**الفصل الثاني**

**الإشعاع والطاقة والمناخ**

2.1 **الميزانية الحرارية للجو**

**تقريبا كل الطاقة التي تؤثر على الأرض مستمدة من الإشعاع الشمسي ، والذي هو من الطول الموجي القصير (<4μm) بسبب ارتفاع درجة حرارة الشمس (6000K) (أي ، قانون فيينا). تبلغ قيمة ثابت الطاقة الشمسية حوالي 1366 واط م 2. الشمس والأرض تشع تقريبا كجسم أسود (قانون شتيفان ، F = σT4) ، في حين أن الغازات الجوية لا تفعل ذلك. تبلغ الإشعاعات الأرضية ، من الجسم الأسود المكافئ ، حوالي 270W m - 2 فقط بسبب درجة حرارة الإشعاع المنخفضة (263K) ؛ هذا هو الأشعة تحت الحمراء (الموجة الطويلة) بين 4 و 100μm. بخار الماء وثاني أكسيد الكربون هما الغازات الرئيسية الممتصة للأشعة تحت الحمراء ، في حين أن الغلاف الجوي شفاف بدرجة كبيرة للإشعاع الشمسي (تأثير الدفيئة). تزيد زيادات غازات التتبع الآن من التأثير الطبيعي للأحراج الخضراء (33 ألفًا). يتم فقدان الإشعاع الشمسي عن طريق الانعكاس ، وبشكل رئيسي من السحب ، ومن خلال الامتصاص (إلى حد كبير بخار الماء). البياض الكواكب هو 31 في المئة. 49 في المائة من الإشعاع خارج الأرض يصل إلى السطح. يتم تسخين الغلاف الجوي أساسًا من السطح عن طريق امتصاص الأشعة تحت الحمراء الأرضية ونقل الحرارة المضطرب. عادة ما تنخفض درجة الحرارة مع الارتفاع بمعدل متوسط ​​يبلغ حوالي 6،5 درجة مئوية / كم في طبقة التروبوسفير. في طبقة الستراتوسفير والغلاف الحراري ، يزداد ارتفاعه بسبب وجود غازات امتصاص إشعاعية.**

**ويؤدي الفائض من الإشعاع الصافي في خطوط العرض الدنيا إلى نقل الطاقة في اتجاه قطبي من خطوط العرض المدارية بواسطة تيارات المحيط ومن الغلاف الجوي. هذا هو في شكل حرارة معقولة (كتل الهواء الدافئ / مياه المحيط) والحرارة الكامنة (بخار الماء في الغلاف الجوي). درجة حرارة الهواء في أي نقطة هي تتأثر من الإشعاع الشمسي الواردة وغيرها من التبادلات الطاقة الرأسية ، والخصائص السطحية (المنحدر ، البياض ، السعة الحرارية) ، الأرض والبحر**

**التوزيع والارتفاع ، وكذلك عن طريق التقريب الأفقي بسبب حركات الكتلة الهوائية وتيارات المحيط.**

**يمكننا تلخيص التأثير الصافي لعمليات نقل الطاقة في نظام الأرض-الجو في المتوسط ​​على مدار الكرة الأرضية وعلى مدار فترة زمنية:**

**متوسط ​​الإشعاع الشمسي الذي يحدث في جميع أنحاء العالم هو:**

**حيث r = نصف قطر الأرض و 4 r2 هي المساحة السطحية للكرة. هذا الرقم هو تقريبا 342W م -2 ، أو 11 109J م - 2 سنة - 1 (109J = 1GJ) ؛ للراحة سننظر إليها على أنها 100 وحدة. بالإشارة إلى الشكل 2-1 ، يتم امتصاص الإشعاع الوارد في الستراتوسفير (3 وحدات) ، بواسطة الأوزون بشكل رئيسي ، ويتم امتصاص 20 وحدة في التروبوسفير بواسطة ثاني أكسيد الكربون (1) ، وبخار الماء (13) ، والغبار (3) ، وقطرات الماء في الغيوم (3). تنعكس عشرين وحدة إلى الفضاء من السحب ، والتي تغطي حوالي 62 في المئة من سطح الأرض ، في المتوسط. وينعكس 9 وحدات أخرى بالمثل من السطح وتعاد 3 وحدات عن طريق الانتثار في الغلاف الجوي. مجموع الإشعاع المنعكس هو البياض الكوكبي (31 في المائة أو 0.31). وتصل الوحدات المتبقية البالغ عددها 49 وحدة إلى الأرض إما مباشرة (Q = 28) أو كإشعاع منتشر (q = 21) تنتقل عبر الغيوم أو عن طريق الانتثار الهابط. يختلف نمط الإشعاع الأرضي الخارج تمامًا (انظر الشكل 2.2). ويعادل إشعاع الجسم الأسود ، بافتراض متوسط ​​درجة حرارة سطحه 288 ألفًا ، 114 وحدة من الأشعة تحت الحمراء (الموجة الطويلة). هذا ممكن لأن معظم الإشعاع الصادر يعاد امتصاصه بواسطة الغلاف الجوي ؛ صافي الخسارة من الأشعة تحت الحمراء على السطح هو فقط 19 وحدة. تمثل هذه التبادلات حالة متوسط ​​الوقت للعالم كله. أذكر أن الإشعاع الشمسي يؤثر فقط على نصف الكرة المشمسة ، حيث يتجاوز الإشعاع الوارد 342 واط م-2. وعلى العكس من ذلك ، لا يتم تلقي أي أشعة شمس بواسطة نصف الكرة الأرضية في الليل. ومع ذلك ، يستمر تبادل الأشعة تحت الحمراء بسبب الحرارة المتراكمة في الأرض. فقط حوالي 12 وحدة يهربون عبر نافذة الغلاف الجوي مباشرة من السطح. الغلاف الجوي نفسه يشع 57 وحدة إلى الفضاء (48 من الانبعاثات من بخار الماء في الغلاف الجوي و CO2 و 9 من الانبعاثات السحابية) ، مما يعطي إجمالي 69 وحدة (لو) ؛ الغلاف الجوي بدوره يشع 95 وحدة مرة أخرى إلى السطح (Ld) ؛ وبالتالي ، Lu + Ld = Ln سالبة.**

**الشكل 2.2: الإشعاع القصير الموجة والطول الطويل (W m – 2): (A) متوسط ​​الإشعاع القصير الموجه الممتص خلال الفترة من أبريل 1979 إلى مارس 1987 ؛ (ب) متوسط ​​الإشعاع السنوي الطويل الموجه للكواكب الطويلة (Ln) على سطح أفقي في الجزء العلوي من الغلاف الجوي.**

**2.2 تمثيل تدفق الطاقة**

**يتم تمثيل التبادلات والتدفقات المرتبطة بمدخلات الطاقة في نظام الأرض-الغلاف بسلسلة من المعادلات الرمزية. يسمح استخدام المعادلات بحساب سهل بمجرد إدخال القيم. يتكون الإشعاع الشمسي القصير الموجة (K ↓) الذي يصل إلى السطح من الإشعاع الرأسي (S) والإشعاع المنتشر (D):**

