قاعدة العلوم الفيزيائية

العلاقة بين تغير المناخ والطقس

إعداد:
أسرة التحرير

استكمالا لما طرحناه من أسئلة فى الأعداد السابقة

أولا: هل من الممكن تفسير احترار القرن العشرين عن طريق التقلبية الطبيعية؟

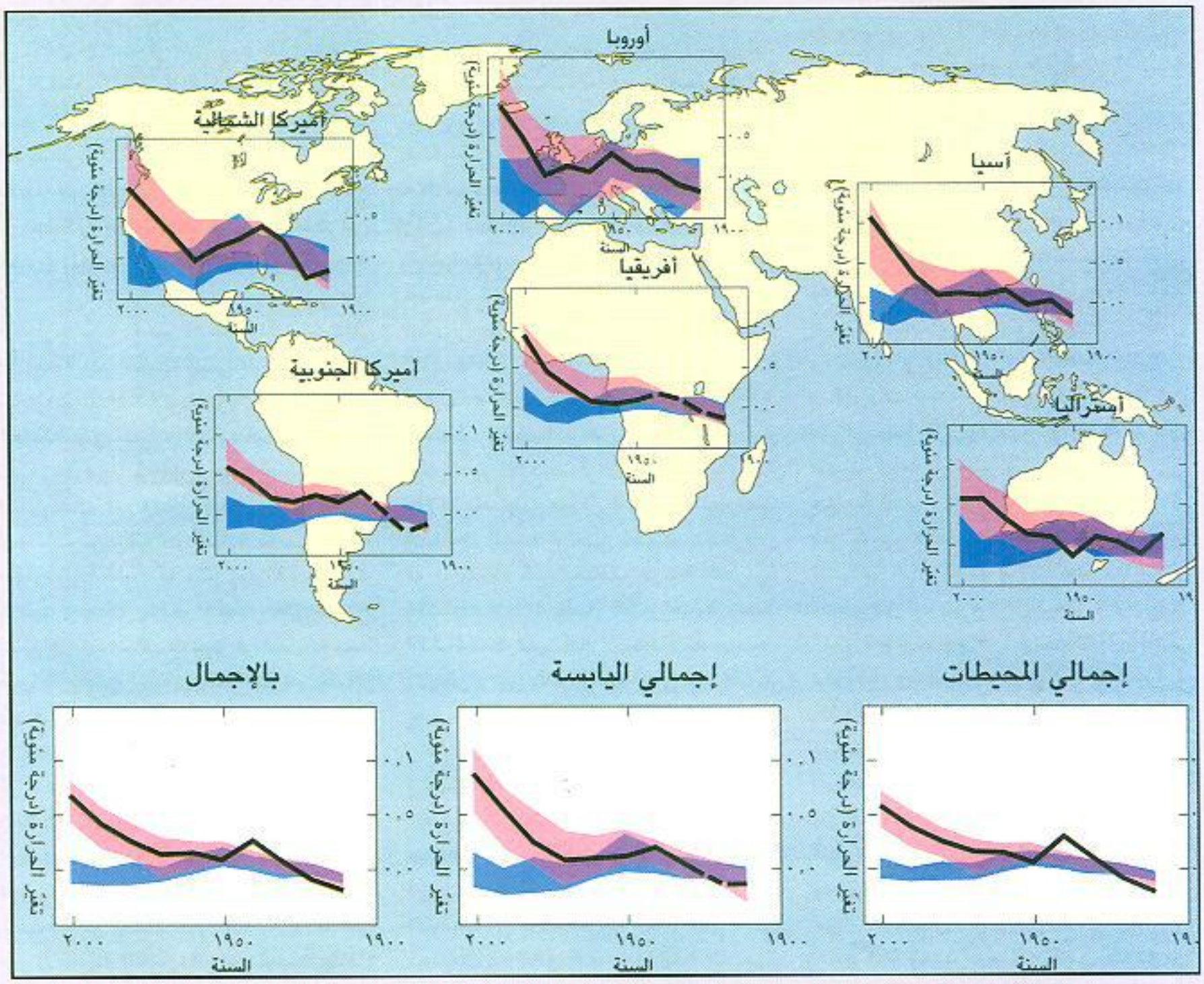
من المستبعد أن يتم تفسير احترار القرن العشرين عن طريق الأسباب الطبيعية وقد كان القرن العشرين الأكثر احترارا بشكل غير اعتيادى وأظهرت إعادة بناء البيانات حول المناخات القديمة أن النصف الثانى من القرن العشرين كان الأكثر دفئا فى السنوات الخمسين الأخيرة فى النصف الشمالى من الكرة الأرضية فى خلال ١٣٠٠ سنة الماضية ويتناسب هذا الاحترار السريع والفهم العلمى لكيفية استجابة المناخ لارتفاع سريع فى غازات الدفيئة كالذى حصل فى القرن الماضى، ولا يتناسب الاحترار والفهم العلمى لكيفية استجابة المناخ إلى العوامل الخارجية الطبيعية كالتقلبية فى التوليد الشمسى والنشاط البركانى. وتقدم النماذج المناخية أدوات مناسبة لدراسة التأثيرات المتعددة على مناخ الكرة الأرضية. وتنتج النماذج محاكاة جيدة للاحترار الذى حصل على مدى القرن الأخير وذلك عندما يتم تضمين تأثيرات ارتفاع نسب غازات الدفيئة فى النماذج فضلا عن تضمين العوامل الطبيعية الخارجية وتفضل النماذج فى إعادة نقل الاحترار المرصود عندما لا تتضمن سوى العوامل الطبيعية. عندما يتم تضمين العوامل البشرية. تحاكى النماذج مثالا جغرافيا لتغير درجات الحرارة حول الكرة الأرضية وهو أمر مماثل لما جرى فى العصور الحديثة. ويختلف النموذج الفضائى هذا وذاك الذى أظهر احترارا كبيرا على مستوى المناطق الشمالية العالية عن أهم نماذج تقلبية المناخ الطبيعى والمتعلق بعمليات المناخ الداخلية كالتذبذب الجنوبى/ النينيو.

