



الهيئة العامة للتعليم التطبيقي والتدريب

كلية التربية الأساسية

قسم العلوم-الجيولوجيا

## الخامات المعدنية

أستاذ المقرر

الدكتورة الهام النقاوي

## مقدمة عن علم الجيولوجيا

## Introduction To Geology

## تعريف علم الجيولوجيا

الجيولوجيا هو علم الأرض، أي العلم الذي يبحث في كل ما يختص بالأرض من حيث تكوينها وتركيبها والحوادث التي تعاقبت عليها منذ نشأتها الأولى وحتى وقتنا الحاضر وبما سوف يحدث لكوكب الأرض من تغيرات مستقبلية، ويبحث أيضاً علاقة كوكب الأرض بالكون.

إن فهم ودراسة الأرض ليست عملية سهلة فهي على درجة كبيرة من الصعوبة والتعقيد خاصة وأن كوكب الأرض عبارة عن كوكب غير مستقر وله تاريخ حافل ومعقد من الأحداث الطبيعية التي تعاقبت منذ يوم ولادته حتى وقتنا الحاضر. فعلم الجيولوجيا يبحث حالة عدم الاستقرار والتغير المستمر الذي يحدث للأرض نتيجة لتأثرها بعمليات وقوى خارجية وداخلية مختلفة وذلك حتى نستطيع أن نتغلب على الصعاب ونستشف ما سوف يحدث بالمستقبل.

وكلمة جيولوجيا (Geology) حرفياً تعني "دراسة الأرض" أو "علم الأرض" لأنها مشتقة من الكلمة اللاتينية ذات المقطعين (Geo) وتعني "الأرض" والشق الثاني (Logos or Logy) ويعني "العلم".

ويتساءل البعض عادة عن ما أهمية دراسة علم الأرض أو الجيولوجيا؟ مما لا شك فيه إن الدافع الاقتصادي هو العامل الأساسي الذي كان له الفضل الأكبر في تقدم علم الأرض وتطوره بخطوات سريعة وواسعة. والسبب في ذلك يعود إلى أن التطور الكبير في الحضارة والمدن والتي تعتمد على العلم والصناعة قد ضاعفت كثيراً من قيمة مكونات القشرة الأرضية من معادن وصخور وما تحتويه هذه الصخور من مصادر اقتصادية ومصادر للطاقة مثل النفط والغاز الطبيعي والفحم الحجري وغيرها من المصادر المختلفة. لذلك هناك بعض الفروع التي تدرج تحت العلوم الجيولوجية التطبيقية وهي التي تلعب دوراً مهماً في حياة الإنسان وتستغل منها الأبحاث الجيولوجية بنجاح وذلك لخدمة البشرية.

## العلوم المختلفة ضمن علم الجيولوجيا Branches of Geology

تعمق العلماء خلال القرن المنصرم في دراسة الجيولوجيا نتيجة للتقدم والتطور الذي حدث بوسائل البحث والتكنولوجيا مما أدى إلى تطور علم الأرض واستحداث فروع متعددة جديدة تعتمد على العلوم الطبيعية الأخرى مثل علم الفيزياء والكيمياء والجغرافيا وعلم النبات والحيوان ولكل منها مجال تخصصي جيولوجي واضح. وهذه العلوم الجيولوجية تصنف كما يلي:-

## أولاً: العلوم الخاصة بمكونات القشرة الأرضية

وهي العلوم التي تعتمد اعتماداً كبيراً على علم الكيمياء لأنها تختص بدراسة مكونات الأرض الصلبة من معادن وصخور مختلفة، وهي تشتمل على التالي من علوم جيولوجية:-

## 1. علم البلورات Crystallography

يختص هذا العلم بدراسة البلورات من حيث شكلها الظاهري وتركيبها الداخلي والتعرف عليها وعلى الصخور التي تحتوي عليها وطريقة تشكلها.

**2. علم المعادن Mineralogy**

يشمل علم المعادن دراسة المعادن من حيث صفاتها الطبيعية والكيميائية والتعرف عليها، كما يشمل دراسة وجودها كمواد خام وطرق استغلالها.

**3. علم الصخور Petrology**

هذا العلم يتناول بالدراسة الأصل والخواص وتركيب الأنواع المختلفة من الصخور التي تتكون منها الأرض والتغيرات التي تطرأ عليها والعوامل التي شكلتها والعوامل التي تؤثر عليها. ويتشعب منه علم الصخور النارية وعلم الصخور الرسوبية وعلم الصخور المتحولة.

**4. علم الجيولوجيا الكيميائية أو الجيوكيميا Geochemistry**

يختص بتوزيع العناصر المختلفة في الأرض ونسبة وجودها والتركيب الكيميائي للمعادن والصخور المكونة للقشرة الأرضية.

**ثانياً: العلوم الخاصة بالتركيب الجيولوجية المكونة للقشرة الأرضية**

العلوم الجيولوجية التي تندرج تحت العلوم الخاصة بالتركيب الجيولوجية المكونة للقشرة الأرضية تعتمد على علم الفيزياء وتشتمل على العلوم التالية:-

**1. علم الجيولوجيا التركيبية Structural Geology**

يختص هذا العلم بدراسة بناء الكتل الصخرية خاصة تصدع القشرة الأرضية والتوائها نتيجة القوى التي تتعرض لها من ضغط أو شد.

**2. علم الحركات الأرضية Crustal Deformation and Plate Tectonics**

هو العلم الذي يبحث بالعمليات التي أدت إلى تكون القشرة الأرضية الصلبة وطرق تحركها والتضاريس المختلفة الناتجة عن هذه الحركات والتغيرات الجغرافية والاقتصادية والكوارث المترتبة عليها.

**3. علم الجيولوجيا الفيزيائية Geophysics**

يختص بدراسة ومعرفة التراكيب الجيولوجية المدفونة في باطن الأرض بطرق فيزيائية وذلك باستخدام الوسائل العلمية والتقنيات الحديثة مثل الطرق الكهربائية والمغناطيسية والجاذبية الأرضية والموجات الزلزالية.

**4. الجيولوجيا الكونية Cosmic Geology**

يختص هذا العلم بدراسة أصل الأرض وصلتها بالأجرام السماوية وطبيعة تكوين هذه الأجرام ومقارنتها بطبيعة تكوين الأرض.

**ثالثا: العلوم الخاصة بتاريخ تطور القشرة الأرضية**

وهذه العلوم تعتمد على علم الأحياء وعلم النبات خاصة الكائنات المجهرية ويشتمل على ما يلي:-

**1. علم الطبقات Stratigraphy**

وهو العلم الذي يختص بتوصيف وتحديد الطبقات المختلفة المكونة للقشرة الأرضية، وتحديد الفصول أو الأزمنة التي تعاقبت على كوكب الأرض وطريقة الربط بينها في مختلف بقاع العالم.

**2. علم الأحافير Paleontology**

هو دراسة التركيب والتطور للبقايا العضوية الخاصة بالحيوانات والنباتات التي وجدت مدفونة ومتأخرة في أنواع معينة من الصخور والتي على ضوءها يمكن تقسيم التاريخ الجيولوجي الطويل للأرض إلى أحقاب وعصور وأزمنة.

**3. علم الجيولوجيا التاريخية Historical Geology**

هو العلم الذي يعتمد على علم الطبقات وعلم الأحافير، وهو الذي يبحث في تتابع طبقات الصخور وترتيبها في نظام زمني متسلسل بالنسبة لبعضها البعض، وتحديد البيئات الترسيبية الجيولوجية والجغرافية على ضوء الأحافير والتراكيب الجيولوجية الأولية والثانوية التي تحتوي عليها الصخور.

**4. علم الجيولوجيا البيئية Environmental Geology**

عادة يصنف هذا العلم ضمن العلوم الجيولوجية التطبيقية. وهو العلم الذي يلقي الضوء على طبيعة العلاقة بين الإنسان والعمليات الطبيعية التي تحدث على كوكب الأرض، ويبحث أيضا دراسة البيئات الطبيعية المختلفة وعلاقة الكائنات ببعضها والكوارث البيئية المحتمل حدوثها بسبب الإخلال بالتوازن البيئي ضمن كل نوع منها.

**رابعا: العلوم الجيولوجية الخاصة بدراسة تضاريس سطح الأرض**

وهذه العلوم الجيولوجية تعتمد أساسا على علم الجغرافيا وتتضمن التالي:-

**1. علم المساحة الجيولوجية Geological Surveying**

يختص هذا العلم بتمثيل الأشكال التضاريسية لطبقات الصخور وصفاتها الطبيعية وتركيبها الجيولوجي وعمرها الزمني وذلك ضمن خرائط تطابق الواقع وتمثله.

**2. الاستشعار عن بعد Remote Sensing**

يختص بدراسة واستخدام صور المركبات الفضائية والأقمار الاصطناعية والطائرات التي تلتقط لسطح الأرض وذلك لدراسة التضاريس السطحية وأنواع الصخور والتراكيب الجيولوجية وتوزيع الثروات الطبيعية المعدنية والمائية والنفطية التي تحتوي عليها القشرة الأرضية.

**3. علم الجيومورفولوجيا Geomorphology**

وهو العلم الذي يختص بدراسة تضاريس سطح الأرض الخارجي ضمن البيئات الجيولوجية المختلفة وعلاقتها مع العمليات الأرضية الخارجية والداخلية التي تؤثر على كوكب الأرض.

**خامسا: العلوم الجيولوجية التطبيقية Applied Geological Sciences**

العلوم الجيولوجية التطبيقية هي تلك العلوم التي تهتم الإنسان لأنها تساعد على النهوض بالاقتصاد العام للدول وتحديد مواقع سكنى الإنسان والمواقع الصالحة للزراعة أو إقامة المنشآت الصناعية وتحديد الصورة البدائية والنهائية لأي مدينة في العالم. ومن أهمها ما يلي:-

**1. الجيولوجيا الاقتصادية Economic Geology**

وهو التطبيق العلمي للمعلومات النظرية التي أمكن اكتسابها من دراسة الأقسام المختلفة السابقة للعلوم الجيولوجية المختلفة وذلك في المجالات العلمية والاقتصادية. فهو يتعلق بالأخص بدراسة طرق تواجد وكيفية استغلال الخامات المعدنية مثل الفحم الحجري والبتروول والغاز الطبيعي وأحجار البناء وغيرها من المواد المستغلة في الطاقة والصناعة. وهو أيضا يتعلق بدراسة وجود المياه السطحية والجوفية وطرق تحركها وكيفية استغلالها في التنمية الاقتصادية وفي الزراعة والصناعة والإسكان.

**2. الجيولوجيا الهندسية Engineering Geology**

يختص هذا العلم بدراسة الخواص الميكانيكية والهندسية للصخور المكونة للقشرة الأرضية من أجل إقامة المنشآت الهندسية المختلفة كالمباني والأنفاق والجسور والموانئ والآبار.

**3. جيولوجيا المياه Hydrogeology**

وهو العلم الذي يختص بدراسة وجود المياه السطحية والجوفية وطرق تحركها وطرق استغلالها في التنمية الاقتصادية وفي الزراعة والصناعة والإسكان، والتأثيرات المستقبلية للمياه على الصخور الحاوية لها، وأيضا طرق البحث عن موارد جديدة للمياه الأرضية.

**4. جيولوجيا البترول Petroleum Geology**

هو العلم الذي يتعلق بوجود وأصل تكون البترول والغاز الطبيعي وكيفية تواجدهما في الطبيعة وطرق البحث عنهما وطرق إنتاجهما ومجالات استخداماتهما.

**5. جيولوجيا التعدين Mining**

هو العلم الذي يتعلق بوجود وأصل تكون الخامات المعدنية المختلفة سواء كانت معدنية أو صخرية أو تلك التي تتواجد على هيئة رواسب والتي تكون ذات قيمة اقتصادية، وأيضا معرفة طرق تواجدتها وطرق البحث عنها وكيفية استخدامها اقتصاديا.

## نبذة عن الأرض View of Earth

تعتبر الجيولوجيا الدراسة العلمية لكوكب الأرض الذي هو عبارة عن الكوكب الثالث من المجموعة الشمسية وموطن الإنسان الوحيد. بدأ الإنسان بدراسة كوكب الأرض قبل آلاف السنين، لكن الدراسة الحقيقية المبنية على أساليب وأسس علمية تعتبر حديثة نوعا ما. فالدراسة العلمية لكوكب الأرض بدأت في القرن التاسع عشر (1800 ب. م.) عندما بدأ العلماء بجمع المعلومات الإحصائية والمعلومات الدقيقة عن مكونات الأرض من معادن وصخور وأحافير. واستطاع العلماء من خلال هذه الملاحظات والمعلومات من وضع التصورات المبدئية لتاريخ الأرض عبر العصور وتحديد العمليات المختلفة التي تؤثر على هذا الكوكب.

واستطاع العلماء بعد دراسة الظواهر المختلفة على الأرض والموجودة في الفضاء من معرفة بعض المعلومات المهمة مثل أن الأرض تعتبر الكوكب الثالث قريبا من الشمس فمتوسط المسافة بينها وبين الشمس يساوي 150 مليون كيلومتر، وانها تدور دورة واحدة حول الشمس خلال 365.25 يوما وانها تدور حول نفسها في 24 ساعة تقريبا. وجدول (1) يوضح عدد الكواكب السيارة ضمن المجرة الشمسية وعلاقتها مع بعضها البعض من حيث بعدها عن الشمس والمدة الزمنية التي تقطعها هذه الكواكب خلال حركتها حول الشمس وحول نفسها، بالإضافة إلى طول القطر والكتلة. وهذا الجدول يوضح أنه كلما بعدت الكواكب عن الشمس أصبح زمن السنة الواحدة أطول لأن سرعة دورانها حول الشمس (Orbital Velocity) تصبح قليلة. ويوضح أيضا إن الكواكب البعيدة التي تعرف بالكواكب الخارجية (المشتري، زحل، أورانوس، نبتون) عبارة عن كواكب كبيرة الحجم على ضوء طول أقطارها لكنها أقل كثافة من الكواكب الداخلية.

كما استطاع العلماء الجيولوجيين تحديد طول الأقطار القطبية للأرض وهي تساوي 12713 كيلومتر أما طول قطرها عند خط الاستواء يساوي 12756 كيلومتر. أما مساحة الأرض فتساوي 510 مليون كم<sup>2</sup> ومحيطها يساوي 40008 كم. ومن دراسة الصخور استطاع العلماء تحديد عمر الأرض بما يساوي 4600 مليون سنة تقريبا، وإن الحياة بدأت على كوكب الأرض منذ أكثر من 3000 مليون سنة تقريبا، وحدد العلماء عمر الإنسان من البقايا البشرية خاصة العظام بحوالي 2 مليون سنة أو أكثر. واستطاع الإنسان تحديد أعلى نقطة على سطح الأرض وهي قمة أفريست ضمن جبال الهمالايا في هضبة التبت بحوالي 8850 كيلومتر من سطح البحر، لكن أعرق نقطة على الأرض استطاع العلماء تحديدها بواسطة الدراسات الجيوفيزيائية وهي توجد ضمن المحيط الهادي وتعرف بأخدود ماريانا (Mariana Trench) وتقدر بحوالي 11300 كيلومتر تحت سطح البحر.

جدول 1: معلومات إحصائية عن الكواكب التسعة ضمن المجموعة الشمسية.  
(المصدر: ( Tarbuck and Lutgens, (1996)

| عدد الأقمار المعروفة<br>Number of Known Satellites | التسطح القطبي<br>Polar Flattening % | متوسط الكثافة<br>Average Density (جم/سم <sup>3</sup> ) | الكتلة<br>Relative Mass (الأرض=1) | القطر<br>Diameter (كم) | زمن الدورة الواحدة حول المحور<br>Period of Rotation | سرعة الحركة<br>Orbital Velocity (كم/الثانية) | زمن الدورة الواحدة حول الشمس<br>Period of Revolution | متوسط المسافة بين الشمس والكوكب<br>Distance to sun (مليون كم) | اسم الكوكب<br>Planet Name |
|--|-------------------------------------|--|-----------------------------------|------------------------|---|--|--|---|---------------------------|
| -  | 0.0                                 | 5.4  | 0.06                              | 4878                   | 59 يوم  | 47.5   | 88 يوم   | 58  | عطارد<br>Mercury          |
| -  | 0.0                                 | 5.2  | 0.82                              | 12104                  | 244 يوم   | 35   | 225 يوم  | 108   | الزهرة<br>Venus           |
| 1  | 0.3                                 | 5.5  | 1.00                              | 12756                  | 23 <sup>س</sup> 56 <sup>د</sup> 04 <sup>ث</sup>     | 29.8   | 365.25 يوم   | 150   | الأرض<br>Earth            |
| 2  | 0.5                                 | 3.9  | 0.11                              | 6794                   | 24 <sup>س</sup> 37 <sup>د</sup> 23 <sup>ث</sup>     | 24.1   | 687 يوم  | 228   | المريخ<br>Mars            |
| 16   | 6.7                                 | 1.3  | 317.87                            | 143884                 | 9 <sup>س</sup> 50 <sup>د</sup>                      | 13.1   | 12 سنة   | 778   | المشتري<br>Jupiter        |
| 21   | 10.4                                | 0.7  | 95.14                             | 120536                 | 10 <sup>س</sup> 14 <sup>د</sup>                     | 9.6  | 29.5 سنة   | 1427  | زحل<br>Saturn             |
| 15   | 2.3                                 | 1.2  | 14.56                             | 51118                  | 17 <sup>س</sup> 14 <sup>د</sup>                     | 6.8  | 84 سنة   | 2870  | أورانوس<br>Uranus         |
| 8  | 1.8                                 | 1.7  | 17.21                             | 50530                  | 16 <sup>س</sup> 03 <sup>د</sup>                     | 5.3  | 165 سنة  | 4497  | نبتون<br>Neptune          |
| 1  | 0.0                                 | 1.8  | 0.002                             | 2445                   | 6.4 يوم   | 4.7  | 248 سنة  | 5900  | بلوتو<br>Pluto            |

### الأغلفة التي تحيط بكوكب الأرض

كما أشرنا سابقاً أن كوكب الأرض يحتوي على أربعة مكونات أو أجزاء رئيسية تعرف بالأغلفة وهي: الغلاف الجوي، والغلاف المائي، والغلاف اليابس أو الصخري، والغلاف الحيوي. وهذه الأوساط المختلفة المتمثلة بالغلاف الجوي والغلاف المائي والغلاف الصخري تتفاعل وتتكامل وتتصافر مع بعضها البعض بصورة متزنة من أجل توفير الأمن والسلام للعناصر الحيوية المتمثلة بالمملكة النباتية والحيوانية والإنسان التي يشملها الغلاف الحيوي.