**تنعكس بعض الطاقة إلى الفضاء (K ↑) بحيث يكون الإشعاع القصير الموجة (K \*) هو الفرق بين الاثنين:**

**تتكون الموجة الطويلة الصافية من الإشعاع الأرضي (L \*) من الغلاف الجوي لأسفل**

**الإشعاع (L ↓) الإشعاع الأرضي الأقل تصاعديًا (L ↑):**

**وبالتالي فإن مقدار الطاقة المتاحة على أي سطح هو مجموع K \* و L \*. هذا هو صافي الموجة الإشعاعية (Q \*):**

**والتي يمكن أيضا أن تعطى على النحو التالي:**

**س \* قد تكون موجبة أو سلبية.**

**ستحدث قيم موجبة عالية أثناء فترات الشمس العالية عندما تكون K at عند أقصى إشعاعها الجوي ، L ↓ ، تتجاوز الإشعاع الصادر ، L ↑.**

**تتطلب القيم السالبة القيم الصادرة لتكون أكبر من الواردة. هذه**

**يحدث ، على سبيل المثال ، في الليالي الصافية عندما يكون L ↑ أكبر من القيم الأخرى.**

**على المدى الطويل ، يختلف Q \* باختلاف خط العرض ونوع السطح.**

**2.2.1 ميزانية الحرارة**

**النظر في عمود من سطح الأرض يمتد إلى حيث لم يعد تبادل الحرارة الرأسية يحدث (الشكل 2.3). يعتمد المعدل الصافي (G) الذي تتغير عنده الحرارة في هذا العمود على ما يلي:**

**صافي الإشعاع**

**نقل الحرارة الكامن (جنيه)**

**نقل الحرارة معقول (H)**

**نقل الحرارة الأفقية (S)**

**الشكل (2.3): نموذج نقل الطاقة في النظام الجوي.**

**أي أنها لا تكتسب أو تفقد الحرارة على ذلك الوقت ، لذا فإن G = 0 و يمكن**

**يتم إسقاطها من المعادلة.**

**سيتم تطبيق هذه المعادلة على عمود المحمول ، مثل المحيطات. على الأرض،**

**حيث يكون التدفق تحت السطحي للحرارة مهملاً ، يكون S غير مهم. ال**

**تصبح ميزانية حرارة الأرض**

**يتم إعطاء النسبة بين LE و H كنسبة Bowen.**

**2.3 النمط المكاني لمكونات الموازنة الحرارية**

**تخفي قيم خطوط العرض المتوسطة لمكونات ميزانية الحرارة المذكورة أعلاه اختلافات مكانية كبيرة. ويبين الشكل 2-4 التوزيع العالمي للإشعاع الصافي السنوي على السطح. وبشكل عام ، يقل حجمه من اتجاه القطر من خط عرض 25 درجة تقريبًا. ومع ذلك ، ونتيجة للامتصاص العالي للإشعاع الشمسي عن طريق البحر ، يكون الإشعاع الصافي أكبر عبر المحيطات - يتجاوز 160 واط م 2 في خطوط العرض 15-20 ° -**

**على مساحة الأرض ، حيث تبلغ حوالي 80-105 واط م 2 في نفس خطوط العرض. كما أن صافي اإلشعاع أقل في المناطق القاحلة القاحلة منه في المناطق الرطبة ، وذلك على الرغم من زيادة التشوه الشكل 2.4: التوزيع العالمي للإشعاع الصافي السنوي على السطح ، في W m – 2.**

**إيصالات تحت السماء الصافية هناك في نفس الوقت أكبر خسارة صافية من الإشعاع الأرضي. يبين الشكلان 2.5 و 2.6 التحويلات الرأسية السنوية للحرارة الكامنة والحسية في الغلاف الجوي. يتم توزيع كلا التدفقات بشكل مختلف جدا على الأرض والبحار. إن الإنفاق الحراري على التبخر يكون بحد أقصى في مناطق المحيطات المدارية وشبه الاستوائية ، حيث يتجاوز 160 واط م 2. وهو أقل قرب خط الاستواء ، حيث تكون سرعات الرياح أقل إلى حد ما ويكون للهواء ضغط بخار قريب من قيمة التشبع. أنه**

**واضح من الشكل 2.5 أن التيارات الدافئة الرئيسية تزيد بشكل كبير من معدل التبخر. على اليابسة ، يكون نقل الحرارة الكامن أكبر في المناطق الحارة الرطبة. وهي الأقل في المناطق القاحلة ذات التساقط المنخفض وفي خطوط العرض المرتفعة ، حيث لا يوجد سوى القليل من الطاقة أو الرطوبة. يحدث أكبر تبادل للحرارة المعقولة فوق الصحاري الاستوائية ، حيث يتم نقل أكثر من 80W m - 2 إلى الغلاف الجوي (انظر الشكل 2.6). وعلى النقيض من الحرارة الكامنة ، يكون التدفق الحراري المعقول صغيراً عموماً فوق المحيطات ، حيث يصل إلى 25-40 واط م 2 فقط في المناطق التي تكون فيها تيارات دافئة. في الواقع ، تحدث قيم سلبية (الانتقال إلى المحيط) حيث تتحرك الكتل الهوائية القارية الدافئة في الخارج فوق التيارات الباردة.**

**الشكل 2.5: التوزيع العالمي للنقل الرأسي للحرارة الكامنة ، في W m – 2**

**الشكل 2.6: التوزيع العالمي للنقل الرأسي للحرارة المعقولة ، في W m – 2.**

**2.4 تأثير الاحتباس الحراري**

**يُعزى تأثير الدفيئة الطبيعي لجو الأرض في المقام الأول إلى بخار الماء. وهي مسؤولة عن 21 كيلو من الفرق البالغ 33 كيلو بين درجة الحرارة الفعالة في الجو الجاف والغلاف الجوي الحقيقي من خلال محاصرة الأشعة تحت الحمراء. بخار الماء ممتص بشدة حول 2.4-3.3μm ، 4.5-6.5μm وما فوق 16μm. يطبق مفهوم الاحترار الناشئ عن غازات الدفيئة بشكل شائع على تأثيرات الزيادات في تركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي الناتجة عن الأنشطة البشرية المنشأ ، وبصورة أساسية حرق الوقود الأحفوري. ولفت سفيري أرهينيوس في السويد الانتباه إلى هذا الاحتمال في عام 1896 ، لكن الأدلة المتعلقة بالمراقبة كانت تظهر بعد حوالي 40 سنة (Callendar ، 1938 ، 1961). ومع ذلك ، كان هناك نقص في سجل دقيق لتركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي إلى أن وضع تشارلز كيلينغ أجهزة معايرة في مرصد ماونا لوا في هاواي في عام 1957. وفي غضون عشر سنوات ، أصبحت هذه الملاحظات المعيار العالمي.**

**أظهروا دورة سنوية من حوالي 5 جزء في المليون في المرصد ، والناجمة عن امتصاص المحيط الحيوي والإفراج ، و ca. 0.4 في المائة زيادة سنوية في ثاني أكسيد الكربون ، من 315 جزء في المليون في عام 1957 إلى 383 جزء في المليون في عام 2007 ، بسبب حرق الوقود الأحفوري. وتمثل الزيادة السنوية حوالي نصف مجموع الانبعاثات الناجمة عن امتصاص ثاني أكسيد الكربون من المحيطات والمحيط الحيوي الأرضي. يبلغ نطاق الامتصاص الرئيسي للإشعاع بواسطة ثاني أكسيد الكربون حوالي 14–16μm ، ولكن هناك نطاق آخر عند 2.6 و 4.2μm. إن معظم تأثير زيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون يتم عن طريق تعزيز الامتصاص في الأخير ، حيث أن النطاق الرئيسي مشبع تقريبا. إن حساسية متوسط ​​درجة حرارة الهواء العالمية لمضاعفة ثاني أكسيد الكربون في المدى 2-5 درجة مئوية ، في حين أن إزالة جميع ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي قد تقلل متوسط ​​درجة حرارة السطح بأكثر من 10 درجات مئوية.**