تتسبب العمليات الداخلية الطبيعية كالتذبذب الجنوبى/ النينيو والتغيرات فى التأثيرات الخارجية بالتقلبات فى مناخ الأرض على مر الزمن. ومن الممكن أن تكون هذه التأثيرات الخارجية طبيعية كالنشاط البركانى والتقلبات فى التوليد الشمس أو من الممكن أن يتسبب بها النشاط البشرى كانبعاثات غازات الدفيئة والأهباء البشرية المنشأ وثقب الأوزون وتغير استخدام الأراضى. ومن الممكن تقدير الدور الذى تؤديه العمليات الداخلية الطبيعية عبر دراسة التقلبات التى رصدت فى المناخ وعبر ارساء نماذج خاصة بالمناخ من دون تغيير أى من العوامل الخارجية التى تؤثر على المناخ. ومن الممكن تقدير تأثير العوامل الخارجية من خلال النماذج عبر تغيير هذه العوامل وعبر استخدام الفهم الفيزيائى للعمليات المعنية، كما أنه من الممكن تقدير تأثيرات التقلب الداخلى الطبيعى والعوامل الخارجية الطبيعية بالاعتماد على المعلومات المسجلة حول المناخ فى حلقات الشجرة والعينات الجوفية من الجليد القطبى والأنواع الأخرى من ميزان الحرارة الطبيعى قبل العصر الصناعى.

وتضم العوامل الخارجية الطبيعية التى تؤثر على المناخ النشاط البركانى والتقلبات فى التوليد الشمسى. وتبعث الفورات البركانية كميات كبيرة من الغبار والهباء الذى يحتوى على نسبة عالية من السلفات فى الغلاف الجوى وتحجب الأرض عن الأنظار مؤقتا وتعكس أشعة الشمس إلى الفضاء. ويملك التوليد الشمسى ١١ دورة فى السنة وقد يملك أيضا تقلبات على المدى الطويل. وتسببت الأنشطة البشرية فى السنوات المئة

الماضية خاصة لجهة حرق الوقود الأحفورى بتزايد سريع فى ثانى أكسيد الكربون وأنواع أخرى من غازات الدفيئة الموجودة فى الغلاف الجوى. وقبل الثورة الصناعية كانت تركيزات هذه الغازات مستقرة لآلاف السنوات. وتسببت الأنشطة البشرية أيضا بتزايد تركيزات الجسيمات العاكسة الدقيقة أو الأهباء فى الغلاف الجوى خاصة خلال الخمسينات والستينيات.

وعلى الرغم من أن عمليات المناخ الداخلية الطبيعية كالتذبذب الجنوبى/ النينيو قد تتسبب بتقلبات فى درجة الحرارة العالمية لفترات قصيرة بعض الشيء. تشير التحليلات إلى أن جزءا كبيرا منها مرده إلى العوامل الخارجية. وتلت الفورات البركانية الأساسية كفورة بركان جبل بيناتوبو فى العام ١٩٩١ فترات محدودة من التبريد العالمى. وفى الجزء الأخير من القرن العشرين ارتفعت درجات الحرارة العالمية وارتفعت أيضا تركيزات غاز الدفيئة وكان التوليد الشمسى يرتفع وخف النشاط البركانى. وفى خلال الخمسينيات والستينيات، ساهم انخفاض معدل درجات الحرارة العالمية وازدياد الهباء من جراء الوقود الأحفورى والمصادر الأخرى فى



الرسم (١) التغيرات فى درجات الحرارة بحسب المعدل من العام ١٩٠١ إلى العام ١٩٥٠ (درجة مئوية) من قرن إلى قرن من العام ١٩٠٦ إلى العام ٢٠٠٥ فى قارات الأرض فضلا عن الكرة الأرضية كلها ومنطقة الأرض والمحيط العالمي (الصور الادنى) يشير الخط الاسود إلى تغيير فى درجة الحرارة المرصود، فيما تشير الاشرطة الملونة إلى المعدل الذى غطى ٩٠٪ من محاكاة النماذج الأخيرة يشير اللون الأحمر فى المحاكاة التى تضم العوامل البشرية والطبيعية فيما تشير اللون الأزرق إلى المحاكاة التى تضم العوامل الطبيعية فحسب تشير الخطوط السوداء إلى العقود والمناطق القارية التى لا تحظى بمراقبات كبيرة.

تبريد الكوكب وبعث انفجار جبل أغونغ فى العام ١٩٦٣ كميات كبيرة فى الغبار العاكس فى الغلاف الجوى العلوى وحدث الاحترار السريع الذى رصد فى السبيعنات فى فترة سيطر فيها ازدياد غاز الدفيئة على العوامل الأخرى كافة.

وتم إجراء عدد من التجارب باستخدام نماذج المناخ لتحديد الأسباب التى تقف وراء تغير المناخ فى القرن العشرين وتشير هذه التجارب إلى أن النماذج لا تستطيع أن تنقل الاحترار السريع الذى رصد فى القرون الماضية عندما تم الأخذ بعين الاعتبار بالتقلبات فى التوليد الشمسى والنشاط البركانى. لكن كما يظهر فى الرسم ١، تستطيع النماذج أن تحاكى التغيرات التى رصدت فى القرن العشرين على صعيد درجة الحرارة عندما تضم العوامل الخارجية الأكثر أهمية بما فى ذلك الأنشطة البشرية التى من مصادر، كغازات الدفيئة والعوامل الخارجية الطبيعية وظهرت الاستجابات التى تم تقديرها فى النموذج فى هذه العوامل الخارجية فى المناخ العالمى فى القرن العشرين وفى كل قارة باستثناء أنتاركتيكا حيث لم يتم إجراء مراقبات كافية وسيطر تاثير البشر على المناخ على كل أسباب تغير معدل درجة حرارة سطح الأرض العالمية فى خلال نصف القرن الماضى.

ويأتى الشك من عدم اكتمال المعرفة فى بعض العوامل الخارجية كالهباء البشرى المنشأ. فضلا عن ذلك تعتبر النماذج المتعلقة بالمناخ غير كاملة. لكن تحاكى النماذج كافة مثلا عن استجابة ازدياد غاز الدفيئة المتأتى من الأنشطة البشرية وهو شبيه بالمثل الذى رصد فى التغير. ويضم هذا النموذج احترارا أكبر على الأرض من الاحترار فى المحيطات. ويساعد نموذج التغير هذا الذى يختلف عن النماذج الأساسية المتعلقة بتغير درجة الحرارة المتصلة بالتقلبية الداخلية الطبيعية على التفريق تبين الاستجابة إلى غازات الدفيئة وتبين العوامل الخارجية الطبيعية وتبين النماذج والمراقبات الاحترار فى الجزء الأدنى من الغلاف الجوى «التروبوسفير» والتبريد الأعلى فى الستراتوسفير. ويشكل ذلك دليلا على التغير الذى يبين تأثير البشر على المناخ. وإذا كان الازدياد فى التوليد الشمسى مسئولا عن احترار المناخ الأخير، فإن كل من التروبوسفير والتراتوسفير يعانى من الاحترار. فضلا عن ذلك تساعد الاختلافات توقيت التأثيرات البشرية والتأثيرات الخارجية الطبيعية على التمييز بين استجابة المناخ إلى هذه العوامل. وتزيد هذه الاعتبارات من الثقة فى أن البشر وليس العوامل الطبيعية كانا السبب المباشر للاحتباس الحرارى الذى رصد على مر السنوات الخمسين الماضية.

