مقرر جيولوجيا1" جيولوجيا طبيعية"

لطلاب الفرقة

الأولي كلية التربية شعبة العلوم البيولوجية والجيولوجية

إعداد

د/ وائل دسوقي فريحي

كلية العلوم-قسم الجيولوجيا

العام الجامعي

2023-2022

المحتويات

1. ماهي الجيولوجيا.....1
2. أهمية دراسة الجيولوجيا.....1
3. أفرع علم الأرض.....2
4. أغلفة الأرض 5
5. التركيب الداخلي للأرض.....9
6. نظرية التوازن الايزوستاسي.....13
7. نظرية الانجراف القاري..... 16
8. نظرية الألواح التكتونية.....25
9. العوامل الداخلية المؤثرة في القشرة الأرضية..... 37
10. العوامل الخارجية المؤثرة في القشرة الأرضية.....63
11. قائمة المراجع.....87

1. ماهي الجيولوجيا

علم الجيولوجيا هو علم دراسة الأرض الذي يبحث في تكوين الأرض وتاريخها، والتغيرات التي تحدث علي سطحها وبداخلها والقوي المؤثرة عليها وأسبابها التي تحدث علي سطحها وبداخلها خلال الأزمنة الجيولوجية المتعاقبة. ولقد اشتق مصطلح جيولوجيا من اللغة الإغريقية حيث "جيو" تعني الأرض و"لوجوس" تعني علم ، وعليه فإن كلمة جيولوجيا تعني علم الأرض

ويقسم علم الجيولوجيا إلي قسمين رئيسيين وهما:

1- الجيولوجيا الفيزيائية (الطبيعية)

يعني هذا القسم بدراسة طبيعة وخواص وتوزيع المواد المكونة للأرض، والطرق التي ساعدت علي تكوين تلك المواد وأسلوب تغيرها وطرق نقلها وكذلك العوامل الجيولوجية التي تسبب تغير سطح الأرض

2- الجيولوجيا التاريخية

يشمل هذا العلم دراسة أصل الأرض وما عليها من كائنات وتطورها كما يشمل علي دراسة التغيرات التي طرأت علي سطح الأرض من ناحية توزيع المياه واليابسة منذ نشأة الأرض قبل ما يقرب من 4.6 بليون سنة وحتى الآن.

2. أهمية دراسة الجيولوجيا

تلعب الجيولوجيا (علوم الأرض) دورا هاما في معظم ميادين الحياة: الاقتصادية والبيئية والهندسية والعسكرية وغيرها نوجز منها ما يلي:

1- البحث عن مصادر الطاقة؛ كالبترول والغاز الطبيعي والفحم والطفلة الزيتية والعناصر المشعة والعمل علي اكتشاف أماكن تواجدها واستخراجها وتعظيم الاستفادة منها

2- البحث والتنقيب عن الخامات المعدنية المختلفة كالذهب والفضة والحديد والنحاس وغيرها.

3- استكشاف خزانات المياه الجوفية كمصدر للري والشرب.

4- تحديد مدي صلاحية المواقع المختارة لأقامة المشاريع الهندسية العملاقة ؛ كالسدود والجسور والأنفاق والمدن العمرانية الجديدة.

5- الحصول علي مواد البناء والتشييد كالحجارة والطوب والأسمنت والرخام والتي تستخدم في مشروعات الإنشاء والتعمير.

6- المساهمة في حماية البيئة.

7- تقليل المخاطر البيئية والجيولوجية كالمخاطر الناتجة من الزلازل والبراكين والسيول وهبوط وانزلاق المنحدرات.

3. أفرع علم الأرض

يقصر علم الجيولوجيا اهتمامه في دراسة الغلاف الصخري من شتي النواحي وذلك للوصول إلي تفهم تركيبات هذا الغلاف والعوامل التي تجري علية فتحدث فيه تغيرات وكذلك تاريخ تطوره. تتم هذه الدراسات عبر أفرع علم الجيولوجيا المختلفة حيث يختص كل فرع بدراسات مختلفة عن الأفرع الأخرى. وفيما يلي إيجاز لبعض هذه الأفرع كما يلي:

- **علم الجيوكيمياء Geochemistry**

يهتم هذا العلم بدراسة العناصر الكيميائية المكونة للأرض وتوزيعها وكيفية هجرتها إلي مواقع جديدة وكذلك التأثيرات الكيميائية للمياه والغلاف الجوي.

- **علم الجيوفيزياء Geophysics**

يشمل هذا العلم تطبيق النظريات الفيزيائية والرياضية في دراسة باطن الأرض. ومن الأمثلة علي ذلك دراسة المغناطيسية والجاذبية وعلم الزلازل والخواص الإشعاعية للصخور.

- **علم البلورات Crystallography**

يحتوي هذا العلم علي دراسة الشكل الخارجي للبلورات وكذلك التنظيم الذري الداخلي لبلورات المعادن، ويمكن اعتبار هذا العلم جزء من علم المعادن.

- **علم المعادن Mineralogy**

يهتم علم المعادن بدراسة المعادن المختلفة من حيث التركيب الكيميائي للمعادن والخواص الكيميائية والطبيعية لها وظروف تكوينها في الطبيعة وتصنيفها وطرق الكشف والتعرف عليها.

- **علم الصخور Petrology**

هو ذلك العلم الذي يهتم بدراسة الصخور التي ما هي إلا تجمعات معدنية مختلفة، لذلك يهتم علم الصخور بدراسة التركيب الكيميائي والمعدني للصخور المختلفة وخواصها وعلاقة بعضها ببعض والتغيرات التي تحدث لها بمرور الوقت وأصل تكوينها وكذلك الظروف التي تتحكم في تكوينها وتوزيعها في الأرض.

- **علم الطبقات Stratigraphy**

يهتم هذا العلم بدراسة طبقات الصخور الرسوبية وتتابعاتها وتصنيفها وتاريخ وظروف تكوينها ومضاهاة هذه الصخور التي تكون أجزاء من القشرة الأرضية.

- **علم الحفريات Palaeontology**

يهتم هذا العلم بدراسة بقايا الكائنات الحية القديمة في مختلف العصور الجيولوجية سواء كانت حيوانية أو نباتية وبناء علي ذلك يقسم هذا العلم إلي نوعين هما علم الحفريات

النباتية وعلم الحفريات الحيوانية ، كما يشمل هذا العلم أيضا علي دراسة البيئات القديمة والمناخ القديم.

- **علم الرسوبيات Sedimentology**

يهتم علم الرسوبيات بدراسة العوامل المسببة لتكوين الصخور الرسوبية من ضمنها منشأ الصخور ونقلها وترسيب المواد المكونة لها وتغيرها أثناء وبعد ترسيبها وحين تصلبها.

- **علم البراكين Volcanology**

يعني هذا الفرع دراسة كافة المظاهر البركانية وإعطاء معلومات عن باطن الأرض.

- **علم الزلازل Seismology**

وهو علم دراسة الزلازل وأسبابها وشدتها ومناطق توزيعها.

- **علم المحيطات Oceanography**

يقوم هذا العلم بدراسة التأثيرات الجيولوجية التي تحدث بواسطة البحار والمحيطات وكذلك الربط بين جميع الدراسات المتعلقة بالبحار والمحيطات كدراسة حدودها وتضاريسها والرسوبيات والصخور التي تكون قيعانها، ودراسة فيزياء وكيمياء مياه البحر وأنواع تيارات وأحياء المحيطات.

- **علم الجيولوجيا التركيبية Structural Geology**

الجيولوجيا التركيبية عبارة عن فرع الجيولوجيا الذي يهتم بشكل وتنظيم البنية الداخلية للصخور وتشوهها. تعتمد دراسة الجيولوجيا التركيبية كثيرا علي العمل الميداني ودراستها مهمة جدا في جيولوجيا المياه وجيولوجيا النفط.

- **الجيولوجيا الهندسية Engineering Geology**

يكمن دراسة هذا العلم في استخدام المعلومات الجيولوجية لتقييم مدي صلاحية المواقع بغرض إقامة المشاريع الهندسية عليها كإقامة المدن والسدود والطرق والكباري.

- **جيولوجيا التعدين Mining Geology**

يختص هذا العلم باستخدام وتطبيق المعلومات الجيولوجية بغرض استغلال مصادر الخامات المعدنية.

- **جيولوجيا البترول Petroleum Geology**

يهتم هذا الفرع بدراسة الطرق المختلفة للبحث والتنقيب عن الغاز الطبيعي والبترول.

- **الجيولوجيا الاقتصادية Economic Geology**

يختص هذا الفرع بدراسة طرق استكشاف المعادن والخامات ذات الأهمية الاقتصادية وتقييمها ومعالجتها ويمكن اعتبار جيولوجيا البترول والتعدين جزء من الجيولوجيا الاقتصادية.

- **علم المياه Hydrology**

يختص هذا العلم بدراسة خزانات المياه الجوفية من حيث طرق اكتشافها وتقييمها بغرض الاستفادة منها.

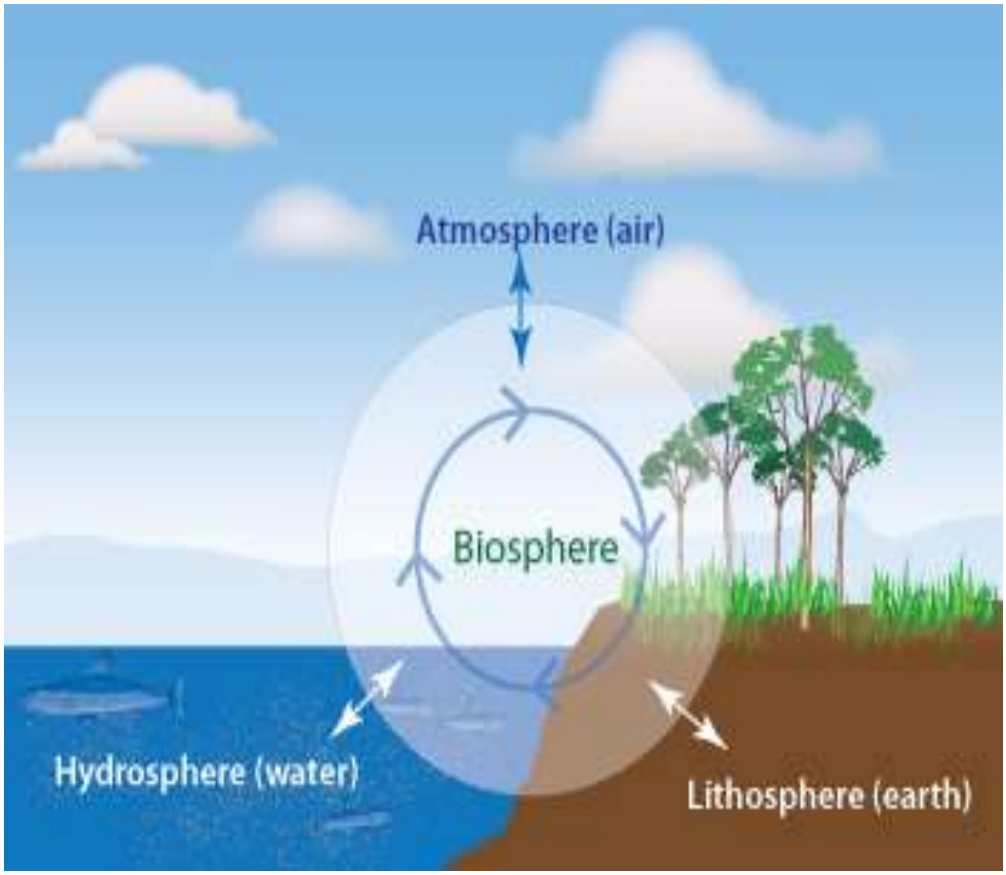
- **علم الجيومورفولوجيا Geomorphology**

يهتم هذا العلم بدراسة الشكل العام للأرض وتضاريسها من ناحية منشأها وتطورها.

4. أغلفة الأرض Earth's Shells

تم تقسيم كوكب الأرض إلي ثلاثة أغلفة أساسية وهي الغلاف الصخري Lithosphere والغلاف المائي Hydrosphere والغلاف الجوي Atmosphere وذلك اعتمادا علي حالات تواجد المادة الثلاث (الصلبة ، السائلة ، الغازية) بالإضافة إلي غلاف أخر وهو الغلاف الحيوي. تؤثر هذه الأغلفة في تغير شكل سطح الأرض

ومعالمه عن طريق تفاعلها مع بعضها البعض. أنظر الشكل (1) الذي يوضح الأغلفة المختلفة للأرض.

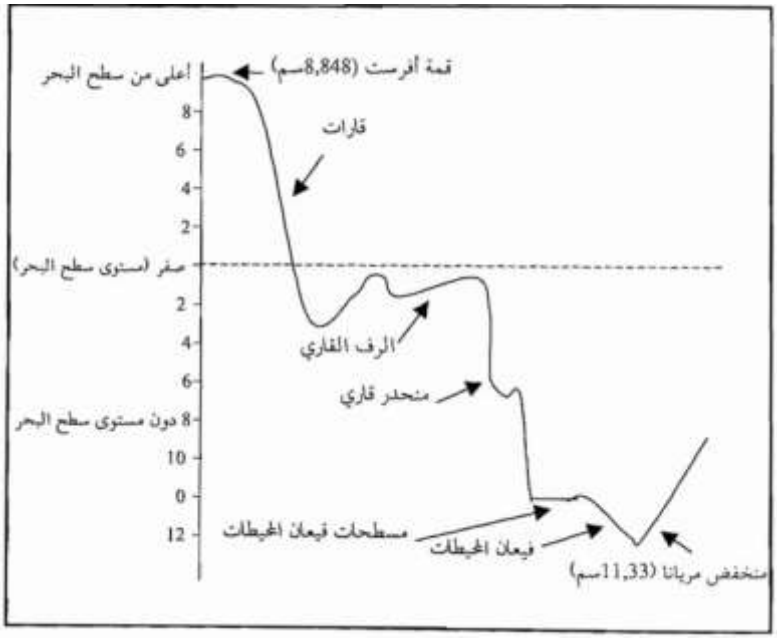


شكل (1) : الأغلفة المختلفة للأرض

1 ـ الغلاف الصخري Lithosphere

وهو عبارة عن الغلاف الخارجي المتصلب الذي يحيط بكامل الكرة الأرضية وهو يشمل القشرة الأرضية وجزء من الوشاح العلوي. يتكون الغلاف الصخري من عدة أنواع من الصخور الرسوبية بالإضافة إلي صخور أكثر صلابة وهي الصخور النارية والمتحولة وهذا الغلاف الصخري هو القشرة الأرضية التي تكون القارات وقيعان البحار والمحيطات وسطح هذا الغلاف الصخري غير منتظم فنجد أن ارتفاع أعلي قمة

لجبل وهي قمة افرست في جبال الهيمالايا حيث يبلغ ارتفاعها 8848 متر فوق مستوي سطح البحر وأقصي عمق للمحيط وهو منخفض مريانا في المحيط الهادي، وتنحدر حافات القارات بشكل تدريجي في معظم الحالات نحو قيعان المحيطات ويطلق علي ذلك الجزء من القارات القريب من اليابسة اسم الرصيف (الرف) القاري. وهناك جزء أكثر انحدارا من الرصيف القاري وهو الميل (المنحدر) القاري الذي ينتهي بقيعان المحيطات والبحار. شكل (2) يمثل المناطق المختلفة للغلاف الصخري.



شكل (2): المستويات والمناطق المختلفة للغلاف الصخري.

2- الغلاف المائي Hydrosphere

ويشمل هذا الغلاف كميات الماء التي تغطي سطح الكرة الأرضية بمساحة إجمالية تقدر بحوالي 71% من مساحة الأرض ولكن من ناحية أخري يشكل الغلاف المائي0.03% فقط من إجمالي كتلة الأرض. معظم الغلاف المائي مكون من المحيطات والبحار، وجزء منها يكون الأنهار والبحيرات، وجزء أخر متمثل في المياه الجوفية الموجودة في

مسامات الصخور في باطن الأرض. ويعتبر الغلاف المائي عملية هامة من العمليات الجيولوجية مثل عمليات التعرية (الحت) والترسيب، فيعمل علي تغيير سطح الأرض وبنائها، كما يعمل علي تفتيت الصخور الأرضية، وحمل الفتات بواسطة الأنهار إلي المحيطات والبحار حيث تعمل علي ترسيب الفتات لتكون الصخور الرسوبية المتنوعة التي تضم في ثناياها الأحافير والمعادن المختلفة .

3- الغلاف الجوي Atmosphere

هذا الغلاف هو الغلاف الخارجي الذي يحيط بالأرض ويمتد حتى ارتفاع 1500 كم من سطح البحر وهو مكون من خليط من الغازات الممتزجة التي تكون الهواء. وقد أثبتت التحاليل أن الهواء يتكون من 78% نتيتروجين، 21% أكسجين، 0.93% أرجون، 0.03% ثاني أكسيد الكربون بالإضافة إلي كميات قليلة من الهيدروجين والنيون والهليوم والكربتون والأوزون والنشادر وبعض الغازات الكبريتيدية ودائما أيضا ما يحتوي الهواء علي نسب متفاوتة من بخار الماء.

للغلاف الجوي أهمية بالغة من الناحية الجيولوجية حيث أنه خلال عملية التجوية يتفاعل الهواء كيميائيا مع الصخور مكونا مركبات جديدة. وكذلك التغير في درجة الحرارة يسبب لها التشقق والتفتت ونجد أيضا أن الرياح التي ما هي إلا هواء متحرك تبري وتنقل الصخور المفتتة وتخلق موجات وتيارات في مياه المحيطات.

4- الغلاف الحيوي Biosphere

قد لا تكتمل الصورة عن مكونات الأرض دون التحدث عن ذلك الغلاف الذي تعيش فيه الكائنات الحية سواء كانت نباتية أو حيوانية، ويوجد من هذه الكائنات الحية أعداد ضخمة تغطي مساحات شاسعة علي سطح اليابسة مثل الغابات والمراعي والأعشاب. وإما في داخل الماء فتوجد الأعشاب البحرية والأسماك والأحياء المجهرية. وفي الغلاف الهوائي تعيش الكائنات الحية الحيوانية والنباتية والإنسان. ويحتل هذا الغلاف

منطقة في كل من الغلاف الصخري والمائي والجوي أي يتداخل مع جميع الأغلفة. تكمن أهمية هذا الغلاف في التأثيرات البيولوجية والتفاعلات التي تقوم بها الكائنات الحية سواء كانت نباتية أو حيوانية علي صخور القشرة الأرضية.

يعتبر هذا الغلاف موضع الحياة العضوية من الأرض، وهو من العوامل المؤثرة في التحويلات المتباينة والتغيرات المختلفة التي تحدث في أجزاء الأرض القريبة من السطح، فالكائنات الحية تتلف وتغير الصخور والمعادن التي تكونت من قبل معطية بذلك مركبات ومعادن جديدة. وفضلا عن ذلك فان هذه الكائنات تعتبر المادة الأساسية في تكوين الصخور العضوية مثل الحجر الجيري والطباشير والفحم.

5. التركيب الداخلي للأرض Earth,s Interior

الأرض عبارة عن كوكب صخري تقع في المدار الثالث من المجموعة الشمسية ولها حركتان دورا نيتان . الأولي دورانها حول الشمس مرة في العام والثانية حول نفسها كل 24 ساعة، وهي عبارة عن كرة صلبة تأخذ شكلا شبة بيضاويا ويبلغ نصف قطرها الأفقي عند خط الاستواء 6378.1 كم ونصف قطرها العمودي عند الأقطاب 6356.7 كم. دلت الدراسات الجيوفيزيائية والسيزمية علي أن التركيب الداخلي للأرض التي يقع مركزها علي عمق 6371 كم يتألف من ثلاث طبقات أساسية هي: القشرة Crust - الوشاح Mantle - اللب Core، وكل من هذه الطبقات يلعب دورا هاما في مرور وانعكاس وانكسار الموجات الزلزالية نظرا لاختلاف كثافة الصخور واختلاف التركيب المعدني، بالإضافة إلي اختلاف درجات الحرارة والضغط مع ازدياد العمق. لكي نستطيع أن نفهم ميكانيكية العمليات الجيولوجية الداخلية أو الخارجية للأرض كميكانيكية الألواح التكتونية نحن بحاجة لمعرفة ما بداخل كوكبنا، ومم يتكون، وما هي الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمكونات باطن الأرض. لذلك سنلقي الضوء علي التركيب الداخلي لطبقات الأرض بشئ من التفصيل كما يلي:

1 - القشرة Crust

هي طبقة تمثل الجزء الخارج ي الصلب للأرض، تتكون معظمها بنسبة حوالي 95% من صخور نارية ومتحولة وتشكل الصخور الرسوبية نسبة 5% من مكونات القشرة الأرضية.وتتميز صخور القشرة الأرضية بكثافتها المنخفضة وبطبيعتها غير المتجانسة وذلك لاختلاف الظروف والبيئات التي تكونت فيها. وتتفاوت القشرة الأرضية بسمكها ومكونها الصخري حسب طبيعة امتدادها حول الأرض أي موجودة في المناطق القارية أو مكونة لقيعان المحيطات وتبعا لذلك تقسم القشرة الأرضية إلي:

أ - قشرة قارية Continental Crust

يتراوح سمك القشرة القارية ما بين 25 إلي 75 كم وتتكون غالبيتها من صخور الجرانيت (الغنية بسيلكات الألمنيوم والبوتاسيوم والصوديوم)، ومعدل كثافتها (2.7) جم/ سم^3 ، ويطلق علي هذه الطبقة اسم (سيال) (Sial). لماذا؟ وتوجد هذه الطبقة عادة في الأجزاء القاسية، ولا توجد في قيعان المحيطات والبحار.

