المناخات

جولي أ. وينكلر
الفصل الثامن

ترجمة بتصرف
أ.د. مضر خليل عمر

مقدمة

تاريخيًا، عد علم المناخ فرعًا من فروع الجغرافيا وعلم الغلاف الجوي . ويمتد الاهتمام الحالي بعلم المناخ إلى ما هو أبعد من هذين الفرعين ليشمل جميع فروع العلوم الفيزيائية والإنسانية ، ويعزى ذلك جزئيًا إلى تزايد الوعي المجتمعي بالتأثير المحتمل لتقلبات المناخ وتغيراته ، ومدى تأثر الأرض بها . لا يوجد تعريف متفق عليه عالميًا لعلم المناخ ، ونظرًا لتنوع اهتمامات علماء المناخ ، يبدو من غير المرجح ظهور تعريف واحد في المستقبل القريب . ومع ذلك ، يُعرّف مسرد مصطلحات الأرصاد الجوية للجمعية الأمريكية للأرصاد الجوية المناخ بأنه "الجوانب المتغيرة ببطء للغلاف الجوي - الغلاف المائي - نظام سطح الأرض" ، ويُعرّف علم المناخ بأنه "الوصف والدراسة العلمية للمناخ" (الجمعية الأمريكية للأرصاد الجوية 2000).

تتجاوز هذه التعريفات المفهوم الشائع بأن "المناخ هو متوسط الطقس" وأن علم المناخ هو ببساطة مسعى وصفي . بل إن علم المناخ يُعنى أيضًا بالعمليات الفيزيائية المسؤولة عن المناخ وتقلباته ، وبتأثيرات المناخ على النظم الطبيعية والبشرية . لم تُناقش النماذج الفلسفية المختلفة الموضحة في الفصول السابقة بشكل موسع من قبل علماء المناخ ، الذين يعملون في الغالب ضمن إطار وضعي ويستخدمون المنهج العلمي (ينظر الفصل 3) . لهذا السبب ، يُركز هذا الفصل على البيانات والأساليب المُستخدمة في البحث المناخي ، ويُسلّط الضوء على بعض مصادر البيانات الرئيسية والقضايا الأساسية التي يجب مراعاتها عند تحليل بيانات المناخ.

بيانات المناخ

تُوصف الجوانب العديدة لمناخ الأرض باستخدام مجموعة واسعة من المتغيرات (يُشار إليها أيضًا باسم "عناصر المناخ" أو "معلمات المناخ") . تُشكّل ثلاثة متغيرات ، هي درجة الحرارة العظمى ، ودرجة الحرارة الصغرى ، وتراكم الأمطار ، جوهر العديد من التحليلات المناخية . كما تُعدّ الضغط الجوي ، والرطوبة ، واتجاه الرياح وسرعتها ، والرؤية ، وغيرها ، أمثلة أخرى على متغيرات المناخ . غالبًا ما تُستخدم هذه المتغيرات الأساسية لاستخلاص متغيرات إضافية مفيدة لتطبيقات مُحددة . ومن الأمثلة على ذلك "أيام النمو بالدرجات" ، وهو مقياس يعتمد على درجة الحرارة لتراكم الحرارة ، ويمكن ربطه بتطور النباتات والحشرات والأمراض . يمكن أيضًا تحليل المعلومات المتعلقة بظواهر جوية محددة ، مثل نوع السحب ، وتواتر الضباب أو الأحوال الجوية القاسية (بما في ذلك الرياح القوية ، وهطول البَرَد الكبير، والأعاصير) ، أو مسارات الأعاصير المدارية أو أعاصير خطوط العرض المتوسطة . ومع ذلك ، فإن النقطة الأساسية هي أنه نظرًا لأن هدف الكثير من البحوث المناخية هو فهم الروابط والتفاعلات داخل نظام مناخ الأرض بشكل أفضل ، فإن التحقيقات نادرًا ما تقتصر على متغير مناخي واحد أو ظاهرة جوية واحدة.

اعتبارات عامة عند إجراء أو تفسير قياسات المناخ

يمكن قياس متغيرات المناخ والظواهر الجوية مباشرةً (يُشار إليها بالملاحظات الموقعية) ، أو يمكن رصدها باستخدام تقنيات الاستشعار عن بُعد . معظم المناطق النائية تراقب تقنيات الاستشعار خصائص الموجات الكهرومغناطيسية المنبعثة أو المنعكسة من أجسام ، مثل جزيئات الغاز أو قطرات الماء في الغلاف الجوي . وتُعدّ كمية الأمطار المسجلة باستخدام مقياس مطر قياسي مثالاً على الرصد في الموقع ، بينما يُشكّل تقدير كمية الأمطار ، بناءً على كمية طاقة الموجات الدقيقة المنبعثة من الرادار والمنعكسة إلى المصدر بواسطة قطرات بحجم قطرات المطر أو بلورات الجليد في الغلاف الجوي ، رصداً مُستشعراً عن بُعد . وقد يحصل الباحثون أحياناً على معلومات حول متغيرات مناخية أو ظواهر جوية مُحددة من خلال تصميم تجربة ميدانية مُخصصة لهذا الغرض ، ومن الأمثلة على ذلك تجارب طبقة حدود الغلاف الجوي (ABLE) في جنوب كانساس (الولايات المتحدة الأمريكية) ، والتي يتمثل هدفها العام في فهم أفضل للعمليات في الطبقة السفلى من الغلاف الجوي (ينظر http://www.atmos.anl.gov/ABLE/ لمزيد من المعلومات)

في حالات أخرى ، قد يعتمد الباحث على أرشيفات تحتوي على ملاحظات تاريخية لمتغيرات المناخ ، جمعتها منظمات الأرصاد الجوية الوطنية أو الدولية ، مثل الإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي (NOAA)، والمركز الوطني للبيانات المناخية ، ومكتب الأرصاد الجوية في المملكة المتحدة ، والمنظمة العالمية للأرصاد الجوية (WMO) ، من قياسات روتينية أُجريت في موقع واحد أو أكثر من مواقع الرصد على مدى سنوات أو عقود (للاطلاع على أمثلة على معلومات المناخ المتاحة في الأرشيفات الوطنية ، ينظر http://www.metoffice.gov.uk/climate/uk/ www.ncdc.noaa.gov)

في الواقع ، يُعد الاستخدام المكثف للملاحظات المؤرشفة سمة مميزة للبحوث المناخية . في جميع الحالات ، يجب إيلاء اهتمام دقيق لتصميم البحث (ينظر الفصل 5) . ستختلف المواصفات حتمًا بين المشاريع المختلفة ، ولكن يجب على الباحثين الذين يصممون تجاربهم الميدانية الخاصة ، وكذلك أولئك الذين يستخدمون البيانات المؤرشفة ، معالجة القضايا المتعلقة بنوع البيانات المعنية والطرق المستخدمة لتحليلها . عادةً ، يجب تحديد متغيرات المناخ ذات الصلة والمقاييس المكانية والزمانية للبحث . على سبيل المثال ، إذا كان الهدف هو تقييم خطر تلف النباتات بسبب الصقيع ، فقد يلزم رصد الحد الأدنى من درجة الحرارة اليومية فقط ، بينما إذا كان الهدف هو تقييم خطر الإجهاد الحراري على البشر، فمن المرجح أن يلزم رصد كل من درجة الحرارة والرطوبة بشكل أكثر تكرارًا ، بالإضافة إلى معايير أخرى تؤثر على راحة الإنسا ن، مثل سرعة الرياح ومستويات الإشعاع الشمسي .

يمكن أيضًا التعبير عن بعض متغيرات المناخ بطرق مختلفة . لنأخذ ، على سبيل المثال ، الرطوبة الجوية التي يمكن التعبير عنها بـ "الرطوبة النسبية" (مقياس لمدى اقتراب الغلاف الجوي من التشبع) ، أو "الرطوبة المطلقة" (كمية بخار الماء الموجودة في وحدة حجم من الهواء) ، أو "الرطوبة النوعية" (نسبة كتلة بخار الماء الموجودة إلى الكتلة الكلية للهواء) ، أو "نسبة الخلط" (نسبة كتلة بخار الماء الموجودة إلى كتلة الهواء الجاف) . يمكن وصف راحة الإنسان بشكل كافٍ بالمصطلح الأول (الرطوبة النسبية) ، بينما لتحديد الارتفاع الذي يبدأ عنده التكثيف (وهو شرط أساسي لتكوين السحب) ، من المفيد معرفة الرطوبة النوعية أو نسبة الخلط لقطعة هوائية . تؤثر الأبعاد الأفقية والرأسية لظاهرة ما على كثافة وتغطية مساحة الملاحظات اللازمة لدراستها .

