**الفصل الأول: وصف النظام المناخي ومكوناته**

**1.1 مقدمة**

يعرف المناخ تقليديا بأنه الوصف من حيث متوسط ​​وتغير المتغيرات المناخية ذات الصلة مثل درجة الحرارة وهطول الأمطار والرياح. وبالتالي يمكن النظر إلى المناخ على أنه توليفة أو مجمل الطقس. ويعني هذا أن تصوير المناخ في منطقة معينة يجب أن يحتوي على تحليل للظروف الوسطية ، للدورة الموسمية ، لاحتمال حدوث التطرف مثل الصقيع والعواصف الشديدة ، وما إلى ذلك. بعد المنظمة العالمية للأرصاد الجوية (WMO) ، 30 سنة هي الفترة الكلاسيكية لأداء الإحصاءات المستخدمة لتحديد المناخ. يتم تكييف هذا بشكل جيد لدراسة العقود الأخيرة لأنه يتطلب كمية معقولة من البيانات مع توفير عينة جيدة من أنواع الطقس المختلفة التي يمكن أن تحدث في منطقة معينة. ومع ذلك ، عند تحليل الماضي الأبعد ، مثل الماضي الجليدي الأخير منذ حوالي 000 20 سنة ، كثيرا ما يهتم علماء المناخ بالمتغيرات المميزة لفترات زمنية أطول. ونتيجة لذلك ، ينبغي اعتبار فترة الثلاثين سنة التي اقترحتها المنظمة (WMO) كمؤشر أكثر من كونه معياراً يجب اتباعه في جميع الحالات. هذا التعريف للمناخ كممثلة للظروف على مدى عدة عقود لا يجب ، بطبيعة الحال ، إخفاء حقيقة أن المناخ يمكن أن يتغير بسرعة. ومع ذلك ، هناك حاجة إلى فترة زمنية كبيرة لمراقبة وجود اختلاف في المناخ بين أي فترتين. بشكل عام ، كلما كان الفرق بين الفترتين أقل ، كلما كان الوقت اللازم ليكون قادرًا على تحديد بثقة أي تغيرات في المناخ بينهما.

يجب أن نأخذ في الاعتبار حقيقة أن حالة الغلاف الجوي المستخدمة في تعريف المناخ المعطى أعلاه تتأثر بالعديد من العمليات التي لا تنطوي فقط على الغلاف الجوي ولكن أيضًا على المحيط ، والجليد البحري ، والغطاء النباتي ، وما إلى ذلك ، أصبح المناخ الآن أكثر وأكثر تواتراً بتعريفاً أوسع نطاقاً باعتباره الوصف الإحصائي للنظام المناخي. ويشمل ذلك تحليل سلوك مكوناته الرئيسية الخمسة: الغلاف الجوي (الغلاف الغازي المحيط بالأرض) ، والغلاف المائي (الماء السائل ، أي المحيطات ، البحيرات ، المياه الجوفية ، إلخ) ، الغلاف الجليدي (الماء الصلب ، أي الجليد البحري والأنهار الجليدية والصفائح الجليدية ، إلخ) ، سطح الأرض والمحيط الحيوي (جميع الكائنات الحية) ، والتفاعلات بينها (IPCC 2007 ، الشكل 1.1). سوف نستخدم هذا التعريف الأوسع عندما نستخدم كلمة المناخ. توفر الأقسام التالية من هذا الفصل الأول بعض المعلومات العامة حول هذه المكونات. لاحظ أن النظام المناخي نفسه غالباً ما يعتبر جزءًا من نظام الأرض الأوسع ، الذي يشمل جميع أجزاء الأرض وليس فقط العناصر التي ترتبط بشكل مباشر أو غير مباشر بدرجة الحرارة أو الهطول.

الشكل 1.1: نظرة تخطيطية لمكونات النظام المناخي والتغييرات المحتملة.