ب -قشرة محيطية Oceanic Crust

يتراوح سمك القشرة المحيطية ما بين 5 إلي 10 كم وتتكون غالبيتها من صخور البازلت (الغنية بسيلكات المغنسيوم و الحديد)، ومعدل كثافتها (3) جم/ سم^3 ، ويطلق علي هذه الطبقة اسم (سيما) (Sima). لماذا؟ وتوجد هذه الطبقة عادة في قيعان المحيطات والبحار. وتخلو القارات من صخور البازلت عدا المناطق البركانية ومناطق الضعف في القشرة الأرضية التي ترتفع فيها الصهارة عبر الشقوق إلي سطح الأرض.

ان الاختلاف الواضح بين سماكة القشرة القارية عن القشرة المحيطية يدل علي ان للجبال جذور تتجاوز في سماكتها 4-5 أضعاف ارتفاع الجبال. أي أن للجبال أوتاد

سميكة نتجت من سماكة القشرة الأرضية حتي يحدث توازن ايزوستاسي بين مكونات القشرة الأرضية وفقا لكثافتها وسيتم التعرض لنظرية التوازن الايزوستاسي لاحقا.

2 - الوشاح Mantle

يقع الوشاح تحت القشرة الأرضية، ويصل عمقه إلي 2900 كم من سطح الأرض، وتكون 60% من كتلة الأرض و 84% من حجمها، ويتكون الوشاح من صخور صلبة عالية الكثافة تتراوح كثافتها ما بين 5-8 جم /سم ^{3}، وتتكون من سيلكات الحديد والمغنسيوم بدرجة رئيسية إضافة إلي الأكسجين والألمنيوم. يقسم الوشاح إلي قسمين وهما وشاح علوي Upper Mantle ووشاح سفلي Lower Mantle

أ - وشاح علوي Upper Mantle

يتكون من صخور صلبة لدنة معظمها من معادن الأولفين [$(Mg, Fe)_2 Sio_4$] والبيروكسين [$(Mg, Fe) Sio_3$] ومعادن أخري تتبلور في درجات حرارة عالية. وتتميز صخور الجزء العلوي من الوشاح العلوي في حالة شبة سائلة في منطقة تسمي الأسينوسفير Asthenosphere نتيجة للحرارة العالية التي ترجع إلي وجود بعض المواد المشعة فيها وتعد مصدر الماجما البازلتية Basaltic Magma. ونظرا للضغط الشديد الواقع فوق تلك المنطقة فان صخورها أصبحت في حالة لزجة ثقيلة القوام تنزلق عليها الصفائح التكتونية التي تحمل فوقها القارات والمحيطات مسببة ما يسمي بالزحف القاري Continental Drift والذي يعد أحد الأسباب الرئيسة لحدوث الزلازل في العالم.

ج -وشاح سفلي Lower Mantle

منطقة الوشاح السفلي تشكل تقريبا نصف كتلة الأرض من المحتمل أن تتكون من السيلكون والمغنسيوم والأكسجين مع كميات من الحديد والكالسيوم والألمنيوم وهي في حالة صلبة.

3 - اللب Core

تشكل هذه الطبقة الكتلة المركزية للأرض وتتألف من معادن الحديد والنيكل ويصل سمكها إلي نحو 3470 كم . ويقسم اللب إلي قسمين :

أ - اللب الخارجي Outer Core

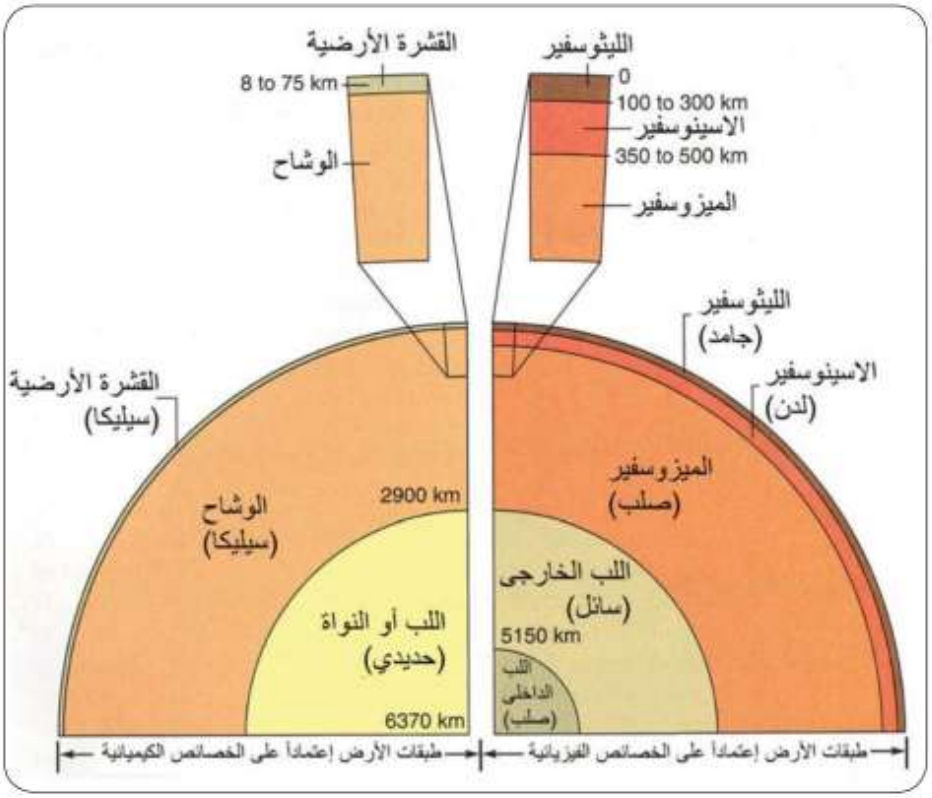
يبلغ سمكه 2200 كم ويصل إلي عمق 5100 كم من السطح ويتركب أساسا من عنصري النيكل والحديد في الحالة السائلة ولا تنتشر موجات القص فيه أثناء حدوث الزلازل. كثافة اللب الخارجي تقدر بحوالي 10 جم /سم^3.

ب -اللب الداخلي Inner Core

يبدأ اللب الداخلي من عمق 5100 كم حتي مركز الأرض علي عمق 6371 كم ويبلغ سمكه 1270 كم ويتكون من مزيج من عنصري النيكل والحديد في الحالة الصلبة وذلك نتيجة للضغط الهائل المتراكم فوقها. كثافة اللب الداخلي تتراوح مابين 14.5-18 جم /سم^3.

دلت الدراسات الجيوفيزيائية أن كثافة الصخور تزداد تدريجيا مع ازدياد العمق حيث وجد أن مكونات الأرض في اللب أثقل منها في الوشاح وفي الوشاح أثقل منها في القشرة. حيث تبلغ كثافة صخور اللب حوالي 12 جم /سم^3 بينما في الوشاح 3.5 جم /سم^3 وفي صخور القشرة تصل إلي 2.7 جم /سم^3.

يعبر عن الكثافة بدلالة الوزن النوعي بأنها حاصل قسمة الوزن علي الحجم وقد وجد أن كثافة الأرض الكلية حوالي 5.5 جم /سم^3 ، وكثافة صخور القشرة الأرضية تتراوح بين 2.6-3 جم /سم^3 ،لذا يستدل علي أن كثافة اللب الباطني للأرض يجب أن يكون أعلي من 5.5 جم /سم^3 . شكل (3) يوضح التركيب الداخلي للأرض



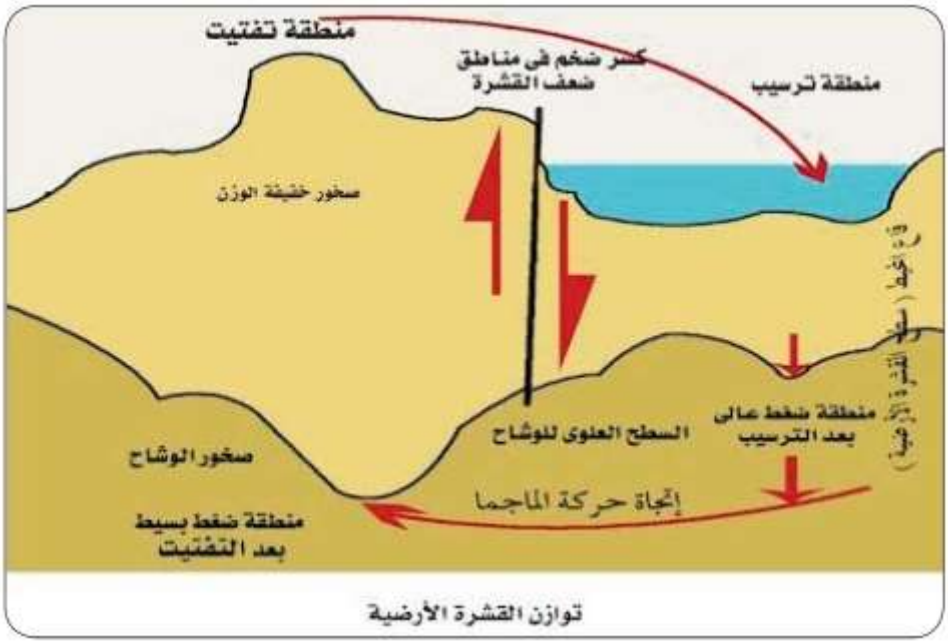
شكل (3): التركيب الداخلي للأرض.

6. نظرية التوازن الايزوستاسي Isostasy

تنص نظرية التوازن علي أنه عند عمق كبير داخل الكرة الأرضية يعرف بعمق التعادل Compensation Depth يحدث توازن لأجزاء القشرة المختلفة من حيث الضغوط والكثافات بالرغم من اختلاف سمكها وكثافتها.

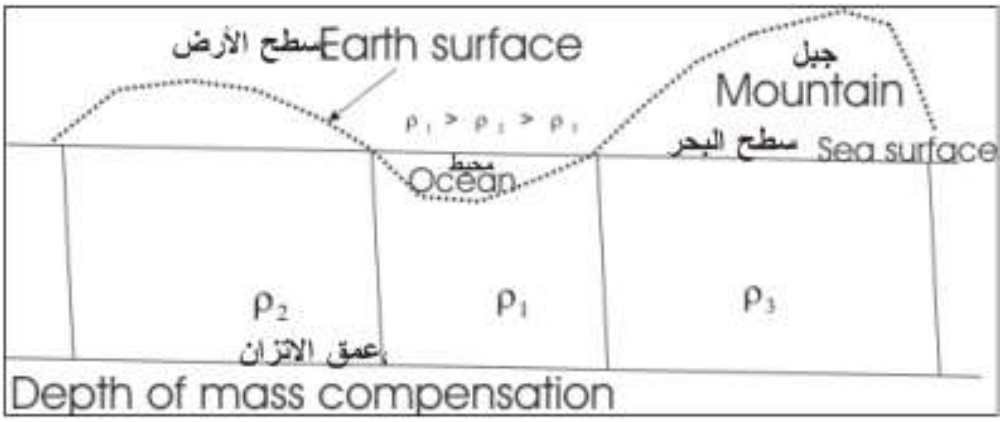
هناك تفسيران مختلفان لنظرية التوازن وضعهما العالمان الانجليزيان إيري وبرات في منتصف القرن التاسع عشر، وطبقا للتفسير الذي قدمه إيري فان السلاسل الجبلية (التي تتكون من صخور ذات كثافة منخفضة نسبيا) تطفو بشكل أكثر ارتفاعا فوق الأسينوسفير من الشرائح التي تكون قشرة المحيط الأعلى كثافة، وبالإضافة إلي ذلك

فان القشرة القارية التي تكون الجبل تمتد في الاسينوسفير مكونة جذورا يصل عمقها من خمسة إلي ثمانية أضعاف ارتفاع الجبل الأصلي. (الشكل4)



الشكل (4): يبين افتراض العالم ايري لنظرية الاتزان

أما التفسير الأخر الذي وضعة العالم برات فيفترض أن الطبقة السفلية التي تطفو عليها القشرة لها نفس الكثافة، ولكن الشرائح المختلفة من قشرة الأرض لها كثافات مختلفة وافترض أن الشرائح الجبلية لها كثافة اقل من الشرائح التي تكون قاع المحيط ، وهكذا فان القشرة تمتد بنفس المستوي في الطبقة السفلية ولكن لا توجد الجذور التي افترضها إيري (الشكل:5)



الشكل: (5) يبين افتراض العالم برات لنظرية الاتزان

وتفترض نظرية التوازن أن الكتل الأرضية متوازنة وثابتة رغم النتوءات البارزة كالجبال والأعماق مثل المحيطات لذلك عند حدوث تحات في صخور القارات وترسب الفتات في المحيط فان قاع المحيط يهبط لأسفل بسبب ثقل الرسوبيات الفتاتية المتجمعة عليه، وهذا يسبب إزاحة الصخور تحت القشرة فتندفع القارات إلي أعلي، وهكذا فان تحريك القارات لأعلي يعود إلي عوامل النحت التي تزيل مزيدا من صخور القشرة القارية مما يجعل الأخير أكثر خفة وتصبح معرضة لمزيد من الارتفاع ويسمي ذلك بإعادة التوازن الاستاتيكي. وهذا النوع من التحركات الأرضية هو الذي ينشأ عنة تغير وضع المحيطات والقارات في الأزمنة الجيولوجية ومثال ذلك الصحاري المصرية العديدة التي كانت مغطاة بمياه البحر لمسافات متباينة في الأزمنة الجيولوجية الماضية نتيجة لتقدم البحر القديم علي الأراضي المصرية وانحساره عنها عدة مرات. ومن الأدلة علي ارتفاع سطح الأرض عن منسوب البحر نتيجة لهذه التحركات وجود ما يعرف بالشواطئ المرتفعة مثل تلك الموجودة علي سواحل البحر الأحمر وهي مكونة أساسا من الشعاب المرجانية ويقدر ارتفاع هذه الشواطئ عن منسوب البحر الحالي بحوالي 30-50 مترا.

7. نظرية الانجراف القاري Continental Drift Theory

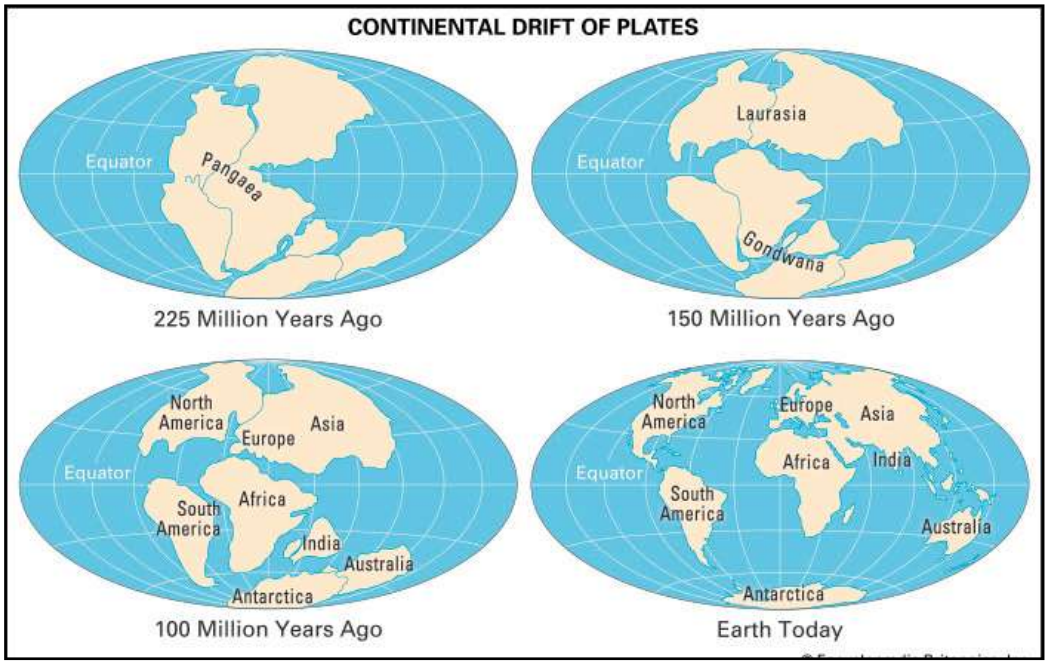
افترض الجيولوجيون في وقت سابق أن القارات كانت مستقرة وثابتة في مكانها بالنسبة للأرض، ولكن منذ عام 1620 م أبدي السير فرانسيس بيكون (الفيلسوف الانجليزي الشهير) ملاحظة أن هناك تشابها لشواطئ أفريقيا وأمريكا الجنوبية التي تطل علي المحيط الأطلنطي، وبعد أكثر من مائتي عام لاحظ أنطونيو سنيدر تشابها بين حفريات نباتية معينة كان قد جمعها من أوروبا وأمريكا تتوافق مع بعضها أذا ما قورنت مع بعضها، وفي عام 1885 قدم أحد الجيولوجيين النمساويين (وهو ادوارد سويس) الفكرة التي تقول أن التكوينات الجيولوجية في النصف الجنوبي من الكرة الأرضية كانت متشابهة لدرجة أنة استطاع أن يوافقها مع بعضها علي شكل قارة كبيرة واحدة سماها أرض جوندوانا Gondwanaland .

هذه الملاحظات المهمة من بيكون وسنيدر وسويس ، والدلائل الجيولوجية التي جمعوها تفترض بجلاء أن القارات لم تكن دائما في نفس مكانها الحالي ، ويبقي علي ألفريد فيجنر (الفلكي الألماني) أن يضع تفسيره لهذه الظاهرة، وفي عام 1912 م أفترض الفريد فيجنر نظرية الانجرا ف القاري أو نزوح القارات فأطلق بذلك زناد الخلاف العلمي الذي استمر لعشرات السنين.

وتنص نظرية الانجراف القاري لفجنر إلي وجود كتلة كبيرة جدا من اليابسة كونت قارة عملاقة أطلق عليها اسم بانجيا Pangea أي كل اليابسة وهي مشتقة من لفظ إغريقي ثم تهشمت هذه القارة الأم إلي قطع منذ 200 مليون سنة مضت ، وان هذه القطع قد نزحت ببطء إلي لن وصلت لوضعها الحالي (شكل6).

وبالرغم من أن بعض العلماء ما زالوا يؤيدون وجود البانجيا فان البعض يري أن الالتحام القاري لم يكن كاملا وفضلوا افتراض وجود كتلتين كبيرتين من اليابسة الأولي لوراسيا Laurasia في النصف الشمالي من الكرة الأرضية وكانت تتكون من أوراسيا

(أسيا +أوروبا) وأمريكا الشمالية والثانية جوندوانالاند Gondwanaland في النصف الجنوبي من الكرة الأرضية وكانت تتكون من أمريكا الجنوبية، أفريقيا، الجزيرة العربية، مدغشقر، الهند، سيلان، استراليا، نيوزيلندا، ثم القارة القطبية الجنوبية.



شكل (6): يوضح نظرية الانجراف القاري

أي أنة لم تكن اليابسة موزعة بالصورة الحالية علي سطح الأرض في الأزمان السابقة منذ نشأة وتكوين اليابسة بل يعزي توزيع القارات الحالية بهذه الصورة إلي عملية التصدع وتمزق قارات أقدم منها ثم زحف وانجراف الكتل المنفصلة بعضها عن بعض واستقرارها في أوضاعها الحالية مكونة القارات الحديثة. وتعتبر نظرية نزوح القارات مفتاح الطريق لنظرية تكتونق الألواح.

