الضغط الجوي

Atmospheric Pressure

يُعد الضغط الجوي أحد العناصر المناخية الأساسية التي تؤثر في أحوال الطقس والمناخ، وعلى الرغم من أن تأثيره المباشر على النمو النباتي يبدو أقل وضوحاً من عنصري الحرارة أو الرطوبة، فإنه يتحكم في الكثير من المظاهر الجوية الكبرى التي تؤثر على الزراعة بطرق مباشرة. فحركة الرياح وتشكل السحب وهطول الأمطار وتخلخل الكتل الهوائية كلها مرتبطة بتوزيع الضغط الجوي وتغيراته.

في العقد الأخير بدأت تطبيقات الأرصاد الزراعية تعتمد على بيانات الضغط الجوي عالية الدقة (من المحطات الآلية ونماذج التنبؤ العددية) لتحسين تقدير الاحتياجات المائية، الإنذار المبكر للصقيع، وإدارة المخاطر المناخية.

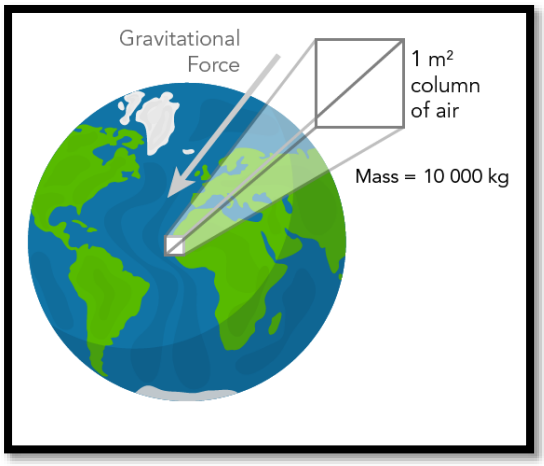
تعريف الضغط الجوي:

يُعرف الضغط الجوي فيزيائياً بأنه القوة التي يبذلها عمود الهواء الممتد من سطح الأرض إلى نهاية الغلاف الجوي على وحدة المساحة من سطح الأرض. ويعبر عن الضغط رياضياً بالعلاقة التالية:

$$P = \frac{F}{A}$$

حيث:

- P: الضغط الجوي.
- F: القوة الناتجة عن وزن عمود الهواء.
- A: المساحة.



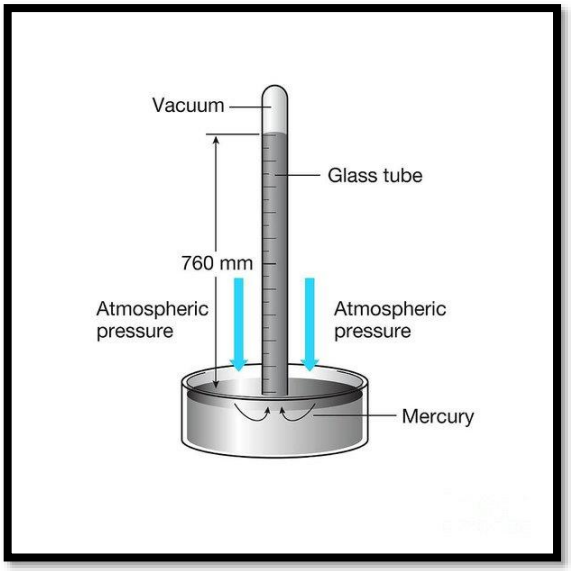
الشكل (1): الضغط الجوي

على المستوى الجزيئي ينشأ الضغط الجوي نتيجة التصادمات المستمرة بين جزيئات الهواء وسطح الأرض والأجسام الموجودة عليها. فكلما زاد عدد الجزيئات في وحدة الحجم (زادت الكثافة) ازداد عدد التصادمات، وبالتالي ازداد الضغط. وبالتالي فإن الضغط الجوي هو انعكاس مباشر لوزن الهواء الموجود فوق المنطقة المعنية.