**تم الاعتراف بالدور الهام الذي تلعبه غازات الدفيئة النزرة الأخرى (الميثان ، وأكسيد النيتروز ، ومركبات الفلوروكربون) في الثمانينيات ، وبدأت مراقبة العديد من الغازات النزرة الإضافية. الأحدث هو trifluoride النيتروجين المستخدمة أثناء تصنيع شاشات الكريستال السائل المسطحة ، والخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة والدوائر الدقيقة. وعلى الرغم من أن تركيزات الغاز تبلغ حالياً 0.454 جزءًا فقط لكل تريليون ، إلا أنها أكثر قوة بمقدار 17000 ضعفًا كعامل ارتفاع حرارة كوكب الأرض من كتلة مماثلة لثاني أكسيد الكربون. تبين التواريخ السابقة لغازات الدفيئة ، التي أعيد بناؤها من السجلات الأساسية للجليد ، أن المستوى ما قبل الصناعي لثاني أكسيد الكربون كان 280 جزء في المليون والميثان 750ppb مقارنة بـ 383 جزء في المليون و 1790ppb ، على التوالي ، اليوم. انخفضت تركيزاتها إلى حوالي 180 جزء في المليون و 350ppb ، على التوالي ، خلال المراحل القصوى من التجلد القاري في العصر الجليدي العصر البليستوسيني. إن التأثير الإيجابي لثاني أكسيد الكربون ، الذي ينطوي على الاحترار الناشئ عن غازات الدفيئة المؤدي إلى دورة هيدرولوجية معززة ذات محتوى بخار أكبر في الغلاف الجوي وبالتالي زيادة الاحترار ، لا يزال غير محسّن من الناحية الكمية**

**2.5 غازات الدفيئة**

**على الرغم من أن الغلاف الجوي للأرض يتكون أساسًا من الأكسجين والنيتروجين ، لا يلعب أي منهما دورًا مهمًا في تعزيز تأثير الاحتباس الحراري نظرًا لأن كليهما شفاف بشكل أساسي للإشعاع الأرضي. إن ظاهرة الاحتباس الحراري هي في المقام الأول دالة لتركيز بخار الماء وثاني أكسيد الكربون وغازات أخرى في الغلاف الجوي تمتص الإشعاع الأرضي الذي يترك سطح الأرض. يمكن للتغييرات في تركيزات غازات الدفيئة في الغلاف الجوي أن تغير توازن نقل الطاقة بين الغلاف الجوي والفضاء والأرض والمحيطات. ويسمى مقياس هذه التغيرات "التأثير الإشعاعي" ، وهو مقياس بسيط للتغيرات في الطاقة المتاحة لنظام الأرض-الغلاف الجوي. تحمل كل شيء ثابت آخر ، الزيادات في تركيزات غازات الدفيئة في الغلاف الجوي ستنتج تأثيراً إشعاعياً إيجابياً (أي زيادة صافية في امتصاص الطاقة من قبل الأرض).**

**وتشمل غازات الدفيئة التي تحدث بشكل طبيعي بخار الماء وثاني أكسيد الكربون (CO2) والميثان (CH4) وأكسيد النيتروز (N2O) والأوزون (O3). العديد من المواد المهلجنة التي تحتوي على الفلور ، أو الكلور ، أو البروم هي أيضًا غازات دفيئة ، ولكنها في الغالب عبارة عن منتج للأنشطة الصناعية فقط. مركبات الكربون الكلورية فلورية (CFCs) ومركبات الكربون الهيدروكلورية فلورية (HCFCs) هي مركبات الهالوكربونات التي تحتوي على الكلور ، بينما يشار إلى الهالوكربونات التي تحتوي على البروم على أنها مركبات بروموفلوروكربون (أي الهالونات). ولما كانت مركبات الكربون الكلورية فلورية ومركبات الكربون الهيدروكلورية فلورية والهالونات من المواد المستنفدة لطبقة الأوزون الستراتوسفيري ، فهي مشمولة بموجب بروتوكول مونتريال بشأن المواد المستنفدة لطبقة الأوزون.**

**يتم بث ثاني أكسيد الكربون والميثان وأكسيد النيتروز بشكل مستمر إلى الغلاف الجوي وإزالته من الجو بواسطة عمليات طبيعية على الأرض. غير أن الأنشطة البشرية المنشأ يمكن أن تتسبب في إنبعاث كميات إضافية من هذه الغازات وغيرها من غازات الدفيئة أو عزلها ،**

**تغيير متوسط ​​تركيزاتها العالمية في الغلاف الجوي. تعتبر الأنشطة الطبيعية مثل التنفس من قبل النباتات أو الحيوانات والدورات الموسمية لنمو النباتات وتسوسها أمثلة على العمليات التي تدور فقط الكربون أو النيتروجين بين الغلاف الجوي والكتلة الحيوية العضوية. مثل هذه العمليات - ما عدا عندما تكون مقلقة بشكل مباشر أو غير مباشر من التوازن بسبب الأنشطة البشرية - لا تغير عموماً متوسط ​​تركيزات غازات الدفيئة في الغلاف الجوي على الأطر الزمنية العقدية. بيد أن التغيرات المناخية الناتجة عن الأنشطة البشرية قد تكون لها آثار ردود فعل إيجابية أو سلبية على هذه النظم الطبيعية. يبين الجدول 2-1 تركيزات هذه الغازات في الغلاف الجوي ، إلى جانب معدلات نموها وحياةها في الغلاف الجوي.**

**الجدول 2-1: تركيز الغلاف الجوي العالمي (جزء من المليون ما لم يتم تحديده خلاف ذلك) ، ومعدل تغير التراكيز (ppb / year) والحياة الجوية (سنوات) من غازات دفيئة مختارة.**

**2.5.1 بخار الماء (H2O)**

**وعموما ، فإن غازات الدفيئة الأكثر غزارة وسائدة في الغلاف الجوي هي بخار الماء. بخار الماء ليس طويلاً ولا مختلط جيدًا في الغلاف الجوي ، ويتفاوت مكانياً من 0 إلى 2٪. بالإضافة إلى ذلك ، يمكن أن توجد المياه في الغلاف الجوي في العديد من الحالات الفيزيائية بما في ذلك الغازية والسائلة والصلبة. لا يُعتقد أن الأنشطة البشرية تؤثر تأثيراً مباشراً على متوسط ​​التركيز العالمي لبخار الماء ؛ ومع ذلك ، فإن التأثير الإشعاعي الناتج عن زيادة تركيزات غازات الدفيئة الأخرى قد يؤثر بشكل غير مباشر على الدورة الهيدرولوجية. يتمتع الغلاف الجوي الأكثر دفئًا بقدرة متزايدة على الاحتفاظ بالمياه ؛ بعد ، زيادة تؤثر تركيزات بخار الماء على تكوين السحب ، والتي يمكنها امتصاص وتعكس الأشعة الشمسية والبرية.**