شواهد ودلائل نزوح وانجراف القارات

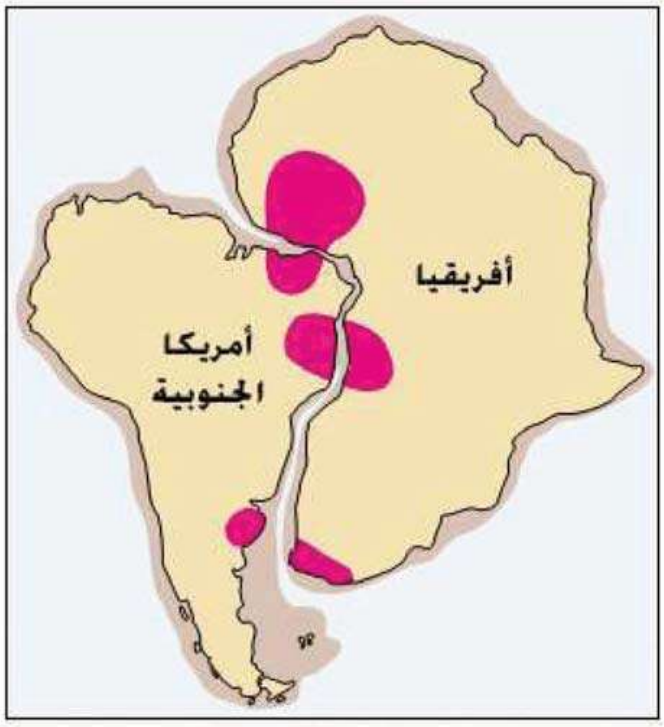
كثير من علماء الأرض يجدون الآن أن هذه النظرية (التي كانت ثورية في وقت ما) منطقية تماما في ضوء الاكتشافات الحديثة، وهذه الاكتشافات تشير إلي أن القارات لم تنتقل في الماضي وحسب ولكنها مازالت تبتعد عن بعضها حتى الآن. نسرد الآن بعض من شواهد الانجراف القاري كالتالي:

1- الشاهد الجغرافي

كان ذلك واضحا من خلال التطابق الواضح بين خط الساحل الشرقي لقارة أمريكا الجنوبية وخط الساحل الغربي لقارة أفريقيا (شكل 7) والذي يدعو لتصور أنهما كانتا متحدتين في وقت ما ثم انفصلتا فيما بعد. وللوهلة الأولي يبدو أن حدود القارات الأخرى لا تتوافق بنفس الإتقان الذي حدث في حالة أفريقيا وأمريكا الجنوبية، ولكن لو حاولنا توفيق القارات الأخرى عند حدود منحدراتها القارية (التي تقع علي عمق 900 متر تحت سطح البحر) فإنها تتوافق جيدا بدرجة ملحوظة.

2- الشاهد من علم التقويم الجيولوجي

درس العلماء السمات الفيزيائية والكيميائية للصخور في قاع المحيط وفي الشواطئ المتقابلة للقارات ووجدوا تشابها كبيرا بينها، وبواسطة طريقة قياس الإشعاع لتقدير عمر الصخور تبينوا أن الصخور في أماكن متباعدة مثل الهند وأستراليا وأمريكا الجنوبية وأفريقيا يمكن أن ترتبط ببعضها علي أساس عمرها الجيولوجي، وبالطبع يمكن استنتاج أن توافق القطاعات الجيولوجية في هذه المناطق البعيدة عن بعضها يدل علي أنها تكونت في نفس الزمن، وبالتالي فإنها كانت ملتصقة.

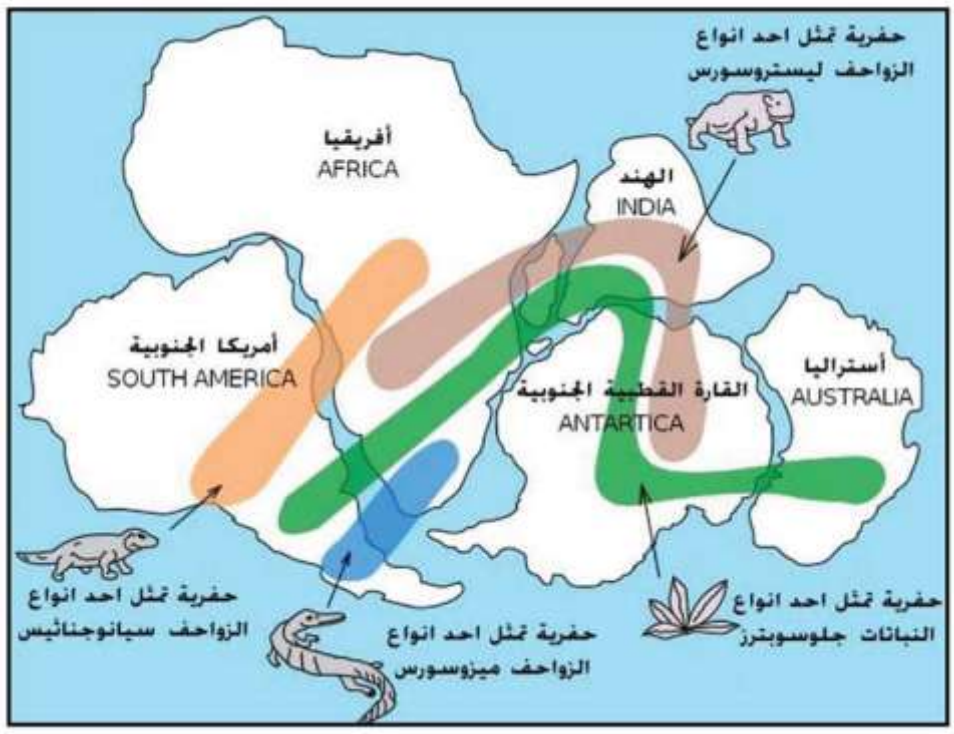


شكل (7):يبين التطابق الواضح بين خط الساحل الشرقي لقارة أمريكا الجنوبية وخط الساحل الغربي لقارة أفريقيا

3- شواهد من علم الحفريات

إن وجود حفريات لنباتات وحيوانات متشابهة كانت تعيش علي اليابسة يؤيد أيضا نظرية نزوح القارات. ومن الأمثلة علي ذلك وجود حفريات نباتية لجنس الجلوسوبترز Glossopteris وهو أحد النباتات السرخسية في صخور لنفس العمر في كل من أمريكا الجنوبية، جنوب أفريقيا، أستراليا، الهند، مدغشقر، والقارة القطبية الجنوبية، ويتفق علماء النبات علي أن هذا السرخس لم تكن لدية إمكانية الانتشار عبر بحار ومحيطات شاسعة مثل تلك التي تفصل حاليا بين المناطق المذكورة، حيث أن بذوره ثقيلة وكبيرة الحجم ومن المستبعد انتقالها لمسافات بعيدة عن طريق الرياح. وذلك يشير أن هذه القارات كانت متصلة ببعضها البعض في يوم ما. يدل أيضا توزيع الزواحف في

أماكن متفرقة من جندوانا مثل زواحف الميزوسورس Mesosourus في جنوب أفريقيا وجنوب البرازيل وكذلك زاحف لايستروسورس Lystrossaurs في كل من جنوب أفريقيا والهند وجنوب شرق أسيا والقارة القطبية الجنوبية (شكل: 8) ، كل ذلك يشير إلي وجود اتحاد بين قطع جندوانا أثناء غزوها هذه الكائنات حيث انها لا تستطيع السباحة لآلاف الكيلومترات في المياه المالحة لتنتشر في المناطق الموجودة بها حاليا، حيث أنها كائنات تعيش في المياه العذبة الضحلة.

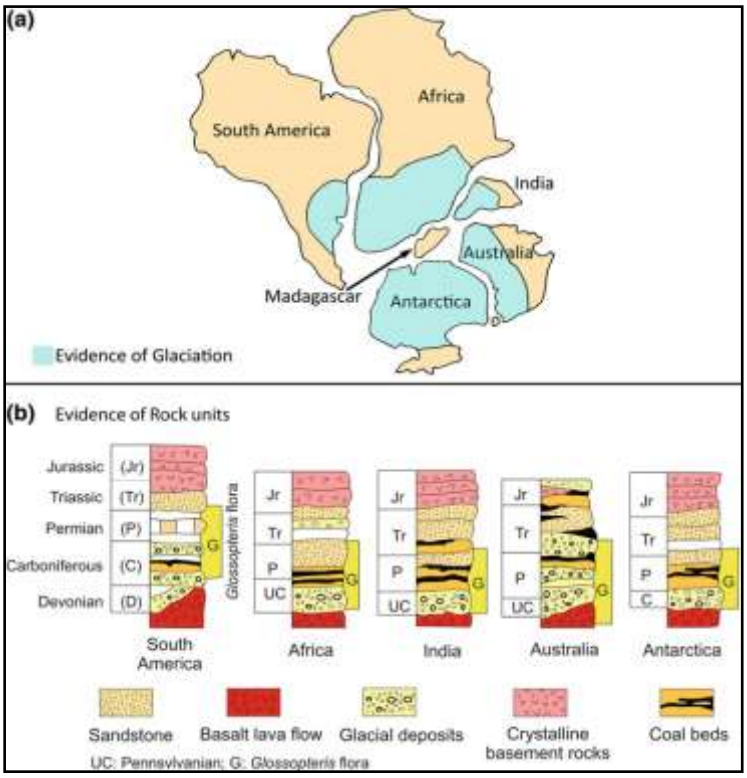


شكل (8): يبين توزيع النباتات والزواحف في أماكن متفرقة من أرض جندوانا.

4- شواهد من اتجاه وتوزيع الجليد

تفهم طبيعة المناخات القديمة يساعد علي تأكيد نظرية النزوح القاري حيث تلعب خطوط العرض دورا رئيسيا في تحديد المناخ السائد، ففي المناطق الاستوائية يكون المناخ أدفا عنه في المناطق القطبية وأيضا تعكس الصخور الرسوبية الظروف المناخية

السائدة أثناء زمن ترسيبها. وقد وجد أن بعض الرواسب الجليدية موجودة بعيدة عن الأقطاب الحالية مثل الهند وأفريقيا وأمريكا الجنوبية واستراليا والقارة القطبية وذلك يوحي بأن أجزاء من هذه القارات كانت مغطاة في وقت ما بمسطح جليدي هائل وذلك دليل علي وجودها جميعا في مناخ قطبي متجمعة في وقت ما شكل (9) يوضح توزيع الرواسب الثلجية في أماكن متفرقة وغير قطبية في الوقت الحالي.



شكل (9): يوضح الرواسب الجليدية موزعة في مناطق غير قطبية حاليا.

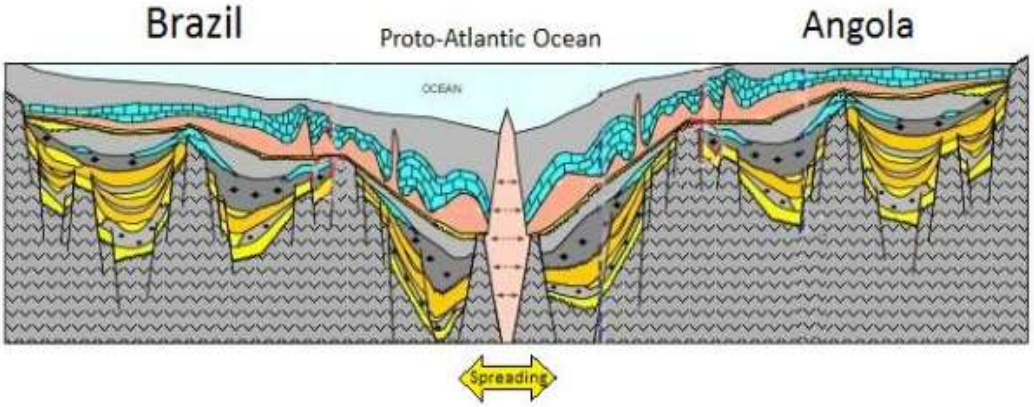
5- شواهد من علم المناخ القديم

توجد دلائل علي نظرية الانجراف القاري اعتمادا علي طبيعة المناخ القديم تشمل الشعاب المرجانية (التي تدل علي سبق وجود بحار ضحلة دافئة) وطبقات الفحم الحجري التي تكونت من نباتات عاشت في جو حار رطب، وتوجد شعاب مرجانية

متحفرة ورواسب قديمة للفحم في أماكن من العالم تتميز بمناخ شديد البرودة وربما شديد الجفاف أيضا لا يمكن أن يسمح بوجود شعاب مرجانية أو نباتات مستنقعات.

6- شواهد جيولوجية

علي جانبي المحيط الأطلنطي العديد من المظاهر الجيولوجية تنتهي بشكل مفاجئ عند شواطئ أحد القارات ثم تعاود الظهور في القارة المواجهة.أحد الأمثلة علي ذلك سلاسل جبلية في جنوب أفريقيا تمتد من الشرق إلي الغرب تنتهي بصورة حادة عند شاطئ المحيط ويوجد مكافي لها من حيث نوعية الصخور والمحتوي الأحفوري والعمر والمظاهر التركيبية في جبال بالأرجنتين. وكذلك التتابع الرسوبي المتشابه بكل من جنوب أمريكا (البرازيل) وأفريقيا(أنجولا) شكل (10).



شكل (10): تتابع رسوبي متشابه فيكل من قارة أفريقيا وأمريكا الجنوبية.

7- المغناطيسية القديمة

كيف نعرف ان الصخور تزداد في العمر علي جانبي حيد وسط المحيط الأطلنطي؟ يكمن الدليل في وجود مغناطيسيات "متحفرة" قديمة مدفونة في انسيابيات اللابة ، ويعرف معظمنا كيف أن قطبي المغناطيس الأرضي يؤثران علي إبره البوصلة فيتجه طرفاها إلي الشمال والجنوب، فعندما تتكون صخور تحتوي علي حبيبات دقيقة من

معادن حديدية قابلة للمغنطة فان تجمعات هذه المعادن الحديدية تترتب في اتجاه المجال المغناطيسي الأرضي السائد عند وقت تكوين الصخور، ومن المهم أن نعرف أن هذه البوصلات الدقيقة تحتفظ بصفاتها المغناطيسية لملايين السنين وهذه الخاصية الصخرية تعرف باسم المغناطيسية القديمة.

وفي أي صخر ينتمي لعصر محدد فإن بوصلاته المتحفرة تصطف في اتجاه القطبين المغناطيسيين للارض كيفما كان هذا الاتجاه وقت تكوين الصخر. ومن خلال معرفة زاوية الانحراف المغناطيسية القديمة للصخر والتي تسمي " المغناطيسية المتبقية " يمكن ربطها بالموقع الجغرافي وقت تكوين الصخر وبالتالي يمكن التعرف علي حدوث زحزحة أو انجراف قاري قد حدث.

8- توسع قاع البحر Sea Floor Spreading

وجد العلماء دليلا قويا يؤيد نزوح القارات ممثلا في قاع البحار والمحيطات وخاصة المحيط الأطلنطي ما يسمي بحيد وسط المحيط الأطلنطي Mid Atlantic Ridge وهي عبارة عن سلسلة جبلية تمتد بطول 16000 كيلو متر تحت سطح المحيط تبدأ من الطرف الجنوبي لأفريقيا وتسعي كالأفعى الضخمة فوق قاع المحيط حتى تصل إلي أيسلندا في الشمال ويبلغ عرضها 32 كم وترتفع حوالي 1600 متر فوق قاع المحيط.

وتحكي لنا الصخور فوق وقرب حيد وسط الأطلنطي الشئ الكثير عن قشرة الأرض وعن كيفية حدوث نزوح القارات، وقد دلت البحوث علي أن قاع المحيط قرب الحيد ليس مستقرا وانه يزداد اتساعا كما تزداد المسافة بين القارات، ويمتد أخدود عميق (أو خندق علي طول قمة حيد وسط الأطلنطي، ويبدو أن توسع قاع المحيط يصاحبه نشاط بركاني يتولد من تحت الحيد ناتجا عنة خروج اللابة المنصهرة من الأخدود الأوسط عند قمة الحيد وتنسكب اللابة علي سفحي السلسلة الجبلية تحت المحيط وفي كل مره عندما تحدث ثورة بركانية فان الضغط الناشئ عن تدفق اللابة يدفع جانبي الأخدود

تدريجيا بعيدا عن بعضهما وتتجمد اللابة الجديدة داخل الأخدود الوسطي وعلي جانبية، ومن ثم فان اللابة تزداد في العمر علي جانبي الأخدود وتكون النتيجة تتابعا من الأشرطة المتوازية من اللابة التي تزيد في العمر كلما ابتعدنا عن قمة الحيد.

وقد افترض بعض العلماء أن تمدد قاع المحيط يشبه نطاق نقل هائل، وبتعبير أخر فإنه يعمل علي حمل القارتين بعيدا عن بعضهما، ويوحي مبدأ توسع قاع البحر أن قاع المحيط الأطلنطي يزداد اتساعا كلما تم دفع القارتين بعيدا عن حيد وسط المحيط، وهذا بدوره يعني أن قاع المحيط الهادي يتقلص ومن المعتقد أن المادة الفائضة بسبب انكماش المحيط الهادي يتم دفعها إلي أسفل خلال نطاقات الانضواء Subduction Zones وهي عدة أغوار محيطية يتم من خلالها دفع المادة الفائضة إلي الوشاح عن طريق الأجزاء الهابطة من القشرة المحيطية شكل (11). ومن خلال دراسة توزيعات الزلازل علي خريطة العالم وانحصارها في نطاقات تعرف باسم Benioff Zones والتي تتركز وتتفق مع حيود وسط المحيطات Occenic Ridge ومناطق الأغوار المحيطية Occenic Trench ساعدت في تأكيد فكرة توسع قاع المحيط.

شكل (11): يبين ظاهرة اتساع قاع المحيط.

8. نظرية الألواح التكتونية Plate Tectonic theory

تسمي هذه النظرية بأسماء متعددة، ومنها نظرية تكتونية الأرض ونظرية تكتونية الألواح، ويشير مصطلح تكتوني إلي معني البناء ولذلك فإن مفهوم النظرية يشير إلي حركة الألواح المؤدية لبناء القشرة الأرضية، وقد ظهرت هذه النظرية نتيجة جهود العديد من العلماء خلال فترة الستينات من القرن الماضي.

تعتبر نظرية الألواح التكتونية نموذجا لحركة الغلاف الصخري فوق نطاق الأسينوسفير اللدنة. وتنص هذه النظرية علي ما يلي: ***إن الغلاف الصخري الأرضي الصلب يتألف من عدة صفائح سمكها تقريبا حوالي 100 كم تطفو هذه الصفائح فوق طبقة الأسينوسفير اللدنة وتتحرك هذه الصفائح حركة أفقية مقتربة أو مبتعدة عن بعضها البعض وتقدر سرعة حركة هذه القطع مابين 1-18 سم لكل عام.***

كان لاكتشاف سريان وانبعاث درجات الحرارة العالية عند سلاسل جبال وسط المحيطات والتي تعرف بالجبال النشطة والزلازل والبراكين في مناطق معينة قرب حواف القارات وحول مناطق الضعف في المحيطات وهي المناطق المتشققة والمتصدعة وكذلك تمدد قيعان المحيطات وتجدد قشرتها باستمرار والتي تعرف باسم ظاهرة انتشار قاع المحيط Sea floor spreading بجانب نظرية نزوح القارات الأثر الأكبر في بزوغ نظرية الألواح التكتونية. وبناء علي هذة النظرية فان كثير من المظاهر الجيولوجية المعقدة والتي حدثت في الأزمان السحيقة أولا تزال حتي اليوم قد أمكن تفسيرها ومنها:

1- حداثة أعمار قيعان المحيطات بالنسبة إلي عمر القارات

2- تكون الأخاديد والجروف العميقة ودروع الجزر في المحيطات.

3- تولد الزلازل عند مناطق هبوط الألواح عند حواف القارات والفجوات والاخاديد أو بالقرب من الجزر.

4- بقاء وثبات القارات.

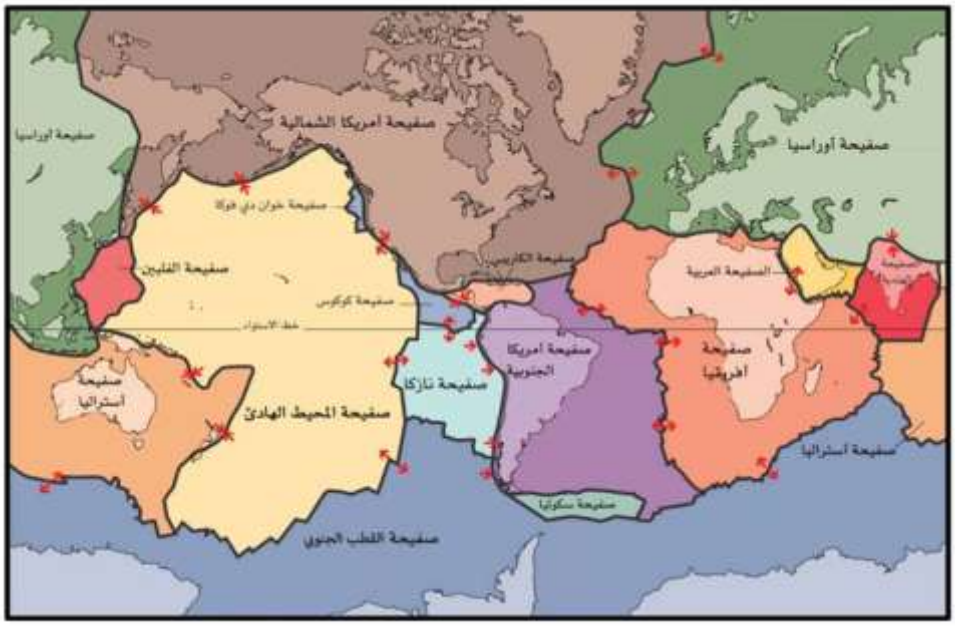
5- تكون السلاسل الجبلية.