قام العالم تورشيلي Torcihelli عام 1643 بتجربة حيث استخدام أنبوب زجاجي طوله 80 سم ومليء بالزئبق ومنكس على حوض زئبقي، ووجد أن الزئبق يبقى مرتفعاً في الأنبوب حتى ارتفاع 76 سم فوق سطح الزئبق في الحوض.

وقد فسر ذلك بالضغط الذي يمارسه الغلاف الجوي على سطح الزئبق الحر والذي لا بد أن يكون مساوياً للضغط الناجم عن وزن عمود الزئبق.

وفي عام 1648 وضح العالم باسكال Pascal أن ارتفاع عمود الزئبق يتغير مع ارتفاع المكان عن سطح البحر.



الشكل (2): تجربة تورشيللي

الضغط الجوي القياسي: هو الضغط الجوي عند مستوى سطح البحر ودرجة حرارة 15 م ° وخط عرض 45° وهو يُساوي 1013.25 مليبار (milibar) أو 760 مم زئبق (mmHg). يمكن تحويل المليبار إلى مم زئبقي حيث أن كل 1 مليبار يعادل 0.75 مم زئبق.

العوامل المؤثرة في الضغط الجوي:

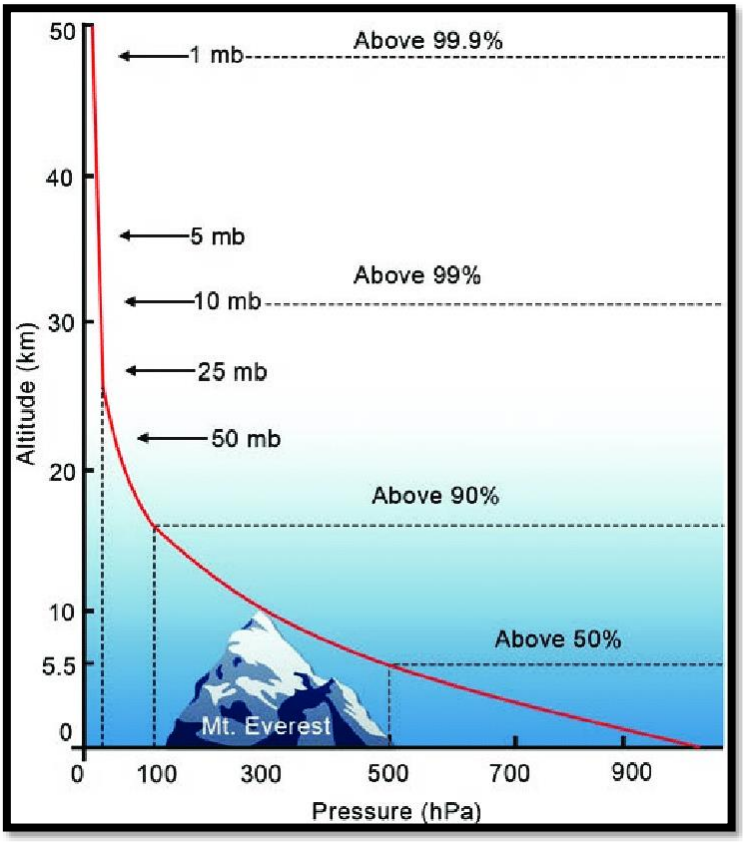
تتغير قيمة الضغط الجوي من مكان إلى آخر ومن وقت إلى آخر نتيجة تأثره بمجموعة من العوامل الطبيعية. أهم هذه العوامل:

1. الارتفاع عن سطح البحر:

كلما زاد الارتفاع عن سطح البحر قلَّت كثافة الهواء، وبالتالي قل وزن عمود الهواء، فانخفض الضغط الجوي. تُسمى هذه العلاقة العكسية بين الارتفاع والضغط الجوي بالتدرج الرأسي للضغط.