**2.5.2 ثاني أكسيد الكربون (CO2)**

**. في الطبيعة ، يتم تدوير الكربون بين مكامن مختلفة في الغلاف الجوي والمحيطات والأحيائية والأحياء البحرية والمعدنية. تحدث أكبر التدفقات بين الغلاف الجوي والكائنات الحية الأرضية ، وبين الغلاف الجوي والماء السطحي للمحيطات. في الغلاف الجوي ، يوجد الكربون بشكل أساسي في شكله المؤكسد ك CO2. يعتبر ثاني أكسيد الكربون الجوي جزءًا من دورة الكربون العالمية هذه ، وبالتالي فإن مصيره هو وظيفة معقدة للعمليات الجيوكيميائية والبيولوجية.**

**زادت تركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي من حوالي 280 جزء في المليون من حيث الحجم (ppmv) في أوقات ما قبل التصنيع إلى 367 ppmv في عام 1999 ، بزيادة قدرها 31 في المائة. ويشير الفريق الحكومي الدولي المعني بتغير المناخ إلى أنه "لم يتم تجاوز تركيزه خلال الـ 420 ألف سنة الماضية ، وربما لم يتم تجاوزه خلال العشرين مليون سنة الماضية. معدل الزيادة خلال القرن الماضي لم يسبق له مثيل ، على الأقل خلال العشرين ألف عام الماضية". ينص IPCC بشكل قاطع على أن "الزيادة الحالية في ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي تنتج عن انبعاثات CO2 البشرية المنشأ". كما أن إزالة الغابات وحرق الكتلة الحيوية الأخرى وبعض عمليات الإنتاج غير الطاقية (مثل إنتاج الأسمنت) تنبعث منها كميات ملحوظة من ثاني أكسيد الكربون. وفي تقييمه الثاني ، ذكر الفريق الحكومي الدولي المعني بتغير المناخ أيضا أن "زيادة كمية ثاني أكسيد الكربون [في الغلاف الجوي] تؤدي إلى تغير المناخ وستنتج ، في المتوسط ​​، الاحترار العالمي لسطح الأرض بسبب تأثيرها المحسَّن في الاحتباس الحراري. - على الرغم من أن حجم وأهمية الآثار لم يتم حلها بالكامل ".**

**الشكل 2.7: تغيير التركيز والتأثير الإشعاعي لثاني أكسيد الكربون في الألف عام الأخيرة.**

**2.5.3 الميثان (CH4).**

**ينتج الميثان في المقام الأول من خلال التحلل اللاهوائي للمواد العضوية في النظم البيولوجية. العمليات الزراعية مثل زراعة الأرز في الأراضي الرطبة ، والتخمر المعوي في الحيوانات ، وتحلل النفايات الحيوانية تنبعث منه الميثان ، وكذلك تحلل النفايات الصلبة البلدية. كما ينبعث الميثان أثناء إنتاج وتوزيع الغاز الطبيعي والبترول ، ويتم إطلاقه كمنتج ثانوي من مناجم الفحم وحرق الوقود الأحفوري غير الكامل. وزادت تركيزات الميثان في الغلاف الجوي بحوالي 150 في المائة منذ ما قبل العصر الصناعي ، على الرغم من أن معدل الزيادة آخذ في الانخفاض. وقد قدرت الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ أن أكثر من نصف تدفق غاز الميثان الحالي في الغلاف الجوي هو أكثر بقليل من الأنشطة البشرية ، من الأنشطة البشرية مثل الزراعة واستخدام الوقود الأحفوري والتخلص من النفايات. تتم إزالة الميثان من الغلاف الجوي عن طريق التفاعل مع جذور الهيدروكسيل (OH) ويتم تحويله في النهاية إلى CO2. كما تشمل عمليات إزالة الصغرى تفاعل مع Cl في الطبقة الحدودية البحرية ، ومغسلة للتربة ، وردود فعل الستراتوسفير. زيادة انبعاثات الميثان يقلل من تركيز OH ، وهي ردود الفعل التي قد تزيد من عمر الغلاف الجوي في الميثان.**

**الشكل 2.8: تغيير التركيز والتأثير الإشعاعي للميثان في آخر ألف سنة.**

**2.5.4 أكسيد النيتروز (N2O)**

**وتشمل المصادر البشرية لانبعاثات أكسيد النيتروز التربة الزراعية ، وخاصة استخدام الأسمدة الاصطناعية والسماد السماد ؛ احتراق الوقود الأحفوري ، لا سيما من الاحتراق المتنقل ؛ adipic (النايلون) وإنتاج حمض النيتريك. معالجة مياه الصرف الصحي واحتراق النفايات. وحرق الكتلة الحيوية. وقد ازداد تركيز أكسيد النيتروز في الغلاف الجوي بنسبة 16 في المائة منذ عام 1750 ، من قيمة صناعية ما قبل حوالي 270 جزء من البليون إلى 314 جزء من البليون في عام 1998 ، وهو تركيز لم يتم تجاوزه خلال الألف عام الماضية. يتم إزالة أكسيد النيتروز في المقام الأول من الغلاف الجوي من خلال عمل ضوء الشمس الضوئي في طبقة الستراتوسفير.**

**الشكل 2.9: تغيير التركيز والتأثير الإشعاعي لأكسيد النيتروز في الألف عام الأخيرة.**

**2.5.5 الأوزون (O3)**

**يوجد الأوزون في كل من طبقة الستراتوسفير العليا ، حيث يحمي الأرض من مستويات ضارة من الأشعة فوق البنفسجية ، وبتركيزات أقل في طبقة التروبوسفير ، حيث يكون العنصر الرئيسي في "الضباب الدخاني" الكيميائي الضوئي البشري المنشأ. وخلال العقدين الأخيرين ، استنفدت انبعاثات الكلوروفونات التي تحتوي على الكلور والهالوكربونات المحتوية على البروم ، مثل مركبات الكربون الكلورية فلورية (CFCs) ، تركيزات الأوزون الستراتوسفيري. وقد أسفر فقدان الأوزون هذا في طبقة الستراتوسفير عن تأثير إشعاعي سلبي ، وهو ما يمثل أثرا غير مباشر للانبعاثات البشرية المنشأ لمركبات الكلور والبرومين. وكان من المتوقع أن يصل استنفاد الأوزون الستراتوسفيري وتأثيره الإشعاعي إلى حد أقصى في حوالي عام 2000 قبل الشروع في التعافي ، مع عدم توقع حدوث مثل هذا الانتعاش قبل عام 2010 بكثير. الزيادة السابقة في الأوزون التروبوسفيري ، وهو أيضا غاز دفيئي ، من المتوقع أن توفر ثالث أكبر زيادة في التأثير الإشعاعي المباشر منذ عصر ما قبل الصناعة ، وراء ثاني أكسيد الكربون والميثان. يتم إنتاج الأوزون التروبوسفيري من تفاعلات كيميائية معقدة من المواد العضوية المتطايرة خلط المركبات مع أكاسيد النيتروجين (NOx) في وجود ضوء الشمس. يتم تضمين الأوزون ، أول أكسيد الكربون (CO) وثاني أكسيد الكبريت (SO2) وثاني أكسيد النيتروجين (NO2) والجسيمات في الفئة المشار إليها بـ "ملوثات المعايير" في الولايات المتحدة بموجب قانون الهواء النظيف والتعديلات اللاحقة. التركيزات التروبوسفيرية للأوزون وهذه الملوثات الأخرى قصيرة الأجل ، وبالتالي ، متغيرة مكانيا**

