروفلوروكربون، وسادس فلوريد الكبريت، والهيدروكربون المشبع بالفلور	• الأوزون والأهباء (aerosols) الجوية مدعومة بسلائفها وخاصة ثنائي أكسيد النيتروجين، وثنائي أكسيد الكبريت، والفورمالديهايد، وأول أكسيد الكربون
المحيطات	السطح[ب]	• حرارة سطح البحر • ملوحة سطح البحر • مستوى البحر • حالة البحر • الجليد البحري	• التيارات السطحية • لون المحيطات • ضغط ثاني أكسيد الكربون الجزئي • حموضة المحيطات • العوالق النباتية
	تحت السطح	• الحرارة • الملوحة • تيارات المحيطات • المغذيات	• ضغط ثاني أكسيد الكربون الجزئي • حموضة المحيطات • الأكسجين • المواد الكاشفة
الأرض	السطح[ب]	• تصريفات الأنهار • استخدامات المياه • البحيرات • الغطاء الثلجي • الأنهار والأغطية الجليدية • الصفائح الجليدية • التربة الصقيعية • البياض (Albedo)	• غطاء الأرض (بما في ذلك أنواع النباتات) • كسر الإشعاع النشط للتمثيل الضوئي المستوعب • دليل كثافة الغطاء النباتي • الكتلة الأحيائية فوق الأرض • الحرائق
	تحت السطح	• المياه الجوفية	• الكربون المتوفر في التربة • رطوبة التربة

ملاحظات: (أ) بما في ذلك قياسات بارتفاعات موحدة لكن متفاوتة على الصعيد العالمي وقريبة جداً من السطح.

(ب) بما في ذلك قياسات ضمن طبقة المياه السطحية، تكون عادة ضمن الأمتار الخمسة عشر العليا.

---

(14) GCOS (2011).

في إطار اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغيّر المناخ والهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيّر المناخ، وضع علماء المناخ مجموعة من الإسقاطات المناخية بمعايير مختلفة تستند إلى المتغيرات المناخية الأساسية، وذلك من خلال تصميم برامج محاكاة بواسطة الحاسوب لمعرفة قيمها على ارتفاعات مختلفة في الغلاف الجوي. وصارت المتغيرات المناخية الأساسية فئةً من متغيرات تساعد على تحديد المعايير اللازمة للإسقاطات المناخية، كي تصف آليات التحكم بالمناخ الأساسية وتقيّمها. ترتبط هذه الآليات بحركة تدفقات الطاقة في الغلاف الجوي للأرض. وفي حين تتأثر هذه الحركة بالدورة المائية، تستند العملية إلى توازن في الطاقة بين الأشعة الشمسية التي تصل إلى الأرض والأشعة تحت الحمراء التي تنبعث منها. ويشير اتجاه المناخ نحو الاحترار إلى أن تغيراً أساسياً يحدث في التوازن بين دخول الطاقة وخروجها ضمن النظام.

وفي بيئة ثابتة التوازن، يمكن أن يبقى المناخ مستقراً طيلة سنوات وعقود، وأن تشير المتغيرات المناخية الأساسية إلى تغير طفيف مع مرور الوقت. فيكون الاختلال في التوازن بين الطاقة الداخلة والخارجة طفيفاً. ففي حالة المناخ المستقر، قد تتأرجح قيمة المتغيرات المناخية بمحاذاة المعدل الوسطي الذي يتناسب مع توازن ثابت. لكن نظراً إلى ديناميكية الأرض والنظم الاجتماعية والاقتصادية فيها، تصبح نقطة التوازن بين تدفقات الطاقة الوافدة والخارجة ديناميكية هي الأخرى. ويشير الاتجاه الحالي نحو الاحترار إلى أن تغيراً أساسياً يطرأ في توازن هذه التدفقات، إذ تزداد كمية الطاقة الوافدة عن كمية الطاقة الخارجة. فيرتفع المعدل نتيجة لذلك بشكل حاد كما يظهر في الشكل 4. ويظهر ذلك في قيمة المعايير المناخية الأساسية التي تتغير هي الأخرى لتدل على تحول النظام المناخي إلى حالة جديدة أكثر احتراراً.

يؤدي هذا التغير في المناخ الحالي إلى تسريع انتقال المياه من حالة إلى حالة ضمن دورتها. فتتسارع عمليات التبخر والتساقط، مما يؤثر على توفر المياه العذبة على سطح الأرض. هذا التغير في الدورة المائية لم يسبق له مثيل في التاريخ البشري الحديث، وهو يطعن في فرضية الجمود الهيدرولوجي[15]. وفي المنطقة العربية المعروفة بندرة المياه، تُضعف ديناميكيات تغيّر المناخ الطرق والممارسات المتبعة في تقييم إدارة المياه. وفي إطار هذه البيئة المتغيرة، لم يعُد من المجدي النظر في السجلات الماضية حصرياً عند التخطيط للمستقبل، ولا سيما أن تواتر الأحداث المتعلقة بالطقس وحدتها في الماضي قد لا تصلح بعد الآن لأن تشكل مؤشراً موثوقاً لما قد يحدث في المستقبل. ولا يمكن أن يعتمد أي نظام مناخي ديناميكي على افتراضات مستمدة من سجلات الماضي العائدة إلى دورات من الفيضانات كل مائة عام ومن الجفاف كل خمسين عام. ذلك أن النماذج المناخية وما يرتبط بها من نماذج هيدرولوجية تستند إلى هذه الظروف الجديدة يمكن أن تؤمن للمسؤولين عن إدارة المياه صورة أوضح عن تطور المناخ في المستقبل، وعما يمكن أن ينتج عن ذلك في ما يتعلق بإدارة الموارد المائية.

باء- عناصر نموذج المناخ العالمي

باستطاعة العلماء وصف تطور المناخ من خلال تلقين حواسيبهم برامج حول التفاعلات الحتمية بين المعايير وحالات المحاكاة بالاستناد إلى مجموعة من الافتراضات. ويمكنهم النظر في النتيجة المتوقعة لتحديد محركات تغيّر المناخ الرئيسية. ويحدد علماء المناخ عبر مختلف مراحل هذه العملية ما "يجبر" مناخاً مستقراً ما على التغير من خلال النظر في متغيرات متوفرة ومفترضة في المعايير الجوية الأساسية.

وفي إطار البحث عن الضغوط التي تخل بميزان الطاقة في الأرض، لجأ علماء المناخ إلى حالات محاكاة متنوعة بحثت في تأثير جميع المعايير الهامة المعروفة. وقارنوا النتائج التي أدت إليها المحاكاة

(15) Fowler et al. (2007) and Bates et al. (2008).

باتجاهات المناخ الماضية التي حددوها بناءً على السجلات المناخية منذ عام 1850 وإلى اليوم. فأكدوا أن الكمية المتزايدة من غازات الاحتباس الحراري في الغلاف الجوي هي على الأرجح السبب الرئيسي للتغيرات العالمية في اتجاهات المناخ الحديثة. فغازات الاحتباس الحراري تمتص الأطوال الموجية الطويلة للأشعة تحت الحمراء في حين أنها شفافة إزاء أطوال الضوء المرئي القصيرة التي تصدر بمعظمها عن سطح الأرض.

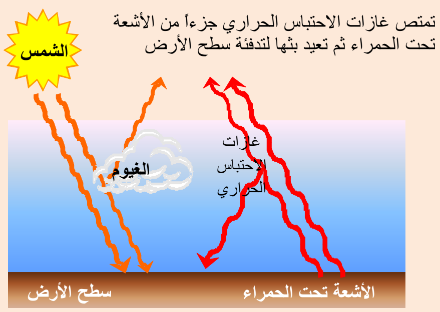
غازات الاحتباس الحراري وظاهرة الاحتباس الحراري

تكون غازات الغلاف الجوي عادة شفافة أمام أطوال الموجات القصيرة للضوء المرئي وتمتص أطوال الموجات الأطول للأشعة تحت الحمراء التي تنبعث بمعظمها عن سطح الأرض. تتضمن غازات الاحتباس الحراري بشكل رئيسي[16]:

- ثاني أكسيد الكربون
- غاز الميثان
- أكسيد النيتروز
- الهالوكربونات
- الأوزون
- بخار المياه
- الأهباء (aerosols) الجوية: جسيمات صغيرة في الغلاف الجوي تختلف كثيراً في حجمها وتركيزها وتركيبتها الكيميائية

ولغازات الاحتباس الحراري تأثيران بارزان:

- تحدث ظاهرة الاحتباس الحراري عندما تمتص غازات الاحتباس الحراري الأشعة تحت الحمراء من سطح الأرض ثم تعيد بثها نحو الأرض. فتعيد غازات الاحتباس الحراري عكس الحرارة التي كان من المفترض أن تتجه نحو الفضاء باتجاه سطح الأرض كما يظهر في الشكل من جهة اليمين.
- والاحترار العالمي هو ارتفاع في الحرارة ناتج عن ازدياد غازات الاحتباس الحراري في مستويات الغلاف الجوي، أي أنه نتيجة ظاهرة الاحتباس الحراري.



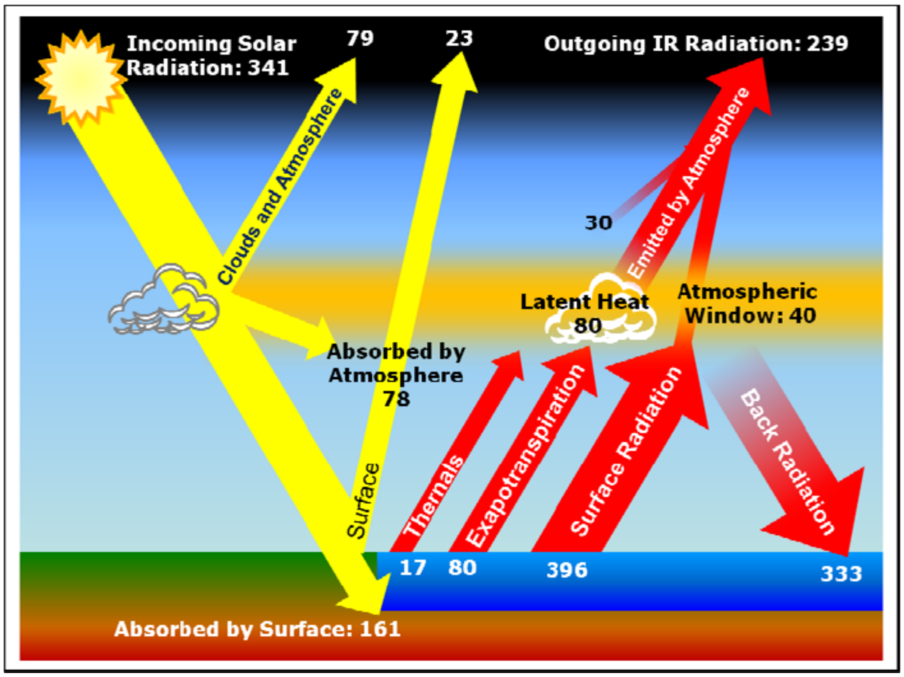
والطريقة الأمثل لشرح أهمية ظاهرة الاحتباس الحراري ودورها المعقد هي من خلال مقارنة الأرض بجاريها كوكبي المريخ والزهرة اللذين يشرحان النقيضين:

- فمتوسط حرارة السطح على الكرة الأرضية يكون أدنى بخمس عشرة درجة مئوية على الأقل لولا ظاهرة الاحتباس الحراري، وتكون التغيّرات في الحرارة أقل حدة.
- ويوازي حجم كوكب المريخ نصف حجم الأرض تقريباً وتحيط به طبقة رفيعة من الغلاف الجوي، فلا تمتص إلا كمية قليلة من الحرارة، وتتراوح حرارة سطحه بين -140 إلى 20 درجة مئوية، بمعدل وسطي يوازي -63 درجة مئوية.
- أما كوكب الزهرة فهو بحجم الأرض تقريباً ويحيط به غلاف جوي سميك ويتميز بظاهرة احتباس حراري واضحة أدت إلى ارتفاع متوسط حرارة سطحه كثيراً حتى تبخرت مياهه وضاعت في الفضاء، وانبعثت غازات الاحتباس الحراري على غرار ثاني أكسيد الكربون من الصخور مما زاد من احترراه. وتبلغ حرارة الزهرة اليوم 477 درجة مئوية، وهي حرارة عالية لدرجة أنها قادرة على إذابة الرصاص، وتوازي ضعف ما ستكون حرارته في حال لم يكن لديه غلاف جوي.

(16) IPCC, (2007a).

وازدادت انبعاثات غاز الاحتباس الحراري البشري المنشأ بشكل كبير جداً في فترة ازدياد التصنيع في الغرب بعد القرن التاسع عشر واستمرت إلى ما بعده[17]. وأدى ازدياد غاز الاحتباس الحراري في الغلاف الجوي إلى تعزيز ظاهرة الاحتباس الحراري، فصارت الغازات المتوفرة في الجو تمتص الإشعاع الحراري الذي يبث من جديد باتجاه سطح الأرض. وأدت هذه الظاهرة إلى ارتفاع الحرارة على الأرض وفي طبقات الغلاف الجوي السفلى كما يتضح في الشكل 5. وكما ظهر سابقاً في الشكل 4، فإن التأثير المتراكم منذ منتصف القرن العشرين لغازات الاحتباس الحراري الناتجة عن النشاط البشري يؤدي إلى زيادة صافي الإشعاع من خلال الاختلال الإشعاعي[18].

الشكل 5- التوازن في طاقة الأرض (واط/م2)[19]



يستند البحث العلمي في ظاهرة تغيّر المناخ في المستقبل إلى مفهوم مفاده أن التغير الملاحظ في المعدلات المعيارية المناخية ناتج عن الاختلال الإشعاعي المرتبط بغاز الاحتباس الحراري. يصور العلماء النظام المناخي كتفاعل بين نظامين فرعيين أساسيين هما:

- **الأنظمة البيوفيزيائية** وهي تحدّد من خلال التفاعلات بين كوكب الأرض ونظم المناخ الفيزيائية كالغلاف الجوي، والمحيطات، وسطح الأرض، وما عليها من أشجار ونباتات وعوالق. وتوضع نماذج هذه التفاعلات من خلال معادلات حتمية تصف مختلف التفاعلات من خلال العلاقات العلمية. وتستخدم نماذج الدوران العالمية والنماذج المناخية الإقليمية لوصف هذه العلاقات.

---

(17) IPCC (2007a).

(18) يقاس التغيّر في صافي الاختلال الإشعاعي بوحدات واط/م2.

(19) تقاس الطاقة بالواط. تتدفق الطاقة فوق سطح الأرض التي تقاس بالأمتار المربعة. نتيجة لذلك تقاس تدفقات الطاقة بالواط/م2. قيست القيم المذكورة أعلاه بين آذار/مارس 2000 وآذار/مارس 2004 كما جاء في تقرير Kiehl et al. (1997)، ص 314.

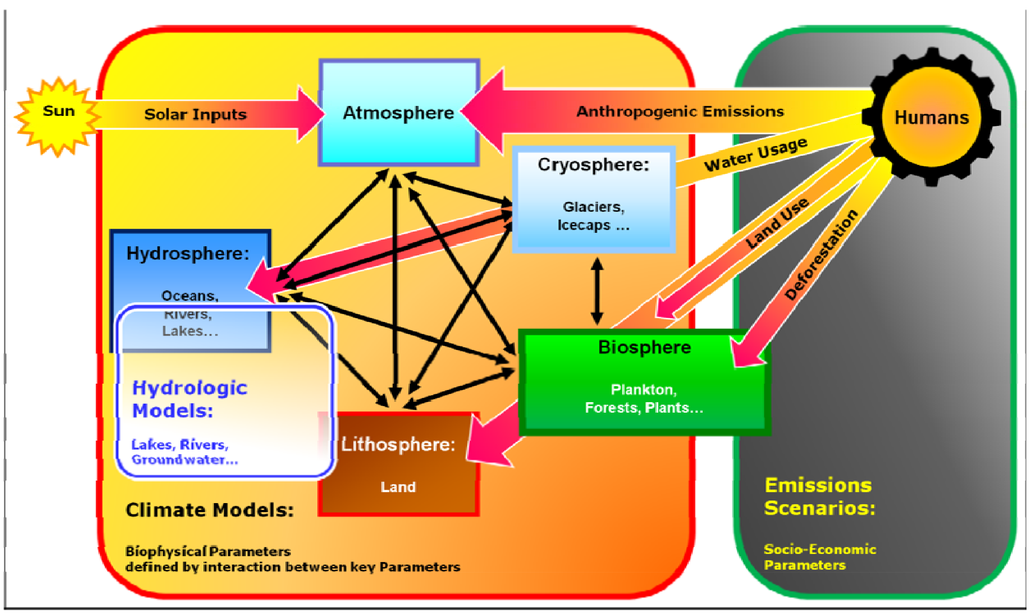
- **الأنظمة الاجتماعية الاقتصادية** وتحددها التفاعلات الاقتصادية البشرية وتأثيرها على النظم البيوفيزيائية المختلفة في كوكب الأرض. وتؤدي معظم الأنشطة الاقتصادية البشرية إلى انبعاث غازات الاحتباس الحراري، وتؤدي المسارات الإنمائية المختلفة إلى انبعاثات ذات تركيز مختلف في الغلاف الجوي، وبالتالي إلى مستويات مختلفة من الاختلال الإشعاعي. ولأن النشاط الاقتصادي البشري عشوائي ويصعب التنبؤ به، تمثل النظم الاجتماعية الاقتصادية البشرية من خلال تسلسلات افتراضية لنواتج مختلف الانبعاثات المستقبلية المعروفة بسيناريوهات الانبعاثات.

سيناريو الانبعاثات

يعرض سيناريو الانبعاثات تركيزاً مستقبلياً متوقعاً لغازات الاحتباس الحراري في الغلاف الجوي، الناتجة عن مزيج من الأنشطة البشرية الاجتماعية والاقتصادية.

وباستطاعة علماء المناخ من خلال التركيز على هذين النظامين الفرعيين وضع نموذج للمنظومة الأرضية، يبحثون فيه في التفاعل بين نظم الأرض البيوفيزيائية ونظمها الاجتماعية الاقتصادية. يتضح هذا النظام في الشكل 6 الذي يظهر كيف أن العلاقات بين الطبقات الجوية والطبوغرافية تؤمن الأساس اللازم لتصميم نماذج وسيناريوهات للانبعاثات تستخدم في وضع نماذج للمناخ في الماضي والحاضر والمستقبل.

الشكل 6- المنظومة الأرضية: أساس لتصاميم المناخ وسيناريوهاته



جيم- النماذج المناخية العالمية

يركز العلماء في دراستهم للمناخ على العلاقة الرياضية بين تدفقات الطاقة في ما بين مختلف نظم الأرض البيوفيزيائية. تظهر تدفقات الطاقة من خلال نماذج توازن الطاقة المؤلفة من معادلات رياضية تعتمد على القوانين الفيزيائية للطبيعة وتتضمن عمليات كيميائية وبيولوجية ذات صلة لاختبار فرضيات عن طريقة

عمل الكرة الأرضية. ونماذج توازن الطاقة تحصر التفاعل بين مختلف نظم المناخ الفرعية في ثلاث فئات أساسية من العمليات[20]:

- العمليات الإشعاعية التي تنقل الحرارة أو الإشعاع الكهرمغناطيسي في النظام المناخي من خلال الانبعاث أو الامتصاص أو الانعكاس؛
- العمليات الديناميكية التي تنقل الطاقة عبر الغلاف الجوي أفقياً وعمودياً من خلال حركة الهواء الأفقية والحمل الحراري والانتشار، إلخ؛
- العمليات السطحية التي تصف التفاعلات بين اليابسة والمحيطات والبحار والجليد بما في ذلك البياض (albedo)، وانبعاثية المواد، وتبادلات الطاقة بين السطح والغلاف الجوي.

يسمح هذا النهج لعلماء المناخ بإدراج الأوصاف الرياضية الخاصة بهذه العمليات بسهولة في النماذج الحاسوبية للمناخ. وكلما احتاجت عملية ما إلى الدراسة، تصنف أولاً في فئة من هذه الفئات الثلاث ومن ثم تبرمج المعادلات التي تصفها في النموذج الحاسوبي. والبرامج الحاسوبية التي تمثل مناخ منظومة الأرض تدعم تطور نماذج الدوران العالمية. وكما يظهر في الشكل 7، فإن نماذج الدوران العالمية تقسم منظومة الأرض إلى وحدات مكانية يمكن دراستها على امتداد مراحل زمنية محددة.

وعلى المستوى المكاني، تُنقل جغرافية الأرض من خلال شبكة ثلاثية الأبعاد. ويلجأ العلماء إلى التفريد المكاني لقسم سطح الأرض والمحيطات والغلاف الجوي إلى مجموعات من الخانات الشبكية الأفقية المجموعة في طبقات عمودية متفاوتة الارتفاع. وخانات الشبكة الأفقية الثلاثية الأبعاد في النموذج محددة من حيث الطول والعرض، وهي تحدد استبانة النموذج أفقياً. أما المستويات العمودية فتحدد بشكل عام من حيث الضغط بمستويات هكتوبسكال للدلالة على أن كثافة الهواء تنخفض بشكل بارز مع الارتفاع. وفي الاتجاه العمودي، تستخدم النماذج المناخية من 10 إلى 20 طبقة عمودية في الجو وأحياناً حتى 30 طبقة في المحيطات[21].

فهم عملية الضغط

يقاس الضغط الجوي بالهكتوبسكال. ينتج الضغط عن القوة (المقاسة بوحدات نيوتن) في الوحدة المكانية (المقاسة بالأمتار المربعة) الناتجة بدورها عن وزن الهواء في غلاف الأرض الجوي فوق كل سطح. وفي الظروف العادية، يبلغ ضغط الهواء عند السطح وعند متوسط مستوى سطح البحر 1000 هكتوبسكال، أي ما يوازي 1 بار في حال استعمال الوحدات القديمة، أو 1000 ميليبار.

ويتراوح المستوى من 950 و900 هكتوبسكال قرب السطح إلى صفر هكتوبسكال عند المحيط الخارجي للغلاف الجوي. ويمثل الضغط كتلة الهواء المتوفرة في حجم معين من الجو، وينخفض بشكل ملحوظ كلما ازداد الارتفاع، مما يؤدي إلى اختلاف في الارتفاع بين 950 و900 هكتوبسكال أو بين 100 و50 هكتوبسكال، حتى لو بقيت كتلة الهواء الموجودة بين هذين المستويين كما هي.

وبسبب هذا الاختلاف في الضغط في مستويات مختلفة من الجو، لا تكون الخانات الشبكية الثلاثية الأبعاد التي يستخدمها واضعو النماذج المناخية للتوصل إلى نواتج مكعبة الشكل، بل هي خانات في شبكة ثلاثية الأبعاد، يتساوى فيها الطول والعرض أفقياً، لكن قد يختلف فيها الارتفاع بين الطبقات العمودية، كي تتضمن كتلة الهواء نفسها.

---

(20) ESCWA (2009).

(21) IPCC (2011).

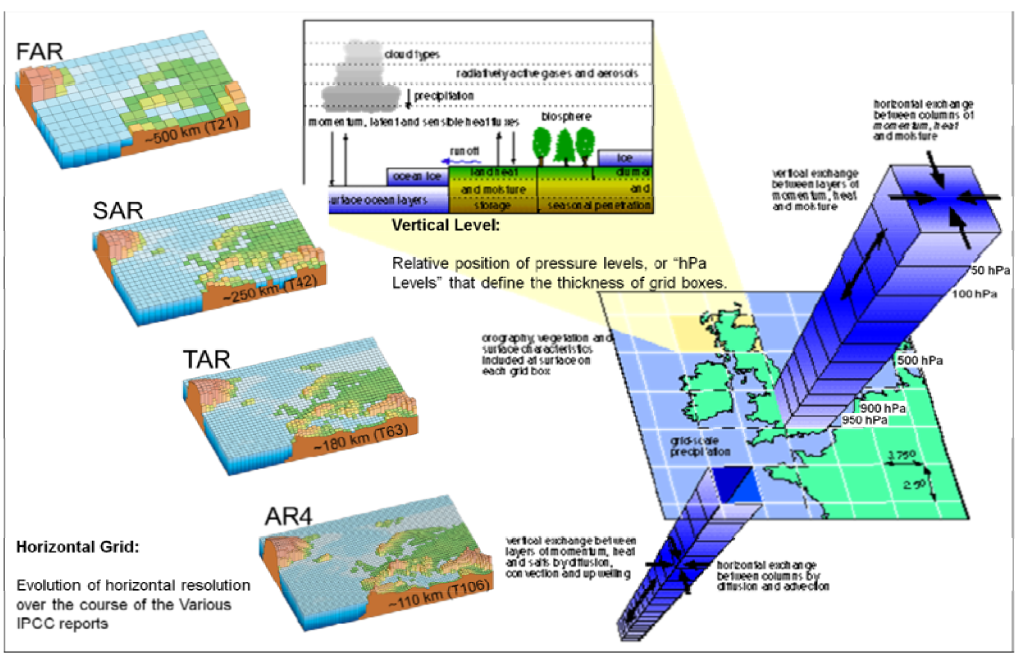
وعلى ضوء ما تقدم، يتنبه واضعو النماذج إلى تركيز الشبكة قرب السطح، حيث البيانات شديدة الإفادة. ويضع علماء الطقس معادلات تصف جميع العمليات ذات الصلة في كل خانة من هذه الخانات. يتم ذلك من خلال حساب تدفقات الطاقة في كل خانة باستخدام:

- **معادلات تشخيصية** تقدر المتغيرات في كل الأوقات؛
- **ومعادلات استباقية** تصف تطور المتغيرات المحددة مع مرور الزمن.

يتطلب ذلك برمجة الحل للتقدم في الزمن وحوسبة تدفقات الطاقة في كل خانة لكل مرحلة زمنية مقبلة بالاستناد إلى تفريد زمني محدد مسبقاً. ويحدَّد مقياس الوقت المستخدم بناءً على توجهات في السياسة العامة مرتبطة بالتخطيط لآفاق زمنية قصيرة وطويلة الأمد.

وتفريد (تجزئة) المكان والزمان عنصران أساسيان من نماذج الدوران العام في الغلاف الجوي والمحيطات، التي تسمى أيضاً نماذج الدوران العالمية. صممت نماذج الدوران العالمية لحل مجموعة من المعادلات المحددة مسبقاً والتي تصف المتغيرات المناخية الأساسية الرئيسية في النظام، وذلك عبر الزمان والمكان، وفي كل خانة من خانات الشبكة، ولكل دورة حسابية. وقد تختلف المعادلات والحسابات بين مختلف نماذج الدوران العالمية بسبب عوامل عدة، ويمكن بالتالي أن تعرض النماذج المختلفة الظواهر المناخية وأن تتوقعها بشكل مختلف. ويشير الشكل 7 إلى تحسن الدقة من الأبعاد عبر تقارير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيّر المناخ، إذ صارت أحجام الشبكات تصغر أكثر مع كل تقرير تقييمي جديد، ولا سيما التقارير الأول والثاني والثالث والرابع.

الشكل 7- التمثيل المكاني للأرض وتطورها في نموذج الدوران العالمي(22)



(22) IPCC (2011) and (2007a).

تؤلف المعايير المختلفة، على المستوى العالمي، قائمة تتضمن أكثر من مائة متغير تصف عناصر محددة في الطقس (كالغلاف الجوي أو المحيط أو الجليد على الأرض أو في البحر) أو التفاعل في ما بينها (مجالات الاختلالات الإشعاعية). ويظهر في الجدول 2 تناسب مجالات نواتج نماذج الدوران العالمية القياسية مع المتغيرات المناخية الأساسية المشار إليها في الجدول 1. فحرارة الهواء على سبيل المثال متغير مناخي أساسي تحسب قيمه الوسطى عند السطح وعلى ارتفاعات مختلفة في عمود الهواء، ويحسب حده الأقصى والأدنى يومياً، بما يمثل مجالات متعددة لنماذج النواتج. تلك هي مجالات المعايير التي تشكل نواتج تشغيل نموذج الدوران العالمي المستخدمة لإجراء تحليلات مناخية حول كيفية استجابة المتغيرات المناخية الأساسية إلى مختلف التأثيرات البشرية المنشأ.

الجدول 2- لمحة عن مجالات نواتج النماذج المناخية(23)

النطاق		المتغيرات المناخية الأساسية	مواصفات المتغيرات كما حددتها الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيّر المناخ باعتبارها من مجالات نواتج نماذج الدوران العالمية
الجو (فوق الأرض والبحار والجليد)	السطح	حرارة الهواء	• حرارة الطبقة العلوية من السطح • قرب السطح (2 متر): حرارة الهواء، الحد الأقصى والحد الأدنى يومياً
		سرعة الريح واتجاهه	• الرياح المتجهة شرقاً • الرياح المتجهة غرباً • الرياح بالقرب من السطح (10 أمتار)
		بخار المياه/هطول الأمطار	• تدفق بخار المياه من ظلة الشجر، الرطوبة (بشكل محدد، بشكل نسبي) • المتساقطات • المتساقطات الحملية • تساقط الثلوج • محتوى بخار الماء في الغلاف الجوي
		الضغط	• ضغط الهواء على سطح الأرض وعند مستوى البحر • ضغوطات الريح على سطح الأرض
		ميزانية الإشعاع	• تدفقات الحرارة من السطح • تدفقات الحرارة الخارجة (الموجات الطويلة والموجات القصيرة) • تصويبات تدفق الحرارة • تدفق الحرارة (إلى المحيط باعتباره طبقة من المياه الساكنة)
	الغلاف الجوي العلوي: (حتى الستراتوبوز)	غير مطبق (Not applicable)	• كثافة طبقة حد الغلاف الجوي (بالأمتار)
		حرارة الهواء	• لكل ارتفاع يتناسب مع ضغط محدد
		سرعة الريح واتجاهه	• لكل ارتفاع يتناسب مع ضغط محدد: الرياح المتجهة شرقاً وغرباً، الارتفاع التحريكي
		بخار المياه/الأمطار	• لكل ارتفاع يتناسب مع ضغط محدد: معايير الغيوم (الكسر المساحي (area fraction)، محتوى الجليد، محتوى الماء)
		ميزانية الإشعاع	• تدفقات الحرارة الوافدة والخارجة (الموجة الطويلة والموجة القصيرة)
	التركيبية		الكسر الجزيئي للأوزون في الهواء • تركيز الأهباء (aerosols) الجوية الكبريتية (أكاسيد النيتروجين، أكاسيد الكبريت)

(23) GCOS (2011), IPCC (2009) and WCRP (2004).

الجدول 2 (تابع)

النطاق		المتغيرات المناخية الأساسية	مواصفات المتغيرات كما حددتها الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيّر المناخ باعتبارها من مجالات نواتج نماذج الدوران العالمية
المحيطات	السطح	عمق قاع البحر تحت المجسم الأرضي[24]	
		الحرارة	• حرارة سطح البحر
		الأمطار	• الأمطار الهاطلة فوق المحيطات، تصويب تدفقات المياه، تدفقات المياه في المحيطات
		الملوحة	• الكثافة المحتملة لمياه البحر
		مستوى البحر	• ارتفاع سطح البحر فوق المجسم الأرضي • تغيّر مستوى البحر (المعدل العالمي)
		الجليد البحري	• تدفق الأملاح الموجودة عند القاعدة • الكثافة • التبخر • تدفق الأملاح عند القاعدة • السرعة
		التيارات	• السرعة شرقاً وشمالاً
	تحت السطح	طبقات المحيطات	• كثافة طبقة المياه السطحية المحيطية
		الحرارة	• الحرارة المحتملة لمياه البحر
		الملوحة	• ملوحة مياه البحر • انتقال الاملاح في المحيط شمالاً بسبب الانتشار والحركة الدائرية والتقلب
		التيارات	• سرعة المياه في أعلى البحر • دالة الانسياب الاستوائية الضغط في المحيط • دالة الانسياب المنقلب جنوباً • تصويب تدفقات الزخم
أرضي			• الجريان السطحي، الثلج (الكسر المساحي (area fraction)، الكمية، تدفق الذوبان) • الأنهار الجليدية (الكسر المساحي من جليد الأرض) • التربة الصقيعية (تتضمن المياه والتربة المتجمدة) • رطوبة التربة (المحتوى، محتوى التربة من المياه، محتوى طبقة التربة، عمق الجذور)

وقبل البدء بتشغيل أي من النماذج، يقرر علماء المناخ أي من نماذج الدوران العالمي سيستخدمون ويحددون القيم التي تنطلق منها غالبية هذه المعايير. فيتحدد بهذا الشكل المناخ الأساسي الذي يُحسب نتيجة لحالة المحاكاة والذي سينطلق منه توقع حالة النظام المناخي المستقبلية بناءً على سيناريو محدد. ويحدد علماء المناخ بالاستناد إلى تفريد مكاني وزماني:

- **الاستبانة** التي سيشغلون بها كل نموذج، إذ يغطي نموذج الدوران العالمي منظومة الأرض ويؤدي عادة إلى نتائج غير دقيقة لمجموعة واسعة من المعايير باستبانة توازي 200 كلم x200 كلم إلى 300 كلم x300 كلم لكل خانة شبكية أفقية؛

---

(24) يستخدم المجسم الأرضي لتحديد متوسط مستوى سطح البحر بشكل تقريبي لأن ارتفاع سطح البحر بالنسبة إلى الغلاف الجوي ليس نفسه في كافة أنحاء الكرة الأرضية.

- **مجموعة من المراحل الزمنية** للنموذج بناءً على مصالح في السياسة العامة وعوائق فنية تتعلق بالوقت وبتخزين البيانات. وتحدد المراحل الزمنية معدل أخذ العينات الزمنية الذي تحسب بناء عليه مجالات نواتج النموذج لكل خانة في الشبكة. ويمكن حساب المعايير كل ثلاث إلى ست ساعات، أو يومياً أو شهرياً وفقاً لنموذج الدوران العالمي والقدرة على إجراء العمليات الحسابية الرقمية.

ثم تحسب مجالات نموذج الناتج لكل خانة في الشبكة على أساس دقة الوضوح والاستبانة والمرحلة الزمنية المحددتين في نموذج التشغيل. وتستخدم مجالات النواتج التي أدى إليها نموذج الدوران على غرار تلك المدرجة في الجدول 2، في إجراء تحليلات في مجال تغيّر المناخ حول كيفية استجابة المناخ إلى مختلف التأثيرات البشرية المنشأ.

دال- سيناريوهات الانبعاثات العالمية

بالرغم من كمية التفاصيل التي تتضمنها نماذج الدوران العالمية فهي لا تستطيع أن تعرض سوى التفاعلات بين المعايير البيوفيزيائية، وأن تقبل سيناريوهات الانبعاثات الاجتماعية والاقتصادية كافتراضات لدمج النشاط البشري. وفي إطار دراسة حالة الطقس في المستقبل، يجب تلقين النماذج الحاسوبية مدخلات من خارج النظام الطبيعي في حال أريد للتحليل أن يتضمن الآثار الاجتماعية والاقتصادية للنشاط البشري. ويمكن القيام بذلك من خلال وضع سيناريوهات بالاستناد إلى تركيزات مختلفة لانبعاثات غاز الاحتباس الحراري في الغلاف الجوي، أو إدخال مسار تركيز تمثيلي أكثر عمومية يمثل التغيرات في الاختلال الإشعاعي الذي يؤثر على الغلاف الجوي من دون الدخول في تفاصيل مصدر هذا الاختلال أو سببه. ويسمح هذان النهجان للنموذج بدمج البعد الاجتماعي الاقتصادي.

وتعتمد نمذجة المناخ على دراسة آليات الاختلال في منظومة الأرض. ويتطلب ذلك اللجوء إلى سيناريوهات الانبعاثات التي تصف كل ما دوّن في الماضي عن المناخ بالاستناد إلى الملاحظة، والتي يتم إسقاطها على المستقبل من خلال فهم الظروف المكانية أو الزمنية المماثلة المستنتجة. وفي حالة:

- **الظروف المكانية المشابهة،** يمكن مقارنة ناتج النماذج المناخية من الناحية النظرية بالبيانات المسجلة من مناطق تشبه إلى حد بعيد المنطقة التي تهم الدراسة. أما من الناحية العملية، فإن المناطق المتشابهة قليلة، لذا فإن ما كتب حول تقييم أثر تغيّر المناخ يوصي بشكل عام بالابتعاد عن هذا النهج[(25)]؛

- **الظروف الزمنية المشابهة،** تقارن نواتج النماذج المناخية بالبيانات الناتجة عن القيود المناخية الماضية، أو يعاد بناؤها انطلاقاً من الأدلة المتحجرة أو العينات الجليدية الأسطوانية وتعتبر مناخاً قديماً. وهذه هي الطريقة الأكثر استخداماً للتحقق من صحة النماذج المناخية، وقد ساعدت في إثبات حقيقة أن التغيرات المناخية خلال السنوات المائة الماضية سببها انبعاثات غازات الاحتباس الحراري الناتجة عن النشاط البشري. وأثبت ذلك من خلال مقارنة نواتج النماذج بالاختلالات الماضية والتغيّرات في تركيز غاز الاحتباس الحراري، والدورة الشمسية، والنشاط البركاني.

---

(25) IPCC (1990), Carter et al. (1994) and IPCC TGCIA (1999).

ويتطلب وضع إسقاطات للمناخ المستقبلي سيناريوهات للانبعاثات تصف تطور آليات الاختلال الرئيسية، وأبرزها انبعاثات غاز الاحتباس الحراري البشرية المنشأ. وسيناريوهات الانبعاثات المستخدمة في وضع نماذج مناخية تتضمن:

- **سيناريوهات الاستجابة بتحقيق التوازن أو سيناريوهات مضاعفة تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي** وهي بسيطة نسبياً ويمكن تشغيلها بسرعة وبدون تكاليف باهظة. غير أنها محدودة من حيث واقعيتها الفيزيائية، وتستخدم خاصة لتحديد مدى تأثر الحرارة بأي تغير في الاختلال الإشعاعي. ثم تحدد حساسية الطقس بتغير الحرارة المرتبط بمضاعفة تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي؛ أو

- **سيناريوهات النماذج القصيرة المدة** وهي أكثر سيناريوهات الانبعاثات واقعية. وهي تستخدم لتقييم تغيّر المناخ من خلال تشغيل نموذج للدوران العالمي لمحاكاة فترة زمنية فيها اختلال يتغير مع مرور الزمن.