**1.2 الغلاف الجوي**

**1.2.1 التكوين ودرجة الحرارة**

يتألف الهواء الجاف بشكل أساسي من النيتروجين (78.08٪ بالحجم) ، والأكسجين (20.95٪ بالحجم) ، والأرجون (0.93٪ في الحجم) ، وبدرجة أقل ثاني أكسيد الكربون 1 (380 جزءًا في المليون أو 0.038٪ في الحجم). يتكون الجزء المتبقي من مكونات متشابهة مختلفة مثل النيون (18 صفحة في الدقيقة) والهليوم (5 أجزاء في المليون) والميثان 1 (1.75 جزء في المليون) والكريبتون (1 جزء في المليون). بالإضافة إلى ذلك ، توجد كمية كبيرة من بخار الماء المتغير في الهواء. يتراوح هذا من حوالي 0٪ في أبرد جزء من الغلاف الجوي إلى 5٪ في المناطق الرطبة والساخنة. في المتوسط ​​، يمثل بخار الماء 0.25 ٪ من كتلة الغلاف الجوي.

على نطاق واسع ، يكون الغلاف الجوي قريبًا جدًا من التوازن الهيدروستاتيكي ، وهذا يعني أنه عند الارتفاع z ، فإن القوة الناتجة عن الضغط p على سطح أفقي يبلغ طوله 1 متر 2 يوازن القوة بسبب وزن الهواء فوق z. وبالتالي ، يكون الضغط الجوي عند أقصى سرعته على سطح الأرض ، ويرتبط ضغط السطح السطحي مباشرة بكتلة عمود الهواء بأكمله في موقع معين. ثم يتناقص الضغط مع الارتفاع ، ويتابع عن كثب قانونًا أسّيًا:

حيث H هي ارتفاع المقياس (الذي يتراوح بين 7 و 8 km لأدنى 100 كم من الغلاف الجوي). وبسبب هذه العلاقة الواضحة والرتيبة بين الارتفاع والضغط ، غالباً ما يستخدم الضغط كإحداثيات رأسية للغلاف الجوي. في الواقع ، الضغط أسهل للقياس من الطول واختيار تنسيق الضغط يبسّط صياغة بعض المعادلات.

درجة الحرارة في طبقة التروبوسفير ، أقل من 10 كم تقريبًا من الغلاف الجوي ، تنخفض عمومًا مع الارتفاع. يسمى معدل هذا الانخفاض معدل الفاصل Γ:

حيث T هي درجة الحرارة. يعتمد معدل الزوال بشكل رئيسي على التوازن الموضع في الغلاف الجوي (انظر القسم 2.1) وعلى الحمل الحراري وكذلك على النقل الحراري الأفقي. تبلغ القيمة المتوسطة العالمية لها حوالي 6.5 كيلو متر مربع ، ولكن تختلف with باختلاف الموقع والموسم.

معدل زوال هو سمة مهمة من سمات الغلاف الجوي. على سبيل المثال ، يحدد استقراره الرأسي. بالنسبة للقيم المنخفضة لمعدل التأخر ، يكون الجو مستقرًا جدًا ، مما يثبط الحركات العمودية. معدلات الانقلاب السلبي (أي زيادة درجة الحرارة مع الارتفاع) ، والتي تدعى انحرافات درجات الحرارة ، تتوافق مع ظروف مستقرة للغاية. عندما يرتفع معدل الفقد ، ينخفض ​​الثبات ، مما يؤدي في بعض الحالات إلى عدم الاستقرار الرأسي والحمل الحراري. ويشارك معدل الانقضاء أيضا في ردود الفعل التي تلعب دورا هاما في استجابة النظام المناخي إلى اضطراب.