وتقدم التقديرات فى درجات حرارة النصف الشمالى من الكرة الأرضية على مر الألفية الأولى والثانية بالاعتماد على ميزان الحرارة الطبيعى كحلقات الشجرة التى تختلف بالعرض أو بالكثافة فيما تتغير درجة الحرارة وتسجيلات الطقس التاريخية دليلا اضافيا على أنه لا يمكن تفسير الاحترار فى القرن العشرين بالاعتماد على التقلبية الداخلية الطبيعية وعوامل التأثير الخارجية الطبيعية. وتزيد الثقة فى هذه التقديرات لأن قبل الثورة الصناعية كان ممكنا تفسير معظم التقلب الذى رصد فى معدل درجات الحرارة فى النصف الكروى الشمالى بالتبريد العرضى الذى تسببت به الفورات البركانية الكبيرة والتغيرات فى التوليد الشمسى. ويتناسب التقلب المتبقى مع التقلبية التى تمت محاكاتها فى النماذج المتعلقة بالمناخ فى غياب العوامل الخارجية البشرية المنشأ والطبيعية.

فيما يبرز شك فى تقديرات درجات الحرارة السابقة التى تظهر أن النصف الثانى من القرن العشرين كان أكثر احترارا من فترة الخمسين سنة خلال الـ١٣٠٠ سنة الماضية. وإن تقلبية المناخ المقدرة التى تسببت بها العوامل البشرية صغيرة مقارنة بالاحترار القوى الذى حصل فى القرن العشرين.

ثانيا: هل يتوقع أن تتغير الظواهر المتطرفة كموجات الحر والجفاف والفيضان بتغير مناخ الأرض؟

نعم من المتوقع أن يتغير نوع الظواهر وتواترها وكثافتها بتغير مناخ الأرض، وقد تطرأ هذه التغيرات حتى متوسط صغير نسبيا لتغير المناخ. سبق وطرأت تغيرات على بعض أنواع الظواهر المتطرفة كارتفاعات فى تواتر موجات الحر وكثافتها وكذلك ظواهر الهطول الحاد.

ففى مناخ مستقبلى أكثر احترارا من المحتمل أن يزداد خطر موجات حر طويلة الأمد وأكثر كثافة وتواترا. إن موجة الحر الأوروبية فى العام ٢٠٠٣ هى خير دليل على مستوى الحر الشديد الذى يمتد من بضعة أيام إلى اكثر من أسبوع ويحتمل أن يصبح أكثر شيوعا فى مناخ مستقبلى أكثر دفئا. وتدل احدى أوجه الحرارة القصوى على امكانية انخفاض فى درجة الحرارة اليومية «خلال النهار» فى معظم المناطق. ومن المرجح أيضا أن يتخلل مناخ مستقبلى أكثر دفئا أيام صقيع معدودة «فى الليل مثلا حين تنخفض درجة الحرارة إلى ما دون الصفر». تتعلق فترة النمو الفصلية بعدد أيام الصقيع يتوقع أن تزداد كلما دفىء المناخ. ويحتمل أن يهبط تواتر الانتشار الهوائى البارد «فى فترات البرد القارس مثلا الممتد من بضعة أيام إلى أكثر من أسبوع|» فى النصف الشمالى من الكرة فى

فصل الشتاء فى معظم المناطق على الرغم من وجود استثناءات فى مناطق الانخفاض الأصغر للبرد القارس، غربى شمال أمريكا والشمال أطلسى وجنوب أوروبا وآسيا بسبب تغيرات الدوران الجوى.

وفى مناخ مستقبلى أكثر دفئا، تتوقع نماذج الدوران العام للغلاف الجوى والمحيطات جفافا متزايدا فى الصيف وبللا فى الشتاء فى معظم أجزاء خطوط العرض الشمالية العالية والمتوسطة. ويشير جفاف الصيف إلى خطر جفاف أكبر ويرافق خطر الجفاف هذا تزايد فى فرصة تدفق الأمطار والفيضان بسبب قدرة أعظم على حفظ المياه فى جو أكثر احترارا. كان هذا ملاحظا ويتوقع أن يستمر لأن فى عالم أكثر احترارا الهطول يميل إلى أن يكون مركزا فى ظواهر أكثر حدة مع فترات من هطول قليل بين ظاهرتين متطرفتين. لذلك سيتخلل الانهمارات الحادة والثقيلة فترات طويلة الأمد من الجفاف النسبى. وجه آخر من أوجه التغيرات المتوقعة هو أن تصبح درجات الرطوبة القصوى أكثر حدة فى مناطق متعددة حيث يتوقع للمطر المتوسط أن يزداد ولمستويات الجفاف القصوى أن تصبح أكثر حدة فى المناطق حيث يتوقع انخفاض متوسط الهطول. وتوافقا مع نتائج «الظواهر المتطرفة» المتزايدة من الهطول الشديد وحتى إن لم تتغير قوة العواصف فى المناخ المستقبلى ستزداد كثافة هطول الأمطار وخاصة فى النصف الشمالى من الكرة يتوقع زيادة امكانية حلول فصول شتاء رطبة جدا فى وسط أوروبا وشمالها نظرا إلى ارتفاع كثافة الهطول خلال ظواهر العواصف مرجحة حصول فيضان فى أوروبا ومناطق أخرى ذات خط العرض المتوسط بسبب كثافة هطول الأمطار وظواهر تساقط الثلوج منتجة المزيد من المتساقطات.

تنطبق نتائج مماثلة على أمطار الصيف متضمنة المزيد من الفيضانات فى منطقة الرياح الموسمية الآسيوية والمناطق الاستوائية الأخرى. يرتبط تزايد خطر الفيضانات فى عدد من أحواض النهرض الكبير فى ظل مناخ مستقبلى أكثر احترارا بزيادة فى تصريف مياه النهر توازيا مع تزايد خطر عواصف مستقبلية قوية متعلقة بظواهر هطول الأمطار والفيضان. سيكون بعضها مجرد تداعيات التوجهات الحالية. وأشارت بعض دراسات النمذجة إلى أن الأعاصير الاستوائية المستقبلية قد تصبح أكثر حدة مع سرعة رياح أكبر وأمطار أكثر غزارة. واقترحت الدراسات أن تغيرات مماثلة قد تكون جارية: حتى أن بعض المؤشرات تدل على أن الأعاصير التى بلغت درجتها ٤ و٥ فى السنة قد ازدادت خلال السنوات الثلاثين الأخيرة.