وكبديل لسيناريوهات الانبعاثات وتطبيق النماذج المناخية، استخدمت **السيناريوهات** (Synthetic scenarios) التي تفترض ببساطة أن المناخ تغير من خلال التغيير في النسب. ويمكن أن تشير هذه السيناريوهات إلى ما قد يحدث في إطار ظروف تمثيلية كتدني المتساقطات بنسبة 10 في المائة أو زيادة الحرارة بنسبة 3 في المائة[26]. وفي حين أن هذه السيناريوهات هي تمارين أكاديمية يمكن مساندتها بتحليل تسلسل الأسباب ويمكن أن توفر حداً أدنى وحداً أقصى تناقش السياسات ضمنهما، فهي لا تستفيد عادة من منهجيات نمذجة المناخ. بل تتوصل إلى استنتاجات من مجموعة من الافتراضات التي تشغل عبر نموذج هيدرولوجي لتقييم آثار تغيّر المناخ على بعض المعايير.

ثاني أكسيد الكربون المكافئ

بعد أن تبين أن ثاني أكسيد الكربون هو غاز الاحتباس الحراري الأول الناتج عن النشاط البشري الاجتماعي والاقتصادي، صار يستخدم كمؤشر لوضع معايير المقارنة في ما يتعلق بالاختلال الإشعاعي. ويتوفر مؤشران في هذا الإطار:

- **ثاني أكسيد الكربون المكافئ** وهو تركيز ثاني أكسيد الكربون الذي قد يتسبب بالمستوى نفسه من الاختلال الإشعاعي كأي غاز محدد من غازات الاحتباس الحراري له تركيز معين؛
- **وتكافؤ ثاني أكسيد الكربون** وهو كمية هذا الغاز التي لديها إمكانية الاحترار العالمي نفسها المتوفرة في مزيج وكمية محددين من غاز الاحتباس الحراري يقاسان على مدى فترة زمنية محددة.

ولدراسة الطقس في المستقبل، ينبغي أن تقيم هذه السيناريوهات الانبعاثات المستقبلية الصادرة عن النظم الاجتماعية والاقتصادية. يصعب وضع نماذج دقيقة لهذه النظم، غير أنه من الممكن وصفها بدقة بناءً على قواعد واضحة تحددها أنماط مختلفة من النمو الاقتصادي والديمغرافية، وأشكال التكنولوجيات المستخدمة. وتبنى إذاً جميع سيناريوهات الانبعاثات الاجتماعية الاقتصادية بناءً على خمسة معايير أساسية:

(26) انظر برنال (1998) على سبيل المثال.

- **الاتساق مع الاسقاطات العالمية** (**consistency**) لانبعاثات غاز الاحتباس الحراري التي تشير إلى تراوح معدلات تركيز ثاني أكسيد الكربون فيها بين 541 و970 جزء في المليون (ج ف م)؛
- **المعقولية من الناحية الفيزيائية** والتقيد الصارم بالقوانين الفيزيائية، بما يظهر تغيرات متسقة في كافة أنحاء الكرة الأرضية وبين مختلف المتغيرات المناخية؛
- **إمكانية تطبيق متغيّرات تقييم الأثر** كقيم وسطى يومية إلى سنوية للتغيرات في الحرارة، والمتساقطات، وإشعاعات الشمس، والرطوبة، وسرعة الرياح؛
- **القدرة التمثيلية** (**Representativity**)- ينبغي أن تعطي سيناريوهات الانبعاثات فكرة عن النطاق المحتمل لتغيّر المناخ الإقليمي في المستقبل؛
- **سهولة المنال** (**Accessability**) - ينبغي أن تكون سيناريوهات الانبعاثات سهلة المنال والتفسير والتطبيق في تقييمات الأثر.

ومن الواضح بناء على ما تقدم أن سيناريوهات الانبعاثات تركز على وصف مجموعة معقولة من المقولات الاجتماعية والاقتصادية التي تصف الاتجاهات الاجتماعية والاقتصادية الطويلة الأمد (التي تتراوح بين عدة عقود وقرن) المرتبطة بمستويات مختلفة من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري. تستند التقييمات إلى نماذج راسخة وتدل على آراء خبيرة وعلى فهم للاتجاهات الاجتماعية الاقتصادية والبيئية والتكنولوجية[27]. وأدى التقدم في وضع النماذج الاجتماعية الاقتصادية إلى تحسن سيناريوهات الانبعاثات التي تضعها الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيّر المناخ، وجرى التماس هذا التحسن من تقرير إلى آخر، اعتباراً من التقرير الخاص بسيناريوهات الانبعاثات الذي أُعد على أساسه التقريران التقييميان الثالث والرابع، وحتى مسار التركيز التمثيلي الذي حل مكان السيناريوهات، والذي وضع ليكون الأساس لنواتج نمذجة تغيّر المناخ في التقرير التقييمي الخامس.

مصطلحات سيناريوهات الانبعاثات التي تستخدمها الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيّر المناخ

أصدرت الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيّر المناخ في التقرير الخاص بسيناريوهات الانبعاثات اختصاصات التقرير، وقد استخدمت كأساس لإعداد توقعات تغيّر المناخ في التقريرين التقييميين الثالث والرابع. ويمكن وصف هذه السيناريوهات من خلال المصطلحين التاليين:

- **المقولة**: وصف سردي لسيناريو انبعاثات (أو مجموعة من السيناريوهات) يركز على خصائص السيناريو الرئيسي وديناميائه، وعلى العلاقة بين مختلف القوى المحركة؛
- **مجموعة** السيناريوهات: سيناريو واحد أو عدة سيناريوهات تشترك في المقولة الديمغرافية والسياسية الاجتماعية والاقتصادية والتكنولوجية نفسها.

1- <u>التقرير الخاص بسيناريوهات الانبعاثات</u>

شكل التقرير الخاص بسيناريوهات الانبعاثات الأساس الذي استندت إليه توقعات تغيّر المناخ في التقريرين التقييميين الثالث والرابع. استخلص التقرير الخاص بسيناريوهات الانبعاثات من مجموعة كبيرة من

(27) Moss et al. (2010), p. 748.

الأنشطة الاجتماعية والاقتصادية التي حددت انبعاثات غاز الاحتباس الحراري والأهباء (aerosols) الجوية، بما في ذلك التركيبة السكانية والنمو الاقتصادي واستخدام الطاقة. ويصف كل سيناريو تطور إنمائي بديل ويتوزع بين مجموعة أو أربع مجموعات من سيناريوهات الانبعاثات:

أ1: نمو اقتصادي سريع مع بلوغ رقم السكان العالمي ذروته في عام 2050، والدخول السريع لتكنولوجيات جديدة وأكثر كفاءة؛

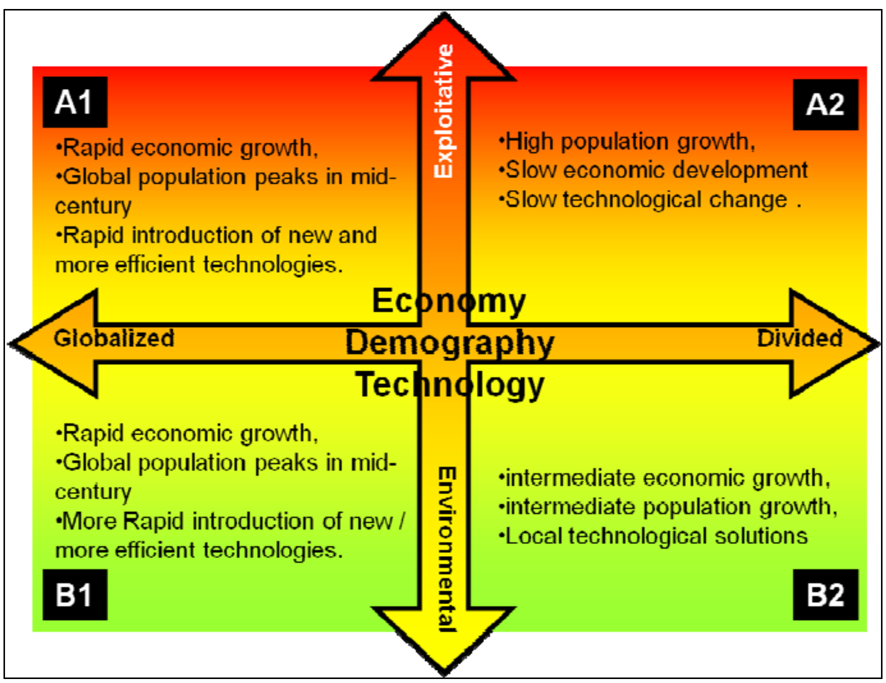
أ2: عالم غير متجانس، يتزايد فيه عدد السكان العالمي باستمرار؛ يتركز النمو فيه على الصعيد الإقليمي ويكون أكثر تجزئة وبطءاً من النمو في المقولات الأخرى؛

ب1: عالم متقارب، فيه عدد السكان نفسه كما في المقولة أ1، لكن تتحول فيه البنى الاقتصادية بسرعة نحو اقتصاد فيه تكنولوجيات أنظف وأكثر كفاءة ولا تحتاج إلى موارد كثيفة؛

ب2: اقتصاد عالمي مجزأ نسبياً مع مزيد من التركيز على حلول التنمية المستدامة المحلية. تستمر مستويات السكان في الزيادة لكن بوتيرة أبطأ من أ2. أما مستويات التنمية الاقتصادية فمتوسطة.

تصف سيناريوهات الانبعاثات أ1 وأ2 اقتصاداً أكثر تلوثاً إذا ما قورنت بسيناريوهات المجموعتين ب1 وب2. وفي كل مجموعة، تفترض أ1 وب1 توفر العولمة في الاقتصاد، في حين تمثل أ2 وب2 اقتصاداً عالمياً أكثر تجزئة. ويظهر الشكل 8 العلاقة بين مختلف مجموعات السيناريوهات.

الشكل 8- مجموعة سيناريوهات التقرير الخاص بسيناريوهات الانبعاثات الذي استند إليه التقرير التقييمي الرابع(28)



(28) ESCWA (2009).

2- مسارات التركيز التمثيلية

أظهرت التجربة أن تطبيق السيناريوهات المتوفرة في التقرير الخاص بسيناريوهات الانبعاثات أدى إلى التباس بين مجتمعي العلماء وصانعي السياسات. يعود هذا الالتباس إلى أن الباحثين في المناخ رأوا أن التقرير الخاص يمثل سلسلة من التطورات الاجتماعية والاقتصادية لمحاكاة مزيج مختلف من الأنشطة البشرية في نظام عشوائي، في حين أن تحليل السياسات سعى إلى تحديد ما، أو من وراء كل واحدة من هذه المقولات.

فقررت الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيّر المناخ فصل نمذجة المناخ عن تقييم السياسة عند إعداد التقرير التقييمي الخامس. ونظمت ورشة عمل في أيلول/سبتمبر 2007 لمناقشة وضع مجموعة جديدة من السيناريوهات التي يمكن أن تغطي نطاقاً أكثر تمثيلاً من التوقعات المستقبلية. وفي إطار هذه العملية الجديدة، قاد مجتمع العلماء والباحثين الأكاديميين عملية وضع نهج جديد. وحصرت الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيّر المناخ دورها بتحفيز العملية وتقييم ما كتبه الأقران في هذا الموضوع لإدراجه في التقرير الخامس.

أدى هذا الجهد إلى وضع سلسلة من مسارات التركيز التمثيلية ينطوي كل منها على اتجاه نحو حدوث اختلال إشعاعي محدد جرى إدراجه في تطبيقات نمذجة المناخ. ونتيجةً لذلك، لم تفصل مسارات التركيز التمثيلية أنواع الأنشطة الاجتماعية الاقتصادية أو تقترح أسباب التغيير في تركيز انبعاثات غاز الاحتباس الحراري في الغلاف الجوي الذي أدى إلى الاختلال الإشعاعي. وبهذا الشكل، لا تقوم مسارات التركيز التمثيلية بأي افتراضات في ما يتعلق بالتغييرات في السياسة التي قد تؤثر على المناخ؛ بل تحدد نطاق الإختلالات التي يمكن أن تطرأ. وفي هذا الجهد تسهيل لعمل واضعي النماذج المناخية الذين يركزون اليوم على تأثير مستوى معين من الاختلال الإشعاعي على المناخ، من دون أن يضطروا إلى النظر في كيفية نمذجة التغيرات في سلوك البشر على مر الزمن.

وفي ما يتعلق بوضع النماذج المناخية، تشكل مسارات الاختلال الإشعاعي التي تعرضها مسارات التركيز التمثيلية نقطة الانطلاق الجديدة لتحليل تغيّر المناخ. ويمكن لمحللي السياسات والباحثين إعادة العمل انطلاقاً من هذه المسارات لمعرفة ما يسببها. وباستطاعة الباحثين، ضمن حد معين من الاختلال الإشعاعي، تحديد تركيز ثاني أكسيد الكربون المكافئ المرتبط بكل مسار تركيز تمثيلي واستنتاج نوع الانبعاثات التي تسببه. ويمكنهم أن يتركوا مهمة تحديد وتحليل السياسات التي تعيق هذا المستوى من الاختلال الإشعاعي أو تعززه لعلماء السياسة. يسمح هذا النهج بإجراء المزيد من الأبحاث في السيناريوهات الاجتماعية الاقتصادية الإقليمية التي تظهر في مناطق عدة من العالم، وبالتالي بتجنب تعميم السلوك البشري وأنماط الاستجابة في كافة أنحاء العالم. يمكن حينئذٍ محاكاة عدد من استجابات السياسة العامة في إطار مسار تركيز تمثيلي محدد لتحديد ما يؤدي أو يمكن أن يؤدي إلى حدوث إختلال إشعاعي في المستقبل.

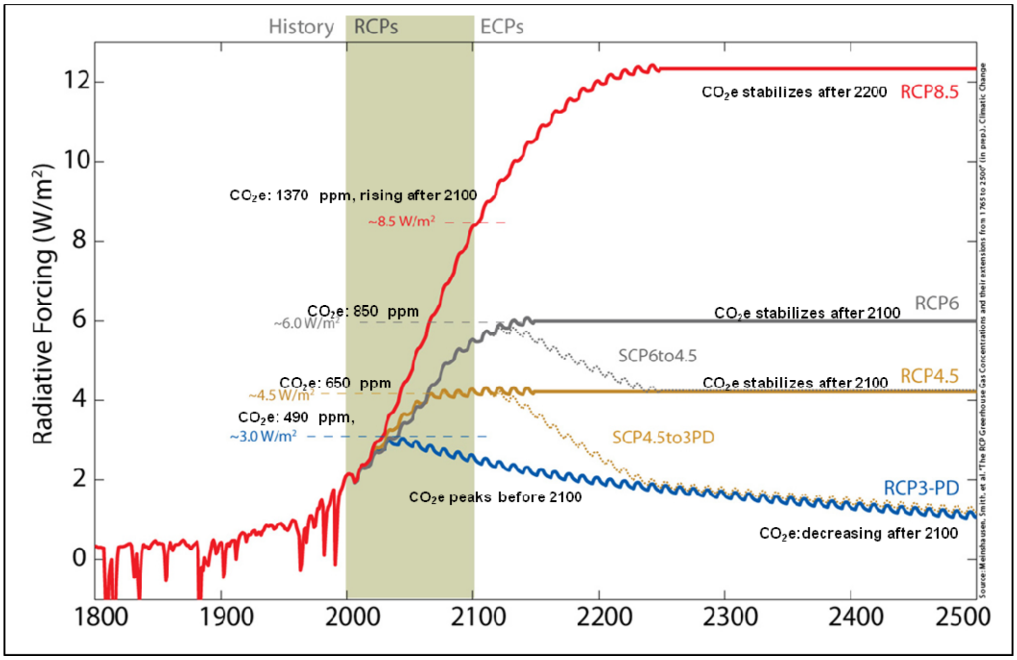
ويرى واضعو النماذج المناخية أن مسارات الإختلال الإشعاعي المفصلة في مسارات التركيز التمثيلية أبطلت سيناريوهات انبعاثات غاز الاحتباس الحراري وحلت محله. تتناسب هذه المسارات حالياً مع أربعة اختلالات إشعاعية يمثل كل منها مستويات قصوى مختلفة من غاز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، الناتج عن تطورات إنمائية مختلفة من الممكن أن تستوعب تأثير سياسات تخفيف الأثر(29).

---

(29) Van Vuuren et al. (2009) and Moss et al. (2010).

نتيجةً لذلك، يتحدد نطاق الإختلالات الإشعاعية بأربعة مسارات تركيز تمثيلية من المتوقع أن تتغير خطوطها العريضة قليلاً. لا يرجح معظم العلماء أن يتخطى الحد الأقصى للاختلال الإشعاعي المتوقع 8.5 واط/م^2، وأن يقل حده الأدنى عن 4.5 واط/م^2. وتسمى مسارات التركيز التمثيلية وفقاً لمستوى الاختلال الإشعاعي وتقاس بالواط في المتر المربع، وتسمى بالمسار 8.5، والمسار 6، والمسار 4.5، والمسار3 مع الحدين الأقصى والأدنى. وتوازي التغيُّرات في الاختلال الإشعاعي زيادة في انبعاثات غاز الاحتباس الحراري من تركيز لثاني أكسيد الكربون المكافئ كان يعادل 455 ج ف م في عام 2005 إلى ما يتراوح بين 490 و1370 ج ف م مع حلول عام 2100[30]. فمسارات التركيز الموسعة ليست سوى امتدادات لمسارات التركيز التمثيلية إلى ما بعد عام 2100[31]. وفي الشكل 9 تفصيل لذلك.

الشكل 9- مسارات التركيز التمثيلية والاختلال الإشعاعي البشري المنشأ[32]



يكمن الفرق في مسارات التركيز التمثيلية الأربعة في ما إذا كان الاختلال الإشعاعي سيبقى مستقراً أو يزيد أو ينخفض خلال فترة مستقبلية يمكن التنبؤ بها.

- يدل المسار 8.5 على الزيادة المتواصلة في الاختلال الإشعاعي التي ستتخطى 8.5 واط/م^2 مع حلول عام 2100، وتستمر في الازدياد لبعض الوقت. يشكل مسار التركيز هذا الحالة القصوى التي تنطبق في حال اتخاذ عدد قليل من تدابير التخفيف أو عدم اتخاذ أي منها؛

---

(30) IPCC (2008), p. 34.

(31) Meinshausen et al. (2011).

(32) المرجع نفسه.

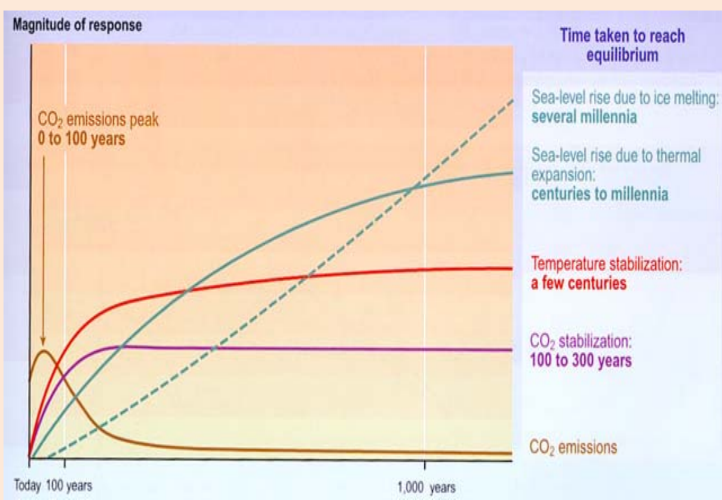
- يصل المسار 6 إلى 6 واط/م^2 في عام 2011 ثم يستقر عند مستوى أعلى. وثمة مسار بديل للمسار 6 يبلغ ذروته عند 6 واط/م^2 في العام 2100 ومن ثم ينخفض ليستقر عند 4.5 واط/م^2. يعطي المسار البديل فكرة عن تأثير تدابير السياسة العامة المتأخرة والزخم المناخي (climate momentum)؛

- يشير المسار 4.5 إلى استقرار في الإختلال الإشعاعي قرابة منتصف القرن الواحد والعشرين وحتى آخره، بعد أن كان بلغ ذروته عند 4.5 واط/م^2. وثمة مسار بديل للمسار 4.5 يبلغ ذروته أي 4.5 واط/م^2 قبل عام 2100 ثم ينخفض بعد هذا التاريخ ليتبع المسار 3 مع الحدين الأقصى والأدنى. يدل ذلك على إمكانية أن يستجيب المناخ بشكل متأخر إلى تدابير التخفيف، وعلى تأثير تدابير السياسة العامة المتأخرة والزخم المناخي (climate momentum)؛

- يمثل المسار 3 مع الحدين الأقصى والأدنى سيناريو الانبعاثات المكيفة لأنه يأخذ في الاعتبار الآثار الإيجابية لإجراءات التخفيف والحد من الانبعاثات على تركيزات غاز الاحتباس الحراري وبالتالي على الاختلال الإشعاعي. أما الحدان الأقصى والأدنى فينتجان عن التنفيذ المباشر والصارم لإجراءات التخفيف. وهذا لا ينفي إمكانية بلوغ الاختلال الإشعاعي ذروته عند 3 واط/م^2 قبل العام 2100 بسبب الزخم المناخي (climate momentum)، لكنه سينخفض بعدئذ. ويسمح هذا المسار بالبحث في قابلية انعكاس تغيّر المناخ وآثاره.

زخم تغيّر المناخ

من أسباب التغير الحالي في المناخ تأخر رد فعل المناخ إلى انبعاثات غاز الاحتباس الحراري في الماضي، التي أدت إلى زيادة كثافة هذا الغاز مع مرور الوقت. وهذا ما يظهر أن تغيّر المناخ يكتسب زخماً (momentum) مع مرور الزمن، بغض النظر عن كمية الانبعاثات الحالية في الغلاف الجوي. يعود ذلك إلى القصور الذاتي الحراري للماء، الذي يجعل المحيطات (التي تغطي 70 في المائة من سطح الأرض) تخزن الطاقة الفائضة وتبثها بوتيرة أبطأ من وتيرة الغلاف الجوي.



وبسبب القصور الذاتي الحراري في المحيطات، من المحتمل أن يتكيف المناخ ببطء مع أي من جهود التخفيف. وفي الشكل أعلاه شرح لنتائج هذه العلاقات. وحتى لو انخفضت انبعاثات غاز الاحتباس الحراري وبلغت كمية ثاني أكسيد الكربون المكافئ حدها الأقصى في السنوات المائة المقبلة، فمن المرجح أن يستمر زخم المناخ في الازدياد، مع استمرار ارتفاع حرارة الهواء السطحي لمدة قرن قبل أن تستقر. وسيتواصل التمدد الحراري في المحيطات، ولن يتوقف ذوبان الصفائح الجليدية فوراً. وسيواصل هذان العاملان مساهمتهما في ارتفاع مستويات البحر وإحداث تغييرات في المناخ.

وبالنظر إلى التقدم البطيء في امتثال العالم مع جهود خفض انبعاثات غاز الاحتباس الحراري، قد يشكل المسار 4.5 مساراً تركيزياً ذا حد أدنى معقول. أما المسار 8.5 فيشكل مسار التركيز المعقول ذا الحد الأقصى، على ضوء الجهود المبذولة للحد من زيادة انبعاثات غاز الاحتباس الحراري. وقد يتناسب اختيار

هذين المسارين مع الجهود التي تبذل في إطار برنامج تجربة تقليص النطاقات الإقليمية المنسق (CORDEX) الذي وافق أعضاؤه على تشغيل النماذج المناخية العالمية بهذه المسارات[33]. كذلك اختير المساران 4.5 و8.5 واعتبرا أولويين في عمليات محاكاة نماذج الدوران العالمية ضمن مشروع مقارنة النماذج المتقارنة نظراً إلى أنها تتوافق بشكل تقريبي مع السيناريو ب1 والسيناريو أ1 في التقرير الخاص بسيناريوهات الانبعاثات الذي تضعه الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيّر المناخ[34].

محور التركيز: مسارات التركيز التمثيلية

لتحديد موقع المنطقة العربية من مجتمع نمذجة المناخ العالمي، ومن الحوار العالمي حول مسارات التركيز التمثيلية، ومن المفاوضات العالمية بشأن العقد المقبل، لا بد من:

- استخدام مسارات التركيز التمثيلية كأساس لعرض العوامل الاجتماعية الاقتصادية البشرية خلال نمذجة المناخ، بدلاً من سيناريوهات الانبعاثات التي كانت تستخدم سابقاً والمشروحة بالتفصيل في التقرير الخاص بسيناريوهات الانبعاثات؛
- تحديد أي من المسارات هو الأكثر أهمية في تطبيق النماذج المناخية الإقليمية في المنطقة العربية بناءً على اعتبارات فنية وذات صلة بالسياسة العامة؛
- معرفة أي من نماذج الدوران العالمية متوفر على المدى القريب لإدراج النماذج المناخية الإقليمية للمنطقة العربية فيه وتحقيق نتائج على المدى القصير؛
- النظر في العمل الذي يقوم به المجتمع الدولي بشأن المسارات التي أطلقت مؤخراً للاستفادة من الدروس المكتسبة والبناء عليها، بما في ذلك جهود تجربة تقليص النطاقات الإقليمية المنسق؛
- تحديد مسار أو مسارات التركيز التمثيلية التي ستستخدم كأساس ينطلق منه تقييم أثر تغيّر المناخ على الموارد المائية وقابلية تأثر القطاعات الاجتماعية والاقتصادية في المنطقة العربية، بناءً على الاعتبارات الآنفة الذكر والقيود في الوقت والموارد.

وعلى الأعضاء في تجربة تقليص النطاقات الإقليمية المنسق والباحثين الآخرين المشاركين في عملية تقليص النطاقات الديناميكية أن ينظروا في توفر النواتج التي توصل إليها واضعو نماذج الدوران العالمية لمسارات التركيز التمثيلية هذه. وعليهم النظر أيضاً في مدى التوافق الفني لنماذج الدوران العالمية التي تُشغل للتوصل إلى توقعات بناءً على مسارات تركيز تمثيلية ونماذج مناخية إقليمية قد يرغبون بإدراجها فيها.

هاء- التعامل مع عدم اليقين العلمي

على صانعي السياسات المناخية التعامل مع حالات عدم اليقين ومراعاة كل من المفاجآت المناخية وتأثير التقديرات الناتجة عن محدودية النمذجة الحاسوبية من الناحية العملية وتوفر البيانات[35]. وفي هذه الوثيقة عرض لنهجين من النهج الرئيسية في التعامل مع حالات عدم اليقين: استخدام وحدات النماذج المتنوعة لتضييق هامش عدم اليقين، وتصنيف حالات عدم اليقين بناءً على أنواعها.

---

(33) Gutowski (2010).

(34) Giorgi et al. (2009), p. 179.

(35) Moss et al. (2010), p. 747.

1- المفاجآت المناخية

يعتبر كل من يضع نماذج لنظم معقدة أن "المفاجآت" هي أحداث محتملة تقع خارج نطاق الإمكانيات التي جرى النظر فيها. ويرى علماء المناخ أن المفاجآت المناخية تعود إما إلى استجابة النظام المناخي غير المنتظمة للاختلالات البشرية المنشأ، أو إلى أحداث خاصة يصعب توقعها لوضع نماذج لها.

ولأن المناخ متقلب بطبيعته، فهو لا يستجيب بشكل منتظم إلى الاختلال الإشعاعي. تظهر هذه الاستجابات كنقاط تحول مناخي أو من خلال تبعية النواتج المناخية للمسار.

يمكن التكلم على نقاط التحول المناخي عندما ينتقل المناخ إلى نقطة توازن جديدة. والمناخ في حالة تغير اليوم، ويجرى وضع نماذج له بنطاق جغرافي محدد تكون فيه جميع العمليات والاختلالات الإشعاعية الرئيسية مفهومة جيداً نسبياً. يمكن تصوير ذلك من خلال إدخال متغيرات مناخية أساسية واستنتاج مجالات لنواتج النماذج، كما يظهر في الجدول 2. ويمكن تطوير العلاقات وفهمها جيداً بالاستناد إلى مجموعة متسقة من الافتراضات، حتى في حال طرأت ظواهر مبالغ في تطرفها على غرار ذوبان الغطاء الجليدي في غرينلاند[36]. أما إذا استمر تركيز الانبعاثات ومعدل الاختلال الإشعاعي بالارتفاع، فقد يبلغان حداً خطراً لم يسبق أن بلغاه، ومن الممكن أن يتغيّر المناخ فجأة. وهذا ما حدث مرات عدة في الماضي، ويظهر من العودة إلى تاريخ مناخ الأرض أن هذه التحولات تكون في العادة حادة، وقد تحدث خلال فترة زمنية قصيرة جداً. ومما لا شك فيه أن التنبؤ بنقاط التحول هذه عملية شديدة الصعوبة.

ومن مصادر عدم اليقين الأخرى المهمة تبعية المناخ للمسار، حيث يمكن أن تكون سرعة التغيير أكثر أهمية من حجمه. فالذوبان السريع للغطاء الجليدي في غرينلاند مثلاً يمكن أن يؤدي إلى انهيار مفاجئ في النظم البيوفيزيائية بدلاً من أن يؤدي إلى اضمحلاله تدريجياً. ويمكن أيضاً أن يؤدي إلى إيقاف تيار الخليج (Gulf Stream) بدلاً من إبطائه. قد يؤدي ذلك إلى سلسلة من الآثار السلبية التي يصعب على النماذج المناخية الحالية وصفها. وعلى المستوى العالمي، تشير تبعية المناخ للمسار إلى إمكانية أن يؤدي الارتفاع السريع في درجات حرارة العالم إلى تضخيم بعض الآثار المناخية[37].

يستند النوع الآخر من المفاجآت المناخية إلى التخمين، وهو نوع غير مفهوم بشكل واضح، وإن كان من الممكن تصميم العمليات الأساسية التي تتحكم بنتائج التخمين المتوقعة بالشكل المناسب. وتبقى الدراسات القائمة على التخمين صعبة الإنجاز، إذ لا يمكن تحديد الاحتمالات كما كانت الحال مع التغيرات غير المتوقعة في النظام المناخي في المحيط الهادئ. وبناء على ما يتوفر من معرفة، فإن القرار بالنظر أو عدم النظر في هذه الأحداث المحتملة يعود للسياسة العامة.

2- تخطي العوائق الرياضية والفيزيائية التي تعترض النماذج

يواجه العلماء عند حوسبة مجالات نواتج النماذج المناخية عائقاً عملياً في برمجة العمليات المناخية يعود لعدم توفر حواسيب لديها ما يكفي من الطاقة والقدرة على التخزين. فيحاولون حل هذه المشاكل من خلال إنجاز عروض تقريبية لعمليات العالم الحقيقي ذات الصلة بمعادلات الطاقة والزخم (momentum) وحفظ الكتل.

(36) IPCC (2007b).

(37) ESCWA (2010b).

أما من الناحية العملية فيتطلب تحويل المعادلات إلى نماذج حاسوبية تقريبات رياضية وفيزيائية. ونظراً إلى ازدياد عدد العمليات التي تتضمنها نماذج الدوران العالمي، كبرت النظم بشكل فعال وأصبحت تتألف من عناصر متفاعلة يحاكي كل منها جزءاً مختلفاً من النظام المناخي. ويمكن إيجاد حل رياضي لهذه النظم أو وضع معايير لها:

- يتم اللجوء إلى التقريبات الرياضية عندما تستبدل المعادلات ذات المتغير الواحد أو المتغيرين التي تصف مختلف التدفقات بمعادلات منفصلة ذات فرق متناهٍ تؤدي إلى قيمة رقمية. يجد العلماء حلولاً رقمية للعمليات التي تعرف آلياتها جيداً كعمليات نقل الحرارة والماء والزخم (momentum) أفقياً. ويعود السبب في إجراء تقريبات إضافية إلى أن الحل الرقمي يعتمد على مقياس زمني اختياري يقيد دورات الحوسبة المختلفة. ويمكن التوصل إلى تقريبات إضافية أخرى عندما يتم التوصل إلى حل رياضي للمعايير المترابطة عبر استخدام الوظائف التكرارية، مما يتطلب المزيد من التكرار الإلزامي القائم على حلقات، المحدد أحياناً بفترات زمنية معينة تبدأ قبل أن ينطلق البرنامج؛
- أما عمليات وضع المعايير فيجرى اللجوء إليها عندما تستخدم التقريبات الفيزيائية للعمليات التي لا يفهم تطورها بوضوح، أو التي تتضمن الكثير من الموارد فتصعب برمجتها. تعتمد هذه العمليات على مزيج من التجربة والتحليل الرياضي الدقيق لتقييم تأثيرها والأخذ به. تلك هي بشكل عام حالة العمليات التي تعيد توزيع الحرارة والماء والزخم عمودياً، والعمليات التي تجرى على مستوى الشبكات الفرعية (داخل خانة شبكة) وهي صغيرة جداً لحلها رياضياً أو من خلال اعتماد المقاييس الزمنية الشديدة السرعة.

وتستخدم في إطار النماذج المختلفة تقنيات رقمية وفيزيائية عديدة للتوصل إلى قيم لمختلف فئات المتغيرات المناخية وتحديد مجالات لنواتج النماذج المناخية تغطي الغلاف الجوي والمحيطات وسطح الأرض.

ويقسم الغلاف الجوي إلى نطاقين فرعيين هما الغلاف الجوي عند السطح والغلاف الجوي العلوي، يتميز كل منهما بتركيبته. تركز عمليات محاكاة المناخ عادة على التروبوسفير وعلى الطبقة السفلى من الستراتوسفير اللتين تشكلان طبقة تتراوح سماكتها بين 20 و30 كم وتتضمن ما لا يقل عن 95 في المائة من كتلة الغلاف الجوي وكل ما تتضمنه من بخار الماء تقريباً[38]. تتأثر هذه الطبقة بالمستويات العليا في الغلاف الجوي، وهي في الوقت نفسه الأكثر أهمية لدراسة معظم الظواهر الجوية[39]. ونظراً للفرق بين المقاييس، تتعامل النماذج المناخية بشكل مختلف مع التحركات الأفقية والعمودية التي تتحكم بالمناخ العالمي والإقليمي.

ومن الممكن أن يكون للظواهر الصغيرة النطاق كالعواصف الرعدية والاضطرابات أثر واسع النطاق على المناطق العليا من الغلاف الجوي من خلال نقل الزخم. وتتكون السحب عادةً في الغلاف الجوي على مستوى الشبكات الفرعية فتؤثر على ظواهر معينة كتكوين السحب العالية والمنخفضة وتبددها، وانتقال الحرارة في السحب الركامية والاضطرابات. ونظراً لصعوبة حساب هذه العمليات، لا يزال العلماء يعملون بكد لحساب غلاف السحاب الجزئي داخل خانة الشبكة. يتوقع كل نموذج كميات السحاب من خلال حالة خانة الشبكة من الناحيتين الديناميكية الحرارية والهيدرولوجية في فترة زمنية محددة، أو يحسب كسر السحاب كمتغيرة استباقية تتطور مع الوقت. وفي الحالتين كلتيهما، تعتمد النماذج المناخية على وضع معايير على نطاق الشبكات

(38) بخار الماء هو غاز الاحتباس الحراري الأكثر مساهمة في الاحترار العالمي.

(39) Pawson et al. (2000).

الفرعية للعمليات التي تشمل تكون السحاب، ولهذه العملية تأثير كبير عند تصغير النماذج لتتناسب مع النطاقات الإقليمية الصغيرة.

ويقترن المحيط بنماذج الغلاف الجوي والجليد من خلال عمليات تتحكم بتبادل الحرارة والملوحة والزخم في ما بينها. ويصمم نموذج المحيط بطريقة تشبه تصميم نموذج الغلاف الجوي، ويكون البعد الأفقي أكبر من البعد العمودي، أي بوجود فاصل بين العمليات التي تتحكم بالتدفقات الأفقية والعمودية. وخلافاً للغلاف الجوي، يجب أن تراعي نماذج المحيط حدوداً معقدةً ثلاثية الأبعاد تتضمن أحواضاً مغلقة ومضائق ضيقة وأحواضاً بحرية وحيوداً. وتبرمج المحيطات من خلال وضع المزيد من المعايير التي تفرضها خصائص مياه البحر الديناميكية الحرارية الفريدة، وتعقد بعض العمليات التي تتحكم بالمحيط. هذه هي تحديداً حالة الاختلاط قرب السطح، حيث يمكن أن تجرى العمليات على نطاقات ضيقة جداً، كبعض سنتيمترات مثلاً.

وبالنظر إلى أن عملية وضع معايير الاختلاط على نطاق الشبكة الفرعية لديها تأثير في نقل الحرارة، فهي لا تأخذ في الاعتبار جميع الاختلافات أو التغيرات المكانية بين الحرارة والملوحة في مياه البحر. ولأن النماذج غير قادرة على الدلالة بدقة على التغيرات الحقيقية في حرارة المحيط، فهي لا تتعاطى بالشكل المناسب مع العمليات التي تتخلى من خلالها التيارات عن زخمها. فتكون النتيجة وضع نموذج للمحيط باعتباره سائلاً لزجاً لا يشبه الماء. يؤثر ذلك على دقة أنماط الدوران على امتداد مقاييس زمنية من عقود وأكثر، ولا سيما بسبب ما ينتج عن الاختلاط بين مياهه وامتصاصه للحرارة وتقسيمه إلى طبقات. يؤدي ذلك إلى هامش كبير من عدم اليقين في كيفية تفاعل المحيطات مع المناخ العالمي(40).

وجدير بالذكر أن التفاعل بين سطح الأرض والغلاف الجوي هو من أوجه التكامل في النظام المناخي. ففي الغلاف الجوي تحدث تدفقات الكتل، والطاقة وبخار المياه والزخم قرب الواجهة البينية. وثمة عمليات بيوفيزيائية وبيوجيوكيميائية تتحكم بعمليات إضافية كالنتح وامتصاص الكربون. تتأثر هذه التدفقات والعمليات الإضافية بما ينتج من تفاعلات بين الغلاف الجوي وسطح الأرض، ولها آثار كبيرة على النظام المناخي. وركزت نماذج الأرض بشكل أولي على الاقتران العمودي للسطح مع الغلاف الجوي الفوقي، لكنها توسعت لتأخذ في الاعتبار المزيد من تأثير النباتات المعقد على تبادلات الطاقة والرطوبة، والنتح، وتدفق المياه عبر أنظمة الجذور، وتدفقات ثاني أكسيد الكربون. وجرى توسيع بعض النماذج مؤخراً لتأخذ في الاعتبار تدفقات المياه أفقياً عبر مجاري الأنهار.

ومع استمرار الموارد الحاسوبية بالنمو، يقل اعتماد العمليات الحسابية (algorithms) على التقريبات. ويمكن اليوم تخطي القيود التي تواجه التقريبات بسهولة من خلال اللجوء إلى مجموعات النماذج المتعددة.

3- مجموعات النماذج المتعددة

في إطار مجموعات نماذج الدوران العالمية المتعددة، يؤدي حساب معدل وسطي لنواتج النماذج المختلفة إلى إلغاء الأخطاء في القيم التقريبية. ومن المتوقع أن ينجح هذا النهج من الناحية النظرية. فمع ازدياد عدد العمليات، ستكثر الخيارات وتتنوع لجهة أي منها يقع الاختيار عليه، وكيفية وضع معايير لها.