على ارتفاع حوالي 10 كيلومترات ، تفصل منطقة تدرجات الحرارة الرأسية الضعيفة ، المسماة التروبوبوز ، طبقة التروبوسفير من الستراتوسفير حيث ترتفع درجة الحرارة بشكل عام مع الارتفاع حتى تصل إلى الستراتوسفير عند حوالي 50 كم (الشكل 1.2). فوق الطبقة العليا ، تنخفض درجة الحرارة بشدة مع الارتفاع في الغلاف الجوي الأوسط ، حتى يتم الوصول إلى mesopause على ارتفاع حوالي 80 كم ، ثم يزيد مرة أخرى في الغلاف الحراري فوق هذا الارتفاع. تتأثر التدرجات العمودية فوق 10 كم بشدة بامتصاص الإشعاع الشمسي بمكونات جوية مختلفة ومن خلال تفاعلات كيميائية مدفوعة الضوء القادم. وعلى وجه الخصوص ، يرجع ارتفاع درجة الحرارة في طبقة الستراتوسفير على ارتفاعات تتراوح من 30 إلى 50 كم تقريبًا إلى امتصاص الأشعة فوق البنفسجية بواسطة طبقة الأوزون الستراتوسفيري ، التي تحمي الحياة على الأرض من هذا الإشعاع الخطير

لشكل 1.2: متوسط ​​درجة الحرارة للمنطقة المثالية (بالدرجة المئوية) في الغلاف الجوي كدالة للارتفاع (أو الضغط). تمثل الخطوط المتقطعة تخطيطياً للموقع التروبوبوز ، stratopause و mesopause.

تعرض الرطوبة النوعية في الغلاف الجوي أيضًا مظهرًا عموديًا مميزًا مع قيم قصوى في المستويات الدنيا ونقصًا ملحوظًا مع الارتفاع. ونتيجة لذلك ، يكون الهواء فوق التروبوبوز شبه جاف. هذا التوزيع الرأسي يرجع أساسا إلى عمليتين. أولاً ، إن المصدر الرئيسي لبخار الماء في الغلاف الجوي هو التبخر على السطح. ثانياً ، يمكن أن يحتوي الهواء الأكثر دفئاً بالقرب من السطح على كمية أكبر من الماء قبل أن يصبح مشبعًا من الهواء الأكثر برودة. التشبع الذي يؤدي إلى تكوين الماء أو القطرات الجليدية ، والغيوم وفي نهاية المطاف هطول الأمطار.

على سطح الأرض ، تصل درجة الحرارة إلى أقصى حد لها في المناطق الاستوائية (الشكل 1.3) بسبب الإشعاعات الواردة الأعلى. في هذه المناطق ، تكون درجة الحرارة ثابتة نسبياً على مدار العام. وبسبب الدورة الموسمية الأقوى بكثير في خطوط العرض المتوسطة والعالية ، تكون التدرجات بين الشمال والجنوب أكبر بكثير في فصل الشتاء عنها في الصيف. ويتأثر توزيع درجة الحرارة السطحية أيضاً بالنقل الحراري في الغلاف الجوي والمحيطي فضلاً عن القصور الحراري للمحيطات. وعلاوة على ذلك ، فإن دور التضاريس مهم ، مع انخفاض درجة الحرارة في الارتفاعات العالية المرتبطة بمعدل الانقضاء الإيجابي في طبقة التروبوسفير.

الشكل لشكل 1.3: متوسط ​​درجة حرارة الهواء السطحي (بالزاوية) متوسط ​​فوق (أ) ديسمبر ويناير وفبراير و (ب) يونيو ويوليو وأغسطس

**1.3 المحيط**

**1.3.1 التركيب والخصائص**

المحيط له تأثير كبير على مناخ الغلاف الجوي. وهو يغطي حوالي 71 في المائة من سطح الأرض وبالتالي له دور مهيمن في نقل الطاقة وغيرها من الخصائص بين الغلاف الجوي وسطح الأرض. وتوفر السعة الحرارية الكبيرة ، التي يمكن الوصول إليها لتحويلات الطاقة السطحية عن طريق الدوران داخل المحيط ، تأثيرًا معتدلًا على تقلبية درجات الحرارة في الغلاف الجوي. تنقل التيارات المحيطية كميات كبيرة من الطاقة الحرارية بعيدا عن المناطق الاستوائية. وأخيراً ، يعتبر المحيط مصدراً مهماً لبخار الماء في الغلاف الجوي ، فضلاً عن مصدر ومغسلة لغازات الدفيئة الأخرى.