توقعت بعض دراسات النمذجة انخفاضا فى عدد الأعاصير الاستوائية بسبب استقرار متزايد فى طبقة الغلاف الجوى السفى «التروبوسفير» فى مناخ أكثر احترارا وهى تتميز بعواصف خفيفة معدودة وعدد أكبر من العواصف الهوجاء. أبدت كذلك بعض دراسات النمذجة ميلا عاما لعواصف حادة ولكن قليلة، خارج المناطق الاستوائية مع ميل نحو الظواهر الهوائية المتطرفة وأمواج محيطات أعلى فى عدة مناطق مرتبطة بتلك الأعاصير التى ازدادت حدتها. كما تسقط النماذج نقلة قطبية الاتجاه لعوائم العواصف فى نصفى الكرة وذلك بدرجات عدة من خطوط الطول.

ثالثا: ما هى أرجحية تغيرات المناخ الرئيسى والمفاجىء كفقدان الأغطية الجليدية أو تغيرات الدوران العالمى للمحيطات؟

لا يعتبر مرجحا احتمال حدوث تغيرات مفاجئة فى المناخ كانهيار الغطاء الجليدى القطبى الغربى والفقدان السريع لغطاء جرينلاند الجليدى أو تغيرات أنظمة دوران المحيط على نطاق واسع فى القرن الواحد والعشرين استنادا إلى النتائج النموذجية المتوفرة حاليا وعلى أية حال فإن حدوث هذه التغيرات أصبح مرجحا على نحو متزايد كلما تقدم اضطراب النظام المناخى.

بينت التحاليل الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية من باطن جليد غرينلاند والرواسب البحرية من شمال الأطلسى وأماكن أخرى وكذلك العديد من أرشيفات المناخ الماضى أنه باستطاعة درجات الحرارة المحلية وأنظمة الرياح ودورات المياه أن تتغير بسرعة خلال بضعة سنوات فقط.

وتظهر مقارنة النتائج من السجلات فى مختلف المواقع فى العالم حدوث تغيرات أساسية تطال المستوى العالمى ما أدى إلى فكرة مناخ ماض غير مستقر مر بمراحل التغير المفاجىء لذا برز قلق جديد وهو أن النمو المستمر لنسب الغازات الدفيئة فى الجو قد يشكل اضطرابا قويا بما يكفى ليسبب التغيرات المفاجئة فى النظام المناخى قد يعتبر تدخلا مماثلا مع النظام المناخى خطرا إذ قد يكون له نتائج عالمية كبيرة.

وقبل مناقشة بعض الأمثلة للتغيرات المماثلة. ومن المفيد أن نعرف مصطلحى «حاد» ((abrupt و«كبير» ((major «الحاد» يعنى أن التغير يحدث بسرعة أكبر من الاضطراب الذى يتسبب بالتغير بمعنى آخر يكون غير خطى أما التغير «الكبير» فيتضمن تغيرات تتخطى نسبة التغير الطبيعى الحالى وله مدى مكانى يتراوح من عدة آلاف الكيلو مترات ليصل إلى المستوى العالمى من المدى المحلى إلى المدى الاقليمى، تعتبر

التغيرات المفاجئة خاصية مشتركة للتغير المناخى الطبيعى. وهنا لا تؤخذ الظواهر المعزولة والقصيرة الأمد التى يشار إليها بـ«الظواهر المتطرفة» بعين الاعتبار ولكن بالأحرى تغيرات على النطاق الواسع تتطور بسرعة وتستمر من عدة سنوات إلى عقود. شهدت أواسط السبعينيات من القرن السابق نقلة فى درجات حرارة سطح البحر شرقى الهادئ وعرفت أواسط الثمانينيات من القرن ذاته انخفاضا فى الملوحة فى الطبقة العليا من بحر لابرادور، وهما مثلان عن ظواهر مفاجئة ذات نتائج محلية واقليمية فى مقابل النطاق الواسع الذى يشمل الظواهر الطويلة الأمد التى يركز عليها هنا أحد الأمثلة عنها هو الانهيار المحتمل أو اغلاق جدول الخليج الذى يلقى اهتماما واسعا لدى الرأى العام، فجدول الخليج هو تيار أفقى أولى فى المحيط الأطلسى الشمالى تقوده الرياح.

وعلى الرغم من كونه سمة مستقرة من دوران المحيطات العام فإن امتداده الشمالى الذى يغذى تشكل المياه فى عمق بحار غرينلاند النرويجية، وبذلك يوزع كميات كبيرة من الحرارة على هذه البحار ومناطق الأرض القريبة متأثرا بشدة بتغيرات كثافة المياه السطحية فى هذه المناطق.

يشكل هذا التيار الانتهاء الشمالى للدوران التقلبى الجنوبى على مستوى الحوض الممتد على طول الحد الغربى من حوض الأطلسى وغالبا ما تشير محاكاة النماذج المناخية إلى أنه فى حال انخفضت كثافة المياه السطحية فى شمال الأطلسى بسبب الاحترار أو انخفاض فى الملوحة تتدنى قوة دوران التقلبى الجنوبى ومعها توزيع الحرارة فى هذه المناطق، وقد تحدث بعض الانخفاضات القوية والمدعومة فى الملوحة وحتى المزيد من الانخفاضات الكبيرة أو تكمل اغلاق دوران التقلبى الجنوبى فى كافة تقديرات نمذجة المناخ. إن تغيرات مماثلة طرأت بالفعل فى الماضى البعيد. المشكلة اليوم تكمن فى ما إذا كان التأثير البشرى المتزايد على الجو يشكل اضطرابا قويا وكافيا لدوران التقلبى الجنوبى كى يحدث هذا التغير.

وتؤدى زيادة غازات الدفيئة الجوية إلى احترار وكثافة فى الدورة الهيدرولوجية التى تجعل المياه السطحية فى شمال الأطلسى أقل ملوحة كما تؤدى زيادة الهطول إلى زيادة المياه العذبة المتدفقة من المحيط إلى أنهار المنطقة. يتسبب الاحترار كذلك بذوبان الثلوج زائدا بذلك نسبة المياه العذبة ومخفضا ملوحة مياه المحيط السطحية. تخفض النتيجتان من كثافة المياه السطحية التى يجب أن تكون كثيفة وثقيلة بما يكفى كى تغرق بغية منتجة الدوران التقلبى الجنوبى، ما يؤدى إلى انخفاضه فى القرن الواحد والعشرين.