اقترح أورلانسكي (1975) أن الظواهر الجوية يمكن تصنيفها إلى ميكرومترية (أقل من 100 متر) ، ومقياس محلي (من 100 متر إلى 3 كم) ، ومتوسطة (من 3 إلى 100 كم) ، ومقياس سينوبتيكي (من 100

إلى 3000 كم) ، ومقياس كوكبي (أكبر من 3000 كم) . قد يكفي جهاز واحد موضوع بعناية لقياس ظاهرة ميكرومترية ، مثل تدفق الحرارة من سطح مبنى حضري ، بينما تتطلب دراسة ظاهرة كوكبية مثل ظاهرة النينيو (التذبذب الجنوبي) مئات الأجهزة . يجب أيضًا مراعاة حساسية الجهاز وزمن استجابته . يُنظر في هذا الأمر ، عادةً ما تتطلب الظواهر الجوية المجهرية ذات النطاقات الزمنية القصيرة عمليات رصد أكثر تكرارًا مقارنةً بالظواهر الأكبر نطاقًا . على سبيل المثال ، قد يلزم رصد هبات الرياح في شوارع المدن على نطاقات زمنية بالثواني أو أجزاء من الثانية ، بينما قد تكون عمليات رصد الرياح كل ساعة كافية عند دراسة ذروة الرياح منخفضة المستوى متوسطة النطاق ، مثل النفاثات المتكررة في منطقة السهول الكبرى بالولايات المتحدة . يُوضح الملحق 8.1 معطيات أخرى عند إجراء عمليات رصد جوية.

تُعد البيانات الوصفية (بيانات حول البيانات) ضرورية إذا كان من المقرر مشاركة عمليات الرصد مع الآخرين أو استخدامها من قِبلهم . توصي المنظمة العالمية للأرصاد الجوية (WMO) بأن تتضمن البيانات الوصفية ، كحد أدنى ، وصفًا لنوع الجهاز وحالته ؛ ومحيطه ، ومدى تعرضه للإشعاع ، وارتفاعه عن سطح الأرض ، ودرجة تداخله مع الأجهزة أو الأجسام الأخرى ؛ والتغييرات التي طرأت عليه و/أو استبداله (استبدالاته) ؛ وبروتوكولات الرصد . عدم التجانس في البيانات المؤرشفة على الرغم من التوافر الواسع النطاق الواضح للبيانات المؤرشفة ، إلا أنه ليس من الواضح دائمًا ما إذا كان علم المناخ "غنيًا بالبيانات" أم "فقيرًا بها" نظرًا لوجود عدد من القيود الشديدة على سجلات المناخ المؤرشفة . أحد هذه القيود هو أن الدقة المكانية والزمانية للملاحظات المؤرشفة ليست مفصلة بما يكفي لمعالجة العديد من أسئلة البحث المعاصرة.

تتسم تغطية سطح الأرض بعدم التكافؤ ؛ إذ لم تُجرَ سوى ملاحظات قليلة نسبيًا فوق المناطق الاستوائية أو المناطق القطبية أو المحيطات . كما أن السجلات غالبًا لا تمتد إلى فترة زمنية طويلة بما يكفي للكشف الدقيق عن تقلبات المناخ وتغيراته . ويختلف طول سجل المناخ باختلاف متغير المناخ والموقع . ويعود تاريخ الرصد شبه العالمي لدرجة حرارة السطح وهطول الأمطار تقريبًا إلى منتصف القرن التاسع عشر، بينما بدأت الرصدات الروتينية على المستوى الأعلى حوالي عام ١٩٤٠ (وينكلر ٢٠٠٤) . من القيود الأخرى لقياسات المناخ المؤرشفة أن معظم شبكات الرصد صُممت في البداية للتنبؤ بالطقس قصير المدى بدلاً من رصد المناخ. تختلف متطلبات هذين التطبيقين اختلافًا كبيرًا ؛ فعلى سبيل المثال ، تُعدّ الدقة والإحكام أمرًا بالغ الأهمية للتنبؤ بالطقس ، بينما يُعدّ الاتساق الزمني والمكاني شاغلًا رئيسيًا لرصد المناخ .

إن تركيب أجهزة جديدة ذات دقة وإحكام أكبر، على الرغم من فائدته الكبيرة للتنبؤ بالطقس ، قد يُشكّل مشاكل لرصد المناخ ، حيث تُؤدي التغييرات في الأجهزة إلى تناقضات (يُشار إليها عادةً باسم عدم التجانس في أدبيات علم المناخ) في سجل المناخ . ومن الناحية المثالية ، تكون هناك فترة تداخل طويلة (لا تقل عن عام واحد) عند إجراء القياسات باستخدام كل من الأجهزة الجديدة والقديمة بحيث يُمكن حساب عوامل التصحيح ، ولكن في الممارسة العملية ، لا يحدث هذا غالبًا . توجد أيضًا مصادر أخرى متعددة لعدم التجانس في سجلات المناخ ، وقد يؤدي الجهل بها إلى تفسيرات خاطئة لملاحظات المناخ . أشارت الدراسات إلى أن التغييرات في موقع المحطة ، حتى لو كان التغيير في حدود بضع مئات من الأمتار فقط ، قد يُحدث تحيزًا أكبر بكثير من ذلك المرتبط بتغييرات الأجهزة (غوتمان وبيكر، 1996). كما أن التغييرات في تعرض الأجهزة ، مثل زيادة التحضر أو حتى نمو شجرة قريبة ، يمكن أن تُدخل اتجاهات اصطناعية في الملاحظات.

يجب أيضًا مراعاة الاختلافات في ممارسات الرصد عند تحليل بيانات المناخ المؤرشفة ، وخاصةً عدم التجانس المعروف ، ولكن يصعب تصحيحه . كـ "تحيز وقت الرصد" . يُجري مراقبون متطوعون العديد من قياسات درجات الحرارة ، حيث يختارون وقت الرصد المناسب لهم . وغالبًا ما يجدون أن أوقات

الصباح الباكر أو وقت ما بعد الظهر (قبل أو بعد يوم عملهم) هي الأنسب ، ويسجلون أعلى وأدنى درجة حرارة سُجِّلت خلال فترة الـ 24 ساعة المنتهية في وقت الرصد . ولسوء الحظ ، يتوافق الصباح الباكر وأواخر ما بعد الظهر مع الوقت المعتاد من اليوم لأدنى وأعلى درجات الحرارة ، على التوالي . فإذا سجل مراقب أقصى درجة حرارة في الساعة 4 مساءً بالتوقيت المحلي ، على سبيل المثال ، فقد تكون درجات حرارة ما بعد الظهر الدافئة هي أعلى درجة حرارة ليس فقط في "يوم الرصد" هذا ، ولكن أيضًا لفترة الـ 24 ساعة التالية . وبالتالي ، تميل المواقع التي تُجرى فيها الرصدات بعد الظهر إلى أن يكون لديها تحيزات دافئة مقارنةً بالمحطات التي تُجرى فيها الرصدات من منتصف الليل إلى منتصف الليل ، بينما تميل المواقع التي تُجرى فيها الرصدات الصباحية إلى أن يكون لديها تحيزات باردة (بيكر 1975).

بالإضافة إلى تحيز وقت الرصد ، تُدخل ممارسات الرصد المختلفة في مختلف البلدان تعقيدات إضافية ، لا سيما بالنسبة لتحليلات المناخ على النطاق القاري أو العالمي ؛ فعلى سبيل المثال ، تُجرى عمليات رصد درجة الحرارة والرطوبة في معظم الدول الأوروبية على ارتفاع مترين فوق سطح الأرض ، بينما تُجرى في الولايات المتحدة على ارتفاع 1.5 متر . ورغم أن هذا الاختلاف قد يبدو ضئيلاً ، إلا أن درجة الحرارة عادةً ما تتغير بسرعة مع الارتفاع بالقرب من سطح الأرض ، وبالتالي ، يمكن أن يكون للاختلافات الطفيفة في ارتفاع المستشعر تأثير كبير على درجة الحرارة المرصودة . ونظرًا لاحتمالية عدم التجانس في سجلات المناخ ، فإن الخطوة الأولى الأساسية لأي تحليل مناخي هي فحص الملاحظات بعناية للتأكد من تجانسها . ورغم أن هذه المهمة ليست سهلة أبدًا ، إلا أنها تُبسط إلى حد ما إذا توفرت البيانات الوصفية . في هذه الحالة ، يتمثل النهج الشائع في مقارنة فترة التسجيل التي يُعلم فيها بحدوث تغيرات (مثل تغيير في الجهاز) بتلك الموجودة في محطة قريبة دون أي تغيير، وحساب عامل تعديل . يقدم بيترسون وآخرون (1998) مراجعة ممتازة للعديد من الطرق المختلفة المستخدمة للكشف عن عدم التجانس في سجل المناخ.

مصادر البيانات المؤرشفة

قد يتطلب العثور على مجموعة بيانات مناخية استرجاعية أنسب لسؤال بحثي معين جهدًا كبيرًا . تمتلك بعض البلدان ، وليس جميعها ، مراكز بيانات تُؤرشف مجموعات بيانات المناخ وتوزعها ، على الرغم من أن مجموعات البيانات المناخية ليست جميعها متاحة مجانًا . ومن الأمثلة على مجموعة البيانات الوطنية الملاحظات السطحية لشبكة علم المناخ التاريخي للولايات المتحدة (USHCN) http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/research/ushcn/ushcn.html.