(40) Schopf et al. (2003).

يعتبر هذا النهج مناسباً لأهداف توقع حالة المناخ. ونظراً إلى أن الهدف المنشود هو توقع حالة النظام المستقبلية بأقرب ما يكون من الواقع (أي الصحة)، لا يعود التوافق مع النماذج الأخرى (الدقة) ضرورياً[41].

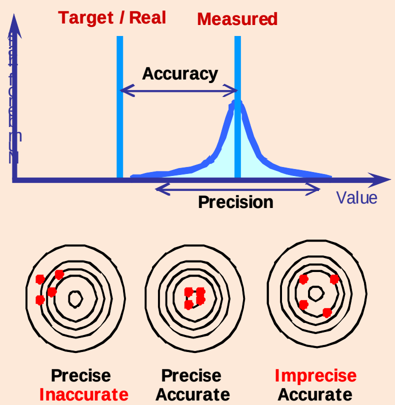
الصحة والدقة

التشديد على الصحة - درجة الصحة- أكثر أهمية في علم المناخ من التشديد على الدقة- أي مدى تكرار ناتج ما. يتضح الفرق بين الصحة والدقة في توزيع الاحتمالات العادي في الشكل المواجه.

تحدد الصحة مدى اقتراب كمية مقاسة أو محسوبة ما من قيمتها الحقيقية الفعلية، في حين تعتبر الدقة مجرد مقياس للتكرار يدل على مدى توصل قياسات أو حسابات معينة إلى نتائج مشابهة.

والهدف في إطار وضع النماذج المناخية، هو توقع حالة النظام المناخي المستقبلية بأقصى درجة ممكنة من الصحة. وبالنظر إلى التأثيرات العشوائية الواقعة على النظم المناخية، فإن تشغيل نموذج الدوران العالمي نفسه مرتين في ظروف مماثلة قد لا يؤدي إلى النتائج نفسها. غير أن تشغيل النموذج نفسه عدة مرات ضمن الفرضيات نفسها يمكن أن يزيد من صحته من خلال التوصل إلى سلسلة من النواتج المشابهة، مما يبرر اللجوء غالباً إلى مجموعات النماذج المتعددة.

نتيجة لذلك، تركز عملية وضع النماذج المناخية على الحد من عدم اليقين من خلال زيادة صحة النواتج



ولأن تقييم أي نموذج من النماذج لا يكتمل من دون تقدير بنيته، لا بد من اللجوء إلى المقارنة. وكثرت عمليات المقارنة بفضل وفرة نتائج المحاكاة في عدد من قواعد البيانات على غرار مشروع مقارنة النماذج المرتبطة (Coupled Model Intercomparison Project CMIP).

وبشكلٍ عام، قد لا يكون التقييم الذي يركز على جوانب محددة من المناخ كافياً، وعلى الباحثين الاتفاق على الجوانب المناخية التي يجب محاكاتها للتحقق من إمكانية الوثوق بالتوقعات المستقبلية. فالنموذج المناخي الذي يحاكي بشكل واقعي المتساقطات حالياً في حوض النيل قد لا يؤدي بالضرورة إلى أكثر التوقعات ثقة للتساقطات المستقبلية في المنطقة، لأن معظم الأمطار فيها تعتمد على التغيرات المتوقعة في المنطقة الاستوائية من المحيط الهادئ.

والتقييم الذي يأخذ في الاعتبار مواطن القوة والضعف في نموذج ما يمكن أن يوفر التوجيه الكافي. وبدأ الباحثون بوضع مقاييس تمكنهم من التقييم الموضوعي لقدرة النماذج على محاكاة مجموعة من الخصائص المناخية الملاحظة باستخدام متوسطات المركبات المناخية في أواخر القرن العشرين كمرجع. وكانت قاعدة بيانات مشروع مقارنة النماذج المرتبطة في مرحلتها الثالثة في عام 2007 وكانت تتضمن أكثر من 35 تيرابايت من البيانات المناخية اليومية المحفوظة التي تغطي مجموعة متنوعة من الفترات الزمنية. وتتضمن المحفوظات إلى جانب الاختبارات ذات الصلة بالتقريرين التقييمين الرابع والخامس مجموعة من بيانات

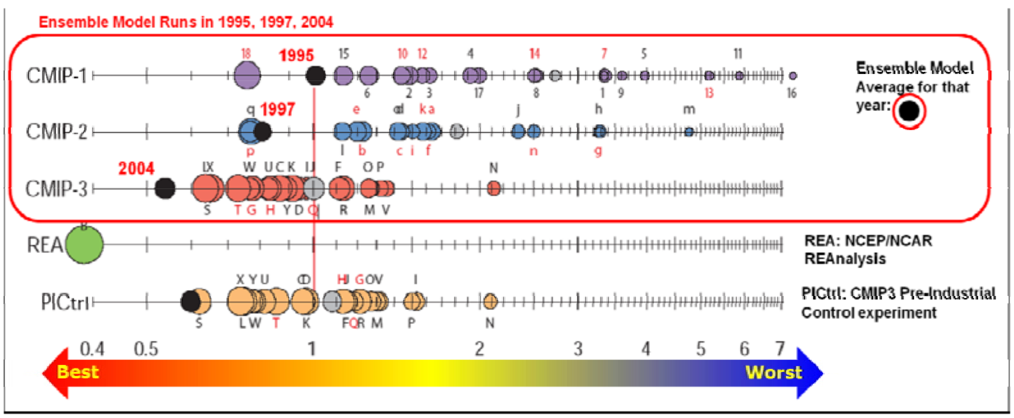
(41) ESCWA (2009).

المراقبة التي تغطي فترة من الزمن بدأت قبل النهضة الصناعية وصولاً إلى اليوم، واختبار مناخ القرن العشرين الذي غطى الفترة الممتدة من عام 1850 حتى اليوم، واختباراً لحساسية المناخ لمعرفة كيفية استجابته إلى مضاعفة مستويات ثاني أكسيد الكربون.

وكانت مجموعة البيانات تتضمن في ذلك الوقت بيانات مناخية يومية من 22 نموذجاً من مجموعة متنوعة من البلدان والمؤسسات. مكنت قاعدة البيانات هذه الباحثين من قياس أداء النموذج بطريقتين: من خلال المقارنة بين قدرات النماذج المختلفة على تقييم المناخ الحالي ومن خلال تقييم مجمل التقدم في وضع النماذج المناخية ومدى صلاحية استخدام مجموعات النماذج المتعددة.

وجرى التحقق من صلاحية منهجية مجموعات النماذج المتعددة من خلال مقارنة جوانب مناخية كتبت فيها ملاحظات كافية مع نواتج عدد من مجموعات النماذج المتعددة التي أدت إليها المراحل الأولى والثانية والثالثة من مشروع مقارنة النماذج المرتبطة، أي في الأعوام 1995 و1997 و2004. وأظهرت المقارنة كما يدل الشكل 10 أن أداء مجموعة نماذج المرحلة الثالثة (المشار إليها بالنقطة السوداء) بدءاً بنموذج المجموعة الأحدث، كان الأفضل من أي نموذج فردي.

الشكل 10- تقييم المهارات النسبية للنماذج الفردية في المرحلة 3 من مشروع مقارنة النماذج المرتبطة[42]



وتحسنت عملية وضع نماذج المجموعات مع مرور الزمن، فكان أداء المرحلة الثانية أفضل من أداء المرحلة الأولى، وأداء المرحلة الثالثة أفضل من الاثنتين[43]. وتتوفر النماذج التالية في محفوظات المرحلة الثالثة:

- BCCR-BCM2.0، (مركز بيوركنز للبحوث المناخية في النرويج)؛
- CGCM3.1، المركز الكندي لنمذجة المناخ وتحليله (كندا)؛
- CSIRO-Mk3.0، البحث في الغلاف الجوي (أستراليا)؛
- CNRM-CM3 of Météo، المركز الفرنسي الوطني للأبحاث في الأرصاد الجوية (فرنسا)؛

---

(42) Gleckler et al. (2008), p. 8 and p. 20.

(43) Reichler and Kim (2008) and Gleckler et al. (2008).

- ECHO-G، حصيلة جهد مشترك بين معهد الأرصاد الجوية في جامعة بون (ألمانيا) ومعهد بحوث الأرصاد الجوية في كوريا؛
- GFDL-CM2.0 and GFDL-CM2.1، مختبر ديناميكيات السوائل الجيوفيزيائية (الولايات المتحدة الأمريكية)؛
- GISS-AOM, GISS-EH, and GISS-ER، الإدارة الوطنية للملاحة الجوية والفضاء الناسا/معهد غودارد للأبحاث الفضائية؛
- FGOALS-g1.0 LASG، معهد الفيزياء الجوية (الصين)؛
- INM-CM3.0، معهد الرياضيات الرقمية (روسيا)؛
- IPSL-CM4، معهد بيار سيمون لابلاس (فرنسا)؛
- MIROC3.2 (hires and medres)، مركز البحث في النظام المناخي في جامعة طوكيو وJAMSTEC (اليابان)؛
- MRI-CGCM2.3.2، معهد البحوث في الأرصاد الجوية (اليابان)؛
- ECHAM5/MPI-OM، معهد ملكس بلانك للأرصاد الجوية (ألمانيا)؛
- CCSM3 and PCM، المركز الوطني للبحوث الجوية (الولايات المتحدة الأمريكية)؛
- UKMO-HadCM3 and UKMO-HadGEM1، مركز هادلي لتوقع المناخ ودراسته التابع لمكتب مات (المملكة المتحدة)[44].

ومع التحسن المستمر في النماذج المناخية، أصبح من الضروري تحديد كيفية تأثير أي تغيرات مستقبلية في التصميم على الأداء العام. الطريقة المثلى لذلك هي من خلال التقييم المستمر لأداء النموذج على أساس مجموعة كبيرة من المقاييس، بالإضافة إلى إيجاد مؤشر واحد لمجمل المهارات (overall skills)[45]. يتحقق ذلك من خلال مقارنة نواتج نماذج الدوران العالمية بجوانب مناخية دوّن ما يكفي من الملاحظات بشأنها. تضمنت هذه الملاحظات تدابير إحصائية ذات خطأ نسبي تشير إلى التوافق الكبير بين مجالات نواتج النماذج المناخية (الجدول 2) والملاحظات. والاختلافات بين البيانات المناخية الناتجة عن المحاكاة وتلك الناتجة عن الملاحظة تؤدي إلى تصنيف النماذج الفردية في درجات، تحسب بناءً على معدل وسطي للأخطاء النسبية في كافة المجالات التي جرى النظر فيها.

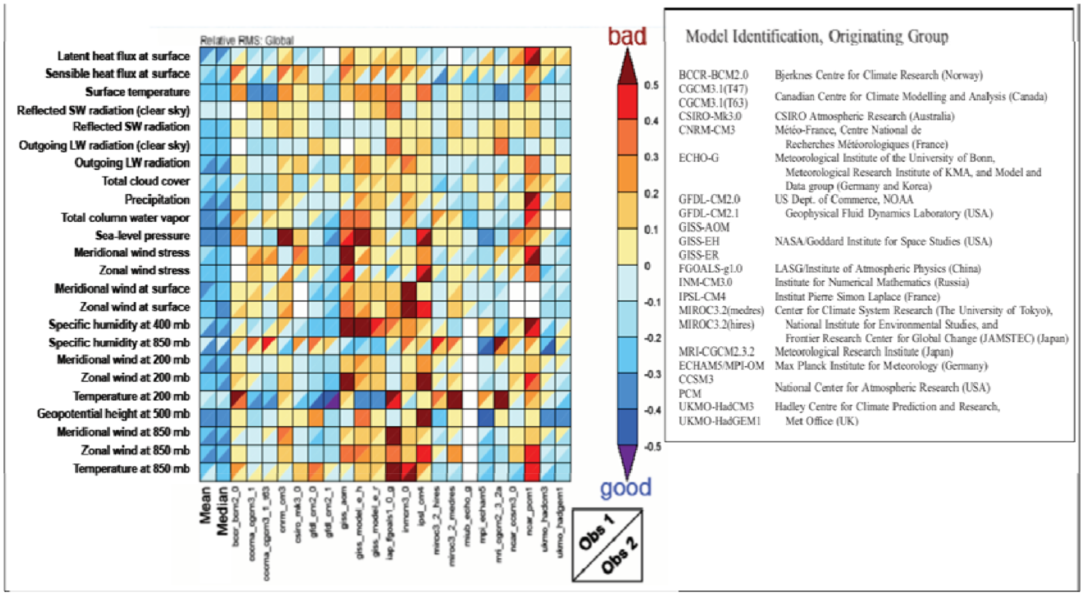
وفي الشكل 11 مقارنة بين مجالات نواتج عدد من نماذج الدوران العالمية والقياسات المناخية. ويمكن الحد من الأخطاء على المدى البعيد من خلال استخدام القياسات سواء لتحسين العمليات المبرمجة، أو لتنقيح معاييرها. وتؤدي مقارنة النماذج ببعضها البعض إلى استنتاج حقيقة مثيرة للاهتمام: قد تؤدي النماذج ذات نسبة الخطأ الدنيا إلى نتائج أفضل من النتائج المتوسطة في وضع المتغيّرات الفردية؛ إلا أن النموذج ذا الحد الأدنى من مجموع الأخطاء قد لا يشكل بالضرورة الخيار الأفضل للتطبيق الفردي.

---

(44) Gleckler et al. (2008).

(45) Gleckler et al. (2008), p. 18 and p. 20.

الشكل 11- مقارنة قدرة نماذج الدوران العالمية على التوقع بالنسبة إلى بعض المعايير الرئيسية(46)



تعزز هذه النتيجة ثقة العلماء في إمكانية تصوير تعقد النظام المناخي الحقيقي بمزيد من الصحة من خلال النماذج المتعددة. وبعد أن تأكدوا من أن مجموعات النماذج المتعددة أفضل أداءً من أحسن النماذج الفردية، أصبح بإمكانهم استخدامها لتوقع المناخ المستقبلي(47) بمزيد من الواقعية.

ولأن هذه التوقعات تعتمد على صحة البيانات المناخية وعمليات إيجاد حلول، عليهم أن يركزوا على معالجة مشكلة عدم اليقين على النطاق العالمي، وعلى جمع بيانات مناخية محلية وتخزينها.

4- تصنيف عدم اليقين وفقاً للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيّر المناخ

يدرك العلماء أن التحسن الكبير في أداء النماذج الحاسوبية لا يذلل عقباتٍ أساسية هامة، ولا سيما أن عدم اليقين عنصر ملازم للعلوم الفيزيائية. ففي الرياضيات مثلاً، تستخدم العمليات الحسابية لإثبات عدم صحة نظرية ما. أما النظريات الفيزيائية فتقوم على فرضيات لا يمكن دحضها إلا إذا أثبت الاختبار أن نتائجها غير صحيحة. ولأن صحة النظريات الفيزيائية مشوبة بعدم اليقين، يلجأ صانعو السياسات إلى أحد النهجين التاليين: يضعون حداً لعدم اليقين أو يحاولون التعامل معه.

ففي الدراسات العلمية المراقبة، يمكن تجاوز عدم اليقين من خلال عزل النظام موضوع الدراسة أو عناصره، ثم تحديد العناصر غير المعروفة الواحد تلو الآخر ودراسته وإيجاد حل له. أما في دراسة تغيّر المناخ، فإن تعقد النظام الشديد يحول دون فصل عناصره الأساسية عن بعضها البعض. فيبقى الخيار العملي الوحيد هو التعامل مع حالات عدم اليقين. فيصمم العلماء نماذج أو عروض للواقع ويستخدمونها للبحث في

(46) Reichler and Kim (2008) and Gleckler et al. (2008).

(47) Buser et al. (2009), p. 850.

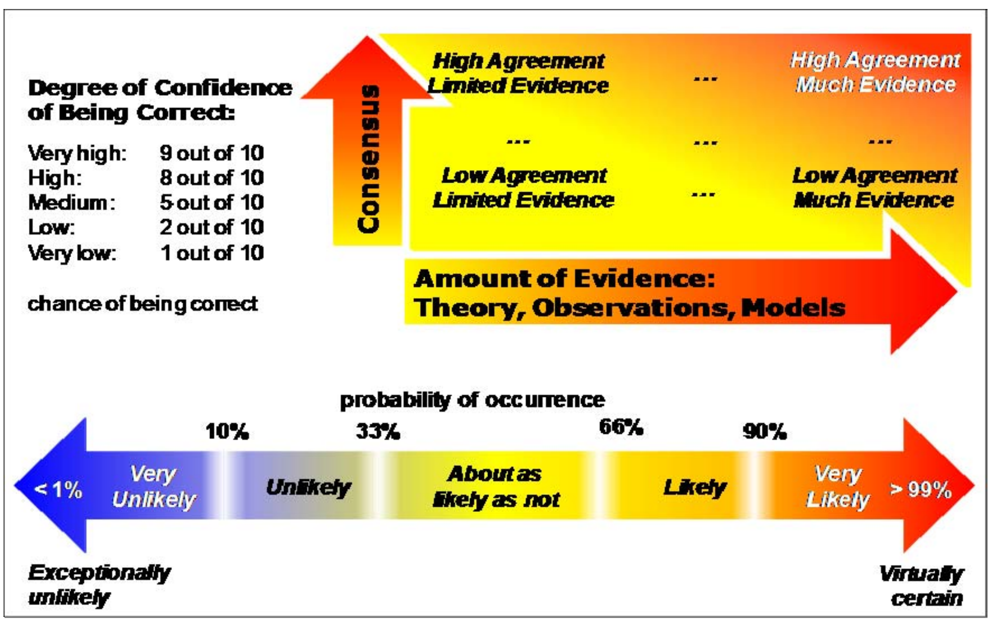
كيفية استجابة النظام لعدد من الاضطرابات في إطار مختلف الضغوطات التي تتسبب بها مسارات التركيز المختلفة.

ويواجه علماء المناخ بالرغم من ذلك تحدياً مزدوجاً: فبالإضافة إلى قلة السيناريوهات التي يمكن أن يجروا المقارنات بناءً عليها، عليهم أن يدركوا أن عدم اليقين يزداد مع كل مستوى من مستويات القياس وكل دورة من دورات الحوسبة[48]. ويزداد عدم اليقين مع تعاقب دورات الحوسبة، فينشأ ما يعرف بانفجار عدم اليقين الذي يتألف من المستويات الثلاثة التالية:

- يتضمن المستوى الأول كافة حالات عدم اليقين في النظام المناخي، بما في ذلك المفاجآت أو الأحداث المناخية التي لا يمكن تحديد احتمالات وقوعها؛
- المستوى الثاني هو مجموع الحالات المصنفة حالات عدم تيقن من وجهة نظر الخبراء؛
- المستوى الثالث والأصغر يتضمن حالات عدم اليقين المدروسة التي تسمح النماذج الحاسوبية للخبراء بتضييق هامش الريبة فيها.

وفي هذا المستوى الثالث ينشط علم المناخ لإعلام صانعي السياسات باحتمالات وقوع أحداث محددة. وارتأت الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيّر المناخ أن تركز على إدارة عدم اليقين من خلال وضع تصنيف لحالاته يحدد درجات الشك في مختلف النواتج المناخية، كما يظهر في الشكل 12[49].

الشكل 12- مستويات الفهم والثقة وفقاً لتحديد الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيّر المناخ[50]



---

(48) ESCWA (2009).

(49) Moss and Schneider (2000), p. 38.

(50) IPCC (2010).

لا بد من الإشارة إلى أن تصنيف الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيّر المناخ لعدم اليقين لا يحل محل الأدوات الأخرى للحد منه، كتطبيق مجموعات النماذج المتعددة عند وضع نماذج مناخية أو هيدرولوجية. فالتصنيف يقيس مستوى عدم اليقين، ويساعد الباحثين على تحديد مدى الثقة التي يمكن أن يضعوها في النواتج، ويرجح احتمالات وقوع أحداث مناخية في المستقبل.

واو- الاتجاهات المستقبلية في البحوث التي تتناول المناخ العالمي

ازدادت قدرات نماذج الدوران العالمية منذ تقرير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيّر المناخ الأول نتيجة لازدياد المعارف العلمية والتقدم في تكنولوجيا المعلومات. يرتبط معظم هذا التقدم بتصميم النماذج الحاسوبية واستحواذ البيانات. وسمح التقدم في علم المناخ لبرامج النماذج برسم صورة أوضح لحالة المناخ المستقبلي. وسمحت الحواسيب الأكثر تقدماً للعلماء بمحاكاة جزء كبير من عمليات النظام المناخي التفاعلية والمتكررة.

1- <u>أحدث ما توصلت إليه التكنولوجيا في وضع النماذج الحاسوبية</u>

استفاد معظم النماذج المناخية الرئيسية من التقدم على صعيد طاقة الحواسيب وتقنيات البرمجة وأصبح قادراً على وصف تفاعلات مختلف نظم الأرض البيوفيزيائية بمزيد من الصحة بالمقارنة مع السنوات الخمس أو العشر أو العشرين الماضية. ومع ذلك فإن معظم العلماء حتى اليوم يضطرون إلى التضحية بالاستبانة العالية عند تشغيل النماذج لعدم استنفاد قدرة الحاسوب[(51)]. وقد يضطرون أحياناً إلى التضحية بطول المراحل الزمنية بسبب محدودية القدرة على التخزين والقدرة الفنية. ولا شك أن مجموعة العوائق تقلصت بفضل التقدم في قدرة الحواسيب وتقنيات البرمجة، إلا أن العلماء لا يزالون يواجهون العديد منها[(52)]. والعائقان الأبرزان هما محدودية طاقة الحاسوب ومحدودية الفهم العلمي، ولا سيما في ما يتعلق بالعمليات ذات النطاقات الدقيقة التي تحدد المناخ على غرار التبخر أو تكون السحاب. إلا أن جهود البحث والتطوير تعمل على إزالة هذه العوائق كما في اليابان حيث وضع العلماء نموذج دوران عالمي باستبانة أفقية من 3.5 كلم x 3.5 كلم إلى 10 كلم x 10 كلم[(53)]. وفي جامعة الملك عبد الله للعلوم والتقنية في المملكة العربية السعودية، أدى الاستثمار في أحدث التكنولوجيات إلى نواتج في وضع النماذج المناخية للجزيرة العربية من خلال تطبيق نموذج دوران عالمي ذي استبانة عالية بدلاً من استخدام نماذج مناخية إقليمية[(54)].

وكلما صغرت مقاييس هذه النماذج من الناحيتين المكانية والزمنية، ازدادت بيانات نواتجها لتبلغ مئات من الإكزابايت، مما يؤدي إلى تحديات كبيرة من حيث التخزين، تتطلب موارد مالية وتقنية إضافية. ومن الممكن أن تزيد هذه التطورات فرص حوسبة السحاب التي تتوزع برامجها ومخزون بياناتها على عدة خوادم مشتركة عبر الإنترنت. وسيتطلب جيل المقاييس الدقيقة والنواتج القصيرة الأمد زيادة كبيرة في القدرات الحاسوبية، وأجهزة تفوق طاقتها ألف مرة على الأقل طاقة الحواسيب الحالية[(55)]. ومن المتوقع توفير مثل هذه

(51) ESCWA (2009), p. 6.

(52) ESCWA (2009), p. 6 and Shukal et al. (2009), p. 176.

(53) Shukla et al. (2009), p. 176.

(54) Zampieri (2011).

(55) Shukla (2009), p. 176.

الأنظمة مع حلول عام 2030، لكنها قد تتطلب بنى وتكنولوجيات حاسوبية جديدة تتجاوز القيود الفيزيائية في التصاميم الحالية.

لذا، فإن معظم الجهود التي سترمي في الأجلين القصير والمتوسط إلى محاكاة مناخ المنطقة العربية في الماضي وتوقعه في المستقبل بمقاييس دقيقة يتطلب نماذج مناخية إقليمية مصغرة عن نماذج الدوران العالمية.

2- مصادر البيانات وجمعها

لجمع بيانات الأرصاد الجوية من شبكات الرصد دور شديد الأهمية في تقييم تغيّر المناخ، ويمكن الحصول عليها من خلال أجهزة الاستشعار سواء في المكان الأصلي أو عن بعد. توزع أجهزة الاستشعار في المكان الأصلي ضمن شبكة من المحطات الأرضية التي تقيس المعلومات المتعلقة بالطقس عند السطح وفي الهواء العلوي على ارتفاعات مختلفة في الغلاف الجوي.

تجمع البيانات من محطات الأرصاد الجوية وتخضع للمسح الرقمي (digitization) وتوحد في شبكة علم المناخ عبر التاريخ، وهي قاعدة بيانات يديرها مركز البيانات المناخية الوطنية. أنشئ المركز في عام 1951 كمركز لسجلات وزارة التجارة في الولايات المتحدة، ويعالج معظم بيانات الإدارة الأمريكية الوطنية لدراسة المحيطات والغلاف الجوي، وهي وكالة علمية تركز على أحوال المحيطات والغلاف الجوي. ومن المعروف أن للمركز السجل الأكبر لبيانات الطقس عبر التاريخ التي تعود لأكثر من 150 سنة خلت، تضاف إليها 224 جيغابايت من المعلومات الجديدة كل يوم(56).

غير أن بعض المناطق لم توضع لها عينات كما يظهر في الشكل 13. ذلك أن معظم البيانات التي جمعت قبل الستينات إنما جمعت من محطات أرضية ربما لم تكن متوفرة بعد في مناطق كبيرة في شمال أفريقيا ولا سيما في الصحراء الكبرى وحواليها وفي أجزاء واسعة من شبه الجزيرة العربية، أو لم تكن قيودها قد خضعت بعد المسح. وفي عدم إدراج البيانات المحلية في قاعدة بيانات شبكة علم المناخ عبر التاريخ ما يبعث القلق لأنه يقلل من فرص تقييم أثر تغيّر المناخ وتقلبه وزيادة المعرفة به في المنطقة العربية. إلا أن بعض المشاريع وجدت حلاً لهذه المشكلة ولا سيما مشروع بيانات محفوظات حقبة الاستعمار التابع لمركز البيانات المناخية الوطنية، الذي يبحث عن السجلات الماضية لمسحها رقمياً(57).

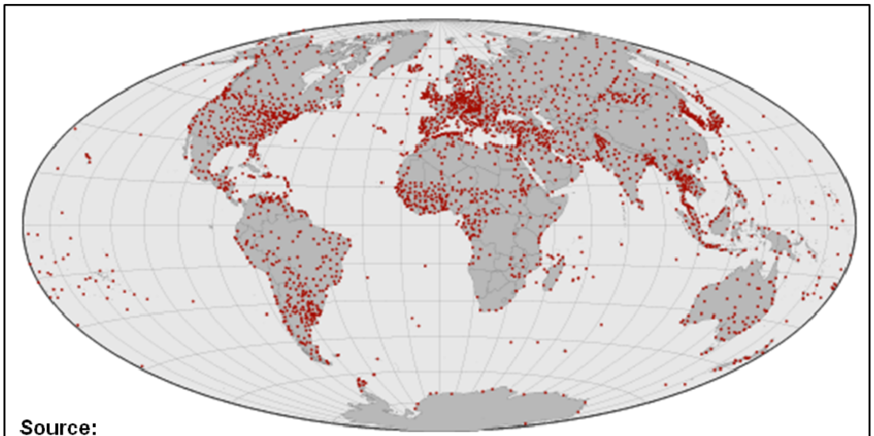
ويمكن تحسين هذه السجلات بشكل كبير بفضل زيادة عدد المحطات الأرضية من جهة، وتحسن استبانة أجهزة الاستشعار عن بعد، سواء عند السطح أو في العمود الجوي من جهة أخرى. والمحطات الأرضية قادرة على وضع النماذج وجمع الملاحظات مباشرةً، غير أنها لا تستطيع قياس الظروف الجوية إلا في الأماكن التي وضعت فيها. يؤدي ذلك إلى فجوات مكانية في المعلومات المجمعة عن الطقس على طول سطح الأرض، في المسافات الواقعة بين المحطات الأرضية، كما يظهر في الشكل 13. وباستطاعة أجهزة الاستشعار عن بعد ملء هذه الفجوات. وإذا ما جرت معايرتها بالشكل المناسب، يمكن أن تقيس المعلومات المناخية في أي مكان من الكرة الأرضية وفي العمود الجوي. فتوفر هذه البيانات الشديدة الدقة صورة أكثر اكتمالاً واستمرارية عن الأحوال الجوية.

---

(56) تتوفر معلومات إضافية عن مركز البيانات المناخية الوطنية عبر الرابط: http://www.ncdc.noaa.gov/oa/about/whatisncdc.html.

(57) يتوفر المزيد من المعلومات عن المشروع عبر الرابط: http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/research/ghcn/colonialarchive.html.

الشكل 13- مواقع عامة لمحطات الأرصاد الجوية الأرضية(58)



أجهزة الاستشعار عن بعد نوعان: تبث الطاقة أو تتلقاها. فالنوع الأول كالرادارات مثلاً يرسل طاقة كهرمغناطيسية ويقيس عدداً من المعايير كتوزيع بخار الماء في أرجاء الغلاف الجوي. يكثر انتشار هذه الأنظمة اليوم في المحطات الأرضية وبعض الأقمار الاصطناعية بفضل التطور في الإلكترونيات وتكنولوجيا المعلومات. أما النوع الآخر فهو الأكثر شيوعاً من بين أجهزة الاستشعار عن بعد، ويوفر معظم الصور الشديدة الدقة والمستمرة عن الغلاف الجوي.

النوع الثاني من هذه الأجهزة مكيف مع نوع محدد من الإشعاع الطبيعي الذي تبثه الأرض أو تعكسه، يمكن تصويره من خلال نطاقات من الترددات الكهرمغناطيسية. تجمع أدوات قياس الإشعاع والضوء الإشعاعات المنعكسة والمنبعثة في نطاق واسع من الترددات، ويمكنها توفير بيانات مفصلة عن تركيزات غاز الاحتباس الحراري في الغلاف الجوي من خلال الكشف عن أطياف انبعاثات هذه الجسيمات. وعلى المستوى العالمي، تجمع الأقمار الاصطناعية معظم هذه البيانات.

والأقمار الاصطناعية المجهزة بهذا النوع من أجهزة الاستشعار قادرة على كشف الأشعة تحت الحمراء، والموجات الدقيقة، وأشعة غاما، والأشعة فوق البنفسجية والموجات في الطيف المرئي. ويكشف كل نوع من أنواع الأشعة عن معلومات مختلفة. فالأشعة تحت الحمراء على سبيل المثال تدل على الحرارة وتساعد على معرفة كثافة الري أو معدلات النتح. ويمكنها أن تكشف البيانات المتعددة الأطياف، فتعطي صوراً بأطوال موجات متعددة تحمل وفرة من المعلومات. وتستخدم البيانات لوضع خرائط في مواضيع متخصصة، تصف أنماط استخدام الأراضي بالتفصيل. تسمح هذه الخرائط بالمتابعة الطويلة الأجل والواسعة النطاق للتصحر وإزالة الغابات والتمدن والأنماط الزراعية. ويمكن استخدام الأقمار الاصطناعية والطائرات لجمع البيانات الجيوديسية التي تظهر الاضطرابات الدقيقة في حقل الجاذبية الأرضية الناتجة عن التغيرات في توزيع الكتل في الكرة الأرضية، مما يشير إلى التغيرات في المياه الجوفية. وأخيراً، باستطاعة الأقمار الاصطناعية التقاط صور جوية للجزء المرئي من الطيف، تُجمع مع صور مجسمة تستخدم في وضع خرائط طبوغرافية مفصلة.

---

(58) Peterson and Vose (1997).

تحدَّد نوعية بيانات الاستشعار عن بعد من خلال استبانتها المكانية والطيفية والراديومترية والزمنية.

- وتحدد **الاستبانة المكانية** (Spatial resolution) بحجم العناصر التي تؤلف الصورة، وتتراوح بين 30 سنتم و000 1 متر وفقاً لنوع البيانات المجموعة؛
- وفي حالة أجهزة قياس الإشعاع والضوء (electro-magnetic radiation)، تعتمد **الاستبانة** على طول الموجة المرتبطة بنطاقات التردد التي تسجلها أجهزة قياس الضوء، ومدى حساسية جهاز قياس الإشعاع؛
- وترتبط **الاستبانة الزمنية** (temporal resolution) بتواتر مرور الأقمار الاصطناعية أو الطائرات فوق البقعة المدروسة، وتعتبر أساسية لكشف التغيرات في استخدام الأراضي أو الغطاء الحرجي أو المنطقة الصحراوية أو الأنماط الزراعية. ويعتمد قياس أي معدل اعتماداً كبيراً عليها.

قياس المواد الكيميائية في الغلاف الجوي

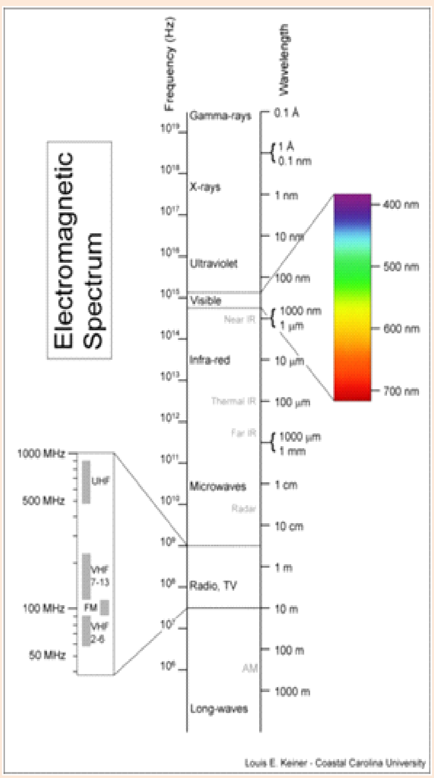
لأن الذرات لا تتفاعل سوى بطريقة واحدة مع الإشعاع الكهرمغناطيسي فإنه من الممكن تحديد نوع المواد الكيميائية وتركيبتها عن بعد.

تنتقل طاقة الشمس والأرض في مختلف أرجاء الفضاء كإشعاع كهرمغناطيسي. يصنف هذا الإشعاع بناءً على أطوال أمواجه، اعتباراً من الأمواج الإشعاعية ذات التردد الأدنى، فالموجات الدقيقة، فالأشعة تحت الحمراء، فالضوء المرئي، فالأشعة فوق البنفسجية، فالأشعة السينية وصولاً إلى إشعاعات غاما ذات التردد الأعلى.

يحدد هذا النطاق طيفاً كهرمغناطيسياً لكافة ترددات هذا الإشعاع الكهرمغناطيسي الممكنة.

وعندما تمتص ذرةٌ ما الطاقة تنتقل الإلكترونات التي تدور حول نواتها إلى مدار أعلى، بما يتناسب مع مستوى أعلى من الطاقة. وإذا ما نزلت عن هذا المستوى، تعيد الذرة بث الطاقة. وكل ذرة تمتص مستويات معينة من الطاقة وتبثها.

لذا، يتميز كل نوع كيميائي في الغلاف الجوي بنطاق امتصاص خاص به، ويبث طيفاً محدداً من الترددات ذات الإشعاع الكهرمغناطيسي. ولأن لكل عنصر من العناصر طيف بث خاص به، يمكن تحديد المواد الكيميائية عن بعد بسهولة، ويمكن تحديد التركيبة الكيميائية للغلاف الجوي ببساطة من خلال قياس الإشعاع الكهرمغناطيسي المنبعث.



وبفضل وفرة الأقمار الاصطناعية وتقدم تكنولوجيا المعلومات، كثرت مصادر البيانات ومعظمها متوفر عبر الإنترنت[59]. ومستويات استخدام البيانات المحفوظة متفاوتة. ونظراً إلى إمكانية معالجتها على مستويات عدة، تصنف من الأكثر أساسية إلى ما دون ذلك:

(59) لدى مكتب علم المناخ في جامعة فرجينيا قاعدة بيانات إلكترونية متاحة على الموقع: http://climate.virginia.edu/online_data.htm.

- **المستوى صفر:** وهو مستوى البيانات الأولية. تتألف المعلومات من بيانات غير معالجة على غرار قيمة الأشعة تحت الحمراء التي تم قياسها؛
- **المستوى 1:** هذا المستوى هو مستوى المعلومات الرئيسي بالنسبة إلى جميع الأخصائيين باستثناء المسؤولين عن تشغيل القمر الاصطناعي. تكون البيانات عند هذا المستوى قد عولجت جزئياً أو كلياً للتوصل إلى مستوى أعلى من المعلومات. يمكن على سبيل المثال معالجة بيانات الأشعة تحت الحمراء لتوفير معلومات عن حرارة السطح. ويمكن عند المستوى 1أ عكس العملية لاسترجاع البيانات الأساسية. أما عند المستوى 1ب فتتقدم معالجة البيانات ويصبح من غير الممكن استرجاع المعلومات الأساسية؛
- **المستوى 2:** تستخدم البيانات عند هذا المستوى لاستنتاج متغيرات جيوفيزيائية لديها الاستبانة والموقع نفسهما كما بيانات المستوى 1. فمن الممكن مثلاً استخدام بيانات الأشعة تحت الحمراء لاستنتاج محتويات رطوبة التربة أو مستويات كثافة الجليد؛
- **المستوى 3:** تستخدم البيانات عند المستوى 3 لرسم الخرائط وفقاً للاستبانة التي يطلبها المستخدم النهائي. يطبق المزيد من القواعد عند هذا المستوى لضمان الاكتمال والاتساق. ويمكن تخمين النقاط الناقصة أو تجاهل القيم الخارجة عن المعايير؛
- **المستوى 4:** يمثل هذا المستوى أي متغير جرى استخلاصه من البيانات المستخدمة. من الأمثلة على ذلك قياسات معدلات النتح. يمكن بعدئذ مقارنة هذه البيانات بإسقاطات النماذج المناخية الإقليمية أو نماذج الدوران العالمية خلال الفترة الزمنية موضوع الدراسة.

ومن الأمثلة على بيانات الأقمار الاصطناعية التي تعتبر أولية نسبياً (المستوى 2) ما تسميه الناسا بمستودع بيانات السلسلة أ أو "A-Train Data Depot"، الذي يوفر قياسات للغلاف الجوي مستخدماً أدواته الخاصة[(60)]. وكلما تقدمت معالجة البيانات (المستوى 4) أدت إلى معلومات عن معايير محددة. ومن الأمثلة على ذلك الشبكة الآلية للأهباء الجوية "AEonosol RObotic NETwork (AERONET)" وهي جهد تعاوني دولي يركز على أجهزة الاستشعار عن بعد الأرضية ويهدف إلى تأمين قاعدة بيانات للنطاق العام يمكن الوصول إليها بسهولة وبشكل دائم[(61)]. ويمكن أيضاً الحصول على معلومات مفصلة حول أحداث مناخية محددة كالتقلبات الشديدة الحدة في الطقس والمناخ من مصادر عدة كالمشروع الأوروبي لتقييم المناخ وجمع البيانات المناخية[(62)].