ينخفض الضغط الجوي كلما ارتفعنا عن سطح البحر، ويزداد بزيادة الانخفاض عن سطح البحر. حيث يبلغ متوسط الضغط الجوي عند سطح البحر 1013 مليبار. ويُلاحظ أن معدل تناقص الضغط الجوي مع الارتفاع ليس ثابتاً بل يتوقف على درجة الحرارة والرياح وكثافة الهواء. ويبين الشكل التالي أن الضغط يتغير مع الارتفاع. حيث ينخفض بمقدار مليبار واحد لكل 10 متر في الكيلومترات الدنيا القليلة.

وبسبب قابلية الهواء للانضغاط فإن الضغط ينخفض مع الارتفاع ويصبح أبطأ في الارتفاعات الكبيرة.



الشكل (3): يوضح اختلاف الضغط الجوي مع الارتفاع

2. درجة الحرارة:

يختلف الضغط الجوي من مكان لآخر نتيجة لاختلاف درجة الحرارة، وبذلك تعد درجة الحرارة من أهم العوامل المؤثرة على تغير الضغط الجوي.

ترتبط درجة الحرارة والضغط الجوي بعلاقة عكسية طردية معقدة على المستويين الأفقي والرأسي. عندما ترتفع درجة حرارة الهواء فإنه يتمدد ويزداد حجمه ويصبح أكثر تخلخلاً فيصبح أقل كثافة، مما يؤدي إلى انخفاض الضغط الجوي. والعكس صحيح يتقلص الهواء الجوي مع انخفاض درجة الحرارة وينقص حجمه ويزداد ثقله وتزداد كثافته وبالتالي يزداد الضغط الجوي.

وينتج عن ذلك أن كل منطقة **حارة** هي ذات ضغط جوي منخفض، وكل منطقة **باردة** هي منطقة كثيفة الهواء وذات ضغط جوي مرتفع.

جدول (1): تغيرات الضغط الجوي مع الارتفاع والحرارة (للاطلاع)

الارتفاع (كم)	الضغط (مليبار)	الحرارة (درجة مئوية)
0	1013.25	15.0
1	898.75	8.5
2	794.95	2.0
3	701.09	4.5 -
4	616.40	11.0-
5	540.20	17.5 -
10	264.36	50.0 -
11	226.32	56 -
12	193.30	56.5-

3. الرطوبة الجوية:

يزداد الضغط الجوي في الهواء الجاف ويقل في الهواء المشبع بالرطوبة أي بخار الماء. وتفسير ذلك يعود إلى أن كثافة الهواء الجاف أكبر من كثافة الهواء المحمل ببخار الماء. فبخار الماء أخف من الهواء الجوي العادي وهو أخف من الهواء في الطبقات الجوية السفلية. وكلما ازدادت نسبته في هذا الهواء أدى إلى انخفاض الضغط.

4. اليابسة والمحيطات:

يزداد الضغط الجوي فوق سطح اليابسة في الشتاء وينخفض في الصيف بينما يزداد فوق المسطحات المائية في الصيف وينخفض في الشتاء.

وسبب هذا التباين هو أن سطح الأرض يكتسب الحرارة ويمتصها بسرعة فيسخن ويفقدها بسرعة فيبرد. في الوقت الذي تكون فيه المسطحات المائية على نقيض ذلك إذ تكتسب الحرارة وتمتصها ببطء ولذلك فهي تسخن ببطء وتفقد حرارتها ببطء وبالتالي تبرد ببطء. وعندما يحل البرد محل الحر في منطقة ما نتيجة الانتقال من فصل لآخر، تتحول المنطقة من مركز ضغط منخفض إلى مركز ضغط جوي مرتفع.

جدول (2): التغير الموسمي للضغط الجوي في نصف الكرة الشمالي

الموسم	سلوك الضغط على اليابسة	سلوك الضغط على المحيطات
الشتاء	ضغط مرتفع (High)	ضغط منخفض (Low)
الصيف	ضغط منخفض (Low)	ضغط مرتفع (High)

5. التغيرات اليومية:

تخضع التغيرات اليومية للضغط الجوي للتأثيرات المحلية على الضغط مثل المرتفعات أو المنخفضات الجوية. وأكثر ما تكون هذه التغيرات واضحة في المناطق الاستوائية تليها خطوط العروض المتوسطة وتنعدم في القطبين.