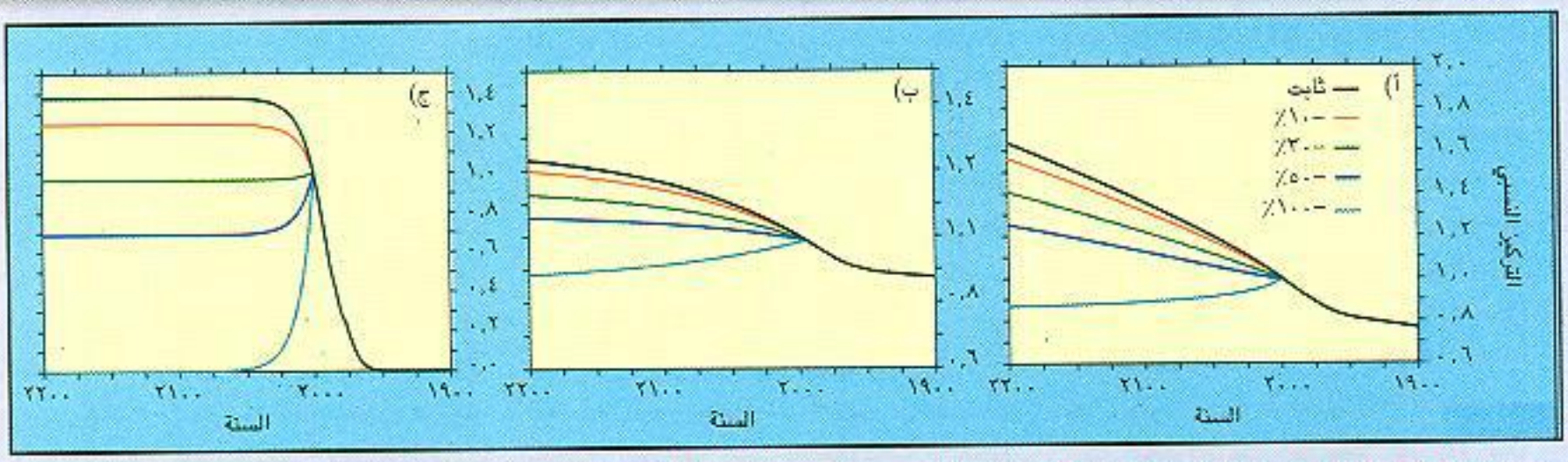
ويتوقع أن يستمر هذا الانخفاض فى نقاط التركيز مع الاحترار. ولا يحاكى أى من النماذج الحالية انخفاضا مفاجئا أو وقفا كاملا فى هذا القرن. ما زلنا نشهد انتشارا شاملا فى انخفاض النماذج فى دوران التقلبى الجنوبى الذى يتراوح عمليا من حالة اللااستجابة إلى الانخفاض إلى أكثر من ٥٠٪ على مشارف نهاية القرن الواحد والعشرين. وينتج هذا الاختلاف النموذجى المتقاطع عن اختلافات فى قوى ردود الجو والمحيط المحاكاة فى هذه النماذج.

من جهة أخرى يبدو مصير دوران التقلبى الجنوبى الطويل الأمد غير مؤكد وتظهر العديد من النماذج استرداد دوران التقلبى الجنوبى عند استقرار المناخ. إلا أن لبعض النماذج المناخية عتبات لدوران التقلبى الجنوبى يتم تخطيها فى حال كان التأثير قويا بما يكفى ويدوم وقتا أطول.

بالتالى تظهر محاكاة مماثلة انخفاضا تدريجيا لدوران التقلبى الجنوبى يستمر حتى بعد استقرار المناخ. ولا يمكن حاليا تحديد كمية الأرجحية على الرغم من أن أوروبا لاتزال تختبر الاحترار بما أن التأثير الاشعاعى الناتج عن الغازات الدفيئة المتزايدة قد يغمر التبريد بالتزامن مع انخفاض دوران التقلبى الجنوبى وتبدو السيناريوهات الكارثية التى تقترح بدء العصر الجليدى الذى بدوره يحدثه وقف دوران التقلبى الجنوبى مجرد محاكاة. ولم يحدث أن ولد متأخرا نموذجا حصيلة مماثلة. فى الواقع أن العمليات المؤدية إلى العصر الجليدى واضحة ومفهومة بما فيه الكفاية وهى بالتالى مختلفة تماما عن تلك المناقشة هنا ما يمكننا بثقة من استثناء هذا السيناريو.

وبصرف النظر عن تطور دوران التقلبى الجنوبى الطويل الأمد توافق المحاكاة النموذجية على أن الاحترار وما يتأتى عنه من انخفاض فى الملوحة سيخفف بشدة تشكل المياه العميقة والوسطى فى بحر لابرادور خلال العقود القليلة المقبلة ما سيتبب بتبدل خصائص الكتل المائية الوسطى شمال الأطلسى ويؤثر بدوره على قعر المحيط وعلى الأمثلة المناقشة على نحو واسع بما يتعلق بتغيرات المناخ المفاجئة يحضر تحطم غطاء غرينلاند الجليدى أو انهيار غطاء غربى الأطلسى الجليدى الحاد.

وتشير النمذجة المستندة إلى المحاكة والمراقبة إلى أن الاحترار على مستوى خطوط العرض العالية فى النصف الشمالى من الكرة الأرضية يعجل ذوبان غطاء غرينلاند الجليدى وأن تساقط الثلوج المتزايد بسبب الدورة الهيدرولوجية القوية عاجز عن تعويض هذا الذوبان وما قد يؤدى إلى تقلص غطاء الأرض الجليدى بشكل كبير فى القرون المقبلة. فضلا عن ذلك تقترح النتائج وجود عتبة خطر



الرسم (٢) محاكاة تغيرات فى معدل تركيز ثانى واكسيد الكربون فى الغلاف بالنسبة إلى المعدل الحالى فى ما يتعلق بانبعاثات تم تثبيتها على المستوى الحالى (اللون الأسود) أو على مستوى أدنى من المستوى الحالى بنسبة ١٠٪ (احمر) و٣٠٪ (أخضر) و٥٠٪ (كحلى) و١٠٠٪ (أزرق) مثل الحالة أ) بالنسبة إلى غاز نذر ذى عمر ١٢٠ سنة بتأثير من عوامل طبيعية وعوامل من بشرية المنشأ و.ج) ومثل الحالة أ) بالنسبة إلى غاز نذر ذى عمر ١٢ سنة بتأثير من عوامل من بشرية المنشأ فقط.