ولا يعتبر الوصول إلى البيانات سوى جزء من المهمة، ذلك أن الحاجة إلى التحليل والتخزين لا تزول حتى بالنسبة إلى أعلى مستويات البيانات. وهذا الموضوع شديد الأهمية بالنسبة إلى المنطقة العربية التي لديها حاجة ماسة إلى توفير بيانات مناخية مرصودة سهلة المنال لدفع عمليات وضع النماذج المناخية على المستويين العالمي والإقليمي[(63)].

---

(60) البيانات متاحة عبر الرابط: http://daac.gsfc.nasa.gov/atdd.

(61) تتوفر معلومات إضافية عبر الرابط: http://aeronet.gsfc.nasa.gov/.

(62) تتوفر معلومات إضافية عبر الرابط: http://eca.knmi.nl/.

(63) El-Asrag (2009).

خلاصة الفصل الثاني

تتطلب نماذج الدوران العالمية:

- ☑ استعراض الاتجاهات المناخية العالمية بالاستناد إلى البيانات المرصودة؛
- ☑ استعراض نماذج الدوران العالمية المتوفرة واختيار نموذجين منها أو أكثر كأساس لعمليات محاكاة المناخ في المنطقة؛
- ☑ اختيار مسار تركيز تمثيلي واحد على الأقل لتحديد افتراضات عمليات محاكاة نماذج الدوران العالمية ونطاقها، على أن يكون من بين المسارات المستخدمة في إعداد التقرير التقييمي الخامس للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيّر المناخ؛
- ☑ معرفة أي من نماذج الدوران العالمية أدى إلى نواتج ولأي من مسارات التركيز التمثيلية، نظراً إلى أنها أدرجت مؤخراً في العملية؛
- ☑ توضيح الواجهة البينية بين نماذج الدوران العالمية ومسارات التركيز التمثيلية موضوع الدراسة؛
- ☑ تحديد حالات عدم اليقين والأحداث غير المتوقعة على المستوى العالمي لتقدير تأثيرها على المستوى الإقليمي؛
- ☑ التأكد من أن العمل الحالي يتناسب مع الاتجاهات والتطورات المستقبلية في نمذجة المناخ وجمع البيانات.

يساهم استكمال الإجراءات المذكورة آنفاً في التوصل إلى النواتج التالية:

- تحديد اتجاهات تغيّر المناخ العالمي بناءً على مجموعة محددة من المعايير المتعلقة بكل مسار من مسارات التركيز التمثيلية في فترات زمنية محددة توضع على أساسها الافتراضات الأساسية لوضع نماذج مناخية إقليمية؛
- التحقق من صلاحية نماذج الدوران العالمية لتوفير مدخلات لعمليات وضع نماذج مناخية إقليمية واختيار مسار أو أكثر من مسارات التركيز التمثيلية؛
- تعميم النتائج غير النهائية على مجموعة كبيرة من المعايير باستبانة تغطي بشكل عام خانة شبكية أفقية من قياس 200 كلم × 200 كلم إلى 300 كلم x300 كلم.

ثالثاً- الخطوة الثانية: وضع النماذج المناخية الإقليمية

ألف- تصغير النطاق من النموذج المناخي العالمي إلى النموذج المناخي الإقليمي

على الرغم من التقدم المُحرز في إعداد نماذج الدوران العالمية، ما زالت فجوات كبيرة تعوق إصدار النواتج على نطاق أصغر. ولكي يتوصل علماء المناخ إلى فهم أفضل لهذه العمليات الصغيرة النطاق، يلجأون إلى تصغير نطاق النماذج بحيث تصلح لوصف مناطق محددة من العالم. ويُعتمد، عموماً، نهجان رئيسيان لتصغير نطاق النماذج، هما:

- **التصغير الإحصائي**، الذي يُعرَف أيضاً بالتصغير التجريبي، تكوين معادلات إحصائية تربط نواتج نماذج الدوران العالمية أو النماذج المناخية الإقليمية بالظروف المناخية على مستوى البلدان والمناطق التي تُراقب عن طريق الرصد الجوي. ثم تُستعمَل الروابط لتوقع الأحوال المناخية المحلية استناداً إلى توقعات نموذج الدوران العالمي أو النموذج المناخي الإقليمي؛
- **التصغير الديناميكي**، الذي يُعرَف أيضاً بالتصغير الرقمي، فيعني استعمال النماذج المناخية الإقليمية. ويندرج هذا النموذج الإقليمي في نموذج الدوران العالمي الذي يشغّل النموذج الإقليمي من خلال واجهة بينية تمثّل الظروف الحدودية الجانبية[64].

وتقنيات التصغير الإحصائي هي قليلة الكلفة من الناحية الحسابية ولكنها تفترض أن تكون العمليات المناخية ثابتة، وهذا أمر مستبعد على المدى المتوسط والبعيد. وترد في الجدول 3 المزايا التي تتسم بها تقنيات التصغير الديناميكي وتجعل من نهج التصغير الديناميكي نهجاً أكثر ملاءمة لوضع النماذج المناخية. إلا أن التصغير الإحصائي قد يكون مفيداً لتوقع الظروف المناخية على مدى زمني أقصر وتتطلب عدداً أقل من العناصر الحسابية. وحتى في هذه الحالة، تتوقف موثوقية تقنيات التصغير الإحصائي على نوعية الرصد الجوي المستعملة لتطوير الروابط الأساسية.

الجدول 3- مقارنة تقنيات تصغير النطاق (Downscaling techniques)[65]

	الإيجابيات	السلبيات
التصغير الديناميكي	• يقدم معلومات عالية الاستبانة • لديه أساس ماديّ • يستند إلى عدة متغيّرات • يتضمن تمثيلاً أفضل للظواهر الواسعة النطاق، بما فيها بعض الظواهر المناخية المتطرفة	• هو مكلف جداً من الناحية الحسابية • يتطلب واجهة بينية لتسهيل التداخل المتبادل بين النموذج المناخي الإقليمي ونموذج الدوران العالمي • يعتمد على المدخلات المتحيزة عادة من نموذج الدوران العالمي • يعطي عدداً أقل من السيناريوهات أو توقعات مسارات التركيز التمثيلية
التصغير الإحصائي	• يمكن أن يقدم معلومات عالية الاستبانة • تسمح بعض التقنيات بقياس مجموعة مختلفة من المتغيّرات • المتغيرات متطابقة داخلياً • غير مكلف من الناحية الحسابية • يمكن تطبيقه سريعاً من عدة نماذج دوران عالمية وسيناريوهات	• يفترض أن تنطبق العلاقات الإحصائية المتعلقة بمناخ اليوم الحالي على الظروف المناخية المستقبلية • يتطلب الوصول إلى بيانات المراقبة الجوية السطحية و/أو البيانات الجوية العليا • تطبيقاته محددة جغرافياً وغير قابلة للنقل إلى مواقع أخرى

---

(64) Fowler et al. (2007).

(65) Adapted from Mearns et al. (2003).

ويجوز أن تصطدم جميع تقنيات تصغير النطاق بمشكلة رئيسية واحدة هي توقع وتيرة الظواهر المناخية المتطرفة وحدّتها. وتركز نماذج الدوران العالمي على تقديم الحالة المتوسطة للمناخ في المستقبل من دون إعطاء معلومات عن الظواهر المناخية المتطرفة المحيطة بهذه الحالة المتوسطة. ولا تُرصَد الظواهر المناخية المتطرفة عادةً على المستوى الإقليمي الصغير إلا إذا توفرت معطيات على فترات زمنية أصغر ومراقبة مناخية أكثر تفصيلاً لإصدار النواتج. وينبغي أن يُؤخَذ هذا العامل المهم في الاعتبار في المنطقة العربية التي تعاني من ندرة الموارد المائية، بحيث تكفي أبسط التغيّرات المناخية لإحداث ظواهر متطرفة.

وتساعد الاستبانة المرتفعة للنماذج المناخية الإقليمية عموماً على تحسين المحاكاة المناخية للعمليات التي تنطوي على تغيّر مكاني مرتفع مثل المتساقطات. وهي بالتالي تعطي توقعات أفضل لتوزيع المتساقطات وتقلّبها بين عام وآخر وغزارتها. وكثيراً ما تنطوي النماذج المناخية الإقليمية على "علاقة ترابط وتبادل" حيث يمرّر النموذج الإقليمي جزءاً من نواتجه إلى نموذج الدوران العالمي بهدف تحسين دقة النواتج. وبهذه الطريقة، تساعد النماذج المناخية الإقليمية على تحسين توقعات نموذج الدوران العالمي.

باء- تنفيذ النموذج المناخي الإقليمي

تشمل الخطوات الأولى في النموذج المناخي الإقليمي وضع إطار للظروف الحدودية الإقليمية، وتحديد المجالات المطلوبة من نواتج النموذج، وإنشاء واجهة بينية بين النموذج المناخي الإقليمي ونموذج الدوران العالمي الذي يندرج فيه النموذج الإقليمي، وضبط استبانة النموذج، وتحديد الخطوات الزمنية المطلوبة لإصدار النواتج.

1- <u>النطاق العربي</u>

يتطلب الانتقال من نموذج الدوران العالمي إلى النموذج المناخي الإقليمي ترسيم حدود النطاق الجغرافي الذي سيُنفَّذ فيه النموذج الإقليمي. وتُبذَل الجهود حالياً في إطار المبادرة الإقليمية لإنشاء نطاق عربي من أجل وضع هيكلية للنموذج الإقليمي في المنطقة واقتراح دمجه في كورديكس وهي التجربة المنسّقة لتقليص النطاقات المناخية الإقليمية لإصدار مجموعات متعددة النماذج وتحسين تقنيات النموذج المناخي الإقليمي[(66)]. وهذا يتطلب تطبيق المعايير والممارسات المعتمدة في كورديكس عند وضع الظروف الحدودية للنطاق العربي وتشغيل النماذج المناخية الإقليمية فيه. ولا بد من النظر في النطاقات القائمة في كورديكس لتفادي الازدواجية وتسهيل الوصول إلى نوعية أفضل من المعلومات المناخية الإقليمية في المناطق ذات الحدود المشتركة. وسوف يستفيد الباحثون من التجارب السابقة في تشغيل النماذج المناخية الإقليمية في المناطق ذات الحدود المشتركة للتحقق من صحة نواتج النموذج المناخي الإقليمي.

ويُحدَّد المدى الفعلي للنطاق العربي استناداً إلى تحليل مفصّل للحساسية حيث يجب مراعاة الظروف الحدودية في النطاق الأفريقي الذي أعدّته تجربة كورديكس، والتأكُّد من حدود النطاق. فتصغير النطاق يتطلب إدراج منطقة عازلة حول النموذج المناخي الإقليمي. ومن خلال تطويق محور الاهتمام، تقوم هذه المنطقة العازلة بتصغير نطاق نماذج الدوران العالمية وصولاً إلى الظروف الحدودية للنموذج المناخي الإقليمي التي

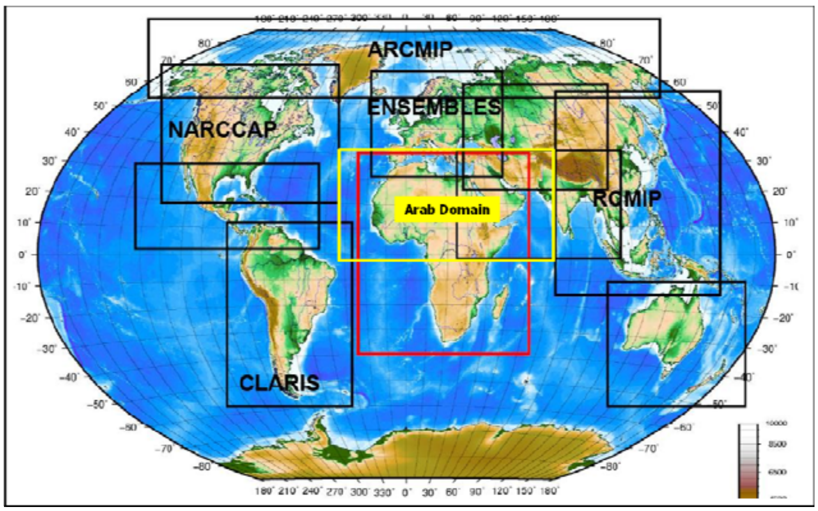
---

(66) هذه التجربة هي بإشراف المعهد السويدي للأرصاد الجوية والهيدرولوجية ضمن شراكة مع المنظمة العالمية للأرصاد الجوية، والمركز العربي لدراسة المناطق الجافة والأراضي القاحلة، وجامعة الدول العربية، والإسكوا في إطار المشروع الممول من الوكالة السويدية للتنمية الدولية الذي يرمي إلى تنفيذ المبادرة الإقليمية لتقييم آثار تغيّر المناخ على الموارد المائية والتنمية الاقتصادية والاجتماعية في المنطقة العربية.

يحددها مجال الظروف الحدودية. وينبغي أن تكون هذه المنطقة العازلة واسعة بما يكفي أفقياً وعمودياً. ففي الاتجاه الأفقي، إذا كانت المنطقة العازلة رفيعة، ستتأثر بأخطاء مرحلية أثناء محاكاة بعض الأنظمة المناخية مثل العواصف التي تجوب العالم كله، ما قد يسبّب أخطاء جسيمة في المحاكاة الإقليمية الشاملة. أما في الاتجاه العمودي، فإذا كان موقع المنطقة العازلة خاطئاً حول منطقة تتغير تضاريسها الطبيعية بسرعة، يمكن أن تنشأ أخطاء في الضغط السطحي.

وفي هذا الإطار، يجب اختيار حدود النطاق العربي بحيث تشمل كافة منابع الموارد المائية المشتركة في المنطقة العربية. وبما أن نسبة 67 في المائة تقريباً من الموارد المائية في البلدان العربية تنبع من خارج المنطقة، ينبغي أن يغطي النطاق العربي منطقة جغرافية أوسع وأن يمتد من منابع نهر النيل في الجنوب وصولاً إلى منبع نهرَيْ دجلة والفرات في الشمال. ومن الضروري أيضاً إجراء تحليل الحساسية لتحديد المدى الدقيق للحدود استناداً إلى أنماط وخصائص مناخية إقليمية وعالمية.

الشكل 14- نطاقات كورديكس والنطاق العربي المقترح(67)



المحور الأساسي: ترسيم حدود النطاق العربي

يشمل ترسيم حدود النطاق العربي ما يلي:

- ☑ رسم الحدود الجغرافية؛
- ☑ الاطلاع على الحدود التي رُسمت في نطاقات أخرى من كورديكس والاستفادة منها؛
- ☑ تحديد الحجم والتوزيع اللازمين للشبكة إلى جانب المعايير التي يجب قياسها وحسابها؛
- ☑ تحديد تقسيم النطاق العربي إلى عدة مناطق فيزيوغرافية واعتماده كمعيار موحّد بهدف وضع النماذج الهيدرولوجية.

(67) Illustration adapted from Giorgi et al. (2009), p. 178, and CORDEX map available at: http://www.meteo.unican.es/en/projects/CORDEX.

2- مجالات نواتج النموذج المناخي الإقليمي

ستُحدَّد قائمة المعايير التي يستوفيها تنفيذ النموذج المناخي الإقليمي من خلال أرشيف كورديكس. وتتضمن النسخة الحالية لهذا الأرشيف 57 متغيّراً تُستعمَل لتحديد مجال نواتج النموذج المناخي الإقليمي. وترتبط هذه المتغيرات الواردة في الجدول 4 بمجال نواتج نموذج الدوران العالمي الوارد أيضاً في الجدول 4. وتصنّف تجربة كورديكس هذه المتغيرات ضمن ثلاث فئات: المعايير الرئيسية ومعايير الطبقة الأولى ومعايير الطبقة الثانية[68]. وتُعتبر المعايير الرئيسية مفيدة لكافة المجتمعات إذ تتطلب تصنيف عينات الوُسُط الشهرية والموسمية من النموذج المناخي الإقليمي. أما معايير الطبقة الأولى، فتتطلب تصنيف عينات يومية من البيانات السطحية وبعض البيانات الجوية العليا. وتتطلب معايير الطبقة الثانية تصنيف العينات بوتيرة أعلى.

الجدول 4- مجالات نواتج النموذج المناخي الإقليمي التي تحددها تجربة كورديكس[69]

النطاق		المتغيرات المناخية الأساسية	الوصف: الحد الأدنى من المتغيرات المطلوبة	
			الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيّر المناخ: مجالات نواتج نموذج الدوران العالمي	كورديكس: مجالات نواتج النموذج المناخي الإقليمي
الجوي (فوق الأرض والبحر والجليد)	السطحي	الحرارة الجوية	• الحرارة السطحية • بالقرب من السطح (2 م): الحرارة الجوية، الحد الأقصى يومياً، والحد الأدنى يومياً	تماماً مثل مجالات نواتج نموذج الدوران العالمي
		سرعة الرياح واتجاهها	• الرياح المتجهة شرقاً • الرياح المتجهة غرباً • الرياح بالقرب من السطح (10 م)	تماماً مثل مجالات نواتج نموذج الدوران العالمي
		البخار المائي/ المتساقطات	• تدفق البخار المائي من الظلة، والرطوبة (محدد ونسبي) • المتساقطات • المتساقطات الحملية • تساقط الثلج • محتوى البخار المائي الجوي	تماماً مثل مجالات نواتج نموذج الدوران العالمي
		الضغط	• الضغط الجوي على سطح الأرض وعلى مستوى البحر • الضغط السطحي النزولي بسبب الرياح	تماماً مثل مجالات نواتج نموذج الدوران العالمي
		ميزانية الإشعاع	• التدفق الحراري الملموس والكامن (Sensible and Latent Heat Flux) • التدفقات الحرارية التصاعدية والنزولية (موجات طويلة وقصيرة) • تصحيحات التدفقات الحرارية • التدفقات الحرارية المتوقعة (في المحيطات الساكنة)	• التدفق الحراري الملموس والكامن • التدفقات الحرارية النزولية (موجات طويلة وقصيرة) • التدفقات الحرارية التصاعدية (موجات قصيرة) • مدة إشراق الشمس

(68) Christensen et al. (2011).

(69) GCOS (2011), IPCC (2009) and WCRP (2004).

الجدول 4 (تابع)

النطاق		المتغيرات المناخية الأساسية	الوصف: الحد الأدنى من المتغيرات المطلوبة	
			الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيّر المناخ: مجالات نواتج نموذج الدوران العالمي	كورديكس: مجالات نواتج النموذج المناخي الإقليمي
الجوي (فوق الأرض والبحر والجليد)	الجوي الأعلى: (وصولاً إلى الستراتوبوز)	غير منطبق	• سماكة الطبقة الحدودية الجوية (بالأمتار)	• تماماً مثل مجالات نواتج نموذج الدوران العالمي
		الحرارة الجوية	• لكل ارتفاع محدد للضغط	• عند 850 هكتوباسكال، و500 هكتوباسكال، و200 هكتوباسكال
		سرعة الرياح واتجاهها	• لكل ارتفاع محدد للضغط: الرياح المتجهة شرقاً وغرباً، الارتفاع التحريكي (geopotential height)	• عند 850 هكتوباسكال، و500 هكتوباسكال، و200 هكتوباسكال: الرياح المتجهة شرقاً وغرباً • 200 هكتوباسكال: الارتفاع التحريكي
		البخار المائي/ المتساقطات	• لكل ارتفاع محدد للضغط: معايير الغيوم (الكَسر المساحي، ومحتوى الجليد، ومحتوى المياه)	• عند 850 هكتوباسكال: رطوبة محددة • مجموع الغطاء السحابي (منخفض ومرتفع ومتوسط) • محتوى المياه من الجليد والبخار المائي
		ميزانية الإشعاع	• التدفقات الحرارية الواردة والصادرة (موجات طويلة وقصيرة)	• التدفق في أعلى الغلاف الجوي • الموجة الطويلة الصادرة • الموجة القصيرة (العرضية والصادرة)
	التركيبية		• الكسر الجزيئي لطبقة الأوزون في الجو • تركّز رذاذ (aerosols) حمض الكبريتيك (Nox, Sox)	غير مطلوب بشكل محدد
الأرضي			• جريان سطحي، الثلج (الكسر المساحي، والكمية، وتدفق الذوبان) • الأنهار الجليدية (الكسر المساحي للجليد الأرضي) • الأرض الدائمة التجمّد (محتوى التربة من المياه المجمدة) • رطوبة التربة (المحتوى، والمحتوى المائي في التربة، ومحتوى طبقة التربة، وعمق الجذور)	• جريان سطحي، الثلج (الكسر المساحي، والكمية، والعمق، والذوبان) • الأرض الدائمة التجمّد (محتوى التربة من المياه المجمدة) • مجموع محتوى الرطوبة

3- الاستبانة والخطوات الزمنية

إضافة تحديد الظروف الحدودية للنطاق العربي، يجب أن يُصدر النموذج نواتج استناداً إلى استبانة وخطوات زمنية محددة بوضوح.

- **الاستبانة:** وتتطلب خريطة النطاق العربي إجراء تقييمات مع استبانة أفقية لا تتعدّى 50 كلم 50x كلم نظراً لضرورة تمثيل الظواهر الإقليمية على المستوى الوطني ودون الوطني، حتى في أصغر البلدان حجماً في المنطقة. وهذا ممكن من الناحية الفنية لأن اختلاف الاستبانة بين بيانات نموذج الدوران العالمي والنموذج المناخي الإقليمي يمكن أن يتراوح بين ستة

وثمانية[70]. وبما أن الاستبانة الأفقية لنماذج الدوران العالمية تتراوح عموماً بين 200 كلم x 200 كلم و300 كلم x300 كلم، يمكن أن يتراوح حجم الشبكة الأفقية للنموذج المناخي الإقليمي الذي يغطي النطاق العربي بين 50 كلم x50 كلم و25 كلم x 25 كلم أو حتى أقل؛

- **الخطوات الزمنية**: يمكن أن تحسب النماذج المناخية الإقليمية مجالات النواتج كل 20 إلى 30 دقيقة، إلا أن النتائج تُخزَّن لفترة زمنية أطول تبدأ عادة بثلاث أو ست ساعات. والعامل الرئيسي الذي يؤثر على تحليل النتائج وتوزيعها هو إمكانية تخزين هذه البيانات ومعالجتها بواسطة الحاسوب.

ويجري اختيار الاستبانة والخطوات الزمنية التي سيطبقها النموذج استناداً إلى اعتبارات وأهداف فنية وسياسية.

وعندما يُحدَّد نطاق الشبكة، يمكن الاتفاق على مجالات النواتج المطلوبة لتنفيذ النموذج المناخي على المستوى الإقليمي. وقد لا يكون من الضروري تتبُّع وتسجيل كافة مجالات النواتج التي تحددها الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيّر المناخ في ما يتعلق بنواتج نموذج الدوران العالمي في مختلف المناطق. وسيتوقف وضع القائمة النهائية للمعايير على ضرورة مطابقة نتائج التقييم المتكامل مع الجهود العالمية والإقليمية.

4- التحقق من النموذج الإقليمي للنطاق العربي

على المستوى الإقليمي من النطاق العربي، سيكون النهج القائم على تعدُّد النماذج في النطاق العربي مفيداً على المستوى الإقليمي للأسباب نفسها التي تجعله مفيداً للنطاق العالمي. وسيرتكز النموذج المناخي الإقليمي على تشغيل نموذجين مستقلين أو أكثر لتحليل مجالات النواتج التي ستستخلص من محاكاة النموذج المناخي الإقليمي.

ومن السهل التأكد من استقلالية النموذج للوهلة الأولى. وعندما توضع عدة نماذج مستقلة، تختلف الخيارات بينها من حيث عملياتها وبرمجتها أو معاييرها. وهذا يؤدي إلى اختلاف كبير بين النماذج، ويحد من احتمال استعمال عدة متغيرات للنموذج نفسه. وينجح استعمال النماذج المتعددة عندما يكون هناك عدة نماذج تعمل بشكل مستقل.

ويجوز أن تكون بين النماذج أوجه شبه معيّنة. وبفضل إحدى الممارسات العلمية الجيدة السائدة، يتبادل العلماء ما لديهم من معرفة. من هنا، حتى ولو قامت مجموعات مختلفة حول العالم بتطوير نماذج مستقلة نسبياً، تكون هذه النماذج مستندة إلى مجموعة مشتركة من المنهجيات التي تحلل العمليات نفسها بطريقة متشابهة. ويمكن أن تتشارك النماذج في أخطاء تنجم عن عمليات وضع المعايير أو العمليات غير المحللة، ويمكن أن تؤدي أوجه الشبه هذه إلى **"**تحيّز دائم في وسط متعدد النماذج**"**[71].

ومع أن النموذج المناخي الإقليمي يتميز باستبانة أعلى، قد يتطلب هذا النموذج وضع المعايير لبعض العمليات على نطاق الشبكة الفرعية، وخاصة بالنسبة إلى ديناميكيات الطبقة الحدودية، واقتران السطح بالغلاف

---

(70) Rummukainen (2010).

(71) Tebaldi and Knutti (2011), p. 2068.

الجوي، والنقل الإشعاعي، والفيزياء الدقيقة للغيوم. لذلك، من الضروري التحقق دائماً من النموذج في أثناء عملية التنفيذ الإقليمي. وعلى المدى الطويل، يمكن تخطي عدة أوجه من القصور من خلال المراقبة إما لصقل العمليات المبرمجة أو لوضع معاييرها.

وعلى المستوى الإقليمي الذي يتطلب فيه التنفيذ نموذجين أو ثلاثة نماذج، سيكون تأثير التحيزات الدائمة أكثر أهمية من تأثيرها على المستوى العالمي حيث يُستعمل أكثر من 20 نموذجاً. وبما أن عمليات التنفيذ الإقليمي تحلل عدد أقل من المعايير المناخية الرئيسية مقارنة بالدراسات المناخية العالمية، من المهم التأكد من أن النماذج تحد من الأخطاء التي تحصل أثناء تحليل المتغيرات. ويمكن التوصّل إلى مجموعة من التوقعات المناخية في المنطقة من خلال:

- استعمال نماذج دوران عالمية مختلفة عند تنفيذ النموذج المناخي الإقليمي أكثر من مرة؛
- استعمال عدة نماذج مناخية إقليمية لتطبيق نموذج الدوران العالمي نفسه؛
- استعمال نموذج مختلف وفق الاستبانة الشبكية الأفقية، أي نموذج واحد على الأقل تبلغ استبانته الأفقية 50 كلم x50 ونموذج واحد على الأقل تبلغ استبانته الأفقية 25 كلم x 25 كلم.

المحور الأساسي: تنفيذ النموذج المناخي الإقليمي

☑ مراجعة العمليات الخاصة بالمنطقة العربية وتنفيذها عند الحاجة؛

☑ تنسيق المقارنة بين النماذج وتشخيصها في إطار كورديكس، والبحث عن أساليب مختلفة لإصدار مجموعة من أنظمة المحاكاة مع النماذج المناخية الإقليمية لتحسين نسبة الإشارة إلى الاختلافات في النتائج (signal to noise)؛

☑ تطوير مجموعات بيانات المراقبة الإقليمية لاستعمالها في توقع المناخ الإقليمي وتصغير نطاقه؛

☑ وضع أرشيف بالنواتج ذات التواتر الزمني الأعلى بهدف إجراء تقييم مفصّل مع الحرص على سهولة الحصول على المعلومات المناخية الإقليمية واستعمالها والتحقق منها؛

☑ النظر في دور تنفيذ النموذج المناخي الإقليمي في البحوث المستقبلية الرامية إلى إصدار معلومات أكثر واقعية عن المناخ في المستقبل استناداً إلى توقع المناخ الإقليمي، وتحسين تمثيل القوى الدافعة والعناصر المناخية، وإدراج المزيد من العمليات مثل الكيمياء البيولوجية الجغرافية وأثر الصحاري.

جيم- عدم اليقين في سياق الخصائص الإقليمية

يتشابه أسلوب معالجة عدم اليقين في تنفيذ نموذج الدوران العالمي وتنفيذ النموذج المناخي الإقليمي. ولكن على المستوى الإقليمي هناك مصدران إضافيان لعدم اليقين، الأول هو تصغير النطاق والثاني الظواهر المناخية المتطرفة.

أما تصغير النطاق فهو مصدر لعدم اليقين، بحكم الخصائص الرياضية والفيزيائية لنموذج الدوران العالمي وطريقة تطبيقها على النموذج المناخي الإقليمي. وعملية الدمج بين النموذجين تعزز إمكانية الوصول

إلى مجموعات من البيانات ذات الجودة المراقبة فيما يتعلق بالتوقعات الماضية وتوقعات القرن الحادي والعشرين. وهذا يسمح بوضع المجموعة المناسبة من المقاييس على المستوى الإقليمي لتقييم تصغير النطاق بطريقة تتوافق مع الإطار المعياري للتقييم، بفضل تنسيق محاكاة النموذج المناخي الإقليمي للنطاقات المحددة.

غير أن تسوية حالات عدم اليقين قد تتطلب إجراء مزيد من التغييرات في تحليل بعض العمليات أو في طريقة وضع المعايير بحيث تؤخذ الخصائص الإقليمية في الاعتبار على نحو أكثر دقة، لا سيما تلك التي تثير قدراً كبيراً من عدم اليقين في ظل الظواهر المناخية المتطرفة التي يمكن تحديدها جيداً. فمن جهة، يسمح الاندماج في كورديكس بالتحكم بعدم اليقين الناجم عن تغيّر المناخ الإقليمي والناجم عن اختلاف محاكاة نموذج الدوران العالمي. وتُجرى المحاكاة لتحديد التأثير الإشعاعي في ظل تعدد التوقعات المناخية الإقليمية لغازات الاحتباس الحراري، مع حساب تغيّر المناخ الطبيعي. ومن جهة أخرى، يبقى من الصعب تحديد التأثير الإقليمي للظواهر الخارجية، خاصة عندما تجد نماذج الدوران العالمية صعوبة في توقع هذه الظواهر(72).

فهم مبدأ الاحتمال

مع أن مفهوم مبدأ الاحتمال واضح نسبياً، لا يُستبعد الخطأ في تفسيره.

على سبيل المثال، الظواهر التي تحصل كل 100 عام مثل الفيضانات. ويصف هذا المصطلح الظواهر التي يُعرَف عنها بأنها تحصل كل 100 عام تقريباً. هذا يساوي القول إن احتمال حصول الظواهر في عام واحد هو حوالى 1 في المائة أو مرة كل قرن. وهذا يعني أن احتمال حصول الظاهرة المناخية هو نفسه كل 10 أعوام متتالية، وأن هذه الظاهرة لن تحصل في غضون 990 عاماً بعدها لمدة 1000 عام.

1- الخصائص الإقليمية

بما أن نماذج الدوران العالمية تجد صعوبة في تحليل عمليات الشبكات الفرعية والشبكات الصغرى، لا يمكن تصغير نطاقها ببساطة وتطبيقها على أحجام أصغر من الشبكات. فلا بد من تعديل معاييرها لكي تُدرَج فيها الظواهر الإقليمية الصغيرة النطاق. وتتطلب هذه الظواهر نهجاً مختلفاً لتحليل الغلاف الجوي وسطح الأرض والمحيطات في إطار النماذج المناخية.

وفي **الغلاف الجوي**، ترتكز حركة الغيوم المكوّنة من الحمل الحراري الركامي إلى علاقات تجريبية. وهذا ينطبق ليس فقط على الغلاف الجوي بل أيضاً على النقل المضطرب بالقرب من السطح حيث يحدد العلماء معايير الحركة والرطوبة والطاقة. وعندما تحصل التدفقات المضطربة بالقرب من السطح، هذا يعني أنها تعتمد على ظروف التربة مثل الخشونة ورطوبة التربة والغطاء النباتي، كما تتأثر بالتدفق الجوي المضطرب وبتناثر الطاقة (energy dissipation) في الطبقات العليا من الغلاف الجوي.

وعند **الواجهة الحدودية** بين الأرض والجو، يجب أن يأخذ العلماء في الاعتبار تأثير التلال الصغيرة حيث يؤدي الضغط غير المضطرب إلى نقل الحركة بين الجو والسطح. وهذا ما يمكن أن يحصل في النطاق العربي:

(72) Fowler et al. (2007), p. 1556.

- تتميز الصحاري الشاسعة باختلاف انعكاسية السطح لأن بياض السطح الرملي المكشوف قد يتغير وفقاً للمكان والزمان مع مستويات رطوبة مختلفة. وتراعي بعض نماذج سطح الأرض أصلاً التغيرات في البياض وتحللها وتدرجها في نتائج التفاعل بين الغطاء النباتي والثلج؛

- يمكن أن يسبب وجود الكثبان مشكلة لأنه قد يؤثر على الظواهر الصغيرة النطاق. فالكثبان تتراكم وتتحرك على مر السنين، ما يجعلها مثل التلال المتحركة التي يتغير توزيعها على السطح. وعلى مستوى النطاق الأصغر، يمكن أن تؤثر الكثبان المتحركة على خشونة سطح الصحاري ذات المساحة الشاسعة.

البياض (Albedo)[73]

يشير البياض إلى انعكاسية السطح لنور الشمس. وهو نسبة "الأشعة المنعكسة المتناثرة" إلى "الإشعاع الكهرمغناطيسي العرضي". وارتفاع نسبة البياض يدل على ارتفاع في نسبة الطاقة الشمسية المنعكسة. وفيما يلي بعض العينات من قيم البياض:

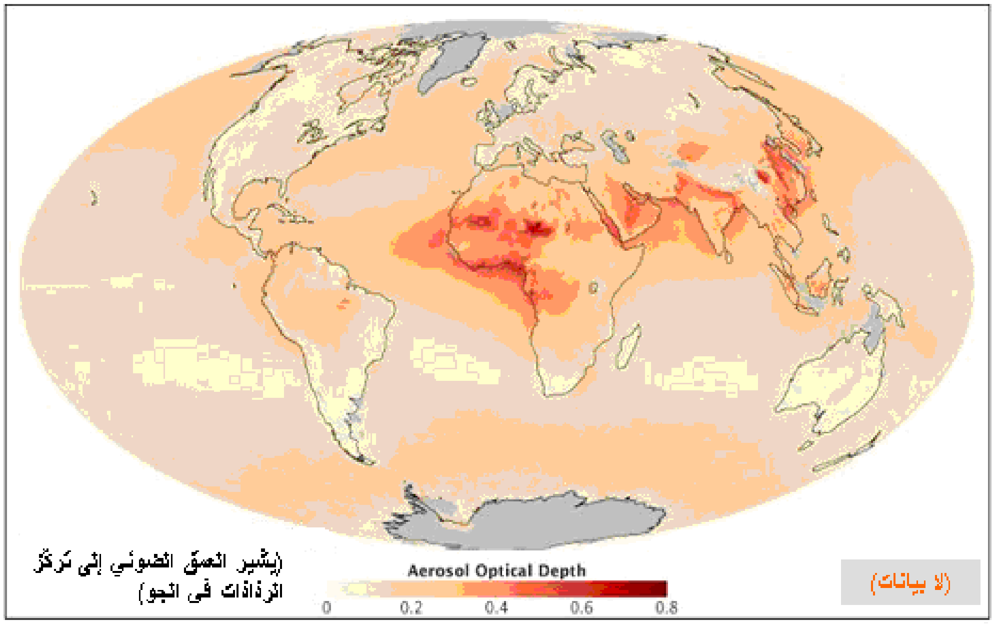
الثلج:	0.40 (قديم) إلى 0.85 (جديد)	الجليد:	0.30 إلى 0.40
الرمل:	0.20 (رطب) إلى 0.45 (جاف)	المياه:	0.05 إلى 0.07
الإسفلت:	0.04 (جديد) إلى 0.12 (قديم)	التربة:	0.05 (داكنة/رطبة) إلى 0.35 (جافة)
الصحراء:	0.25 إلى 0.29	الخرسانة:	0.50 (جديدة)
المحاصيل:	0.15 إلى 0.25	الغابة:	0.05 إلى 0.15

ويمكن أن تزيد الرذاذات (Aerosols) من الآثار المحلية. والرذاذات هي جسيمات هجينة رقيقة مؤلفة من قطيرات سائلة و/أو جسيمات صلبة تبقى عالقة في الجو. ويُبين الشكل 15 التوزيع العالمي المتوسط للرذاذات خلال الفترة من حزيران/يونيو 2000 إلى أيار/مايو 2010. وتنبعث هذه الرذاذات بغالبيتها من مصادر طبيعية مثل عواصف الغبار في الصحراء الكبرى وصحراء شبه الجزيرة العربية، والبراكين، وحرائق الغابات، والانبعاثات البشرية (التي تشكل حوالى 10 في المائة من مجموع كمية الرذاذ). ويمكن أن ينعكس أثرها التراكمي على الظواهر المناخية الدقيقة مثل تشكُّل الغيوم، وهذا ما أثبتته آخر الدراسات المستندة إلى محاكاة النموذج المناخي التي تُظهر كيف أسهم انبعاث الرذاذات في أوروبا في الماضي في إبعاد الأمطار عن منطقة الساحل، ما أدى إلى موجات جفاف متتالية في المنطقة[74].

(73) جُمعت البيانات من Hansen (1993) و Coakley (2002).

(74) Kaufman et al. (2002), Sylla et al. (2009) and Held et al. (2003).

الشكل 15- التركُّز العالمي للرذاذات الجوية في عام 2006[75]



ويمكن أن يكون أثر الرذاذات مهماً أيضاً على المستوى العالمي لأن معظم كمية الرذاذ تنجم عن عواصف الغبار التي تهب في الصحراء الكبرى والصحراء العربية. لذلك، يساعد تنفيذ النموذج المناخي الإقليمي في النطاق العربي على فهم سلوك الرذاذات، وبالتالي على تحديد أثرها وامتداده.

وفي التركيبة الطبقية للمحيطات، يحصل المزج العمودي على مقياس يتراوح بين أمتار وكيلومترات، ويتأثر بتغير ملوحة العمود المائي وتعكّره. كما تحدث تيارات ودوامات قوية جداً في المحيط تغطي عشرات الكيلومترات. وبدلاً من تحليل هذه العمليات، توضَع معاييرها عموماً لأسباب مختلفة؛ ففي حين توضَع معايير عمليات النطاق الصغير لأنها تحصل على نطاق الشبكات الفرعية، تترتب على عمليات النطاق الأكبر تكاليف مرتفعة. ولكن وضع المعايير للنطاقين يتخلله بعض أوجه عدم اليقين على المستوى العالمي.