تتألف الشبكة من حوالي 1200 محطة ، تم اختيارها بناءً على طول فترة تسجيلها ، ونسبة ضئيلة من البيانات المفقودة ، وعدد محدود من التغييرات في موقع المحطة ، وأجهزتها ، ووقت الرصد. ومن مجموعات البيانات المعروفة الأخرى سجل درجات الحرارة في وسط إنجلترا

(HadCET) http://hadobs.metoffi ce.com/hadcet/.

وقد جُمعت الملاحظات من محطات متعددة لإنتاج متوسط درجات حرارة شهرية مركبة تمتد من عام 1659 إلى الوقت الحاضر (تبدأ القيم اليومية المركبة في عام 1772). وتُستخدم على نطاق واسع في دراسات المناخ مجموعتا بيانات عالميتان لدرجة حرارة سطح الأرض للمناطق البرية، وهما

CRUTEM3 http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/

وشبكة علم المناخ التاريخي العالمي

(GHCN) http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/ghcn - monthly/index.php.

البيانات عبارة عن شذوذات شهرية في درجات الحرارة ، مُرتبة على شكل شبكي ، محسوبة كانحرافات عن متوسط القيم للفترة 1961-1990 ، بدقة 5 درجات عرض و5 درجات طول . على النقيض من ذلك، تتضمن مجموعة بيانات

HadCRUT3 http://hadobs.metoffice.com/hadcrut3/diagnostics/global/nh+sh/

كلاً من عمليات الرصد من سطح البحر واليابسة . توفر مجموعات البيانات التي تجمع بين عمليات الرصد في الموقع وعمليات الرصد المستشعرة عن بُعد تغطية مكانية أكبر؛ ومن الأمثلة على ذلك مشروع مناخ هطول الأمطار العالمي (GPCP) http://cics.umd.edu/ ~ yin/GPCP/main.html

، الذي يوفر تقديرات لمتوسط هطول الأمطار الشهري من عام 1979 فصاعدًا بدقة 2.5 درجة عرض و2.5 درجة طول. هذه المجموعات من البيانات ليست سوى أمثلة قليلة على عمليات الرصد المناخي المؤرشفة .

مهما كان نوع أو مصدر بيانات المناخ المؤرشفة ، من المهم تذكر أن من واجب المستخدم فحص البيانات للتأكد من اكتمالها وعدم تجانسها واحتمالية وجود أخطاء . قد يؤدي عدم القيام بذلك إلى تحليلات غير ذات معنى أو مضللة.

مناهج البحث في علم المناخ

تتراوح مناهج البحث من البسيطة إلى المعقدة . ولا تُقيّد المناهج المستخدمة في أبحاث المناخ إلا بمعرفة الباحث وخياله . هناك أمران شائعان : تُناقش بإيجاز مناهج البحث المناخي - التحليل الإحصائي والنمذجة العددية.

الأساليب الإحصائية

لخص زويرز وفون ستورش (2004: 666) الطرق العديدة التي استُخدمت بها الإجراءات الإحصائية في البحث المناخي . وبكلماتهما ، "يُعد استخدام الإحصاءات واسع الانتشار في علوم المناخ ليس فقط لاستخراج البيانات ومراقبة جودتها ، ولكن أيضًا لتجميع المعرفة والمعلومات من تلك البيانات" . تشمل تطبيقات الإحصاءات : استرجاع البيانات والمعالجة اللاحقة للملاحظات المستشعرة عن بُعد ، مثل قياسات الرادار ؛ وتقدير معلمات المناخ من السجلات البديلة للظواهر المعتمدة على المناخ ، مثل حلقات نمو الأشجار (ينظر الفصل 9) ؛ ومراقبة جودة بيانات الرصد ، بما في ذلك اختبارات عدم التجانس ؛ والاستيفاء المكاني والزماني للملاحظات الجوية ؛ والتنبؤات المناخية متوسطة وطويلة المدى ؛ التحقق من التنبؤات ؛ وتحديد أنماط التباين في سجل المناخ ، مثل تذبذب شمال الأطلسي (NAO) (التذبذب في ضغط مستوى سطح البحر بين الضغط المنخفض الموجود عادةً بالقرب من أيسلندا والضغط المرتفع شبه الاستوائي المعروف باسم مرتفع جزر الأزور) ؛ والكشف عن تغير المناخ ؛ وتوليف الملاحظات و/أو مخرجات النماذج ؛ واختبار الفرضيات.

تمتد الأساليب الإحصائية التي يستخدمها علماء المناخ من الإحصاءات الوصفية البسيطة المستخدمة لتلخيص البيانات (ينظر الفصل 17) إلى التقنيات ، وبعضها متطور للغاية ، والتي تُستخدم لاستخلاص استنتاجات حول خصائص أو علاقات مناخ موقع أو منطقة (ينظر الفصل 18). **وبغض النظر عن بساطة أو تعقيد أي أسلوب إحصائي ، يجب على الباحثين أن يكونوا على دراية بالافتراضات التي تقوم عليها الأساليب نفسها وطبيعة بيانات المناخ التي تُطبق عليها** . لهذا السبب ، من المفيد تسليط الضوء على بعض خصائص بيانات المناخ التي قد تُعقّد تطبيق التقنيات الإحصائية و/أو قد تُخالف افتراضاتها الأساسية . على سبيل المثال

، تُعدّ بعض عناصر المناخ كميات متجهة . فالكمية المتجهة، مثل الرياح ، لها مقدار واتجاه ، وبالتالي يكون تحليلها أكثر تعقيدًا من الكميات القياسية ، مثل درجة الحرارة ، التي لا تمتلك سوى مقدار . على سبيل المثال ، لا يُمكن حساب متوسط حسابي بسيط لكمية متجهة . بالطبع ، يُمكن تحديد متوسط سرعة الرياح ، لكن هذا وصف غير كامل للرياح لأنه لا يحتوي على معلومات حول اتجاهها . البديل هو فصل الرياح الأفقية إلى مكونين (u و v، حيث u هو المكون الإقليمي الغربي الشرقي للرياح، وv هو المكون الزوالي الشمالي الجنوبي).

يُمكن بعد ذلك استخدام هذين المكونين لحساب الرياح الناتجة ، أو المتوسط المتجهي ، لسلسلة من ملاحظات الرياح . إن مقدار المتجه الناتج ، أو متوسط سرعة الرياح المتجهية ، ليس هو نفسه المتوسط البسيط لسرعات الرياح ، أو متوسط سرعة الرياح القياسي . كما أن اتجاه المتجه الناتج ليس هو نفسه اتجاه الرياح السائد (الاتجاه الذي تهب منه الرياح في أغلب الأحيان) . عند تحليل ملاحظات الرياح أو أي كمية متجهية ، يحتاج الباحثون إلى دراسة متأنية ، في ضوء أهدافهم البحثية ، لتحديد المقياس الأكثر صلة . يجب أن يأخذ أي تحليل إحصائي لملاحظات المناخ في الحسبان المنطقة التي يكون فيها القياس ممثلاً . نادرًا ما تكون قياسات الظواهر الجوية دقيقة . تُعد تقديرات نقطية ، على الرغم من أن مجال رؤية الجهاز الذي يجري الرصد قد لا يتجاوز بضعة سنتيمترات مربعة أو أمتار . على سبيل المثال ، للأسطوانة الخارجية لمقياس المطر القياسي قطر صغير (127 ملم في المملكة المتحدة و203 ملم في الولايات المتحدة)، ولكن المنطقة التمثيلية المخصصة للمقياس قد تمتد ، حسب التضاريس المحيطة ، لعدة مئات من الكيلومترات.

في بعض الحالات ، قد يؤدي هذا إلى سوء تفسير، حيث يمكن أن تبدأ أحداث هطول الأمطار وتنتهي فجأة ، وتوجد تدرجات مكانية كبيرة لأن بعض المواقع تشهد هطول الأمطار بينما لا تشهدها مواقع أخرى قريبة . ليس من المستغرب أن يكون الاستيفاء المكاني (ملء الفراغ بين القياسات لإنشاء مجموعة بيانات متصلة) مهمة معقدة في علم المناخ ، حيث نادرًا ما تكون مواقع الرصد موزعة بالتساوي في المكان ، وبعض متغيرات المناخ ، مثل هطول الأمطار ، ليست متصلة مكانيًا وزمانيًا مثل غيرها . تفترض العديد من الطرق الإحصائية أن المتغيرات موزعة توزيعًا طبيعيًا . على الرغم من أن بعض متغيرات المناخ ، مثل درجة الحرارة ، تقترب بشكل كبير من التوزيع الغاوسي (التوزيع الطبيعي) المتماثل ، إلا أن بعضها الآخر، مثل هطول الأمطار، لا يتوزع توزيعًا طبيعيًا .

تميل كميات هطول الأمطار، وخاصةً الإجماليات اليومية ، إلى أن تكون منحرفة للغاية مع وجود عدد كبير من الأيام بدون هطول ، وبضعة أيام فقط ذات هطول غزير . غالبًا ما يُمثل هطول الأمطار بشكل أفضل باستخدام توزيعات جاما أو توزيعات مماثلة . ومن الافتراضات الشائعة الأخرى في الإحصاء الثبات . لا يتغير متوسط وتباين عملية ثابتة مع مرور الوقت أو الموقع . غالبًا ما تُظهر بيانات المناخ اتجاهات زمنية تنتهك هذا الافتراض . يعني هذا ، على سبيل المثال ، أن تعريف "التوزيعات الطبيعية" للمناخ ، وهي تقدير "للقيمة المتوقعة" لمتغير مناخي ، وغالبًا ما تُستخدم لأغراض التصميم والتخطيط واتخاذ القرار، قد يكون أكثر صعوبة مما قد يفترضه المرء في البداية .