6- وصف حركة القارات.

7- توزيع وانتشار الخامات والرواسب المعدنية وكذلك النفط والغاز الطبيعي في القشرة الأرضية.

يميز معظم الجيولوجيين ستة ألواح كبري رئيسة وعدد من الألواح الصغيرة، الألواح الكبري تشمل صفيحة أوراسيا القارية، صفيحة المحيط الهادي المحيطية، والصفائح القارية المحيطية وهي مشتملة علي صفيحة أفريقيا، وصفيحة أمريكا، وصفيحة المتجمد الجنوبي، والصفيحة الهندية الأسترالية. أما الصفائح الصلبة الصغيرة فمنها : صفيحة نازكا، والصفيحة العربية، وصفيحة الفلبين، وصفيحة الكاريبي، وصفيحة جنوب شرق اسيا. شكل (12)

وأما عن طبيعة حركة هذه الصفائح، فهي تتحرك حركة مستقلة عن بعضها البعض، فمثلا إذا حددنا نقطتين (أ، ب) علي صفيحة واحدة فإن المسافة بين النقطتين تبقي ثابتة مع الزمن، ولكن إذا حددنا النقطتين (أ، ب) علي صفيحتين متجاورتين فان المسافة بينهما تتغير بصورة مستمرة، ومن هنا نستدل ان الصفيحة الواحدة تتحرك كوحدة مستقلة، وتقع معظم أثار هذه الحركة علي حدود الصفائح وتظهر نتيجة لذلك بعض العمليات الداخلية مثل الزلازل والبراكين.



شكل (12): حدود الالواح الكبيرة والصغيرة

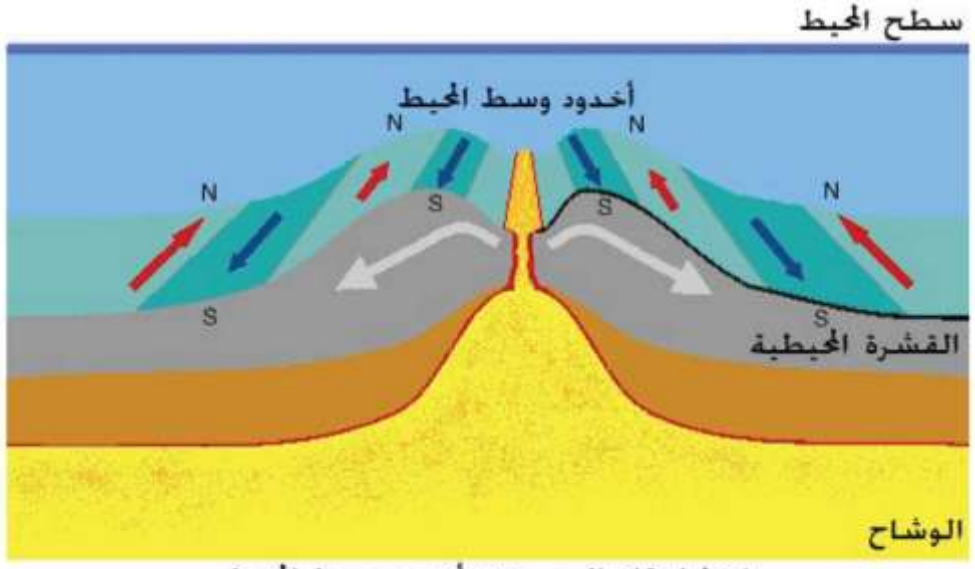
حدود الصفائح Plate Boundaries

علمت أن الصفائح تتحرك بصورة مستمرة، وتتميز حركتها إلي عدة صور وأشكال. فهي إما تتحرك مبتعدة عن بعضها البعض مثل تباعد صفيحة أمريكا الجنوبية عن صفيحة أفريقيا، ويسمي هذا النوع من الحركة بالحركة التباعدية(Divergent) أو انها تقترب من بعضها البعض مثل تقارب صفيحة نازكا من صفيحة أمريكا الجنوبية ويسمي هذا النوع من الحركة بالحركة التقاربية (Convergent) وهناك نوع ثالث من الحركة وهو الحركة الجانبية وتظهر في مناطق الصدوع مثل صدع سان اندرياس في أمريكا الشمالية. وسنتناول بشئ من التفصيل الأنواع المختلفة من هذه الحدود كما يلي:

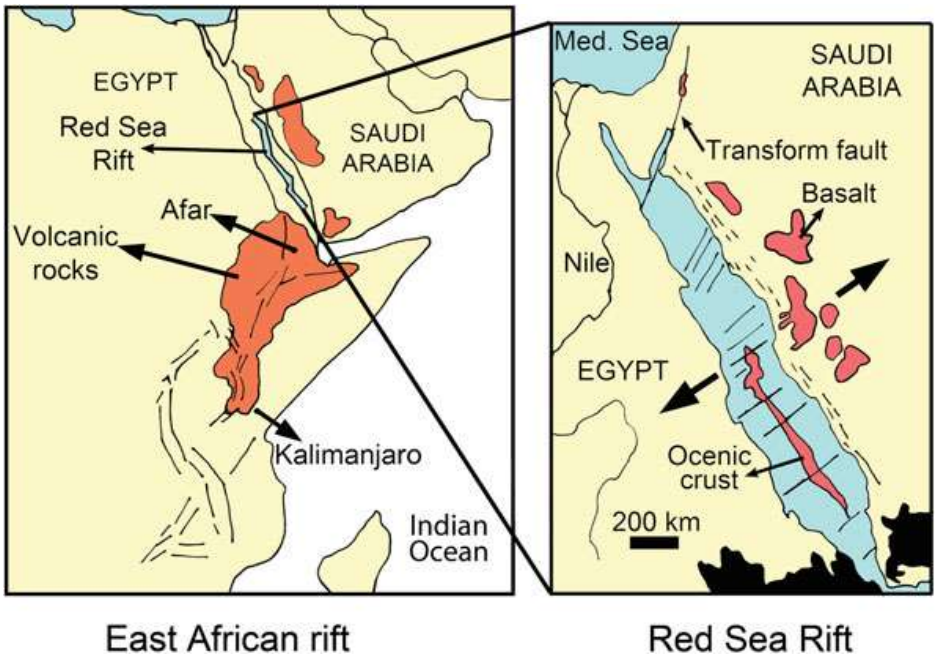
حدود الألواح المتباعدة Divergent plate boundaries

في هذه الحدود تتحرك الألواح بعيدا عن بعضها البعض، وذلك من الممكن أن يحدث في وسط المحيط أو وسط القارات. بالنسبة لحركة الحدود التي تحدث في وسط قاع المحيط تتم هذه الحركة بالتحديد وسط حيد المحيط حيث تتباعد الألواح في اتجاهات متعاكسة ونتيجة لذلك يندفع الصهير الصخري القادم من الغلاف المائع (الأسينوسفير) ليملأ الفراغ الذي تكون نتيجة هذا التباعد، وبعد ذلك تبرد مادة الصهير وتتصلب لتكون غلافا جديدا (غلاف محيطي جديد) لذلك تسمي هذه الحدود بالبناءة (Constructive) وهذه الظاهرة تسمي توسع قاع البحر (Sea floor spreading) الشكل (13) ومن المظاهر الجيولوجية أو التكتونية لهذه الحركة السلاسل الجبلية وسط المحيط وظهور قمم بركانية علي سطح البحر مكونة جزرا، مثل جزيرة أيسلندة.

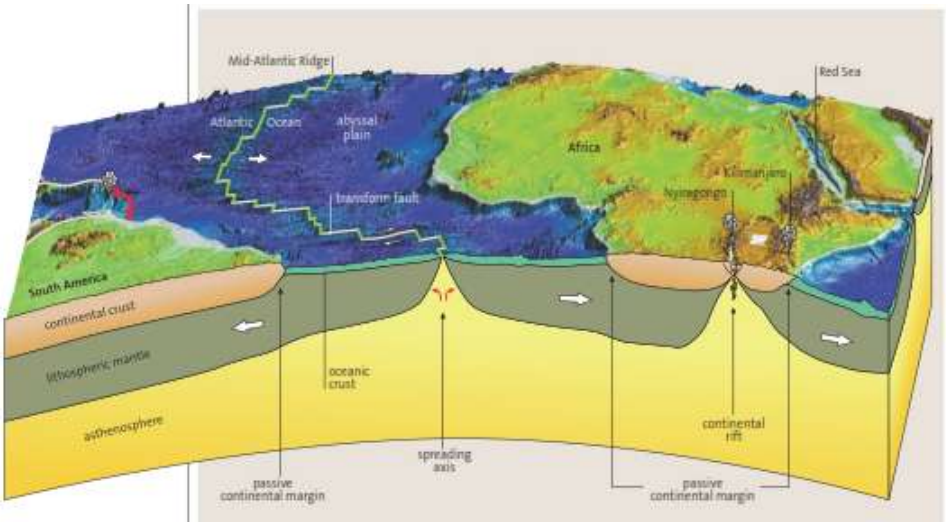
ومن ناحية أخري فإن الحركة التباعدية التي تحدث في وسط القارات تتميز الألواح المتباعدة في هذه الحالة بشقوق وتصدعات (Rift) وعمليات صعود ماجما بازلتية وكذلك عمليات رفع للقشرة الأرضية (Uplift) وخلال عمليات التصدع تحدث استطالة وتناقص في السمك للقشرة الأرضية نتيجة لاندفاع الماجما من طبقة الوشاح العلوي وضغطها المستمر علي القشرة حتي تنقسم في نهاية الأمر إلي صفيحتين وبعدها وباستمرار خروج الماجما البازلتية تتكون قشرة محيطية ويتكون بحر ضيق يتوسع بعدها ليتحول إلي محيط واسع ومن أشهر الأمثلة علي ذلك تكون البحر الأحمر ومن الأمثلة علي ذلك أيضا صدع وادي أفريقيا (African Rift Vallyes) والذي ينبأ عن تفتق قارة أفريقيا في المستقبل شكل (14) وشكل(15). هذه الحركات التباعدية تؤدي الي نشاة فوالق من النوع العادي وحركات زلزالية ضحلة.



شكل (13) :تجدد قاع البحر في مرتفعات وسط المحيط الناجمة عن تباعد الصفائح.



شكل (14) نشأة البحر الأحمر والصدع الأفريقي نتجة الحركة التباعدية وسط القارات.



شكل (15) نشأة البحر الأحمر والصدع الأفريقي نتجة الحركة التباعدية وسط القارات.

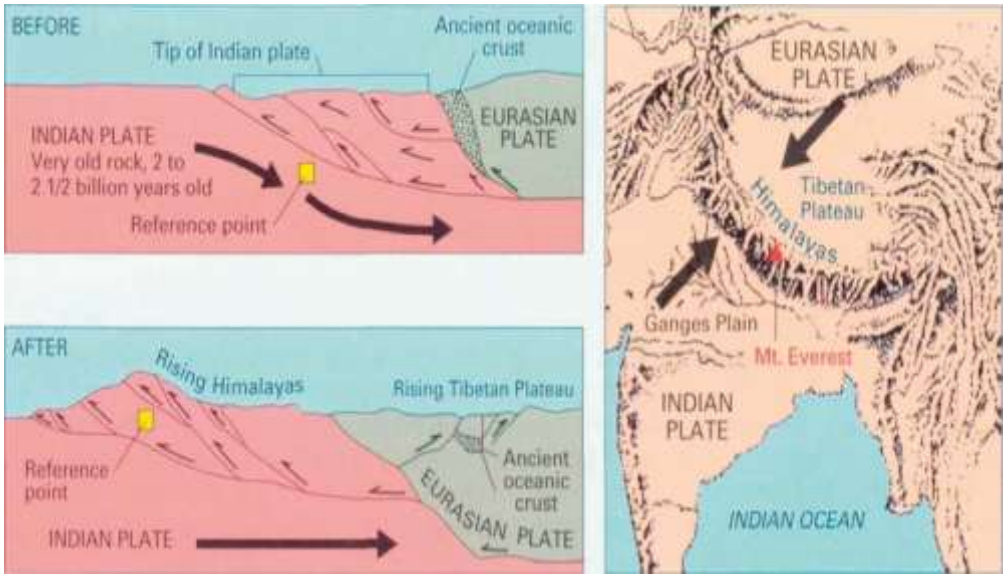
حدود الألواح المتقاربة Convergent plate boundaries

تتكون الحدود في هذا النوع عندما يتحرك لوحان في اتجاه بعضهما البعض ويصطدمان، ويحدث التصادم اما بين صفيحتين قارتين أو صفيحتين محيطيتين او صفيحة قارية والأخري محيطية وتتميز مناطق هذه التصادمات بوجود الفوالق العكسية. وفيما يلي توضيح لأنواع التصادمات المختلفة والسمات الجيولوجية الناجمة عن ذلك التصادم:

تصادم قاري-قاري

يسمي ايضا حد التصادم القاري Continental Collision Margin وعند هذا الحد يتصادم لوحان قاريان ويؤدي اصطدامهما معا لتكوين أحزمة من السلاسل الجبلية المطوية والمتأثرة أيضا بصدوع الدسر Folded-thrust mountain belt علي طول نطاق التصادم. ومن أمثلة ذلك التصادم سلسلة جبال الهيمالايا وهضبة التبت وكلاهما تكون نتيجة اصطدام اللوح الهندي واللوح الأوراسي شكل (16). حيث نزحت الهند

مبتعدة عن أفريقيا وتحركت باتجاه الشمال حتي اصطدمت باسيا وذلك منذ 71 مليون سنة مضت. ومن الأمثلة الاخري أيضا جبال الالب وزاكروس .



شكل (16): تصادم الصفيحتين القاريتين الهندية واليوراسية وتكون جبال الهيمالايا.

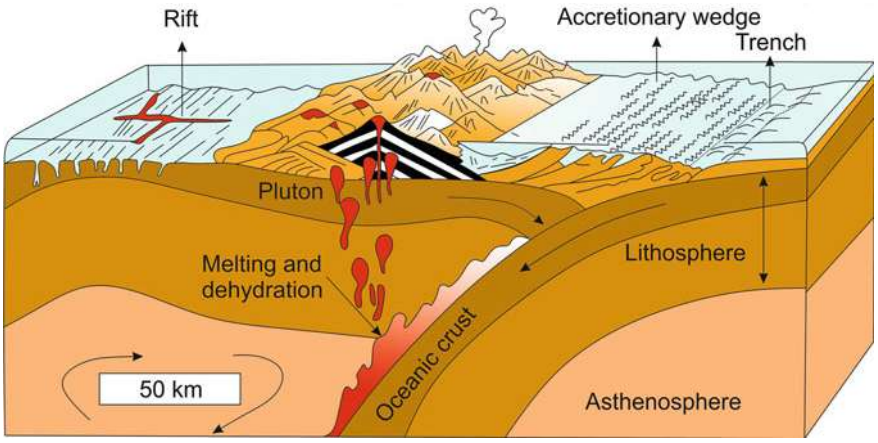
تصادم محيطي-محيطي

عند اصدام لوحين محيطيين ينضوي أحدهما تحت الأخر وينتج عن ذلك تكون الأخاديد البحرية في قاع المحيط شكل (17). اللوح الغائر يصبح نطاق غوص Subduction Zone. حيث ينصهر جزءيا ويستهلك وتنتج الماجما البازلتية لتكون أقواس الجزر البركانية Volcanic Island Arc. ومن الأمثلة علي ذلك أنظمة أقواس الجزر البركانية الموجودة حول الطرف الغربي للمحيط الهادي مثل جزيرة ماريانا وجزيرة الفلبين.

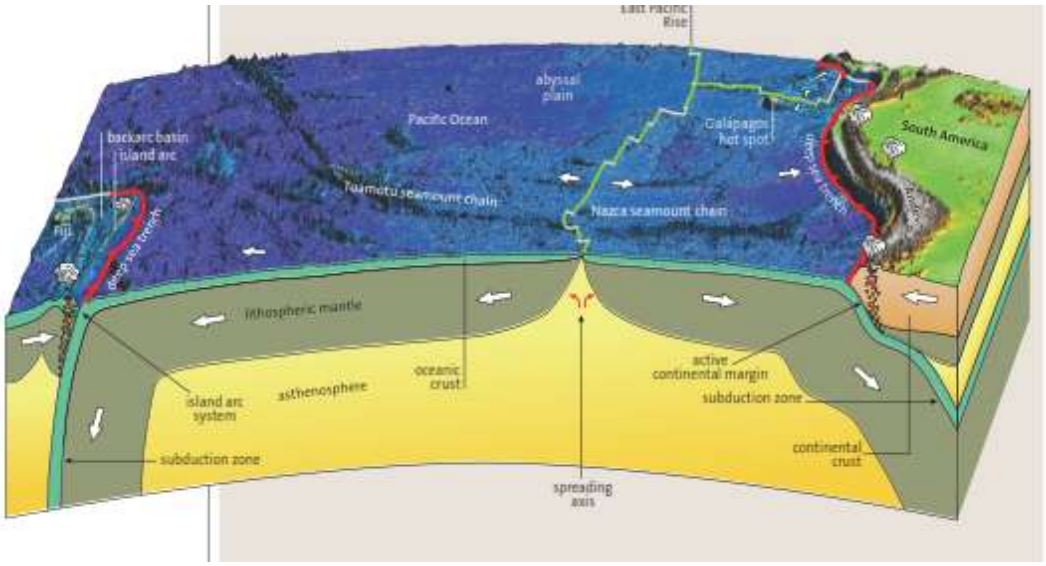
تصادم قاري محيطي

عند تصادم لوح قاري مع لوح محيطي ينزلق ويغوص اللوح المحيطي أسفل اللوح القاري وذلك بسبب كثافتة المرتفعة مقارنة باللوح القاري وتعرف منطقة الغوص هذه بنطاق الانضواء Subduction Zone وفيها ترتفع درجة حرارة اللوح المحيطي تدريجيا وتتم عملية تحول ثم يتبعها انصهار جزئي واستهلاك لطرف الصفيحة المحيطية مما يكون براكين وجزر بركانية. ومن أبرز السمات الجيولوجية علي الحواف القارية عند منطقة التصادم تكون سلاسل جبلية متاثرة بعمليات طي وفوالق دسر وتحول للصخور نتيجة للحراة والضغط في الأعماق ومن أشهر الأمثلة علي ذلك تكون سلاسل جبال الأنديز في أمريكا الجنوبية شكل (18).

في حدود الألواح المتقاربة فقط القشرة المحيطية العالية الكثافة تنحرف في الوشاح بكميات كبيرة وتتدمر، أما القشرة القارية السميكة والأقل كثافة لا يمكن لها أن تغوص لأعماق كبيرة داخل الوشاح وذلك يفسر تواجد القشرة القارية القديمة في العمر والمتواجدة من بلايين السنين بينما لا توجد قشرة محيطية يزيد عمرها عن 180 مليون سنة حيث القشر المحيطية الأقدم تم استهلاكها.



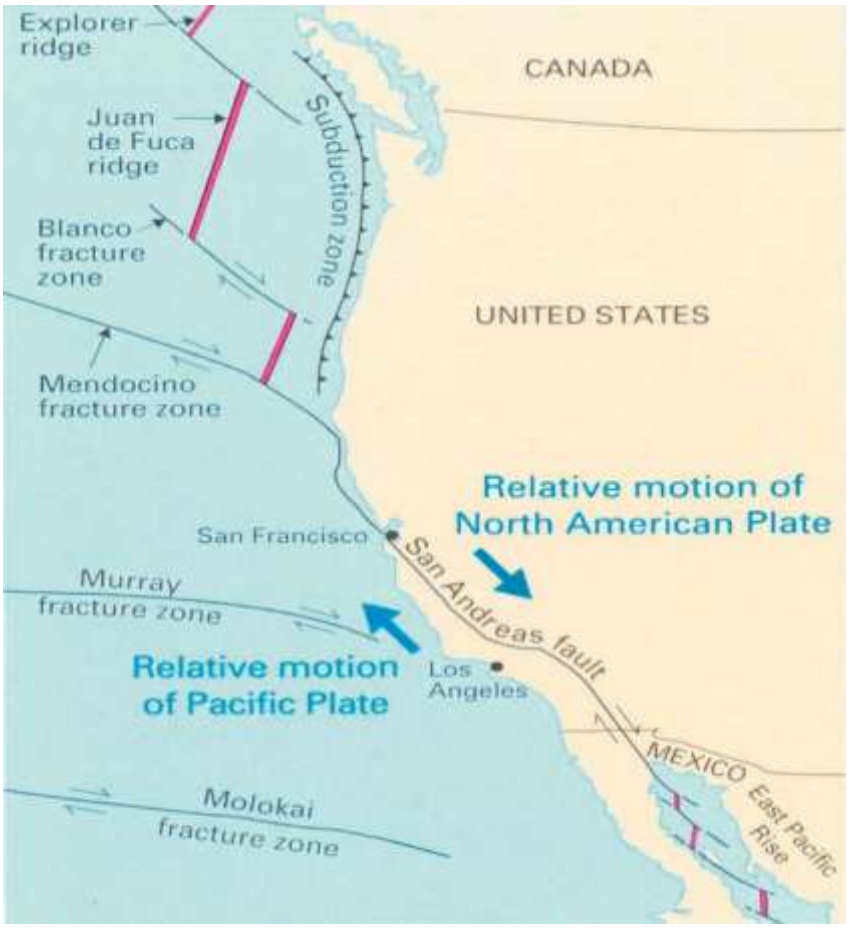
شكل (17): يوضح التصادم المحيطي المحيطي وتكون الأخاديد والجزر البركانية.