### أولاً: الغلاف الجوي The Atmosphere

الغلاف الجوي عبارة عن غلاف رقيق جداً يتكون من مجموعة من الغازات التي تحيط بالكرة الأرضية وتحفظ به بواسطة جاذبيتها هو الذي يحافظ على وجود الحياة على سطح الأرض. ويمتد الغلاف الجوي إلى 30000-40000 كم تقريباً فوق الغلاف اليابس للأرض، لكن تعتبر أول 10 كيلومترات منه هي الجزء المهم لتأمين الحياة على كوكب الأرض، ويعتبر بخار الماء تقريباً معدوماً بعد 8-18 كم.

ويتكون الغلاف الجوي من مجموعة غازات بعضها أساسية وهي تمثل النسبة العظمى منه وتشتمل على النيتروجين والأكسجين والأرجون وثنائي أكسيد الكربون، ومجموعة أخرى من الغازات التي توجد بنسبة ضئيلة تشتمل على النيون والهليوم والزينون والميثان والهيدروجين وأكسيد النيتروجين وغازات كبريتية والأوزون. وكل هذه الغازات مهمة لتأمين الحياة على سطح الأرض وأي خلل بها يؤدي إلى عواقب وخيمة. ليس فقط الغلاف الجوي يؤمن الغازات اللازمة للحياة على سطح كوكب الأرض لكنه أيضا يحمي الكائنات الحية من الأشعة الشمسية القوية والأشعة فوق البنفسجية الخطرة.

ومكونات الغلاف الجوي تختلف من حيث النسبة من مكان إلى آخر ويعود ذلك لوجود ما يعرف بالهباء الجوي (Aerosols) وبخار الماء. والهباء الجوي عبارة عن قطرات صغيرة من مواد سائلة أو مواد دقيقة تظل عالقة ضمن الغلاف الجوي، فهي إما سائلة مثل قطرات الماء خلال الضباب أو صلبة مثل بلورات الثلج الصغيرة ودقائق الدخان والغبار المتطاير والرماد البركاني المنبعث من البراكين وذرات الملح المتطايرة من البحار.

وتقل كثافة الغلاف الجوي كلما ارتفعنا إلى الأعلى مما يترتب عليه انخفاض الضغط الجوي. ومتوسط الضغط الجوي عند سطح الأرض يساوي 1013 ملليبار. أما كتلة الغلاف الجوي فتساوي  $5.29 \times 10^{18}$  كيلوجرام مقارنة بكتلة الأرض التي تساوي  $5.98 \times 10^{24}$  كيلوجرام ومجموع كتلة البحار والمحيطات التي تساوي  $1.35 \times 10^{21}$  كيلوجرام.

واستدل العلماء على أن تبادل الطاقة المستمر بين الغلاف الجوي وسطح الأرض الخارجي وبين الغلاف الجوي والفضاء الخارجي يؤدي إلى حدوث ما يعرف بمظاهر الطقس (Weather) وهي مجموعة ظواهر تحفز عمليات التجوية والتعرية المسؤولة عن تغير سطح الأرض الخارجي. ومن المعروف أنه من غير عمليات التجوية والتعرية التي تنشأ بسبب مظاهر الطقس يمكن أن يكون كوكب الأرض مشابهاً لسطح القمر الذي لم يتغير منذ 3 بلايين سنة تقريبا.

تأثر الغلاف الجوي بعدة مراحل تطور ساهمت بظهوره بالشكل والمحتوى الحالي كما هو الحال بالنسبة للتطور الذي حصل للأرض خلال الزمن. وكما ذكرنا سابقاً إنه أثناء تطور كوكب الأرض مر ضمن مرحلة بدأ خلالها بفقد العناصر الخفيفة مثل النيتروجين والأرجون والهيدروجين والنيون والهليوم بواسطة الرياح الكونية العالية السرعة أو بواسطة سقوط الشهب والنيازك عليها. وأدى ذلك إلى فقد كميات هائلة من هذه العناصر خاصة تلك الموجودة ضمن الغلاف الرقيق الواقى لها أو ما يعرف آنذاك بالغلاف الجوي الابتدائي (Primary Atmosphere). لكن شيئاً فشيئاً بدأ كوكب الأرض بتوليد أو خلق غلاف جوي جديد وعرف بالغلاف الجوي الثاني (Secondary Atmosphere) وذلك عن طريق هروب الغازات المحبوسة ضمن النطاقات الصخرية للكوكب. وتشير الدلائل على أنه قبل 4 بلايين سنة تقريبا كان الغلاف الجوي مختلف من حيث طبيعته الكيميائية عن ما هو عليه الآن. فقد كان يحتوي أساساً على بخار الماء وثنائي أكسيد الكربون والنيتروجين مع نسبة ضئيلة من المركبات الكبريتية وكلوريد الهيدروجين. ولم يكن الغلاف الجوي يحتوي على الأكسجين الحر والمهم جداً لتأمين الحياة على سطح الكوكب. وأيضاً كان الغلاف الجوي حار جداً مع العلم بأن درجة سطوع الشمس (Degree of Brightness) كانت أقل، ويرجع سبب ارتفاع درجة حرارة الغلاف الجوي لوجود كميات كبيرة من الغازات الإشعاعية النشطة (Radiatively active gasses) الماصة للحرارة وهي المسؤولة عن حبس الحرارة قريباً من سطح الأرض. لذلك كانت الحرارة العالية للغلاف الجوي العامل الأساسي الذي أدى إلى عدم تكون البحار والمحيطات آنذاك. كما تدل الدراسات على أن الضغط الجوي قبل 4 بلايين سنة تقريبا كان أعلى بكثير عما هو عليه الآن، لذلك لم تكن الأرض صالحة للحياة آنذاك.



## أنطقة الغلاف الجوي

عند اختراق أشعة الشمس للغلاف الجوي فإن بعضاً من موجاتها سوف يمتص من قبل بخار الماء العالق بالجو وبواسطة بعض من الغازات مما يؤدي إلى تسخين أو ارتفاع درجة حرارة سطح الأرض والغلاف الجوي معاً. لهذا السبب تعتبر درجة حرارة الجو هي العامل الأساسي الذي يحدد حالة الغلاف الجوي وبناءاً عليه تم تقسيم الغلاف الجوي إلى عدة أنطقة. ويرى العلماء أن الغلاف الجوي يتكون من عدة نطاقات وكل نطاق له بصمته الحرارية الخاصة به وإن هذه النطاقات مفصولة عن بعضها البعض بحدود انفصال حرارية (pauses). وتختلف هذه النطاقات عن بعضها البعض بنسبة الغازات ونوعها وطبيعة الظواهر الجوية فيها، وكل نطاق له أهميته الخاصة. فتتذبذب درجات الحرارة ضمن كل نطاق ويقل الضغط الجوي كلما ارتفعنا إلى الأعلى. هذه النطاقات مقسمة إلى التالي من الأسفل إلى الأعلى ضمن الغلاف الجوي: (1) نطاق التروبوسفير، (2) نطاق الستراتوسفير، (3) نطاق الميزوسفير، (4) نطاق الأيونوسفير، (5) نطاق الثيرموسفير، (6) نطاق الإكسوسفير، (7) نطاق المغنيتوسفير. معظم العلماء اجتمعوا في تحديد وتسمية الأنطقة الثلاثة الأولى من الغلاف الجوي، لكنهم اختلفوا في تحديد النطاقات الأخيرة من الغلاف الجوي فالبعض يطلق عليهم جميعاً نطاق الثيرموسفير والبعض الآخر يطلق عليهم نطاق الأيونوسفير.

## 1. نطاق التروبوسفير Troposphere

وهو أول غلاف يحيط بالكرة الأرضية ويمتد من سطح الأرض وحتى ارتفاع 15 كيلومتر تقريباً، ويتراوح سمكه ما بين 5-15 كم تقريباً اعتماداً على الموقع سواء كان مغلفاً للمحيطات أو القارات. ويعيش الإنسان ضمن القسم السفلي من نطاق التروبوسفير، ولكن تعتبر أول 10 كيلومترات منه هي الجزء المهم لتأمين الحياة على كوكب الأرض. ويحتوي التروبوسفير على 80% من مجموع كتلة الغازات المكونة للغلاف الجوي، خاصة جميع مكونات الغلاف الجوي من سحب وبخار الماء. وجميع مظاهر الطقس والمناخ تقريباً تنشأ من هذا النطاق وهو دائم الحركة ويخلط جيداً بواسطة الرياح الدائمة الحركة.

ويحتوي التروبوسفير على معظم الغازات التي بإمكانها امتصاص أشعة الشمس أو الحرارة الشمسية وهي تعرف بالغازات الإشعاعية النشطة (Radiatively active gasses) أو ما يعرف بغازات المنزل الزجاجي (Greenhouse gasses) التي تؤدي إلى ارتفاع حرارة سطح الأرض الخارجي، فإن نسبة 30% من مجموع الأشعة الساقطة على كوكب الأرض تنعكس مرة أخرى إلى الفضاء بواسطة السحب أو مياه البحار والمحيطات، ونسبة 70% الباقية منها تمتص بواسطة الغلاف الجوي والبحار والمحيطات واليابسة والغلاف الحيوي. وتتحوّل معظم الأشعة الشمسية الممتصة إلى طاقة حرارية (Thermal Heat) ضمن المواد التي تمتصها وبعضها يتحوّل إلى طاقة كيميائية بواسطة عملية البناء الضوئي التي يقوم بها النبات. لكن بالنهاية كل هذه الطاقة الممتصة سوف تنعكس مرة أخرى إلى الفضاء على هيئة موجات إشعاعية طويلة الموجة تعرف بالموجات تحت الحمراء (Infrared radiation)، وخلال انعكاسها سوف تلاقى بعض الغازات الإشعاعية النشطة التي تؤدي إلى تباطؤ عملية انعكاسها وهروبها إلى الفضاء مما يؤدي إلى احتفاظ طبقات الجو السفلية ضمن نطاق التروبوسفير بالحرارة لمدة طويلة. هذه العملية هي التي تسبب ارتفاع درجات حرارة سطح الأرض إلى معدلات غير طبيعية وغير معتادة التي تعرف عالمياً بالتأثير الحراري للبيت الزجاجي (Greenhouse Effect)، وهي المسؤولة عن جعل كوكب الأرض مناسب للحياة فبدونها سوف يصبح سطح كوكب الأرض بارداً جداً وغير ملائم لحياة معظم الكائنات الحية وخاصة الإنسان.

## 2. نطاق الستراتوسفير Stratosphere

الستراتوسفير تعني النطاق المقسم إلى رقائق أو أغلفة، ويحتوي نطاق الستراتوسفير على 19% فقط من كتلة الغلاف الجوي، مع العلم بأنها تعتبر نسبة ضئيلة مقارنةً بالتروبوسفير لكنها تلعب دوراً مهماً في الحفاظ على الحياة على كوكب الأرض. ويصل ارتفاع نطاق الستراتوسفير إلى 50 كيلومتر فوق سطح الأرض وتكمن أهميته بوجود طبقة رقيقة من غاز الأوزون (Ozone layer) ضمنه. والحد الفاصل بين نطاق الستراتوسفير ونطاق التروبوسفير يعرف بحد الانفصال الحراري التروبوزي.

ومما هو جدير بالعلم أن الأنماط المختلفة للأكسجين بإمكانها امتصاص الأشعة فوق بنفسجية الضارة، لذلك فالأكسجين على هيئة (O) الموجود ضمن النطاق الخامس (الثيرموسفير) يمتص الموجات القصيرة من الأشعة فوق بنفسجية. لكن الأكسجين على هيئة (O<sub>2</sub>) والموجود ضمن النطاق الثالث (الميزوسفير) فيمتص الموجات المتوسطة الطول من الأشعة فوق بنفسجية. أما الأكسجين على هيئة (O<sub>3</sub>) والمعروف بالأوزون وهو الموجود ضمن نطاق الستراتوسفير فيمتص الموجات الطويلة من الأشعة فوق بنفسجية التي تتراوح بين 0.2-0.3 مايكروميتر بالطول. وهذه الموجات تعتبر أكبر خطورة من الموجات فوق بنفسجية الأخرى لأنها تسبب مرض سرطان الجلد، ويوجد نطاق الأوزون على ارتفاع 25 كيلومتر من سطح الأرض.

## 3. نطاق الميزوسفير Mesosphere

يمتد نطاق الميزوسفير بين 50 - 80 كيلومتر فوق سطح الأرض، أي بسمك 30 كيلومتر (شكل 1-5). وتنخفض درجة حرارة الميزوسفير إلى حوالي 90° مئوية تحت الصفر عند أقصى ارتفاع له (80 كيلومتر فوق سطح الأرض) والذي يعرف بالحد الحراري الانفصالي الستراتوبوزي. ويتميز نطاق الميزوسفير بوصول كمية قليلة من بخار الماء الهاربة من النطاقات الأسفل منه، وهذا البخار يتكثف سريعاً بسبب انخفاض درجة الحرارة ضمن هذا النطاق مكوناً سحب ليلية رقيقة. وأيضاً الأكسجين الموجود على هيئة (O<sub>2</sub>) ضمن نطاق الميزوسفير يمتص الموجات المتوسطة الطول من الأشعة فوق بنفسجية الضارة.

## 4. نطاق الأيونوسفير Ionosphere

يبدأ هذا النطاق عند ارتفاع 80 كيلومتر فوق سطح الأرض بعد نطاق الميزوسفير، ويعرف الحد الفاصل بينه وبين الميزوسفير بالحد الحراري الانفصالي الميزوبوزي. عند هذه الارتفاعات التي يقع ضمنها الأيونوسفير، أي بعد 80 كيلومتر فوق سطح الأرض، تعمل الأشعة فوق بنفسجية الممتصة بالإضافة إلى الإشعاعات الكونية على فصل الإلكترونات السالبة الشحنة من ذرات الأكسجين ومركبات النيتروجين، وهذا التأين يؤدي إلى ظهور بما يعرف بظاهرة الشفق القطبي الشمالي وظاهرة الشفق القطبي الجنوبي.

## 5. نطاق الثيرموسفير Thermosphere

يتميز الثيرموسفير بارتفاع وازدياد حراري عالي يصل إلى 300° مئوية عن النطاق الأسفل منه وهو نطاق الأيونوسفير (شكل 1-5)، واحتوائه على الأكسجين الموجود على هيئة (O) الذي يمتص الموجات القصيرة من الأشعة فوق بنفسجية الضارة. مع العلم بأن عند هذه الارتفاعات التي يقع ضمنها الثيرموسفير توجد نسبة بسيطة من الجزيئات الغازية التي تساهم بالحفاظ على الحرارة، فإن الحرارة العالية للثيرموسفير تعود إلى عدم استطاعة هذه الجزيئات الغازية من بعث الموجات القصيرة الإشعاعية (الفوق بنفسجية) التي امتصتها من الشمس على هيئة إشعاعات طويلة الموجة (تحت حمراء).

**6. نطاق الاكسوسفير Exosphere**

ويميز هذا النطاق الهروب المستمر للجزيئات الغازية الخفيفة إلى الفضاء الخارجي. وكما ذكرنا سابقا بأنه ضمن مراحل تطور الأرض والغلاف الجوي كانت ومازالت الجزيئات الخفيفة تقوم بالهروب من سطح الأرض والغلاف الجوي مخلفة ورائها الجزيئات الأثقل منها مثل النيتروجين والأكسجين.

**7. نطاق الماغنتوسفير Magnetosphere**

يعتبر الماغنتوسفير النطاق الخارجي الأخير من الغلاف الجوي وهو يشغل القسم الأكبر من حجم الغلاف الجوي، وهو الجزء الذي يتأثر بصورة كبيرة بمجال جاذبية الأرض. ومع العلم بأنه يبعد آلاف الكيلومترات من سطح الأرض لكنه يؤثر تأثيرا مباشرا على حالة الطقس على سطح كوكب الأرض.

**ثانيا: الغلاف المائي Hydrosphere**

يطلق اسم الغلاف المائي على جميع المياه الطبيعية التي تغطي سطح الكرة الأرضية وهي تتميز بحركة مستمرة غير منتهية. ان مجموع المياه على سطح الأرض يعتبر هائل جدا ويقدر بحوالي 1.36 بليون كيلومتر مكعب، وهو يغطي حوالي 72% من الكرة الأرضية. والنسبة العظمى من المياه التي يشمل عليها الغلاف المائي والتي تقدر بحوالي 97.2% توجد على هيئة بحار ومحيطات، أما النسبة الباقية منها والتي تساوي 2.8% فتتواجد على هيئة بحيرات مالحة وعذبة وأنهار وكتل جليدية قارية وماء جوفي وبخار ماء عالق بالتربة أو بالغلاف الجوي. أن هذه النسب قليلة جدا خاصة للمياه الأرضية لكنها تحتوي على كميات هائلة من المياه، وهي تعتبر على درجة عالية من الأهمية خاصة لأنها بالإضافة إلى إمداد الكائنات الحية بالمياه العذبة اللازمة للحياة فأنها المسؤولة الأولى عن عملية نحت وتشكيل التضاريس السطحية المختلفة لكوكب الأرض.