تُعرّف المنظمة العالمية للأرصاد الجوية (WMO) المعدل المناخي بأنه متوسط 30 عامًا يُحدّث كل 10 سنوات . توصي دراسات حديثة ، مثل دراسة هوانغ وآخرون (1996) ، باستخدام فترة متوسط أقصر، وتحديث المعدلات المناخية بوتيرة أكبر، نظرًا لاتجاهات متغيرات المناخ . ترتبط بيانات المناخ أيضًا مكانيًا وزمانيًا ، ويجب تقليل "درجات الحرية" (التي تُحسب عادةً بطرح عدد عناصر البيانات ، N، من عدد المعلمات الإحصائية ، على سبيل المثال 1 - N؛ ينظر الفصل 18) المستخدمة في الاختبارات الإحصائية لمراعاة هذا الارتباط . يؤدي عدم تعديل درجات الحرية للارتباط الذاتي المكاني و/أو الزمني إلى زيادة

احتمال رفض فرضية العدم ، في حين أنها صحيحة في الواقع . على الرغم من اقتراح عدد من الطرق للتعامل مع ما يُشار إليه غالبًا باسم "مشكلة التعدد" (ويلكس 2006) ، إلا أن العديد من الباحثي ن، للأسف ، غالبًا ما يفشلون في إجراء التعديل اللازم .

وكما ذُكر سابقًا ، استُخدمت التحليلات الإحصائية في تطبيقات متنوعة ، ولكن من المجالات الجديرة بالاهتمام تصنيف المناخ ، وهو عنصر مهم تاريخيًا في علم المناخ . لتصنيف المناخ هدفان رئيسيان . الأول هو تجميع المواقع ذات المناخات المتشابهة ، وذلك بهدف تلخيص الاختلافات المكانية في المناخ واقتراح أسباب الاختلافات الملحوظة ؛ ولعل أشهر مثال على ذلك هو تصنيف كوبن-جايجر (/http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at) الذي يستند إلى ملاحظات متوسط درجات الحرارة السنوية والشهرية وهطول الأمطار وموسمية هطول الأمطار. الهدف الثاني هو تجميع أنماط دوران الغلاف الجوي المتشابهة للتنبؤ بالطقس والمناخ ودراسة تغيرات دوران الغلاف الجوي مع مرور الوقت ، ومن الأمثلة على ذلك كتالوج لامب لأنماط الطقس اليومية للجزر البريطانية ، والذي يمكن الوصول إليه على الرابط http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/lwt.htm. في الآونة الأخيرة ، على مر السنين، استُبدلت في الغالب الطرق الذاتية لتصنيف المناخ بمناهج حاسوبية تعتمد بشكل كبير على الإحصاءات متعددة المتغيرات لتجميع المواقع ذات المناخات المتشابهة أو الأيام / الأشهر ذات أنماط الدوران المتشابهة . ومن الأمثلة على ذلك الكتالوج الآلي لتدفق الهواء في طبقة التروبوسفير الوسطى الذي طوره هوث (2001) لأوروبا.

تم تطبيق تحليل المكونات الرئيسية ، وهو أسلوب إحصائي متعدد المتغيرات يُستخدم بكثرة في الجغرافيا الطبيعية والبشرية ، على الملاحظات اليومية لارتفاع سطح الضغط الجوي 500 هيكتوباسكال (الذي يمثل نقطة المنتصف في الغلاف الجوي من حيث الكثافة) لعزل الأنماط الرئيسية للدوران . ثم حُسبت درجات المكونات التي تقيس العلاقة بين كل حالة (أو يوم في حالة دراسة هوث) وكل مكون (نمط الدوران) . جُمعت النتائج باستخدام تقنية أخرى شائعة متعددة المتغيرات تُعرف باسم التحليل العنقودي ، وتمثل المجموعات النهائية أنماط تدفق الهواء الأولية في طبقة التروبوسفير الوسطى فوق أوروبا . وقد طُوّرت تصنيفات مماثلة لمناطق أخرى و/أو متغيرات مناخية أخرى مثل ضغط مستوى سطح البحر.

النمذجة العددية

النماذج العددية هي نماذج فيزيائية طُوّرت باستخدام مبادئ الحفظ ، والقانون الأول للديناميكا الحرارية ، وقوانين الحركة . أي أن النماذج العددية تستخدم القوانين الفيزيائية للتحكم في سلوكها ، وتلعب دورًا بالغ الأهمية في علم الأرصاد الجوية وعلم المناخ (يُلخص تاريخ التنبؤ العددي بالطقس بإيجاز على الرابط http://celebrating200years.noaa.gov/foundations/numerical_wx_pred/welcome.html#ahead).

في الآونة الأخيرة ، أصبحت النمذجة المجمعة نهجًا مهمًا في النمذجة العددية . في الماضي ، افترض علماء الغلاف الجوي وجود تنبؤ "أفضل" قائم على "نموذج مثالي" وبيانات دقيقة وكاملة . على النقيض من ذلك ، تُدرك نمذجة المجموعات طبيعة الغلاف الجوي الفوضوية ، والطبيعة غير المثالية للنماذج الرقمية ، وعدم القدرة على قياس الغلاف الجوي بشكل كامل ودقيق .

تُجرى عمليات تشغيل متعددة للنماذج الرقمية (أي "مجموعة") بظروف ابتدائية مختلفة قليلاً ، ويُشير نطاق التوقعات إلى عدم اليقين في التنبؤ (ينظر جنايتنج ورافتري (2005) و لمزيد من المعلومات http://www.hpc.ncep.noaa.gov/ensembletraining ./

من بين نماذج المناخ التي حظيت باهتمام كبير في السنوات الأخيرة نماذج الدورة العامة الجوية العالمية (AGCMs) ، وهي نماذج معقدة ثلاثية الأبعاد ، طُوّرت لدراسة العمليات المناخية ، وتقلبات المناخ الطبيعية ، والاستجابة المناخية للتأثيرات البشرية ، مثل زيادة انبعاثات غازات الاحتباس الحراري . غالبًا ما تُدمج هذه النماذج مع نماذج الدورة العامة للمحيطات (OGCMs) لإنشاء نماذج دورة عامة جوية محيطية (AOGCMs) مقترنة (ينظر McGuffi e و Henderson-Sellars 2005) لمزيد من المعلومات حول نماذج المناخ).

تُشغّل معظم نماذج الدورة العامة الجوية المحيطية (AGCMs) ونماذج الدورة العامة الجوية المحيطية (AOGCMs) الحالية بما يُسمى الوضع العابر، حيث يُسمح لغازات الاحتباس الحراري في الغلاف الجوي بالتزايد مع مرور الوقت . تتوفر نتائج مختارة من العديد من نماذج الدورة العامة الجوية المحيطية (AOGCMs) من مركز توزيع بيانات الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) على الرابط الاتي : /. http://www.ipcc-data.org يقدم الملحق 8.2 مثالاً لكيفية استخدام مجموعة من الجغرافيين للنماذج الرقمية لاستنباط سيناريوهات تغير المناخ لمواقع مختلفة في ميشيغان، الولايات المتحدة الأمريكية.

الكشف عن تغير المناخ: مثال على تحليل بيانات المناخ

أُنشئت الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) عام ١٩٨٨ من قِبل المنظمة العالمية للأرصاد الجوية (WMO) وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP) لتوفير معلومات محايدة حول تغير المناخ (وهي لا تُجري أي أبحاث أو تُراقب المناخ) . وذكر تقريرها التقييمي الرابع (٢٠٠٧) أن "ارتفاع درجة حرارة النظام المناخي أمرٌ لا لبس فيه" وأن "معظم الزيادة المُلاحظة في متوسط درجات الحرارة العالمية منذ منتصف القرن العشرين تُعزى على الأرجح إلى الزيادة المُلاحظة في تركيزات غازات الاحتباس الحراري البشرية المنشأ

" (http://www.ipcc.ch/pdf/assessment - report/ar4/wg1/ar4 - wg1 - spm.pdf).

وبالتالي ، فإن تغير المناخ الناتج عن زيادة غازات الاحتباس الحراري قد يؤثر بالفعل على بيئة الأرض والنشاط البشري http://www.epa.gov/climatechange/science/stateofknowledge.html#ref ، وهذه القضية العلمية والبيئية المهمة ، وما يحيط بها من غموض وجدل ، يُبرز أهمية عمليات رصد المناخ وحدودها . وقد استُخدمت العديد من مجموعات البيانات الرئيسية للكشف عن تغير المناخ ؛ ومن أهمها سلسلة قياسات ثاني أكسيد الكربون الجوي التي أُجريت في مرصد ماونا لوا في هاواي منذ عام 1958 (الشكل 8.2).