لدرجات الحرارة إن تم تخطيها ستعرض غطاء غرينلاند الجليدى إلى الزوال التام وتؤكد بالتالى احتمال تخطى هذه العتبة فى القرن الحالى.

إلا أن ذوبان غطاء غرينلاند الجليدى الكامل الذى يرفع مستوى البحر إلى حوالى ٧ أمتار هو عملية بطيئة قد تتطلب مئات السنين لتكتمل.

تلقى الأقمار الصناعية والأرصاد الحديثة للتيارات الثلجية المسببة لتحطم الطبقات الثلجية الضوء على استجابات أنظمة الغطاء الثلجى السريع ما يثير مخاوف كبيرة حول إجمالى استقرار غطاء شمال الأطلسى الثلجى والانهيار الذى قد يؤدى إلى ارتفاع مستوى البحر إلى ٦ أمتار أخرى. وبينما تظهر هذه التيارات مدعمة بالطبقات المتواجدة أمامها لايزال من غير المعروف فى الوقت الحاضر ما إذا قد يسبب فى الواقع الانخفاض أو الفشل فى دعم مناطق الغطاء الجليدى المحدودة نسبيا تدفقا منتشرا من تيارات الثلوج وبالتالى عدم استقرار غطاء غرب الأطلسى الجليدى بالكامل ونظرا إلى أن الأغطية الجليدية بدأت للتو تبنى العمليات الدينامية الصغيرة النطاق التى تتضمن تفاعلات معقدة مع الأنهار الجليدية والمحيط على نطاق الغطاء الجليدى فلا تتوفر معلومات كمية مستقاة من الجيل الحالى لنماذج الغطاءات الجليدية لجهة أرجحية ظاهرة مماثلة أو توقيتها.

رابعا: إذا تم خفض انبعاث غازات الدفيئة، بأى سرعة يتراجع معدل تركيزها فى الغلاف الجوى؟

إن تعديل معدل تركيز غازات الدفيئة فى الغلاف الجوى عبر الحد من الانبعاثات يعتمد على العمليات الكيميائية والفيزيائية التى تزيل كل غاز من الغلاف الجوى. فمعدل تركيز بعض غازات الدفيئة يتراجع بشكل شبه فورى نتيجة الحد من الانبعاثات فى حين أن معدل تركيز أنواع أخرى من الغازات يستمر فى التزايد لقرون عديدة حتى بعد الحد من الانبعاثات.

يعتمد معدل تركيز الغازات فى الغلاف الجوى على سباق بين معدلات انبعاثات الغاز فى الغلاف الجوى ومعدلات ازالته من الغلاف الجوى على سبيل المثال يتم تبادل ثانى أكسيد الكربون CO_2 بين الغلاف الجوى والمحيطات والأرض عبر عمليات معينة كنقل الغاز بين الغلاف الجوى والمحيطات وعمليات كيميائية «كالتجوية مثلا» وبيولوجية «كالتمثيل الضوئى» فى حين أن أكثر من نصف انبعاثات ثانى أكسيد الكربون يستغرق قرنا ليزول من الغلاف الجوى حاليا، يبقى جزء من هذه الانبعاثات فى الغلاف الجوى لآلاف السنين بسبب بطء عمليات الازالة، سيستمر معدل ثانى أكسيد الكربون الجوى فى التزايد وحتى لو شهد معدل الانبعاثات الحالى تراجعا كبيرا ويزول غاز الميثاق CH_4 مثلا بفعل عمليات كيميائية فى الغلاف الجوى فى حين أن الاشعاعات الشمسية تدمر أكسيد النيتروز N_2O وبعض غازات الكربون الهالوجينى فى الغلاف الجوى العلوى. تتفاوت مدة هذه العمليات من بضعة سنوات إلى آلاف السنين فيقاس عمر الغاز فى الغلاف الجوى انطلاقا من المدة اللازمة لخفض كمية الغاز بفعل احدى الاضطرابات إلى نسبة ٣٧٪ من كميتة الأصلية يسهل تحديد هذا المعدل لبعض الغازات كالميثان CH_4 وأكسيد النيتروز N_2O وغيرها من الغازات النزرة كالمركبات الكربونية الفلورية الهيدرولوجية ٢٢ (hcfc-22) وهو سائل مبرد «عمر الميثان فى الغلاف الجوى هو ١٢ سنة وأكسيد النيتروز ١١٠ سنوات والمكبات الكربونية الفلورية الهيدرولوجية ـ ٢٢ حوالى ١٢ سنة» إلا أنه يستحيل تحديد هذا المعدل بالنسبة إلى ثانى

أكسيد الكربون.

إن تغير معدل تركيز أى غاز نزر يعتمد جزئيا على كيفية تطور انبعاثاته مع الوقت فإذا ازدادت الانبعاثات مع الوقت سيزداد أيضا معدل التركيز فى الغلاف الجوى بغض النظر عن عمر الغاز فى الغلاف الجوى. ولكن إذا اتخذت إجراءات للحد من الانبعاثات سيعتمد معدل تركيز غاز نزر فى الجو على التغيرات النسبية ليس فى الانبعاثات فحسب بل فى عمليات ازالة الغاز أيضا. يظهر هنا دور عمر الغاز وعمليات ازالته فى تحديد تطور تركيز الغاز فى الغلاف الجوى عند خفض الانبعاثات.

على سبيل المثال يظهر الرسم ٢ تجارب تحدد كيف سيتجاوب معدل التركيز المستقبلى لثلاثة أنواع من الغازات النزرة مع تغييرات تجريبية فى الانبعاثات «مصورة هنا كرد فعل على تغيير مفروض فى الانبعاثات» أخذنا مثالا: ثانى أكسيد الكربون الذى لا يمتلك عمرا محددا فى الغلاف الجوى وغاز نزر ذو عمر معروف وطويل يقارب القرن «مثلا N2O» وغاز نزر ذو عمر معروف وقصير يقارب العقد «ك CH4 أو HCFC-22 أو غيرها من أنواع الكربون الهالوجينى.

لكل غاز تعرض خمس حالات من الانبعاثات المستقبلية تثبيت الانبعاثات على معدلها الحالى وخفض فورى لمعدل الانبعاثات بنسبة ١٠٪، ٣٠٪، ٥٠٪، و١٠٠٪.