- على المستوى الإقليمي في النطاق العربي، يجب معالجة عدم اليقين من خلال تحليل بيانات البحر المتوسط بوضوح بدلاً من وضع المعايير له؛
- في النهاية، لا بد من التحقق من معايير المزج المضطرب (turbulent mixing) بالقرب من السطح، وخاصة على البحار السطحية مثل مضيق هرمز أو باب المندب؛
- قد لا يكون وضع المعايير كافياً في الحالات التي تؤدّي فيها العمليات الجغرافية الحرارية إلى إضافة الطاقة إلى النظام كما في بحر العرب بالقرب من منطقة باب المندب أو في المحيط الأطلسي قبالة شواطئ المغرب.

---

(75) Voiland (2010). جرى قياس البيانات باستعمال مقياس الطيف الإشعاعي المتعدد الزوايا.

المحور الأساسي: تنفيذ النموذج المناخي الإقليمي

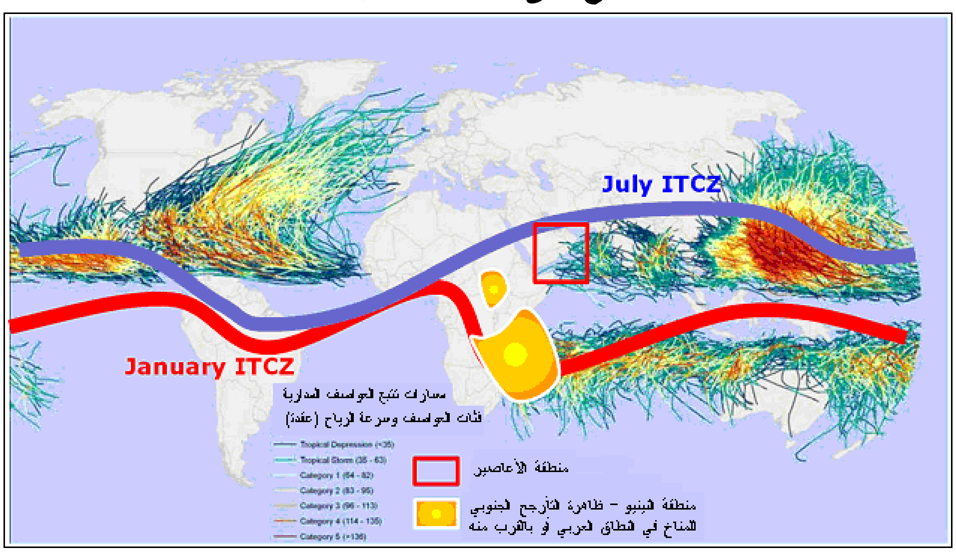
- تحديد خصائص العمليات الإقليمية للتمييز بين العمليات التي تحتاج إلى التحليل، والعمليات التي تحتاج إلى وضع المعايير؛
- وضع مجموعات بيانات المراقبة الإقليمية لاستعمالها في التوقع المناخي الإقليمي وتصغير النطاق؛
- تنسيق المقارنة بين النماذج الإقليمية وتشخيصها في إطار كورديكس.

2- المفاجآت المناخية

بالإضافة إلى المفاجآت المناخية التي لا يمكن أن تتوقعها نماذج الدوران العالمية، يجب أن تراعي النماذج المناخية الإقليمية الظواهر المناخية الرئيسية التي لا تُفهَم جيداً على الصعيد العالمي. وقد يؤثر بعض من هذه الظواهر بشكل كبير على المنطقة. ومن الأمثلة على هذه الظواهر، التغيرات في مسار منطقة الالتقاء الواقعة بين مدارين والتغيرات في النينيو - ظاهرة التأرجح الجنوبي للمناخ[76]. وفي الشكل 16 ما يُظهر الحد الأعلى والحد الأدنى لمنطقة الالتقاء الواقعة بين مدارين إلى جانب المناطق التي تقع ضمن المدى المتوقع للنطاق العربي والتي تتأثر بالنينيو - ظاهرة التأرجح الجنوبي للمناخ.

ومنطقة الالتقاء الواقعة بين مدارين هي عبارة عن نطاق استوائي ضغطه منخفض ويغطي 10 درجات من خطوط العرض (أي حوالى 100 1 كلم) وتلتقي فيه الرياح الشمالية الشرقية والجنوبية الشرقية. وتؤدي هذه المنطقة دوراً رئيسياً في تحديد مناخ شبه الجزيرة العربية وحوض النيل. كما تتأثر هاتان المنطقتان بالنينيو - ظاهرة التأرجح الجنوبي للمناخ الذي يؤثر على كثافة الأمطار الموسمية التي تغذي حوض النيل الأعلى. ويمكن أن تؤدي التقلبات في تدفق منطقة الالتقاء الواقعة بين مدارين إلى تغيير مسار الغيوم المطارية من خلال إبعادها بأربعين إلى خمس وأربعين درجة عن المنطقة الاستوائية في أفريقيا. ويتأثر تغير المسار بالعديد من المعايير المحلية مثل حرارة الأرض والرذاذات الجوية.

الشكل 16- منطقة الالتقاء الواقعة بين مدارين وأثر النينيو - ظاهرة التأرجح الجنوبي للمناخ على المنطقة العربية[77]



(76) ويُعرَف أيضاً بعبارة "النينيو والنينيا".

(77) Adapted from Thow and de Blois (2008), p. 14.

يمكن أن يزداد عدم اليقين واحتمال وقوع المفاجآت المناخية نتيجة للتفاعل بين الظواهر المناخية خارج المنطقة العربية. على سبيل المثال، يمكن أن يؤثر التفاعل بين الرذاذات ومنطقة الالتقاء الواقعة بين مدارين على الأنماط المناخية في شبه الجزيرة العربية، وهذا ما لم يتوصل العلماء إلى فهمه جيداً بعد. ويبدو أن تشكلات الرذاذ مثل الضباب البنيّ فوق جنوب آسيا وشرقها يؤدي دوراً أساسياً في تحويل مسار الأمطار المدارية نحو الجنوب، ويبدو أنها تؤثر على الأنظمة في خطوط العرض المتوسطة في المنطقة ويصل تأثيرها إلى أستراليا[(78)].

ورغم التحسن العام في محاكاة نموذج الدوران العالمي، ما زال العلماء لا يجيدون فهم هذه الظواهر وتفاعلاتها[(79)]. لذلك، لا يمكن أن يعتمدوا فقط على نتائج محاكاة النموذج المناخي الإقليمي لفهم هذه الظواهر، بل عليهم البحث عن محاكاة محددة مخصصة لتحليل الأثر العالمي لهذه الظواهر وإبراز أثرها المحلي.

المحور الأساسي: عدم اليقين

- البحث عن مختلف الأساليب في إطار كورديكس لإصدار مجموعة من عمليات المحاكاة مع النماذج المناخية الإقليمية لتحسين تقدير عدم اليقين؛
- التأكد من تأثير المناخ العالمي على الصعيد المحلي.

دال- تنسيق البيانات في إطار إقليمي

يسمح إنشاء نطاق عربي للباحثين بإجراء اختبارات محاكاة للمناخ الحالي من أجل تقييم أداء النموذج. ولا بد من تنسيق الكمّية الضخمة من المعلومات التي سينتجها النموذج المناخي الإقليمي، وهذا ما يمكن إنجازه بإنشاء مركز مناخي إقليمي أو مركز إقليمي للبيانات[(80)]. ولتسهيل التنسيق والبحث العلمي، ينبغي فتح المجال للجميع للاطلاع على المعلومات الصادرة عن محاكاة النموذج المناخي الإقليمي. ويمكن الارتكاز على بروتوكولات كورديكس لدعم عملية وضع النماذج المناخية على المستوى الإقليمي.

ويحصل التنسيق من خلال شبكة المراكز المناخية الإقليمية التي تتعاون لخدمة المنطقة العربية أو من خلال منتدى إقليمي حول التوقعات المناخية تنظمه عدة معاهد في المنطقة بهدف إصدار معلومات موثوقة عن التوقعات الموسمية والتقلبات المناخية وتغيّر المناخ من أجل تقديم خدمات مناخية عالية الجودة وعالية الاستبانة. وتندرج هذه الآليات المؤسسية المختلفة في الإطار العالمي للخدمات المناخية التابع للمنظمة العالمية للأرصاد الجوية.

وبدأت المراكز المناخية الإقليمية بتعزيز أنشطتها المؤسسية وبناء الشبكات بينها في تونس ومصر والمغرب والمملكة العربية السعودية، وهي تأخذ بتوجيهات المنظمة العالمية للأرصاد الجوية لتعزيز قدراتها بحيث تعتمد كجهات مزوّدة للخدمات المناخية. ويساعد المنتدى الإقليمي حول التوقعات المناخية بدوره على "تعزيز فهم علاقة الترابط بين النظام المناخي والأنشطة الاجتماعية والاقتصادية"[(81)]. وهذا ما يزيد الطلب على الخدمات المناخية ويعزز الوعي بأهمية المعلومات المناخية، ويزيد التفاعل وتبادل المعلومات بين علماء المناخ ومستخدمي المعلومات المناخية. وسبق أن أنشئت عدة منتديات إقليمية حول التوقعات المناخية في العالم كما هو مبين في الشكل 17.

---

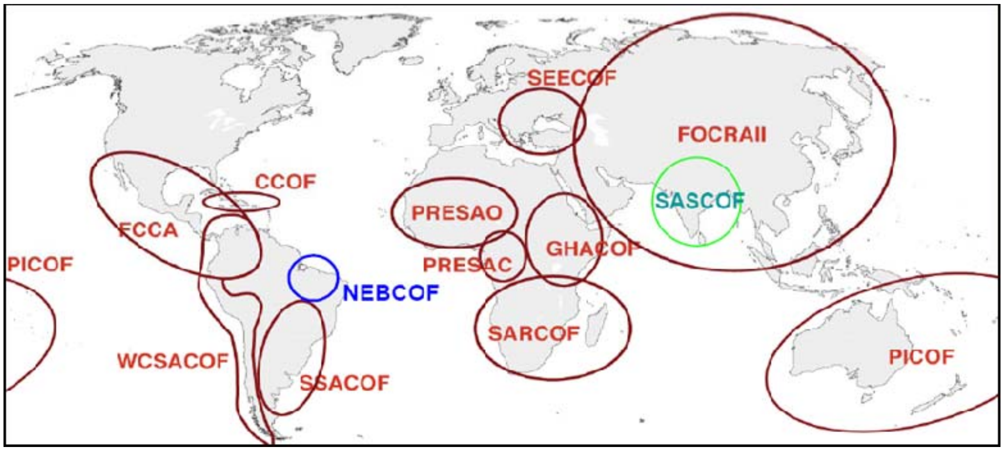
(78) Rotstayn et al. (2007).

(79) IPCC (2007a), p. 592.

(80) El-Asrag (2009).

(81) Kolli (2010), p. 22.

الشكل 17- المنتديات الإقليمية حول التوقعات المناخية في العالم[82]



ويمكن أن تكون المراكز المناخية الإقليمية أو المنتدى الإقليمي حول التوقعات المناخية أساساً علمياً سليماً لاتخاذ القرارات من خلال تسهيل نقل المعلومات المناخية الموجهة إلى المستخدمين واستعمالها والتعمّق في فهم المخاطر المناخية. ويجب أن تكون هذه الخدمات المناخية[83]:

- **متوفرة**: في النطاق الزمني والمكاني الذي يحتاج إليه المستخدم؛
- **يعتمد عليها**: تُقدَّم بانتظام وفي الوقت المطلوب؛
- **قابلة للاستخدام**: تُقدَّم الخدمات المناخية في أشكال محددة تمكّن المستخدمين من فهم البيانات بالكامل؛
- **جديرة بالثقة**: يستعملها المستخدم بثقة في عملية اتخاذ القرارات؛
- **مرنة**: قابلة للتطور بما يتناسب مع حاجات المستخدم؛
- **مستدامة**: صالحة للاستخدام مع الوقت.

المحور الأساسي: تنسيق البيانات في إطار إقليمي

- وضع بيانات المراقبة الإقليمية وآلية تحسين الخدمات المناخية من خلال تحسين القدرة الفنية والتشبيك وتحسين الاتصالات وتبادل البيانات بين الأطراف المعنية أي بين واضعي النماذج المناخية وجامعي البيانات ومحلليها والمجتمعات المحلية وصانعي السياسات؛
- تعزيز إطار كورديكس للتوصل إلى بروتوكولات تجريبية موحدة وإشراك المجتمع لتحسين تحليل المعلومات المناخية الإقليمية وضمان جودة البيانات وتناسقها؛
- تقييم أثر أنظمة المراقبة المناخية الجديدة أو التغيرات الحاصلة في الأنظمة الحالية، والتشجيع على تحويل أنظمة المراقبة والبحوث إلى عمليات طويلة الأجل، وتنسيق هذا التحول؛
- تسهيل تبادل أفضل الممارسات والدروس المستفادة من عمليات وضع النماذج المناخية في المنطقة العربية.

---

(82) Kolli (2010), p. 13.

(83) Kolli (2010), p. 5.

خلاصة الفصل الثالث

يتطلب وضع النماذج المناخية الإقليمية:

- ☑ الاتفاق على نوع المعلومات المطلوبة من عملية وضع النماذج المناخية الإقليمية، بما في ذلك الاتفاق على النطاق والاستبانة والخطوات الزمنية المطلوبة؛
- ☑ ترسيم حدود النطاق العربي استناداً إلى تحليل الحساسية (sensitivity analysis)؛
- ☑ اختيار واحد أو أكثر من النماذج المناخية الإقليمية لتطبيقها ضمن حدود النطاق العربي بالاستناد إلى معلومات صادرة عن واحد أو أكثر من نماذج الدوران العالمية لمناطق خارج النطاق العربي؛
- ☑ اتخاذ قرار بشأن الخطوات الزمنية والاستبانة التي ستُستعمل لاستخلاص معلومات من التوقعات؛
- ☑ تصغير النطاق من النموذج المناخي العالمي إلى النموذج المناخي الإقليمي؛
- ☑ النظر في حالات عدم اليقيُن والظواهر غير المتوقعة على المستوى الإقليمي في سياق الخصائص الإقليمية؛
- ☑ تنسيق البيانات وتحليلها في إطار إقليمي، بما في ذلك تقديم المساعدة الفنية لوضع بيانات مناخية طويلة الأجل ويومية ومتناغمة، وجمع البيانات وتخزينها. ويجب توخي العناية لتخزين البيانات بطريقة موثوقة ولضمان الوصول إلى المعلومات بطريقة سهلة ومجانية.

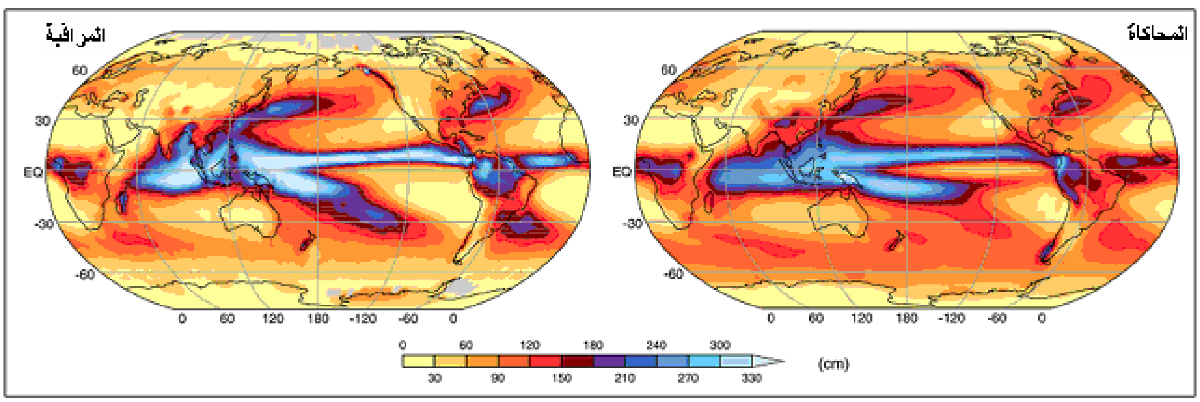
- الناتج: تحديد الاتجاهات والآثار الإقليمية لتغيّر المناخ استناداً إلى مجموعة محددة من المعايير الناجمة عن مسار تركيز تمثيلي محدد في خطوات زمنية محددة، وتحديد تفاعلات أكثر تعقيداً بين الآثار الإقليمية الجديدة والآثار المستخلصة من نماذج الدوران العالمية؛
- الناتج: بيانات جغرافية مكانية موحدة للآثار المناخية المتوقعة في المنطقة العربية والمستخلصة من واحد أو أكثر من النماذج المناخية الإقليمية استناداً إلى معايير وخطوات زمنية محددة، تُستخلص من مسارات التركيز التمثيلية المختارة وتعطي نواتج ذات استبانة عالية بناء على شبكة أفقية تبلغ مقاييسها 50 كلم x 50 كلم و25 كلم x 25 كلم؛
- الناتج: تحديد وتقييم الحاجة إلى البيانات ومصادر البيانات وتوافرها والنقص المحتمل في البيانات من أجل التحقق من النموذج المناخي ومعايرة النموذج الهيدرولوجي لتحسين النتائج على المستوى الإقليمي.

رابعاً- الخطوة الثالثة: وضع النماذج الهيدرولوجية الإقليمية

كما يتغيّر المناخ يتغيّر أيضاً العنصر الهيدرولوجي، وهو أحد عناصر المناخ الرئيسية. ويؤدي تغيّر المناخ إلى تسريع معدل تحوّل المياه في مختلف حالاتها. فنتيجة لتغيّر المناخ مثلاً، قد تتسارع عمليات التبخر وتتزايد المتساقطات، وذلك يُحدث تغييراً في كميات المياه السطحية العذبة. والتغيرات الجذرية التي تشهدها الدورة المائية هي تغيّرات غير مسبوقة في تاريخ الإنسانية المعاصر. فلطالما كان انتظام الدورة المائية أساس مبدأ الثبات المائي الذي يرتكز عليه صانعو السياسات ومديرو الموارد المائية لتخطيط البنية الأساسية المائية والوقاية من المخاطر على مدى أكثر من قرن(84).

ويعني الثبات المائي مبدئياً أن مستقبل حالة المياه لن يكون مختلفاً عن الماضي من الناحية الإحصائية. وربما كانت هذه الفرضية العملية مفيدة في القرن الماضي ولكنها لم تعد صالحة في ظل تغير خصائص النظام المناخي. وهذا ما أظهرته محاكاة نماذج الدوران العالمية التي سلطت الضوء على تغيرات مهمة في الدورة المائية على المستوى العالمي. وتمكّن العلماء من الاعتماد على نماذج الدوران العالمية لوصف التغيرات العالمية المتوقعة في المتساقطات. وفي المقارنة الواردة في الشكل 18، يتبين أن نتائج المراقبة متطابقة مع المحاكاة الإلكترونية للمعدل المتوسط السنوي للمتساقطات في القرن الماضي.

الشكل 18- التطابق بين مراقبة المتساقطات ومحاكاة المعدل المتوسط السنوي للمتساقطات(85)



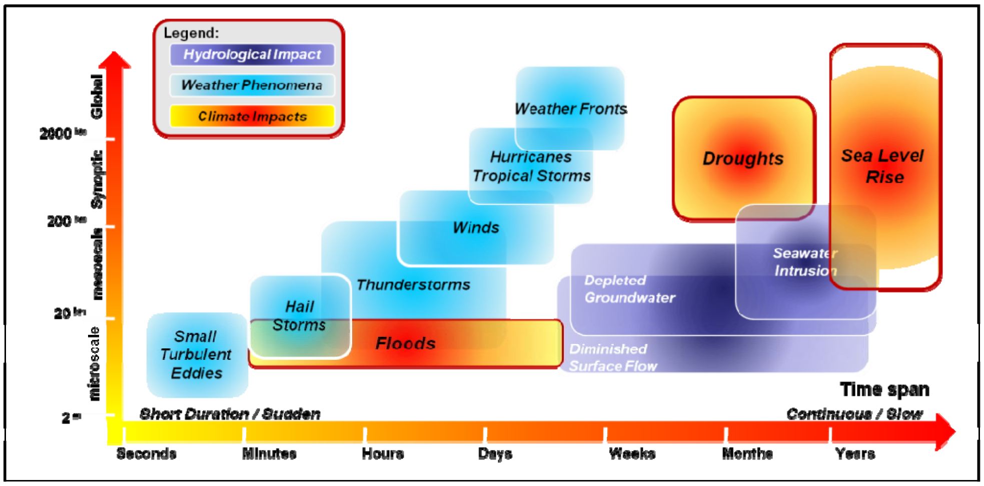
على الرغم من تحسُّن دقة النماذج المناخية على المستويين العالمي والإقليمي، لا يمكن استعمال نواتج النماذج المناخية بنفسها أساساً للدراسات الهيدرولوجية. فالنماذج المناخية مصممة فقط لدراسة الدورة المائية في إطار النظام المناخي العام، وهذه النماذج تتأثر عموماً بالتقلبات المناخية الموسمية الإقليمية والمحلية التي تحصل عند استبانة مكانية أدنى من الاستبانة التي تعمل عليها. وكما هو مبين في الشكل 19، تحصل بعض الظواهر المناخية، وخاصة المتطرفة منها، في ثوانٍ ودقائق وساعات، وتؤثر على نطاقات جغرافية أصغر من نطاق نماذج الدوران العالمية أو النماذج المناخية الإقليمية التي تخزّن بيانات عن فترات زمنية أطول (أي شبه يومية أو يومية أو شهرية) وتغطي استبانة أفقية يبلغ قياسها 10 كلم x10 كلم. وعندما يصبح النطاق أصغر، يجب النظر في مختلف نطاقات العمليات الهيدرولوجية بدقة أكبر من حيث المكان والزمان.

---

(84) Fowler et al. (2007) and Bates et al. (2008).

(85) IPCC (2007a).

الشكل 19- النطاقات المختلفة للظواهر المناخية النموذجية



بالإضافة إلى ذلك، يعني اختلاف النطاق بين العمليات الرئيسية أن العناصر المهمة التي يجب تناولها في دراسة الدورة المائية تختلف بحسب المحور الذي تركز عليه الدراسة مع أن الدورة المائية هي عنصر أساسي في الدورة المناخية. وبما أن نماذج الدوران العالمية والنماذج المناخية الإقليمية تركز على متغيرات الأرصاد الجوية، فهي لا تركز على تفاصيل الدورة المائية، والبيانات المستخلصة من نواتج هذه النماذج نظراً إلى طبيعتها وتركيبتها ومدى دقتها، "يستبعد استعمالها كما هي في الدراسات التي تتناول الأثر الهيدرولوجي"[86]. ومع أن هذه العمليات يمكن أن تُحدَّد معاييرها لوضع النماذج المناخية، من الأفضل استعمال النموذج الهيدرولوجي الإقليمي لأخذ هذه البيانات وإصدار النواتج اللازمة لإجراء الدراسات الهيدرولوجية حول جريان المياه ومعدلات التغذية وتراكم الثلوج، إلخ.

ألف- من النماذج المناخية إلى النماذج الهيدرولوجية

وفقاً لنتائج محاكاة نموذج الدوران العالمي، من المتوقع على المستويين العالمي والإقليمي أن يتسبب تغيّر المناخ بارتفاع متوسط درجات الحرارة، ما يؤدي إلى ارتفاع مستوى البحر وتسريع الدورة الهيدرولوجية. وسيتراوح معدّل ارتفاع درجة الحرارة بين 1.8 و4 درجات مئوية بحلول عام 2100 بحسب سيناريوهات مختلفة للانبعاثات، ومن المتوقع أن يتراوح هذا المعدّل بين حد أدنى قدره 1.4 درجات وحد أقصى قدره 5.8 درجات مئوية. ويُتوقَّع عموماً أن يبلغ الاحترار أعلى حد له على الأرض وفي خطوط العرض القطبية الشمالية. وبسبب ارتفاع متوسط درجات الحرارة، "قلّت أيام وليالي البرد والصقيع، وزادت أيام وليالي وموجات الحر" في الأعوام الخمسين الماضية من القرن العشرين[87].

ومن الناحية الهيدرولوجية، بات واضحاً أن ارتفاع متوسط درجات الحرارة يسرّع الدورة الهيدرولوجية لما يحلّ بالمياه عند احترار الغلاف الجوي. وخلافاً للغازات الأخرى، لا يمكن أن تتراكم المياه

(86) Fowler et al. (2007), p. 1557.

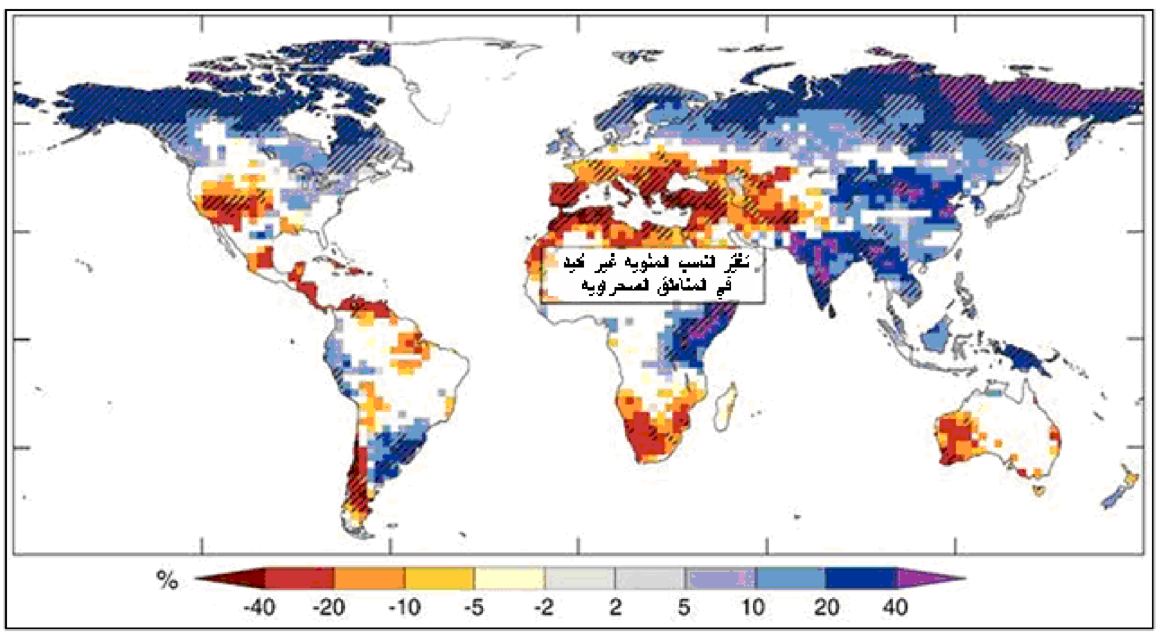
(87) IPCC (2007a).

في الجو عندما ترتفع حرارته[88]. ويؤدي ارتفاع متوسط درجات الحرارة إلى ارتفاع معدلات التبخر وتسريع تكوّن الغيوم، ما يزيد من احتمال هطول الأمطار بطريقة متقطّعة. وهكذا، تتسارع الدورة المائية.

ويؤدي ارتفاع متوسط درجات الحرارة إلى انسكاب كميات إضافية من المياه في الدورة المائية وتسريع تبخُّر المياه وعملية التكاثف والتساقط. وهذا ما أثبتته دراسات أُعدَّت مؤخراً استناداً إلى محاكاة نماذج الدوران العالمية، فارتفاع معدّل التساقط يعني هطول أمطار كثيفة شبيهة بوابل من المطر المنهمر، بدلاً من أن تهطل متكررة أو ممتدة على فترة أطول. وتؤكّد البيانات التي جُمعت في أواخر القرن العشرين أن الدورة المائية قد تكثّفت. وتظهر البيانات التي جُمعت بين عامي 1900 و2005 زيادة في عدد المتساقطات الكثيفة فوق معظم الأراضي.

وفي الشكل 20 يظهر وجود ثغرات في هذا التحليل مصدرها حدود نطاق النماذج المناخية. فالتغيّرات في جريان المياه لا تزال غير أكيدة في المساحات الواسعة الجافة وشبه الجافة التي تغطي معظم النطاق العربي. وتبرز هذه الثغرات في حالة المناطق الجافة وشبه الجافة حيث من الضروري فهم العمليات الهيدرولوجية في المستقبل. لذلك، لا يمكن أن يقتصر التحليل الهيدرولوجي على النماذج المناخية، بل يتطلب نماذج هيدرولوجية محددة لوصف الوضع الهيدرولوجي الإقليمي.

الشكل 20- التغيرات في جريان المياه السنوي استناداً إلى نموذج الدوران العالمي[89]



---

(88) Kiehl and Trenberth (1997). حتى ولو كانت المياه تسبب نسبة 36 إلى 75 في المائة من ظاهرة الاحتباس الحراري في الجو (حيث ينجم الثلثان عن بخار المياه والباقي عن الغيوم)، لا تتغير مساهمة المياه عموماً. أما مساهمة غازات الدفيئة الأخرى، فيمكن أن تتزايد مع ارتفاع درجات الحرارة لأنه ما من حدود لتركزها في الجو.

(89) Adapted from IPCC (2007b), p. 73.

وتُظهر النماذج الهيدرولوجية الإقليمية التي تدرس التغيّرات في الدورة المائية نتيجة لعوامل المناخ على المستوى الإقليمي، مدى تأثر الهيدرولوجيا الإقليمية وانعكاس هذه الآثار على مستوى إدارة المياه. ويساعد وضع نموذج للأنظمة الهيدرولوجية ذات الاستبانة العالية على سد الفجوة بين النماذج المناخية والهيدرولوجيا الإقليمية. وتستعمل النماذج الهيدرولوجية نواتج النموذج المناخي الإقليمي عناصر لإصدار توقعات عن الوضع الهيدرولوجي الإقليمي.

باء- مدخلات النموذج الهيدرولوجي الإقليمي

من شأن تنفيذ النموذج الهيدرولوجي الإقليمي على كامل النطاق العربي أن يكمّل النماذج المناخية الإقليمية ويعالج الثغرات المذكورة من خلال تقديم وصف دقيق للهيدرولوجيا المحلية. ويمكن تطبيق النموذج الهيدرولوجي الإقليمي على أحجام مختلفة من مستجمعات المياه في النطاق العربي. ولمعالجة حالات عدم اليقين التي قد تنشأ، يمكن استعمال عدة نماذج هيدرولوجية إقليمية من مجموعة نماذج لدراسة الهيدرولوجيا الإقليمية في النطاق العربي. وهذا النهج الذي يجمع بين نماذج متعدّدة يساعد في رصد الاختلافات بين الأحواض الكبيرة والصغيرة عند معايرة النموذج الهيدرولوجي في المنطقة.

ويمكن أن تكون النماذج المستعملة في النموذج الهيدرولوجي الإقليمي للمنطقة العربية قد طُبّقت في دراسات سابقة متعلقة بالتوازن المائي. فهذه النماذج هي إذاً ذات قدرة على محاكاة العمليات الهيدرولوجية كلها، وخاصة تلك التي تحدث في المناطق الجافة وشبه الجافة. وتشمل محاكاة العمليات الهيدرولوجية في النموذج مجموعة واسعة من العمليات، منها:

- **عمليات التربة والغطاء النباتي،** بما فيها اعتراض الغطاء النباتي للمطر وتبخُّر مياه الأمطار، وتقطُّر الضباب، والتدفق الجذعي (stem-flow)، وذوبان الثلج، والتبخر والنتح؛
- **تخزين الرطوبة في التربة وتوليد مياه الجريان** بما فيها التسلُّل والتشبُّع، وتخزين المياه في الحُفَر، والجريان المائي الجوفي غير العميق، والتدفق غير المتساوي، والتدفق فوق الأرض؛
- **تدفق المياه الجوفية** خاصة في تشكلات الأحجار الرملية أو تشكلات الكارست (Karst formations)؛
- **القنوات المائية وآثار الأنشطة البشرية** ومنشآت التحكم بالمياه، بما فيها اعتراض جريان المياه على منحدرات التلال، واعتراض المتساقطات، وتحويل مسار التدفق، واستعمال هيكليات المجاري المائية المتداخلة مثل المجاري السفلية، إضافة إلى عوامل أخرى مثل البحيرات، والأراضي الرطبة، وهيكليات التحكم بالمياه.

والتداخل بين تدفق المياه السطحية والمياه الجوفية، والعمليات المتعلقة بالتبخر والنتح هي في غاية الأهمية بالنسبة إلى النموذج الهيدرولوجي الإقليمي في المناطق شبه الجافة من النطاق العربي. وينبغي أن يمثل هذا النموذج شبكة التدفقات النهرية في المنطقة، وأن يصفها على عدة نطاقات. وتتوقف جودة تنفيذ النموذج الهيدرولوجي الإقليمي على قدرته على التفريد أو التقسيم في الزمان والمكان.

ويساعد تفريد الفترات الزمنية على تحديد مدى تعقيد عملية التنفيذ. وتنتج النماذج المحاكاة في فترات زمنية محددة، أي شبه يومية أو يومية أو شهرية. وكلما تحسّنت نوعية تفريد الفترات الزمنية، ازداد الطلب

على البيانات وازدادت متطلّبات الإعداد. ويؤثر هذا التفريد على دمج النموذج المناخي الإقليمي في النموذج الهيدرولوجي الإقليمي لأن الإبلاغ عن المتغيّرات يحدث على مدى فترات زمنية مختلفة. فالإبلاغ عن متغيرات الأرصاد الجوية كالحرارة والمتساقطات، مثلاً، يحدث يومياً، إلا أن تقييم المتغيرات الهيدرولوجية مثل معدلات التدفق يحدث كل ساعة. وعندما يكون من الضروري التوصل إلى نتائج مفصّلة، لا بد من طلب معلومات مفصلة للحصول على البيانات اللازمة. وفي النموذج الهيدرولوجي الإقليمي، تُبلَّغ البيانات وفقاً لمتطلبات التنفيذ، ويستعمل النموذج البيانات الصادرة عن مختلف قواعد البيانات العالمية وخاصة تلك التي تشكل فيها العناصر المناخية الرئيسية جزءاً من نواتج النموذج المناخي الإقليمي.

ويُحدَّد التفريد المكاني (Space discretization) بأنه قدرة النموذج الهيدرولوجي على تفريد دراسة أي حوض في إطار نماذج إجمالية أو شبه موزّعة أو موزّعة[90].

- النماذج الهيدرولوجية الإجمالية (Lumped) تُستعمل لتمثيل المساحات المتجانسة حيث يكون التوزيع المكاني للمتغيرات أو المعايير موحداً. وغالباً ما لا تحتاج إلى نموذج رقمي للتضاريس الأرضية[91]؛

- النماذج الهيدرولوجية شبه الموزّعة (Semi-distributed) تُستعمل في المساحات الأقل تجانساً. وهي تقسّم مستجمعات المياه إلى مساحات ذات خصائص هيدرولوجية متشابهة مثل نطاق المرتفعات أو منحدرات التلال أو الأحواض الفرعية. كما يمكن أن تُنشئ هذه النماذج مساحات محددة تتشارك في بعض الخصائص (مثل الغطاء الأرضي والمرتفعات والمنحدرات وغيرها) وتكون على شكل وحدات استجابة مجمّعة أو وحدات استجابة هيدرولوجية. وهي تتطلب استعمال النماذج الرقمية للتضاريس الأرضية لتحديد وحدات الاستجابة الأرضية أو الهيدرولوجية؛

- النماذج الهيدرولوجية الموزّعة (distributed) تُستعمَل في معظم المساحات غير المتجانسة وقد تكون الأكثر تطبيقاً. وهي ثقيلة من الناحية الحسابية وتتطلب استعمال النموذج الرقمي للتضاريس الأرضية للحصول على المدخلات الرئيسية. وتقسِّم هذه النماذج مستجمعات المياه إلى خلايا شبكية صغيرة متساوية الحجم تمثل كل منها وحدة استجابة هيدرولوجية منفصلة لديها خصائصها.

وتُستعمَل النماذج الهيدرولوجية الإجمالية من أجل تمثيل المساحات المتجانسة حيث يكون التوزيع المكاني لمتغيرات العناصر أو المعايير موحداً. وبما أن النطاق العربي يُعتَبر مساحة غير متجانسة، يتطلب تنفيذ النموذج الهيدرولوجي الإقليمي فيه استعمال النموذج الموزَّع. من هنا حاجة النموذج الهيدرولوجي الإقليمي إلى نموذج رقمي للتضاريس الأرضية.

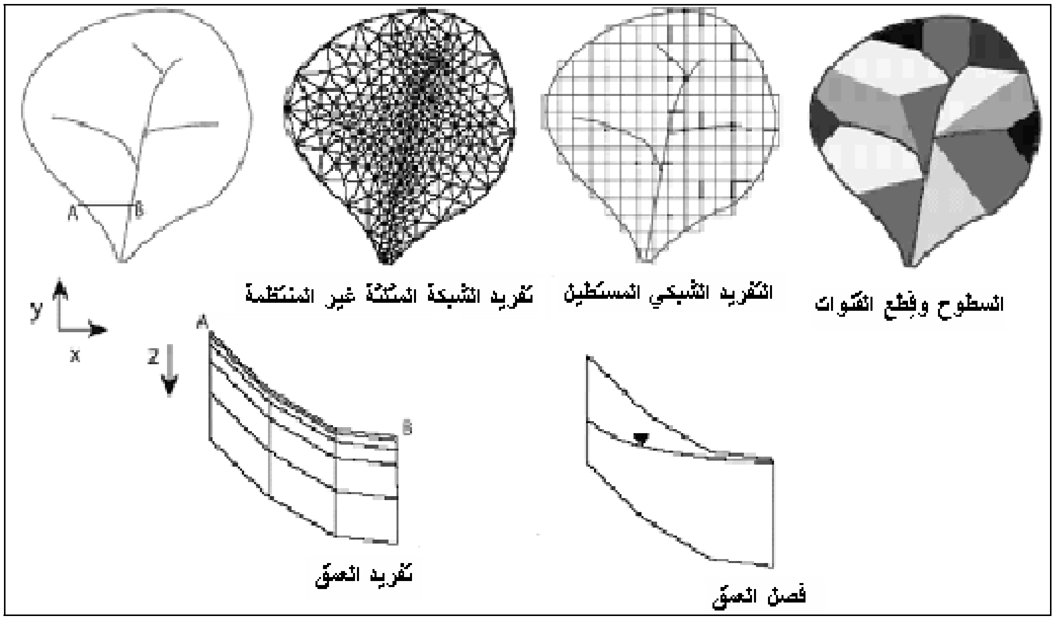
ولا تُطبِّق النماذج الهيدرولوجية النهج القائم على تفريد المكان الذي تستعمله النماذج المناخية. وخلافاً لشبكات النماذج المناخية، يمكن أن يمثل النموذج الهيدرولوجي الإقليمي أحواضاً هيدرولوجية مع استبانة أفضل وبطريقة تعكس بدقة أكبر مستجمعات المياه والخصائص المحلية، كما هو مبين في الشكل 21.