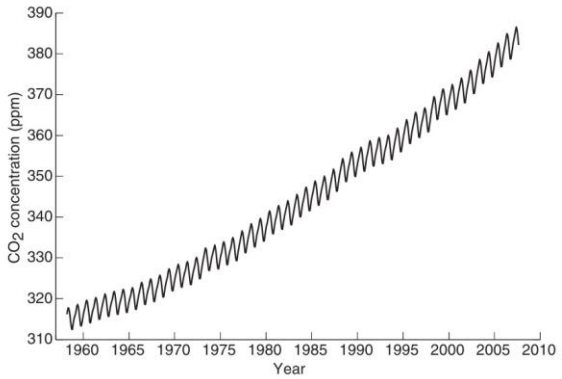


Figure 8.2 Trend in monthly average of carbon dioxide (CO_2) concentration in air samples obtained at Manua Loa Observatory, Hawaii. The data used to construct the graph and supporting information can be found at (http://scrippsco2.ucsd.edu/home/index.php)

وتُعد هذه الملاحظات ، التي تتميز بزيادة ملحوظة في تركيزات ثاني أكسيد الكربون منذ بدء القياسات ، مؤشرًا على التأثير الذي يمكن أن يُحدثه البشر على الكوكب الذي يعيشون فيه . يُعتقد أن الانبعاثات البشرية لما يسمى "غازات الاحتباس الحراري" ، بما في ذلك ثاني أكسيد الكربون ، بالإضافة إلى غازات أخرى مثل الميثان وأكسيد النيتروز، هي السبب الرئيسي للزيادة الملحوظة مؤخرًا في متوسط درجات الحرارة العالمية.

جُمعت مجموعات متوسط درجة حرارة الهواء السطحي (اليابسة و/أو المحيطية) في أوائل ثمانينيات القرن الماضي ، وحُدِّثت بانتظام منذ ذلك الحين . ومن أشهر هذه المجموعات منحنى درجة حرارة نصف الكرة الشمالي الذي طوره علماء المناخ في جامعة إيست أنجليا (المملكة المتحدة) (جونز وآخرون، 1982) . ويُعبَّر عن متوسط درجة الحرارة السنوي من حيث الانحراف (أو الشذوذ) عن متوسط درجة الحرارة لفترة زمنية ثابتة (انظر الشكل 8.3) . وقد وُجِّهت انتقادات إلى البيانات نفسها والطرق المستخدمة في تحليلها ؛ ومع ذلك ، تكشف هذه المجموعات من البيانات ، وغيرها من البيانات المماثلة ، والتي تم توسيعها لتشمل أسطح اليابسة والمحيطات في العالم أجمع ، عن زيادة في متوسط درجة الحرارة العالمية بمقدار 0.74 درجة مئوية ± 0.18 درجة مئوية على مدى المائة عام الماضية، وحوالي ضعف معدل الاحترار هذا خلال الخمسين عامًا الماضية

(http://www.ipcc.ch/pdf/assessment - report/ar4/wg1/ar4 - wg1 - chapter3.pdf.)

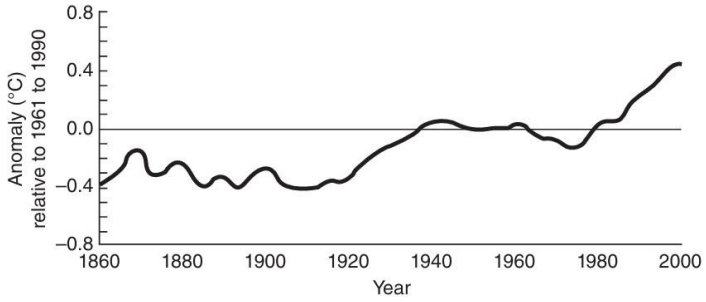


Figure 8.3 The Northern Hemisphere temperature curve constructed by Folland et al. 2001

تُرسم تقديرات متوسط درجة الحرارة السنوية في نصف الكرة الشمالي كشذوذ من متوسط درجة الحرارة للفترة 1961-1990 وفقًا لـ مان وآخرون (1999). تُعرض تقديرات درجة الحرارة المستندة إلى عمليات إعادة البناء من بيانات الوكيل بخط رفيع ، بينما تُعرض تقديرات سجل الجهاز بخط سميك . البيانات والمعلومات المتعلقة بالطرق المستخدمة لاستخلاصها متاحة على الرابط: http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/ei/ei_cover.html

ومن بين سلاسل درجات الحرارة المثيرة للجدل إلى حد ما ، رسم مان وآخرون (1998) البياني "عصا الهوكي" ، والذي سُلِّط الضوء على نسخة موسعة منه (مان وآخرون، 1999) في تقرير التقييم الثالث للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ . تكمن أهمية هذا الرسم البياني في أنه يشير إلى أن الاتجاه الحديث نسبيًا في متوسط درجة الحرارة في نصف الكرة الشمالي غير عادي للغاية ، حيث إن معدل الاحترار أكبر مما شهدناه في أي وقت خلال الألفية الماضية (الشكل 8.4).

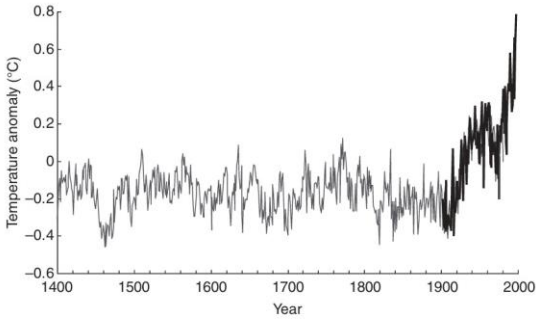


Figure 8.4 Estimates of annual Northern Hemisphere mean temperature are plotted as anomalies from the 1961–90 average temperature after Mann et al. (1999). Temperature estimates based on reconstructions from proxy data are shown with a thin line and those from the instrument record are shown by a thick line. The data as well as information about the methods used to derive them are available at http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/ei/ei_cover.html

تم تجميع الرسم البياني، الذي اشتق اسمه من الانقطاع الحاد الذي حدث حوالي عام 1900 (قبل ذلك الوقت كان الاتجاه مستقرًا نسبيًا) ، وما تلاه من ارتفاع في درجة الحرارة ، والذي يُشبه شكل عصا الهوكي . تم تجميعه باستخدام سجلات آلية وبيانات بديلة مستمدة من مجموعة واسعة من المصادر، مثل حلقات الأشجار وعينات الجليد ، والتي تم الحصول عليها من جميع أنحاء العالم (ينظر الفصل 9). يتمحور القلق بشأن صحة الرسم البياني "عصا الهوكي" حول قضايا جودة البيانات والطرق المستخدمة لدمج البيانات البديلة المستمدة من مصادر مختلفة . ومع ذلك ، خلص تقرير نُشر عام 2006 بعنوان "إعادة بناء درجة حرارة السطح خلال الألفي عام الماضية" ، والذي أعدته اللجنة الخاصة التي أنشأها المجلس الوطني للبحوث (الولايات المتحدة الأمريكية) ، إلى أن عمليات إعادة بناء درجة حرارة سطح نصف الكرة الشمالي خلال الألف عام الماضية تُعطي نتائج متسقة بشكل عام (http://books.nap.edu/openbook.php?record_id=11676 & page=1)

وقد جُمعت سلسلة زمنية معروفة تُوضح عدم اليقين المحيط بملاحظات المناخ من قياسات درجة حرارة الأقمار الصناعية العالمية من عام 1979 إلى الوقت الحاضر (سبنسر وكريستي 1990). وقد تم الحصول على البيانات بواسطة وحدات قياس الموجات الدقيقة (MSUs) ، المثبتة على أقمار صناعية تدور في مدارات قطبية ، والتي تقيس الإشعاع (الطاقة المارة أو المنبعثة من منطقة معينة) والتي تُشتق منها تقديرات درجة الحرارة لطبقات مختلفة في الغلاف الجوي السفلي . يمكن الاطلاع على معلومات حول البيانات على الرابط .http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/research/msu.html

تغطي هذه القياسات نطاقًا مكانيًا واسعًا ، إلا أن عملية إنشاء سجل لدرجة الحرارة تُعد مهمة معقدة ، لا سيما بسبب التغيرات في وقت الرصد المحلي وانخفاض الارتفاع المداري الناتج عن سحب الغلاف الجوي للقمر الصناعي . أُجريت عمليات إعادة حساب عديدة لسلسلة درجات الحرارة المشتقة من القمر الصناعي ، وعلى الرغم من أن الإصدارات السابقة أشارت إلى أن الاحترار الأخير في الطبقة السفلى من الغلاف الجوي لم يكن بنفس سرعة ملاحظات درجة حرارة السطح ، إلا أن الأبحاث الحديثة تكشف عن توافق أفضل بين قياسات الأقمار الصناعية وملاحظات درجة الحرارة السطحية (ميرز ووينتز 2005).