اعتمادا على طريقة تواجد الماء في الطبيعة فإن المياه السطحية والجوفية توجد على حالات مختلفة تشتمل على الحالة الصلبة ويوجد الماء هنا على هيئة جليد أو ثلج، والحالة السائلة إما في وضع ساكن أو متحرك ويوجد على هيئة مياه عذبة أو مالحة أو قليلة الملوحة أو شديدة الملوحة، ويتواجد أيضا على حالة غازية على هيئة بخار ماء عالق بالجو أو ضمن مسامات التربة. ومعظم بخار الماء العالق بالجو والذي يشكل لنا بالنهاية السحب والأمطار مصدره الرئيسي هو البحار والمحيطات الشاسعة التي تغطي كوكب الأرض. لذلك فإن البحار والمحيطات على درجة عالية من الأهمية خاصة بتحفيز دورة الماء في الطبيعة. بالإضافة إلى أنها تحتوي ما نسبته 3.5% من وزنها على الأملاح الأساسية الذائبة ويشكل كلوريد الصوديوم 77.7% من مجموع الأملاح الذائبة.

إن الحركة الدائمة المستمرة للبحار والمحيطات تساهم أيضا في خلق مظاهر الطقس المختلفة حول العالم وأيضا تمد الإنسان بالغذاء ومصادر اقتصادية كثيرة. وتعود الحركة المستمرة للمحيطات والبحار أولا لاختلاف درجة حرارة الشمس على الكرة الأرضية مما يؤدي إلى اختلاف درجة حرارة الكتل الهوائية الملامسة لمياه البحار والمحيطات، وثانيا لجاذبية القمر والشمس التي تؤدي إلى حصول ظاهرة المد والجزر، وأخيرا بسبب دوران الأرض حول نفسها.

دورة الماء في الطبيعة (Hydrologic Cycle) ما هي إلا دورة متصلة مغلقة وغير منتهية لحركة المياه التي تعتمد بصورة أساسية على الطاقة الشمسية، وحيث يكون الغلاف الجوي هو حلقة الوصل المهمة بين المحيطات والقارات (شكل 1-7). وتندرج ضمن دورة الماء في الطبيعة عدة عمليات تساعد على تلك الحركة المستمرة وتؤدي إلى رجوع الماء مرة أخرى إلى مصدره الأساسي الذي ابتدأ منه ألا وهو البحار والمحيطات.

## العمليات المصاحبة لدورة الماء في الطبيعة

## 1. التبخر Evaporation

تبدأ دورة الماء بعملية تبخر الماء الموجود ضمن البحار والمحيطات (المصدر الأساسي للمياه) والماء الموجود على القارات بشكل بحيرات، وأنهار، ومياه مصاحبة للتربة، وغيرها من المصادر الطبيعية وغير الطبيعية بواسطة الحرارة القادمة من الشمس. وهنا يتحول الماء من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية. ثم يحمل الهواء ذلك البخار المتشكل إلى مسافات شاسعة حتى تبدأ العملية المعقدة التي تشكل السحب، وهي تعتمد على درجة الحرارة والضغط الجوي والرطوبة الجوية للجو.

## 2. التكثيف Condensation

بعد انتقال بخار الماء إلى طبقات جوية باردة يبدأ هذا البخار بالتكثف أي التحول من الحالة الغازية إلى الحالة السائلة أو الصلبة لتشكل السحب المختلفة. ثم تنتقل هذه السحب إلى مناطق مختلفة اعتمادا على درجات الحرارة، واتجاه الرياح، ودرجات الضغط الجوي.

## 3. سقوط المطر Precipitation

تنتقل السحب إلى مناطق أخرى خلال مسافات شاسعة وعندما تصل إلى مرحلة التشبع تهطل مكونات السحب على هيئة مطر أو جليد أو بَرَد. عند هطول المطر على البحار والمحيطات تنتهي دورة هذا الماء، وعند تبخيره مرة أخرى تبدأ الدورة من جديد. أما عندما يسقط المطر على المناطق القارية فيسلك عدة مسالك حتى يصل بالنهاية إلى المحيطات والبحار. ويعتمد مسلك الماء على عدة عوامل منها: الطقس، التضاريس، وجود الغطاء النباتي، وطبيعة الصخور المكونة للقشرة الأرضية. لذلك فإن المطر بعد سقوطه يسلك المسالك التالية:-

أ. **التسرب (Infiltration):** تتغلغل مياه الأمطار إلى داخل الأرض من خلال المسامات والشقوق أو لا بحركة رأسية إلى الأسفل، ومن ثم بحركة جانبية حتى تصل إلى المياه الجوفية ومن ثم إلى البحار والبحيرات والمحيطات. ويعتمد معدل التسرب (معدل امتصاص التربة للماء Infiltration Capacity) على كمية الأمطار والمدة التي هطلت فيها الأمطار، وحالة الجفاف والرطوبة للتربة قبل سقوط المطر، ونسيج التربة هل هو مسامي أو مضغوط، ودرجة ميل السطح، ودرجة كثافة الغطاء النباتي.

ب. **الجريان السطحي (Surface Runoff):** عندما يكون معدل سقوط المطر أعلى من معدل الامتصاص للتربة بالتالي يجري الماء على السطح حتى يصل إلى المحيطات والبحار بدلا من التغلغل أو التسرب إلى داخل الأرض. ويعتمد معدل الجريان السطحي أيضا على العوامل السابقة وهي: كمية الأمطار والمدة التي هطلت فيها، وحالة الجفاف والرطوبة للتربة قبل سقوط المطر، ونسيج التربة هل هو مسامي أو مضغوط، ودرجة ميل السطح، وكثافة الغطاء النباتي. ان جريان الماء على سطح الأرض يؤدي بالنهاية إلى وجود التجمعات المائية في المناطق المنخفضة من الأرض مثل الأحواض، وأيضا جريان الماء المؤقت في مجاري السيول خاصة في المناطق الجافة أو شبه الجافة. كما يحدث أيضا في هذه المناطق الجافة أو شبه الجافة انجراف للتربة السطحية بسبب قلة أو عدم وجود الغطاء النباتي، وتجمع هذه الرواسب على قاع المنخفضات أو قيعان السيول أو على شكل مراوح ترسيبية على جوانب المناطق الجبلية بعد انقطاع المطر. أما في المناطق المعتدلة فجران الماء يؤدي إلى ارتفاع منسوب الأنهار والبحيرات الدائمة لأنه مصدر تغذيتها. ومعظم الماء المتسرب إلى داخل الأرض أو الجاري على سطح الأرض يعود مرة أخرى إلى الغلاف الجوي على هيئة بخار ماء بواسطة عملية التبخر، وبعضه الآخر يصل إلى البحار والمحيطات على هيئة مياه بواسطة المياه الجوفية أو الأنهار والسيول. لكن نسبة بسيطة تعود مرة أخرى إلى الغلاف الجوي على هيئة بخار ماء لكن عن طريق النبات.

ج. **النتح (Transpiration):** تقوم النباتات بامتصاص الماء المتسرب إلى داخل التربة للاستفادة منه بعملية البناء الضوئي، ومن ثم تحريره على هيئة بخار ماء. فمعدل النتح يعتمد على درجة كثافة الغطاء النباتي،

فكلما زادت كثافة الغطاء النباتي زاد معدل امتصاص الماء المتسرب إلى طبقات التربة مما يؤدي إلى زيادة معدل النتح. ومعدل النتح أيضا يعتمد على كمية الضوء أي عدد ساعات النهار واختلافها بين فصول السنة. ويعتمد النتح أيضا على نوع الغطاء النباتي، فمثلا في كل سنة يستطيع حقل من المحاصيل الزراعية أن ينتج طبقة من الماء بعمق 60 سنتيمتر تقريبا تغطي الحقل بأجمعه بواسطة عملية النتح، لكن الغابات تنتج ضعف هذه الكمية من الماء خلال السنة الواحدة.

### المياه السطحية (الجارية) Running Water

هي المياه التي تجري على سطح الأرض على هيئة أنهار متخذة طريقها مع انحدار الأرض حتى تصل إلى البحيرات والبحار والمحيطات. ويعتمد الإنسان على الأنهار لأنها مصدر مهم للطاقة، والترحال، والزراعة. والأنهار عبارة عن جريان الماء على سطح الأرض داخل قنوات محددة ذات أحجام مختلفة من حيث العمق والعرض والطول. وتختلف الأشكال النهرية اعتمادا على طبيعة التضاريس الأرضية وتوجد أشكال كثيرة أهمها الشكل الشجري والشكل الشعاعي والشكل المستطيل والشكل الشعري. بالإضافة إلى ذلك تختلف التضاريس الأرضية والطبيعة جريان النهر والمميزات الفيزيائية للأنهار وعمليات النحت والترسيب على المرحلة التي وصل إليها النهر في التطور. في المراحل الأولى لتشكل النهر عادة يعرف بها بأنها مرحلة الشباب، ثم تليها مراحل النضوج البدائية والأخيرة، ثم بالنهاية مرحلة الكهولة.

### أنواع الحمولة النهرية:-

تنقل الأنهار حمولتها من المواد المنحوتة (الفتات الصخري) على الأشكال التالية:-

#### 1. الحمولة الذائبة Dissolved Load .

وهي تشمل جميع المعادن الذائبة التي نتجت بسبب التجوية الكيميائية للصخور المكشوفة على سطح الأرض. وهي تتضمن كربونات الكالسيوم وأكسيد السيليكون وكربونات البوتاسيوم والمائية وكبريتات الكالسيوم وكلوريد الصوديوم وكلوريد المغنيسيوم وأملاح مذابة أخرى. وهذه الحمولة لا ترى بالعين لكن تحدد كمياتها بواسطة التجارب الجيوكيميائية. تترسب هذه الحمولة ضمن البحار بعد وصول مياه الأنهار واختلاطها مع البحار، وتكون طريقة الترسيب إما كيميائية أو كيميائية عضوية. والبعض منها يترسب ضمن الأنهار بطرق كيميائية عضوية عن طريق تكوين لؤلؤ المياه العذبة وأيضا امتصاصها من قبل الكائنات لبناء هيكلها الداخلية والخارجية.

#### 2. الحمولة العالقة Suspended Load .

وهي الفتات الصخري المحمول بالماء فوق قاع النهر. ويشمل جميع الحبيبات المحيرية التي تساوي الحجم الطيني والغريني (أقل من أو يساوي 0.063 mm). فهي تشمل المعادن الطينية وأكاسيد الحديد المختلفة وحتى حبيبات الكوارتز ذات الحجم الغريني وبلورات المايكا والمعادن الثمينة مثل الذهب والفضة الدقيق الحجم. وتترسب هذه الحمولة عادة على الضفاف النهرية أو ضمن الدالات الترسيبية وأيضا ضمن البحار.

#### 3. الحمولة المجرورة Traction or Bed Load .

وهي الفتات الصخري المحمول على قاع النهر وللذي يزيد حجمه عن (0.063 mm)، فهي تشمل جميع الحبيبات ذات الأحجام الرملية والجلاميدية مثل حبيبات الكوارتز والفتات الصخري وحتى حصية من الأحجار الكريمة. وتترسب الحمولة المجرورة ضمن المجاري النهرية عندما تقل سرعة النهر أو على الضفاف بعد الفيضانات النهرية خاصة الرملية والحصوية منها. وتعتمد طريقة انتقال هذه الحبيبات على الحجم والشكل الخارجي. فالحجم الرملية ينتقل على طريقة القفز، أما الأحجام الجلاميدية فتنتقل على طريقة الدرج أو الانزلاق على قاع النهر.

### ثالثاً: الغلاف الصخري The Solid Earth

يقع الغلاف الصخري للأرض أسفل الغلاف الهوائي والمائي، وتنصب معظم الدراسات على السطح الخارجي المكشوف منه وذلك لتحديد تضاريسه المختلفة التي ما هي إلا امتداد لما يقع في جوف الأرض من حركات أرضية أدت إلى وجود تلك التشوّهات الأرضية. هذه التضاريس الخارجية والتشوّهات الباطنية للأرض ساهمت في الحصول على أدلة مهمة بإمكانها تفسير ما حصل للأرض منذ بدء نشأتها وحتى الوقت الحاضر. وقد أتاحت الدراسات الجيوفيزيائية الحديثة خاصة تلك التي تختص بدراسة سرعة الموجات الزلزالية بالإضافة إلى الدراسات المختبرية الفرصة للعلماء للحصول على المعلومات المهمة عن مكونات الغلاف الصخري للأرض وتقسيمه إلى عدة نطاقات. كما ساهم رصد درجة حرارة العيون المائية الحارة وحرارة المناجم والآبار العميقة بالإضافة إلى دراسة البراكين ساهمت أيضاً في الحصول على معلومات مهمة عن باطن الأرض خاصة اختلاف درجات الحرارة بين سطح الأرض الخارجي وباطن الأرض واحتمال وجود انصهار للمواد المكونة للأرض واندفاعها على هيئة حمم مصهورة باتجاه سطح الأرض الخارجي. لكن بعد استحداث وتطور نظرية الصفائح التكتونية أو ما يعرف بنظرية ترحل القارات (Plate Tectonics) تم تطوير تقسيم تلك النطاقات وأيضاً وضع تصورات جديدة عن مكونات الأنطقة المختلفة وحالة تواجدتها. وقد قام العلماء باستحداث الأسماء الجديدة وهي الليثوسفير (Lithosphere) ويعني النطاق الصلب، والأستينوسفير (Asthenosphere) ويعني النطاق اللدن الشبه صلب.

#### 1. القشرة الأرضية The Crust

وهي تعتبر الغلاف الرقيق الذي يغلف الكرة الأرضية من الخارج، ويحتوي على صخور ذات طبيعة صلبة تتكون من جميع أنواع الصخور المعروفة (النارية، الرسوبية، المتحولة). ويصل متوسط سمك القشرة الأرضية إلى حوالي 20 كيلومتر، وهذا الرقم يؤهلها لأن تكون أرق نطاقات الأرض بحيث يمكن تشبيهه بقشرة البيضة الرقيقة التي تحيط بالمحتوى الداخلي (الزلال والمج) واللذان بدورهما يمكن تشبيههما بالنطاقات الأخرى الداخلية للأرض (الوشاح واللب). ومع أن سمك القشرة الأرضية رقيق جداً لكنه يحتوي على كثير من الاختلافات خاصة من حيث الطبيعة الفيزيائية للصخور المكونة له وأيضاً اختلافات في سمك النطاق. وعلى ذلك قسمت القشرة الأرضية إلى قسمين هما القشرة المكونة للقارات أو القشرة القارية والقشرة المكونة للمحيطات أو القشرة المحيطية.

**القشرة القارية** عبارة عن النطاق الصخري الصلب المكون للقارات المكشوفة. ويصل سمك هذه القشرة القارية إلى حوالي 30 كيلومتر لكنه يزيد عن ذلك ضمن المناطق الجبلية، حيث وجد العلماء أن سمك القشرة القارية يصل إلى 60 كيلومتر أسفل السلاسل الجبلية الشاهقة الارتفاع. والقشرة القارية تعتبر طبقة صخرية صلبة تحتوي على صخور منخفضة الكثافة (2.7 أعلى من كثافة الماء) معظمها صخور نارية حمضية تعرف بصخور الجرانيت وصخور رسوبية مختلفة وقليل من الصخور المتحولة. ومتوسط ارتفاع القشرة القارية يساوي 4640 متر فوق سطح البحر وذلك يرجع لاحتوائها على صخور قليلة الكثافة. لذلك تعرف القشرة المكونة للقارات بطبقة السيل (Sial) ويعني الصخور الغنية بالسيليكون (Silicon) والألمونيوم (Aluminum).

**القشرة المحيطية** عبارة عن الطبقة الصخرية المكونة لقيعان المحيطات وهي أقل سمكاً من القشرة القارية لكن على درجة عالية من الكثافة، لأنها تحتوي على صخور صلبة نارية قاعدية من البازلت والجابرو. ويتراوح متوسط سمك القشرة المحيطية بين 5-7 كيلومتر تقريباً. ويغطي الصخور النارية غشاء رقيق من الصخور الرسوبية التي تتكون ضمن البحار والمحيطات. وتعرف القشرة المحيطية بطبقة السيم (Sima) لاحتوائها على معادن سيليكاتية غنية بعنصري الحديد والمغنيسيوم والتي تعرف بالمعادن السيليكاتية المافية

(Mafic Silicates). ويعتقد معظم البشر بأن قاع المحيطات ما هو إلا سطح أملس مستوي لا يحتوي على تضاريس اللهم إلا من بعض الجبال البركانية المتفرقة أحيانا. لكن الدراسات الجيوفيزيائية الحديثة ووصول الغواصات سواء كانت البشرية أو الآلية إلى أعماق مختلفة من البحار والمحيطات، أتاح الفرصة لمعرفة معلومات جديدة عن قيعان البحار والمحيطات التي ظلت غامضة إلى وقت قريب. فهذه الدراسات أكدت احتواء قيعان المحيطات والبحار على تضاريس شبيهة بتلك الموجودة على القارات. ولعل من أكثر التضاريس البحرية تميزا هو السلاسل الجبلية العالية الارتفاع المتصلة والممتدة إلى مسافات طويلة حول الكرة الأرضية، ويتراوح طولها بحوالي 65000 كيلومتر تقريبا. وتعرف تلك السلاسل الجبلية بأعراف الجبال المنصفة للمحيطات (Mid Oceanic Ridges) وهي تختلف عن الجبال القارية من حيث المكونات وطبيعة التشكل. فهي تتكون من طبقات متتابعة من الصخور النارية القاعدية الصلبة التي كانت يوما ما صخور مصهورة خرجت من باطن الأرض وملأت الشقوق الموجودة على قاع المحيط ثم تصدعت وارتفعت إلى الأعلى.

كما تحتوي قيعان المحيطات أيضا على أخاديد عميقة جدا (Trenches) يتراوح عمقها بين 10 إلى 11.3 كيلومتر تقريبا تحت مستوى سطح البحر. وهذه الأخاديد العميقة لم تتكون نتيجة للتعرية والتجوية كما هي طريقة تكون الأخاديد الأرضية، لكن تشكلت بسبب تصادم الألواح الصخرية القارية مع الألواح الصخرية المحيطية، أو بسبب تصادم الألواح المحيطية معا. فمثلا يعتبر كل من أخدود ماريانا (Mariana Trench) والأخدود الأليوشي (Aleutian Trench) وأخدود تونجا (Tonga Trench) المتواجدة ضمن المحيط الهادي نتاجا للتصادم العنيف بين الألواح الصخرية المحيطية، وهي موجودة على حدود الجزر البركانية القوسية. ويعتبر كل من أخدود بيرو-شيلي (Peru-Chile Trench) وأخدود أمريكا الوسطى (Central America Trench) نتاج التصادم العنيف بين الألواح المحيطية والألواح القارية.