---

(90) Kampf and Burges (2007).

(91) تمثل النماذج الرقمية للتضاريس الأرضية سطح الأرض باستثناء بعض الأغراض مثل النباتات أو المباني. ويُشار إليها أيضاً بعبارة "النماذج الرقمية للتضاريس الأرضية".

الشكل 21- التفريد في النموذج الهيدرولوجي[92]



"تفصّل محاكاة النموذج الهيدرولوجي الإقليمي العمليات الهيدرولوجية مع استبانة عالية وبطريقة متزامنة ومتجانسة في عدة أحواض نهرية" من خلال دمج البيانات الصادرة عن النماذج المناخية مع بيانات دقيقة عن التضاريس والتربة والغطاء الأرضي[93]. وعموماً، تشمل المدخلات في النموذج الهيدرولوجي الإقليمي ما يلي:

- نواتج النموذج المناخي الإقليمي التي تشمل البيانات حول المتساقطات ودرجة الحرارة والتبخُّر لكل إسقاط؛
- بيانات المرتفعات التي تُستعمَل بشكل رئيسي لترسيم حدود مستجمعات المياه، ويمكن الحصول عليها من خلال النموذج الرقمي للتضاريس الأرضية؛
- المعايير الأرضية التي لديها مراجع جغرافية ويجب أن تتضمن معلومات عن أنواع التربة واستخدام الأراضي. وتشمل أنواع التربة تصنيف التربة ومعلومات عن عمق التربة وخصائصها. وتتضمن معايير استخدام الأراضي معلومات عن نطاق المساحات المرويّة؛
- بيانات هيدرولوجية حول المياه السطحية، بما فيها معلومات عن المنحنيات التقديرية والبحيرات والسدود والقنوات والتفرعات خاصة وأن المياه قد تأخذ مساراً مختلفاً عن المسار الذي ترسمه

(92) Fowler et al. (2007).

(93) Donnelly et al. (2010), p. 2.

التضاريس[94]. ويستفيد النموذج الهيدرولوجي الإقليمي أيضاً من البيانات المتعلقة بطول الأنهار وقياسات التدفقات السطحية للمساهمة في أي معايرة؛

- البيانات الهيدرولوجية حول المياه الجوفية، بما في ذلك معلومات عن موارد المياه الجوفية المتجددة وطبقات المياه الجوفية، إضافة إلى قياسات منسوب المياه الجوفية وخصائص التربة.

ومن خلال إدراج الطبيعة الجغرافية والأجزاء الهيدرولوجية في النطاق المناسب وعلى طول مسارات التدفق، يمكن أن يحاكي النموذج الهيدرولوجي الإقليمي عدة عمليات مثل ذوبان الثلج والجريان المائي السطحي، وتدفق مياه الصرف والمياه الجوفية، إضافة إلى النقل والتحول في الأنهار والبحيرات. ويمكن الاعتماد على قواعد البيانات العالمية مثل HydroSHEDS الذي وضعته مصلحة المساحة الجيولوجية في الولايات المتحدة الأمريكية التي تقدم قواعد بيانات ذات مراجع جغرافية حول حدود مستجمعات المياه، واتجاهات مياه الصرف، وتراكم التدفق ومسافاته، وتضاريس الأنهار استناداً إلى بيانات المرتفعات[95]. ويمكن استعمال قواعد بيانات أخرى مثل قاعدة البيانات العالمية للبحيرات والأراضي الرطبة أو خريطة GlobCover للغطاء الأرضي المعنية باستخدام الأراضي. إلا أن البيانات المحلية مهمّة لتنفيذ النموذج الهيدرولوجي الإقليمي بنجاح. على سبيل المثال، يمكن استعمال "الخريطة العالمية للتربة" التابعة لمنظمة الأمم المتحدة للتربية والعلم والثقافة (اليونسكو) للحصول على المدخلات في النموذج الهيدرولوجي الإقليمي لأنها تقدم استبانة قياسها 10 كلم × 10 كلم. ويمكن أن تُستَكمل المعلومات المأخوذة من قاعدة البيانات هذه ببيانات إقليمية وبمسوح وطنية ودون وطنية (sub-national) حول نوع التربة واستخدام الأراضي، كتلك التي جمعها المركز العربي لدراسة المناطق الجافة والأراضي القاحلة لتقديم معلومات أكثر تحليلاً عن معايير التربة وأنماط استخدام الأراضي التي تؤثر على موارد المياه العذبة أو ارتفاع مستوى البحر.

ولكي ينجح تنفيذ النموذج الهيدرولوجي الإقليمي للمنطقة العربية، يمكن أن يستفيد هذا النموذج من قواعد بيانات إقليمية عن تضاريس التربة من خلال النموذج الرقمي للتضاريس الأرضية، ومن البيانات المتعلقة بالتربة. ولكي يتمكن النموذج من تقديم بيانات دقيقة عن الهيدرولوجيا الإقليمية، من المهم أن يُعايَر بواسطة بيانات محلية، وخاصة في ما يتعلق بتصريف مياه النهر وتدفق المياه الجوفية. وتحصل هذه المعايرة من خلال تطبيق نماذج الأحواض الموثوقة أو المثبتة، واستعمال نواتجها للتحقق من دقة النموذج الهيدرولوجي الإقليمي أو ضبطها[96]. وبهذه الطريقة، يُدمَج النموذج الهيدرولوجي الإقليمي مع النموذج المناخي الإقليمي، ويُعايَر بواسطة النموذج الهيدرولوجي المرتكز على الأحواض، كما هو مبين في الشكل 22.

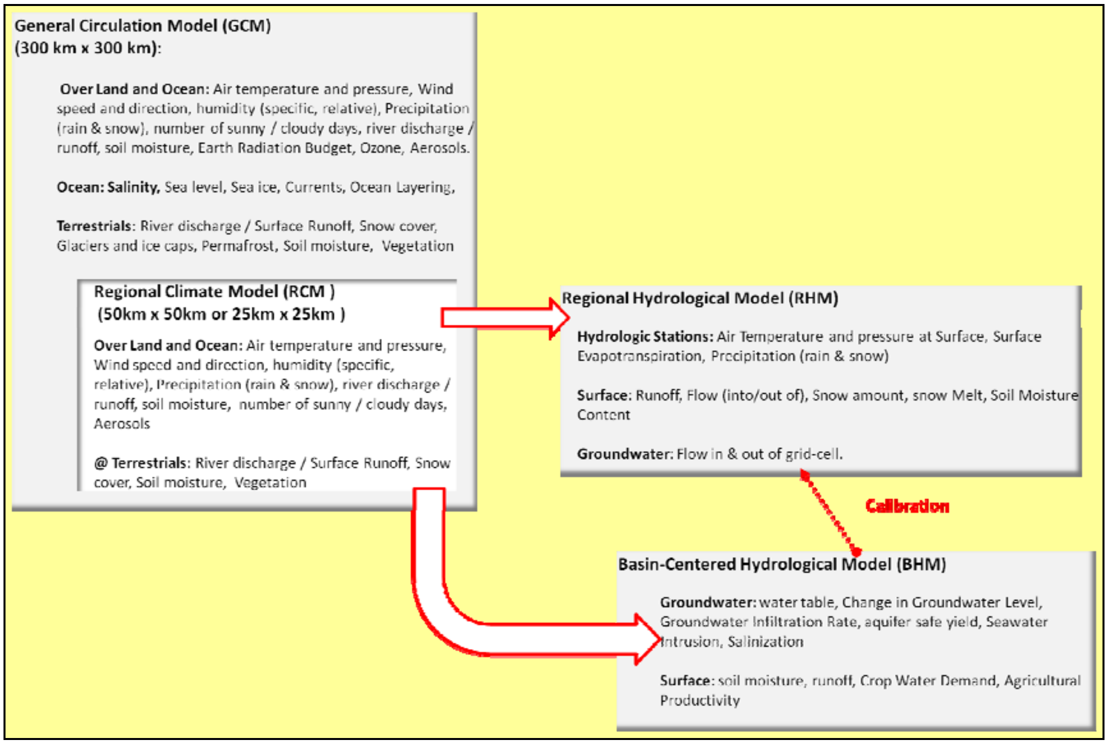
---

(94) يستند المنحنى التقديري إلى الرسوم البيانية (المستخرجة من محطات معايرة المجاري) حول تصريف مجرى مائي مقابل منسوبه. ويحدد التفريد المكاني اللازم لتنفيذ النموذج الهيدرولوجي الإقليمي الحجم الفعلي للبحيرات.

(95) Lehner et al. (2006).

(96) Donnelly et al. (2010).

الشكل 22- النموذج الهيدرولوجي الإقليمي في سياقه العام



يُنظر في استعمال عدة نماذج هيدرولوجية إقليمية لتطبيقها في المبادرة الإقليمية بهدف اختيار نموذجين أو ثلاثة من مجموعة نماذج. ولكن وضع النماذج الهيدرولوجية يتطلب كمية كبيرة من بيانات المراقبة الإقليمية التي تتطلب بدورها الوصول إلى البيانات الوطنية للأرصاد الجوية المائية. ولسد النقص المحتمل في البيانات، سوف يُستعمل النموذج الهيدرولوجي المرتكز على الأحواض في أحواض تجريبية لمعايرة النموذج الهيدرولوجي الإقليمي عندما تتوفر البيانات الكافية. ثم تُستعَمل هذه المعلومات لتطبيق أسس المعايرة على أحواض أخرى. ويُنصَح باختيار حوض واحد على الأقل من كل بلد عربي لمعايرة النموذج الهيدرولوجي الإقليمي في المنطقة العربية(97).

المحور الأساسي: النموذج الهيدرولوجي الإقليمي

- تقديم بيانات فيزيوغرافية مفصّلة لتنفيذ النموذج، وخاصة البيانات المساحية من النماذج الرقمية للتضاريس الأرضية إضافة إلى بيانات مفصّلة عن التربة (قاعدة البيانات عن التربة في البلدان العربية)؛
- تقديم ملف رقمي للمحطات الهيدرولوجية المستعملة لتغذية النموذج الهيدرولوجي المتركز على الأحواض أو معايرته.

(97) ESCWA (2011a).

جيم- اختيار النماذج الهيدرولوجية الإقليمية

في مرحلة المشروع المخصصة لاختيار نماذج الدوران العالمية والنماذج المناخية الإقليمية، لا بد من اختيار نموذج هيدرولوجي واحد أو أكثر لضمان اعتماد أفضل النماذج الهيدرولوجية المتاحة. ويجب أن تأخذ النماذج الهيدرولوجية المختارة في الاعتبار الخصائص المائية للمنطقة والتفاعل مع مخرجات النماذج المناخية الإقليمية المختارة. ويعتمد المعهد السويدي للأرصاد الجوية والهيدرولوجية المعايير التالية لتحديد النماذج الهيدرولوجية التي ينبغي اختيارها للتطبيق في المنطقة العربية. ووفقاً لهذه المعايير، ينبغي للنموذج أن يكون:

- قابلاً للتطبيق على مجموعة من مستجمعات المياه ذات المساحات المختلفة؛
- يحتوي على معلومات تدعم الدراسات في مجال موازين المياه؛
- متطوراً بما فيه الكفاية لمحاكاة العمليات الهيدرولوجية ذات الصلة كلها، بما في ذلك عمليات المناطق القاحلة؛
- قادراً على عكس التفاعل بين تدفقات المياه السطحية والمياه الجوفية، والتبخر، وتدفق مياه الأنهار في الشبكة؛
- قادراً على تحديد قيمة المخرجات اليومية؛
- معتمداً على الحد الأدنى من البيانات (نظراً إلى الافتقار إلى البيانات بشأن مستجمعات المياه في المنطقة)؛
- قابلاً للاستخدام والمقارنة مع البيانات المستقاة من قواعد بيانات عالمية مختلفة؛
- متاحاً مجاناً إلى جانب الوثائق المتوفرة(98).

دال– وضع النماذج الهيدرولوجية المطبقة على الأحواض

يُطبَّق النموذج الهيدرولوجي المرتكز على الأحواض لتنفيذ غرض واحد أو غرضين في سياق التقييم المتكامل، وذلك إما لتوفير أحواض تجريبية من أجل معايرة النموذج الهيدرولوجي الإقليمي، أو وضع النماذج الهيدرولوجية المرتكزة على الأحواض استناداً إلى نواتج النموذج المناخي الإقليمي.

1- استعمال النموذج الهيدرولوجي (المطبق على الأحواض) من أجل معايرة النموذج الهيدرولوجي الإقليمي

بما أن تطوير النماذج الهيدرولوجية يسبق تطوير النماذج المناخية عموماً، لا تستطيع جميع النماذج الهيدرولوجية المطبقة على الأحواض أن تندمج مع النماذج المناخية. ولضمان المعايرة المناسبة لنماذج الأحواض مع النماذج الهيدرولوجية الإقليمية، ينبغي اختيار نماذج الأحواض القادرة على الاندماج بالشكل المناسب مع النماذج المناخية الإقليمية.

---

(98) Johnell (2011).

الجدول 5- أنواع النماذج الهيدرولوجية المطبقة على الأحواض

	إجمالية	شبه موزعة	موزعة
طبقات التربة	تمثيل مفهومي	عمق محدد للتربة	فرق محدد لتفريد عناصر محددة
طبقات الغطاء النباتي	طبقتان أو أكثر	طبقتان	طبقة واحدة
عمليات مستجمعات المياه	نُهُج تجريبية	نُهُج تحليلية	نُهُج فيزيائية
هيدرولوجيا الطرق	نُهُج تجريبية	نُهُج تحليلية	نُهُج فيزيائية
خصائص أخرى	نُهُج تجريبية	نُهُج تحليلية	نُهُج فيزيائية
البيانات المطلوبة	المتساقطات شهرياً الحرارة شهرياً	المتساقطات يومياً الحرارة يومياً	المتساقطات كل ساعة ويومياً الحرارة كل ساعة ويومياً
	لا حاجة لبيانات الخريطة	تتطلب بيانات الخريطة (النموذج الرقمي للتضاريس الأرضية، والتربة، والغطاء الحرجي)	تتطلب بيانات الخريطة (النموذج الرقمي للتضاريس الأرضية، والتربة، والغطاء الحرجي)
	المعايير تستند إلى أساس تجريبي	الحد الأدنى من متغيّرات المعايرة	عدد متوسط إلى مرتفع من متغيّرات المعايرة

وفي الماضي، كان علماء الهيدرولوجيا يعملون في ظروف مناخية يعتقدون أنها غير متغيّرة. ونتيجة لهذا الثبات الهيدرولوجي ونتيجة للمعايير المناخية التي لم يكن متوقعاً أن تتغير مع الوقت، استندت النماذج إلى بعض المعايير الرئيسية الثابتة. أما في الظروف المناخية المتغيرة، فمن المتوقع أن تتغير المعايير الرئيسية، ما يجعل من المهم تكييف النموذج الهيدرولوجي المطبق على الأحواض. ومن خلال ضبط النموذج، يصبح من السهل تعديل برمجته ليندمج مع النماذج المناخية ويعالج مختلف البيانات المناخية. وكل نموذج هيدرولوجي مطبق على الأحواض يُستعمل للمعايرة يجب أن يكون قادراً على تحديث قيم جديدة للمعايير المناخية الرئيسية، ومراعاة استخدام الأراضي والتغيرات في الغطاء النباتي التي قد تحصل أثناء المحاكاة، وتحديد عوامل التربة الرئيسية لكي تعكس بعض الآثار مثل ارتفاع الملوحة أو النحر بفعل الرياح[(99)].

ويجب أن يستند اختيار النماذج الهيدرولوجية المرتكزة على الأحواض إلى مجموعة من المعايير والمتطلبات الفنية لضمان اندماجه مع البيانات المناخية. وكما هو مبين في الجدول 5، يمكن اختيار النماذج التي لديها المعايير المطلوبة.

2- استعمال النموذج الهيدرولوجي المطبق على الأحواض للتوصل إلى نواتج على مستوى الأحواض

قدمت عمليات التصغير الإحصائي والتصغير الديناميكي عن نماذج الدوران العالمية معلومات عن آثار تغيّر المناخ على الموارد المائية في المنطقة العربية استناداً إلى نواتج نموذج الأرصاد الجوية الصادرة عن النماذج المناخية. وفي بعض الحالات، بُذلت جهود لدمج نواتج نموذج الدوران العالمي مع نموذج هيدرولوجي على مستوى الأحواض لدعم التقييم الوطني لتغيّر المناخ. ولكن إصدار نواتج موثوقة لم يكن سهلاً نظراً إلى الاختلاف بين المقياس المكاني والمقياس الزمني المستعملين لإصدار نواتج نموذج الدوران العالمي (مع استبانة أفقية قياسها 300 كلم × 300 كلم) ولتقييم العمليات الهيدرولوجية على مستوى الأحواض التي تتطلب استبانة أدقّ ويمكن أن تُصدر نواتج يصل قياسها إلى كيلومتر واحد.

(99) Beckers et al. (2009), p. 14.

وعند تطوير نموذج مناخي إقليمي للمنطقة العربية وتطبيقه، يمكن أن تُدمَج النماذج الهيدرولوجية لآثار تغيّر المناخ على الموارد المائية مع نواتج مفصلة صادرة عن النموذج المناخي الإقليمي، ما يؤدي إلى نواتج وبيانات أكثر دقة (خاصة عند استبانة أفقية قياسها 25 كلم × 25 كلم) من شأنها أن توجه تحليل العملية الهيدرولوجية بمعلومات أفضل وتحسّن نواتج النماذج الهيدرولوجية المطبّقة على الأحواض لإجراء تقييم للوضع الهيدرولوجي دون الإقليمي والوطني وعلى مستوى الأحواض.

المحور الأساسي: وضع النماذج الهيدرولوجية للأحواض

- تحديد المناطق الفيزيوغرافية وتصنيفها انطلاقاً من متطلبات التفريد (discretization requirements)، والنظام الهيدرولوجي الأولي، والمرتفعات، وأنواع التربة إلخ؛
- استعمال نموذج هيدرولوجي واحد للأحواض لكل بلد عربي لمعايرة النموذج الهيدرولوجي الإقليمي للمنطقة العربية، على أن تراعى عند وضع النماذج الإقليمية الفوارق بين الأحواض الكبيرة والصغيرة؛
- دمج النموذج المناخي الإقليمي مع النموذج الهيدرولوجي للأحواض مباشرة لإصدار نواتج على المستوى دون الإقليمي أو الوطني أو على مستوى الأحواض.

هاء- نواتج النموذج الهيدرولوجي الإقليمي

يرتكز تنفيذ النموذج الهيدرولوجي الإقليمي على دمجه مع النماذج المناخية الإقليمية. وتُنفَّذ عدة نماذج مناخية إقليمية داخل نموذجَيْ دوران عالميين على الأقل. وتُستعمَل البيانات الناتجة من تنفيذ كل من هذه النماذج المناخية الإقليمية لتطبيق عدة نماذج هيدرولوجية إقليمية. وعند الضرورة، يُنفَّذ بعض النماذج الهيدرولوجية الموضوعة على مستوى الأحواض بواسطة النموذج الهيدرولوجي الإقليمي ويجري تطبيقها على أحواض محددة. ثم تجمع النتائج المستخلصة من مختلف هذه النماذج الهيدرولوجية الإقليمية المنفّذة، وتنسّق على مستوى المنطقة العربية.

وبما أن تغيّر المناخ هو مشكلة متعددة الأوجه، تختلف آثاره بحسب طبيعة العناصر المترابطة لمختلف الأنظمة البيوفيزيائية والاجتماعية والاقتصادية التي تطالها هذه الآثار. ونتيجة لذلك، لا تتأثر الدورة المائية بالعوامل المادية فحسب، بل أيضاً بالأنشطة البشرية التي تؤثر على الموارد المائية. وآثار تغيّر المناخ على الموارد المائية هي على نوعين، الآثار الأولية والآثار الثانوية. فالآثار الأولية هي نتيجة مباشرة للآثار البيوفيزيائية لتغيّر المناخ. أما الآثار الثانوية فتنشأ عندما تؤدّي الآثار البيوفيزيائية إلى أفعال بشرية بمساندة التكنولوجيا والبنية الأساسية[(100)].

1- الآثار الأولية والظواهر المناخية المتطرفة

الآثار الأولية هي الآثار المباشرة لتغيّر المناخ على الموارد المائية. وهي تُحدَّد وفقاً للعلاقات البيوفيزيائية التي يحدّدها علماء المناخ والهيدرولوجيا. وعلى المستوى الإقليمي، تكون هذه الآثار:

- إما آثاراً على الأحوال الجوية التي تحللها النماذج المناخية الإقليمية، والتي قد يكون أو لا يكون لها أثر مباشر على الموارد المائية؛

(100) Füssel (2009) and Fünfgeld and McEvoy (2011).

- أو آثاراً هيدرولوجية تحللها النماذج الهيدرولوجية الإقليمية نتيجة للآثار على الأحوال الجوية.

وكما هو مبين في الجدول 6، تُحسَب مؤشرات الآثار الأولية (البيوفيزيائية) مباشرة استناداً إلى نواتج النماذج الإلكترونية سواء أكانت نماذج مناخية إقليمية أم نماذج هيدرولوجية إقليمية أم نماذج هيدرولوجية مطبّقة على الأحواض. والمؤشرات التي يمكن أن تُصدرَها النماذج الإلكترونية بدقة مُشار إليها باللون الأزرق في الجدول، والمؤشرات التي تنقصها الدقة مبيّنة بالخطوط الرمادية المائلة. وتَعرض هذه المؤشرات الأثر الأساسي لتغيّر المناخ على الهيدرولوجيا وفقاً لمقياس المكان والزمان.

الجدول 6- المؤشرات المبدئية للآثار الأولية

الموقع المتأثر	المؤشرات المبدئية	المصدر		
		النموذج المناخي الإقليمي	النموذج الهيدرولوجي الإقليمي	النموذج الهيدرولوجي المطبّق على الأحواض
السطح	• الحرارة • معدل التبخر والنتح • المتساقطات (الأمطار والثلوج)			
	• تصريف مياه النهر • الجريان المائي • مستوى البحيرات • مساحة البحيرات • ذوبان الثلج • تراكم الثلج			
	• رطوبة التربة			
تحت السطح	• منسوب المياه الجوفية • التغير في مستوى المياه الجوفية			
	• معدل تسلل المياه الجوفية			
	• الإنتاجية المحددة للطبقات الجوفية • القدرة التخزينية المحددة لطبقات المياه الجوفية			

ومع أن نواتج النماذج الهيدرولوجية يمكن أن تُستَعمل لتقييم خطورة الجفاف من خلال تحليل التغيرات في المعايير المناخية والهيدرولوجية على مر الأيام والأشهر والسنوات، فإن تقييم ظواهر الفياضانات المتطرفة يصبح أكثر صعوبة. ويجوز أن تحصل ظواهر المتساقطات والفياضانات المتطرفة على مدى أيام أو حتى ساعات، وأن تنحصر في موقع معيّن. ولكن التقلبات المناخية المتطرفة قد لا تبيّنها تماماً توقعات تغيّر المناخ التي تعرض التقلبات في الظروف المناخية المعتدلة والاتجاهات المناخية الإقليمية على مدى فترة زمنية أطول. لذلك، لا بد من إجراء المزيد من التحليل لدعم نواتج النماذج المناخية الإقليمية والنماذج الهيدرولوجية الإقليمية توخياً لمزيد من الدقة في تقييم الظواهر المتطرفة التي تؤثر على الموارد المائية. وهذا يتطلب الكثير من الوقت والجهد ويتطلب قدرة كافية لتخزين البيانات على نحو يسمح بإدارتها وتحليلها والتحقق منها ضمن فترات زمنية أقصر وباستبانة أعلى مقارنة بالبيانات المستخدمة في تقييم أثر تغيّر المناخ.

ويتطلب التحقق من النواتج الصادرة عن النموذج المناخي الإقليمي والنموذج الهيدرولوجي الإقليمي على أساس شبه يومي الرجوع إلى مخزون المعلومات من الماضي حول الظواهر المتطرفة لتقديم بيانات أكثر تفصيلاً من البيانات التي تقدمها عادة مؤسسات الأرصاد الجوية ووزارات المياه. ويساعد جمع هذه البيانات

على تحسين قاعدة المعرفة الإقليمية، ودعم البلدان في الاستعداد لمواجهة الظواهر المتطرفة في المستقبل، وتقديم المعلومات الكمية والجغرافية المكانية اللازمة لتحسين دقة نواتج النموذج المناخي الإقليمي والنموذج الهيدرولوجي الإقليمي على مقياس جغرافي مكاني وزمني أدقّ من أجل تحديد الآثار الأولية لتغيّر المناخ على تكرار الظواهر المتطرفة وحدّتها.

2- الآثار الثانوية

الآثار الثانوية هي النتيجة غير المباشرة لتغيّر المناخ والناجمة عن الأنشطة البشرية أو عن إجراءات التصدّي للآثار الأولية. ومن الضروري ألا يغيب عن الحسابات الأثر المستمر للنشاط البشري على الدورة المائية والتوازن المائي على مستوى الأحواض وعلى المستوى الإقليمي. ومن الوسائل التي تساند الأنشطة البشرية التي تؤثر على الموارد المائية هي التكنولوجيا والبنية الأساسية ضمن الأنظمة الاجتماعية والاقتصادية.

فالآثار الثانوية هي إذاً نتيجة لتداخل العديد من العوامل الاجتماعية والاقتصادية القائمة. وهذا التفاعل بين مختلف القطاعات الاجتماعية والاقتصادية (أي الزراعة والصناعة والاستعمالات المنزلية) هو مصدر آثار مباشرة وغير مباشرة على الموارد المائية[(101)]. ومن الأمثلة على الآثار الاجتماعية والاقتصادية المباشرة على الموارد المائية طريقة تصدّي القطاع الزراعي للجفاف، التي تختلف باختلاف طبيعة الأرض أكانت مروية بمياه الأمطار من عدمه، ومن الأمثلة على الآثار الاجتماعية والاقتصادية غير المباشرة وضع قطاع توزيع السلع والخدمات، كإنتاج الطاقة الذي يعتمد على توفر الموارد المائية والحرارة المحيطة على حد سواء.

وفي الجدول 7 المؤشرات المبدئية للآثار الاجتماعية والاقتصادية الثانوية لتغيّر المناخ.

الجدول 7- المؤشرات المبدئية للآثار الثانوية

الموقع/القطاع المتأثر	المؤشرات المبدئية	الوحدات
الزراعة	• الإنتاجية الزراعية	الإنتاجية: طن/هكتار
	• الطلب على مياه المحاصيل	م^3/هكتار
المياه	• المساحات المتأثرة بالتملّح الثانوي	م^2
	• معدلات سحب المياه	م^3/ز
الأرض	• تخزين مياه العواصف	م^2
	• تلوث من مصدر ثابت	الموقع

ملاحظة: يشير حرف "ز" إلى الفترة الزمنية الفاصلة (عام أو شهر أو يوم).

وتحليل الآثار الأولية والثانوية لتغيّر المناخ على الموارد المائية استناداً إلى نواتج النموذج المناخي الإقليمي والنموذج الهيدرولوجي الإقليمي يكمّل تقييم الأثر في إطار التقييم المتكامل، ويشكل أساساً متيناً لتقييم قابلية تأثر القطاعات الاجتماعية والاقتصادية بتغيّر المناخ في المنطقة العربية.

(101) Fünfgeld and McEvoy (2011).

خلاصة الفصل الرابع

يتطلب وضع النماذج الهيدرولوجية الإقليمية:

- ☑ تحديد المعايير والمتطلبات لوضع نماذج هيدرولوجية إقليمية في المنطقة العربية استناداً إلى الخصائص الإقليمية والمحلية؛
- ☑ تحديد المعايير الهيدرولوجية التي يجب أن تُحسَب في إطار النموذج؛
- ☑ اختيار النماذج الهيدرولوجية الإقليمية التي ستُستَعمل للتوصل إلى مجموعة نواتج هيدرولوجية استناداً إلى توقعات نموذج مناخي إقليمي واحد لمسار تركيز تمثيلي محدد. ويمكن تكرار هذه العملية بالنسبة إلى توقعات أخرى من النموذج المناخي الإقليمي ومسارات أخرى، وهي تشمل:
  - o توضيح التداخل بين النموذج المناخي الإقليمي والنماذج الهيدرولوجية الإقليمية المختارة، وتحديد هذا التداخل؛
  - o التأكد من أن النماذج الهيدرولوجية الإقليمية المختارة يمكن جمعها من أجل تحليلها كمجموعة وتحديد نواتجها؛
- ☑ تطبيق نموذج أحواض هيدرولوجي واحد أو أكثر في أحواض تجريبية لمعايرة النماذج الهيدرولوجية الإقليمية وتوضيح الحالات التي تستدعي المزيد من التحليل المفصل لوحدات هيدرولوجية صغيرة لتحديد ظواهر محددة مثل الجفاف أو الفيضانات. وهذا يتطلب:
  - o اختيار نموذج أحواض هيدرولوجي واحد أو أكثر لأغراض محددة استناداً إلى مجموعة من المعايير والمتطلبات؛
  - o تحديد التداخل بين النموذج المناخي الإقليمي والنماذج الهيدرولوجية المرتكزة على الأحواض لكي تُستعمل للمعايرة أو لإجراء دراسات حالة؛
- ⊂ النواتج: مجموعة بيانات جغرافية مكانية موحدة حول الآثار المتوقعة لتغيّر المناخ على الموارد المائية الإقليمية في المنطقة العربية استناداً إلى معايير هيدرولوجية وفترات زمنية محددة مرتبطة بمسار تركيز تمثيلي واحد أو أكثر ناتج من نموذج مناخي إقليمي واحد أو أكثر؛
- ⊂ النواتج: بيانات هيدرولوجية أكثر تفصيلاً عن الدورة المائية والموارد المائية التي يمكن استخراجها من توقعات نموذج الدوران العالمي أو النموذج المناخي الإقليمي؛
- ⊂ النواتج: التمييز بين الآثار الأولية والثانوية لتغيّر المناخ على الموارد المائية في المنطقة العربية.

خامساً- الخطوة الرابعة: تقييم قابلية التأثر

يختلف تقييم "قابلية التأثر" حسب التعريف الذي يُعطى لهذا المصطلح، لأن المصطلح نفسه يمكن أن يحمل تفسيرات مختلفة باختلاف الاختصاصات ومجالات الخبرة. وتطورت البحوث حول قابلية التأثر، فلم يعد هذا المفهوم يركز حصراً على العوامل الجغرافية والمخاطر الطبيعية، بل أصبح مفهوماً أساسياً في عدة مجالات أخرى. وعلى مر السنين، ارتبط هذا المصطلح بعدة مفاهيم مثل التعرض للمخاطر، والحساسية، والقدرة على التصدّي والتأثر بالمخاطر، والصلابة، والمناعة، والهشاشة، والضعف، والقدرة على التكيف، وعدم القدرة على الاحتمال والخطر. ولذلك، تُستعمَل المصطلحات نفسها في سياقات مختلفة للإشارة إلى أنظمة أو تحديات مختلفة، ما أدى إلى التباس خاصة في مجال تغيّر المناخ الذي يستدعي بحوثاً في المعلومات العلمية المستقاة من عدة تخصصات. ونتيجة لهذا الالتباس، أصبح نطاق استعمال مصطلح "قابلية التأثر" واسعاً جداً، بحيث لم يعد مفيداً لتقديم وصف دقيق للوضع الحالي، وبات مجرد مؤشر تعبيري للدلالة على المجالات التي تستدعي اهتماماً خاصاً(102). لذلك، من الضروري أن يُعتمد لأغراض هذه الدراسة تعريفاً واضحاً لقابلية التأثر تجنّباً للمزيد من الالتباس في استعمال المصطلحات وعرض المفاهيم. وفي الأقسام التالية، ستُحدَّد التعاريف الأكثر استعمالاً لمصطلح "قابلية التأثر" والتعريف المستعمل في هذه الدراسة.

مصطلحان في سياق قابلية التأثر: المخاطر والآثار

في بعض الأحيان، تُستعمل عدة مصطلحات للدلالة على المفهوم نفسه مع أنها قد تحمل معاني مختلفة في سياقات مختلفة. وهذا ما أدى إلى الالتباس في استعمال مصطلحين منتشرين في الأدبيات المتعلقة بتغيّر المناخ، وهما "المخاطر" و"الآثار"(103).

- المخاطر هي المصدر الذي تأتي منه الحوادث السلبية. ويربط بعض التعاريف هذا المصطلح بمبدأ الاحتمال أي أرجحية وقوع حادث معين، فتُعرَّف المخاطر بأنها "حوادث أو ظواهر مادية أو أنشطة بشرية تلحق أضراراً محتملة"(104)، أو "ظواهر مناخية محددة مادياً يمكن أن تسبب الضرر"(105)؛
- الآثار تُحدَّد بأنها النتائج القابلة للقياس مثل معدل ارتفاع مستوى البحر، والتغيرات في المتساقطات أو في درجات الحرارة إلخ.

ويركز هذا التقييم المتكامل على آثار تغيّر المناخ باستخدام عدة أدوات لوضع النماذج، والسيناريوهات والتوقعات المعترف بها دولياً.

ألف- تحديد مفهوم قابلية تأثر القطاعات الاجتماعية والاقتصادية

لا يوجد تعريف صحيح أو خاطئ في المطلق لقابلية التأثر، فلا بد من تحديد مفهوم هذا المصطلح في سياق متكامل. وستركز هذه الدراسة على قابلية تأثر الأنظمة الاجتماعية والاقتصادية بآثار تغيّر المناخ على الموارد المائية. وبما أن المناخ يقاس حسب الموقع الجغرافي والفترة الزمنية، يجب أن تُحدد قابلية تأثر

---

(102) Füssel (2007), p. 155.

(103) Fünfgeld and McEvoy (2011), p. 37.

(104) UNISDR (2004).

(105) UNDP (2011).

القطاعات بطريقة ديناميكية وشاملة لمقاييس مختلفة. ويجب أن يشمل تقييم قابلية التأثر مختلف أوجه الآثار الأولية والثانوية لتغيّر المناخ على الموارد المائية، بحيث يوضع إطار لمفهوم قابلية التأثر في هذا السياق.

وفيما يتعلق بقابلية تأثر الأنظمة الاجتماعية والاقتصادية، يُقيَّم احتمال تضرُّر هذه الأنظمة حسب تعرضها للإجهاد، وحساسيتها إزاء المخاطر، والقدرة على مقاومة الآثار والتصدّي لها والاستفادة منها والتعافي منها والتكيف معها. ولا يظهر هذا الاحتمال إلا عندما يتعرض النظام لأثر عامل الإجهاد، فتصبح قابلية التأثر عنصراً كامناً لا يمكن ملاحظته إلا عند وقوع ظاهرة مناخية(106). وبما أن قدرة النظام على التكيف يمكن أن تخفف من قابلية تأثره بتغيّر المناخ، تُعتبر هذه القدرة عنصراً إيجابياً من قابلية التأثر.

أهمية إيجاد إطار مرجعي لتقييم قابلية التأثر(107)

حاول تحديد أي من هاتين المنطقتين هي الأكثر قابلية للتأثر بتغيّر المناخ:

⇐ المنطقة "أ" هي منطقة ساحلية منخفضة، وهي أكثر ثراء ودفئاً وتحضراً؛
⇐ أو المنطقة "ب"، وهي منطقة جبلية أكثر فقراً وأكثر برداً، وتعتمد على الزراعة؛

- تتعرض المنطقة "أ" بسبب انخفاضها لارتفاع مستوى سطح البحر ولاحتمال تزايد الأعاصير. كما يؤدي ارتفاع درجة الحرارة إلى تفاقم أثر الجفاف؛
- تملك المنطقة "ب" موارد أقل للتصدّي لتغيّر المناخ، وفرصاً أقل لتنويع قاعدة مداخيلها. كما يمكن أن يتسبب الفقر بتفاقم الصعوبات الإدارية.

عند تحديد أي من هاتين المنطقتين هي الأكثر قابلية للتأثر بتغيّر المناخ، يجب أن يعتمد التقييم على محور السياسة، والإطار المرجعي وأبعاده الجغرافية والزمنية:

⇐ يركز المنظور الجغرافي على التفاعل بين الجغرافيا الفيزيائية والمعايير الاجتماعية والاقتصادية؛

- ▪ عندما يكون التركيز على سبل العيش البشري، تُعتبر المنطقة "ب" هي الأكثر قابلية للتأثر وفقاً للتقييم ذات الصلة، لأن الظواهر المناخية المتطرفة هي شديدة التأثير على السكان الأكثر فقراً (كما في حالة الجفاف وزراعة الكفاف (subsistence farmers))؛
- ▪ وعندما يكون التركيز على التنمية الاقتصادية، تُعتبر المنطقة "أ" هي الأكثر قابلية للتأثر لأن وجود العاصمة على الساحل سوف يتأثر بالأعاصير أو بارتفاع مستوى سطح البحر؛

⇐ ويجب أن تُحسب في الإطار المرجعي الفترة الزمنية لأن هذا العنصر قد يُظهر آثاراً إضافية؛

- ▪ على سبيل المثال، في النصف الأول من القرن الحادي والعشرين، قد يؤثر تغيّر المناخ على المنطقتين "أ" و"ب". وفي المنطقة "ب"، يمكن أن يؤدي تغيّر المناخ إلى ذوبان الأنهار الجليدية أو انحسار الغطاء الثلجي، ما يتسبب بنحر التربة أو انخفاض مخزون المياه الجوفية؛ كما تتأثر المنطقة "أ" لأن أثر الأعاصير يتفاقم بسبب ارتفاع مستوى سطح البحر، ما يزيد من احتمالات حدوث المد العاصفي (storm surges)؛
- ▪ وعلى المدى الطويل، نظراً للزخم المتواصل لتغيّر المناخ، ستظل المنطقة "أ" تتأثر بارتفاع مستوى سطح البحر في النصف الثاني من القرن الحادي والعشرين لفترة طويلة بعد ذوبان الأنهار الجليدية التي أثرت على المنطقة "ب".

---

(106) ESCWA (2010c), p. 9

(107) Füssel (2007).