تتخطى القدرة الحرارية للمحيطات مثيلتها في الغلاف الجوي بعامل قدره 1000. ويعزى ذلك إلى وجود اختلافات في السعة الحرارية لكل وحدة كتلة (الحرارة النوعية للمياه السائلة حوالي أربعة أضعاف كمية الهواء) ، وفي الكتلة الكلية بين المحيط والجو. وتتحمل القدرة الحرارية للمحيطات على درجة حرارة الغلاف الجوي من خلال النقل المحيطي (الأفقي والرأسي على حد سواء) التي تنتج وتحافظ على درجات حرارة المياه السطحية أكثر دفئا أو برودة من الغلاف الجوي مما يؤدي إلى نقل كميات كبيرة من الحرارة. يعتمد العمق الذي تتفاعل به المحيطات مع الغلاف الجوي على الجدول الزمني قيد الدراسة. بالنسبة للتغيرات اليومية ، يكون العمق صغيرًا ، يتراوح من خمسة إلى 10 أمتار. بالنسبة للتغيرات الموسمية ، يكون العمق 20 - 200 متر (عمق السطح المحيطي المختلط جيداً

طبقة). المحيط هو مكون رئيسي في تحديد المناخ وتغيراته في الظروف السنوية ، ومتوسط ​​سنوي ، وأطول فترة.

من الواضح أن التأثير القوي للمحيطات على درجة حرارة الهواء السطحي واضح.

تختلف الحالة المحيطية عن الغلاف الجوي بطريقتين أساسيتين. أولا ، التأثير الأولي للمحيط في الأعلى

الحدود ، في حين أن التأثير الأولي للغلاف الجوي في حدوده الدنيا. تعتبر الرياح الجوية فوق المحيط عاملاً رئيسياً في التسبب في تيارات سطح المحيط من خلال عمليات الاحتكاك السطحي. على النقيض من ذلك ، تميل الظروف الاحتكاكية عند الحد السفلي من الغلاف الجوي إلى تقليل الحركة الجوية. ثانيا ، يتم تحديد كثافة مياه المحيطات في المقام الأول من خلال درجة ملوحتها ودرجة حرارتها بدلا من الضغط ودرجة الحرارة ومحتوى بخار الماء كما هو الحال في الغلاف الجوي. عامل بخار الماء غير مهم نسبياً لكثافة الغلاف الجوي باستثناء في الظروف الحارة والرطبة. من ناحية أخرى ، يمكن أن تلعب الملوحة دوراً رئيسياً لكثافة المحيطات ، خاصة عندما تكون درجات الحرارة قريبة من التجمد حيث تتغير كثافة الحالة قليلاً جداً مع درجة الحرارة. تعتبر ظروف الملوحة في المناطق المحيطية القطبية مهمة لتحديد ما إذا كانت هناك حركات عمودية كبيرة تحدث في المناطق المحلية (انظر الشكل 1.4).

الشكل

لشكل 1.4: (أ) متوسط ​​درجة حرارة سطح البحر السنوي (درجة مئوية) و (ب) ملوحة السطح (psu). مصدر البيانات: Levitus (1998).

**1.4 الغلاف الجليدي**

**1.4.1 مكونات الغلاف الجليدي**

الغلاف الجليدي هو الجزء من سطح الأرض حيث يكون الماء في شكل صلب. وهذا يشمل الجليد البحري ، وثلوج البحيرة ، وثلوج الأنهار ، والغطاء الثلجي ، والأنهار الجليدية ، والأغطية الجليدية ، والأغطية الجليدية ، والأرض المتجمدة. الغطاء الثلجي له أكبر مدى ، حيث تبلغ مساحته القصوى أكثر من 45 106 كم 2 (الجدول 1.1). وبسبب التوزيع الحالي للقارات ، تكون سطوح الأرض عند خطوط العرض العالية أكبر بكثير في نصف الكرة الشمالي عنها في نصف الكرة الجنوبي. ونتيجة لذلك ، فإن الغالبية العظمى من الغطاء الثلجي تقع في نصف الكرة الشمالي (الشكلين 1.5 و 1.6). وينطبق الشيء نفسه على جليد الماء العذب الذي يتشكل على الأنهار والبحيرات في الشتاء. يتمتع كل من الغطاء الثلجي وجليد الماء العذب بدورة موسمية قوية جدًا ، حيث يختفيان تقريبًا في الصيف في كلا نصفي الكرة الأرضية (الجدول 1.1)

لجدول 1-1: نطاق المساحة وحجم الغطاء الثلجي والجليد البحري. البيانات التي تم جمعها في خطة العلم والتنسيق لمشروع المناخ والغلاف الجليدي (CliC) (2001).