### العمليات الداخلية للأرض

#### Earth Internal Processes

تتأثر الأرض بنوعين من العمليات أو القوى التي تؤثر على مكونات القشرة الأرضية وتشكل التضاريس الأرضية المختلفة، وهي تعرف بالعمليات أو القوى الخارجية (Exogenetic Processes) والعمليات أو القوى الداخلية (Endogenetic Processes). والعمليات الخارجية عبارة عن القوى المؤثرة المختلفة التي تنشأ فوق سطح الأرض نتيجة لتفاعل الأغلفة المكونة للأرض مع بعضها البعض، ومهمتها تشكيل سطح القشرة الأرضية لتكوين ظواهر تضاريسية مختلفة بفعل عمليات النحت والنقل والترسيب. وهذه العمليات الخارجية تقسم إلى نوعين رئيسيين هما: (1) التجوية (Weathering) وتشتمل على عمليات التجوية الكيميائية والفيزيائية، (2) التعرية (Erosion) وتشمل آثار فعل عوامل التعرية المختلفة مثل التعرية النهرية والبحرية والجليدية والهوائية على المكونات التي نتجت من عمليات التجوية المختلفة.

أما العمليات الداخلية للأرض فهي عبارة عن القوى المختلفة التي تنشأ في باطن الأرض وتؤثر في تشكيل سطح الأرض الخارجي. وهي إما أن تكون فجائية سريعة الحدوث مثل البراكين والزلازل أو بطيئة وتدرجية قد تستغرق مئات الملايين من السنين حتى يلاحظ تأثيرها على القشرة الأرضية. والقوى الداخلية البطيئة تتمثل بحركة الصفائح التكتونية وما يصاحبها من ثني وتصدع في القشرة الأرضية وولادة الجزر والبراكين والجبال شاهقة الارتفاع والأخاديد العميقة على القشرة الأرضية سواء كانت محيطية أو قارية.

## أولاً: نظرية الصفائح التكتونية أو الانجراف القاري Plate Tectonics

كان معظم الجيولوجيين وحتى بداية القرن العشرين يؤمنون بالمصطلح الجغرافي الذي ينص على ديمومة البحار والمحيطات، أي أنها لا تتغير مع مرور الزمان. فكانوا يعتقدون أن الجبال نتجت بسبب تقلص الأرض وانكماشها نتيجة للتبريد التدريجي لمكوناتها الداخلية التي كانت مصهورة. وهذا التبريد أدى إلى تشوه الغلاف الصخري الرقيق للأرض ونتاج عنه انثناءات في الصخور مكونة بذلك السلاسل الجبلية المرتفعة. تماماً كما يحدث لأي قطعة من الفواكه عندما تترك لمدة حتى تجف، فهذا سوف يؤدي إلى تكون تجعدات سطحية ضمن قشرتها. وطور العلماء هذا المفهوم حتى يستطيعون تفسير كيفية وجود البحار والمحيطات. وينص هذا المفهوم على أن المناطق التي نشأت بين التجاعيد (الجبال الشاهقة) كانت مناطق منخفضة امتلأت بالماء مكونة بذلك البحار والمحيطات.

لكن بعد ذلك ونتيجة لتطور العلم وأساليب البحث العلمي بدأ العلماء بتقصي حقائق جديدة، واستطاعوا في وقت قصير أن يحصلوا على معلومات دقيقة عن الأرض أدت إلى نقلة علمية نوعية للمفهوم العام حول كوكب الأرض. فالمعلومات الجديدة أثبتت أن الأجزاء الصلبة الظاهرة على الأرض (القارات) ليست ثابتة بل متحركة، فهي تهجر عبر الكرة الأرضية، وإن انفصال القارات أدى إلى تكون المحيطات والبحار، وإن قيعان المحيطات القديمة تتعرض للتآكل وإعادة تشكيل ضمن مناطق الأخاديد العميقة تحت مياه البحار. وأيضاً نتيجة لتلك الحركات الأرضية نتجت الجبال الشامخة بسبب تصادم القارات. ويعتبر العالم الألماني ألفريد ويجنر (Alfred Wegener) من مؤسسي تلك النظرية في سنة 1924.

**وتنص نظرية الصفائح التكتونية على أن بناء القارات بدأ عندما كانت الأرض حديثة النشأة تغلفها قشرة صخرية ضعيفة قليلة السمك تطفو فوق صخور شبه مصهورة إلى مصهورة، ونظراً لاختلاف درجة الحرارة بين باطن الأرض وسطحها تولد في هذه الصخور المصهورة تيارات حمل تتحرك من المركز إلى السطح. وتبلورت هذه النظرية بعد دراسة مستفيضة للحدود القارية والظواهر الجيولوجية المختلفة التي تميز الأرض وبعد معرفة الفروق الفيزيائية بين مكونات كتلة الأرض الصلبة. وتيارات الحمل المتحركة هذه ضمن الوشاح يمكن تشبيهها بكأس من الماء الموضوع فوق لهب، وعلى قاع ذلك الكأس قليل من البودرة الحمراء. فعند تسخين الماء تصعد البودرة مع الخط الساخن من الماء إلى الأعلى، لكن عند وصولها إلى سطح الماء سوف تبرد لدى ملامستها للهواء، وعندها سوف تهبط إلى الأسفل عند أطراف الكأس. بعد هبوطها إلى الأسفل سوف تسخن من جديد ثم تتحرك مع الماء الساخن مرة أخرى إلى الأعلى، وبذلك تعيد دورتها من جديد.**

### مفهوم الألواح الصخرية

كما ذكرنا سابقاً أن القشرة الأرضية القارية المعروفة بطبقة السيل تحتوي على السيليكون بنسبة 70 %، ومعظم الصخور المكونة لهذه الطبقة هي من الجرانيت. فهي بذلك تعتبر ذات كثافة قليلة وسمك كبير. أما القشرة المحيطية المعروفة بطبقة السيمافينا تحتوي على السيليكون بنسبة 40-50 %، ومعظم الصخور المكونة لها عبارة عن البازلت والجابرو مما يجعلها طبقة ذات كثافة عالية لكنها بنفس الوقت أقل سمكاً من القشرة الأرضية القارية. وبدراسة الموجات الزلزالية حدد العالم موهوروفيزيك (Mohorovicic) المنطقة الفاصلة بين القشرة الأرضية والوشاح، وسمي بحد موهو للانفصال (Moho Discontinuity) وهو عبارة عن حدوث خلل ما بالموجات الزلزالية المتحركة بسبب الفرق بين مكونات القشرة الأرضية وما يوجد أسفلها والذي سمي بالوشاح.

شمل العلماء الجزء الصلب من كتلة الأرض والذي يشمل نطاق القشرة الأرضية سواء كانت المحيطية أو القارية مع الوشاح العلوي، وسمي هذا الجزء بطبقة الليثوسفير (Lithosphere) وهي تعني "الغلاف الصخري" أو "الطبقة الصلبة". فهي عبارة عن الطبقة الصلبة الخارجية للأرض المعروفة حالياً بالألواح القارية والألواح المحيطية، ويقدر سمك الألواح الصخرية بحوالي 100 كيلومتر تقريباً. ويطفو الغلاف



الصخري الصلب (الليثوسفير) على طبقة لديه شبه سائلة تعرف بالأسثينوسفير (Asthenosphere) وهو يمتد إلى عمق 250 أو 700 كم تقريبا ضمن نطاق الوشاح العلوي. وهذا التصنيف الأخير ساهم كثيرا في تبلور نظرية الصفائح التكتونية وتفسير التضاريس المختلفة التي تشكلت عبر ملايين السنين. وقد اكتشف العلماء أن الغلاف الصخري للأرض مقسم إلى 20 جزء تعرف الآن بالألواح الصخرية. وأكبر تلك الألواح هو اللوح الصخري الهادي (Pacific Plate) الموجود ضمن المحيط الهادي وهو يعتبر اللوح المحيطي الكامل الموجود على الأرض، أما جميع الألواح الكبيرة الأخرى فتشتمل على أجزاء محيطيه وقارية معا. بينما معظم الألواح الصخرية الصغيرة تتكون من ألواح محيطيه.

### الشواهد التي أدت إلى تبلور نظرية الصفائح التكتونية

#### 1- انه إذا دمجت القارات مع بعضها لكونت كتلة قارية ضخمة

أول من توصل إلى هذا المفهوم هو العالم ويجنر في عام 1915، حيث دل على أنه لو دمجت قارتي أمريكا الجنوبية وأفريقيا لكونتا كتلة قارية واحدة. وكان ذلك بعد وضع خريطة العالم المطورة آنذاك. ويجب القول هنا بأن معظم العلماء قبل ويجنر وحتى ويجنر نفسه بنوا ذلك الاعتقاد بأن القارات كانت ملتحمة عندما لاحظوا التشابه الكبير بين الشريط الساحلي الغربي لأفريقيا مع الشريط الساحلي الشرقي لأمريكا الجنوبية. فعندما نشر ويجنر كتابه "أصل القارات والمحيطات" (The Origin of Continents and Oceans) وضع أساس نظريته الجديدة وهي نظرية زحزحة القارات. ولم يقف عند هذا الحد، فهو من خلال مشاهداته والدراسات الجيوفيزيائية التي قام بها وضع الاحتمال الآخر بأن الكتل القارية كانت ملتحمة مع بعضها البعض قبل 200 مليون سنة وكانت تكوّن قارة واحدة كبيرة تعرف بالقارة الأم أو بانجيا (Pangaea) وتعني "كل الأرض" "All Land". وانفصلت هذه القارة قبل 180 مليون سنة تقريبا ضمن العصر الجوراسي إلى قارتين كبيرتين إحداهما شمالية وتعرف بلوريشيا (Laurasia) والأخرى جنوبية تعرف بجوندوانالاند (Gondwanaland). ومن المعروف علميا أن القارة الشمالية (لوريشيا) انفصلت لاحقا وتكوّن منها قارة أمريكا الشمالية وأوروبا وآسيا وجزر جرينلاند وأيسلندا والجزر البريطانية. أما القارة الجنوبية انفصلت لتكون قارة أفريقيا وأمريكا الجنوبية والقارة المتجمدة الجنوبية وأستراليا والهند، وكان ذلك قبل 135 مليون سنة تقريبا ضمن العصر الطباشيري. ومازالت القارات تتحرك إما بعيدا عن بعضها البعض أو باتجاه بعضها.

#### 2- الدليل الأحيائي

ويقصد به توزيع الكائنات الحية في القارات على مر العصور الجيولوجية المختلفة ومقارنتها بالتوزيع الحالي. ويؤمن معظم علماء الأحافير (Paleontologists) بوجود تواجد نوع من الارتباط الأرضي بين مناطق العالم القديم لتفسير وجود الأحافير المتشابهة ضمن مناطق أرضية بعيدة عن بعضها البعض حاليا. وهذا المفهوم يعتبر صحيحا للكائنات الحية التي كانت تعيش ضمن حقب الحياة القديمة (Paleozoic) وبداية حقب الحياة المتوسطة (Cenozoic) حيث كانت كل المناطق ملتحمة مع بعضها البعض أو قريبة من بعضها. وقد سهل وجود الالتحام أو أي نوع من الاتصال الأرضي بين القارات من مهمة انتقال الكائنات الحية آنذاك فتراها ضمن جميع صخور القشرة الأرضية. لكن دلت الدراسات الجيوفيزيائية على أنه بعد هذه العصور الجيولوجية كانت القارات بعيدة عن بعضها البعض فلا توجد بذلك أي طريقة لانتقال الكائنات الحية الأرضية.

وقد اكتشف العلماء ومن بينهم ويجنر وجود بعض الأحافير ذات التواجد الجغرافي المحدود والعمر الجيولوجي الواحد ضمن صخور في بقاع متفرقة من العالم حاليا. ومن أمثلتها أحفورة أحد الزواحف وتعرف بالميزوسورس (Mesosaurus) التي توجد ضمن صخور الجزء الجنوبي الغربي من أفريقيا والجزء الجنوبي

الشرقي من أمريكا الجنوبية فقط ، وهي مناطق بعيدة عن بعضها البعض حاليا ويعتقد علماء الأحافير أن الميزوسورس يعتبر أحد الزواحف المائية. والسؤال الذي يجب أن يطرح هنا هو: إذا كان ذلك الكائن الحي قادرا على السباحة وعبور مساحة شاسعة من الماء التي تفصل بين أفريقيا وأمريكا الجنوبية لماذا لم يصل إلى مناطق أخرى من العالم؟ وبما أن ذلك لم يحصل وكانت أحافير الميزوسورس محصورة فقط ضمن تلك المناطق من أفريقيا وأمريكا الجنوبية، عندها قرر ويجنر بأن هاتين القارتين لا بد أن كانتا ملتحمتان ضمن زمن تواجد ذلك الكائن الحي.

وأیضا اعتمد ويجنر على أحفورة نباتية تدعى جلوسوبتريس (*Glossopteris*) كدليل على وجود القارة الأم " بانجيا ". واكتشف العلماء بعد دراسة الصخور التي تحتوي على أحافير الجلوسوبتريس بأنها نباتات تفضل المناخ البارد ضمن البيئات القريبة من البيئات القطبية. وقد أكد العالم ويجنر إثباته بوجود القارة الأم " بانجيا بتبرير أن هذا النبات يحتوي على بذور كبيرة جدا لا تستطيع الرياح حملها إلى مسافات شاسعة، ومع هذا وجدت أحافير تلك النباتات ضمن صخور حقب الحياة القديمة الموجودة في أفريقيا وأستراليا والهند وأمريكا الجنوبية، كما اكتشفت حاليا ضمن صخور القارة المتجمدة الجنوبية. والإثبات الثاني أيضا أن أحافير تلك النباتات توجد في صخور تقس وجود مناخ قطبي أو قريب من القطبي مع أن معظم القارات هذه (ما عدا القارة المتجمدة الجنوبية) تتواجد حاليا ضمن بيئات ليست قطبية أو قريبة من الأقطاب. وبذلك استنتج العالم ويجنر التحام القارات القديمة مكونه بذلك كتلة قارية كبيرة عرفها بالقارة الأم " بانجيا ".

### 3- طبيعة التكوين الصخري العام للقارات والمحيطات والأشكال الهندسية للصخور

أي شخص متا قام بتركيب لوحة مقطعة (Picture Puzzle) لا بد له أن يعرف بأنه يجب أن تترابط القطع مع بعضها البعض في نسق معين، وأيضا يجب بالنهاية الحصول على صورة أو شكل واضح لشيء ما. على ضوء تلك الفكرة قام العلماء بدمج القارات مع بعضها البعض وهم بذلك ركبوا الحواف الخارجية للقارات مع بعضها البعض ولم يغفلوا عن أنهم بالنهاية يجب أن يحصلوا على صورة متكاملة لتوزيع الصخور على القارات وتوصيل أحزمة الجبال والتي يجب أن تكون بذلك مترابطة مع بعضها البعض. بناء على ذلك يجب أن نعلم بأن الصخور الموجودة ضمن الأقاليم المجاورة لحواف القارات يجب أن تتشابه مع بعضها البعض من حيث العمر والنوع. ومثال على ذلك فقد توصل العلماء للتطابق الموجود بين صخور الجزء الشمالي الغربي من أفريقيا وصخور من البرازيل ضمن أمريكا الجنوبية. وأيضا عندما دمج العلماء القارات الشمالية تكونت كتلة قارية واحدة ولوحظ تواصل السلاسل الجبلية الموجودة في شرق أمريكا الشمالية المعروفة بسلسلة جبال الأبلاش (Appalachian Mountains) مع السلاسل الجبلية للجزر البريطانية وسلسلة الجبال الكاليدونية (Caledonian Mountains) في النرويج. وقد أثبتت الدراسات تطابق نوع الصخور وامتداد الصدوع والطيات ضمن هذه السلاسل الجبلية. وهذه السلسلة العظيمة تكونت قبل 300 مليون سنة تقريبا نتيجة لتصادم الألواح الصخرية التي نتجت عنها القارة الأم "بانجيا". ثم انفصلت عن بعضها البعض بسبب انفصال بانجيا مرة أخرى وتباعدها قبل 200 مليون سنة تقريبا عند نهاية حقب الحياة المتوسطة.

### 4- الدليل الجغرافي (البيئات القديمة)

أثبتت الدراسات الجيولوجية والجغرافية أنه عند نهاية حقب الحياة القديمة أي بين 220 إلى 330 مليون سنة سابقة كان يوجد غطاء جليدي كبير يغطي معظم المناطق الجنوبية من الكرة الأرضية. فقد وجد العلماء طبقات من الرواسب الجليدية ذات الامتداد الطباق المتماثل تغطي طبقات صخرية منحوتة بفعل حركة الجليد عليها ضمن مناطق مثل جنوب أفريقيا وجنوب أمريكا الجنوبية والهند وأستراليا. ومن ملاحظة خريطة العالم الحالية نرى أن هذه المناطق تقع على خطوط عرض 30° جنوب خط الاستواء ضمن مناطق تتحلى الآن بمناخ استوائي أو شبه استوائي. السؤال الذي يجب أن يطرح هنا هو: هل تعرضت الكرة الأرضية إلى مناخ

قطبي قارس بحيث غطت طبقات الجليد معظم المناطق حتى قرب خط الاستواء؟ ومن المشاهدات الأخرى التي توصل إليها العلماء الجيولوجيون أن معظم مناطق الكرة الأرضية الشمالية الحالية كانت مغطاة بالمستنقعات ضمن نفس الفترة التي كانت المناطق الجنوبية مغطاة بالجليد. وهذه المستنقعات الكبيرة هي التي كونت رواسب الفحم الاقتصادية في كل من أمريكا الشمالية وأوروبا وسيبيريا. وبتدريسة مكونات الفحم عرف العلماء أن تلك النباتات التي تكون منها الفحم عبارة عن نباتات تعيش ضمن المناخ الاستوائي أو البيئات الاستوائية.