شكل (18) :نموذج يوضح التقارب القاري المحيطي وتكون جبال الأنديز.

الحدود الانتقالية Transform Boundaries

في هذا النمط من حدود الألواح لا يحدث تباعد أو تصادم للألواح ولكنها تتحرك بمحاذاة بعضها البعض في اتجاهين متضادين علي طول صدوع تسمي الصدوع الانتقالية Transform Faults وفي هذه الحالة لا يتكون غلاف صخري جديد كما هو الحال في وسط المحيطات وأيضا لايتم استهلاك الغلاف الصخري كما هو الحال في مناطق الانضواء. ومن أمثلة هذة المناطق وأشهرها صدع سان أندرياس بولاية كاليفورنيا الأمريكية شكل (19).



شكل (19): نشوء صدع سان أندرياس من انزلاق صفيحة أمريكا الشمالية جنوبا بالنسبة لصفيحة المحيط الهادي شمالا.

أسباب حركة الصفائح

من المتفق عليه أن الألواح تعلو الطبقة شبه المنصهرة القابلة للتشكل والتي تعرف باسم الاسينوسفير وهذه الطبقة هي الجزء الأعلى من الوشاح والتي تقع تحت الليثوسفير مباشرة. أنماط الحركة لهذه الألواح تم توضيحها ولكن القوة المحركة التي تدفع القارات وتسبب اتساع قاع المحيط مازالت غامضة ولم يتفق عليها العلماء ولكن توجد فرضية لتفسير حركية الألواح وهي تيارات الحمل.

تيارات الحمل

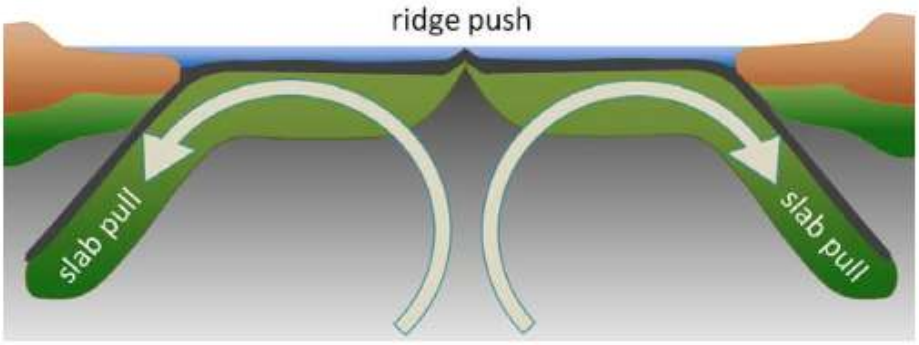
يعتقد كثير من العلماء أن اتساع قاع المحيط ونزوح القارات يحدثان بسبب تيارات الحمل الحرارية داخل الوشاح شكل (20). ومن المعروف أن تيارات الحمل تتولد عموما عند تسخين الغازات والسوائل، لأنه عند استخدام الحرارة تهبط الأجزاء الباردة من السائل إلي أسفل لأنها أكثر كثافة من الأجزاء الساخنة، ويدفع الجزء البارد الهابط الجزء الساخن إلي اعلي، وعند وصول الجزء الساخن إلي أعلي يفقد حرارته ويصبح أكثر كثافة ويتحرك لأسفل مرة ثانية، وهذا التبادل المستمر في الحرارة تنتج عنة تيارات دائرية تسمي خلايا الحمل ويصبح السائل في حالة تقليب مستمر كلما استمرت عملية التسخين.

ومن غير المعروف عدد خلايا الحمل أو حجمها أو العمق الذي تتواجد فيه، ومع ذلك فان عمليات الخسف والزلازل الضحلة والتسرب الحراري المرتفع عند الحيود المحيطية من جهة، والزلازل الضحلة والتسرب الحراري المنخفض عند الأغوار المحيطية من جهة أخري تشير بقوة إلي أن هناك تيارات حمل في طبقة الوشاح.

وهنا ينشأ سؤال: ما هو مصدر الطاقة التي التي تسبب خلايا الحمل؟ من المتفق عليه بوجه عام أن الحرارة التي تسبب تكوين خلايا الحمل تنتج من الانشطار المنتظم للعناصر المشعة مثل اليورانيوم، وهذه الحرارة النووية يحتفظ بها الوشاح لأن الصخور العلوية موصل بطئ للحرارة وبذلك فهي تعمل علي شكل غطاء عازل، وهذا يسبب تزايد الحرارة التي تنتج عنها طاقة تسبب تمدد الوشاح محدثا تيارات الحمل، ومع الزمن فان بعضا من هذه الصخور المنصهرة يصل إلي السطح عن طريق الخنادق التي علي قمة الحيود المحيطية، وعندما تتدفق اللابة علي قاع المحيط فإنها تدفع الصخر الذي تكون سابقا في اتجاه القشرة المحيطية بعيدا عن قمة الحيود.

وهذا يفسر توسع قاع المحيط، ولكن لماذا يحدث النزوح القاري؟ يزيد اقتناع الجيولوجيين الآن أن جزءا من خلايا الحمل (وهو الذي يتحرك موازيا للسطح) يدفع قاع البحر للحركة، وبالربط بين ميكانيكية النزوح وميكانيكية تيارات الحمل في الوشاح فانه يمكن أن نفترض أن حيود وسط المحيط تقع فوق تيارات الحمل الصاعدة التي تسبب تباعد شطري قاع المحيط علي جانبي الحيود، وهذا هو سبب التحدب الكبير للحيود وتكون خندق عند قمتها والنشاط البركاني والزلزالي المصاحب لها ، كما افترض العلماء أيضا أن تيارات الحمل ترتفع علي طول جناحي الحيد المحيطي ثم تتحرك جانبيا تحت قاع المحيط ويبدو أنها تهبط عند اقرب حافة قارية وتسحب بذلك جزءا من قاع المحيط متجهة به إلي أسفل في الوشاح.

وتعتبر تيارات الحمل التي تهبط عند القارات هي المسئولة عن وجود الأغوار المحيطية العميقة وأقواس الجزر البركانية وهذا ينطبق علي وجه الخصوص مع المحيط الهادي المحاط بالأغوار ومن المعتقد ايضا ان القارات تقع علي النقطة التي تبدأ عندها التيارات في الهبوط.



شكل (20): تيارات الحمل وميكانيكية حركة الألواح

9. العوامل الداخلية المؤثرة في القشرة الأرضية

العوامل الداخلية التي تؤثر في سطح الكرة الأرضية تستمد الطاقة اللازمة لنشاطاتها من الحرارة الكامنة التي يعزي وجودها في باطن الأرض إلي ما تبقي من الطاقة الشمسية منذ انفصال الأرض عن الشمس ا والي نوع من التغيرات الكيميائية الإشعاعية التي تحدث في جوف الأرض، وتزيد درجة الحرارة مع العمق حتى تصل لآلاف الدرجات فيما تحت القشرة الأرضية.

في هذا الجزء نتناول دراسة بعض من هذه العوامل الداخلية المؤثرة في القشرة الأرضية مثل البراكين والزلازل وهي من المظاهر الجيولوجية العنيفة التي يلحظها الإنسان وسيتم تناولها من منظور نظرية الألواح التكتونية.

البراكين

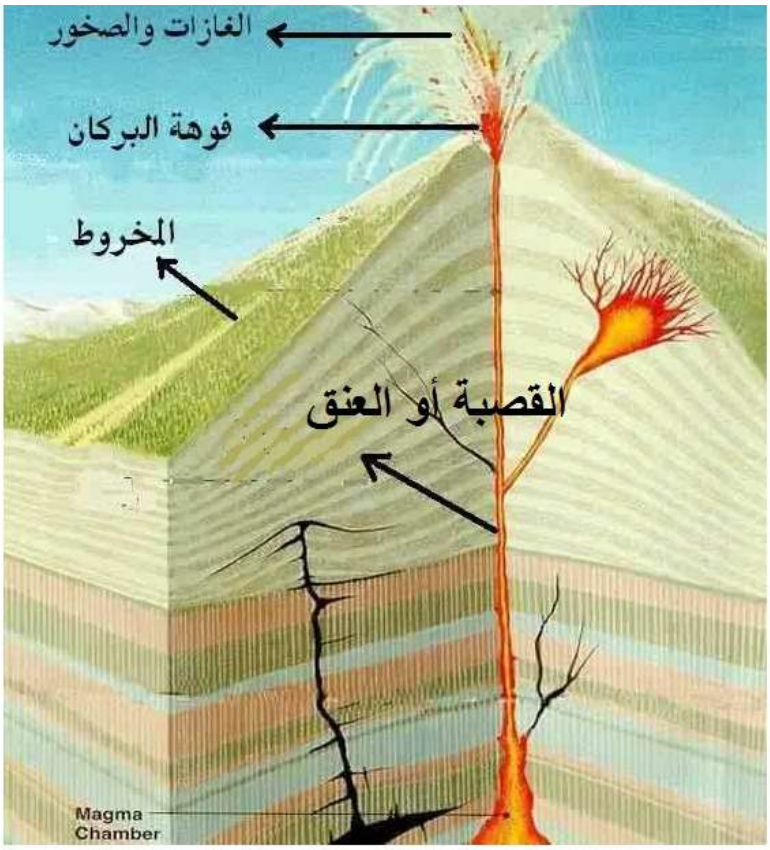
تلعب البراكين دورا هاما في العمليات الجيولوجية التي تؤثر علي تطور القشرة الأرضية وتشكلها كما تزودنا بمعلومات مهمة عن باطن الأرض وما تحويه من كم هائل من الطاقة المخزونة بداخلها إضافة الي تركيب الماجما وعمليات تكون الصخور النارية وكذلك يصاحب البراكين تكون معادن وخامات ذات جدوي اقتصادية. أصبحت دراسة البراكين علما قائما بذاته يعرف باسم علم البراكينVolcanology.

البركان عبارة عن عن مخرج في سطح الأرض تمر من خلاله المواد المنصهرة والكتل الصخرية والغازات المحبوسة من باطن الأرض الي سطحها وغالبا ما يصاحب خروج هذه المواد انفجارات عنيفة. يتكون البركان النمطي من ثلاثة أجزاء رئيسية شكل (21) وهي:

جبل مخروطي مكون من حطام صخري او لابة متصلبة.

الفوهة وهي عبارة عن تجويف مستدير الشكل تقريبا في قمة المخروط يتراوح اتساعة بين بضعة الاف من الأمتار. وتندفع من الفوهة علي فترات غازات وكتل صخرية وقذائف وحمم وقد يكون للبركان أكثر من فوهة ثانوية الي جانب الفوهة الرئيسية في قمتة.

القصبة أو عنق البركان وهي عبارة تجويف اسطواني تمتد من فوهة البركان الي باطن الأرض حيث تتصل بغرفة الصهير، وتندفع خلالها المواد البركانية والصهير الي الفوهة.



شكل (21) : أجزاء البركان

النواتج البركانية

عندما تثور البراكين فانها تقذف انواع مختلفة من المواد منها الغازية والسائلة والصلبة

الغازات:

تتكون معظم الغازات التي تنبعث من البراكين من بخار الماء مع كميات متغيرة من ثاني أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين والكلور. وأثناء ثورة البركان قد يحدث اختلاط بين الغازات المتسربة وكميات كبيرة من الغبار البركاني، ويتصاعد الخليط علي شكل سحب كبيرة داكنة يمكن رؤيتها علي امتداد كيلومترات عديدة.

السوائل:

السوائل التي تخرج من البراكين هي الطفوح (أي اللابة) وهي كميات كبيرة من الصخور المنصهرة الساخنة لدرجة البياض، وفي العادة تطفح اللابة من الفوهة التي علي قمة البركان، ولكنها في حالات قليلة قد تخترق جانب المخروط البركاني وتتسرب عن طريق شقوق تكونت في مناطق الضعف.

وليست كل اللابات متشابهة في صفاتها الفيزيائية والكيميائية ، وقد تنعكس هذه الصفات من الطريقة التي ثار بها البركان، ويؤثر التركيب الكيميائي للابة علي درجة لزوجتها والتي تؤثر بدورها علي معدل الانسياب ومسافته، ويؤثر التركيب الكيميائي أيضا علي الشكل النهائي للمخروط البركاني كما انة له علاقة بالتركيب السطحي للصخر المتكون عندما تتجمد الطفوح المنصهرة.

وبسبب تركيب اللابات المختلف فان الجيولوجيين يقسمونها الي حمضية وقاعدية ومتوسطة ، وتحتوي اللابة الحمضية علي نسبة عالية من السليكا (65-75%) وتكون في العادة لزجة القوام ولها طبيعة انفجارية في أغلب الأحيان، اما اللابة القاعدية فتحتوي علي نسبة من السيلكا أقل من 50% وهي ذات لزوجة منخفضة وليست

انفجارية أما المتوسطة منها فانها تقع بين النوعين الخمضي والقاعدي كما أنها تحتوي علي نسبة من السيلكا مابين50-60%.

المواد الصلبة:

توجد عدة أنواع من المواد الصلبة التي تقذفها البراكين، وهي تتراوح من الغبار الدقيق الي كتل ضخمة تزن عدة أطنان، وهذه المواد الصلبة يشار إليها باسم" الفتات الحراري Tephra أو Pyroclastics وتعتبر القنابل البركانية أحد أنواع الفتات الحراري وهي عبارة عن أجسام كروية تشبة الكمثري تتميز بسطح أملس ومستو تتكون نتيجة تجمد مادة سائلة مقذوفة من البركان أثناء دورانها في الهواء، في حين اذا كانت المادة المقذوفة من البركان كتلا صخرية صلبة تسمي في هذه الحالة كتلة بركانية اذا كانت كبيرة في الحجم وتتميز الكتل البركانية بالزوايا الحادة والشكل غير المنتظم، اما اذا كانت الكتل الصخرية صغيرة الحجم "مثل حجم الحمص" تسمي الحصي البركاني أو اللابيلي Lapilli كما قد ينتج من انفجار البركاني أيضا كميات كبيرة من من الرماد والغبار البركاني والذي قد يغطي مساحات تصل الي عدة ألاف من الكيلومترات المربعة بعد ترسبة.

أسباب النشاط البركاني

يحدث النشاط البركاني بسبب عوامل فعالة في باطن الأرض وتشترك جميعا في احداث الثوران البركاني وهذه العوامل هي:

الطاقة الحرارية:

تعمل الطاقة الحرارية علي صهر الصخور وتقليل لزوجتها وصعودها إلي القشرة الأرضية وذلك اعتمادا علي الفيض الحراري الأرضي والتوصيل الحراري والتدرج الحراري. وتعزي الطاقة الحرارية التي تتسبب في انفجار البراكين إلي النشاط الإشعاعي وما ينتج عنة من عمليات تحلل نظائر العناصر المشعة مثل اليورانيوم

والثوريوم التي تتميز بأنها توجد طبيعيا في حالة غير مستقرة مما يجعلها تتفكك فتنبعث منها جسيمات نووية إشعاعية تحمل طاقة هائلة تودعها في المادة المحيطة في شكل حرارة تعمل علي تسخين الصخور في باطن الأرض مؤدية الي انصهارها.

الضغط:

يعمل الضغط الذي يحدث علي المواد المصهورة داخل القشرة الأرضية علي ازدياد حالة عدم استقرارها وتوجيهها للمناطق الضعيفة الموجودة في الصفائح التكتونية ويتسبب ارتفاع درجة الحرارة داخل غرفة الصهير الي زيادة تمدد الغازات ومن ثم ارتفاع الضغط الداخلي فيندفع الصهير أو يتسرب عبر الشقوق والصدوع مصحوبا بتفاعلات أكسدة الهيدروجين التي تنبعث منها الحرارة (تفاعلات طاردة للحارة) ويصحب ذلك انفجارات عنيفة مدوية داخل القصبة البركانية مكونة ينابيع من اللابة والحمم والأبخرة المتطايرة والمندفعة الي أعلي في هيئة ثوران بركاني.

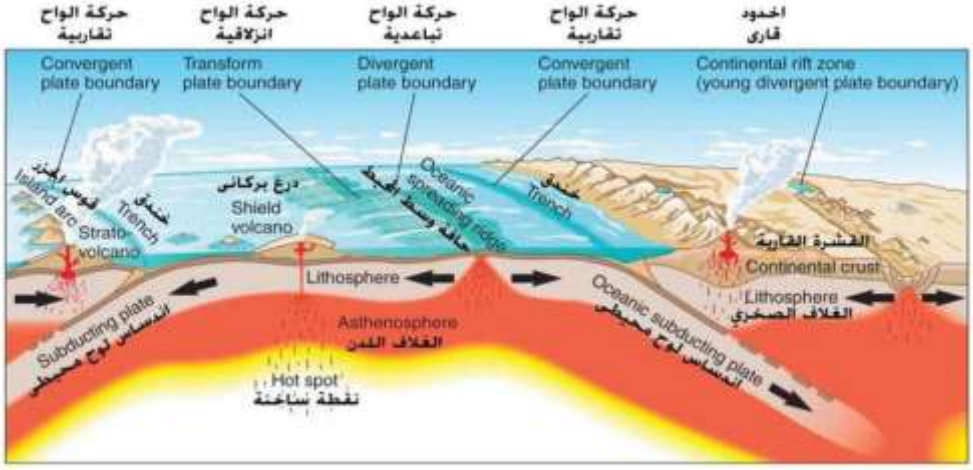
<u>توزيع البراكين</u>

يعد النشاط البركاني ذو صلة وثيقة بأجزاء الأرض التي تكثر بها الهزات الأرضية مما يدل علي أن عمليات البركنة ذات علاقة بالعمليات الأرضية التي تحدث علي أعماق كبيرة تحت القشرة الأرضية قد تصل أحيانا إلي 700 كيلو متر. وعموما تنحصر مناطق النشاط البركاني في وسط المحيطات Mid Ocean ومناطق الإنضواء Subduction Zones وعلي طول الحواف الجانية للصفائح التكتونية وداخل الصفائح في مناطق البقع الساخنة Hot spots شكل (22) وذلك يمكن ايضاحة كما يلي:

- **مرتفعات وسط المحيط:** ينشأ النشاط البركاني في هذه الحالة علي طول مرتفعات وسط المحيط عند حدود تباعد الصفائح التكتونية حيث يدفع الصهير من باطن الأرض (الوشاح العلوي) عبر شقوق موجودة علي طول حيد منتصف المحيط (Mid Ocean Ridge) لتتجمد اللابة تحت مياة البحر

لتكوين ما يعرف بالحمم الوسائدية Pillow Lava شكل (23) التي تتولد منها قشرة محيطية جديدة.

.



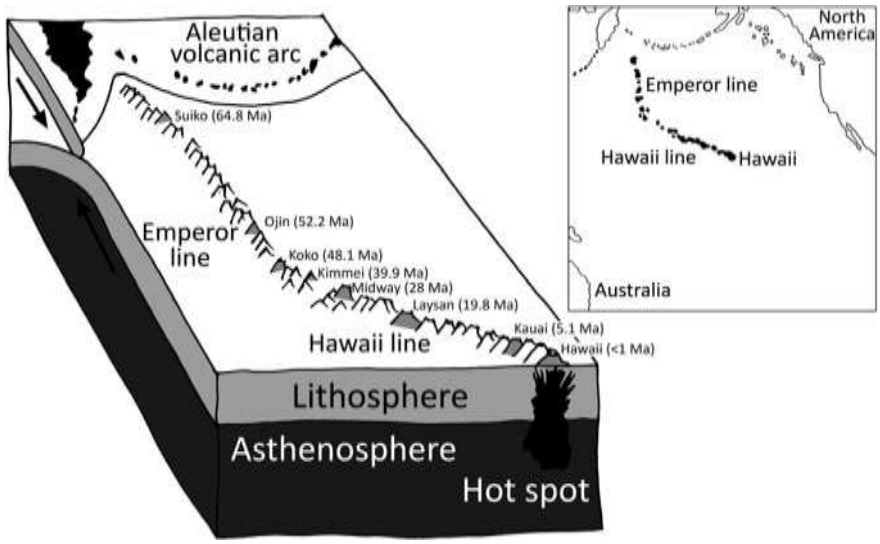
شكل (22): مقطع يوضح جركية الألواح وعلاقتها بتكوين البراكين.