يختلف رد فعل ثانى أكسيد الكربون «راجع الرسم ٢ أ» تماما عن غازات النذر ذات العمر المحدد فتثبيت انبعاثات ثانى أكسيد الكربون على معدلها الحالى يؤدى إلى تزايد مستمر لثانى أكسيد الكربون فى الغلاف الجوى خلال القرن ٢١ وما بعده، فى حين أنه يؤدى فى حالة الغاز ذى العمر البالغ قرنا «راجع الرسم ٢ب» أو عقدا «راجع الرسم ٢ج» إلى ثبات معدل تركيزهما فى الغلاف الجوى بمستوى يفوق المعدل الحالى فى غضون قرنين للغاز الأول وعقدين للغاز الثانى فى الواقع لا يمكن تثبيت معدل تركيز ثانى أكسيد الكربون فى الغلاف الجوى على مستوى ثابت إلا من خلال وقف الانبعاثات بشكل كلى. جميع الحالات الأخرى من الخفض المعتدل للانبعاثات تظهر ازديادا فى معدل التركيز بسبب عمليات التبادل النموذجية المرتبطة بدورة الكربون فى النظام المناخى.

بالتحديد يفوق معدل انبعاثات ثانى أكسيد الكربون حاليا معدل ازالته بشكل كبير والازالة البطيئة وغير المكتملة تعنى أن خفض الانبعاثات بشكل ضئيل أو معتدل لن يؤدى إلى ثبات معدلات التركيز بل سيحل فقط من معدل نموذها فى العقود المقبلة. فخفض معدل انبعاثات ثانى أكسيد الكربون بنسبة ١٠٪ يتوقع أن يؤدى إلى تراجع معدل نموه بنسبة ١٠٪ كما أن خفض هذا المعدل بنسبة ٣٠٪ يؤدى إلى تراجع معدل نمو تركيز ثانى أكسيد الكربون فى الجو بنسبة ٣٠٪ ويؤدى الخفض بنسبة ٥٠٪ إلى تثبيت معدل تركيز ثانى أكسيد الكربون فى الغلاف الجوى ولكن لمدة أقل من عقد من الزمن فقط بعد ذلك يتوقع أن يعود معدل ثانى أكسيد الكربون فى الغلاف الجوى إلى الارتفاع نظرا لتراجع الترسبات فى الأرض والمحيطات نتيجة تغيرات كيميائية وبيولوجية معروفة أما الوقف الكلى لانبعاثات ثانى أكسيد الكربون فيتوقع أن يؤدى إلى انخفاض بطىء فى معدل تركيز ثانى أكسيد الكربون فى الغلاف الجوى يبلغ ٤٠ جزءا بالمليون تقريبا خلال القرن ٢١.

يختلف الوضع تماما بالنسبة إلى غازات نزرة المحددة العمر فى الغلاف الجوى. فبالنسبة إلى الغاز ذى العمر البالغ قرنا «مثلا N2O» يجب خفض الانبعاثات بنسبة تفوق ٥٠٪ لتثبيت معدلات التركيز على مستوى قريب من مستواها الحالى «راجع الرسم ٢ب» يؤدى تثبيت الانبعاثات إلى تثبيت معدل التركيز خلال بضعة قرون.

فى حالة غاز نزر ذى العمر القصير، تساوى الخسارة الحالية حوالى ٧٠٪ من الانبعاثات. على المدى القصير يؤدى أى خفض للانبعاثات ما دون ٣٠٪ إلى زيادة معدل التركيز، ولكن على عكس ثانى أكسيد الكربون تكون النتيجة تثبيت معدل التركيز فى غضون عقود «راجع الرسم ٢» أى أنه يجب خفض الانبعاثات بنسبة تفوق ٣٠٪ لتثبيت معدلات التركيز على مستوى أقل بكثير من المستويات الحالية أما وقف الانبعاثات بشكل كامل فيسمح بالعودة إلى معدلات التركيز السابقة للثورة الصناعية فى أقل من قرن بالنسبة إلى غاز نزر ذى العمر البالغ عقدا.

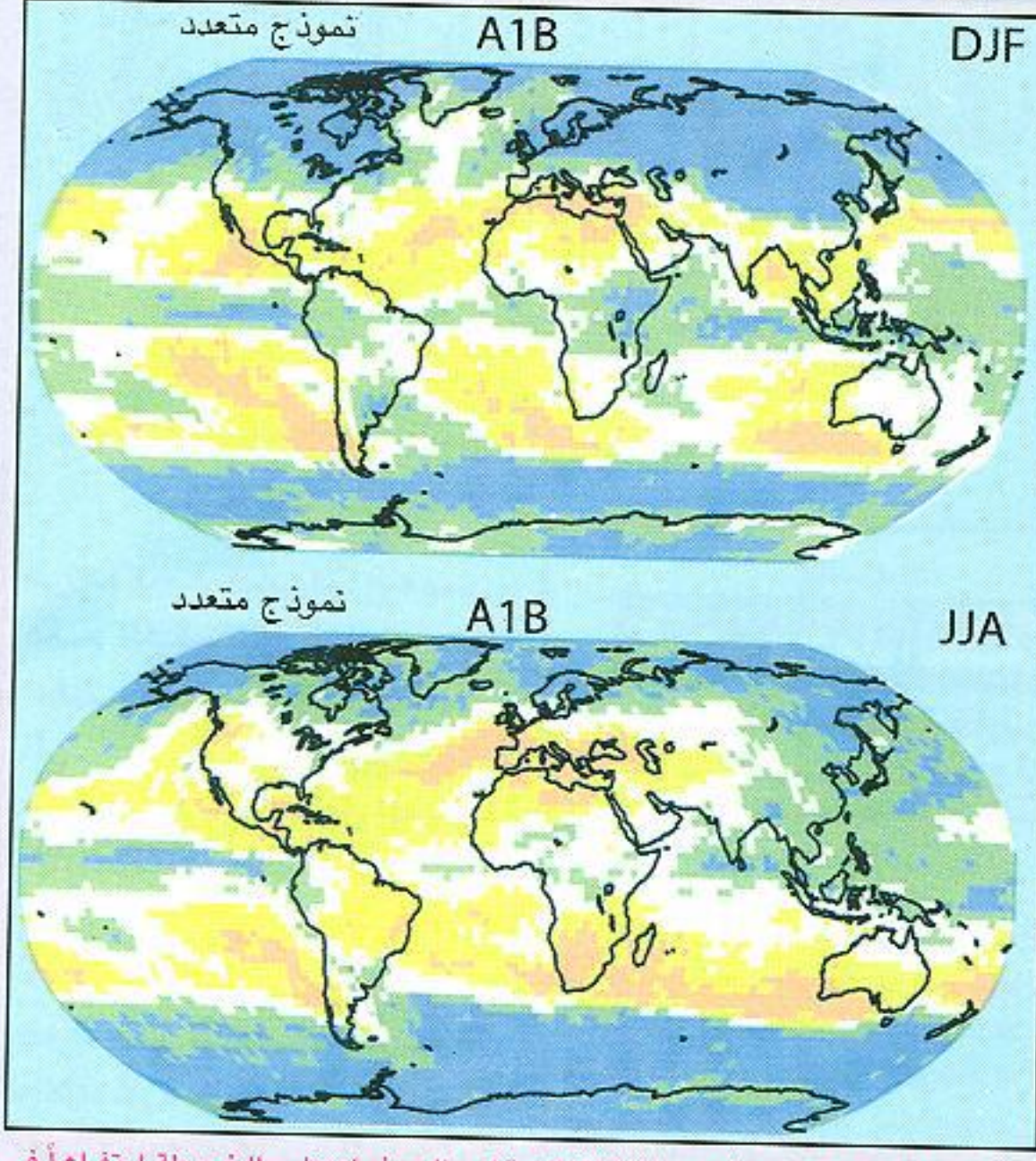
خامسا: هل تختلف التغيرات المناخية المرتقبة من منطقة إلى أخرى؟