وعليه قرر ويجنر أنه لتحقيق الفهم وإدراك ما حصل بالماضي يجب أن تكون كل القارات مجتمعة مع بعضها البعض آنذاك أثناء زمن واحد ضمن قارة عظمى " بانجيا " ، وكما قرر أيضا ان منطقة جنوب أفريقيا كانت تتمركز ضمن منطقة القطب الجنوبي. في هذه الحالة سوف تكون القارات الجنوبية الحالية متمركزة قريبا من القطب الجنوبي وذلك لتفسير وجود الجليد عليها، وان الجزء الصخري الشمالي كان قريبا من خط الاستواء وذلك لتفسير طبقات الفحم العظيمة عليها.

### 5- الحركات الأرضية المنبعثة من باطن الأرض

بمقارنة التوزيع الجغرافي للبراكين والزلازل بالخرائط التي تبين توزيع الألواح القارية المتحركة نلاحظ أن مناطق انتشار البراكين تنطبق على مناطق توزيع المراكز البؤرية للزلازل، وهذه البراكين والزلازل متلازمين مع الحدود اللوحية.

## حدود الصفائح التكتونية وطرق تحركها Plate Boundaries and Their Motion

كما ذكرنا سابقا ان مناطق انتشار البراكين والزلازل تعتبر متلازمة مع بعضها البعض، وهي تتمركز ضمن نطاقات أو خطوط ثابتة حول الكرة الأرضية. ومن أمثلة تلك الخطوط ما يعرف بسلسلة النار (Ring of Fire) وهو عبارة عن الحدود التي تحيط بالمحيط الهادي من جميع الاتجاهات. لذلك فإن التحديد المبدئي الذي اعتمده العلماء لتحديد حدود الألواح الصخرية الصفائحية بني على أساس توزيع نقاط النشاط البركاني والزلالي حول العالم. وبعد تطور الدراسات الجيولوجية اتضح وجود ثلاثة أنواع من الحدود، وهي مصنفة على ضوء نوع الحركة التي تقوم بها الألواح الصخرية على جانبي ذلك الحد أو الفاصل إلى التالي:

(1) حدود صفائحية أو لوحية متباعدة حيث تكون حركة الألواح بعكس اتجاه بعضها البعض على جانبي الحد الفاصل بينها، (2) حدود صفائحية أو لوحية متقابلة حيث تكون حركة الألواح باتجاه بعضها البعض على جانبي الحد الفاصل بينها، (3) حدود صفائحية متوازية الحركة حيث تكون حركة الألواح بوضع أفقي متوازي الاتجاه على جانبي الحد الفاصل بين الألواح الصخرية .

### 1- حدود صفائحية أو لوحية متباعدة Divergent Plate Boundaries

تعتبر الحركات التباعدية من الحركات البانية للقشرة الأرضية بسبب إضافة الصخور المنصهرة إلى جوانب الصفائح المتباعدة، ويؤدي تصلب هذا المصهور يؤدي إلى تكوين صخور نارية قاعدية (البازلت والجابرو). وأهم التضاريس التي تتكون نتيجة لتباعد الصفائح هي البحار والمحيطات.

وقد أثبتت الدراسات التي قام بها العلماء على أعماق المحيطات وجود مناطق مرتفعة نسبيا تعرف حاليا بأعراف المحيطات أو الجبال المنصفة للمحيطات (Mid Oceanic Ridges). وهي عبارة عن مناطق مرتفعة كالجبال على قيعان المحيطات وتتميز بأنها متصدعة جدا ودائمة النشاط البركاني وتتميز بارتفاع درجة الحرارة، وهي موجودة ضمن الأربعة محيطات التي تغلف كوكب الأرض، وتمثل 20% من سطح الأرض. فهي تعتبر بلا منازع أكثر الأشكال التضاريسية وضوحا للمحيطات لأنها تمثل سلسلة جبلية واحدة متصلة

وممتدة إلى حوالي 65000 كيلومتر حول الكرة الأرضية. ودلت الدراسات الدقيقة لأعراف المحيطات خاصة لتلك المنصفة للمحيط الأطلسي على أنها عبارة عن مناطق تحدها حواف القارات التي على جانبي المحيط. بالإضافة إلى ذلك اكتشف العلماء وجود منطقة مركزية منخفضة تنصف الجبال المرتفعة عزفت بالأودية المتصدعة (Rift Valleys) وهي متصلة على طول امتداد هذه السلاسل الجبلية البحرية. ويدل وجود هذه الأودية المتصدعة على قوة شد كبيرة تتعرض لها هذه المناطق.

وحركة الألواح التباعية أدت إلى تكون البحار بعد انفصال الألواح الصخرية القارية عن بعضها البعض. فعملية تكون البحار والمحيطات تبدأ أولاً بحركة رأسية إلى الأعلى للحرارة والمصهور الصخري عند نقاط الحمل الحراري المساعدة من نطاق الوشاح. فالصخور المصهورة المصاحبة لتيارات الحمل الحراري المساعدة تؤدي إلى نشوء ضغط رأسي إلى الأعلى مما يؤدي إلى تقبب اللوح الصخري القاري الرقيق ومن ثم تصدعه وتكون شقوق كبيرة على الجانبين. ثانياً سوف تخرج الحمم البركانية إلى الخارج عبر تلك الشقوق وتملأها مشكلة بذلك ضغط جانبي أفقي على الألواح يؤدي بالنهاية إلى زحزحة اللوح المتصدع بعيداً عن منطقة الشق المتكون. عند هذه المرحلة سوف يتكون وادي متصدع (Rift Valley) على طول امتداد الشق بسبب ابتعاد الحواف عن منطقة التقبب وهبوطها إلى الأسفل. ثالثاً، ومع مرور الوقت وتواصل خروج الحمم المصهورة وملأها للشقوق سوف تتباعد الألواح الصخرية أكثر فأكثر ويتوسع الوادي المتصدع ويصبح أكثر عمقا. ويجب معرفة أن تلك الحمم البركانية التي تملأ الوادي المتصدع والشقوق ما هي إلا حمم بركانية قاعدية وعند تبلورها تتكون صخور نارية قاعدية من البازلت على السطح أو صخور الجابرو بعيداً عن سطح الأرض. لذلك فإن تلك المناطق تعتبر مناطق تتكون بها القشرة المحيطية وليست قشرة قارية. عند هذه المرحلة يكون قد تكون بحر صغير ضيق يحتوي على ممر مائي صغير يوصله مع محيط أكبر منه، لكن مع مرور الوقت واتساع المسافة بين الألواح القارية سوف يتكون محيط كبير مثل المحيط الأطلسي يتضمن بالمنتصف مناطق أعراف المحيطات وأوديتها المتصدعة.

ليست جميع المراكز المتباعدة للحدود الصفائحية قديمة كذلك الموجودة في المحيط الأطلسي والمحيط الهادي، بل توجد مناطق حديثة نسبياً لم تكوّن محيطات بل كونت بحار صغيرة مثل البحر الأحمر وخليج كاليفورنيا، ومناطق أحدث منها لم تتكون بها بحار بعد وإنما تكونت فقط الأودية المتصدعة مثل الوادي المتصدع الأفريقي (East African Rift Valley).

## 2- حدود صفائحية أو لوحية متقابلة Convergent Plate Boundaries

تعتبر الحركات المتقابلة من الحركات الهادمة للقشرة الأرضية بسبب التصادم الذي ينشأ بين الألواح الصخرية. وينشأ بسبب هذا التصادم تضاريس مختلفة تعتمد على نوع الألواح الصخرية المتصادمة. عند تصادم ألواح قارية مع بعضها البعض تتكون جبال شاهقة الارتفاع مثل جبال الهيمالايا، حيث تكون لكلا الكتلتين المتصادمتين نفس السمك والكثافة ويكون نوع الصخور متشابه بين الطرفين المتقابلين. فهي تتكون من صخور القشرة الأرضية التي يكون معظمها من صخور الجرانيت الحمضية وصخور رسوبية مختلفة فهي تعتبر قليلة الكثافة، وسمك القشرة الأرضية هنا كبير نسبياً يصل إلى 70 كيلومتر تقريباً. ويقع أسفل منه الجزء العلوي من الوشاح العلوي الصلب الذي يتكون من صخور نارية فوق قاعدية وسمكها يصل إلى 100 كيلومتر تقريباً. وبسبب الكثافة القليلة المتساوية بين الألواح القارية المتقابلة يحاول كل لوح أن يتراكم على اللوح الآخر، لذلك يرتفع اللوحان إلى الأعلى عند منطقة التصادم مكونة جزءاً سميكاً جداً من الصخور القارية المنتهية والمتصدعة بسبب قوة التصادم. المثال على ذلك هو تشكل جبال الهيمالايا بسبب تصادم القارة الهندية مع قارة آسيا (التبت) مكونة جبال الهيمالايا.

عند تصادم الألواح القارية مع الألواح المحيطية فهي تتخذ مسار آخر وتعتبر قصتها مختلفة عن سابقتها، ففي هذه الحالة تكون الكتلتين المتصادمتين مختلفتين من حيث السمك والكثافة ونوع الصخور. فاللوح القاري

يتكون من صخور القشرة الأرضية التي يكون معظمها من صخور الجرانيت الحمضية وصخور رسوبية مختلفة، وسمك القشرة الأرضية هنا كبير نسبياً يصل إلى 70 كيلومتر تقريباً، حيث يقع أسفل منه الجزء العلوي من الوشاح العلوي الصلب الذي يتكون من صخور نارية فوق قاعدية وسمكها يصل إلى 100 كيلومتر تقريباً. أما اللوح المحيطي فهو يتكون من القشرة المحيطية بسمك لا يتعدى 10 كيلومترات وهو يتكون من صخور نارية قاعدية من البازلت والجابرو وقليل من الصخور الرسوبية التي تغطي قاع المحيطات، بالإضافة إلى الجزء العلوي الصلب من الوشاح العلوي الذي يتكون من صخور نارية فوق قاعدية وسمكها يصل إلى 100 كيلومتر تقريباً فهي عالية الكثافة نوعاً ما. لذلك فإن كثافة الألواح القارية تعتبر قليلة مقارنة بالألواح المحيطية مع العلم بأنها أكثر سماكة من الألواح المحيطية. عند تصادم الكتلتين يحاول اللوح القاري (الكتلة القارية) أن يتراكم فوق اللوح المحيطي الذي بدوره ينزلق إلى الأسفل متجهاً إلى باطن الأرض بسبب الكثافة العالية وهو ما يعرف بالانغمار (Subduction)، ويتكون عند ذلك احتكاك شديد بين اللوحين مسبباً انصهار أجزاء كبيرة من الألواح القارية والمحيطية. وتأخذ الحمم المصهورة المتشكلة طريقها إلى الأعلى محاولة الوصول إلى سطح الأرض، وعند وصولها تكون سلسلة من البراكين على حافة اللوح القاري. أما عند منطقة انزلاق اللوح المحيطي يتكون أخدود بحري ممتد على طول الحدود الصفائحية المتقابلة، ويسمى اللوح المحيطي المنزلق بنطاق البنيوف (Benioff Zone) ويتميز بوجود البؤر الزلزالية النشطة. المثال على ذلك هو تشكل سلسلة جبال الأنديز على الجزء الغربي من أمريكا الجنوبية، وأخدود بيرو-شيلي تحت مياه المحيط الهادي المقابلة للجزء الغربي من أمريكا الجنوبية بسبب تصادم اللوح الهادي المحيطي مع لوح أمريكا الجنوبية القاري.

**تصادم الألواح المحيطية مع بعضها البعض** يتميز بأن الألواح المحيطية تتكزن من قشرة محيطية بسمك لا يتعدى 10 كيلومترات تتشكل من صخور نارية قاعدية من البازلت والجابرو وقليل من الصخور الرسوبية التي تغطي قاع المحيطات، بالإضافة إلى 100 كيلومتر تقريباً من الجزء العلوي الصلب من الوشاح العلوي الذي يتكون من صخور نارية فوق قاعدية، فتلك الألواح تعتبر نوعاً ما ألواح عالية الكثافة. وعند تصادم لوحين محيطيين يحاول أحد الألواح الانغمار أسفل الآخر، مما يسبب حدوث نشاط بركاني شبيه بالذي يحدث عند تصادم الألواح المحيطية مع الألواح القارية. لكن في هذه الحالة تتكون سلسلة من البراكين على قاع المحيط أي أسفل منسوب سطح الماء ضمن أعماق سحيقة. إذا توالى الانفجارات وتراكمت الحمم بحيث تؤدي إلى تخطي البراكين منسوب الماء، عندها سوف تتحول البراكين إلى جزر بركانية تعرف بالجزر البركانية القوسية (Island Arcs). بالإضافة إلى الجزر البركانية القوسية تتكون أخاديد عميقة بين الألواح المتصادمة يصل عمق بعضها إلى حوالي 11.3 كيلومتر تقريباً مثل أخدود ماريانا في المحيط الهادي. فعند انغمار أحد اللوحين سوف يتكون نطاق البنيوف للزلازل الضحلة والمتوسطة والعميقة على اللوح المنزلق. ووجود بؤر الزلازل عند أعماق تصل إلى 700 كيلومتر داخل جوف الأرض تدل على أن اللوح الصلب المنغمر يخترق الصخور شبه المصهورة المكونة للوشاح السفلي.

### 3- حدود صفائحية متوازية Transform Plate Boundaries

وهي الحركات المحافظة للقشرة الأرضية بسبب تحرك الصفائح أفقياً بشكل متوازي. وتؤدي هذه الحركات إلى حدوث هزات أرضية عنيفة وتكوّن خطوط التصدع الطويلة (Transform Faults) الشبيهة بالصدوع المتجهة الانزلاقية وتعرف بنطاق التمزق (Fracture Zone)، مثل صدع أندروس العظيم في غرب أمريكا الشمالية.. ويمكن القول بأن تلك الصدوع العظيمة التي ترى على القارات تمثل ندوب لا يمكن علاجها على وجه الأرض. لكن تلك الحركات المتوازية ليست محصورة على القشرة القارية فهي أيضاً توجد تحت مياه المحيطات خاصة في منتصفها فهي تقطع بشكل عرضي أعراف المحيطات التي تشكلت بسبب الحركات التباعية.

## ثانياً: النشاط البركاني Volcanic Activity

البراكين عبارة عن فتحات موجودة على سطح الأرض أو على قيعان البحار والمحيطات، تنبثق منها الحمم المصهورة والتي عادة ما تكون مصاحبة لانفجارات وانبثاق غازات وأبخرة ومقذوفات بركانية. ويشكل تراكم النواتج الصلبة والطفوح البركانية المصهورة (اللافا) وتصلبها على السطح بالنهاية هضاب واسعة الانتشار وجبال مخروطية الشكل تعرف بالجبال البركانية. وتنقسم نواتج البراكين المدمرة إلى ثلاثة أنواع منها المصهورة والصلبة والغازية.

### الطفوح البركانية Lava Flow

الطفوح البركانية أو اللافا (Lava flows) عبارة عن المواد أو الصخور المصهورة التي تنبعث من الانفجارات البركانية وهي تكون في درجة حرارة تتراوح ما بين 600°-1200° مئوية ويمكن تقسيمها إلى ثلاثة أنواع اعتماداً على التركيب الكيميائي:-

#### 1. اللافا البازلتية Pahoehoe or Basaltic flows

تعرف بالحمم البركانية القاعدية وهي ذات طبيعة مائعة وحرارة الحركة وسريعة تتراوح سرعتها ما بين 10-300 م/الساعة وأحياناً 30 كم/الساعة اعتماداً على معدل الانحدار السطحي. وتتميز هذه الحمم بارتفاع نسبة الحديد والمغنيسيوم وانخفاض السيليكا (50%)، وهي ذات لزوجة منخفضة جداً، وعند تعرضها للجو الخارجي للأرض وتبلورها يكون سطحها الملامس للهواء أملس، وبعضها يتشكل على هيئة حبال مجذلة لذلك سميت بلغة سكان جزر هاواي (Pahoehoe flows). وتكون الطفوح البركانية البازلتية تكون البازلت عند تبلورها على سطح الأرض.

#### 2. اللافا الأنديزيتية Andesitic lava

تعرف بالحمم البركانية متوسطة القاعدية، وهي ذات لزوجة متوسطة وبطيئة الحركة نوعاً ما، وتحتوي على 60% سيليكاً. وعند تبلورها على السطح تشكل صخور الأنديزيت متوسطة القاعدية.

#### 3. اللافا الريوليتية Rhyolitic Lava

هي طفوح بركانية حمضية، ذات لزوجة عالية وتعتبر بطيئة الحركة تتراوح سرعتها ما بين 5-50 م/الساعة. وتتميز بارتفاع نسبة السيليكا (70%)، وعند تعرضها للجو الخارجي للأرض وتبلورها يكون سطحها الملامس للهواء خشن غير منتظم. وهي تكون صخور الريوليت والأوبسيديان.

### النواتج الصلبة Pyroclastic Materials

أما النواتج الصلبة للبراكين فهي عبارة عن المواد الصلبة التي تنبعث من فوهة البركان بسبب اختلاف الضغط الغازي للمصهور الصخري وتتطاير وتنتزع على مناطق شاسعة محيطة بالبراكين، وهي تعرف بالكتل النارية من الكلمة الإغريقية (Pyro) وتعني النار وكلمة (clast) وتعني المكسور أو الكتل المكسورة. وتكون كتل النار (Pyroclastic) عادة صغيرة جداً بصغر ذرات الزجاج أو كتل كبيرة، وهي تشتمل على القنابل أو المقذوفات البركانية وهي عبارة عن كتل صخرية ببيضاوية الشكل وملتهبة، والكتل البركانية أو البريشيا، والرماد البركاني وهو يحتوي على نواتج بركانية زجاجية دقيقة، وصخور الخفاف وهي عبارة عن صخور فاتحة اللون غنية بمادة السيليكا تحتوي على فراغات صغيرة عديدة واضحة للعين المجردة (نسيج فجوي) تتشكل نتيجة لخروج الغازات منها، وصخور السكوريا أو الجفاء وهي عبارة عن صخور داكنة

اللون (سوداء) غنية بالحديد والمغنيسيوم وتحتوي على ثقبوب كبيرة. ويمكن للنواتج الصلبة الصغيرة والمتوسطة أن تنتزع على مساحات شاسعة حول البركان، أما النواتج الدقيقة جداً بحجم الطين (مثل الرماد البركاني) فيمكن لها أن تندفع رأسياً لمسافات عالية ضمن الغلاف الجوي ثم تنتقل مع التيارات الهوائية إلى مناطق كثيرة. وعادة ما تشكل الانفجارات البركانية سحابة كبيرة من المواد الصلبة المختلفة حيث تكون درجة حرارتها عالية جداً وبإمكانها أن تحرق أي شيء أمامها وتعرف بسحابة النار.