وتستمدّ مقاييس قابلية تأثر القطاعات الاجتماعية والاقتصادية من عدة مؤشرات. وبعض هذه المؤشرات، مثل الاعتماد على الزراعة المروية بمياه الأمطار، يتعلق بعمليات تقوّض قدرة النظام على تحمل الأضرار الناجمة عن تغيّر المناخ؛ وبعضها الآخر، مثل الدخل الفردي والتعليم، يبيّن القدرة على الحد من قابلية التأثر بتغيّر المناخ. ومن الأمثلة على قابلية تأثر القطاعات الاجتماعية والاقتصادية:

- العوامل الاجتماعية بما فيها الكثافة السكانية، ونسبة المساحات المبنية في السهول الفيضية، ونسبة سوء التغذية لدى الأطفال، ومعدل وفيات الأطفال؛
- العوامل الاقتصادية بما فيها أسعار الطاقة، وحصول الأسر على المياه والصرف الصحي، أو العوامل التي تؤثر على الإنتاجية الزراعية مثل الطلب على مياه الري، وأسعار المحاصيل المنزلية، والإعانات الزراعية، والواردات الغذائية، وإمكانات الوصول إلى السوق؛
- السياسات الوطنية المحددة التي تُدرَج في العوامل الداخلية لقابلية التأثر، والتي يمكن أن تمثلها مؤشرات معقدة مثل مستوى تطبيق الإدارة المتكاملة للموارد المائية، وفعالية إدارة الطلب على المياه، أو مؤشرات مباشرة حول القدرة الفعلية على تخزين المياه أو نسبة الأسر المعتمدة على القطاع الزراعي.

باء- قياس قابلية التأثر

1- النهج باستخدام النماذج

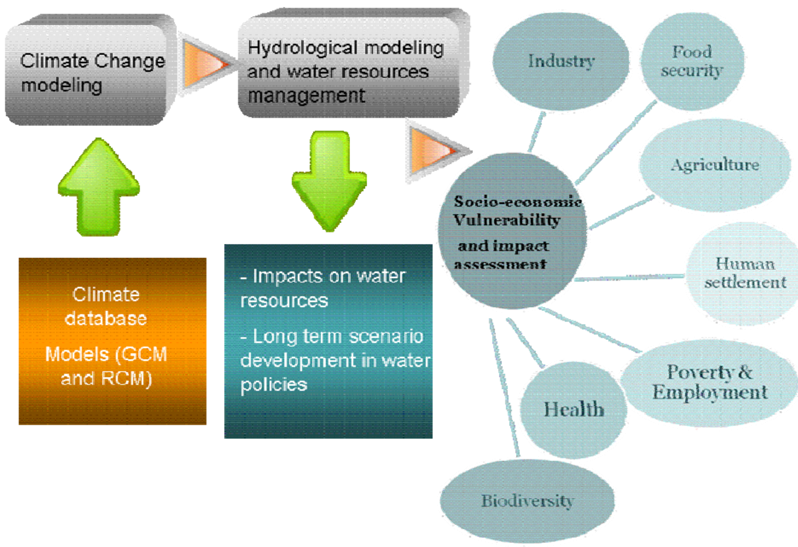
يجب تحديد قابلية تأثر الأنظمة الاجتماعية والاقتصادية والبيئية بتغيّر المناخ وآثاره على الموارد المائية، وقياس هذه القابلية في سياق التنمية المستدامة، وذلك من خلال تحليل الآثار ورسم خريطة بمواقع مجموعات المناطق المتأثرة استناداً إلى مسائل إقليمية رئيسية. فنوع المحاصيل الزراعية وحساسية القطاع الزراعي لتغيّر المناخ هما من المعايير الرئيسية التي يمكن تحليلها ووضع خريطة لها باستعمال عدة سيناريوهات ونماذج زراعية اقتصادية بناء على نواتج النماذج الهيدرولوجية. ويمكن استعمال النماذج الزراعية ونماذج استخدام الأراضي وأدوات تخطيط الموارد المائية لاستنتاج الخلاصات بشأن قطاعات اجتماعية واقتصادية محددة، وذلك بالاستناد إلى الآثار الأولية والثانوية الصادرة عن النموذج الهيدرولوجي الإقليمي.

ويمكن استعمال هذه النتائج كأساس لوضع استراتيجيات التكيُّف وسياسات اجتماعية واقتصادية على المستويين الإقليمي والوطني. وبالاستناد إلى تقييم الأثر، توضع تدابير التصدّي وتُدرَج في نماذج قطاعية من أجل تقييم مواطن الضعف أو القوة في القطاعات الرئيسية مثل الزراعة، والسياحة، والصناعة، والتحلية، والعمل.

عندئذ، يمكن تقييم قابلية تأثر القطاعات الاجتماعية والاقتصادية بالاستناد إلى عدة معايير مثل الصحة والزراعة والعمل والهجرة باستعمال النماذج القطاعية. فوضع النماذج، مثلاً، يمكن أن يسهم في تقدير التغيرات في الأمراض المنقولة الناجمة عن ارتفاع الحرارة أو الرطوبة في بعض المناطق. ويمكن تقييم نقص التنوع البيولوجي من خلال نماذج مستجمعات المياه أو الأراضي الرطبة بناء على بيانات مستخرجة من نواتج النموذج المناخي الإقليمي والنموذج الهيدرولوجي الإقليمي. ومن حيث البنية الأساسية والموارد، يمكن استعمال هذه البيانات أيضاً لتقييم قابلية تأثر خدمات تأمين إمدادات المياه والصرف الصحي من خلال إعداد نماذج تتناول الإجهاد المتوقع أن تتعرض له الشبكات.

ولدى تطبيق نهج النماذج في تقييم قابلية التأثر، تبرز عدة معايير يعتبرها صانعو السياسات والجهات المعنية الإقليمية في موقع الأولوية. وتشمل هذه المعايير تدابير التصدّي، والقدرة الاجتماعية والاقتصادية والمالية والتقنية على تنفيذ هذه التدابير. ويمكن أن يؤدي تقييم قابلية التأثر إلى وضع نماذج حول بعض العوامل مثل التعليم، ودخل الأسرة، والنوع الاجتماعي، والتصنيف حسب العمر، والأجناس المهددة بالانقراض وغيرها من العوامل الإقليمية التي تؤثر على قدرة المجتمعات على التصدي للآثار المتوقعة لتغيّر المناخ على المدى القصير والبعيد.

الشكل 23- نهج وضع النماذج القطاعية لتقييم قابلية التأثر[108]



2- <u>نهج المؤشرات</u>

يمكن إجراء تقييم لقابلية التأثر بناء على مجموعة من المؤشرات الاجتماعية والاقتصادية والبيئية. ويرتكز التحليل في هذه الحالة على تحليل الاتجاهات الماضية، ورصد المؤسسات القائمة التي تؤثر على الوضع الحال للتنمية الاجتماعية والاقتصادية، وتعزيز قدرة المجتمع المحلي على مواجهة الضغوط الخارجية ومجابهتها. ثم يمكن استعمال تحليل الاتجاهات الماضية للتوصل إلى خلاصات بشأن قابلية التأثر في الحاضر وفي المستقبل بناء على توقعات صادرة عن النموذج المناخي الإقليمي ونواتج صادرة عن النموذج الهيدرولوجي الإقليمي.

ويمكن دراسة المؤشرات لتحليل قابلية التأثر بالمخاطر المائية الناشئة عن تغيّر المناخ مثل الفيضانات، والأمطار، والجفاف، والأوبئة المنقولة بواسطة المياه. ويمكن تمثيل هذه المخاطر باستعمال متغيرات تقيس حدتها المتوقعة ومدتها وتكرارها استناداً إلى الآثار المتوقعة. والآثار الإيجابية أو السلبية التي ترصد لتلك المخاطر على المؤشرات تسمح بتحديد المناطق والمجتمعات والفئات والنظم البيئية التي تكون قابلة للتأثر بالمخاطر المائية الناشئة عن تغيّر المناخ.

(108) ESCWA (2011b), p. 8.

وفي إطار هذا النهج، تعرّف قابلية التأثر بتغيّر المناخ بالتعرض للمخاطر، والتأثر بها، والقدرة على التكيف معها[109]. والتكيف هو قدرة النظام على الحد من قابلية تأثره من خلال التكيف مع المخاطر المستقبلية أو تلك التي تحصل على مدى فترة زمنية طويلة. فنسبة السكان الذين يعيشون في مناطق معرضة للفيضانات، مثلاً، هي مؤشر إلى التعرض لمخاطر الفيضانات، ونسبة من يعيشون في مسكن غير لائق و/أو من يفتقرون لمنشآت الصرف هي قياس لقابلية التأثر بالفيضانات. والجدير بالذكر أن هذا النهج الذي يسمح بتقييم قابلية التأثر لا يهدف إلى إجراء تقييم كميّ لمخاطر تغيّر المناخ. وفي هذه الحالة، تُستعمل مؤشرات قابلية التأثر كأدوات لتقييم الظروف السلبية ورصدها، وللدلالة على جيوب قابلية التأثر (Vulnerability pockets) من أجل مساعدة صانعي القرار على وضع سياسات التكيف مع تغيّر المناخ واتخاذ الإجراءات المعالجة حيث ما يجب. وفي الجدول 8 بعض الأمثلة على مؤشرات قابلية التأثر التي يمكن استعمالها في التقييم بالاستناد إلى المؤشرات.

الجدول 8- عينة من المؤشرات المستعملة لدعم تقييم قابلية التأثر[110]

الفئة	العامل	القياس
تخطيط الموارد المائية وإدارتها	تطبيق الإدارة المتكاملة للموارد المائية	مستوى التطبيق
	كفاءة إدارة الطلب على المياه	التكلفة المستردة من رسوم المياه (بالنسبة المئوية)
	هدر شبكة المياه	هدر شبكة المياه (بالنسبة المئوية)
	سعة تخزين المياه	نسبة تخزين المياه إلى مجموع الموارد المائية (بالنسبة المئوية)
	حالة الاحتياطات المائية الاستراتيجية	نسبة سحب المياه إلى مجموع الموارد المائية الاستراتيجية (بالنسبة المئوية)
الاقتصاد	الحالة الاقتصادية العامة	الدخل القومي الإجمالي
		الناتج المحلي الإجمالي
		مجموع المدخرات (النسبة المئوية من الدخل القومي الإجمالي)
		مجموع الاحتياطات (النسبة إلى مجموع الدين الخارجي)
		مجموع خدمة الدين (النسبة إلى الدخل القومي الإجمالي)
		معدل الفائدة عند الإقراض (بالنسبة المئوية)
	الثروة النسبية للسكان	نصيب الفرد من الدخل القومي الإجمالي
		نصيب الفرد من الناتج المحلي الإجمالي
		البطالة (النسبة إلى مجموع القوى العاملة)
	الفقر	السكان الذين يكسبون أقل من 1.25 دولار يومياً (بالنسبة المئوية)
	التنوع الاقتصادي	القيمة المضافة – الصناعة (النسبة إلى الناتج المحلي الإجمالي)
		القيمة المضافة – الخدمات (النسبة إلى الناتج المحلي الإجمالي)
	استهلاك الطاقة	استهلاك الطاقة الكهربائية (نصيب الفرد من الاستهلاك بالكيلوواط في الساعة)
	تكلفة الطاقة	سعر وقود الديزل
التركيبة الديمغرافية والدخل	عدد السكان	مجموع السكان
	النمو السكاني	النمو السكاني
	النساء من السكان	عدد النساء بالنسبة إلى مجموع السكان (بالنسبة المئوية)
	الكثافة السكانية	عدد السكان في الكيلومتر المربع الواحد
	ارتفاع عدد السكان في المدن	عدد السكان في المدينة الكبرى (النسبة إلى مجموع السكان)
		عدد السكان في التكتلات الحضرية التي يزيد عدد سكانها عن مليون نسمة (بالنسبة إلى مجموع السكان)
	السكان المعالون	عدد الشباب والمسنين بالنسبة إلى السكان في سن العمل (بالنسبة المئوية)

(109) وضع Adger وآخرون (2004) نهجاً مماثلاً.

(110) ESCWA (2011b), p. 9.

الجدول 8 (تابع)

الفئة	العامل	القياس
الزراعة	الاعتماد على الزراعة	نسبة الأراضي الزراعية إلى مجموع الأراضي (بالنسبة المئوية)
		القوى العاملة في الزراعة (بالنسبة المئوية)
		سكان الريف (بالنسبة إلى مجموع السكان)
	الاعتماد على الزراعة المروية بمياه الامطار (rain-fed agriculture)	الأراضي المروية بمياه الأمطار (بالنسبة إلى مجموع الأراضي)
	مستوى تدهور الأراضي	الأراضي المتدهورة (بالنسبة إلى مجموع الأراضي)
الأمن الغذائي	الاعتماد على محصول واحد أو القليل من المحاصيل	أول ثلاثة محاصيل استراتيجية (بالنسبة إلى مجموع المنتجات)
	الاعتماد على الإنتاج الغذائي المحلي	الإنتاج الغذائي المحلي (بالنسبة المئوية)
	الإنتاجية الغذائية	إنتاج الحبوب في الهكتار الواحد (بالكيلوغرام)

جيم- من تقييم الأثر إلى تقييم قابلية التأثر

تربط منهجية التقييم المتكاملة بين عناصر تقييم الأثر المتعلقة بالنماذج المناخية والهيدرولوجية في مرحلة أولى، وتقييم قابلية التأثر ووضع خريطة لها في مرحلة ثانية. ومع أن منهجية رسم الخرائط المتكاملة مفصلة في الفصل التالي، من المهم استعراض مختلف خطوات التقييم المتكامل.

وتظهر هذه الخطوات في الشكل 24 الذي يبيّن المدخلات والنواتج الرئيسية لكل خطوة وكل مرحلة من التقييم المتكامل، في عملية متصلة تنقل عبرها المعلومات من مرحلة إلى أخرى، كما هو مبين فيما يلي:

⇐ تتطلب **النماذج المناخية** مدخلات من مسارات التركيز التمثيلية لإنشاء مسار التنمية قيد الدراسة، وتضع نموذجاً بناء على الشبكات التي تمثل تضاريس سطح الأرض والمتغيرات الجوية. وتعطي نماذج الدوران العالمية معلومات عن الظروف الحدودية، تستعمل في وضع النماذج المناخية الإقليمية. وتُصدر النماذج العالمية والإقليمية مجالات النواتج الخاصة بالنماذج ولكن بمقاييس واستبانات مختلفة. وتُستخرَج المتغيرات المناخية من الأرض والمحيطات، ومن مختلف الأجسام المائية الأرضية مثل مجرى مياه الأنهر والجريان السطحي. وتُحدد الظروف الحدودية خلال ترسيم حدود النطاقات الجغرافية التي ستُنفَّذ فيها النماذج المناخية الإقليمية لدعم تصغير نماذج الدوران العالمية؛

⇐ تحدد **النماذج الهيدرولوجية الإقليمية** التضاريس الإقليمية من خلال النماذج الرقمية للتضاريس الأرضية التي تحدد أحياناً موقع محطات الرصد الهيدرولوجي وتعطي معلومات عن خصائص التربة وباطن الأرض من قواعد البيانات الخاصة. وتُستخرَج المدخلات، التي ترتكز عليها هذه النماذج لإصدار البيانات المناخية، من مجالات نواتج النموذج المناخي الإقليمي التي تُقدَّم على مقياس 50 كلم × 50 كلم أو 25 كلم × 25 كلم والتي تصف معايير مناخية رئيسية مثل حرارة الجو والضغط الجوي، وسرعة الرياح واتجاهها، والرطوبة (المحددة والنسبية)، والمتساقطات (الأمطار والثلوج)، وتصريف الأنهار/جريان المياه، ورطوبة التربة، وعدد الأيام المشمسة أو الغائمة. ثم تعطي نواتج النماذج الهيدرولوجية الإقليمية العناصر الهيدرولوجية الأكثر تفصيلاً على المستوى الإقليمي وعلى مستوى الأحواض مثل الجريان السطحي، وتدفق المياه في جوف الأرض وعلى سطحها، ومحتوى التربة من الرطوبة، ومعلومات عن المياه الجوفية؛

⇐ ويجري **تقييم قابلية التأثر** استناداً إلى نواتج تقييم الأثر مع حساب الآثار الأولية والثانوية معاً. وتحدد النماذج المناخية الإقليمية الآثار الأولية على صعيد حرارة السطح والضغط، والمتساقطات، والبيانات عن الحد الأقصى والحد الأدنى للأحوال الجوية. كما تحدد النماذج الهيدرولوجية الإقليمية الآثار الأولية على صعيد الجريان السطحي، وكمية الثلوج، ومحتوى التربة من الرطوبة، ومنسوب المياه الجوفية، والتغير في مستوى المياه الجوفية، ورطوبة التربة، ومعدل تسرّب المياه الجوفية، والإنتاج الآمن للمياه الجوفية، وتسرب مياه البحار والملوحة. وتُحدَّد الآثار الثانوية استناداً إلى الآثار الأولية، وهي تشمل حاجة المحاصيل من المياه أو معدلات استخراج المياه الجوفية. وأخيراً، يمكن مراعاة نماذج قطاعية أو مؤشرات اجتماعية واقتصادية إضافية تستند إلى الآثار الأولية والثانوية وتحدد قابلية تأثر بعض القطاعات أو المجتمعات بهذه الآثار المتوقعة من أجل تعزيز قدرتها على مقاومة هذه الآثار. وتُدرَج هذه البيانات في خريطة لدعم التحليل البياني وتحديد النقاط الساخنة، وذلك بالتشاور والتعاون مع الجهات المعنية. وتُجمَع هذه البيانات في خرائط متكاملة لتوجيه الحوار حول السياسة العامة ودعم عملية اتخاذ القرار بشأن التكيف مع تغيّر المناخ، كما هو مبين في الفصل التالي.

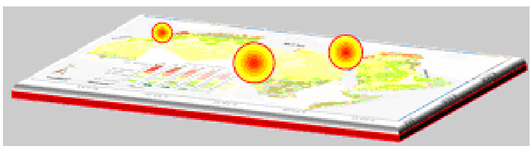
وتؤدي هذه الخطوات الاستشارية في النهاية إلى تقييم قابلية تأثر القطاعات الاجتماعية والاقتصادية استناداً إلى أثر تغيّر المناخ على الموارد المائية في المنطقة العربية التي تعاني من ندرة المياه.

الشكل 24- من تقييم الآثار إلى تقييم قابلية التأثر[111]

	تقييم الأثر				تقييم قابلية التأثر		
	المناخ		الهيدرولوجيا				
	نموذج الدوران العالمي	النموذج المناخي الإقليمي	النموذج الهيدرولوجي الإقليمي	النموذج الهيدرولوجي المطبق على الأحواض	الآثار الأولية (من النموذج المناخي الإقليمي، والنموذج الهيدرولوجي الإقليمي، والنموذج الهيدرولوجي)	الآثار الثانوية (المقترحة)	المؤشرات الاجتماعية والاقتصادية (المقترحة)
المدخلات	مسار التركيز التمثيلي التضاريس الأرضية العالمية (النموذج الرقمي للتضاريس الأرضية)	مسار التركيز التمثيلي التضاريس الأرضية الإقليمية (النموذج الرقمي للتضاريس الأرضية) بيانات نموذج الدوران العالمي والظروف الحدودية: - فوق الأراضي والمحيطات: الحرارة الجوية والضغط الجوي، سرعة الرياح واتجاهها، والرطوبة (محددة ونسبية)، والمتساقطات (المطر والثلج)، وعدد الأيام الغائمة والمشمسة، وتصريف مياه النهر/الجريان المائي، الرطوبة في التربة، ميزانية الإشعاع الأرضي، الأوزون، والرذاذات. - في المحيط: في المحيط: الملوحة، ومستوى البحر، والجليد البحري، والتيارات، وطبقات المحيطات. - فوق الأراضي: تصريف مياه النهر/الجريان المائي السطحي، والغطاء الثلجي، والأنهار الجليدية والقمم الجليدية، والأرض الدائمة التجمُّد، ورطوبة التربة، والغطاء النباتي.	التضاريس الأرضية الإقليمية (النموذج الرقمي للتضاريس الأرضية) المحطات الهيدرولوجية (عددها وموقعها) بيانات التربة (قاعدة بيانات التربة) بيانات النموذج المناخي الإقليمي (50 كلم x50 كلم): فوق الأراضي والمحيطات: الحرارة الجوية والضغط الجوي، وسرعة الرياح واتجاهها، والرطوبة (المحددة والنسبية)، والمتساقطات (الأمطار والثلوج)، وتصريف الأنهار/جريان المياه، ورطوبة التربة، وعدد الأيام المشمسة والغائمة، والرذاذات (Aerosols). - فوق الأراضي: تصريف مياه النهر/الجريان المائي السطحي، والغطاء الثلجي، ورطوبة التربة، والغطاء النباتي.	تضاريس التربة (النموذج الرقمي للتضاريس الأرضية) ترسيم حدود الأحواض (البيانات الطوبوغرافية الرقمية) بيانات التربة وخصائص التربة الجوفية/ستراتيغرافيا (معلومات مفصلة عن الأحواض) بيانات النموذج المناخي الإقليمي (50 كلم x50 كلم): - السطح: الحرارة الجوية والضغط الجوي على السطح، والمتساقطات (الأمطار والثلوج)، وعدد الأيام الغائمة والمشمسة.	البيانات اليومية للنموذج المناخي الإقليمي (50 كلم x50 كلم): الحرارة والضغط على سطح الأرض، والمتساقطات بيانات النموذج المناخي الإقليمي عن الظواهر المناخية المتطرفة (50 كلم x كلم): مدة الموسم المتزايدة، والعدد الأقصى لأيام الجفاف المتتالية، ودليل فترة الموجة الحرارية، والحد الأقصى والأدنى للحرارة خلال السنة، مجموع أيام الجليد، عدد أيام المتساقطات (أكثر من 10 ملم يومياً)، المتساقطات على فترة 5 أيام كحد أقصى، دليل الكثافة اليومية، الحد الأدنى والحد الأقصى للمتساقطات، ساعات إشراق الشمس (شهرياً، ويومياً)...	نصيب الفرد من توافر المياه الطلب على مياه المحاصيل معدل استخراج المياه، المساحات المتأثرة بارتفاع مستوى البحر، المساحات التي تزداد ملوحتها بسبب الري، الإنتاجية الزراعية	نسبة أسعار الطاقة في الموقع (المساحات المروية/المروية بمياه الأمطار)، التغير في حصة أسعار الممتلكات (الدخل غير الزراعي)، الحصول على مصادر المياه، الحصول على خدمات الصرف الصحي

(111) Adapted from Füssel (2007), p. 158 and ESCWA (2010b).

	تقييم الأثر				تقييم قابلية التأثر		
	المناخ		الهيدرولوجيا				
	نموذج الدوران العالمي	النموذج المناخي الإقليمي	النموذج الهيدرولوجي الإقليمي	النموذج الهيدرولوجي المطبق على الأحواض	الآثار الأولية (من النموذج المناخي الإقليمي، والنموذج الهيدرولوجي الإقليمي، والنموذج الهيدرولوجي)	الآثار الثانوية (المقترحة)	المؤشرات الاجتماعية والاقتصادية (المقترحة)
				بيانات النموذج الهيدرولوجي الإقليمي (10 كلم 10x كلم): - المحطات الهيدرولوجية: الحرارة الجوية والضغط الجوي على السطح، والتبخر والنتح على السطح، والمتساقطات (الأمطار والثلوج) - السطح: الجريان المائي، التدفق (الداخلي والخارجي)، كمية الثلوج، ذوبان الثلج، محتوى التربة من الرطوبة - المياه الجوفية: التدفق إلى داخل الخلية الشبكية ومنها إلى الخارج.	البيانات اليومية للنموذج الهيدرولوجي الإقليمي (10 كلم 10x كلم): الجريان السطحي، كمية الثلوج، محتوى التربة من الرطوبة بيانات النموذج الهيدرولوجي في اليوم والساعة: - المياه الجوفية: منسوب المياه الجوفية، التغير في منسوب المياه الجوفية، رطوبة التربة، معدل المياه الجوفية (Ground infiltration water rate)، الإنتاج الآمن للمياه الجوفية، تسرب مياه البحر، الملوحة. - السطح: رطوبة التربة، الجريان المائي، الطلب على مياه المحاصيل، الإنتاجية الزراعية		

	تقييم الأثر				تقييم قابلية التأثر		
	المناخ		الهيدرولوجيا				
	نموذج الدوران العالمي	النموذج المناخي الإقليمي	النموذج الهيدرولوجي الإقليمي	النموذج الهيدرولوجي المطبق على الأحواض	الآثار الأولية (من النموذج المناخي الإقليمي، والنموذج الهيدرولوجي الإقليمي، والنموذج الهيدرولوجي)	الآثار الثانوية (المقترحة)	المؤشرات الاجتماعية والاقتصادية (المقترحة)
النتائج	بيانات نموذج الدوران العالمي: - فوق الأراضي والمحيطات: الحرارة الجوية والضغط الجوي، سرعة الرياح واتجاهها، والرطوبة (محددة ونسبية)، والمتساقطات (المطر والثلج)، وعدد الأيام الغائمة والمشمسة، وتصريف مياه النهر/الجريان المائي، الرطوبة في التربة، ميزانية الإشعاع الأرضي، الأوزون، والرذاذات. - في المحيط: في المحيط: الملوحة، ومستوى البحر، والجليد البحري، والتيارات، وطبقات المحيطات. - فوق الأراضي: تصريف مياه النهر/الجريان المائي السطحي، والغطاء الثلجي، والأنهار الجليدية والقمم الجليدية، والأرض الدائمة التجمُّد، ورطوبة التربة، والغطاء النباتي.	بيانات النموذج المناخي الإقليمي (50 كلم 50x كلم): فوق الأراضي والمحيطات: الحرارة الجوية والضغط الجوي، وسرعة الرياح واتجاهها، والرطوبة (المحددة والنسبية)، والمتساقطات (الأمطار والثلوج)، وتصريف مياه الأنهار/جريان المياه، ورطوبة التربة، وميزانية الإشعاع الأرضي (عدد الأيام المشمسة والغائمة)، والرذاذات. - فوق الأراضي: تصريف مياه الأنهار/الجريان المائي السطحي، والغطاء الثلجي، والأنهار الجليدية والقمم الجليدية، والأرض الدائمة التجمد، ورطوبة التربة، والغطاء النباتي.	بيانات النموذج الهيدرولوجي الإقليمي (10 كلم 10x كلم): - المحطات الهيدرولوجية: الحرارة الجوية والضغط الجوي على السطح، والتبخر والنتح على السطح، والمتساقطات (الأمطار والثلوج) - السطح: الجريان المائي، التدفق (الداخلي والخارجي)، كمية الثلوج، ذوبان الثلج، محتوى التربة من الرطوبة - المياه الجوفية: التدفق إلى داخل الخلية الشبكية ومنها إلى الخارج.	بيانات النموذج الهيدرولوجي: - المياه الجوفية: معدل التدفق، مسار التدفق، منسوب المياه الجوفية. - السطح: رطوبة التربة، الجريان المائي.	قابلية تأثر القطاعات الاجتماعية والاقتصادية من خلال رسم الخرائط المتكاملة. 		

خلاصة الفصل الخامس

يتطلب تقييم قابلية تأثر القطاعات الاجتماعية والاقتصادية والبيئية استناداً إلى نتائج تقييم آثار تغيّر المناخ على الموارد المائية:

- ☑ اختيار أحد أنواع تقييم قابلية التأثر أو العديد منها لإدراجها في منهجية التقييم المتكامل المطبقة؛
- ☑ تحديد نطاق تقييم قابلية تأثر القطاعات الاجتماعية والاقتصادية ومقياسه استناداً إلى استشارات متعددة التخصصات مع الجهات المعنية في المنطقة بهدف تحديد أنواع الاستجابة البشرية والعوامل المهددة للتنمية المستدامة التي ينبغي تقييمها بناء على نتائج تحليل الآثار والأولويات التي يحددها صانعو القرارات الرفيعو المستوى لدعم التخطيط الإنمائي والتكيف مع تغيّر المناخ؛
- ☑ تحديد الحاجة إلى البيانات، والمؤشرات، والتحليل المتعدد التخصصات، والنماذج المتخصصة التي ينبغي تطبيقها لإجراء التقييم بناء على نطاق تقييم قابلية التأثر ومقياسه، مع مراعاة العمل الذي سبق أن أُنجز في المنطقة؛
- ☑ إعداد تقييم قابلية التأثر استناداً إلى معايير ذات الصلة، ومجموعات بيانات مجمعة، ونماذج تجريبية وتقييمات كمية.

- الناتج: التوصل إلى توافق في الرأي حول المعايير والمؤشرات الاجتماعية والاقتصادية التي يستند إليها تقييم قابلية التأثر والتي تحدد هيكلية هذا التقييم، وتحديد النقاط الساخنة القابلة للتأثر؛
- الناتج: توحيد مجموعات البيانات الجغرافية المكانية المتعلقة بالمعايير والمؤشرات المستعملة في تقييم قابلية تأثر القطاعات الاجتماعية والاقتصادية، وربطها بمسارات تركيز تمثيلية محددة وبتوقعات محددة من النموذج المناخي الإقليمي.

سادساً- الخطوة الخامسة: وضع الخرائط المتكاملة

يمكن أن تجمع نتائج تقييم الأثر وتقييم قابلية التأثر معاً في نظام يستند إلى مراجع مكانية لإدارة المعلومات وتحليلها. وهذا النظام يسهّل وضع خرائط متكاملة بالنواتج كما هو مبين في الشكل 25، وذلك بهدف تحديد المجالات الحساسة المعرّضة لآثار تغيّر المناخ على الموارد المائية، وتحليل هذه المجالات. ويمكن أن يكون نظام المعلومات الجغرافية النظام الأفضل لإجراء هذا النوع من التحليل لأنه يقدم أدوات مكانية فعالة للتحليل والتوضيح المرئي (visualization) تستند كلها إلى نظام وافٍ من قواعد البيانات.

أنظمة المعلومات الجغرافية

تساعد أدوات نظام المعلومات الجغرافية على إظهار العلاقات القائمة بين معلومات غير مترابطة ظاهرياً من خلال تصنيفها حسب موقعها (أي موقعها المكاني، حيث تمثل الإحداثيات x، y، وz الطول والعرض والارتفاع) وزمانها (تاريخ/وقت الحدوث). ثم تُنظم هذه المعلومات وفقاً لأحد الأساليب الثلاثة التالية:

- بيانات خطوط المسح (Raster): في هذا النوع من البيانات، تتألف الخريطة من صفوف وأعمدة حيث تحتوي كل خلية على قيمة واحدة. ويقدم هذا النوع من البيانات معلومات متجدّدة حول عناصر مثل المرتفعات أو المتساقطات؛
- البيانات الاتجاهية (Vector): في هذه الحالة، تدل أشكال هندسية على الخصائص الجغرافية. وهذه الأشكال هي إما نقاط أو خطوط أو مجموعة من الخطوط أو مضلعات. ويمكن استعمالها لتمثيل أجسام منفصلة مثل الأبار (نقاط) أو الطرق (خطوط) أو الحقول المزروعة (مضلعات)؛
- البيانات الهجينة (hybrid method): هي على شكل غيوم تجمع بيانات ملونة (بالأحمر والأخضر والأزرق) لإعطاء صورة مواضيعية ملونة وثلاثية الأبعاد.

يتطلب وضع الخرائط المتكاملة إنشاء نظام للتعامل مع الكمية الكبيرة من البيانات التي يُتوقع أن تنتج من تنفيذ النموذج المناخي الإقليمي، والنموذج الهيدرولوجي الإقليمي، وتقييم قابلية التأثر. ويحصل ذلك من خلال إنشاء نظام رسمي لاستخراج البيانات وتخزينها وتبادلها مع بروتوكولات واضحة تضمن حرية الوصول إلى البيانات. ولا بد من تحديد مواصفات هذا النظام، بحيث يلبّي الحاجة إلى تلك البيانات ويصلح للدمج في الأطر الإقليمية، كما هو مبين في الفصل التالي.

وبعد تخزين البيانات والتعامل معها، يمكن لنظام الخرائط المتكاملة أن يعالج المعلومات لتقديم خرائط واضحة وتحتوي على معلومات وافية. وللقيام بذلك، يرتكز هذا النظام على أربع خطوات أساسية:

الخطوة الأولى: رسم خرائط عن آثار تغيّر المناخ من خلال استعمال نواتج تنفيذ النموذج المناخي الإقليمي؛

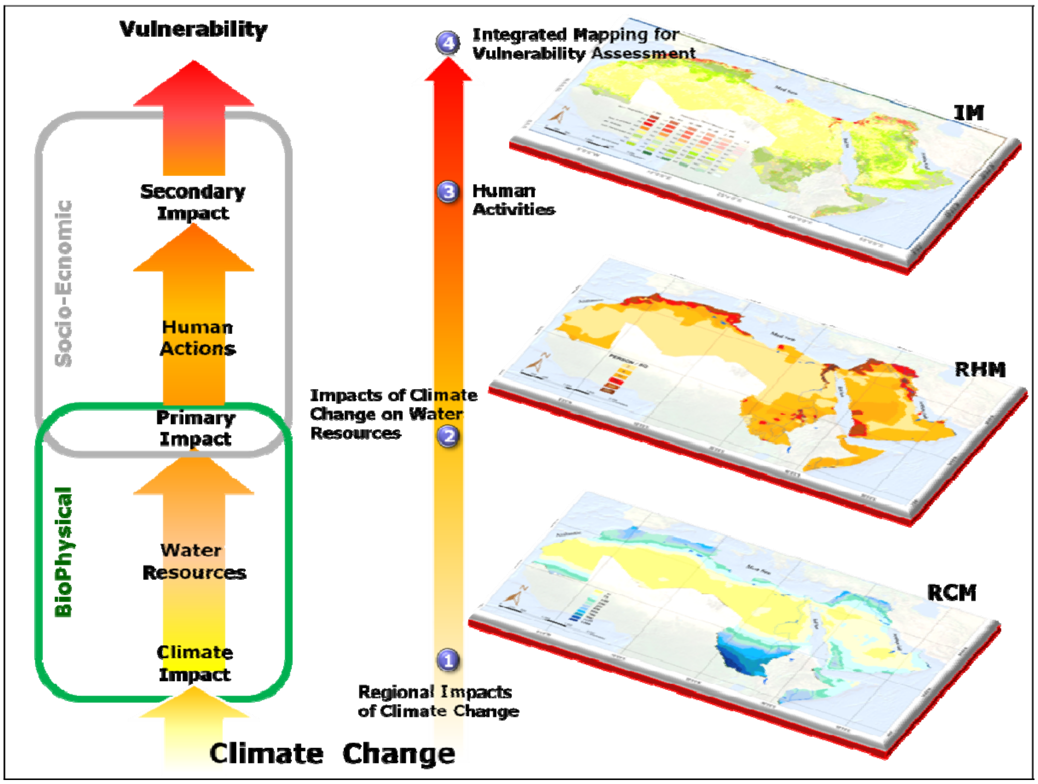
الخطوة الثانية: رسم خرائط عن آثار تغيّر المناخ على الموارد المائية، كما يحددها النموذج الهيدرولوجي الإقليمي؛

الخطوة الثالثة: رسم خرائط عن العناصر الاجتماعية والاقتصادية التي يمكن رسم خريطة عنها والتي يمكن أن تتعرض لآثار تغيّر المناخ على الموارد المائية، مثل استخدام الأراضي؛

الخطوة الرابعة: جمع الخرائط المتعددة التي تظهر الآثار والعناصر الاجتماعية والاقتصادية، وتكوين صورة عن قابلية تأثر الموارد المائية بتغيّر المناخ، وتحديد النقاط الساخنة القابلة للتأثر.

ويمكن رسم هذه الخرائط باستعمال بيانات غير مباشرة لتمثيل قابلية تأثر القطاعات الاجتماعية والاقتصادية بآثار تغيّر المناخ على الموارد المائية. ففي المناطق التي تستمدّ معظم مواردها المائية من الآبار، مثلاً، يمكن استعمال الكثافة السكانية كبيانات غير مباشرة لقياس معدلات استخراج المياه الجوفية، ويمكن استعمال مساحة الأراضي المحمية لقياس التنوع البيولوجي[112].

الشكل 25- الخطوات المتّبعة لوضع الخرائط المتكاملة



ألف- وضع الخرائط المنسقة جغرافياً

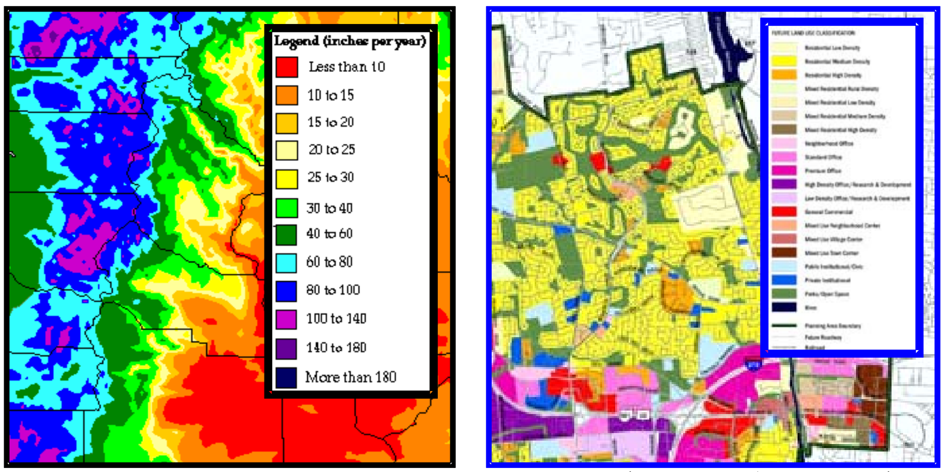
يجب أن يخلص التحليل المكاني إلى رسم خرائط بشأن مؤشرات قابلية تأثر القطاعات الاجتماعية والاقتصادية وخرائط بشأن أثر تغيّر المناخ على الموارد المائية، وذلك بهدف إعداد خرائط حول العلاقات المكانية والعناصر قيد الدراسة، وهي الموارد المائية في هذه الحالة.

(112) Yusuf and Francisco (2009), p. 3.

1- <u>المقياس المكاني</u>

يمكن أن تُحسَب بعض المعايير على شبكة مكانية عادية، وأن توضع معايير أخرى على أداة تمثيلية مكانية أو على خريطة. ففي حين تُصوَّر بعض البيانات مثل الحرارة على شبكة عادية، تُمثَّل معايير أخرى مثل إنتاج المحاصيل أو الأراضي من خلال نظام المعلومات الجغرافية باستعمال أحد نوعَيْ التجريد "abstractions" types، كما هو مبين في الشكل 26.