يتوقف التغير اليومي للضغط على الأيام الصافية والأيام المضطربة أو الملبدة بالغيوم. ويتوقف كذلك على خط العرض وفصول السنة والموقع.

بشكل عام يمكن القول إن الحد الأعلى للضغط الجوي يكون في الساعة 14 بعد الظهر والحد الأقصى في الساعة 4 صباحاً. تنتج تغيرات الضغط في حالة الغلاف الجوي عن حالة التسخين اليومي ودورة التبريد.

يلعب التغير اليومي دوراً رئيسياً في تشكيل الرياح المحلية. في النهار تسخن اليابسة أسرع من البحر، فيتشكل ضغط منخفض على اليابسة وضغط مرتفع على البحر فتنشط ظاهرة نسيم البحر (Sea Breeze). وفي الليل، يبرد سطح اليابسة أسرع، فيسود ضغط مرتفع على اليابسة وضغط منخفض على البحر فتنشط ظاهرة نسيم البر (Land Breeze).

التدرج الرأسي للضغط:

في الغلاف الجوي السفلي ينخفض الضغط بسرعة مع الارتفاع، حيث على ارتفاع جبل إيفرست يقل الضغط الجوي بحوالي الثلثين عن قيمته عند سطح البحر.

تدرج الضغط الرأسي أكبر بكثير من تدرج الضغط الأفقي، لكنه يتوازن عادةً بقوة جاذبية معاكسة ومتساوية تقريبا لذلك لا نشهد رياحا صاعدة قوية.

يكون الهواء عند السطح أكثر كثافة بسبب الجاذبية وبالتالي ذا ضغط أعلى. وبما أن ضغط الهواء يتناسب مع الكثافة وكذلك مع درجة الحرارة، فإن أي تغير في درجة الحرارة أو الكثافة يسبب تغيراً مماثلاً في الضغط.

يختلف الضغط من مكان إلى آخر على سطح الأرض، وهذا الاختلاف هو السبب الرئيسي لحركة الهواء، حيث أن تحدث الرياح نتيجة حركة الهواء من مناطق الضغط المرتفع إلى مناطق الضغط المنخفض.

يشير ارتفاع الضغط إلى طقس جيد مستقر، بينما يشير انخفاضه إلى طقس غير مستقر وغائم.

التوزيع الأفقي للضغط:

الاختلافات الصغيرة في الضغط لها أهمية كبيرة من حيث اتجاه الرياح وسرعتها. تُدرس التوزيعات الأفقية للضغط برسم **خطوط تساوي الضغط** (isobars) على مستويات ثابتة.

خطوط تساوي الضغط هي خطوط تصل بين الأماكن المتساوية في الضغط. وللتخلص من تأثير الارتفاع على الضغط، يُقاس في أي محطة بعد تخفيضه إلى مستوى سطح البحر لأغراض المقارنة.

تعبر المسافات الفاصلة بين خطوط تساوي الضغط عن معدل واتجاه تغيرات الضغط، ويُشار إليها باسم **تدرج الضغط**.