إن الغلاف الجليدي - المكون الجليدي - له تأثيرات كبيرة على النظام المناخي بعدة طرق. يؤثر ذلك على عمليات نقل الحرارة الإشعاعية والمعقولة على سطح الأرض. يؤثر على درجات الحرارة في المحيط وعلى سطح الأرض بسبب النقل بين الكامن والحساسية

الطاقة أثناء الذوبان والتجميد. وأخيراً ، يؤثر انصهاره وتجميده على جريان المياه من ملوحة الأرض والمحيط. ويوجد الجليد والثلوج في المقام الأول في خطوط العرض باتجاه خط العرض 30 درجة ، وبالتالي فهي غير مألوفة لدى غالبية سكان العالم من البشر. وعلى الرغم من تجميد حوالي 2 في المائة فقط من جميع المياه على الأرض ، فإنها تغطي ما متوسطه 11 في المائة من سطح الأرض في العالم و 7 في المائة من محيطاتها. هناك العديد من مكونات الغلاف الجليدي: جليد اليابسة في الصفائح الجليدية القطبية والأنهار الجليدية والتربة الصقيعية والأرض المتجمدة والغطاء الثلجي الموسمي والجليد البحري.

الشكل

الشكل 1.5: توزيع الجليد البحري والجليد والجليد في يناير في نصف الكرة الشمالي.

الشكل

الشكل 1.6: موقع جليد البحر والجليد والجليد الأرضي في أغسطس في نصف الكرة الجنوبي. مصدر؛

**1.5 سطح الأرض (Lithosphere)**

يعد سطح الأرض مكونًا تفاعليًا هامًا في النظام المناخي. ويغطي 29 في المائة من سطح الأرض. تحدث التبادلات الهامة للحرارة والرطوبة والزخم بين الغلاف الجوي وسطح الأرض ، بما في ذلك المحيط الحيوي. إنه أيضا السطح الذي يعيش الناس فيه. إن عامل تخزين الحرارة لسطح الأرض فيما يتعلق بتغيرات درجة الحرارة في الغلاف الجوي أقل بكثير من ذلك بالنسبة للمحيطات. الأرض لها حرارة محددة أقل من المحيط ، وتحد من صلابة نقل الحرارة إلى مستويات أعمق. ونتيجة لذلك ، فإن عمق طبقة التربة المهمة لتفاعلات تبادل الطاقة مع الغلاف الجوي لا يتجاوز عدة أمتار فقط بالنسبة لمقياس الزمن السنوي للدورة. سيبقى كهف تحت الأرض على عمق 20 متراً في نفس درجة الحرارة طوال العام. وبسبب السعة الحرارية الصغيرة لسطح الأرض ، فإن التغيرات في درجة حرارة الغلاف الجوي فوق السطح تكون أكبر بكثير من الأرض مقارنة بالمحيط. وتتشابه التبادلات بين الطاقة والزخم بين سطوح اليابسة والغلاف الجوي بالنسبة إلى سطح المحيط. يعتمد التبادل الحراري والحرارة الكامنة (بخار الماء) على اختلافات درجة الحرارة وضغط بخار الماء بين سطح الأرض والغلاف الجوي السفلي ، وخشونة سطح الأرض ، وسرعة الرياح في الغلاف الجوي السطحي. وقد يتسم الأخير بوجود ظروف الرياح في أدنى عشرة أمتار من الغلاف الجوي ("الطبقة المختلطة" في الغلاف الجوي).