يختلف المناخ بين منطقة وأخرى. ينبع هذا الاختلاف من التوزيع غير المتساوى لحرارة الشمس، ورد فعل كل من الغلاف الجوى والأرض والمحيطات والتفاعل بين هذه العناصر والخصائص الفيزيائية التى تميز كل منطقة. تؤثر الإضطرابات التى تصيب مكونات الغلاف الجوى على بعض جوانب هذه التفاعلات المعقدة إن بعض العوامل البشرية المنشأ التى تؤثر على المناخ «عوامل التأثير Forcing»، تكون عالمية بطبيعتها، بينما تختلف بعض العوامل الأخرى بين منطقة وأخرى على سبيل المثال، ثانى أكسيد الكربون الذى يتسبب بالاحترار ينتشر بالتساوى فى مختلف أنحاء الأرض بغض النظر عن موقع مصدر الانبعاثات فى حين أن توزيع الأهباء الجوية من السلفات «جزئيات صغيرة» التى تزيل بعض

الاحترار يكون عادة اقليميا بالاضافة إلى ذلك تعتمد ردود الأفعال الناتجة عن عمليات التأثير جزئيا على عمليات ارتجاعية يمكن أن تجرى فى مناطق غير تلك التى تشهد أكبر مستوى من التأثير بالتالى ستختلف التغييرات المناخيرات المرتقبة أيضا من منطقة إلى أخرى.

لدراسة تأثير التغيرات المناخية على منطقة معينة يمكن الانطلاق من موقع المنطقة بالنسبة إلى خط الاستواء ((latitude فعلى سبيل المثال وفى حين يتوقع حصول الاحترار فى كافة أنحاء الأرض تزداد كمية الاحترار المتوقع عادة بين المنطقة الاستوائية والقطب فى النصف الشمالى من الكرة الأرضية. الأمر أكثر تعقيدا فى ما يتعلق بمعدل الهطول إلا أنه يخضع أيضا لعوامل متعلقة بموقع المنطقة بالنسبة إلى خط الاستواء فى المناطق القريبة من القطبين، يتوقع ارتفاع معدل الهطول فى حين يتوقع انخفاض هذا المعدل فى مناطق عديدة متاخمة للمنطقة الاستوائية «راجع الرسم ٣» يتوقع ارتفاع معدل الهطول الاستوائى فى مواسم المطر «مثلا، الرياح الموسمية» وبشكل خاص فوق المنطقة الاستوائية من المحيط الهادئ.

من العوامل الهامة أيضا موقع المنطقة بالنسبة إلى المحيطات وسلاسل الجبال بشكل عام يتوقع أن يكون الاحترار أكبر فى المناطق القارية الداخلية من المناطق الساحلية لا يتأثر معدل الهطول فقط بشكل القارة الجغرافى، بل أيضا بشكل السلاسل الجبلية المجاورة واتجاه الرياح فالرياح الموسمية والزوابع والأعاصير/ التيفونات غير الاستوائية تتأثر كلها بهذه الخصائص المتعلقة بالمنطقة وتعتبر التغيرات الممكنة فى دوران الغلاف الجوى والمحيطات وأنماط تغيرها من أصعب الجوانب التى تسمح بفهم وتوقع التغيرات فى المناخ الاقليمى. على الرغم من أنه يمكن التوصل إلى استنتاجات عامة حول عدد من المناطق ذات المناخ المتشابه نوعيا. إلا أن كل منطقة تقريبا تتميز بسمات خاصة بها فى نواح عديدة. يصبح ذلك بالنسبة إلى المناطق الساحلية المحيطة بالمنطقة المتوسطية جنوب المدارية أو المناخ القاسى فى داخل أمريكا الشمالية الذى يعتمد على نقل الرطوبة من خليج المكسيك أو التفاعلات بين توزع الثروة النباتية ودرجات حرارة المحيط ودوران الغلاف الجوى التى تساعد على السيطرة على تأثير منطقة الحدود الجنوبية للصحراء الافريقية.



الرسم (٣) يتوقع أن تشهد المناطق الزرقاء والصفراء على الخريطة ارتفاعاً فى معدل التهاطل بحلول نهاية القرن فى حين يتوقع أن ينخفض هذا المعدل فى المناطق الصفراء والزهرية اللون يظهر الجدول الأعلى توقعات اشهر ديسمبر ويناير وفبراير فى حين يظهر الجدول الأسفل توقعات أشهر يونيو ويوليو وأغسطس.

على الرغم من أننا لانزال بعيدين عن فهم التوازن الفعلى بين العوامل العالمية والاقليمية بشكل كامل إلا أن مستوى فهمنا لها يمضى فى تزايد مستمر وثابت ما يعزز ثقتنا بالتوقعات الاقليمية.

خاتمة

وبهذا انتهيا من هذه السلسلة من المقالات عن قاعدة العلوم الفيزيائية بعنوان «العلاقة بين تغير المناخ والطقس» وقد تناولناها فى الأعداد ١٥، ١٦، ١٨، نهاية بهذا العدد حيث أجبنا عن كل التساؤلات الخاصة بارتفاع درجة حرارة الأرض على مدار تاريخ الكرة الأرضية.