شكل (23) : اللابة الوسائدية تحت المحيطات.

- **حواف القارات Continental Margin**: ينشأ النشاط البركاني في هذه الحالة عند حدود تقارب الصفائح التي تسمي بمناطق الإنضواء أو الغوص ويرتبط بهذه المناطق ما يعرف بأقواس الجزر حيث تكون العدد الأكبر من البراكين غير المغمورة تحت الماء التي هي عبارة عن مرتفعات وعرة شديدة انحدار الجوانب مكونة من فيوض اللابة والرماد البركاني ومن أمثلة ذلك تكون أقواس جزر المحيط الهادي.
- **الحواف الجانبية للصفائح**: يمكن للنشاط البركاني أن ينشأ عند مناطق الصدوع الإنتقالية (Transform Faults) وهي عبارة عن كسور في القشرة الأرضية تنزلق علي طولها صفائح بجانب بعضها البعض مما ينتج عن ذلك نشاط زلزالي (خاصة الزلازل ضحلة البؤرة) وخروج بعض الصهير.
- **داخل الصفائح التكتونية:** لا تخلو أواسط الصفائح التكتونية من نشاط بركاني وفي هذه الحالة ينشأ العديد من البراكين دائمة النشاط فوق مناطق البقع الحارة Hot Spots حيث تستمد الصهير من جوف الأرض عبر مصدر يسمي نافورات الوشاح Mantle Plumes ومن أمثلة ذلك سلسلة الجزر البركانية التي تشكل أرخبيل هاواي في وسط صفيحة المحيط الهادي.إذا ما هي البقع الساخنة وما هي نافورات الوشاح وكيف تشكل براكين نشطة في أواسط الصفائح التكتونية؟ .

البقع الساخنة هي مناطق ثورانات بركانية توجد داخل الألواح التكتونية وبعيدا عن حدودها وهي تنتج من نافورات الوشاح المكونة من مواد مصهورة تصعد للسطح وهي غير معتمدة علي خلايا الحمل. البقع الساخنة محددة في مواقعها والألواح هي من تتحرك فوقها شكل (24).

وطبقا لنظرية نافورات الوشاح الساخنة فان أعمدة من صخر الوشاح الساخن ترتفع رأسيا إلي اعلي ومن ثم تبدأ في إذابة صخور اللوح الموجودة فوقها لتكون ماجما وهذه الماجما بدورها ترتفع للسطح علي هيئة ثورانات بركانية.



شكل (24): توضيح لتكون البراكين الوسط لوحية عن طريق البقع الساخنة.

ويعتقد أن نافورات الوشاح ثابتة في الوشاح ومن ثم فإنها لا تتحرك مع اللوح وبالتالي فإنه عندما يتحرك لوح فوق نقطة ساخنة فان نافورات الوشاح تكون براكين دورية علي سطح اللوح وكلما تحرك اللوح فان نافورات الوشاح تشق طريقها إلي القشرة لتكون بركان جديد في مكان جديد ، أما البركان الذي يسبقه والذي حرم من مخزون الصهارة فإنه يخمد ويموت وهكذا فان البقع الساخنة تترك خطا من البراكين الخامدة والتي تزيد في العمر كلما ابتعدنا عن البركان الحديث النشط.

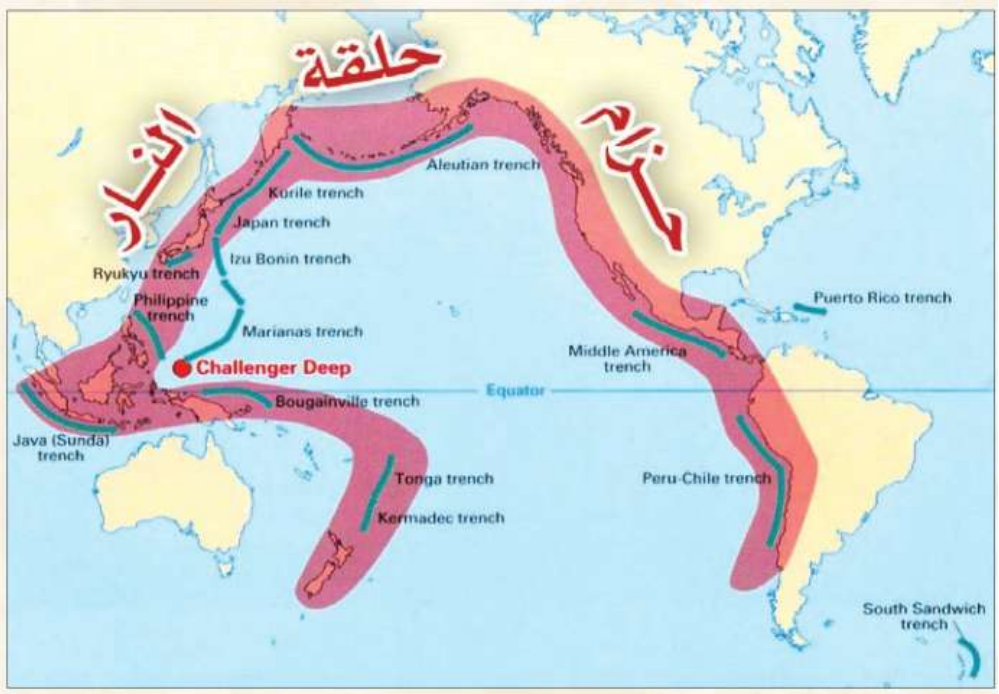
وكما أسلفنا الذكر فان سلسلة جزر الهاوي تتكون من سلسلة من المخاريط البركانية التي ترتفع ألاف الأمتار من قاع المحيط الهادي، والتي تكونت علي التوالي ،فكل بركان يقع في اتجاه الشمال الغربي يكون أقدم من البركان الذي في اتجاه الجنوب الشرقي. وبمساعدة نظرية الالواح التكتونية أمكن فهم تكون مثل هذه البراكين في أماكن بعيدة عن أماكن الانضواء أو حدود الألواح حيث

انه من المرجح أن يرجع تواجد البراكين الوسط لوحية وتسلسل العمر فيها إلي أن لوح المحيط الهادي يتحرك ببطء فوق نقطة ساخنة في الوشاح العميق وتستمر الصخور المنصهرة المصاحبة للنافورة في الصعود خلال اللوح الي يعلوها وبينما يستمر اللوح في رحلته في اتجاه الشمال فانه يترك سلسلة من البراكين وبقاياها المتآكلة .

وعموما يتفق العلماء علي أن مناطق انتشار البراكين هي نفسها مناطق انتشار مراكز البؤر الزلزالية، ويستدل من ذلك أن هذه المناطق تمثل حدود التحام ألواح كبيرة مكونة للقشرة الأرضية، وبكلمات أخري تتوزع الفوهات البركانية سوية مع الأحزمة الزلزالية وتتركز في ثلاث مناطق رئيسية وهي:

1. دائرة حزام حلقة النار في المحيط الهادي وتتركز فيه 70% من عدد البراكين التي تحدث في القشرة الأرضية جميعا. ويمتد هذا الحزام علي السواحل الشرقية من المحيط الهادي فوق مرتفعات الأنديز الي أمريكا الوسطي والمكسيك وفوق مرتفعات غربي أمريكا الشمالية إلي جزر الوشيان ومنها إلي سواحل شرق قارة أسيا إلي جزر اليابان والفلبين ثم إلي جزر اندونيسيا ونيوزليندا شكل (25).
2. حزام السلاسل الجبلية الحديثة الممتدة من جبال هملايا وزاغروس وطوروس والألب وأطلس وينتشر في هذه المنطقة حوالي 20% من عدد البراكين.
3. حزام المحيط الاطلسي ويقع عليه10% من عدد البراكين.

ومن البراكين النشطة الموجودة حاليا وأشهرها بركان فيزوف المشهور قرب نابولي بإيطاليا، وأتنا بجزر صقلية، وأسترومبولي في جزر ليباري. وفي مرتفعات غربي أسيا من أشهر براكينها أرارات واليوزنز، وفي شرق افريقيا نجد براكين كلمنجارو.



شكل (25): حزام حلقة النار والذي يشكل 70 % من عدد براكين العالم.

تقسيم البراكين

تقسيم البراكين يعتمد علي ثلاثة عوامل: نشاط، طبيعة ، ونمط البركان.

نشاط البراكين:

تنقسم البراكين اعتمادا علي نشاطها إلي ثلاثة أنواع:

البراكين النشطة: وهي براكين في حالة ثورة دائمة أو منتظمة. يتواجد حاليا 1500 بركان نشط حول العالم ويتركز معظمها في حزام حلقة النار. ويتواجد في اليابان10% من البراكين النشطة في العالم. ومن أشهر الأمثلة عل البراكين النشطة بركان فيزوف في إيطاليا.

البراكين الساكنة: وهي البراكين التي تتوقف عن النشاط لفترة زمنية قصيرة ثم تثور مرة أخري ويتكرر نشاطها علي فترات متقطعة. ومن أشهر أمثلتها بركان مونت سان هلين في ولاية واشنطن بأمريكا.

البراكين الخامدة: وهي التي لم يسجل لها نشاط خلال التاريخ الانساني ومن أمثلة ذللك البراكين التي كونت الصخور الأنديزية والريولاتية والبازلتية التابعة للعصور الجيولوجية من عصر ما قبل الكامبري إلي العصر الثلاثي والرباعي.

طبيعة الثورانات البركانية:

معظم الماجما تحتوي علي غازات ذائبة وبمجرد صعودها للسطح أثناء الثوران ، الضغط المحبوس يقل والغازات الذائبة تتحرر إما بطريقة هادئة أو بطريقة انفجارية. وبناء علي طبيعة الثورانات البركانية تقسم البراكين إلي ثلاثة أنواع:هادئ، متوسط، عنيف. خلال النشاط البركاني عادة ما تظهرالبراكين سلوكا مميزا. فبعض الثورانات الخفيفة (***النوع الهادي***) لا يتعدي ثورانها قذف بعض الأبخرة والغازات، في حين أن بعضها يقذف كميات من اللابة بطريقة هادئة (***النوع المتوسط***). هناك ثورانات بركانية تتضمن انفجارات عنيفة والتي تطلق سحب من الغازات والرماد البركاني والفتتات في الغلاف الجوي وهي (***النوع العنيف***).

أنماط الراكين:

تتشكل البراكين بأشكال وحجوم وأنماط مختلفة ويتوقف ذلك علي طبيعة اللابة ونوعها وتركيبها المعدني وأيضا تبعا لدرجة لزوجتها وانسيابها والذي يعود إلي نسبة السيلكا والغازات فيها، حيث زيادة نسبة السيلكا تودي الي زيادة اللزوجة وبالتالي قلة الانسياب وعدم سهولة تحرر الغازات منها مما يشكل ضغطا إضافيا يؤدي الي انفجارات شديدة لتتحر الغازات المحبوسة، في حين أن نقصان نسية السيلكا تؤدي الي قلة اللزوجة

وبالتاي زيادة في الانسياب. وبناء علي ما سبق تقسم البراكين الي أربعة أنماط رئيسية وهي:

النمط البيلي Pelean

وهو نمط بركاني انفجاري يطفح المواد بعنف ويقذف كميات كبيرة من الغازات والرماد البركاني والغبار وقطعا كبيرة من الصخور، ومن المعتقد أن انفجارات هذا النمط تحدث في البراكين التي تسد قناتها صهارة متجمدة، اذ تحدث الغازات المتجمعة في خزانة الصهارة ضغطا كبيرة لدرجة أن تقذف سدادة البركان في الهواء وفي الغالب يكون الانفجار الحادث عنيفا بدرجة تكفي لنسف جزء كبير من البركان ذاته، ودائما ما تصاحب انفجارات هذا النمط سحب من الغازات والغبار البركاني ذات التأثير المتلف، وتكون نتائجها كوارث هائلة تصيب الإنسان ، وقد حدث أحد أمثلة هذه الانفجارات عام 1902 عندما انفجر بركان بيلي في جزر المارتينيك وهي ضمن جزر الهند الغربية، فبعد حدوث انفجارين عام 1762 و1851 لم يظهر أي دليل علي أن البركان مازال حيا واعتقد الناس انه أصبح خامدا، ولكنة ثار بشدة سنة 1902 لدرجة أن قمة البركان نسفت تماما، وقد صاحب هذه الثورة سحابة من الغازات الساخنة والغبار والتي هبطت علي مدينة "سان بيير" وقتلت ما يقدر بثلاثين ألفا من الأحياء، والثورات الحديثة لبركان سانت هيلين هي أيضا من النمط البيلي.

النمط الفولكاني Vulcanian

يتميز هذا النمط باللابة شديدة اللزوجة والتي تتجمد بسرعة بمجرد أن تلامس الهواء، وتكون اللابة قشرة سميكة في فوهة البركان بين كل ثورة واخري، وتحدث كل ثورة تالية من خلال شقوق في القشرة التي سبق أن تكونت وينتج هذا النوع كميات كبيرة من الرماد والطفوح وسحبا ضخمة من الغبار والغازات، وقد ثار بركان فيزوف في ايطاليا

عدة مرات بينها فترات هدوء، وهو مثال للنمط الفولكاني من البراكين. ينتج هذا النوع صخور الأنديزيت والداسيت.

النمط الستروميولي Strombolian

هذا النمط من البراكين في حالة نشاط مستمر وهو يختلف تماما عن البراكين العادية التي تتميز بفترات متبادلة من النشاط والسكون، وستروميولي هي جزيرة في البحر المتوسط عند الشاطئ الشمالي لجزيرة صقلية، وفي هذه الجزيرة نجد المثال التقليدي لهذا النمط من البراكين، وبركان ستروميولي نشيط باستمرار وتحدث فية انفجارات علي مسافات متساوية وهذه الانفجارات يصاحبها انبعاث لابة لزجة وكميات كبيرة من الفتات الحراري وارتفاع المقذوفات في هذا النمط لايتعدي 100 متر.

النمط الهوائي Hawaiian

هذا النمط الهادئ يتصف بتدفق اللابة قليلة اللزوجة والتي تسمح بهروب الغازات وحدوث أقل قدر من العنف الانفجاري، وتطفح اللابة دائما من الفوهة مع احتمال حدوث طفوح جانبية من خلال شقوق علي جوانب الجبل، وعموما تصاحب الطفوح البركانية انفجارات صغيرة بسبب الغازات المتسربة، ومن أشهر الأمثلة علي هذا النمط هو بركان مونالوا في جزر الهاواي وهذا الجبل البركاني يرتفع الي 4170 مترا فوق سطح البحر، ولة فوهة بيضاوية يبلغ محيطها 8 كيلو متر وهذه الفوهة لها حوائط رأسية تقريبا ويبلغ عمقها 300 متر ومعظم صخور هذا النمط تكون بازلتية.

توقع النشاط البركاني

يمكن التنبؤ بثورة البركان اليوم بدرجة عالية من الدقة، حيث يمكن مراقبة البراكين النشطة بالوسائل التالية:

- مراقبة البراكين بالوسائل الجيوفيزيائية حيث أن حدوث الثوران يتم بعد تحرك كميات كبيرة من الصهير موجودة تحت البركان وهذا بدورة يؤدي إلي تغير المجال المغناطيسي الأرضي.
- مراقبة طوبغرافية البركان مثل ميل قمتة وانبعاجها أو انتفاخها أو هبوطها مما يدل علي حركة الصهير وصعوده إلي أعلي.
- مراقبة السلوك الزلزالي حيث يصحب صعود الصهير العديد من الهزات الأرضية الصغيرة التي يمكن تسجيلها بواسطة مقياس شدة الزلازل (السيزموميتر) وهي تدل علي قرب الثوران البركاني.
- مراقبة التغير في كيميائية الغاز البركاني وزيادة كمية الغازات والدخان والأبخرة المتصاعدة.
- تتبع نشاط المداخن والينابيع الحارة والنطق الحرارية المائية في منطقة البركان.

<u>الفوائد والأضرار الناجمة عن البراكين</u>

تكمن المخاطر الأساسية للبراكين في سريان الحمم وسحب الدخان والرماد المتطاير والحطام الناتج والتي تعتبر بكل المعاني أكبر تهديد يسببة البركان. فالناس والممتلكات في الأماكن المجاورة للبراكين مهددة بهذه المخاطر. وتقع أكثر الأماكن تأثرا بالبركان في دائرة نصف قطرها من 80 إلي 150 كيلومترا. ويسبب الرماد الناتج عن البركان مشاكل تنفسية خطيرة وربما إختناق. بينما يسبب الرماد والحطام معا تلف المحاصيل الزراعية ويقلل الإنتاجية لعدة سنوات. واذا كان ناتج البركان كبيرا، فقد تتهدم المباني وتقتل أو تحاصر الناس والحيوانات. ويرجع مستوي تدميرة إلي قوتة وبالرغم من الكوارث التي تسببها البراكين ألا انها لها فوائد وهي تشكل الجبال والهضاب والسهول بالإضافة الي تخصيب التربة علاوة علي ذلك تنشأ العيون الكبريتية علي الفوهات الخامدة وتستخدم لاغراض علاجية . ومن الظواهر الطبيعية المصاحبة للبراكين

الحديثة الينابيع الحارة والفوارات وينتج عنها معادن ذات جدوي إقتصادية مثل الزرنيخ والانتيمون والنحاس والقصدير. وفي كثير من المناطق البركانية يستخدم البخار الجوفي كمصدر للطاقة. كما تستخدم الطاقة الحرارية الجوفية لانتاج الكهرباء في ايطاليا والمكسيك ونيوزيلندا والولايات المتحدة.

الزلازل

الزلازل عبارة عن هزات أرضية سريعة ومتلاحقة تنتاب القشرة الأرضية في فترات متقطعة نتيجة للحركات الأرضية المختلفة، وتحدث الزلازل خلال فترة زمنية وجيزة تتراوح في الغالب بين 3 ثوان إلي 3 دقائق. وتتباين الزلازل من حيث شدتها وتأثيرها من ضعيفة جدا بحيث لا يشعر بها الإنسان وتسجلها فقط أجهزة الرصد الزلزالي إلي عنيفة جدا تسبب دمار كبير وخسائر بشرية كارثية.

الموجات الزلزالية

الموجة الزلزالية عبارة عن حزمة من الطاقة المرنة التي تنتشر بعيدا عن المصدر الزلزالي بسرعات تعتمد علي معاملات المرونة والكثافة للوسط الذي تنتشر فيه. وتزداد سرعة الموجات الزلزالية مع العمق.تتراوح سرعتها في القشرة الأرضية مابين 2-8 كم/ثانية أما في الوشاح فتبلغ سرعتها 13 كم/ثانية وعموما تنقسم الموجات الزلزالية إلي نوعين رئيسين هما:

1- الموجات الجسمية Body Waves

هي موجات تنتشر داخل الأرض في شتي الاتجاهات وتشوه كامل أجسام الصخور التي تعترض طريقها وهي تنقسم بدورها ألي:

- موجات أولية Primary Waves P

وتسمي هذه الموجات أيضا بالموجات الطولية أو الموجات التضاغطية وتعتبر هذه الموجات أسرع الموجات الزلزالية وبالتالي هي أول ما تسجلة أجهزة الرصد الزلزالي. تنتشر هذه الموجات خلال الأجسام الصلبة والسائلة والغازية في صورة تضاغطات وتخلخلات متوالية تنتشر في اتجاه انتشار الموجه.

- موجات ثانوية Secondary Waves S

وتسمي أيضا بالموجات القصية وتتميز بسرعتها المنخفضة وتصل إلي اجهزة الرصد متأخرة بعض الوقت عن الموجات الاولية لذا تسمي بالثانوية. تنتقل هذه الموجات خلال الأجسام الصلبة فقط وتكون ذبذبتها متعامدة علي اتجاه انتشارها.