الشكل 26- الأنواع الرئيسية للبيانات الجغرافية المستعملة في التقييم المتكامل



مجال متواصل: المتساقطات

أجسام منفصلة: استخدام الأراضي

- تشمل الأجسام المنفصلة (Discrete objects) المنازل أو قطع الأرض أو الطرق، وتصف نوع استخدام الأراضي أو تقدّر قيمة الأراضي؛

✓ تُرسَم خرائط للعديد من البيانات الاجتماعية والاقتصادية التي تصلح لتقييم قابلية التأثر من خلال اعتماد نموذج الأجسام المنفصلة. وعند توفر بيانات دقيقة، مثل بيانات الكثافة السكانية، يمكن أن تُحدَّد أعداد السكان المقيمين على قطع الأراضي المدرجة على الخريطة؛

✓ ويختلف بعض المعلومات في خرائط الأجسام المنفصلة مع مرور الوقت. فالسكان، مثلاً، ينتقلون بين الأحياء، فيتغيّر عددهم في كل قطعة أرض على الخريطة؛

✓ وتشمل الخرائط التي تُظهر أجساماً منفصلة بيانات رقمية وغير رقمية:

■ تعطي البيانات غير الرقمية المصنفة تفاصيل عن وجود خصائص معيّنة أو عدم وجودها، مثل استخدام الأراضي أو الغطاء الأرضي؛

■ تعطي البيانات الرقمية المتكاملة معلومات عن التصنيف أو التفضيل، أو قد تمثل عدد مرات الحدوث أو الملاحظات.

وتُقدَم الأجسام المنفصلة عموماً على شكل **"بيانات خطوط المسح"**، وتشمل قيماً فردية في خلايا شبكية منفصلة.

- ويمثل **المجال المتواصل** المعلومات التي تختلف حسب الموقع الجغرافي مثل كمية الأمطار أو ارتفاع سطح الأرض. ويصدر بعض المعايير ويُحسب على شبكة مكانية عادية وعلى فترات زمنية عادية، خلافاً لمعايير أخرى؛

  ✓ وكمثال على معلومات المجال المتواصل التي تختلف مع الوقت، معدلات الأمطار ودرجات الحرارة؛

  ✓ أما ارتفاع سطح الأرض، فهو مثال على معلومات المجال المتواصل التي لا تتغير كثيراً مع الوقت. وباستثناء الصحاري الشاسعة التي تنتقل فيها الكثبان على السطح ويتغير المنظر الطبيعي، لا تتغيّر معظم البيانات الطوبوغرافية إلا قليلاً مع الوقت ويمكن أن يذكر هذا التغيُّر لأغراض العملية؛

  ✓ وتشمل الخرائط ذات المجال المتواصل النقطة العائمة والبيانات المتكاملة؛

    ▪ وتمثل بيانات النقطة العائمة، التي جرى قياسها أو حسابها، إما السطح الحقيقي مثل المرتفعات، أو السطح المفهومي (conceptual surfaces) الذي يتألف من الوظائف العددية التي تمثل بعض القيم مثل المتساقطات أو الكثافة السكانية؛

    ▪ والبيانات الرقمية والمتكاملة هي قيم تشير إلى القرب من جسم رئيسي أو وظيفة رئيسية (مثل البئر)، أو القرب من أحد عوامل قابلية التأثر (مثل الساحل).

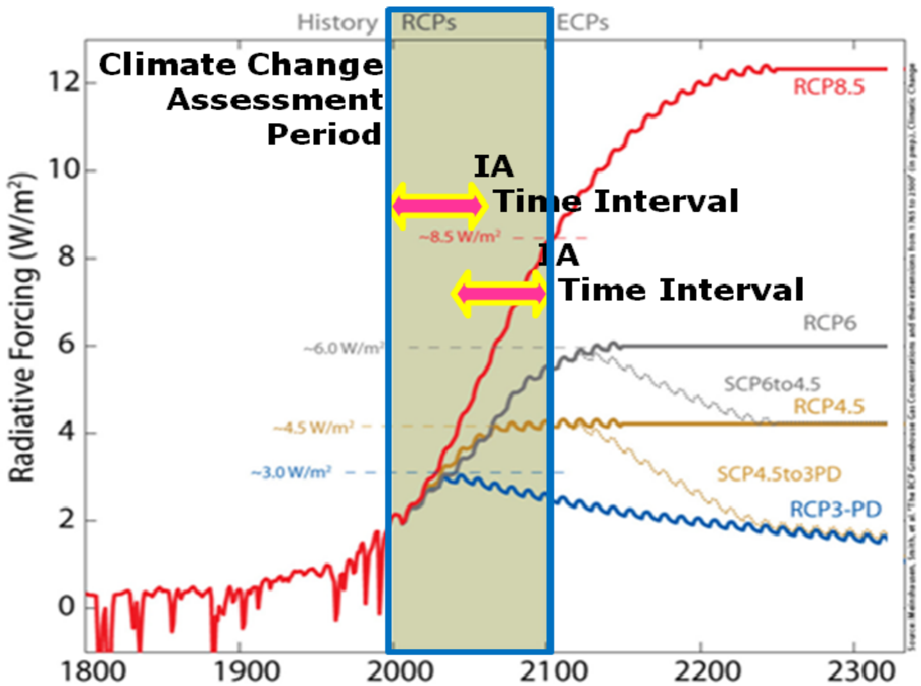
ويمكن عرض الأجسام المتواصلة إما على شكل خطوط مسح أو على شكل بيانات اتجاهية. وفي حين تعطي بيانات خطوط المسح معلومات بسيطة مثل منسوب المياه الجوفية، تعطي البيانات الاتجاهية معلومات أكثر تعقيداً لأنها مصممة لتمثيل الاتجاه. على سبيل المثال، يمكن تمثيل المياه الجوفية باستعمال البيانات الاتجاهية من أجل إظهار اتجاه التدفق.

2- <u>المقياس الزمني لتغيّر المناخ</u>

يختلف معدل حساب المعايير على المقياس الزمني. ويمكن الحصول على بعض المعايير في مراحل زمنية منتظمة (أي في دقائق وساعات وأيام) وفقاً لمحاكاة الحاسوب. ولكن العديد من المعايير الاجتماعية والاقتصادية تُحسب على مقياس زمني أعلى (أي سنوياً). والفترة الزمنية مهمة أيضاً للمقياس الزمني. ففي حين تُنفَّذ محاكاة النموذج المناخي الإقليمي على فترات محددة تتراوح بين 30 و100 عام، يحصل التخطيط في أطر زمنية متغيرة وغالباً ما ينحصر بين 5 و10 أعوام.

وكما هو مبين في الشكل 27، الفترة الزمنية الفاصلة للتقييم المتكامل هي أقل من الفترة الفاصلة في محاكاة النموذج المناخي الإقليمي. وهذا قد يخفي الآثار التي قد تحصل خارج تلك الفترة الزمنية الفاصلة.

الشكل 27- فترة الدراسة والفترة الزمنية الفاصلة(113)



باء- تحديد النقاط الساخنة القابلة للتأثر

في معظم الحالات، يمكن تحديد النقاط الساخنة القابلة للتأثر باستعمال نظام المعلومات الجغرافية من خلال رسم سلسلة من الخرائط ومن ثم جعلها متداخلة (overlapping)(114). ولكي تمثل الخرائط البيانات المكانية والزمنية التي تُستعمل لتحليل قابلية تأثر القطاعات الاجتماعية والاقتصادية، يجب أن توضع معايير محددة على الشبكة الجغرافية.

ويجب نقل المتغيرات التي تحدد هذه المعايير إلى متغيرات متواصلة أو غير متواصلة. وهذا يتطلب إجراء مزيد من التعديل لمؤشرات الآثار الأولية والثانوية، ولمؤشرات قابلية تأثر القطاعات الاجتماعية والاقتصادية مع ضرورة استثناء أي نوع من المعايير التي لا يمكن نقلها على مجموعة من إحداثيات الخريطة. وفي الجدول 9، قائمة مبدئية بهذه المعايير.

وبهذه الطريقة، يمكن استعمال تقنيات نظام المعلومات الجغرافية لتحديد النقاط الساخنة من خلال إجراء مقارنة بين خرائط مختلفة. وهذا الإجراء واضح في الشكل 28 الذي يُظهر كيف تتكامل سلسلة الخرائط، من خلال إعادة ترتيب القيم أو استكمالها وسط كل خلية شبكية في خريطة معيّنة لكي تتطابق مع القيمة في الخريطة التالية. ويُحدد أسلوب إعادة ترتيب القيم بناء على تبادل بين التعقيد الحسابي الذي يمكن مناولته والدقة المنشودة، ويعتمد على نوع البيانات المستعملة. ويمكن أن تتبع عملية إعادة ترتيب البيانات، مهما كانت

---

(113) Adapted from Meinshausen et al. (2010).

(114) Yusuf and Francisco (2009), p. 4.

درجة تعقيدها، أياً من الأساليب التالية: أسلوب "المجاور الأقرب (nearest neighbour)" أو "الاستكمال الخطي الثنائي (bilinear interpolation)" أو "الالتفاف المكعب (cubic convolution)". ولكل أسلوب مميزاته وعيوبه. فإعادة ترتيب البيانات القائمة على أسلوب "المجاور الأقرب" هي أخف من الناحية الحسابية، وتعطي نتائج فعالة مع أنواع البيانات "المنفصلة". أما الاستكمال الخطي الثنائي أو الالتفاف المكعب فيعطيان نتائج أفضل للمجال المتواصل، ولكن الالتفاف المكعب يتطلب وقتاً أكثر من الاستكمال الخطي الثنائي.

الجدول 9- عينة من المعايير المستعملة لرسم الخرائط المتكاملة

منطقة التأثير	المؤشرات المبدئية لرسم الخرائط	الوحدات	
		المتغيرات المتواصلة	المتغيرات المنفصلة
الآثار الأولية			
المياه السطحية	الحرارة	درجة مئوية	
	معدل التبخر والنتح	ملم/ز	
	المتساقطات (الأمطار والثلوج)	ملم/ز	
	تصريف مياه النهر، الجريان المائي، مستوى البحيرات، مساحة البحيرات	ملم/ز	
	ذوبان الثلج، تراكم الثلج	ملم/ز	
	رطوبة التربة	النسبة المئوية	
المياه الجوفية	منسوب المياه الجوفية	م	
	التغير في منسوب المياه الجوفية	النسبة المئوية	
	معدل التسلل (infiltration rate)	ملم/ز	
الآثار الثانوية			
الزراعة	الإنتاجية الزراعية	طن	طن/هكتار
	الطلب على مياه المحاصيل	م^3	م^3/هكتار
المياه	المناطق المتأثرة بالملوحة الثانوية		م^2
	الملوحة الثانوية	جزء من المليون	
	معدلات استخراج المياه		م^3/ز
الأرض	المناطق المتأثرة بارتفاع مستوى مياه البحر		م^2
	تسرب مياه البحر (seawater Intrusion)	م	
قابلية تأثر القطاعات الاجتماعية والاقتصادية			
الطاقة	نصيب الفرد من استهلاك الطاقة		كغم م. ن./ز
الزراعة	نسبة المساحة المروية إلى المساحة البعلية		النسبة المئوية
	المساحة هي مروية بمياه الأمطار (rain fed)	(بولياني (Boolean): نعم/لا)	
الثروة	تغيير في أسعار الممتلكات		النسبة المئوية
	الحصة (الدخل غير الزراعي)		النسبة المئوية
المياه	الحصول على مصادر المياه		(بولياني: نعم/لا)
	الحصول على خدمات الصرف الصحي		(بولياني: نعم/لا)

ملاحظات: يشير حرف "ز" إلى الفترة الزمنية الفاصلة (سنة أو شهر أو يوم)، ويشير "كغم م.ن." إلى كيلوغرام مكافئ نفط.

وفي الحالة التي تُستعمَل فيها عدة مؤشرات، يمكن استعمال المعدل المتوسط لرسم خرائط متكاملة. وقد يكون من الأفضل استعمال المعدل المتوسط لأنه لا يؤثر على الوزن النسبي لكل أثر[115].

---

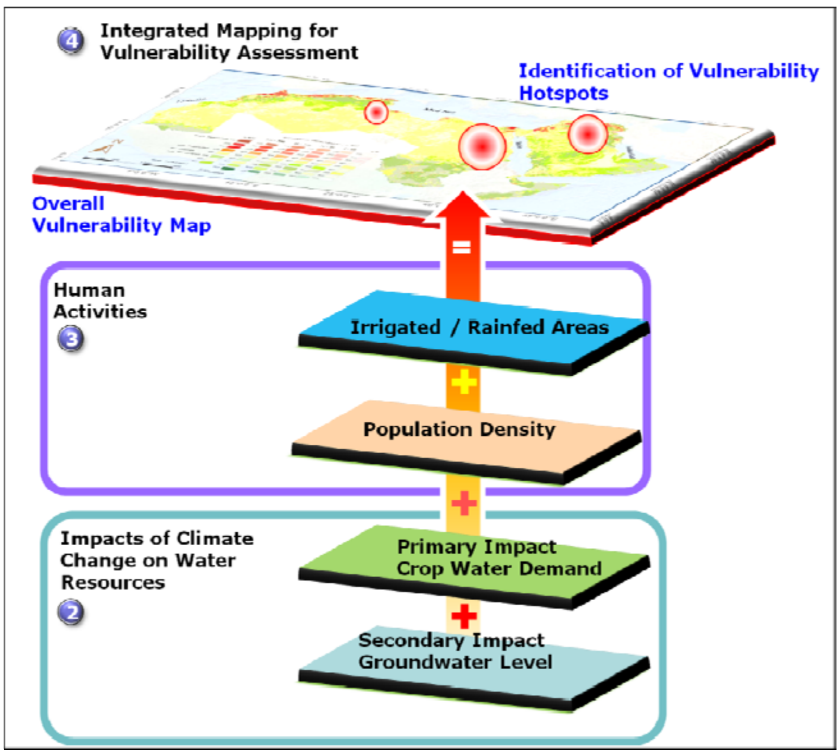
(115) Yusuf and Francisco (2009), p. 5.

المحور الأساسي: رسم خرائط النقاط الساخنة القابلة للتأثر

- تحديد أسلوب التوفيق بين المعايير ذات المقاييس المختلفة بالنسبة إلى مؤشرات الآثار الثانوية والأولية، وبالنسبة إلى المؤشرات الداخلية والخارجية لقابلية تأثر القطاعات الاجتماعية والاقتصادية؛
- تحديد المعايير التي يمكن رسم خرائط لها أو استكمالها معاً؛
- تطوير هيكليات خرائط قابلة للمقارنة وللمقابلة من خلال نظام المعلومات الجغرافية.

والجدير بالذكر أن إعادة ترتيب البيانات تغير عادة الميزات الإحصائية والطيفية لشبكة نظام المعلومات الجغرافية، ما يؤدي إلى خسارة البيانات الأصلية للخرائط. ولهذا السبب، من الأفضل تطبيق هذا الأسلوب على أصغر خلية بين مختلف الخرائط. وصحيح أن هذه الطريقة تبطئ العمليات الحسابية إلا أنها تحسن الدقة وتخفف من فقد البيانات.

الشكل 28- مثال على الجمع بين عدة خرائط لإبراز النقاط الساخنة القابلة للتأثر(116)



(116) Adapted from Yusuf and Francisco (2009), p. 5.

خلاصة الفصل السادس

يتطلب رسم الخرائط المتكاملة، استناداً إلى نواتج تقييم الأثر (الخطوات الأولى إلى الثالثة) وتقييم قابلية التأثر (الخطوة الرابعة)، ما يلي:

- ☑ إنشاء مركز لإدارة المعرفة من أجل تخزين ونشر المعلومات الناتجة من تقييم الأثر وتقييم قابلية التأثر ضمن التقييم المتكامل؛
- ☑ تطوير قاعدة بيانات منسقة لنقل المعلومات إلى صورة مرئية من خلال نظام المعلومات الجغرافية؛
  - يجب أن تصدر قاعدة البيانات خرائط على مقاييس مكانية وزمنية؛
  - تدمج الخرائط بيانات منفصلة ومتواصلة فيما يتعلق بمجموعة معينة من المعايير؛
- ☑ تحديد النقاط الساخنة القابلة للتأثر باستعمال الخرائط المتكاملة والمعلومات الصادرة عن تطبيقات نظام المعلومات الجغرافية التي تمثل الآثار الأساسية والمتوقعة لتغيّر المناخ على الموارد المائية في المنطقة العربية، وقابلية تأثر القطاعات الاجتماعية والاقتصادية والبيئية بها.

- الناتج: التمثيل الجغرافي لآثار تغيّر المناخ على الموارد المائية وتصوير النقاط الساخنة القابلة للتأثر على الصعيدين الاجتماعي والاقتصادي باستعمال أدوات رسم الخرائط المتكاملة؛
- الناتج: مركز لإدارة المعرفة مستند إلى قواعد بيانات وتطبيقات نظام المعلومات الجغرافية لنشر المعلومات الصادرة عن المبادرة الإقليمية.

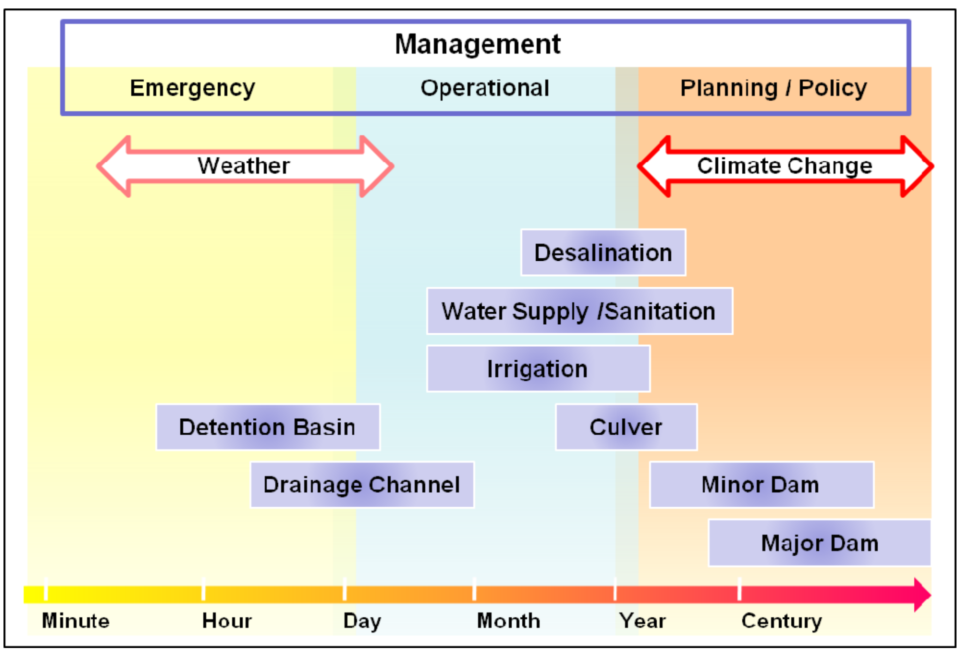
سابعاً- الخطوات اللاحقة

ألف- نتائج التقييم المتكامل

التحدي الرئيسي الذي يواجهه العلماء هو طبيعة التحديات البيئية المتعددة الأوجه والمستويات. فأسباب هذه التحديات ونتائجها وجهود التصدي لها تظهر على مستويات مختلفة، محلية وعالمية. ويسعى العلماء إلى إدراج المعرفة الحالية المستقاة من مختلف التخصصات في سياق حالة عدم اليقين.

ويواجه صانعو السياسات مشكلة في إحداث تغيير جذري في العلاقة بين المعرفة والعمل، بعيداً عن "جهود التقييم المركزي والتنازلي" (top down)[117]. وفي الشكل 29 ما يُظهر أن صانعي السياسات قد يستطيعون التصدي لتغيّر المناخ في حدود زمنية قصيرة على بعض المستويات مثل إدارة الطوارئ والعمليات. ولكن مسائل التخطيط والسياسات المتعلقة بتغيّر المناخ تتطلب نُهُجاً شاملة لعدة تخصصات ومستويات ومقاييس.

الشكل 29- مقاييس الإدارة في سياق تغيّر المناخ



ولهذا السبب، يجب أن يراعي التقييم المتكامل هذه التحديات المعقدة والآفاق الزمنية. ويُفترض أن يتوصّل إلى ما يلي:

- الجمع بين نتائج البحوث والتقييم وصنع القرارات على عدة مستويات؛
- تقييم التغير العالمي ومعالجته على ضوء النتائج المحلية؛

---

(117) Cash and Clark (2001), p. 10.

- تحديد التفاعل الذي يحصل على عدة مستويات بين المجتمع والبيئة، وتقييمه، والتصدّي له؛
- توطيد العلاقة بين العلم وعملية صنع القرار بصفتها علاقة دينامية ومتكررة ومتبادلة.

باء- تعزيز أطر التعاون الإقليمي

يساعد التقييم المتكامل على تعزيز الحوار الحكومي الدولي وتفعيل آلية تحديد الأولويات واتخاذ المواقف بشأن آثار تغيّر المناخ على الموارد المائية. ولا يمكن الاكتفاء بالحدود السياسية للبلدان لتحديد الظروف المناخية والأحواض النهرية، أو لتحديد أثر تغيّر المناخ على الموارد المائية. وبما أن الموارد المائية السطحية والجوفية في المنطقة العربية تتدفق عبر الحدود الدولية، سيكون لقابلية تأثر القطاعات الاجتماعية والاقتصادية مضاعفات إقليمية.

وتتخذ منهجية التقييم المتكامل بعداً إقليمياً إذ تراعي ثلاثة عناصر رئيسية، هي: تقييم الأثر، وتقييم قابلية التأثر، ورسم الخرائط المتكاملة. ومن خلال الربط بين هذه الأدوات التحليلية الثلاث للتوصل إلى نتائج مشتركة ومترابطة استناداً إلى المجموعة الجديدة من السيناريوهات الدولية التي يمثلها مسار التركيز التمثيلي، يمكن أن يحصل صانعو السياسات على الأدلة والتوقعات اللازمة لتعزيز عملية صنع القرارات والمفاوضات في المنطقة العربية على المدى القريب والبعيد. ويمكن إدراج هذه المعلومات في عملية صنع القرارات الإقليمية والوطنية تمهيداً لوضع إستراتيجيات وتدابير التكيف.

جيم- دعم التكيّف مع تغيّر المناخ

ومن خلال ترسيخ العلاقة بين العلم وعملية صنع القرار، يسمح التقييم المتكامل بتبادل البيانات وإجراء البحوث في مختلف التخصصات والمجالات في المنطقة والعالم حول قابلية تأثر المنطقة العربية بتغيّر المناخ. وبهذه الطريقة، تؤدي المبادلات والدروس المستفادة إلى بيانات أساسية حول المنطقة، تكون أساساً لإطلاق الحوار حول السياسة ولدعم عملية صنع القرارات وتوجيه المفاوضات بشأن أثر تغيّر المناخ على الموارد المائية وعلى التنمية الاجتماعية والاقتصادية والتنمية المستدامة في المنطقة العربية.

المراجع

Adger, N., Brooks, N., Kelly, M., Bentham, G. et al. 2004. *New Indicators of Vulnerability and Adaptive Capacity*. Technical Report 7. Norwich: Tyndall Centre for Climate Change Research, University of East Anglia.

Assessment of Impacts and Adaptation to Climate Change. 2007. *Final Report of the AIACC Project*. Washington, D.C.: International START Secretariat.

Bates, B.C., Kundzewicz, Z.W., Wu, S. and Palutikof, J.P. (eds.) 2008. *Climate Change and Water*. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC.

Beckers, J., Smerdon, B. and Wilson, M. 2009. *Review of Hydrological Models for Forest Management and Climate Change Applications in British Columbia and Alberta*. Kamloops, British Columbia, Canada: Forrex Forum for Research and Extension in Natural Resources.

Brown, C. and Lall, U. 2006. Water and Economic Development: The Role of Variability and a Framework for Resilience. *Natural Resources Forum*. 30 (4): 306-317.

Buser, C.M., Künsch, H.R., Lüthi, D., Wild, M. et al. 2009. Bayesian Multi-model Projection of Climate: Bias Assumptions and Interannual Variability. *Climate Dynamics*. 33: 849-868.

Carter, T.R., Parry, M.L., Harasawa, H. and Nishioka, S. 1994. *The IPCC Technical Guidelines for Assessing Climate Change Impacts and Adaptations*. London and Tsukuba, Japan: University College London and Center for Global Environmental Research.

Cash, D. and Clark, W. 2001. *From Science to Policy: Assessing the Assessment Process*. Faculty Research Working Papers RWP01-045. Harvard, MA: John F. Kennedy School of Government, Harvard University.

Christensen, O.B., Gutowski, B. and Nikulin, G. 2011. *CORDEX Output, File Structures, Formatting, Storage, Analysis, Observations etc*. Panel Discussion at the International Conference on the Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment - CORDEX, 21-26 March 2011, Triste, Italy.

Coakley, J.A. 2002. Reflectance and Albedo, Surface. in *Encyclopaedia of the Atmospheric Sciences*. Edited by Holton, J.R., Curry, J.A. and Pyle, J.A. London: Academic Press.

Doherty, S.J., Bojinski, S., Henderson-Sellers, A., Noone, K. et al. 2009. Lessons Learned from IPCC AR4. Scientific Developments Needed to Understand, Predict, and Respond to Climate Change. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 90: 497-513.

Donnelly, C., Dahné, J., Strömqvist, J. and Arheimer, B. 2010. *Modelling Tools: From Sweden to Pan-European Scales for European WFD Data Requirements*. Paper delivered at BALWOIS Conference, 25 to 29 May 2010, Ohrid, Republic of Macedonia.

Easterly, W. and Levine, R. 2002. *Tropics, Germs and Crops: How Endowments Influence Economic Development*. National Bureau of Economic Research Working Paper 9106. Cambridge, MA: NBER.

El-Asrag, A.M. 2009. *Climate Data Availability in Arab Region*. Presented at ESCWA EGM: Assessing the vulnerability of Water Resources to Climate Change in Arab Region, 26-8 October 2009, Beirut, Lebanon.

Economic and Social Commission for Western Asia (ESCWA). 2009. *Review of Methodologies and Possible Scenarios for Conducting Vulnerability Assessments to climate change.* Beirut: ESCWA.

ESCWA. 2010a. *Report of the EGM: Towards Assessing the Vulnerability of Water Resources to Climate Change in the Arab Region*. Beirut: ESCWA.

ESCWA. 2010b. *Report of the EGM: Development of a Vulnerability Assessment for the Arab Region to Assess Climate Change Impacts on the Water Resources Sector*. Beirut: ESCWA.

ESCWA. 2010c. *A Conceptual Framework for Assessing Vulnerability of Arab States to Climate Change Impact on Fresh Water resources.* Beirut: ESCWA.

ESCWA. 2010d. *Technical Working Group 1A: Regional Climate Modelling Main Points and Recommendations.* Unpublished.

ESCWA. 2011a. *Report of EGM: Assessing Climate Change Impacts on Water Resources and Socio-Economic Development in the Arab Region*. Forthcoming.

ESCWA. 2011b. *Status of the Vulnerability Assessment of the Arab Water Sector to Climate Change.* Beirut: ESCWA.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 1997. *Proceedings of the Workshop: Land Quality Indicators and Their Use in Sustainable Agriculture and Rural Development*. 25-26 January 1996, Rome.

Fowler, H.J., Blenkinsop, S. and Tebaldi, C. 2007. Linking Climate Change Modelling to Impact Studies: Recent Advances in Downscaling Techniques for Hydrological Modelling. *International Journal of Climatology*. 27 (12): 1547-1578.

Fünfgeld, H. and McEvoy, D. 2011. *Framing Climate Change Adaptation in Policy and Practice.* Melbourne, Australia: Royal Melbourne Institute of Technology (RMIT).

Füssel; H.-M. 2007. Vulnerability: A Generally Applicable Conceptual Framework for Climate Change Research. *Global Environmental Change.* 17: 155-167.

Füssel; H.-M. 2009. *Development and climate Change Background Note*. Washington, D.C.: World Bank.

Giorgi, F., Jones, C. and Asrar, G.K. 2009. Addressing Climate Information Needs at the Regional Level: the CORDEX Framework. *WMO Bulletin*. 58(3): 175-183.

Gleckler, P.J., Taylor, K.E. and Doutriaux, C. 2008. Performance Metrics for Climate Models. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*. 113.

Global Climate Observing System (GCOS). 2011. *Essential Climate Variables*. Available at: http://www.wmo.int/pages/prog/gcos/index.php?name=EssentialClimateVariables.

Global Terrestrial Observing System (GTOS). 2003. *Status of GCOS/GTOS Standards and Guidelines for Terrestrial ECVs.* Geneva: GTOS.

Graham, L.P., Andréasson, J. and Carlsson, B. 2007. Assessing Climate Change Impacts on Hydrology From an Ensemble of Regional Climate Models, Model Scales and Linking Methods – A Case Study on the Lule River Basin. *Climatic Change*. 81 (1): 293-307.

Graham, L.P. 2010. *Considerations for Hydrological Models For Climate Change Impacts Analysis on Water Resources in the Arab Region.* Presented at ESCWA EGM: Development of a Vulnerability Assessment for the Arab Region to Assess Climate Change Impacts on the Water Resources Sector, 8-10 November 2010, Beirut, Lebanon.

Gutowski, W.J. 2010. *The Coordinated Regional Downscaling Experiment (CORDEX): A Framework for Mitigation and Adaptation Information.* Paper presented at the Fall Meeting of the American Geophysical Union.

Hansen, F.V. 1993. *Albedos.* White Sands Missile Range, NM: United States Army Research Laboratory Battlefield Environment Directorate.

Held, I.M., Dilworth, T.L., Lu, J.; Findell, K.L. et al. 2003. Simulation of Sahel drought in the 20th and 21st Centuries., *PNAS*. 102 (50): 17891-17896.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1990. *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment.* Cambridge: Cambridge University Press.

IPCC. 2007a. *Climate Change 2007.* Cambridge: Cambridge University Press.

IPCC. 2007b. *Climate Change 2007: Synthesis Report.* Geneva: IPCC.

IPCC. 2008. *Report of EGM: Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies*. 19-21 September 2007, Noordwijkerhout, The Netherlands.

IPCC. 2009. *IPCC Standard Output from Coupled Ocean-Atmosphere GCMs.* Geneva: IPCC.

IPCC. 2010. Uncertainty Guidance Note for the Fourth Assessment Report in *Encyclopedia of Earth* Edited by Cleveland, C.J. Washington, D.C.: Environmental Information Coalition, National Council for Science and the Environment.

IPCC. 2011. *What is a GCM?* Available at: http://www.ipcc-data.org/.

IPCC Task Group on Scenarios for Climate Impact Assessment (TGCIA). 2009. *Guidelines on the Use of Scenario Data for Climate Impact and Adaptation Assessment.* Version 1. Geneva: IPCC.

Kampf, S.K. and Burges, S.J. 2007. A Framework for Classifying and Comparing Distributed Hillslope and Catchment Hydrological Models. *Water Resources Research.* 43.

Kaufman, Y.J., Tanré, D. and Boucher, O. 2002. A Satellite View of Aerosols in the Climate System. *Nature*. 419: 215-223.

Kiehl, J.T. and Trenberth, K.E. 1997. Earth's Annual Global Mean Energy Budget. *Bulletin of the American Meteorological Society*.78 (2): 197-208.

Kolli, R.K. 2010. *Towards a Regional Climate Information Network for the Arab Region*, Presented at ESCWA EGM: Development of a Vulnerability Assessment for the Arab Region to Assess Climate Change Impacts on the Water Resources Sector, 8-10 November 2010, Beirut, Lebanon.

Kuhn, A. 2010. *Ensuring the Availability of Global Observations for Climate.* Presented at GEO Work Plan Symposium, 17-19 May 2010 Pretoria, South Africa.

Kuhn, M., Featherstone, W.E., Makarynskyy, O. and Keller, W. 2010. Deglaciation-Induced Spatially Variable Sea Level Change: A Simple-Model Case Study for the Greenland and Antarctic Ice Sheets. *The International Journal of Ocean and Climate Systems*. 1 (2): 67-84.

League of Arab States. 2010. *Report and Recommendations of the Meeting of the Technical Scientific Advisory*. Cairo: LAS.

Lehner, B., Verdin, K. and Jarvis, A. 2006. *HydroSHEDS Technical Documentation*. Washington, D.C.: World Wildlife Fund US. Available at http://hydrosheds.cr.usgs.gov.

Li, G.M., Dovers, S., Sutton, P., Guillaume, J. et al. 2010. *IACCIUS Synthesis Report on Integrated Assessment of Climate Change Impacts on Urban Settlements.* Canberra: Fenner School of Environment and Society, Australian National University.

Mearns, L.O., Giorgi, F., Whetton, P., Pabon, D. et al. 2003. *Guidelines for Use of Climate Scenarios Developed from Regional Climate Model Experiments.* Geneva: IPCC-TGCIA.

Meehl, G.A., Warren, M.W., Wigley, T.M. L., Arblaster, J.M. et al. 2003. Solar and Greenhouse Gas Forcing and Climate Response in the Twentieth Century. *Journal of Climate*. 16 (3): 426-444.

Meehl, G.A. and Stocker, T.F. 2007. Global Climate Projections in *Climate Change 2007: The Physical Science Basis.* Cambridge: Cambridge University Press.

Meinshausen, M., Smith, S.J., Calvin, K., Daniel, J.S. et al. 2011. The RCP Greenhouse Gas Concentrations and their Extensions from 1765 to 2500. *Climatic Change.* Available at: http://www.springerlink.com/content/96n71712n613752g/.

Moss, R.H. and Schneider, S.H. 2000. Uncertainties in the IPCC TAR: Recommendations to lead authors for more consistent assessment and reporting in *Guidance Papers on the Cross Cutting Issues of the Third Assessment Report of the IPCC.* Edited by Pachauri, R., Taniguchi, T. and Tanaka, K. Geneva: WMO.

Moss, R.H., Edmonds, J.A. Hibbard, K.A., Manning, M.R. et al. 2010. The Next Generation of Scenarios for Climate Change Research and Assessment. *Nature*. 463 (11): 747-756.

Nakićenović, N., Davidson, O., Davis, G., Grübler, A. et al. 2000. *IPCC Special Report on Emissions Scenarios.* Cambridge: Cambridge University Press.

Pawson, S., Kodera K., Hamilton K., Shepherd T.G. et al. 2000. The GCM-Reality Intercomparison Project for SPARC (GRIPS): Scientific Issues and Initial Results. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 81 (4): 781-796.

Peterson, T.C. and Vose, R.S. 1997. An Overview of the Global Historical Climatology Network Temperature Database. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 78 (12): 2837-2846.

Plattner, G.K. and Stocker, T. 2010. *From AR4 to AR5: New Scenarios in the IPCC Process,* Presented at Climate Change Scenario Workshop, 2 March 2010, Zurich, Switzerland.

Reichler, T. and Kim, J. 2008. How Well Do Coupled Models Simulate Today's Climate? *Bulletin of the American Meteorological Society*. 89 (3): 303-311.

Rotstayn, L.D., Cai, W., Dix, M.R., Farquhar, G.D. et al. 2007. Have Australian Rainfall and Cloudiness Increased Due to the Remote Effects of Asian Anthropogenic Aerosols? *Journal of Geophysical Research-Atmospheres.* 112.

Rummukainen, M. 2010. State-of-the-Art with Regional Climate Models. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*. 1: 82-96.

Schneider, S.H. and Kuntz-Duriseti, K. 2002. Uncertainty and climate change Policy in *Climate Change Policy: A Survey*. Edited by Schneider, S.H., Rosencranz, A. and Niles, J.O. Washington, D.C.: Island Press.

Schneider, S.H. 2006. Climate Change: Do We Know Enough for Policy Action? *Science and Engineering Ethics.* 12 (4): 607-636.

Schopf, P., Gregg, M., Ferrari, R., Haidvogel, D. et al. 2003. *Coupling Process and Model Studies of Ocean Mixing to Improve Climate Models- A Pilot Climate Process Modelling and Science Team*. Washington, D.C.: U.S. Clivar Office.

Shukla, J., Hagedorn, R., Hoskins, B., Kinter, J. et al. 2009. Revolution In climate Prediction is Both Necessary and Possible: a Declaration at the World Modelling Summit for Climate Prediction. *Journal of the American Meteorological Society*. 90 (2):175-178.

Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z. et al. (eds.) 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis.* Cambridge: Cambridge University Press.

Sylla, M.B., Gaye, A.T., Pal, J.S., Jenkins, G.S. et al. 2009. High-resolution Simulations of West African Climate Using Regional Climate Model (RegCM3) With Different Lateral Boundary Conditions. *Theoretical and Applied Climatology*. 98 (3-4).

Tebaldi, C. and Knutti, R. 2007. The Use of the Multi-Model Ensemble in Probabilistic Climate Projections. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*. 365: 2053-2075.

Thow, A. and de Blois, M. 2008. *Climate change and Human Vulnerability: Mapping Emerging Trends and Risk Hotspots for Humanitarian Actors.* Bath, United Kingdom: Maplecroft.

Trewin. B.C. 2007. *The Role of Climatological Normals in a Changing Climate.* Geneva: WMO.

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). 1992. New York and Geneva: United Nations.

United Nations International Strategy for Disaster Reduction. 2004. *Living with Risk: A Global Review of Disaster Reduction Initiatives*. Geneva: UNISDR.

United Nations Development Programme. 2011. *Adaptation Definitions and Levels*. Available at: http://www.undp.org/climatechange/adapt/definitions.html.

van Vuuren, D.P., Riahi, K., Smith, S.J., Mastrandrea, M. et al. 2009. *RCP Extension White Paper*. Unpublished.

Voiland, A. 2010. *Aerosols: Tiny Particles, Big Impact.* NASA Earth Observatory. Available at: http://earthobservatory.nasa.gov/Features/Aerosols/page1.php.

Weyant, J., Davidson, O., Dowlatabadi, H., Edmonds, J. et al. 1996. Integrated Assessment of Climate Change: an Overview and Comparison of Approaches and Results in *Climate change 1995: Economic and Social Dimensions of Climate Change.* Edited by Bruce, J.P., Lee, H. and Haites, E.F. Cambridge: Cambridge University Press.

World Bank. 1994. *A Strategy for Managing Water in the Middle-East and North Africa*. Washington, D.C.: World Bank.

World Bank. 2001. *Syria - Irrigation Sector Report.* Washington, D.C.: World Bank.

World Bank. 2010. *Adaptation Guidance Notes - Key Words and Definitions.* Available at: http://beta.worldbank.org/climatechange/content/adaptation-guidance-notes-key-words-and-definitions.

World Climate Research Programme (WCRP). 2004. *WCRP CMIP3 Multi-Model Database.* Available at: https://esg.llnl.gov:8443/about/ipccTables.do.

Yarnal, B. 1998. Integrated Regional Assessment and Climate Change Impacts in River Basins. *Climate Research.* 11: 65-74.

Yusuf, A.A. and Francisco, H.A. 2009. *Climate Change Vulnerability Mapping for Southeast Asia.* Singapore: Economy and Environment Program for Southeast Asia (EEPSEA).

Zampieri, M. 2011. *Observed Temperature Trends and Fine-Resolution Global Simulations in the MENA Region*. Presented at ESCWA EGM: Assessing Climate Change Impacts on Water Resources and Socio-Economic Development in the Arab Region, 6-7 July 2011, Beirut, Lebanon.