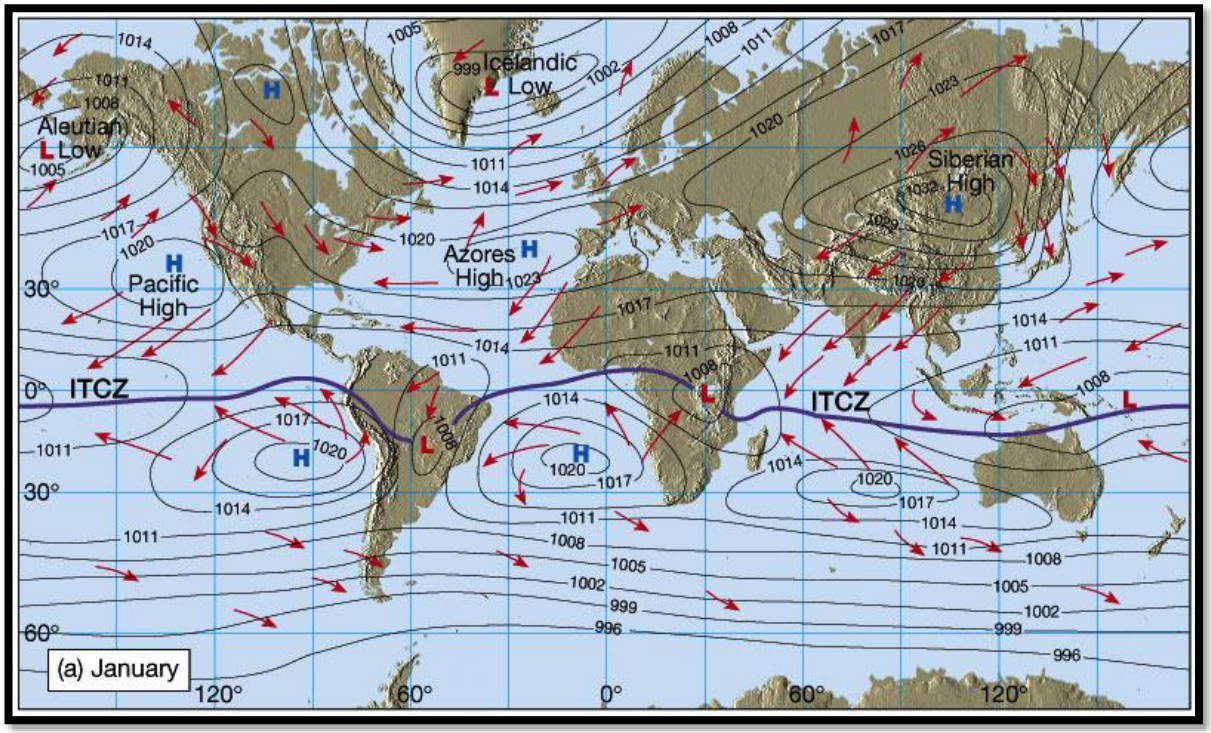
المسافات المتقاربة بين خطوط تساوي الضغط تشير إلى تدرج ضغط حاد أو قوي، بينما المسافات المتباعدة تشير إلى تدرج ضعيف. يمكن تعريف تدرج الضغط بأنه النقص في الضغط لكل وحدة مسافة في الاتجاه الذي ينخفض فيه الضغط بشكل أسرع.

خطوط الضغط المتساوية:

خطوط الضغط المتساوية (Isobars): هي خطوط ترسم على الخرائط وتصل بين المناطق ذات الضغط الجوي المتساوي خلال فترة زمنية معينة، والضغط الذي تشير إليه هذه الخطوط هو ضغط معدّل لمستوى سطح البحر حيث تظهر مناطق الكرة الأرضية المختلفة وكأنها جميعاً عند مستوى سطح البحر. وتكون القراءات ممثلة لمتوسطات يومية أو فصلية أو سنوية في ساعة محددة خلال الفترة المرصودة.

وبما أنه لا يمكن رسم كل خطوط الضغط المتساوية على خريطة الكرة الأرضية نظراً لكثرة عددها، لذلك نختار الخطوط التي يكون الفرق بينها حوالي 3، 4 أو 5 مليبار. وتشكل هذه الخطوط نوعاً من التضاريس يطلق عليها اصطلاح التضاريس البارومترية ولهذه التضاريس شكلان شائعان هما:

- خطوط مستقيمة أو متعرجة ممتدة شرقاً وغرباً.
- خطوط على شكل دوائر متحدة المركز تشكل ما يسمى مراكز الضغوط.