### النواتج الغازية Gases

عادة ما تكون المواد المصهورة مصحوبة بكميات كبيرة من الغازات والأبخرة وهي تعرف بالنواتج الغازية وهي تكوّن 1 - 6% من الوزن الكلي للمصهور الصخري. وبالغم من أن هذا الرقم يعتبر قليل جداً لكن باستطاعة البركان أن ينفث ما يتعدى آلاف الأطنان من الغازات خلال اليوم الواحد. وتشتمل النواتج الغازية على 70% بخار ماء، 15% ثاني أكسيد الكربون، 5% نيتروجين، 5% كبريت، وقليل من غاز الكلور، الهيدروجين، و الأرجون. وتتراوح درجة حرارة هذه الغازات عند انبثاقها من فوهات البراكين بين 100م - 500م.

### الانفجارات البركانية Volcanic Eruptions

أن الانفجارات البركانية تشكل واحداً من أفضل المعالم الأرضية ألا وهو البركان أو الجبال البركانية، الذي ما هو إلا عبارة عن تل أو جبل تكون نتيجة تراكم النواتج البركانية خاصة النواتج الصلبة والطفوح البركانية على بعضها البعض حول فوهة البركان. كما يعتبر النشاط البركاني والبراكين نافذة على باطن الأرض الذي لا نستطيع الوصول إليه.

وبالرغم من أن البراكين وانفجاراتها تعتبر مناطق جذب لكثير من العلماء الجيولوجيين، لكن الانفجارات البركانية تعتبر خطرة جداً على حياة الإنسان والبيئة، لأن بإمكان النواتج البركانية المصاحبة للانفجارات أن تغطي مساحات شاسعة من الأرض. لذلك نستطيع القول بأنها تعتبر نقمة ونعمة بنفس الوقت.

مثال على ذلك ما حصل في هاواي عندما انفجر بركان كيلاوا (Kilauea) بين عام 1980 إلى عام 1990 حيث كان هذا البركان نشط جداً حيث انبثقت منه 1.5 بليون متر مكعب من الطفوح البركانية (اللافا). وقدر العلماء أن بإمكان هذه الكمية أن تشكل طريق معبد يدور حول الأرض أربع مرات. وقد دمرت الانفجارات المصاحبة لبركان كيلاوا 181 منزلاً ولكن لحسن الحظ لم تقتل أو تجرح أي إنسان. والنعمة التي حصل عليها سكان هاواي هي تربة خصبة زراعية بسبب التعرية والتجوية التي تتعرض لها النواتج البركانية من صخور ورماد بركاني، بالإضافة إلى أن تلك الانفجارات غير العنيفة المصاحبة للبراكين الدرعية استقطبت الكثير من السياح لمشاهدة الانفجارات، كما أيضاً استقطبت كثير من العلماء لدراسة تلك البراكين، مما يعتبر مصدراً جيداً للاقتصاد السياحي.

أن البراكين المركبة تعتبر من أكثر البراكين خطورة لأنها تظل خامدة لسنوات عديدة قد تصل إلى عدة قرون ثم تنفجر فجأة مؤدية إلى دمار شديد. ومن أشهر الأمثلة على ذلك ما حصل لمدينة بومبي الإيطالية (Pompeii) وأربعة مدن أخرى بالقرب من نابولي (Naples) بسبب انفجار بركان فيزوف (Vesuvius). فهذا البركان ظل خامداً لعدة قرون لكنه انفجر فجأة وأدى إلى قتل آلاف الأشخاص. وقبل ذلك كان سكان بومبي يعيشون بسلام على منحدرات جبل فيزوف، ويزرعون أشجار العنب حتى قتمته، لكن في عام 79 ميلادية تأثر سكان المنطقة والمدن المحيطة بهزات أرضية خفيفة لكنهم لم يعلموا بأن تلك الهزات ما هي إلا العلامات

السابقة للانفجار المروع. فما حصل لمنطقة بومبيي الإيطالية (Pompeii) في القرن الأول بعد الميلاد يعتبر كارثة خطيرة جدا، حيث قتل مئات من الأشخاص بسبب الاختناق أو الاحتراق بعد الانفجار الأول وكان نتيجة لسقوط آلاف الأطنان من الرماد البركاني على المدينة. ثم التهمت المدينة سحابة كبيرة من النواتج الصلبة الحارقة التي سقطت فجأة بعد الانفجار الأول بلحظات قليلة، ودفنت المدينة تحت 5 - 8 أمتار من الرماد البركاني. بعد 17 قرن تقريبا اكتشفت مدينة بومبيي بواسطة علماء الآثار، حيث أدى ذلك الاكتشاف إلى الحصول على معلومات خطيرة عن انفجار بركان فيزوف في القرن الأول الميلادي. فالاستكشافات دلت على أن انفجار بركان فيزوف كان متواصلا لثلاثة أيام فقط، وقتل خلاله 2000 شخص من بين 20.000 نسمة هم تعداد سكان المدينة، ومعظمهم قد احترقوا أو دفنوا أحياء بواسطة الرماد البركاني الحارق والانهيار المضيء الذي تلاه. وقد كشف علماء الآثار عن قوالب لأجساد الناس التي تحجرت على هيئتها واحتفظت حتى على أدق تفاصيل الوجه التي تدل على الخوف الشديد والاختناق. لكن هذا الانفجار لم يكن الأخير لبركان فيزوف، فقد تلاه انفجارات أخرى متتابعة بين 1631-1944. أعظم انفجارات القرن العشرين شهدتها نفس المنطقة في عام 1906 و1929 و1944 وكان لبركان فيزوف نفسه.

وقد دون التاريخ كوارث خطيرة أخرى بسبب الانفجارات البركانية للبراكين المركبة وما يصاحبها من انهيارات مضيئة. ففي عام 1902 انفجر بركان صغير يعرف ببركان بيلّي (Mount Pelée) الواقع ضمن جزر الكاريبي، وأدى الانفجار إلى انبعاث سحابة مضيئة دمرت مدينة سانت بيير (St. Pierre) الساحلية المجاورة للبركان بأكملها. وقتل الانفجار الذي استمر خمس دقائق فقط جميع سكان مدينة سانت بيير المقدر عددهم بحوالي 28.000 نسمة. لكن ولحسن الحظ فإن أحد المساجين وصانع الأحذية وبعض الأشخاص الذين كانوا على متن إحدى السفن في الميناء قد نجوا من الكارثة.

### ثالثا: الزلازل Earthquakes

تتعرض القشرة الأرضية لما يقدر بحوالي 1.5 مليون زلزال سنويا وتتراوح شدتها بين زلازل بالغة الضعف لا يشعر بها الإنسان لكنها ترصد بأجهزة رصد الزلازل، وأخرى بالغة التدمير. لكن ما كان يحير العلماء هو لماذا تنحصر معظم الزلازل ضمن أنطقه محددة وضيقة على سطح الأرض؟ وبعد تبلور نظرية الصفائح التكتونية ودراستها بدأ العلماء معرفة وفهم أسباب حدوث الزلازل ولماذا توزعت بذلك الشكل على الكرة الأرضية. وما يطمح إليه العلماء الآن هو أن يستطيعوا التنبؤ بحدوث الزلازل بوقت طويل وأيضا كيفية التحكم بحدوثها. فتلك الطموحات تعتبر من التوجهات الجديدة ضمن علم الزلازل، وذلك يرجع لأن الزلازل تعتبر من الكوارث الطبيعية الخطيرة على حياة الإنسان التي لم يستطع حتى الآن السيطرة عليها. وتكمن خطورة الزلازل بحدوث دعر ورعب بين البشر بسبب تأثيرها الخطير على المدن ومراقفها المتعددة. وأكثر المؤثرات خطورة هي الحرائق التي تحدث بعد الزلزال الناتج عن انكسار أنابيب الغاز والماء وسقوط أعمدة الكهرباء، بالإضافة إلى ذلك فبإمكان الزلازل التسبب بحدوث الانهيارات الأرضية والناجمة عن الاهتزاز العنيف للأرض، وكما تسبب الزلازل أيضا تشققات على سطح الأرض والتي تؤدي بدورها إلى سقوط المنازل وتكسر وسقوط الطرق والجسور والمنشآت المختلفة. كما أن بإمكان الزلازل أيضا التسبب بحدوث الفيضانات العارمة بسبب تصدع السدود المائية.

إذا ما هو الزلزال؟ الزلزال عبارة عن هزات أو رجفات سريعة ومنتالية تنتاب القشرة الأرضية نتيجة لتعرض الصخور لقوى ضغط أو شد والتي تؤدي إلى إجهادها ومن ثم انفصالها وانكسارها وتحرر الطاقة الكامنة بها (طاقة الوضع). فالقوى العظيمة التي تحدث داخل أعماق الأرض يمكن أن تضغط على الصخور وذلك يسمى بالإجهاد (Stress)، وهذا الإجهاد سوف يؤدي بالنهاية إلى طي الصخور أو تغيير حجم الصخر وذلك يعرف بالانفعال (Strain). مثلا إذا حاولنا ثني عمود من الخشب بواسطة اليد، فإن اليد سوف تؤثر



بضغط معين على العمود ويؤدي إلى إجهادها، لكن انثناء العمود الخشبي الناتج عن الإجهاد ما هو إلا عبارة عن انفعال الخشب بسبب الإجهاد، لكن الانفعال النهائي للعمود الخشبي سوف يكون بالتكسر أو الانشطار. وهذا ما يحصل للصخور، فإنها عندما تتعرض لإجهاد فإنها تبدأ بالانثناء التدريجي حتى تصل إلى مرحلة معينة لا تستطيع أن تتحمل بها قوة الإجهاد عندها سوف يكون انفعالها على هيئة انكسار أو تصدع. وعندما تتصدع الصخور تنبعث منها الطاقة الكامنة على هيئة موجات تعرف بالموجات الزلزالية. وهذه الصدوع أو الكسور إما أن تكون سطحية، أي يتصل نطاق التصدع مع سطح الأرض مكوناً خط الصدع، أو تكون تصدعات عميقة داخل القشرة الأرضية. والتصدعات العميقة لا يمكن ملاحظتها وتتبعها على سطح الأرض لكن يمكن الكشف عنها بواسطة الدراسات الجيوفيزيائية. ويمكن للصدوع القديمة أن تتحرك فجأة مسببة بذلك حدوث الزلازل مرة أخرى. وتوجد أسباب أخرى لحدوث الزلازل عدا التصدعات، فانزلاق الألواح المحيطية (نطاق البنيوف) إلى جوف الأرض أثناء التصادم بين الألواح القارية أو المحيطية الأخرى يؤدي إلى حدوث الزلازل، وهذا قد سبق ذكره خلال نظرية الصفائح التكتونية. ومعظم الزلازل تحدث ضمن أعماق تتراوح ما بين 100 إلى 670 كيلومتر ضمن نطاق البنيوف البارد نسبياً.

### الموجات الزلزالية Seismic Waves

يطلق على المنطقة تحت السطحية التي ينشأ منها الزلزال اسم بؤرة الزلزال (Focus or Hypocenter) ويتراوح عمقها ما بين 5-700 كم. فالبؤرة عبارة عن النقطة التي يبدأ عندها تحرك السطح، لذلك يحدث التمزق عند البؤرة وسرعان ما يتوزع حول مستوى الصدع. أما المنطقة التي تقع على سطح الأرض عمودياً فوق بؤرة الزلزال فتعرف بالمركز السطحي للزلزال. وتنتقل الطاقة المتحررة على هيئة موجات سايزمية أو زلزالية في اتجاه شعاعي من بؤرة الزلزال إلى مسافات بعيدة، وهي التي تؤدي إلى جعل الأرض تهتز خلال حدوث الزلزال. وتنقسم الموجات الزلزالية إلى نوعين رئيسيين هما الموجات السطحية (Surface Waves) والموجات الداخلية (Body Waves).

وتقاس شدة الزلزال بواسطة جهاز رصد الزلازل المعروف بالسيزموميتر (Seismometer)، ويتكون من قاعدة مثبتة على سطح الأرض يخرج منها عمود مثبت بوضع رأسي، ويثبت على هذا العمود عمود آخر بوضع أفقي ويكون بطرفه ثقل تخرج منه إبرة أو قلم للكتابة، ويتصل الثقل مع العمود الرأسي بزنبيرك. والهدف الرئيسي من ذلك هو جعل الثقل المعلق بشكل حر ساكن قدر الإمكان، فعند حدوث الهزة الأرضية تهتز كل أجزاء الجهاز في آن واحد، لكن خمول (inertia) الكتلة الثقيلة المعقفة تؤدي إلى سكون الثقل وتجعله نقطة الإسناد أو المرجع عند تحديد قوة حركة الأرض. جهاز رصد الزلازل السيزموميتر لا يستطيع بهذا الشكل أن يسجل قوة الزلزال أو شكل الموجات القادمة إلا عندما يثبت أمام الإبرة أوراق المقياس، وهي عبارة عن أوراق متصلة وموضوعة على اسطوانة ومحدد عليها خطوط تمثل الزمن بالدقائق. هنا يعرف الجهاز بالسيزموجراف (Seismograph) والذي يعتبر جهاز رصد وتسجيل الزلازل، ويكون التسجيل على هيئة خطوط متموجة تدل على حدوث هزة أرضية (خطوط القوة). والأوراق البيانية التي يحصل عليها من جهاز السيزموجراف تعرف بالسيزموجرام (Seismogram). ويقاس جهاز السيزموجراف شدة الزلزال مقارنة بمقياس رختر للزلزال (Richter scale).

### 1. الموجات السطحية Surface Waves

عبارة عن الموجات التي تنتقل خلال الطبقة الخارجية للأرض (القشرة الأرضية) حيث تخترق جميع مكوناتها من مواد صلبة وسائلة وشبه صلبة، وتسمى أيضاً بالموجات الطولية (L-waves or Long waves). والموجات السطحية هي آخر الموجات الزلزالية وصولاً إلى سطح الأرض لأنها لا يبطأ من جميع أنواع الموجات الزلزالية. لكنها المسئول الأساسي عن معظم الدمار أثناء حدوث الزلزال. وهي أيضاً أكثر

الموجات الزلزالية التي تؤدي إلى اهتزاز الأرض وتحركها وذلك يعود لبطئ حركة الموجات ضمن الصخور، فعندما تصل الموجات السطحية إلى سطح الأرض فإنها تتحرك بصورة شعاعية من المركز السطحي للزلازل في جميع الاتجاهات، تماما مثل الموجات المائية التي تتشكل عندما نرمي قطعة من الحجر في بركة من الماء الراكدة. هذه الموجات تؤثر فقط على الصخور القريبة من السطح وتتلاشى كلما دخلت في أعماق الأرض مثل الموجات المائية.

## 2. الموجات الداخلية Body Waves

هي عبارة عن الموجات التي تنتقل وتتغلغل داخل الكرة الأرضية مخترقة جميع الأغلفة التي تكون الأرض (القشرة والوشاح واللب)، وهي تنقسم إلى نوعين هما:-

أ. موجات أولية (P-waves or Primary Wave): وهي تستطيع أن تخترق كل أنواع المواد المكونة للأرض من قشرة ووشاح ولب، أي جميع مكونات الأرض من مواد صلبة وشبه صلبة وسائلة. وتعرف الموجات الأولية أيضا بالموجات التضاغية (Compressional Waves) لأنها تجعل الصخور تتحرك بصورة موازية لاتجاه حركتها (أي في نفس اتجاه تحركها). وهي أول الموجات الزلزالية وصولا أثناء حدوث الزلازل، ويعود ذلك لسرعتها العالية جدا التي تتراوح بين 4-7 كيلومتر/الثانية.

ب. موجات ثانوية مستعرضة (S-waves or Secondary Waves): وهي عبارة عن الموجات الزلزالية التي تخترق المكونات الصلبة والشبه صلبة لكنها لا تخترق السوائل، أي تنعكس إلى سطح الأرض عند وصولها واصطدامها بحدود اللب الخارجي للأرض لأنه يتكون من مواد مصهورة. والموجات الثانوية تعرف أيضا بالموجات المستعرضة (Shear Waves) لأنه خلال انتقال هذه الموجات عبر الصخور تبدأ الصخور بالحركة في اتجاه عمودي على اتجاه حركة الموجات. وهي ثاني الموجات الزلزالية وصولا إلى سطح الأرض بعد الموجات الأولية مباشرة، وتتراوح سرعتها بين 2-5 كيلومتر/الثانية.

## موجات التسونامي البحرية Tsunami

عند حدوث التصدعات للقشرة المحيطية المكونة لقيعان المحيطات وأيضا حدوث الزلازل ضمن المناطق الساحلية القريبة من المحيطات تخترق الموجات الزلزالية المياه وتنتقل عبرها مكونة موجات بحرية عالية شديدة التدمير تتراوح سرعتها بين 500 - 950 كم/ساعة وتعرف بموجات التسونامي البحرية (Tsunami). كما تحدث موجات التسونامي أيضا بسبب قوة الانفجارات البركانية التي تقع ضمن الجزر في كثير من المحيطات حول العالم.