الخلاصة

من المتوقع أن يتوسع استخدام الجغرافيين لملاحظات المناخ بالتوازي مع اهتمامهم بالروابط بين المناخ والعمليات الفيزيائية والبشرية الأخرى . قد يكون إجراء الملاحظات الميدانية أمرًا صعبًا ، ويجب الانتباه إلى متطلبات البحث ، وطبيعة الظواهر المناخية قيد الدراسة ، وخصائص الأجهزة والموقع . كما أن استخدام وتفسير بيانات المناخ المؤرشفة قد يكون مرهقًا بنفس القدر نظرًا لوجود عدم تجانس في البيانات ، وعدم ملاءمة دقتها المكانية والزمانية ، بالإضافة إلى فترة تسجيلها ، للأسئلة المطروحة . وبغض النظر عن كيفية الحصول عليها ، يجب على الباحثين عند تحليل بيانات المناخ أن يكونوا على دراية بالافتراضات والقيود الكامنة في الأساليب والنماذج الإحصائية التي يستخدمونها . ومع ذلك ، فإنه فقط من خلال المعالجة والتحليل الدقيقين لملاحظات المناخ ، إلى جانب إعادة بناء المتغيرات المناخية من المصادر البديلة والنتائج المستمدة من النماذج الإحصائية والعددية ، يمكن اكتساب فهم للطريقة التي عمل بها نظام المناخ المعقد للأرض في الماضي والطريقة التي قد يعمل بها في المستقبل.

المربع 8.1 قائمة مرجعية لبحوث المناخ

تتطلب جميع البحوث المناخية الاهتمام الدقيق بتصميم التجارب. تتوفر "قائمة مرجعية" (الجدول 8.1) أدناه لمساعدة الطلاب وغيرهم من المبتدئين في التحليل المناخي على أخذ قياسات للغلاف الجوي. على الرغم من أن قائمة المراجعة مصممة في المقام الأول للقياسات الميدانية، إلا أنها ذات صلة واسعة أيضًا عند استخدام ملاحظات المناخ المؤرشفة. قائمة المراجعة، بالطبع، ليست شاملة، ويجب إضافة اعتبارات خاصة بمشروعك البحثي.

الجدول 8.1 قائمة مرجعية لبحوث المناخ

السؤال	الشرح	ما أهمية ذلك؟
ما هو هدف (أهداف) البحث؟	يجب ذكر أهداف البحث بوضوح في بداية كل مشروع.	توجه أهداف البحث نوع وعدد متغيرات المناخ المضمنة في التحليل.
ما هو النطاق المكاني لظاهرة المناخ قيد الدراسة؟	تحدث الظواهر المناخية على نطاقات تتراوح من النطاق المجهري إلى النطاق الكوكبي (انظر النص).	يحدد المقياس المكاني الكثافة والتغطية المساحية اللازمتين للرصدات. تذكر أن المقياس المكاني يشير إلى كل من الأبعاد الأفقية والرأسية.
ما هو المقياس الزمني لظاهرة المناخ قيد الدراسة؟	غالبًا ما يرتبط المقياس الزمني والمكاني، حيث تميل الظواهر المناخية على النطاقين المجهري والمحلي إلى أن تكون لها فترات أقصر مقارنة بالظواهر السينوبتيكية والكوكبية.	يحدد المقياس الزمني تواتر الرصدات.
ما هي الأدوات التي يمكن استخدامها لقياس متغير مناخي معين، وكيف تختلف حساسية الأدوات المتاحة؟	تم تطوير العديد من الأدوات المختلفة لقياس متغير مناخي معين. الحساسية هي استجابة الجهاز لإشارة.	قد لا توفر الأدوات الأقل حساسية الدقة اللازمة لمعالجة أهداف البحث، ولكن الأدوات شديدة الحساسية تتطلب عمومًا معايرة أكثر تكرارًا وتكون أكثر تكلفة.
ما هي "بصمة" الجهاز؟	لا يرى الجهاز سوى جزء من البيئة المحيطة. تعتمد المنطقة المحسوسة، أو البصمة، على خصائص الجهاز مثل مجال رؤيته والارتفاع الذي تم تركيبه فيه.	من الضروري معرفة البصمة لتحديد موقع الجهاز بشكل صحيح وتفسير القياسات

الجدول 8.1 يتبع

سؤال	الشرح	ما أهميته؟
ما هو زمن استجابة الجهاز؟	زمن الاستجابة هو الوقت الذي يستغرقه جهاز مثل مقياس الحرارة للاستجابة لتغير في المتغير الذي يتم قياسه (مثل درجة الحرارة).	إذا كان زمن استجابة الجهاز بطيئا جدًا، فقد تُفقد تفاصيل مهمة عن ظاهرة المناخ وقد تكون القياسات مضللة. إذا كان زمن الاستجابة سريعًا جدًا، فسيتم تسجيل تفاصيل أكثر مما هو مطلوب.
كيف سيتم معايرة الجهاز؟	المعايرة هي عملية ربط حجم مخرجات جهاز القياس بحجم المدخلات (الجمعية الأمريكية للأرصاد الجوية 2000). يجب وضع معيار تتم معايرة جميع الأجهزة في شبكة المراقبة بناء عليه. عادةً ما تتم المعايرة في كل من المختبر والميدان. الحراف الجهاز هو تغيير تدريجي وغير مقصود في القيمة المرجعية للجهاز مع مرور الوقت. عادةً ما يحدث الانحراف بسبب تدهور أجزاء الجهاز أو عندما يصبح الجهاز متسخًا	تؤدي الأجهزة غير المعايرة أو التي تمت معايرتها بشكل خاطئ إلى قياسات غير دقيقة. لا يمكن مقارنة القياسات من أجهزة في مواقع مختلفة إذا لم تتم معايرتها وفقًا لنفس المعيار.
كيف يمكن أن تتدهور القياسات مع مرور الوقت؟		تحتاج الأجهزة إلى صيانة روتينية وإعادة معايرتها بشكل متكرر.
ما أنواع أخطاء القياس المنهجية التي يمكن توقعها؟	الخطأ المنهجي هو جزء من عدم دقة أداة القياس الناتج عن سبب واحد أو عدد قليل من الأسباب (الجمعية الأمريكية للأرصاد الجوية 2000).	قد يكون من الممكن حساب عوامل التحيز لضبط الخطأ المنهجي.
ما هو التمثيل الجغرافي لموقع القياس؟	عادةً ما يعتبر القياس ممثلاً للمنطقة المحيطة، على الرغم من اختلاف حجم تلك المنطقة.	لزيادة المساحة التي يكون القياس ممثلاً لها، من الضروري وضع الجهاز بحيث يتم تقليل التغيرات المناخية المحلية. وعادةً ما يتم ذلك عن طريق وضع الأجهزة في مناطق مفتوحة مسطحة ذات خصائص سطحية موحدة

يتبع الجدول 8.1

السؤال	الشرح	ما أهمية ذلك؟
ما هو تعرض الجهاز؟	تعرض الجهاز هو ببساطة الموقع المادي للجهاز؛ يمكن أن يكون للبيئة المحيطة تأثير كبير على تمثيل القياس (الجمعية الأمريكية للأرصاد الجوية 2000).	يجب تركيب الأجهزة بعيدًا عن العوائق مثل الأشجار العالية أو المباني القريبة التي قد تتداخل مع القياس. قد يتغير التعرض بمرور الوقت.
ما هي المعالجة اللاحقة المطلوبة للقياسات؟	العديد من أجهزة اليوم إلكترونية، ويتم تسجيل القياسات تلقائيًا كل جزء من الثانية. غالبًا ما يلزم تقليل هذه القياسات وتلخيصها.	تعتمد فترة المتوسط المناسبة للقياسات على أهداف البحث.
كيف سيتم تخزين البيانات؟	كمية الملاحظات الجوية ضخمة حتى بالنسبة للتجارب الميدانية القصيرة.	يجب تحديد إجراءات تخزين البيانات في بداية أي مشروع بحثي.
ما هي البيانات الوصفية التي يجب تسجيلها؟	البيانات الوصفية هي بيانات حول البيانات	تُعد البيانات الوصفية ضرورية، خاصة إذا كانت الملاحظات سيشاركها الآخرون

الملحق 8.2:

مصادر بيانات متعددة لدراسة تغير المناخ

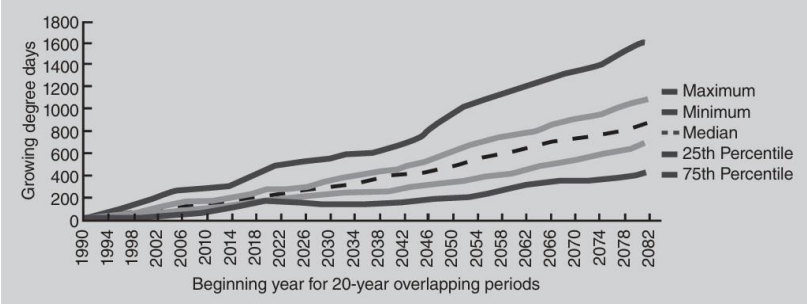
قدم بحثٌ حديثٌ حول الآثار المحتملة لتقلبات المناخ وتغيراته على الزراعة والسياحة في ميشيغان مثالاً على استخدام بيانات المناخ من مصادر متعددة . كان أحد مكونات هذا المشروع البحثي إنشاء مجموعة من سيناريوهات المناخ المستقبلية على المستوى المحلي . طُوّرت هذه السيناريوهات باستخدام عملية تُعرف باسم "التقليص الإحصائي" . تمثلت الخطوة الأولى في عملية التقليص في استخدام الملاحظات المناخية التاريخية لإنشاء علاقات إحصائية ، تُعرف باسم دوال النقل ، بين الدورة الجوية واسعة النطاق والمناخ المحلي . كانت متغيرات التنبؤ الرئيسية التي تُمثل الدورة الجوية واسعة النطاق هي ارتفاع سطح 500 هكتوباسكال ، والرطوبة النوعية عند 850 هكتوباسكال ، ومتوسط ضغط مستوى سطح البحر .