الشكل (4): يوضح خطوط الضغط المتساوية لشهر كانون الثاني

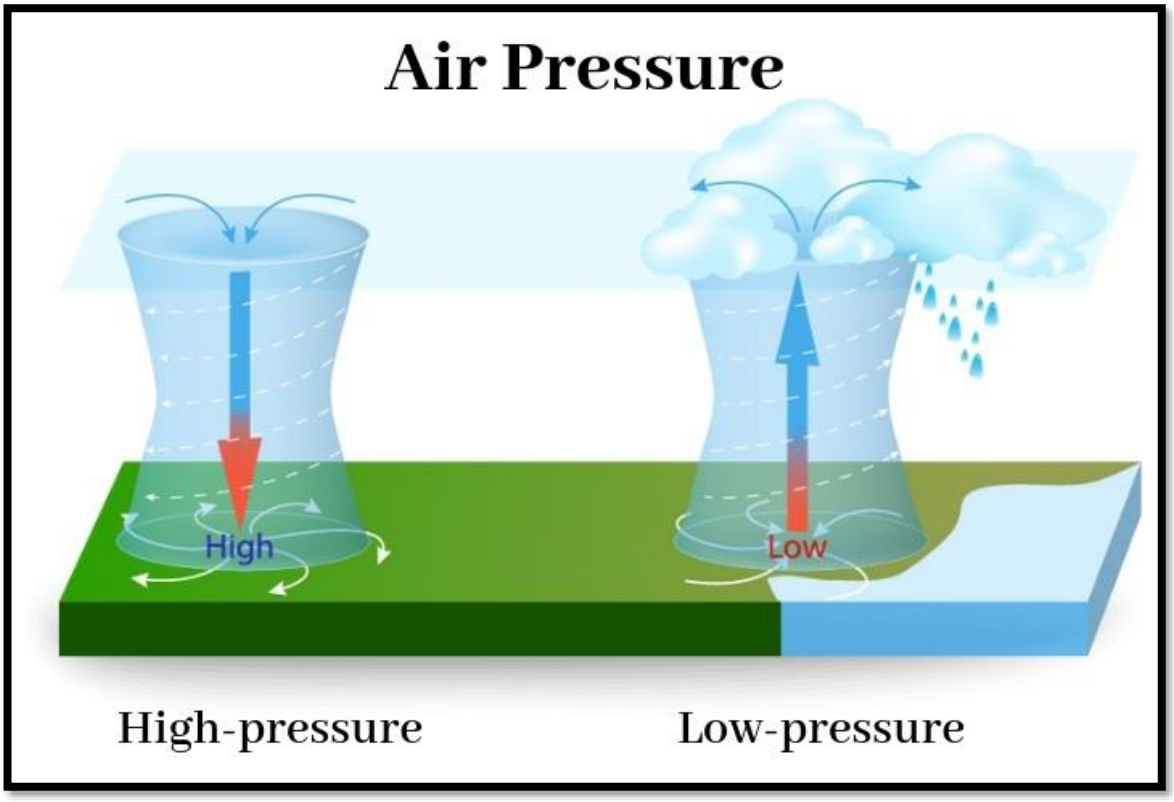
مراكز الضغوط:

1. مراكز الضغوط المنخفضة – الأعاصير (Cyclones):

التي تمتاز بخطوط ضغط مغلقة يزداد الضغط فيها من الداخل نحو الخارج، ولذا تتجه الرياح من الخارج إلى الداخل، وتولد الأعاصير والسحب والزوابع في بعض المناطق. ويرمز لها بالرمز (L) ويكون باللون الأحمر على الخريطة.

2. مراكز الضغوط المرتفعة – الأعاصير المضادة (Anticyclones):

التي تمتاز بخطوط ضغط مفتوحة يزداد الضغط فيها من الخارج نحو الداخل، ولذا تتجه الرياح نحو الحواف من الداخل إلى الخارج. وتمتاز مناطق الضغوط المرتفعة: بطقس جميل وجاف وبارد. ويرمز لها بالرمز (H) وتكون باللون الأزرق على الخريطة.