## العمليات الخارجية للأرض

## عمليات التجوية Weathering

أن عوامل (التجوية والتعرية) متصلان ببعضهما البعض فكل منهما يساعد الآخر ويمهد الطريق له، ونواتجهما ما هي إلا رواسب مختلفة الحجم إما أن تترسب في مكانها وإما أن تنقل إلى مناطق أخرى وثم تترسب مشكلة الصخور الرسوبية والتربة الخارجية المغطية للصخور. لذلك يمكن القول بأن التربة هي الناتج الأخير لعوامل التجوية. فالتجوية (Weathering) عبارة عن مجموعة من العمليات الفيزيائية، والكيميائية، والبيولوجية التي تفتت وتحلل الصخور المختلفة الظاهرة على السطح والقريبة منه.

ويتوقف عمق التجوية وأيضاً نوعها السائد على العوامل التالية: عمق منسوب الماء الجوفي، والزمن، والطقس، ومسامية الصخور، ونوع الصخور التي تعرضت لعملية التجوية. وتتم عمليات التجوية المختلفة جنباً إلى جنب بالرغم من أن بعضها يسود في مناطق معينة والبعض الآخر في مناطق أخرى. فعلى سبيل المثال تسود التجوية الكيميائية في المناطق الممطرة وعلى العكس يزداد عمل التجوية الفيزيائية في المناطق الجافة الحارة (الصحاري) والمناطق شبه الجافة. أما ضمن المناطق المتجمدة فتسود التجوية الفيزيائية على التجوية الكيميائية، كما يلاحظ أن التجوية الكيميائية أكثر أهمية وسيادة من التجوية الفيزيائية في المناطق الاستوائية حيث يصل عمق التجوية إلى مائة متر تقريباً تحت سطح الأرض.

## أولاً: التجوية الميكانيكية Mechanical Weathering

يقصد بالتجوية الميكانيكية أو الفيزيائية تفكك وتقسيم الصخور المختلفة إلى فتات صخري متعدد الحجم دون أن يطرأ أي تغير في تركيبه المعدني، أي أنه يظل محتفظاً بالخواص الأساسية للصخرة الأم. وحصيلة هذه العملية تكون حبيبات صغيرة جداً. وبإمكان التجوية الميكانيكية زيادة المساحة السطحية للصخر مما يؤدي إلى زيادة فاعلية التجوية الكيميائية.

وتتم التجوية الميكانيكية بواسطة عدة عوامل مختلفة أهمها:-

## 1. تجمد الماء Frost Wedging

يحصل تفتت للصخور بسبب التتابع بين فترات التجمد والإذابة للماء الناتج عن الفروق بدرجة الحرارة. فعادة يزداد حجم الماء عند تجمده إلى ثلج بحوالي 9% من حجمه الأصلي، وتجمد الماء في مناطق الشقوق والفواصل (في حيز ضيق) يؤدي إلى نشوء قوى ضغط هائلة على الصخور المحيطة بهذه الفواصل، ومن ثم توسعة هذه الشقوق وتكبيرها. وينتج بعد تكرار هذه العملية فتات صخري مدبب الحواف. وعادة تعرف هذه العملية بتجمد الماء أو بالتفلق الصقيع. ويزداد حدوث هذه الظاهرة في المناطق الجبلية المعتدلة. ويلاحظ أيضاً حدوث عملية التفلق الصقيعي في المناطق الجبلية ضمن البيئات شبه الجافة أثناء الشتاء القارس البرودة خاصة بعد سقوط الأمطار القليلة وتجمعها خلال الشقوق.

**2. تحرير الضغط Unloading**

تحدث هذه العملية عندما تتعرض الصخور النارية الجوفية (خاصة الجرانيت) لحركات أرضية رافعة مما يؤدي إلى تعرض هذه الصخور للتعرية. وتعري الطبقات العليا التي تعلق الصخور النارية يؤدي إلى انخفاض الضغط الواقع عليها و ثم ارتفاعها إلى الأعلى مثل الزنبرك. وهذه العملية تؤدي إلى حدوث فواصل وشقوق موازية لسطح الأرض الخارجي، ومن ثم انفصال القطع الصخرية على هيئة ألواح (rock slaps) و ثم انزلاقها وتفتتها .

**3. التقشير Exfoliation**

التقشير هو انفصال صفائح رقيقة من الصخر نتيجة لتكرار تغير معدلات الحرارة وبفعل الصقيع. وقد ينتج التقشير أيضا عندما تتعرض الصخور للحرارة المرتفعة في المناطق الصحراوية الجافة. وفي هذه الحالة فإن السطح الخارجي للصخور يتمدد بمعدل أكبر من باطنها فيتشقق السطح الخارجي، وعندما تنخفض درجة الحرارة ليلا فإن السطح نفسه سوف ينكمش. تتابع هذه العملية يؤدي بالنهاية إلى تكون خطوط التقشير الدائرية على الأسطح الخارجية للصخور الذي يشبه حلقات البصل (Onion-ring Structure) عادة.

**4. التمدد الحراري Thermal Expansion**

يتباين المدى الحراري اليومي والفصلي من مكان إلى آخر على سطح الأرض، ويكون كبيرا في المناطق الصحراوية الحارة حيث الفرق اليومي بين درجات الحرارة يتعدى 30 درجة مئوية. فارتفاع درجة حرارة الصخر يؤدي إلى تمدد الصخور وتبريدها يؤدي إلى انكماشها، ودرجة التمدد تعتمد على نوع المعادن التي تحويها هذه الصخور. وتكرار هذه العملية يؤدي إلى إجهاد الطبقة الخارجية للصخر مما يؤدي إلى تكسرها مما يسهل عملية تفتيتها إلى قطع أصغر بواسطة عوامل التجوية والتعرية الأخرى.

**5. النمو البلوري Crystal Growth**

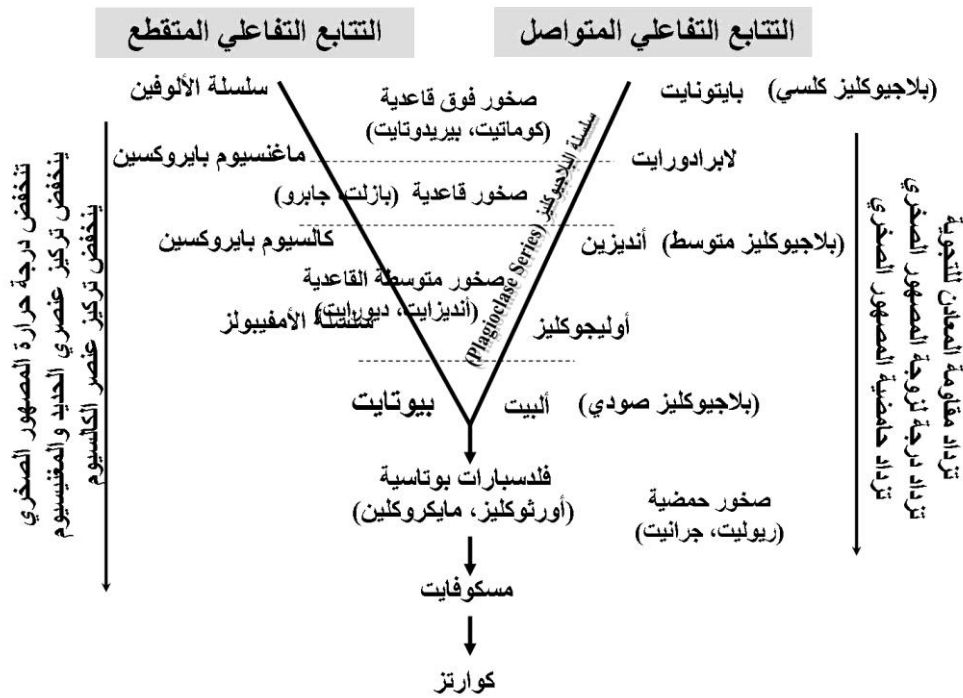
من المعروف أن النمو البلوري ينتج عنه بعض القوى والاجهادات التي تؤثر على باقي مكونات الصخر. ففي بعض الحالات ونتيجة للحرارة العالية والتبخر تتكون وتنمو البلورات الملحية أو بلورات الجبس بين شقوق الصخور القريبة من السطح، والتي بدورها تؤثر على أجزاء الصخور المجاورة للشقوق وبالنهاية تهشمها. هذه العملية تشبه إلى حد كبير الطريقة الميكانيكية التي تفتت عبرها الصخور ضمن عملية التفلق الصقيعي الذي يعتمد على تجمد الماء في الشقوق.

**6. النشاط العضوي Organic Activities**

تعمل النباتات والحيوانات الحفارة بالإضافة إلى الإنسان على تفتت الصخور. ولا يقصد بالنشاط العضوي حدوث تغير كيميائي (تجوية كيميائية) إنما يقصد بها قابلية النباتات النامية لشق وتفتت الكتل الصخرية، لأن اختراق جذور النباتات للتربة والصخور خلال فتحات الشقوق والصدوع تعمل على توسعة هذه الشقوق مما يؤدي بالنهاية إلى تكسرها وتفككها. والحيوانات الحفارة وبعض الحشرات مثل الديدان والنمل وآلاف أخرى منها تعمل على تقليب التربة ودائما تنقل وتلقي الفتات الصخري بعد الانتهاء من عملية الحفر على سطح الأرض مما يساعد عمليات التجوية الفيزيائية الأخرى وعمليات التجوية الكيميائية على تفتت وتحليل الصخور. ويجب أن لا نغفل عن أهمية الإنسان كعامل أساسي في عملية التجوية والتعرية أيضا. فالإنسان أيضا يعمل على المساعدة خاصة باستخدامه للديناميت عندما يبحث عن المعادن أو لاستخلاص الصخور لاستعمالها في عمليات البناء ورصف الطرق. كما يساهم الإنسان أيضا في التجوية ضمن عمليات شق الطرق، وبناء المنشآت المختلفة، وبناء شبكات الصرف الصحي وغيرها.

## ثانياً: التجوية الكيميائية Chemical Weathering

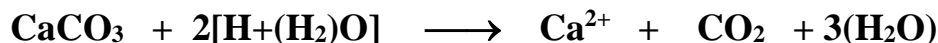
إن عمليات التجوية الكيميائية عمليات معقدة متداخلة والتي من شأنها تفتيت الصخور والروابط الداخلية للمعادن وتحويل مكونات الصخر إلى معادن جديدة في الحالة الصلبة أو الذائبة وهذه المواد ذات تركيب كيميائي مختلف عن الصخور الأم التي تشكلت منها. وتكون المواد الجديدة مستقرة تحت الظروف السطحية على الأرض، فالمعادن تختلف في درجة تأثرها بعوامل التجوية. وإذا تتبعنا المعادن ضمن سلسلة تفاعل بونين يتضح لنا أن المعادن التي تتشكل تحت درجات حرارية مرتفعة تكون أقل تحملاً وأقل ثباتاً عند تعرضها لعمليات التجوية الكيميائية. فعمليات التجوية الكيميائية سوف تحلل هذه المعادن وينشأ منها معادن جديدة على هيئة رواسب صلبة وأخرى تكون في حالة ذائبة وتنقل بواسطة المياه الجارية. وتعتمد عمليات التجوية الكيميائية على وجود الماء، وهي تشمل على ما يلي من عوامل:-



شكل : رسم توضيحي لسلسلة تفاعل بونين التي توضح عملية تبلور المعادن من المصهور الصخري.

## 1. الإذابة Dissolution

تقوم المياه بإذابة الصخور (خاصة الملحية منها) وإذابة المعادن اللاحمة لحبيبات الصخر القابلة للذوبان. ومعظم المعادن تقل قابليتها للإذابة خاصة بوجود الماء النقي، لكن عندما تزداد حمضية الماء تزداد قابليتها للإذابة. المثال على ذلك هو معدن الكالسيت فهو لا يذوب بالماء النقي، لكن عندما تزداد كمية الأحماض بالماء ولو بدرجة قليلة وذلك بتشكيل حمض مائي  $(H+(H_2O))$  يبدأ الكالسيت بالذوبان ويؤدي إلى تحرر كاتيون الكالسيوم  $(Ca^{2+})$  وثاني أكسيد الكربون  $(CO_2)$  على هيئة غاز وتكوين ثلاثة جزيئات ماء  $(3(H_2O))$ ، كما هو موضح بالتفاعل التالي:



ويذوب الكالسايت في الماء أيضا مع وجود حمض الكربونيك الذي ينشأ عن الاتحاد بين غاز ثاني أكسيد الكربون والماء، وتنتج بيكربونات الكالسيوم الذائبة بالماء (  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  )، كما هو موضح بالتفاعل التالي:



وتتأثر المعادن السيليكاتية غير الثابتة مثل الأوليفين، البيروكسين، والفلدسبارات بوجود حمض الكربونيك، وتتكوّن نواتج التفاعل من معادن طينية على هيئة راسب، وأكسيد السيليكون الذائب بالماء، ومعادن الكربونات الذائبة بالماء. فمثلا إذا تعرضت بلورات الأورثوكليز ( $2\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) إلى الإذابة بواسطة حمض الكربونيك سوف يتحرر من ذلك التفاعل أربعة جزيئات من ثاني أكسيد السيليكون في حالة مذابة ( $\text{SiO}_2$ ) وتتكون كربونات البوتاسيوم الذائبة بالماء ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) بالإضافة إلى تكون راسب طيني من معدن الكاولين ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) كما هو موضح بالتفاعل التالي:



## 2. الأكسدة Oxidation

يتحد الأكسجين مع العناصر المختلفة خصوصا إذا كان الوسط رطبا ليكون ما يعرف بالأكاسيد. والأكسدة عامل مهم في تحلل المعادن القاعدية مثل الألوفين والبايروكسين والهورنبلند، وهي معادن سيليكاتية غنية بالحديد والمغنيسيوم. حيث يتحد الأكسجين مع الحديد المكون لهذه المعادن مكونا معدنا جديدا ذو لون بني محمر معروف بالهيماتايت ( $\text{Hematite Fe}_2\text{O}_3$ )، أو في حالات أخرى مكونا معدنا ذو لون برتقالي مصفر وهو أكسيد الحديد المائي المعروف بالليمونايت ( $\text{Limonite FeO}(\text{OH})$ ). وتحدث هذه العملية أيضا عندما تتأكسد معادن الكبريتيدات الغنية بالحديد مثل كبريتيد الحديد المعروف بمعدن البيرايت ( $\text{Pyrite}$ )، حيث يكون ناتج الأكسدة حمض الكبريتيك ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) ومعدن الليمونايت ( $\text{FeO}(\text{OH})$ ). وتكون هذه الأكاسيد رواسب صلبة تنقل بواسطة المياه الجارية أو الرياح إلى مناطق الترسيب المختلفة.

## 3. التميؤ Hydrolysis

تتحلل المعادن وخاصة المعادن السيليكاتية بواسطة عملية التميؤ، وهي كما تعرف علميا بالتفاعل بين المواد المختلفة وجزيئات الماء. وعادة تحدث هذه العملية بوجود ماء نقي حيث تنفصل بعض جزيئات الماء مكونة كاتيون الهيدروجين ( $\text{H}^+$ ) العالي التفاعل وأنيون الهيدروكسائل ( $\text{OH}^-$ ). فالهيدروجين يبدأ بالهجوم على المعادن ويحل محل الأيونات الموجبة المكونة للشبكة البلورية. فإضافة عنصر الهيدروجين للمادة المتبلورة من شأنها الإخلال بالنظام البلوري والقضاء عليه مما يؤدي إلى تحلل المعادن. لكن عملية التميؤ البسيط تتوقف على تكون المغناطيسية الكهربائية التي تربط بين البلورات والماء المحيط بها. وهذا الماء المعلق على السطح الخارجي للبلورات ملتصق بها تماما، ولكنه يستطيع الانفصال عنها بفعل ارتفاع أو انخفاض درجات الحرارة. ومن أفضل الأمثلة التي توضح عملية التميؤ هو تحول معدن الأنهيدرايت ( $\text{Anhydrite CaSO}_4$ ) إلى معدن الجبس ( $\text{Gypsum CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) بفضل اكتسابه لجزيئين من الماء. وأيضا يمكن تفسير عملية تشبع المعادن الطينية (سيليكات الألمونيوم والبوتاسيوم) بالماء وتمدها بأنها عملية تميؤ، حيث اكتسابها الماء يؤدي إلى تمدها.

**4. الاختزال Reduction**

يمكن أن يحدث الاختزال على عدة صور بما فيها خاصية التمثيل الضوئي وتخمر الخلايا وبعض تفاعلات البكتيريا. ونتيجة لتخمر الخلايا ينطلق الهيدروجين والميثان والأكسجين، ويتحد الأكسجين مع الكربون مكونا أكسيد الكربون أو قد يدخل في تركيب الأحماض العضوية. والنترات الموجودة في التربة تختزل إلى نيتريتات وغاز النيتروجين الذي يكون بعض أملاح الأمونيوم أو الأمونيا تبعا لمقدرة الأمونيا الموجودة. والأمونيا تتكون عادة في الأراضي القليلة التصريف للماء. ويتحول أكسيد الحديد من حديديك (Ferric) إلى حديدوز (Ferrous) أو إلى معدن الحديد، أما الكبريتات تتحول بفعل البكتيريا إلى كبريتيدات كما يتكون كبريتيد الهيدروجين في الطين العضوي نتيجة لتعفن المواد الزلالية.

**5. الكربنة Carbonation**

يتكون حامض الكربونيك من اتحاد أكسيد الكربون في الجو مع ماء المطر أو الرطوبة العالقة بالجو، والذي يتفاعل بدوره مع المعادن مكونا الكربونات. فمثلا تتكون كربونات الحديد المعروفة بالسيدرايت (Siderite  $FeCO_3$ ) عند تعرض كبريتيدات الحديد لحمض الكربونيك أي عند كربنة البايرايت، وكذلك كربنة الفلدسبارات ينتج عنها المعادن الطينية وكربونات الكالسيوم.

بعد التعرف على عمليات التجوية نرى أن نواتج هذه العمليات سواء كانت ميكانيكية (فيزيائية) أم كيميائية تكون المادة الأولية أو المادة الخام للرواسب والتربة. وبعد الانتهاء من عمليات التجوية تبدأ عوامل التعرية (الماء الجاري، الهواء، الثلجات) باحتواء الفتات الصخري والمعادن المذابة ونقلها إلى مناطق أخرى على سطح الأرض. ثم تبدأ هذه العوامل بترسيب حمولتها في الأحواض الترسيبية المختلفة وهي قارية و بحرية. وعند نقل الفتات الصخري المتكون من المرتفعات وترسيبه على المنخفضات تبقى الصخور بعد ذلك عارية تعاني من عمليات التجوية والتعرية من جديد. وقد يحدث توزيع حبيبات الصخور المنقولة (الحصى، والرمل، والغرين، والطين) على مسافات شاسعة وغالبا ما تكون بعيدة كل البعد عن المصدر الصخري لهذه المواد.