**2.5.6 الهالوكربونات ، البيرفلوروكربونات ، وسداسي فلوريد الكبريت (SF6)**

**إن الهالوكربونات هي ، في معظمها ، مواد كيميائية من صنع الإنسان لها تأثيرات مؤثرة مباشرة وغير مباشرة. فالهلوكاربونات التي تحتوي على الكلوروفلوروكربون (الكلوروفلوروكربونات الكلوروفلوروكربونية الكلوروفلوروكربونات الكلوروفلوروكربونات الكلوروفلوروكربونات الكلوروفلورو) وكلوروفورم الميثيل ورابع كلوريد الكربون - وهالونات بروميد الميثيل وبروميد الهيدرو برومفلوروكربون (HBFCs) - ينتج عنها استنفاد الأوزون الستراتوسفيري وبالتالي فهي تحت السيطرة. بروتوكول مونتريال بشأن المواد المستنفدة لطبقة الأوزون. وعلى الرغم من أن مركبات الكربون الكلورية فلورية ومركبات الكربون الهيدروكلورية فلورية تشمل غازات الاحترار العالمي القوية ، فإن تأثيرها الإشعاعي المؤثر الصافي على الغلاف الجوي ينخفض ​​لأنه يسبب استنفاد طبقة الأوزون الستراتوسفيري ، وهو في حد ذاته غاز دفيئة مهم بالإضافة إلى حماية الأرض من المستويات الضارة من الأشعة فوق البنفسجية. وبموجب بروتوكول مونتريال ، قامت الولايات المتحدة بالتخلص التدريجي من إنتاج الهالونات واستيرادها بحلول عام 1994 والمركبات الكربونية الكلورية فلورية بحلول عام 1996. وتنبعث في الغالب مركبات الكربون الهيدروكلورية فلورية وسادس فلوريد الكبريت من عمليات صناعية مختلفة بما في ذلك صهر الألمنيوم وتصنيع أشباه الموصلات ونقل الطاقة الكهربائية وتوزيعها وصب المغنيسيوم . وفي الوقت الحالي ، يكون تأثير التأثير الإشعاعي لمركبات الكربون الهيدروفلورية (PFCs) و SF6 صغيراً أيضاً ؛ ومع ذلك ، لديهم معدل نمو كبير ، عمر طويل للغاية في الغلاف الجوي ، وامتصاص قوي للأشعة تحت الحمراء ، وبالتالي لديها القدرة على التأثير في المناخ البعيد في المستقبل.**

**2.5.7 أول أكسيد الكربون (أول أكسيد الكربون)**

**أول أكسيد الكربون له تأثير التأثير الإشعاعي غير المباشر عن طريق رفع تركيزات الميثان وأوزون التروبوسفير من خلال التفاعلات الكيميائية مع مكونات الغلاف الجوي الأخرى (على سبيل المثال ، جذور الهيدروكسيل ، OH) التي من شأنها أن تساعد بطريقة أخرى في تدمير غاز الميثان وأوزون التروبوسفير. يتم إنشاء أول أكسيد الكربون عندما يتم حرق الوقود المحتوي على الكربون بشكل غير كامل. من خلال العمليات الطبيعية في الغلاف الجوي ، فإنه يتأكسد في نهاية المطاف إلى CO2. تكون تركيزات أول أكسيد الكربون قصيرة العمر في الغلاف الجوي ومتغيرة مكانياً.**

**2.5.8 أكاسيد النيتروجين (NOx).**

**والتأثيرات الأولية لتغير المناخ من أكاسيد النيتروجين (أي NO و NO2) هي غير مباشرة وتنتج عن دورها في تعزيز تكوين الأوزون في طبقة التروبوسفير ، وبدرجة أقل ، إلى طبقة الستراتوسفير السفلى ، حيث يكون لها تأثيرات تأثير إشعاعي إيجابي. بالإضافة إلى ذلك ، من المرجح أن تنخفض انبعاثات أكاسيد النيتروجين من الطائرات من تركيزات الميثان ، وبالتالي يكون لها تأثير التأثير الإشعاعي السلبي. يتم إنشاء أكاسيد النيتروجين من البرق ، النشاط الميكروبي للتربة ، حرق الكتلة الحيوية - الحرائق الطبيعية والبشرية المنشأ - احتراق الوقود ، وفي الستراتوسفير ، من تدهور صورة أكسيد النيتروز (N2O). تكون تركيزات أكاسيد النيتروجين قصيرة الأجل نسبيا في الغلاف الجوي ومتغيرة مكانيا.**

**2.5.8 المركبات العضوية المتطايرة غير الميثان (NMVOCs)**

**تشتمل المركبات العضوية المتطايرة غير الميثانية على مركبات مثل البروبان والبيوتان والإيثان. تشارك هذه المركبات ، إلى جانب أكسيد النيتروجين ، في تكوين الأوزون التروبوسفيري وغيره من المؤكسدات الكيميائية الضوئية. تنبعث NMVOCs في المقام الأول من النقل والعمليات الصناعية ، فضلا عن حرق الكتلة الحيوية وغير الصناعية استهلاك المذيبات العضوية. تميل تركيزات NMVOCs إلى أن تكون قصيرة العمر في الغلاف الجوي ومتغيرة مكانيا.**

**الفصل الثالث**

**تصنيف المناخ**

**المقدمة**

**الغرض من أي نظام تصنيف هو الحصول على ترتيب فعال للمعلومات في شكل مبسط ومعمم. يمكن تنظيم الإحصاءات المناخية من أجل وصف وتحديد أنواع المناخ الرئيسية من الناحية الكمية. من الواضح أن أي تصنيف فردي لا يخدم سوى عدد قليل من الأغراض بصورة مرضية ، ولذلك تم تطوير العديد من الخطط المختلفة. تهتم العديد من التصنيفات المناخية بالعلاقة بين المناخ والنباتات أو التربة ومحاولة قليلة لمعالجة التأثيرات المباشرة للمناخ على البشر.**

**يتم تلخيص فقط المبادئ الأساسية للتصنيفات العامة المتعلقة بنمو النبات أو الغطاء النباتي هنا.**

**3.1 التصنيف العام المرتبط بنمو النبات أو الغطاء النباتي**

**وقد اقترحت العديد من الخطط لربط حدود المناخ بنمو النباتات أو مجموعات النباتات. انهم يعتمدون على اثنين من المعايير الأساسية -**

**درجة من الجفاف والدفء. إن الجفاف ليس مجرد مسألة ترسيب منخفض ، بل هو "الترسيب الفعال" (أي التهطال مطروحًا منه التبخر). يتم استخدام نسبة هطول الأمطار / درجة الحرارة في كثير من الأحيان كمؤشر**

**من فعالية هطول الأمطار ، لأن ارتفاع درجات الحرارة يزيد من التبخر. وضعت دبليو كوبن المثال البارز لمثل هذا**

**تصنيف. بين عامي 1900 و 1936 ، ابتكر العديد من مخططات التصنيف التي تنطوي على تعقيد كبير بتفصيلها الكامل. وقد استخدم النظام على نطاق واسع في التدريس الجغرافي. الملامح الرئيسية لنهج كوبن هي معايير درجة الحرارة ومعايير الجفاف.**