تم الحصول على هذه المتغيرات من مجموعة بيانات جديدة نسبيًا تُعرف باسم "إعادة تحليل المركز الوطني للتخطيط البيئي/المركز الوطني لأبحاث الغلاف الجوي" . تم الحصول على بيانات درجة الحرارة المحلية وهطول الأمطار من شبكة الرصد التعاوني التطوعية بالولايات المتحدة . واختيرت المحطات الخمس عشرة التي طُوّرت لها سيناريوهات بناءً على جودة سجلات رصدها . قبل التحليل ، قام مكتب مناخ ولاية ميشيغان بتقييم السلاسل الزمنية اليومية في هذه المحطات للتحقق من تجانسها ، بما في ذلك

(أ) فحص سجلات المحطات بحثًا عن أي تغييرات في الموقع ووقت الرصد والأجهزة،
(ب) تصفية السلسلة بحثًا عن أي أخطاء واضحة، و
(ج) تطبيق اختبار التجانس على السلسلة الزمنية .

طُوّرت دوال نقل متعددة باستخدام عدة تقنيات قائمة على الانحدار . بعد تقييم دوال النقل مقابل الملاحظات المخصصة لفترة اختبار، طُبّقت على عمليات محاكاة على نطاق تقريبي للفترة من 1990 إلى 2100 من أربعة نماذج لدورة دوران الغلاف الجوي العام .(AOGCMs) النماذج المستخدمة هيCGCM2 ، وHadCM3، وECHAM4، وNCAR CSM 1.2، والتي طُوّرت في كندا، وبريطانيا العظمى، وألمانيا، والولايات المتحدة، على التوالي . لكل نموذجAOGCM ، توفّرت محاكاتان تعكسان زيادات مختلفة في غازات الاحتباس الحراري بحلول نهاية القرن . وكانت النتيجة النهائية مجموعة واسعة من سيناريوهات المناخ لكل موقع .

يوضح الشكل 8.1 الزيادة المتوقعة في القيمة المتوسطة لدرجات النمو (GDDs) لفترات متداخلة مدتها 20 عامًا لأحد المواقع (أو كلير، ميشيغان) . GDDs هي متغير مشتق يُحسب بطرح درجة حرارة أساسية من متوسط درجة الحرارة اليومية . في هذا المثال ، درجة الحرارة الأساسية هي 5 درجات مئوية (41 درجة فهرنهايت) ، والتي تُستخدم غالبًا لحساب درجات النمو لمحاصيل الحبوب الصغيرة (مثل القمح) . تشير جميع السيناريوهات إلى أن التراكم السنوي للحرارة سيزداد خلال القرن الحادي والعشرين ، مما يشير إلى أن مراحل نمو المحاصيل الزراعية ستبدأ مبكرًا في موسم النمو، وأن المحاصيل ستصل إلى مرحلة النضج مبكرًا. كما أن نمو وتطور العديد من الآفات الحشرية يعتمدان على درجة الحرارة ، وقد يؤدي تراكم الحرارة الزائدة إلى زيادة عدد أجيال الآفات الحشرية في كل موسم. ويزداد عدم اليقين المحيط بالتغير المتوقع في النصف الأخير من القرن، كما يتضح من اتساع نطاق السيناريوهات.



الشكل 8.1 التغير المتوقع في القيمة المتوسطة لعدد أيام النمو بالدرجات (أساس 5 درجات مئوية) سنويًا في أو كلير، ميشيغان . تُظهر الخطوط العريضة أكبر وأصغر التغيرات المتوقعة من خلال مجموعة من 64 سيناريو مناخيًا . تقع التغيرات المتوقعة لـ 50% من السيناريوهات بين المئين الخامس والعشرين والخامس والسبعين . يوفر استخدام مجموعة السيناريوهات تقديرًا لعدم اليقين المحيط بتغير المناخ في المستقبل . مثال مقدم من مشروع Pileus، جامعة ولاية ميشيغان . لمزيد من المعلومات، يُرجى زيارة الموقع الإلكتروني www.pileus.msu.edu

التمرين 8.1

الخصائص الإحصائية لرصد درجات الحرارة وهطول الأمطار

يهدف هذا التمرين إلى تعريفك بالخصائص الإحصائية لرصد درجات الحرارة وهطول الأمطار يوميًا، ويعتمد على الأساليب التي تعرّفت عليها في الفصول السابقة. احصل على سلسلة زمنية لرصد درجات الحرارة وهطول الأمطار يوميًا ، لا تقل مدتها عن 20 عامًا لمحطة قريبة من جامعتك . تحدث مع أستاذك و/أو أخصائي مناخ في الحرم الجامعي حول المصادر المحلية لبيانات المناخ . كما يمكنك مراجعة الأرشيف الوطني للمناخ في بلدك للاطلاع على البيانات المتاحة.

ابحث عن البيانات الوصفية المتاحة لهذه السلاسل الزمنية لدرجات الحرارة وهطول الأمطار. واحصل أيضًا على أي صور فوتوغرافية أو جوية متوفرة للموقع . [تلميح: يُعد برنامج جوجل إيرث مصدرًا ممتازًا للصور الجوية لظروف الموقع الحالية.] ما أنواع الأجهزة المستخدمة لقياس درجة الحرارة وهطول الأمطار؟ على أي ارتفاعات تم تركيب الأجهزة ؟ هل تغير نوع الأجهزة وارتفاعات تركيبها خلال فترة التسجيل ؟ ما هو الغطاء الأرضي للمنطقة المحيطة بموقع الجهاز؟ هل تغيرت ظروف الموقع مع مرور الوقت؟ أدخل البيانات في جدول بيانات مثل .Excel تحقق بعناية من السلسلة الزمنية بحثًا عن أي ملاحظات مفقودة. ما هي نسبة الملاحظات المفقودة؟

أنشئ رسومًا بيانية لمتوسط درجات الحرارة اليومية وإجمالي هطول الأمطار اليومي . إذا لم يكن متوسط درجات الحرارة اليومية مُضمنًا في مجموعة بياناتك ، فاحسب أولًا المتوسط اليومي لكل يوم من متوسط درجتي الحرارة العظمى والصغرى المُبلغ عنهما لذلك اليوم . ستحتاج إلى تجربة أحجام صناديق للرسم البياني . اجعل الصناديق صغيرة بما يكفي لتكون تفاصيل التوزيعات واضحة . افحص الرسوم البيانية للمتغيرين . بناءً على المدرجات التكرارية ، هل يبدو أن كلا المتغيرين موزعان توزيعًا طبيعيًا ؟ لماذا أو لماذا لا ؟ إذا كان لديك إمكانية الوصول إلى برنامج إحصائي ، فاحسب مقياسًا واحدًا أو أكثر من المقاييس الأكثر شيوعًا لتقييم التوزيع الطبيعي (مثل اختبارK-S) . هل تتفق نتائج الاختبار مع فحصك البصري؟ تكهن بأسباب كون هذه المتغيرات موزعة توزيعًا طبيعيًا أو لا . أحد العوامل التي يجب مراعاتها هو ما إذا كان للمتغير حدود عليا أم دنيا.