**التعرية Erosion**

كما ذكر سابقا أن التعرية تختلف عن التجوية، فالتجوية عبارة عن عمليات تؤدي إلى تفتيت الصخور سواء الساكنة منها أو المتحركة، أما التعرية فهي عملية التقاط وإزالة هذه الرواسب المفككة بواسطة أحد العوامل مثل الماء أو الهواء أو الأنهار الجليدية. لذلك فإن معظم الصخور التي تتأثر بعمليات التعرية تعتبر شبه مفككة بواسطة التجوية، لكن بطبيعة الحال توجد صخور صلبة تتأثر بعوامل التعرية قبل أن تؤثر عليها عمليات التجوية. لذلك يستطيع النهر مثلا تعرية الطبقات الصخرية الصلبة أو شبه الصلبة سواء تعرضت لعمليات التجوية أم لا. وعمليات التعرية تعتبر عمليات متداخلة مع التجوية وفي بعض الأحيان لا يمكن الفصل بينهما لأنها تسير جنبا إلى جنب. وتلاحظ عمليات التعرية أكثر ضمن البيئات الجافة وشبه الجافة حيث تكون متلازمة مع التجوية الميكانيكية. وتشتمل التعرية على عمليتان هما عملية التذرية (Deflation) و عملية النحت (Abrasion).

## دور الرياح في عملية التعرية

إن دراسة الصور الجوية وتحليل صور الأقمار الاصطناعية قد أكدت دور الأنهار في عملية تشكل الأشكال التضاريسية الجيومورفولوجية المختلفة ضمن المناطق المعتدلة في العالم، وأكدت أيضا دور الرياح في تشكل التضاريس المختلفة في الصحاري. وتعتبر قوة الرياح العامل الأول في نحت الصحاري يليه في ذلك الأمطار اللحظية. فضلا عن دور الرياح في عملية نحت وتشكل الأشكال التضاريسية المختلفة فإن عملية التذرية بواسطة الرياح تعتبر عاملا مهما في عملية اكتساح التربة وتشكل المنخفضات الصحراوية، وعملية انكشاف جذور النباتات، وتكون الواحات الصحراوية. وعلى النقيض من ذلك فإن عمل الرياح في المناطق الصحراوية ليس مقصورا على هدم البيئة الصحراوية بفعل عمليات التذرية والنحت، فالرياح أيضا لها تأثير بنائي ضمن البيئة الصحراوية تتمثل في عملية النقل (Transportation) والترسيب (Deposition) وتكون الكثبان الرملية.

### 1. عملية التذرية Deflation.

عملية التذرية عبارة عن إحدى عمليات الهدم المرتبطة بالرياح ضمن البيئة الصحراوية. ما هي إلا عملية إزالة الرواسب التي تفككت نتيجة عمليات التجوية أو التربة السطحية ونقلها إلى أماكن أخرى. وهي تعتمد على نوع التربة السطحية أو الصخور ومدى كثافة الغطاء النباتي بصورة أساسية، بالإضافة إلى قوة الرياح وكمية الأمطار الساقطة وقوتها ومدى اتساع الرقع المكشوفة. نظرا لانخفاض محتوى التربة الصحراوية من المواد الصلصالية والمواد العضوية فهي قليلة الرطوبة، لذلك عادة لا تستطيع مقاومة عمل التذرية الهوائية. قلة الغطاء النباتي في المناطق الصحراوية يعود لضعف التربة السطحية وعدم وجود الماء، وهو يؤدي إلى زيادة فاعلية الرياح في عملية التذرية، فالرياح تعمل بحرية وقوة دون أن يعوقها عائق. وهي تؤدي إلى تكوين الأشكال التضاريسية التالية:-

#### (1) تكوين المنخفضات الحوضية Basin-Like Depressions.

تعتبر المنخفضات من الظواهر الجيومورفولوجية الهامة في جميع صحاري العالم التي تنتج عن عمليات متنوعة، ولها أشكال كثيرة تحمل أسماء متعددة مثل منخفضات البلايا (Playas)، والسبخات (Sabkhas)، والمسطحات الطينية (Mud Flats)، والواحات (Oasis)، وأحواض التذرية (Blowout). فالمنخفضات الحوضية بإمكانها أن تتشكل بواسطة الحركات الأرضية خاصة التصدع أو بواسطة عملية الإذابة المائية أو بواسطة عملية التذرية الهوائية. غالبا ما يتألف سطح المنخفضات الصحراوية من رواسب دقيقة من الطين والغرين أو من رواسب نتجت عن تبخر الماء الجوفي مثل معادن المتبخرات التي تشتمل على كلوريد الصوديوم و كربونات الصوديوم وكبريتات الكالسيوم. فهذه المكونات تؤدي إلى تكوين طبقة طينية متشققة أو مضلعة ناتجة عن جفاف المسطحات الطينية الملحية.

شكل وعمق المنخفضات الحوضية التي تتشكل بواسطة عملية التذرية يعتمد على درجة تماسك التربة السطحية وعمق الماء الجوفي وأهم هذه المنخفضات هي الواحات (Oasis)، وأحواض التذرية (Blowout). فالواحات عبارة عن منخفضات صحراوية إما أن تنتج بسبب تكتوني وهو تصدع القشرة الأرضية أو بفعل عملية التذرية. هنا عملية التذرية تؤدي إلى حمل الرواسب المفككة الدقيقة للطبقات الصخرية السطحية وتشكل منخفض سطحي، عملية التذرية تتواصل حتى تصل إلى منسوب الماء الجوفي القريب نسبيا من السطح، عندها تنتهي عملية التذرية ويبدأ الماء الجوفي بالتدفق على السطح حتى يملأ قاع المنخفض. أما أحواض



التذرية (Blowout) فهي أيضا عبارة عن منخفضات تشكلت بفعل عملية إزالة الرواسب المفككة الدقيقة وتتميز بانكشاف جذور النباتات وعدم وصول التذرية إلى منسوب الماء الجوفي.

## (2) الحصى المتبقي (الأرصفة الحصوية) Lag Gravel.

تعتبر الأرصفة الحصوية من أهم مظاهر السطح التي تتميز بها المناطق الصحراوية وهي قد تتشكل بسبب تفاعل عدد كبير من العمليات المختلفة مع سطح الأرض والتي تؤدي إلى نتائج واحدة. أهم هذه العمليات هو تعرية الطبقة السطحية من الحبيبات الطينية والرملية، وتركيز نسبة الحصى الذي يتخلف ويتبقى عن تلك العملية مكونا نطاق من الحصباء على سطح الأرض. لذلك نطاق الحصباء أو الحصى المتبقي يعتبر نتاجا لتذرية الرياح للمواد الدقيقة الرملية والغرينية والطينية، حيث تقوم الرياح بنقل هذه المكونات من الرواسب الدقيقة مخلقة من ورائها ما لا تستطيع حمله من حبيبات كبيرة جلاميدية متعددة الأشكال. وعملية التذرية هنا تعتمد على درجة تماسك التربة السطحية أو الصخور، وعلى حالة التربة إذا كانت الجفاف أو رطبة، وحالة التربة من حيث درجة انضغاطها. فكلما كانت التربة السطحية مفككة وجافة وغير مضغوطة كلما كانت عملية التذرية وتكون أسطح الحصى المتبقي أكفأ.

كما أن سطوح الأرصفة الحصوية يمكن أن تتشكل بفعل عمليات أخرى مثل التعرية بواسطة المياه الجارية. عادة الأمطار اللحظية التي تسقط على الصحاري تكون شديدة وغزيرة في فترة زمنية بسيطة، فهذه الأمطار لها القدرة على إزالة الرواسب الدقيقة وجرفها مخلقة من ورائها الرواسب الخشنة المتمثلة بالحبيبات الجلاميدية.

## 2. عملية النحت Abrasion.

هي عملية تؤدي إلى نحت الصخور وتشكلها بأشكال غريبة نتيجة لاحتكاك الصخور مع حبيبات الرمل التي تحملها الرياح. وتعتمد عملية النحت على نوعية الصخور، ودرجة صلابة الصخور، ونقاط الضعف الموجودة ضمن الصخور (الفواصل والشقوق) المكونة للجبال في المناطق الصحراوية. بما أن الصخور الرسوبية تتكون من طبقات متتابعة من صخور مختلفة المكونات فهي عندما تتعرض لعملية النحت والتعرية تتشكل بصور كثيرة جدا تعتمد على درجة مقاومة الصخور لعملية النحت وهذا ما يعرف بالتعرية التفاضلية (Differential Weathering). لذلك فإن الصخور الصلبة تتحمل النحت أما الصخور الهشة القليلة الصلادة أو التي تحتوي على شقوق وفواصل تنحط بصورة أسرع. عملية النحت أيضا تعتمد على قوة الرياح وما تحمله الرياح من حبيبات خاصة الحبيبات ذات الحجم الرملي الذي يتراوح طول قطرها بين 0.25 - 2 مم. وينتج عن هذه العملية أشكال تضاريسية مختلفة أهمها ما يلي:-

### (1) الأبراج الصخرية Rock Towers .

تتشكل الأبراج الصخرية عندما تحتوي المناطق الجبلية الصحراوية على صخور صلبة نوعا ما متضمنة على فواصل وشقوق كثيرة. فعملية النحت بالإضافة إلى عملية تجمد الماء (التفلق الصقيعي) تجعل قمم الجبال بشكل أبراج عالية مدببة الحواف ومتعرجة، وينحدر ويتجمع الفتات الصخري المتعدد الحجم الذي ينتج من عملية النحت على أسفح هذه الجبال مشكلا ما يعرف بركام السفح (Rock Talus).

### (2) عيش الغراب Mushroom Rocks .

ينتج شكل عيش الغراب عندما تحتوي الجبال والتلال على طبقات صخرية سفلية أقل تحمل للتعرية (أقل صلادة) وتعلوها طبقات صخرية صلبة وسميكة. عملية النحت على المرتفعات تؤدي إلى تآكل الطبقات

السفلية الهشة بوقت أقصر وبصورة أسرع من الطبقات العلوية التي هنا لا تتضمن فواصل وشقوق، وينتج عنها شكل تضاريسي متضمنا صخور علوية على هيئة قباب مسندة على أعمدة من صخور أقل صلابة.

### (3) الحصاة الهندسية Ventifacts .

حصاة ذات أشكال غريبة وسطوح منحوتة ومصقولة بفعل الرياح. فالرياح المحملة بالرمال تؤدي عمل النحت وصقل الأوجه الخارجية للحصى الموجود على سطح الأرض لان معظم هذه الرمال تعتبر من الحبيبات الكوارتزية ذات صلادة عالية (7 درجات على مقياس موهس للصلادة) مقارنة بالحصى المتبقي.

### (4) شكل الطاولة Table Rocks .

ينتج شكل الطاولة التضاريسي عندما تكون الطبقات السطحية للمرتفعات أو الصخور المكشوفة صلبة وذات سمك أقل من الطبقات السفلية الهشة وذات سمك أكبر. فعملية النحت التفاضلية تؤدي إلى سرعة تهشم وتعرية الطبقات السفلية مخلفة أعمدة صخرية مغطاة بطبقات رقيقة من الصخور الصلبة.

## دور الأمواج والتيارات البحرية في عملية التعرية

التيارات البحرية (Marine Currents) عبارة عن كتلة متصلة من المياه التي تتحرك حركة مستمرة ولا تتميز بانقطاع الحركة بأي حال من الأحوال، وهي محدودة التأثير على كيفية تشكل السواحل إذ لا يتعدى عملها نقل المواد الدقيقة العالقة. أما حركة المد والجزر تؤدي إلى تكون تيارات المد التي بدورها تؤثر فقط في نقل الرواسب من منطقة ساحلية إلى أخرى.

لكن الأمواج البحرية هي من أهم العوامل التي تؤدي إلى تشكل تضاريس السواحل، والرياح هي العامل الدافع الذي يؤدي إلى تكون الأمواج البحرية. تتأثر السواحل كثيرا عندما تكون معرضة لحركة الأمواج العالية في معظم الأحيان نظرا لقوة الأمواج وفعاليتها الكبيرة في تعرية الصخور المختلفة التي تكون الشواطئ. الشكل 2-82 و 2-83، يوضحان كيف أن الأمواج البحرية بإمكانها تغيير صورة الشواطئ مع مرور الوقت لأنها عندما تتحت الصخور تقوم أيضا بحمل الرواسب وتمريرها ضمن المناطق المحمية من الشاطئ بواسطة ما يعرف بالتيارات المحاذية للشواطئ (Long Shore Currents)، حتى يصبح الشاطئ في النهاية مختلف وتختفي بعدها الأجراف الصخرية التي كانت موجودة في السابق. لكن عندما تكون الأمواج البحرية قليلة السرعة عملية التغيير تأخذ فترات أطول مع العلم بأن عملية الترسيب سوف تغطي على عملية النحت والتعرية.

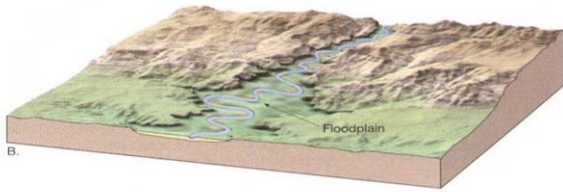
في طبيعة الحال، توجد أنواع مختلفة من الصخور التي تكون الشواطئ في العالم. عملية النحت بواسطة الأمواج البحرية تعتمد بصورة كبيرة على نوعية الصخور الشاطئية. فعندما تكون الصخور صلبة و متماسكة ولا تحتوي على شقوق وفواصل تصبح عملية النحت صعبة جدا، والعكس صحيح. عملية النحت تؤدي إلى تكوين تضاريس غريبة بسبب التعرية التفاضلية التي تعتمد على مدى مقاومة الصخور للتعرية والنحت والتآكل، وأيضا تشكل ظواهر غريبة في بعض الأحيان مثل ظاهرة النافورة الطبيعية لمياه البحر التي تحدث بسبب عملية النحت بواسطة الأمواج العالية السرعة والشديدة على صخور الشواطئ الجيرية مما يؤدي إلى تكون فجوات ضمن الصخور المكونة للجرف الصخري الشاطئي. هذه الفجوات تصبح ممرات للمياه القادمة مع الأمواج، فبسبب السرعة العالية للأمواج يندفع الماء على سطح الجرف الصخري للشاطئ على هيئة نافورة ماء طبيعية لكنها من ماء البحر، ومثال على ذلك شاطئ المغسيل في الجزء الغربي من ولاية ظفار في سلطنة عمان

## دور الأنهار الجارية والسيول والانهار الجليدية في عملية التعرية

تقوم الأنهار الجارية بعملية النحت والتعرية عندما يكون جريان الماء بشكل مضطرب، وهو عبارة عن جريان ذرات الماء بشكل مضطرب متغير متعاكس الاتجاه ملتفا بشكل دوامة. ويحدث التدفق المضطرب عندما تزداد سرعة الماء أو عندما يصبح المجرى النهري خشن. وهذا النوع من التدفق يعتبر العامل الأساسي لنحت المجاري المائية، وأيضا في حمل الفتات الصخري المتعدد الحجم إلى أماكن أخرى باتجاه مجرى النهر.

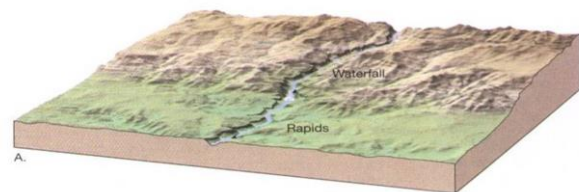
### مراحل تطور الأنهار في الطبيعة:-

#### مرحلة النضج البدائية (Primary Maturity)



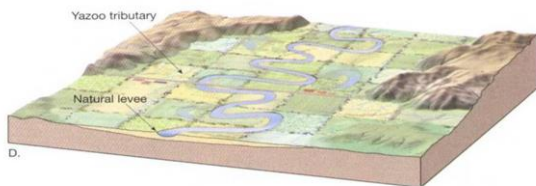
بداية تشكل الضفاف النهرية التي تتعرض للفيضانات في بعض الأحيان، ويبدأ النهر بالتعرج ويكون مجرى النهر على شكل حرف (U)، وجريان الماء صفحي لكن في أوقات ذوبان الجليد والأمطار الشديدة يكون مضطربا.

#### مرحلة الشباب (Youth Stage)



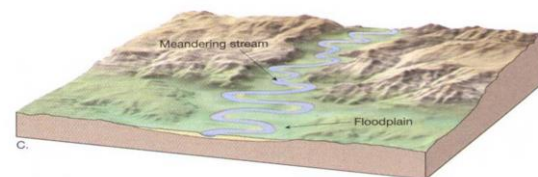
تتميز بوجود الشلالات الطبيعية (waterfalls) والدوامات المائية (Rapids)، وإن وادي النهر يكون بشكل حرف (V)، وسرعة جريان الماء عالية وفي معظم الأحيان يكون النهر مضطرب الجريان

#### مرحلة الكهولة (Old Age Stage)



التعرجات النهرية أكثر وضوحا وتوسعة كبيرة في الضفاف النهرية التي تتعرض للفيضانات عندما يرتفع منسوب الماء، ويكون مجرى النهر على شكل (U)، وتشكل تفرعات نهريّة وبحيرات هلالية على الضفاف الواسعة، ويكون جريان الماء صفحي دائما

#### مرحلة النضج الأخيرة (Final Maturity)



التعرجات النهرية أكثر وضوحا، وتوسعة في الضفاف النهرية، ويكون مجرى النهر على شكل حرف (U)، جريان النهر صفحي لكن في أوقات ذوبان الجليد والأمطار الشديدة يكون مضطربا