**3.1.1 معايير درجة الحرارة**

**يعتمد خمسة من أنواع المناخ الرئيسية الستة على قيم درجات الحرارة المتوسطة الشهرية.**

**1 المناخ الممطر المداري: أبرد شهر> 18 درجة مئوية.**

**2 المناخ الجاف.**

**3 المناخات المعتدلة المناخ المعتدل: أبرد شهر بين 3 - و 18 درجة مئوية ، أكثر الشهور حرارةً> 10 درجات مئوية.**

**4 مناخات الغابات الشمالية الباردة: أبرد شهر <–3 ، أكثر الشهور حرارةً> 10 درجات مئوية. لاحظ أن العديد من العمال الأمريكيين يستخدمون نسخة معدلة مع**

**0 درجة مئوية كحدود C / D.**

**5 مناخ التندرا: أحر الشهر 0-10 درجة مئوية.**

**6 مناخ الصقيع الدائم: أحر الشهر <0 درجة مئوية.**

**3.1.2 معايير الجفاف**

**تشير المعايير إلى أنه ، مع هطول الأمطار في فصل الشتاء ، تحدث الظروف القاحلة (الصحراوية) حيث تكون r / T <1 ، وهي ظروف شبه قاحلة حيث 1 <r / T <2. إذا كان المطر**

**في فصل الصيف ، هناك حاجة إلى كمية أكبر لتعويض التبخر والحفاظ على هطول فعال متساوٍ.**

**يتم إجراء التقسيمات الفرعية لكل فئة رئيسية مع الإشارة ، أولاً ، إلى التوزيع الموسمي لهطول الأمطار. وأكثرها شيوعًا هي:**

**و = لا موسم جاف. م = رياح موسمية ، مع موسم جفاف قصير وأمطار غزيرة خلال الفترة المتبقية من السنة ؛ s = موسم الجفاف الصيفي ؛ ث = موسم الجفاف في فصل الشتاء. ثانياً ، هناك معايير أخرى لدرجة الحرارة تعتمد على الموسمية. يتم التعرف على سبعة وسبعون أنواع فرعية ، منها 23 تحدث في آسيا. الأنواع الرئيسية العشرة لكولومبيا لكل منها أنظمة موازنة طاقة سنوية متميزة ، كما هو موضح في الشكل 3.1.**

**الشكل 3.1: موازين الطاقة السنوية المميزة لعشر أنواع مناخية مختلفة (رموز كوبية وأرقام تصنيف ستراهلر المعروضة).**

**3.2 التغذية الراجعة في النظام المناخي**

**في الوقت الذي تزيد فيه الأنشطة البشرية تركيز غازات الاحتباس الحراري في الغلاف الجوي ، يدفأ سطح الأرض. هذا الاحترار الأولي يسبب العديد من التغييرات في الغلاف الجوي ، على الأرض ، وفي البحر. هذه التغييرات ، بدورها ، قد تتسبب في زيادة الاحترار (ردود فعل إيجابية) أو خفض معدل الاحترار (ردود فعل سلبية). يتم تحديد معدل الاحترار الفعلي لسطح الأرض من خلال الاحترار الناجم عن غازات الاحتراق الحراري ، زائد آثار ردود الفعل على هذا الاحترار.**

**من المتوقع أن تفوق التغذية المرتدة الإيجابية للاحترار ردود فعل سلبية ، مما يؤدي إلى زيادة الاحترار. يقدر العلماء أن التغذية المرتدة قد تزيد الاحترار بنسبة 15 - 78٪ خلال هذا القرن.**

**3.2.1 ردود فعل إيجابية**

**الاحترار يؤدي إلى ردود فعل إيجابية من خلال:**

**الحد من الغطاء الثلجي والثلج ، فضح التربة أو مياه المحيط. يعكس الجليد الكثير من الإشعاع الشمسي أكثر من التربة أو الماء. فقدان الجليد والثلوج يعني أن سطح الأرض يمتص المزيد من الطاقة ، مما يزيد من الاحترار العالمي. انظر أدناه:**

**زيادة معدلات تنفس التربة مما يؤدي إلى ذوبان التربة الصقيعية. إن التربة المتجمدة ، التي توجد عادة في المناطق الأكثر برودة في الأرض ، يمكن أن تطلق كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون والميثان إذا تم إذابة الجليد.**

**زيادة تركيزات بخار الماء. الطقس الدافئ يؤدي إلى مزيد من التبخر. بخار الماء هو غاز دفيئة قوي.**

**ردود فعل إيجابية تعمل على زعزعة استقرار النظام المناخي.**

**3.2.2 ردود فعل سلبية**

**يؤدي الاحترار إلى ردود فعل سلبية من خلال:**

**زيادة الغطاء السحابي. الاحترار يؤدي إلى مزيد من التبخر ، والتي يمكن أن تزيد من الغيوم. تعكس الغيوم الإشعاع الشمسي وتقليل الاحترار. ومع ذلك ، فمن غير المؤكد ما إذا كان إنتاج السحابة سيزيد أم ينقص تسخين. عموما ، يعتقد العلماء أن الغيوم سوف تعمل كردود فعل سلبية.**

**زيادة نمو النبات. ومع زيادة ارتفاع درجة الحرارة وزيادة ثاني أكسيد الكربون في نمو النبات ، قد يزداد تخزين الكربون على الأرض.**

**تعمل الردود السلبية على تثبيت النظام المناخي.**

**أمثلة على ردود الفعل الإيجابية والسلبية المحتملة في النظم المادية**

**1. مع ارتفاع مستويات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي:**

**• درجة حرارة الأرض ترتفع**

**مع ارتفاع درجة حرارة الأرض:**

**• معدل التمثيل الضوئي في النباتات يزيد**

**• وبالتالي يتم إزالة المزيد من ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي بواسطة النباتات ،**

**الحد من ظاهرة الاحتباس الحراري والحد من درجات الحرارة العالمية**

**2. مع ارتفاع درجة حرارة الأرض:**

**يذوب الغطاء الجليدي ويكشف التربة أو الماء**

**• تخفيضات البليدو**

**• يتم امتصاص المزيد من الطاقة بواسطة سطح الأرض**

**• ترتفع درجة الحرارة العالمية**

**• المزيد من ذوبان الجليد**

**3. مع ارتفاع درجة حرارة الأرض ، تذوب الطبقات العليا من التربة الصقيعية ، وتنتج تربة مشبعة بالمياه فوق الأرض المتجمدة:**

**• يتم إطلاق غاز الميثان في بيئة خالية من الأوكسجين**

**• تعزيز تأثير الاحتباس الحراري**

**• ارتفاع درجة حرارة الأرض ، وذوبان المزيد من التربة دائمة التجمد**

**4. مع ارتفاع درجة حرارة الأرض ، وزيادة التبخر:**

**• تنتج المزيد من الغيوم**

**• تزيد الغيوم من البياض ، مما يعكس المزيد من الضوء عن الأرض**

**• انخفاض درجة الحرارة**

**• معدلات سقوط التبخر**

**5. مع ارتفاع درجة حرارة الأرض ، تتحلل المادة العضوية في التربة بشكل أسرع:**

**• يتم تحرير المزيد من ثاني أكسيد الكربون**

**• يحدث تأثير الاحتباس الحراري المحسن**

**• يدفأ الأرض أكثر**

**• معدلات زيادة التحلل**

**6. مع ارتفاع درجة حرارة الأرض ، يزيد التبخر:**

**• يزداد تساقط الثلوج عند خطوط العرض العالية**

**• Icecaps تكبير**

**• ينعكس المزيد من الطاقة عن طريق زيادة البليدو للغطاء الجليدي**

**• يبرد الأرض**

**• معدلات سقوط التبخر**

**3.3 المناخ والتداول العام**

**3.3.1 التوزيع العام للغلاف الجوي**

**قبل أن ندرس التداول العام ، يجب أن نتذكر أنه يمثل فقط متوسط ​​تدفق الهواء حول العالم. قد تختلف الرياح الفعلية في أي مكان وفي أي وقت بشكل كبير عن هذا المعدل. ومع ذلك ، يستطيع المتوسط ​​الإجابة عن سبب وكيفية هبوب الرياح حول العالم بالطريقة التي يفعلونها - لماذا. كما يمكن أن يعطي المتوسط ​​صورة لآلية القيادة وراء هذه الرياح ، بالإضافة إلى نموذج لكيفية نقل الحرارة والزخم من المناطق الاستوائية في اتجاه القطب ، مما يحافظ على المناخ في خطوط العرض الوسطى التي يمكن تحملها.**