ارسم متوسط درجة الحرارة الشهري ومتوسط هطول الأمطار الشهري لفترة التسجيل . يمكنك حساب المتوسطات الشهرية داخل جدول البيانات ، أو يمكنك استخدام المعدلات المناخية المنشورة للمحطة (إن وجدت) . أي من المتغيرين له دورة سنوية أقوى ؟ تكهن بأسباب أي اختلافات في قوة الدورة السنوية . ارسم متوسط درجات الحرارة اليومية للسنة الأخيرة من التسجيل . افحص الرسم البياني بدقة . ماذا يُخبرك الرسم البياني لمتوسط درجة الحرارة اليومية عن تغير درجة الحرارة خلال تلك السنة ؟

باستخدام دوال جداول البيانات (أو كتابة برنامج صغير) ، احسب متوسط درجة الحرارة لفترة التسجيل لكل يوم من أيام السنة . بمعنى آخر، احسب متوسط درجة الحرارة ليومي 1 و2 يناير، وهكذا، حيث يكون المتوسط هو مجموع متوسط درجات الحرارة اليومية لذلك اليوم مقسومًا على عدد سنوات البيانات . ثم احسب شذوذات درجة الحرارة اليومية بطرح المتوسط اليومي من متوسط درجة حرارة كل يوم . ارسم الشذوذات اليومية للسنة الأخيرة من السجل . ماذا يُخبرك الرسم البياني لشذوذات درجة الحرارة اليومية عن تغير درجة الحرارة خلال تلك السنة ؟ أي رسم بياني وجدته الأكثر إفادة ؟ رسم متوسط درجة الحرارة اليومية أم رسم شذوذات درجة الحرارة اليومية ؟ ولماذا ؟

التمرين 8.2

التحضر ورصد درجات الحرارة

يُعتقد أن التغيرات في استخدام الأراضي والغطاء الأرضي تُسهم بشكل كبير في تغير المناخ ، على الأقل على المستوى المحلي والإقليمي ، ولكن من المرجح أيضًا على مستوى نصف الكرة الأرضية والعالم. يستكشف هذا التمرين تأثيرات التحضر على رصد درجات الحرارة. احصل على رصدات لدرجة الحرارة لمحطتين في منطقة حضرية كبيرة من اختيارك أو بالقرب منها . يجب أن تكون إحدى المحطتين قريبة من المركز الحضري ، بينما تقع الثانية في بيئة ريفية قريبة من محيط المنطقة الحضرية . يجب أن يكون لدى كلتا المحطتين ما لا يقل عن 20 عامًا من رصد درجات الحرارة العظمى والصغرى . تحقق بعناية من السلسلة الزمنية بحثًا عن أي رصدات مفقودة .

ما هي البيانات الوصفية المتاحة لهذه المحطات ؟ كحد أدنى ، يجب أن تعرف خطوط العرض والطول والارتفاع للمحطتين وفترة التسجيل . حاول أيضًا معرفة ما إذا كانت المحطات قد نُقلت أو ما إذا كانت الأجهزة قد تغيرت خلال فترة التسجيل . على أي ارتفاع أُخذت القياسات ؟ وما هو استخدام الأرض/الغطاء الأرضي لموقع القياس ؟ كيف تغيرت ظروف الموقع ، وخاصةً تلك الخاصة بالموقع الحضري، مع مرور الوقت؟ بالنسبة للمحطتين، استخدم جدول بيانات لحساب متوسط درجة الحرارة الدنيا لكل سنة من سجل الرصد . ارسم السلسلة الزمنية لمتوسط درجة الحرارة الدنيا السنوية لكلتا المحطتين على نفس الرسم البياني . هل تلاحظ أي اتجاهات في متوسط درجة الحرارة الدنيا السنوية ؟ هل الاتجاهات متماثلة لكلتا المحطتين ؟ قد ترغب في استخدام دالة مطابقة الخطوط في جدول البيانات للمساعدة في تقدير الاتجاهات.

الآن ، ارسم السلسلة الزمنية لمتوسط درجة الحرارة العظمى السنوية لكلتا المحطتين على نفس الرسم البياني . هل تلاحظ أي اتجاهات في متوسط درجة الحرارة العظمى السنوية ؟ هل الاتجاهات متماثلة في كلتا المحطتين ؟ هل هناك أي اختلاف في اتجاهات متوسط درجة الحرارة العظمى السنوية مقارنةً بمتوسط درجة الحرارة الصغرى السنوية ؟ إذا كان الأمر كذلك ، فتوقع الأسباب المحتملة لذلك . بناءً على ملاحظاتك أعلاه ، هل هناك أي مؤشر على أن التحضر قد يؤثر على درجة حرارة المحطة القريبة من المركز الحضري ؟ إذا كان الأمر كذلك ، فهل زاد تأثير التحضر مع مرور الوقت ؟

للمساعدة في الإجابة عن هذا السؤال الأخير، احسب الفرق في متوسط درجات الحرارة الصغرى في المحطتين لكل عام ، وارسم الفروق . تشير الزيادة أو النقصان مع مرور الوقت في فرق درجة الحرارة بين المحطتين إلى تغيرات مع مرور الوقت تحت تأثير التحضر . أنشئ رسمًا بيانيًا مشابهًا لمتوسط درجة الحرارة العظمى السنوية . هل تشير الرسوم البيانية أعلاه إلى أن الاختلافات في درجات الحرارة العظمى والصغرى السنوية بين المحطتين (المحسوبة أعلاه) تزداد أو تنقص بشكل متساوٍ مع مرور الوقت ؟ أم هل توجد انقطاعات أو نقاط انقطاع في الرسوم البيانية ؟ إذا كان الخيار الأخير، فهل تتوافق هذه الانقطاعات مع أيٍّ من أوجه عدم التجانس المعروفة في البيانات ، مثل تغيير موقع إحدى المحطات؟

إذا سمح الوقت ، يُرجى إجراء التحليلات المذكورة أعلاه بشكل منفصل لفصلي الشتاء والصيف . هل يكون تأثير التحضر على درجة الحرارة أكبر في فصل الشتاء أم في فصل الصيف ؟ فكّر في أسباب أي اختلافات بين الفصول.

التمرين 8.3:

فصل اتجاهات المناخ عن السلاسل الزمنية

يهدف التمرين إلى توضيح تحديات فصل اتجاهات المناخ عن سلسلة زمنية ذات درجة عالية من التباين. احصل على سلسلة زمنية لدرجات الحرارة لا تقل مدتها عن 50 عامًا لمحطة من اختيارك . تحدث مع أستاذك و/أو أخصائي مناخ في الحرم الجامعي حول المصادر المحلية لبيانات المناخ . تحقق أيضًا من الأرشيف الوطني للمناخ في بلدك للاطلاع على البيانات المتاحة . تحقق من البيانات الوصفية المتاحة للمحطة بحثًا عن أي عدم تجانس محتمل ، بما في ذلك نقل المحطات أو تغيير الأجهزة . افحص أيضًا السلسلة الزمنية بحثًا عن أي ملاحظات مفقودة . باستخدام برنامج جداول بيانات ، احسب متوسط درجة الحرارة لكل سنة من السلسلة الزمنية من قيم درجات الحرارة اليومية . [ملاحظة : قد تكون المتوسطات السنوية متاحة بالفعل ، حسب مصدر بياناتك]. ارسم السلسلة الزمنية لمتوسط درجة الحرارة السنوية باستخدام رسم بياني خطي . علّق على درجة التباين بين السنوات . بعبارة أخرى ، هل يختلف متوسط درجة الحرارة السنوية اختلافًا كبيرًا من سنة إلى أخرى ؟ أم أن مقدار التباين بين السنوات صغير نسبيًا ؟

هل يبدو أن هناك اتجاهًا في السلسلة الزمنية لدرجات الحرارة السنوية ؟ أم أن هناك أي اتجاه مخفي بسبب درجة التباين بين السنوات ؟ إذا كان الاتجاه واضحًا ، فما هي دلالته (أي، موجبة وسالبة) ؟ هل الاتجاه موحد على مدار فترة التسجيل بأكملها ؟ باستخدام دالة التنعيم أو خيارات المتوسط المتحرك المتاحة في جدول البيانات ، طبّق دالة تنعيم ثلاثية النقاط على بيانات السلسلة الزمنية . تستبدل دالة التنعيم ثلاثية النقاط القيمة السنوية لسنة معينة بمتوسط درجة الحرارة لتلك السنة والسنتين المحيطتين بها . هل أصبحت الآن أكثر قدرة على تحديد الاتجاهات في السلسلة الزمنية لدرجات الحرارة ؟ بعد ذلك ، جرّب تنعيمًا بخمس نقاط ، ثم تنعيمًا بسبع نقاط ، وهكذا . كيف تُغيّر درجة تنعيم السلسلة الزمنية إدراكك لاتجاهات السلسلة الزمنية؟

باستخدام السلسلة الزمنية المُنعّمة التي تعتقد أنها تُوضّح اتجاهات السلسلة الزمنية بشكل أفضل ، أضف خط اتجاه إلى الرسم البياني (يمكنك القيام بذلك باستخدام برنامج جداول البيانات) . هل الاتجاه العام إيجابي ، سلبي ، أم محايد ؟ اطبع نسخة من رسم السلسلة الزمنية المُنعّمة . حدّد على النسخة الورقية الفترات الفرعية من السجل التي يبدو فيها أن متوسط درجات الحرارة السنوية قد ارتفع ، والفترات التي يبدو فيها أن متوسط درجات الحرارة السنوية قد انخفض ، والفترات التي كان فيها متوسط درجات الحرارة السنوية ثابتًا نسبيًا مع مرور الوقت . هل تتوافق أي من نقاط الانقطاع (الأوقات التي يتغير فيها اتجاه المؤشر) مع عدم تجانس معروف في سلسلة البيانات؟

قارن رسم السلسلة الزمنية لموقعك بمنحنى درجة الحرارة في نصف الكرة الشمالي الموضح في هذا الفصل . هل تتوافق أوقات ارتفاع (انخفاض) درجات الحرارة في موقعك مع الاتجاهات التصاعدية (التنازلية) لمنحنى درجة الحرارة في نصف الكرة الشمالي ؟ ما الذي تشير إليه هذه المقارنة فيما يتعلق بتغير درجة الحرارة المحلية مقارنةً بتغير درجة الحرارة في نصف الكرة الشمالي؟