2- الموجات السطحية Surface Waves

تنتقل الموجات السطحية بالقرب من سطح الأرض حيث تتلاشي بسرعة في الأعماق، وتعتبر الموجات السطحية أبطأ أنواع الموجات الزلزالية وتصل بشكل عام بعد الموجات الثانوية وتقسم هذه الموجات الي قسمين رئيسين سمي كل واحد منها باسم العالم الذي اكتشفها وهما

- أمواج لوف Love Waves

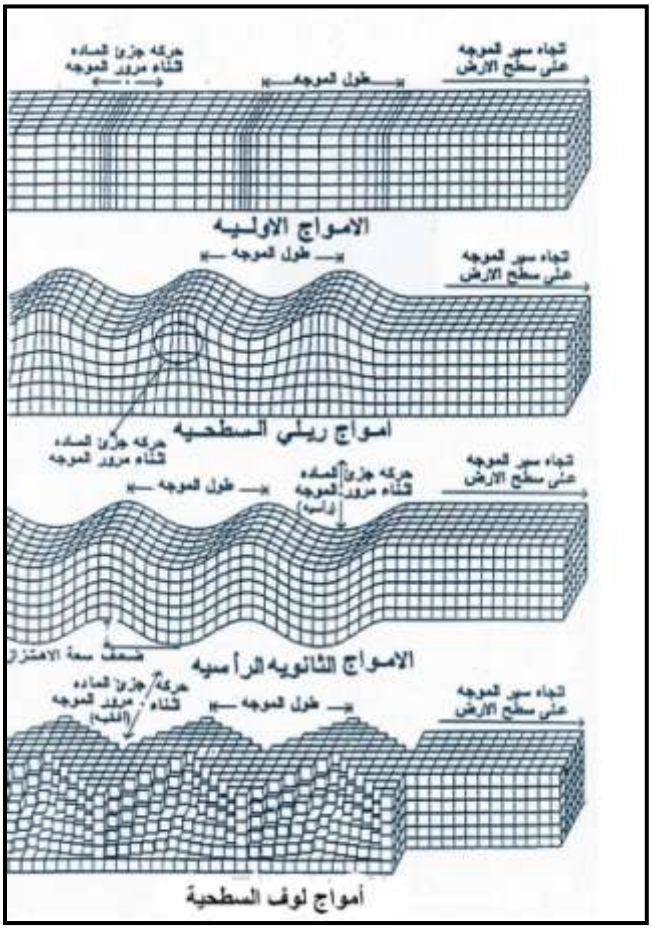
موجات لوف تسلك في ذبذبتها نفس سلوك الموجات القصية أي تتذبذب بشكل عرضي ولكن في الاتجاه الأفقي فقط.

- أمواج رالي Rayleigh Waves

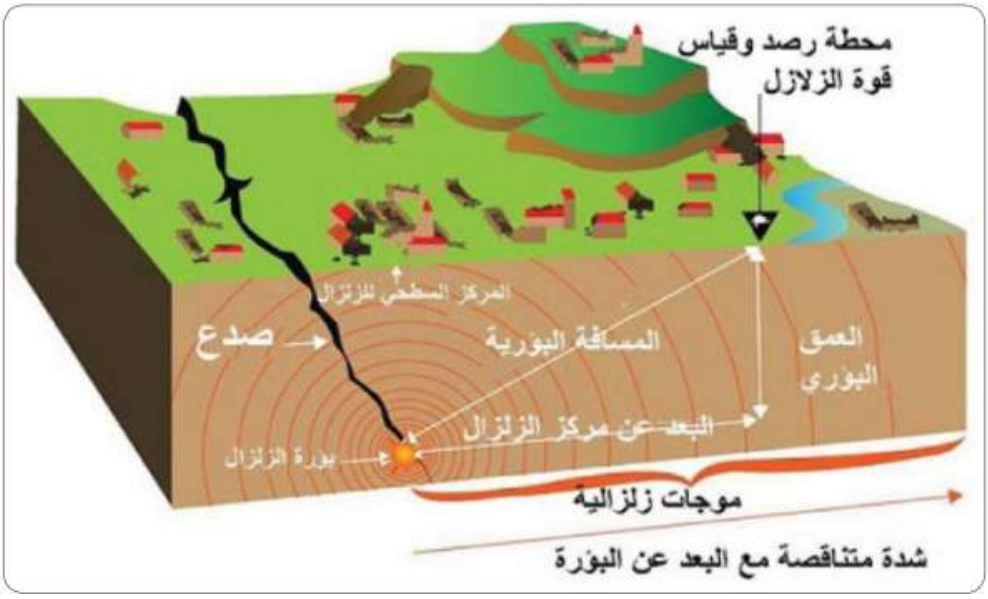
تعمل أمواج رالي علي تحريك الأشياء في المستويين الأفقي والرأسي في اتجاه عمودي علي اتجاه انتشار الموجه. تتخذ موجات رالي مسارات علي شكل بيضاوي أو علي هيئة قطع ناقص.

ومن الجدير بالذكر أن الأمواج الزلزالية التي تتعرض لها المنشات هي خليط من جميع ما سبق من أمواج ولكن تكمن القدرة التدميرية في الموجات السطحية. الشكل (26) يوضح سلوك الموجات الزلزالية المختلفة.

الحركة الزلزالية تنطلق من نقطة داخل الأرض تسمي بؤره الزلزال Hypocenter وتسمي النقطة علي سطح الأرض الواقعة مباشرة فوق بؤرة الزلزال بمركز الزلزال السطحي أو نقطة فوق المركز Epicenter وتعرف المسافة العمودية بين مركز الزلزال وبؤرته بعمق الهزه Focal Depth الشكل (27).



شكل (26): يوضح سلوك الموجات الزلزالية أثناء انتشارها.



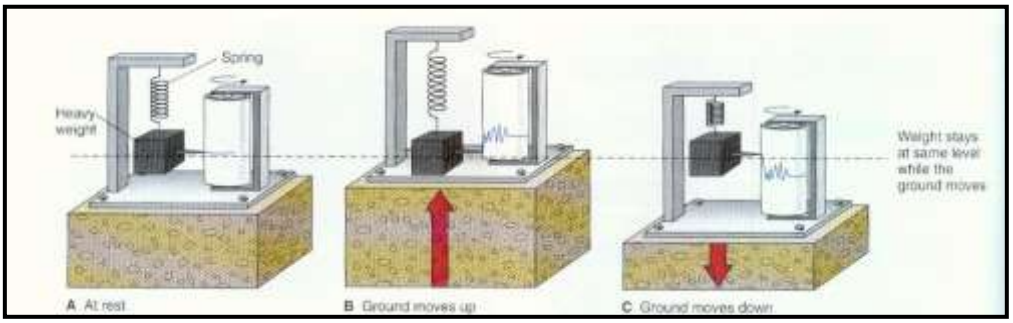
الشكل (27): يوضح بؤرة الزلزال ومركزه السطحي ومستوي التصدع.

رصد وتسجيل الموجات الزلزالية

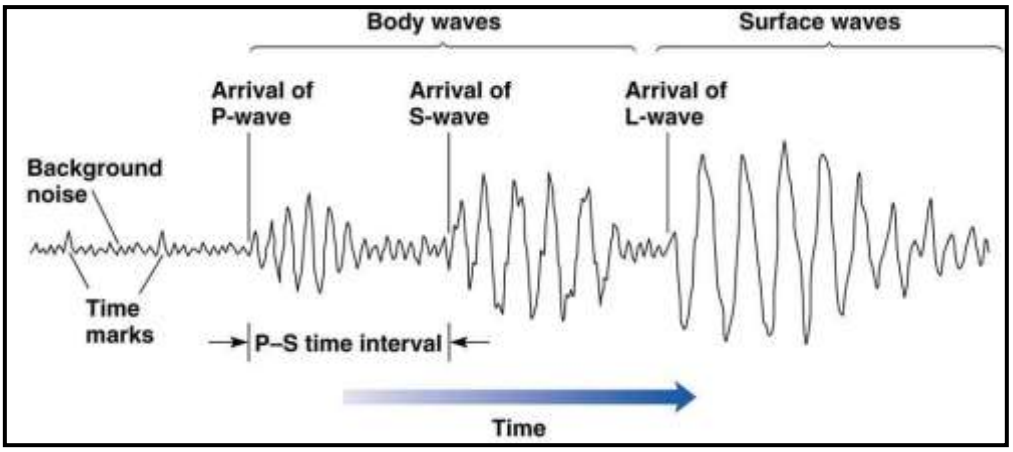
يمكن الكشف عن الزلازل وتسجيلها بواسطة جهاز "مسجل الزلازل" أو "السيزموجراف"، ويتكون السيزمزجراف من جزئيين الأول: ثقل معلق في زنبرك (أي بندول) تعليقا حرا حتى يتأرجح بتأثير الموجات التي يسجلها ويتصل البندول بقاعدة مثبتة علي صخر الأساس والثقل مثبت بة قلم لرسم وتسجيل الحركة الزلزالية ،والجزء الثاني وهي أداة التسجيل وهي عبارة عن أسطوانة دائمة الحركة تدور بسرعة منتظمة ملفوف عليها شريط ورقي الشكل (28). وقد بنيت فكرة هذا الجهاز علي أن أي ثقل مدلي في حبل عمودي طويل كما يتدلي بندول الساعة يظل ساكنا بحكم قصوره الذاتي حتي لو اهتز الذي من تحته. وعلي هذا الأساس فعند حدوث حركة زلزالية فان البندول نفسه لا يتأثر بتلك الحركة ولكن قاعدة الجهاز وأسطوانة التسجيل هي فقط من تهتز وبذلك يقوم القلم المثبت في البندول بتسجيل الحركة الاهتزازية عند اهتزاز اسطوانة التسجيل أمامه. تظهر التسجيلات الناتجة والتي تسمي بالسزموجرام علي هيئة خطوط توضح مدة الاهتزاز وشدتها. عندما تكون الأرض مستقرة وخالية من أي

هزات يظهر التسجيل الزلزالي علي هيئة خط مستقيم أما عند وجود هزة أرضية يظهر السيزموجراف علي شكل خط متعرج.

وتحتوي كل محطة رصد زلزالي علي ثلاث وحدات تسجيل اثنان للتسجيل الأفقي (الموجات الطولية) ووحدة للتسجيل الرأسي (الموجات المستعرضة). ويتكون سجل الزلازل الخاص بكل زلزال من ثلاثة أقسام الشكل (29)، القسم الأول وهو عبارة عن الموجات الأولية Primary wave وهي موجات طولية وأسرع الموجات وأولها في الوصول إلي آلات رصد الزلازل، أما القسم الثاني فهو يشمل الموجات الثانوية Secondary wave وهي موجات مستعرضة وثاني الموجات وصولا إلي محطات الرصد الزلزالي والقسم الثالث عبارة عن الموجات السطحية Surface wave وهي أخر الموجات وصولا وأبطأها ولكن يعزي إليها معظم الدمار الناجم من الزلزال.



الشكل (28):سيزمجراف لتسجيل الحركة الرأسية



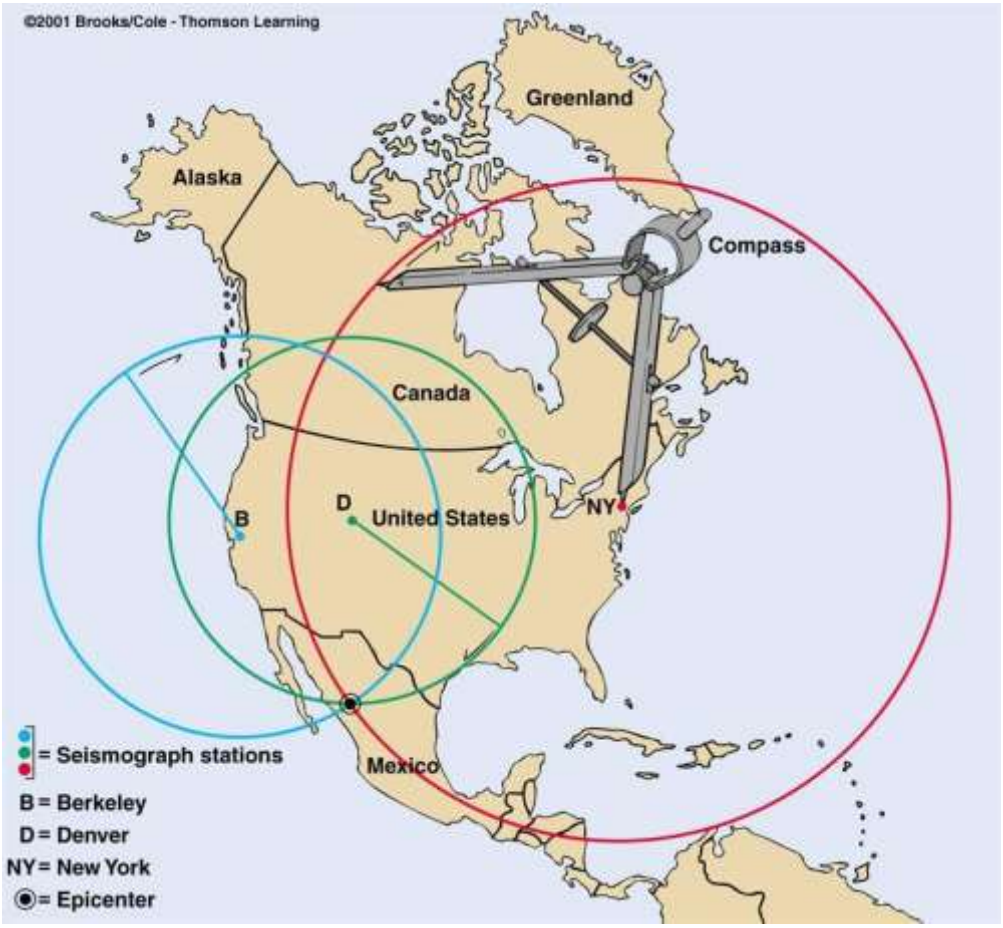
شكل(29): سيزموجرام يوضح تسجيل الموجات الأولية والسطحية.

<u>تحديد بؤرة الزلزال</u>

يسمي موقع بؤرة الزلزال علي سطح الأرض بالمركز السطحي للزلزال Epicenter أما المسافة العمودية بين بؤره الزلزال ومركزه السطحي فتسمي العمق البؤري Focal Depth .

ولتحديد المركز السطحي للزلزال يلزمنا معلومات من ثلاث محطات رصد. هذه المعلومات هي الفارق الزمني بين وصول الموجات الأولية ووصول الموجات الثانوية وبمعلومية سرعة الموجات يتم حساب المسافة التي تقع بين محطة الرصد ومركز الزلزال السطحي حيث أن الفارق الزمني يتناسب مع المسافة المقطوعة.

ثم يقوم الجيوفيزيائي المسئول عن المحطة بتحديد الموقع السطحي للزلزال برسم ثلاث دوائر بحيث كل دائرة تمثل محطة رصد ويكون مركزها مكان المحطة ونصف قطرها هو المسافة المحسوبة (بعد الزلزال المقاس عن المحطة ذات العلاقة) وتكون نقطة تقاطع الدوائر الثلاث هي موقع بؤرة الزلزال كما يوضح الشكل (30).



شكل (30): تحديد المركز السطحي لبؤرة الزلزال

<u>أسباب حدوث الزلازل</u>

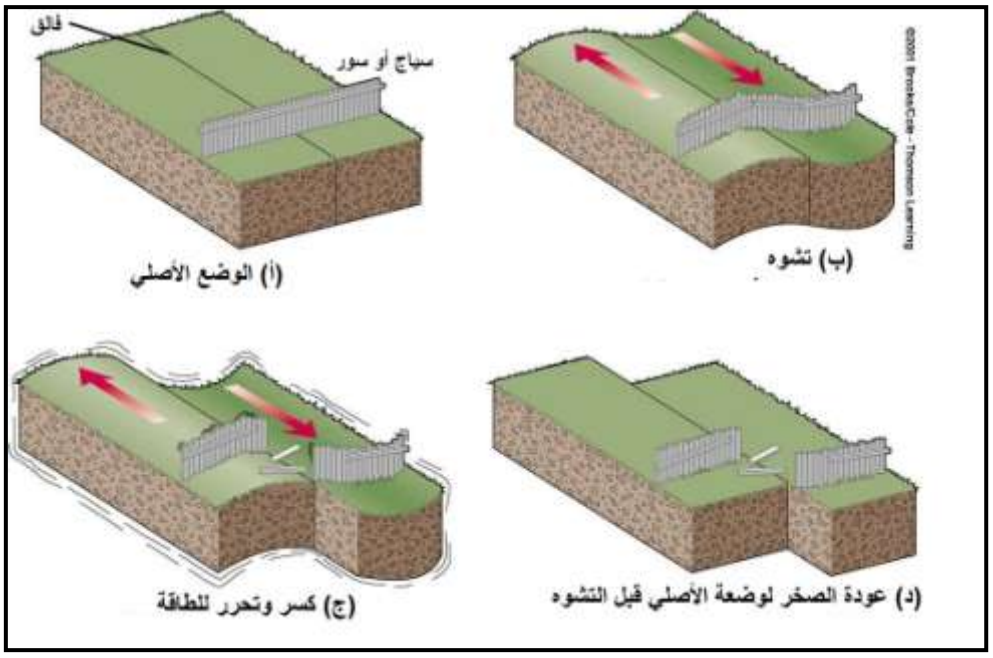
الرجفة الأرضية تنشأ علي شكل هزة أو صدمة مفاجئة ، ويبدو أن معظم هذه الصدمات تكون مصاحبة لظاهرة التصدع، إذ أن الكسر المفاجئ للصخور وإزاحتها علي طول مستوي الصدع يولدان في الصدع حركة شبة موجية، وأحد تفسيرات كيفية انفعال هذه الصخور الممزقة نظرية الارتداد المرن Elastic Rebound Theory فطبقا لهذه النظرية يؤدي الضغط طويل المدي (الذي تتعرض له الكتل الصخرية تحت السطحية في اتجاهات مختلفة) إلي ثني الصخور ببطء وتغير شكلها، ويولد هذا الضغط المستمر

إجهادا كبيرا لدرجة أن الصخور تنكسر في النهاية وترتد فجأة لتعود إلي حالتها قبل الإجهاد وبذلك تتحر الطاقة المختزنة وتنتشر في جميع الاتجاهات محدثة الهزة الأرضية. أي إن الهزة الأرضية ناجمة عن الارتداد المرن للطاقة المخزنة سابقا في الصخور علي جانبي الصدع كما هو مبين في شكل (31).

ولكن نظرية الارتداد المرن لا تعطي تفسيرا كاملا الأنواع المختلفة من الزلازل حيث انه توجد دلائل تشير إلي انه في بعض الأماكن تحدث الحركة الصدعية بعد حدوث الزلازل وليس قبله، وبالتالي يعتقد كثيرا من الباحثين أن نظرية الارتداد المرن قد تفيدنا في تفسير حدوث الزلازل الضحلة.

ومنذ عهد قريب أمكن تفسير حدوث الزلازل بنظرية الألواح التكتونية ، حيث أنة معظم الزلازل الضحلة تحدث في كل من حالتي تصادم الألواح وتباعدها، أما الزلازل المتوسطة والعميقة فيبدو أنها تحدث في حالة اصطدام لوحين، وعلي سبيل المثال فان صدع سان اندرياس في كاليفورنيا (وهو صدع انتقالي) حيث تنزلق كتلتان قشريتان هائلتان في اتجاه معاكس، وتحدث زلازل ضحلة كثيرة علي خط صدع سان أندرياس وهي تنتج من الحركة النسبية لكل من لوحي المحيط الهادي وأمريكا الشمالية. وتعرف الزلازل التي تحدث بهذه الطريقة بالزلازل التكتونية، وهي أكبر الزلازل تأثيرا وأشدها تخريبا.

وقد تتولد موجات زلزالية أثناء النشاط البركاني، بسبب الانفجارات البركانية العنيفة أو نتيجة الحركة الفجائية للصخور المنصهرة في باطن الأرض أو نتيجة انزلاقلت صخور في الصدوع الموجودة حول منطقة البركان تكون مصاحبة للانفجارات البركانية عادة. ويؤدي هذ كله إلي حدوث حركة وذبذبات سريعة تنتشر في جميع الاتجاهلت علي هيئة موجات زلزالية. وهناك أسباب ثانوية للاهتزازات الأرضية مثل التحرك السريع للكتل مثل الانزلاقات الأرضية والأنزلاقات الجليدية والانهيار المفاجئ للمغارات الطبيعية.