الشكل (5): يوضح مراكز الضغط المرتفع والمنخفض

نطاقات الضغط (أحزمة الضغط) الرئيسة على سطح الأرض:

يطلق على المحصلة السنوية العامة لتوزع الضغط على سطح الكرة الأرضية اسم أحزمة الضغط الرئيسة. توزع أحزمة الضغط بهذا الشكل هو نتيجة تفاعل مجموعة من العوامل وهي:

التباين في درجة الحرارة – حركة الجو العامة – تداخل اليابسة والماء في نصف الكرة الشمالي الذي يعمل على تجزئة أحزمة الضغط إلى حجيرات من الضغط.

أحزمة الضغط على الأرض هي نطاقات مستمرة من الضغط الجوي المرتفع والمنخفض تشكل أنظمة الرياح وأنماط الطقس على الكوكب. تتطور هذه الأحزمة بسبب التسخين غير المتكافئ لسطح الأرض، حيث تتسبب المناطق الأكثر دفئًا بالقرب من خط الاستواء في ارتفاع الهواء، بينما تؤدي المناطق الأكثر برودة بالقرب من القطبين إلى هبوط الهواء. يخلق هذا الدوران أحزمة متناوبة من الضغط عبر خطوط العرض. تُعتبر هذه الأحزمة حاسمة في دفع أنظمة الرياح العالمية، والتيارات المحيطية، وفي النهاية، المناخ الذي تشهده مناطق مختلفة من العالم.

هناك أربعة أحزمة ضغط رئيسية وأخرى مؤقتة تنشأ حسب الظروف المحلية وتتكون مما يلي:

1. حزام الضغط المنخفض الاستوائي – منطقة الركود (Doldrums):

يوجد على طول خط الاستواء، حيث تتسبب الحرارة الشديدة في ارتفاع الهواء. يُنشئ هذا منطقة ضغط منخفض بظروف هادئة ورياح سطحية ضئيلة.

2. أحزمة الضغط المرتفع شبه المدارية:

تقع حوالي خطي عرض 30° شمالاً و30° جنوباً، حيث يُنتج هبوط الهواء البارد ضغطًا مرتفعًا. تتميز هذه المناطق بسماء صافية ومناخ جاف وأحزمة صحراوية كبيرة.

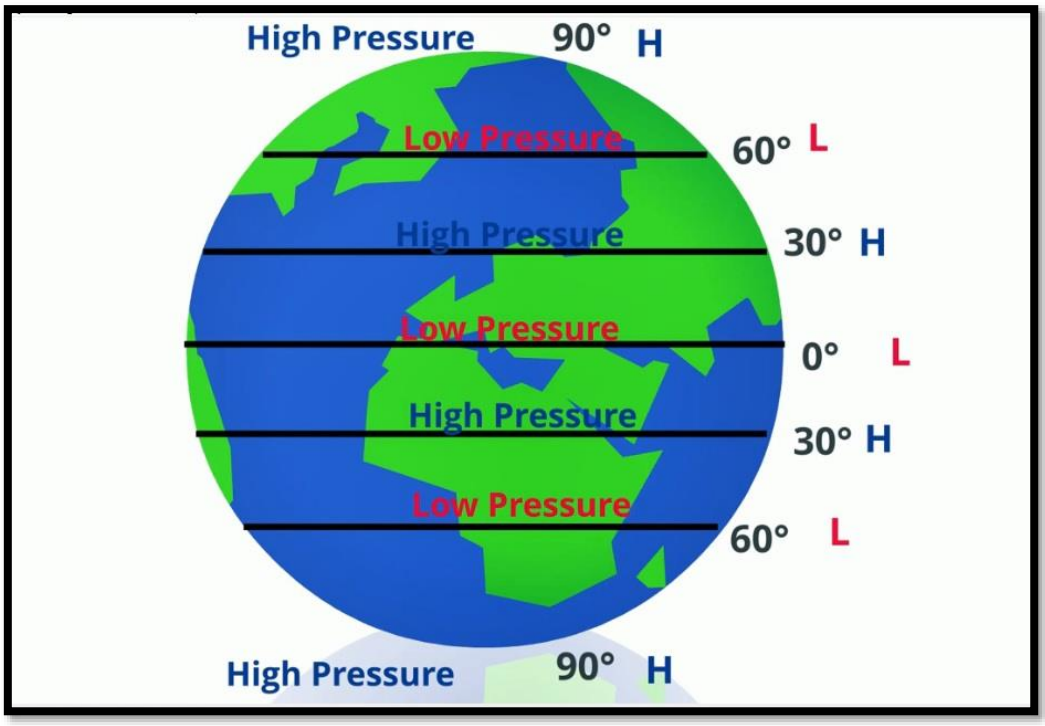
3. أحزمة الضغط المنخفض شبه القطبية:

وجد بالقرب من خطي عرض 60° شمالاً و60° جنوباً، حيث يلتقي الهواء الدافئ القادم من خطوط العرض المنخفضة مع الهواء القطبي البارد. يُحدث الهواء الصاعد ضغطاً منخفضاً وعواصف متكررة وطقساً غير مستقر.

4. أحزمة الضغط المرتفع القطبية:

موجودة عند القطبين، حيث يهبط الهواء البارد الكثيف، مولّدًا ضغطًا مرتفعًا مستقرًا بظروف جافة وقارسة البرودة.

تنظم هذه الأحزمة معاً دوران الرياح العالمي والتيارات المحيطية وأنظمة المناخ مؤثرةً على كل شيء من النظم البيئية إلى سبل عيش البشر.



الشكل (6) يوضح أحزمة الضغط الجوي موزعة على الكرة الأرضية.

أهمية أحزمة الضغط على الأرض:

تلعب أحزمة الضغط على الأرض دوراً حاسماً في تنظيم مناخ الكوكب وطقسه وتوازنه البيئي. ويمكن فهم أهميتها من خلال النقاط التالية:

- **توليد الدورة الهوائية العالمية:** تُعد أحزمة الضغط المحرك الأساسي لحركة الرياح (التجارية، العكسية، والقطبية). فهي المسؤولة عن نقل الحرارة من المناطق الاستوائية الحارة إلى المناطق القطبية الباردة، مما يمنع التطرف الحراري ويجعل كوكبنا صالحاً للسكن.
- **رسم الخريطة المناخية:** تحدد هذه الأحزمة طبيعة الطقس في كل منطقة، حيث ترتبط مناطق الضغط المنخفض (مثل خط الاستواء) بالاضطرابات الجوية والأمطار الغزيرة، بينما ترتبط مناطق الضغط المرتفع (مثل المدارين) بالاستقرار الجوي والجفاف، وهو ما يفسر وجود معظم صحاري العالم في تلك النطاقات.
- **توجيه التيارات البحرية**: تعمل الرياح الناتجة عن تفاوت الضغط على دفع مياه المحيطات السطحية، مما يساهم في توزيع الطاقة الحرارية والعناصر الغذائية الضرورية للأحياء البحرية حول العالم.
- **الأمن الغذائي والمائي:** تتحكم التحولات الموسمية لهذه الأحزمة في مواعيد سقوط الأمطار، مما يحدد نوعية المحاصيل وأساليب الزراعة المتبعة، ويساعد المجتمعات على إدارة مواردها المائية وتجنب مخاطر الجفاف.
- **التنبؤ وإدارة الكوارث:** يتيح فهم سلوك أحزمة الضغط للعلماء التنبؤ بالأحداث الجوية المتطرفة مثل الأعاصير والفيضانات، مما يعزز القدرة على التخطيط العمراني وحماية البيئة وتقليل الخسائر البشرية وحماية النظم البيئية.