**السبب الأساسي للدوران العام هو التسخين غير المتكافئ لسطح الأرض. لقد تعلمنا أن متوسط ​​الإشعاع الشمسي القادم يساوي متوسط ​​مساحة الأرض تقريبًا. ومع ذلك ، فإننا نعلم أيضًا أن توازن الطاقة هذا لا يتم الحفاظ عليه لكل خط عرض ، نظرًا لأن المناطق المدارية تشهد مكسبًا صافًٍا في الطاقة ، بينما تعاني المناطق القطبية من خسارة صافية. لتحقيق التوازن بين أوجه عدم المساواة هذه ، ينقل الجو الهواء الدافئ إلى القطب البارد والرياح الاستوائي البارد. على الرغم من البساطة التي تبدو بسيطة ، فإن التدفق الفعلي للهواء معقد ؛ بالتأكيد ليس كل شيء معروف عنها. من أجل فهمها بشكل أفضل ، سننظر أولاً إلى بعض النماذج (أي ، المحاكاة المبنية بشكل مصطنع) التي تقضي على بعض تعقيدات الدورة الدموية العامة.**

**3.1.2 نموذج الخلية الواحدة**

**والنموذج الأول هو نموذج الخلية الواحدة ، الذي نفترض فيه أن سطح الأرض مغطى بالماء بشكل موحد ، بحيث لا تدخل التسخين التفاضلي بين الأرض والمياه حيز التنفيذ. سنفترض أيضًا أن الشمس دائمًا ما تكون فوق خط الاستواء مباشرةً ، حتى لا تتحول الرياح موسمياً. أخيراً ، نفترض أن الأرض لا تدور ،بحيث القوة الوحيدة التي نحتاج إلى التعامل معها هي قوة الانحدار الضغط. مع هذه الافتراضات ، سيبدو الدوران العام للغلاف الجوي شبيهاً بالشكل 3.2 ، وهي خلية حرارية ضخمة مدفوعة حرارياً في كل نصف الكرة الغربي.**

**الشكل 3.2: أنماط المبادلات الجوية العالمية المبسطة أحادية الخلية.**

**هذه هي خلية هادلي (سميت باسم عالم الفضاء الإنجليزي جورج هادلي في القرن الثامن عشر ، الذي اقترح الفكرة لأول مرة). يقودها**

**الطاقة من الشمس تنتج التسخين المفرط للمنطقة الاستوائية منطقة واسعة من الضغط المنخفض على السطح ، بينما في الأقطاب يخلق التبريد المفرط منطقة ذات ضغط مرتفع على السطح. استجابةً لتدرج الضغط الأفقي ، يتدفق الهواء القطبي البارد إلى خط الاستواء ، بينما يتدفق الهواء عند مستويات أعلى نحو القطبين. يتكون الدوران بأكمله من حلقة مغلقة مع ارتفاع الهواء بالقرب من خط الاستواء ، وغرق الهواء فوق القطبين ، وتدفق الهواء بالقرب من السطح ، وتدفق عكسي. في بهذه الطريقة ، يتم نقل بعض الطاقة الزائدة في المناطق المدارية كحرارة معقولة وكامنة إلى مناطق عجز الطاقة عند القطبين.**

**مثل هذا التداول الخلوي البسيط لأن هذا لا يوجد بالفعل على الأرض. لشيء واحد ، تدور الأرض ، وبالتالي فإن قوة كوريوليس سوف تحرف الهواء السطحي المتحرك باتجاه الجنوب في النصف الشمالي من الكرة الأرضية إلى اليمين ، وتنتج رياح سطحية شرقية على جميع خطوط العرض تقريبًا ، هذه الرياح سوف تتحرك في اتجاه معاكس دوران الأرض ، وبسبب الاحتكاك مع السطح ، سوف تبطئ دوران الأرض. نحن نعلم أن هذا لا يحدث وأن الرياح السائدة في خطوط العرض الوسطى تنفجر في الواقع من الغرب. ولذلك ، فإن الملاحظات وحدها تقول لنا إن الدورة المغلقة للهواء بين خط الاستواء والقطبين ليست النموذج المناسب للأرض الدوارة. (النماذج التي تحاكي تدفق الهواء حول العالم قد تحققت أيضًا من ذلك). كيف ، إذن ، هل تهب الرياح على كوكب دوار؟ للإجابة ، سنبقي نموذجنا بسيطا من خلال الإبقاء على الافتراضين الأولين - أي أن الأرض مغطاة بالماء وأن الشمس دائما فوق خط الاستواء مباشرة.**

**3.1.3 نموذج من ثلاث خلايا**

**إذا سمحنا للأرض بالدوران ، فإن نظام الحمل الحراري البسيط يقتحم سلسلة من الخلايا كما هو موضح في الشكل 3.3. على الرغم من أن هذا النموذج أكثر تعقيدًا من نموذج الخلية الواحدة ، إلا أن هناك بعض أوجه التشابه. المناطق الاستوائية لا تزال تتلقى فائض من الحرارة والأقطار العجز. في كل نصف من الكرة الأرضية ، هناك ثلاث خلايا بدلاً من واحدة لديها مهمة إعادة توزيع الطاقة. توجد منطقة سطحية عالية الضغط في القطبين ، ولا يزال يوجد حوض عريض من الضغط المنخفض على السطح عند شبهه لخلية هادلي. لنلق نظرة على هذا النموذج عن كثب من خلال فحص ما يحدث للهواء فوق خط الاستواء.**

**الشكل 3.3: التخطيطي العام للتداول.**

**فوق الماء الاستوائي ، الهواء دافئ ، وتدرجات الضغط الأفقي ضعيفة ، والرياح خفيفة. يشار إلى هذه المنطقة بأنها حالة ركود. هنا ، يرتفع الهواء الدافئ ، غالباً ما يتكثف في السحب الرخامية الضخمة والعواصف الرعدية التي يطلق عليها أبراج "الحارة" ذات الحمل الحراري بسبب الكمية الهائلة من الحرارة الكامنة التي تحررها. تجعل هذه الحرارة الهواء أكثر ازدهارًا وتوفر الطاقة لدفع خلية هادلي. يصل الهواء الصاعد إلى التروبوبوز ، الذي يعمل كحاجز ، مما يجعل الهواء يتحرك أفقياً نحو القطبين. تحرف قوة كوريوليس هذا التدفق باتجاه القطب نحو اليمين في النصف الشمالي من الكرة الأرضية وإلى اليسار في نصف الكرة الجنوبي ، مما يوفر رياحًا غربية عالياً في نصفي الكرة الأرضية. (سنرى لاحقا أن هذه الرياح الغربية تصل إلى السرعة القصوى وتنتج مجاري نفث بالقرب من 30 و 60 درجة عرض.)**