نقل الإشعاع هو تبادل الطاقة الهامة الأخرى. كمية

يعتمد الإشعاع الشمسي الذي يمتصه سطح الأرض على كل من كمية الإشعاع الشمسي التي تأتي من خلال الغلاف الجوي (كمية عالية التغير كما تمت مناقشته من قبل) والبيضة (الانعكاسية) لسطح الأرض والتي هي أيضًا شديدة التغير. يتراوح حجم البودو من خمسة إلى 90 في المائة ويعتمد على نوع غطاء سطح الأرض كما هو موضح في الجدول 1.2. نقل الأشعة تحت الحمراء هو صافي الأشعة تحت الحمراء المنبعثة من سطح الأرض (الذي يقترب من الحد الأقصى لقيمة "الجسم الأسود" وبالتالي لا يعتمد إلا على درجة الحرارة) والإشعاع تحت الأحمر الكلي الذي ينتجه الغلاف الجوي. وبسبب السعة الحرارية الصغيرة لسطح الأرض ، تقترب عمليات نقل الطاقة الإشعاعية والمعقولة والكامنة من التوازن في معظم الوقت.

الجدول 1.2: نطاق نموذجي من البياض من مختلف الأسطح.

الشكل 1.7: خريطة عالية الدقة لطبوغرافيا السطح.

تضاريس سطح الأرض لها تأثير واضح على دوران الغلاف الجوي واسع النطاق. لا سيما في نصف الكرة الشمالي. جبال روكي ، التي يتم توجيهها من الشمال إلى الجنوب ، تتقاطع مع مناطق نصفها الغربي في نصف الكرة الشمالي ، وهضبة التيبت مع ارتفاعها الشديد ومدى طيرانها يؤثران في التدفق على مساحة كبيرة. تشكل التضاريس عاملاً في أنماط الموجات في تدفق الرياح الأفقية في الطبقة العليا من التروبوسفير (كما هو موضح في الشكل 1.7) ، كما أن لها تأثيرات كبيرة على درجة حرارة سطح الأرض وهطول الأمطار. يعد تغيير سطح الأرض من خلال النشاط البشري عاملاً مهماً في تغير المناخ يضيف إلى تأثيرات التغيرات البشرية في الخصائص الإشعاعية للغلاف الجوي.

إن التمدن ، والزراعة من أجل الزراعة ، والري ، وإزالة الغابات يغير البيضة من سطوح اليابسة وعمليات نقل الحرارة المعقولة والكامنة. هذه العوامل يمكن أيضا أن تؤثر بشكل كبير على الجوانب المحلية لتغير المناخ.

**1.6 المحيط الحيوي**

المحيط الحيوي هو أحد مكونات النظام المناخي الذي له دور مميز في تفاعل المحيطات وسطح الأرض مع الغلاف الجوي. إن الغطاء النباتي على سطح الأرض والحياة النباتية والحيوانية في المحيطات كلها عناصر ذات صلة في مكون الغلاف الحيوي الذي يتفاعل مع الغلاف الجوي.

الظروف المناخية في الغلاف الجوي لها تأثير مباشر على نوع

نمو النباتات الأرضية على سطح الأرض. تتغذى طبيعة الغطاء النباتي بدوره على الحالة الجوية عن طريق التأثير على عمليات نقل الطاقة المعقولة والكامنة من سطح الأرض ، وكذلك اضطراب طبقة السطح في الغلاف الجوي (من خلال خصائصه الخشونة). علاوة على ذلك ، تعتبر النباتات البرية بمثابة خزان هام للكربون مع محتوى الكربون الكلي مساويا تقريبا لمحتوى الكربون. فالتغييرات في مقدار الغطاء النباتي للأراضي ، على سبيل المثال ، لقطع الغابات وحرقها أو التغيرات الموسمية ببساطة لها تأثير مباشر على تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. جنبا إلى جنب مع المواد الصلبة غير العضوية المذابة وكربونات الكالسيوم ، الحياة النباتية والحيوانية لها أدوار رئيسية

في المحيط ، في حرارة معقولة. تذكر أنه في المتوسط ​​العالمي ، كان نقل الطاقة الكامنة من الأرض إلى الغلاف الجوي أكبر بكثير من نقل الحرارة المعقول (انظر الشكل 1.8).