**وبينما يتحرك الهواء باتجاه القطب من المناطق الاستوائية ، فإنه يبرد باستمرار بالإشعاع ، وفي نفس الوقت يبدأ أيضًا في التلاقي ، خاصة عندما يقترب من خطوط العرض الوسطى. هذا التقارب (تكدس) الهواء العلوي يزيد كتلة الهواء فوق السطح ، مما يؤدي بدوره إلى زيادة ضغط الهواء على السطح. وبالتالي ، عند خطوط العرض القريبة من 30\_ ، ينتج تقارب الهواء العلوي أحزمة من الضغط المرتفع تُسمى المرتفعات شبه المدارية (أو الأعاصير المضادة). وعندما يتقارب الهواء المتقلب نسبياً فوق الارتفاعات ، ينخفض ​​الهواء ببطء عن طريق الانضغاط. ينتج هذا الهواء المنخفض السماء الصافية بشكل عام ودرجات الحرارة السطحية الدافئة ؛ ومن هنا ، نجد هنا الصحارى الكبرى في العالم. فوق المحيط ، تدرجات الضغط الضعيفة في وسط ارتفاع تنتج الرياح ضعيفة فقط. ووفقاً للأسطورة ، فإن السفن الشراعية التي كانت مسافرة إلى العالم الجديد كانت في كثير من الأحيان في هذه المنطقة ، ومع تضاؤل ​​الطعام والإمدادات ، تم رمي الخيول في البحر أو تناولها. ونتيجة لذلك ، يطلق على هذه المنطقة أحيانًا اسم خطوط عرض الخيول.**

**من خطوط العرض للخيول ، يتحرك بعض الهواء السطحي نحو خط الاستواء. غير أنه لا يتدفق مرة أخرى إلى الخلف ، لأن قوة كوريوليس تنحرف عن الهواء ، مما تسبب في نفثها من الشمال الشرقي في النصف الشمالي من الكرة الأرضية ومن الجنوب الشرقي في نصف الكرة الجنوبي. هذه الرياح المستديمة قدمت السفن الشراعية مع طريق المحيط إلى العالم الجديد. وبالتالي ، تسمى هذه الرياح رياح التجارة. بالقرب من خط الاستواء ، تتلاقى التجارة الشمالية الشرقية مع التجارة الجنوبية الشرقية على طول حدود تسمى منطقة التقارب بين المداري (ITCZ). في هذه المنطقة من التقارب السطحي ، يرتفع الهواء ويستمر في رحلته الخلوية.**

**في هذه الأثناء ، عند خط العرض 30\_ ، لا يتحرك كل من الهواء السطحي نحو الاستواء. يتحرك بعض الهواء نحو القطبين وينحرف نحو الشرق ، مما يؤدي إلى تدفق هواء غربي إلى حد ما ، أو ما يسمى بالضفاف الغربية السائدة ، أو ببساطة في الغرب ، في كل من نصفي الكرة الأرضية وبالتالي ، من تكساس شمالاً إلى كندا ، من الشائع جداً تجربة الرياح التي تهب من الغرب أكثر من الشرق. التدفق الغربي غير ثابت. المناطق المهاجرة ذات الضغط العالي والمنخفض تفكك نمط تدفق السطح من وقت لآخر.**

**وبينما يسافر هذا الهواء البسيط باتجاه القطب ، يصادف الهواء البارد الذي يتحرك من القطبين. هذه كتلتي الهواء من درجة الحرارة المتناقضة لا تختلط بسهولة. وهي مفصولة بحدود تُسمى الجبهة القطبية ، وهي منطقة ذات ضغط منخفض - أدنى مستوى منخفض من القطبية - حيث يتقارب الهواء السطحي وتتصاعد وتتزايد العواصف. بعض عوائد الهواء الصاعدة عند مستويات عالية إلى خطوط العرض للخيول ، حيث تغرق مرة أخرى إلى السطح بالقرب من أعلى مستوى شبه استوائي. في هذا النموذج ، تكتمل الخلية المتوسطة (المسماة خلية فيريل ، بعد عالم الأرصاد الجوي الأمريكي ويليام فيريل) عندما يتدفق الهواء السطحي من خطوط العرض للخلف باتجاه القطب القطبي.**

**وراء الجبهة القطبية ، ينحرف بقوة كوريوليس عن الهواء البارد من القطبين ، بحيث يكون التدفق العام للهواء شرقية إلى شرقية. ومن ثم ، فإن هذه المنطقة هي المنطقة القطبية الشرقية. في فصل الشتاء ، يمكن للجبهة القطبية ذات الهواء البارد أن تنتقل إلى خطوط العرض الوسطى وشبه المدارية ، منتجة تفشي قطبي بارد. على طول الجبهة ، يتحرك جزء من الهواء الصاعد باتجاه القطب ، وتحول قوة كوريوليس الهواء إلى رياح غربية على مستويات عالية. يصل الهواء في نهاية المطاف إلى القطبين ، ويغرق ببطء إلى السطح ، ويتدفق مرة أخرى نحو الجبهة القطبية ، واستكمال الخلية القطبية الضعيفة.**

**يمكننا تلخيص كل ذلك بالرجوع إلى الشكل 3.3 و 3.4 والإشارة إلى أنه على السطح يوجد مجالان رئيسيان للضغط العالي ومنطقتين رئيسيتين من الضغط المنخفض. توجد مناطق الضغط العالي بالقرب من خط العرض 30\_ والأعمدة. توجد مناطق الضغط المنخفض فوق خط الاستواء وعلى مقربة من خط العرض 60 في محيط الجبهة القطبية. من خلال معرفة الطريقة التي تهب بها الرياح حول هذه الأنظمة ، لدينا صورة عامة للرياح السطحية في جميع أنحاء العالم. تمتد الرياح التجارية من شبه استوائية عالية إلى خط الاستواء ، والويسترات الغربية من شبه الاستوائية العالية إلى الجبهة القطبية ، والقلنسور القطبية من القطبين إلى الجبهة القطبية.**

**الشكل 3-4: مقطع عرضي من خط الاستواء إلى القطب في نصف الكرة الشمالي. ويعرض الخلية Hadley ، وارتفاع شبه استوائي ، وخلية الضغط المنخفض دون القطبية ، والمواقع التقريبية للتدفقات النفاثة شبه الاستوائية والقطبية.**

**كيف يمكن مقارنة هذا النموذج المكون من ثلاثة خلايا بالملاحظات الفعلية للرياح والضغط؟ فنحن نعرف ، على سبيل المثال ، أن الرياح ذات المستوى الأعلى في خطوط العرض الوسطى تنفجر عمومًا من الغرب. ومع ذلك ، تشير خلية فيريل المتوسطة إلى وجود ريح شرقية عالة مع تدفق الهواء الاستوائي. وبالتالي ، توجد تناقضات بين هذا النموذج وملاحظات الغلاف الجوي. ومع ذلك ، يتفق هذا النموذج بشكل وثيق مع الرياح وتوزيع الضغط على السطح.**