شكل (31): مبدأ نظرية الارتداد المرن

الأحزمة الزلزالية

بالرغم من إمكانية حدوث الزلازل في أي مكان من الأرض، إلا أن معظمها يحدث في مناطق عدم استقرار القشرة الأرضية ولا تحكمها عشوائية التوزيع. تنتشر الزلازل حول العالم علي شكل تجمعات تسمي أحزمة الزلازل شكل (32)، وتكون هذه الأحزمة الزلزالية علي استواء واحد مع ظهور المحيطات وصدوع التحول والأخاديد البحرية ومن هنا يستدل أن مواقع البؤر الزلزالية تمثل حدودا للصفائح التكتونية الأرضية، وتتوزع هذه الأحزمة كما يلي:

- **حزام حلقة النار أو الحزام حول الهادي Circum-Pacific Belt**

يتشكل في هذا الحزام حوالي 70% من زلازل العالم، كما تتواجد في هذا الحزام 80% من طاقة الزلازل الكلية المؤثرة علي العالم. يشمل هذا الحزام الشواطئ الغربية من أمريكا الشمالية وامريكا الجنوبية واليابان والفلبين واندونيسيا حتي يصل إلي أستراليا

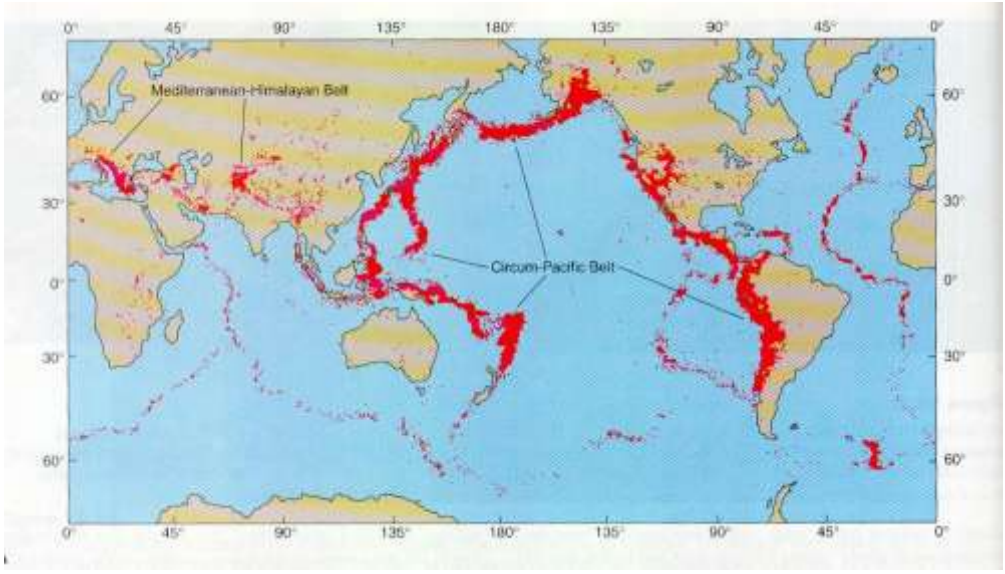
ونيوزيلندا، والزلازل في هذا الحزام تمثل أعتي أنواع الزلازل، وعلي سبيل المثال الزلازل التي حدثت في بيرو 1970 وتشيلي 1985 واليابان 1923 وألاسكا 1964، وزلزال اليابان 1995م.

❖ **حزام البحر المتوسط Mediterranean –Himalayan Belt**

يمتد من الصين شرقا مارا بجبال الهيمالايا ثم ينحرف الي الشمال الغربي مارا بجبال زاجروس ثم القوقاز إلي تركيا وشمال إيطاليا ويشمل أسبانيا واليونان وشمال الهند. ويتشكل في هذا الحزام 20% من زلازل العالم وهو يمثل 10% من الطاقة.

❖ **حزام وسط الأطلسي**

هذا الحزام الزلزالي يمتد وسط المحيط الأطلسي



شكل (32): الأحزمة الزلزالية حول العالم

توقع الزلازل

بما أن الزلازل قد تسببت عبر التاريخ بخسائر فادحة في الأرواح والممتلكات وما تزال تتسبب في المزيد، لذا كان لابد من عمل شئ لاتقاء أخطارها والتنبؤ بأوقات حدوثها.
يعتقد معظم الباحثين في مجال الزلازل أن التنبؤ بالزلازل هدف يمكن الوصول اليه، لذا بذلت كل الجهود الممكنة من أجل الوصول إلي هذا الهدف ولكن للأسف لم يوفق البشر في ذلك ليومنا هذا باستثناء حالات معدودة، فلقد نجح العلماء السوفيات في تحديد وقت زلزال نوفمبر 1978م في أدي فيرجاتا قبل حدوثه، وكذلك في فبراير 1975 م تنبأ علماء الزلازل في الصين بحدوث الزلزال وأعطوا تحذيرات قبل حدوثه بحوالي 24 ساعة بناء علي مراقبة حركة الحيوانات بصورة رئيسية، ودراسة ورصد كل المتغيرات في المنطقة. ولكن في العام الذي يليه وبالتحديد في 27 يوليو 1976م وأثناء عقد مؤتمر لعلماء الزلازل في الصين لمناقشة النجاح في توقع زلزال العام الماضي حدث زلزال عظيم مفاجئ قتل حوالي250 ألف شخص.

هناك فرق كبير بين التنبؤ وتوقع حدوث الزلزال. فالتنبؤ هو تحديد مكان وزمان حدوث الزلزال بدقة، ويكون في حدود عدة ساعات، وهذا غير متاح علي المستوي العالمي. أما التوقع بالتخمين فهو مبني علي دراسات تاريخية مستمرة للمنطقة زلزاليا وجيولوجيا.

تصنف المحاولات التي تمت في موضوع توقع الزلازل إلي نوعين:

- **توقع بعيد المدي**

التوقعات بعيدة المدي مبنية علي الأحصائيات التي عملت علي ما تم رصدة من زلازل سابقة، لحساب زمن تكرار هذه الزلازل في المنطقة. إن دراسة الخرائط الزلزالية لمنطقة ما تعرضت لهزات عنيفة في الماضي، ربما يبين استمرار النشاط أو هدوء تام يتبعه انتقال في النشاط إلي مناطق مجاورة للبؤرة السابقة.

- **توقع قصير المدي**

التوقع قصير المدي مبني بشكل رئيسي علي مراقبة ما يحدث من تغيرات في المناطق التي يتكرر حلول الزلزال فيها. وجدير بالذكر أن رصد تغيرات كهذه أمر يصعب تحريه، إضافة الي ذلك أي استنتاجات قد تبني علي ما تم مشاهدته من تغير في مكان ما قد لا تصلح للتعميم علي مناطق أخري. وفيما يلي بعض التغيرات التي قد تشير إلي احتمال حدوث زلزال:

- التغير المفاجئ في منسوب الماء الجوفي صعودا وهبوطا ، الشئ الذي ينبئ بتعرض صخور الخزان الجوفي لضغوط يمكن أن تقود إلي إحداث هزة أرضية.
- حدوث عمليات رفع أو خسف أو تشققات بشكل ملفت للنظر وتغير قيم الجاذبية.
- التغيرات في سرعة الموجات السيزمية.
- التغير في درجة التوصيل الكهربائي للصخور. فزيادة الاجهاد الواقع علي الصخور يمكن أن يجبر المياه الجوفية علي التخلل فيها مما سيزيد من موصليتها الكهربائية.
- زيادة النشاط الاشعاعي نتيجة انبعاث غاز الرادون. فمن المعلوم أن غاز الرادون يتكون بفعل التحلل الأشعاعي لعنصر اليورانيوم الموجود في صخور الأعماق. ويبقي هذا الغاز محصورا في الصخور إلي أن تتشقق هذه الصخور بفعل الاجهاد الواقع عليها فيتحرر هذا الغاز وقد يصل الي المياه الجوفية منذرا باقتراب حدوث زلزال.
- السلوك الشاذ لبعض الحيوانات كعزوف الأفاعي والفئران عن دخول جحورها وهروبها منها وقفز الأسماك فوق سطح الماء وتوتر الماشية والخيل في اصطبلاتها ورفع الارانب أذانها ومداومة الحمام الطيران وعدم عودته إلي أبراجه.

10.العوامل الخارجية المؤثرة فى القشرة الأرضية

هذه العوامل تستمد الطاقة اللازمة لها من أشعة الشمس. وهي تحدث تغيرات هادمة في سطح القشرة الأرضية. ولولا تأثير العوامل الداخلية التي تعيد ارتفاع أجزاء كثيرة من سطح الأرض لكان هذا السطح الآن مسطحا وخاليا من التضاريس.

وفي الواقع نجد أن العوامل السطحية لها تأثير هدمي Destructive وهو ما يعرف باسم التعرية Denudation وتأثير بنائي Constructive وهو ما يعرف بالترسيب.

التعرية

وتشمل جميع العوامل التي بها يغير الغلاف الجوي والغلاف المائي والغلاف الحيوي أو البيولجي سطح الغلاف الصخري. وتأتي هذه العوامل كنتيجة لهبوب الرياح وسقوط الأمطار وسريان الأنهار وكذلك من مرور جزء من المياه الجارية خلال صخور وأتربة الجزء الخارجي من الغلاف الصخري ويجعلها تتفتت في صورة حبيبات وكسرات صغيرة ومن ثم يزاح هذا الفتات الصخري من مكانه. وبهذا يتعرض سطح جديد من الصخور لهذه العملية مرة أخري. تنتقل المواد المفتتة عادة بواسطة الرياح أو المياه الجارية كالسيول والأنهار والتي يكون لها عمل هدمي يسمي بالنحت الي حيث ترسب في المنخفضات أو في البحيرات أو البحار حيث تتراكم طبقة فوق طبقة فتكون الصخور الرسوبية المعروفة.

وعموما تشتمل التعرية علي ثلاث مراحل هي التجوية والنقل والنحت.

التجوية

ويقصد بها التأثير الناتج من مجموع العمليات التي تحدث بفعل العوامل الجوية والتي تتضافر في تحلل وتفتت الصخور الصلبة وكذلك تتغير بواسطتها المعادن إلي معادن جديدة أكثر ثباتا تحت ظروف جديدة علي سطح الأرض.

وعمليات التجوية لا يصاحبها أي نقل لنواتج التفتت ويستبعد من هذه العمليات فعل الأمطار والرياح غير أن الناتج من عمليات التجوية يتعرض لتأثير الجاذبية حيث تقع أو تنزلق المواد المفككة إلي أسفل وخصوصا عندما يساعد علي انزلاقها وجود الماء.

ويعتمد نوع عملية التجوية في منطقة ما علي المناخ إلي حد كبير ففي المناطق الصحراوية حيث يقل الماء والرطوبة تسود التجوية الطبيعية بينما في المناطق الرطبة ذات المطر الغزير تكون التجوية الكيميائية هي السائدة. وهذا الاختلاف أساسه أن الأكسجين وثاني أكسيد الكربون هما المكونان النشيطان الأساسيان في الجو لا يكون لهما اثر فعال بدون وجود الماء وعليه نجد ان هناك نوعان من التجوية:

1-التجوية الطبيعية أو الميكانيكية:

تحدث التجوية الميكانيكية عندما يتحول صخر ما الي كتل صغيرة دون ان يعاني من أي تغير في تركيبه الكيميائي، وهذا النوع من التجوية ناتج من عدة عوامل وقوي فيزيائية نذكر منها ما يلي:

- التمدد والانكماش الناتجان من التغيرات الحرارية

تختلف درجة الحرارة كثيرا في النهار عنها في الليل وفي الصيف عنها في الشتاء ويصل هذا التأثير إلي أقصي مدي له في البلاد الجافة أو البلاد الصحراوية. وقد أثبتت الأبحاث أن متوسط الفرق بين أعلي درجة يبلغها سطح الصخور نهارا وأقل درجة حرارة ينخفض إليها في الليل طول مدة الصيف هو خمسون درجة مئوية لذلك نجد في بعض المناطق (وعلي الأخص المناطق الجبلية) تتعرض الصخور لتغيرات كبيرة في درجة الحرارة كل يوم تقريبا، ففي النهار تتمدد الصخور عند قمم الجبال العالية عندما تسخن أثناء النهار ثم تعود لتنكمش عندما تتعرض للبرودة الشديدة أثناء الليل. وحيث أن الصخر مكون من خليط من المعادن ولكل معدن من مكونات الصخور معامل تمدد تختلف عنه لمعدن أخر. هذا الفرق في معامل تمدد المعادن المختلفة يؤدي إلي حصول

جهد أو ضغط ينتج عنه تفتيت الصخور. ولهذا السبب يكون هذا العامل ذا تأثير اكبر وأوضح علي الصخور التي تتكون من معادن تختلف من حيث معاملات تمددها كالصخور النارية وهكذا تتعرض الصخور لإجهاد كبير يسبب تفتتها نتيجة الانكماش والتمدد اليومي.

ولما كانت الصخور بطبيعتها لا تسمح بمرور الحرارة فيها بسهولة فان تأثير الحرارة عليها لا يتعدي القشرة أو الطبقات السطحية من الصخر بينما لا تتأثر أجزاؤه الداخلية وينشأ عن ذلك انفصال هذه الطبقات السطحية عن بقية أجزاء الصخر وتعرف هذه الظاهرة بالتقشر (Exfoliation) وهذا التقشر يحدث عادة في الصخور الصلبة المتجانسة في التركيب الكيميائي والنسيج الصخري. أما إذا كانت هناك فروق في هذه الصفات من جزءا إلي جزء أخر في الصخر فإنه يتفتت ويتهشم بدلا من أن يتقشر.

- <u>تجمد المياه</u>

و تعتبر من أهم العوامل التي تسبب تفتيت الصخور. حيث أن الماء يتمدد بنسبة 9% من حجمه الأصلي عندما يتجمد وهذا التمدد يسبب ضغطا كبيرا يصل إلي 150 طن لكل قدم مربع وهذا الضغط كافي لتهشيم وكسر الصخور التي تحوي مياه في الشقوق الموجودة بها. ويكون تأثير هذا العامل كبيرا في البلاد التي يتكرر فيها تجمد المياه علي هيئة جليد ثم ذوبانه بعد ذلك.

هناك نوعان لعملية تمدد المياه هما التجمد بالدسر (Frost-Wedging) والتجمد بالانتفاخ (Frost –Heaving) . ففي النوع الأول ينتج عنة ضغطا موجها جانبيا ويحدث عادة في الصخور الصلبة والمتماسكة أما النوع الثاني والذي يحدث عادة في الصخور الغير متماسكة فان الضغط الناشئ عن التمدد يكون اتجاهه لأعلي مما قد يسبب دمارا في الأساسات والمنشات. من أثار الصقيع الملحوظة تكون الحطام والركام الصخري علي سفوح الجبال.

- الجاذبية

العامل الرئيسي للجاذبية في التجوية هو نقل الفتتات الصخري. ولكنها أيضا تعتبر عاملا مهما في تفتيت وتهشيم الصخور. إذ يحدث أن تتآكل طبقة رخوة مثل الحجر الطيني التي قد تكون موجودة تحت مادة صلبة مثل الحجر الجيري علي سبيل المثال وتكون النتيجة أن تبقي الطبقات الصلبة معلقة علي هيئة مصطبة. ثم يأتي دور الجاذبية فتنهار أطراف هذه المصاطب بتأثير الجاذبية وتسقط علي سفوح الجبال شديدة الانحدار فتتهشم إلي قطع صغيرة ذات زوايا حادة تعرف برواسب التالوس.

- الأنشطة العضوية

تساعد النباتات والحيوانات علي تفكك الصخور، فجذور النباتات التي تنمو بوفرة في شقوق الصخور، يمكن أن تكون عوامل مساعدة في تفتيت الصخور. والحيوانات القارضة والحفارة مثل الفئران والديدان والنمل، لها القدرة علي تفكيك الصخور ونقل فتاتها إلي سطح الأرض مما يعرض سطوحا جديدة لعملية تجوية جديدة أخري. يوضح الشكل (33) تأثير العوامل المختلفة للتجوية الطبيعية.

2-التجوية الكيميائية:

ينتج عن التجوية الكيميائية تغير في التركيب الكيميائي للمعادن الأصلية المكونة للصخر، فتنتج معادن جديدة بدلا من تلك التي تعرضت للتجوية الكيميائية.

من أهم مكونات الغلاف الجوي من النواحي الجيولوجية الأكسجين وثاني أكسيد الكربون وبخار الماء. ويعتبر بخار الماء الجوي أهم مكون لما له من تأثير مباشر في عمليتي التحلل المائي والتميؤ ولما له أيضا من تأثير غير مباشر لإتمام التفاعلات الكيميائية في عمليات الأكسدة والتكربن.

ونذكر فيما يلي أهم العوامل الكيميائية التي تساعد علي تحلل الصخور وهي:

- التميؤ Hydrolysis

التميؤ هو عملية اتحاد جزيئات الماء مع بعض جزيئات المعادن مكونا ما يعرف بالمعادن المائية، فعلي سبيل المثال تتحول معادن السيلكات ومعادن الأكاسيد إلي سليكات أو أكاسيد مائية نتيجة عملية التميؤ. من أشهر الأمثلة علي عملية التميؤ تحول الأنهيدريت $CaSO_4$ إلي جبس $CaSO_4.2H_2O$ وتفاعل الهيماتيت Fe_2O_3 مع الماء ليعطي الليمونيت $FeO(OH)$ وتحول معادن الفلسبار إلي معادن طينية.

- الأكسدة Oxidation

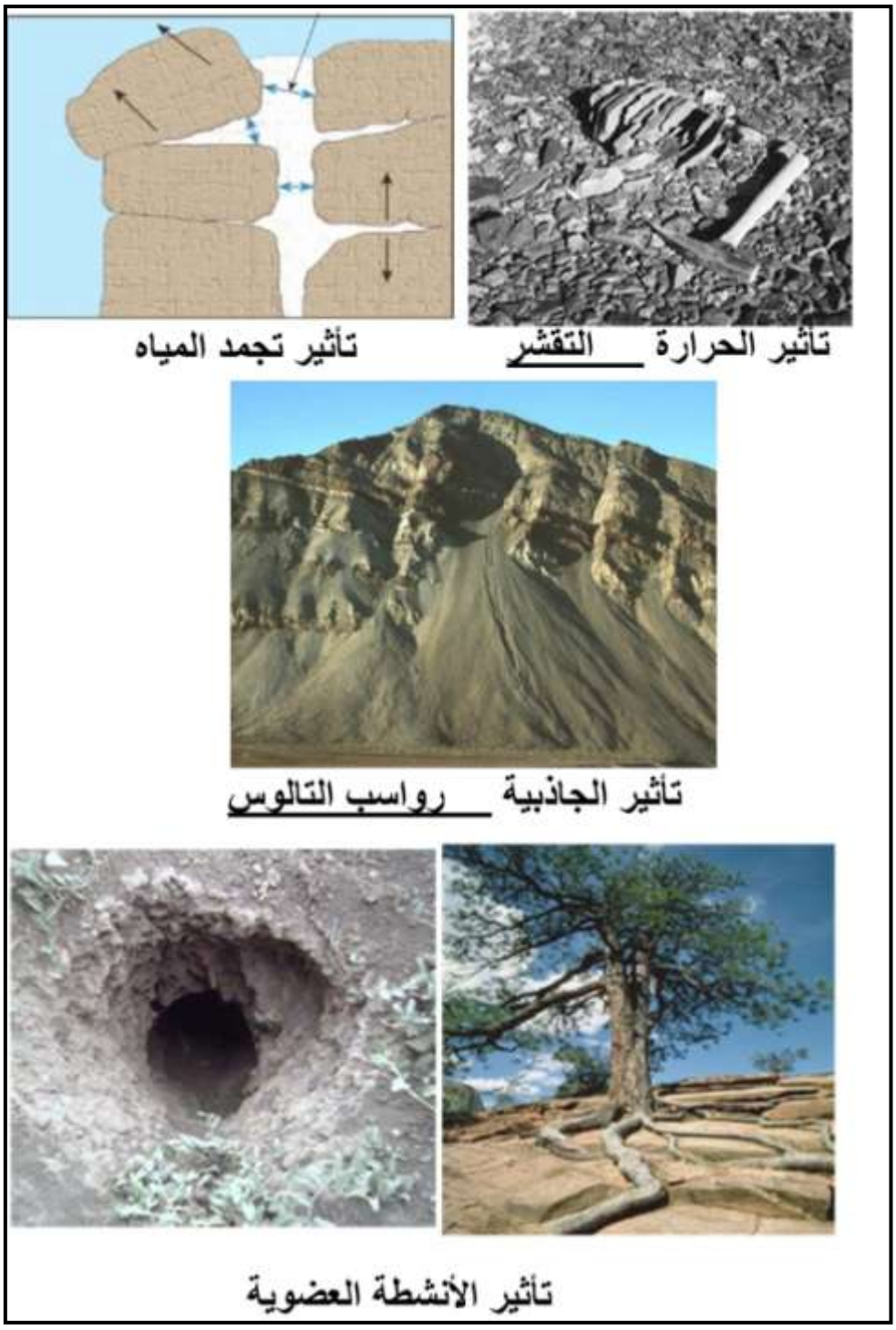
تحدث الأكسدة عندما يتحد الاكسجين بمساعدة الهواء الرطب بالمعادن مكونا أكاسيد، وتعتبر الصخور والمعادن الحاوية علي مركبات الحديد هي الأكثر عرضة بوجه خاص لهذا النوع من التحلل، كما تعتبر أكسدة مركبات الحديد التي ينتج عنها صدأ الحديد مسئولة عن تلوين الصخور بالألوان الحمراء والصفراء والبنية.

- الذوبان Solution

ويقصد بهذه العملية ذوبان معادن الصخور في الماء سواء كان ماء مطر أو مياه أرضية. والماء في حد ذاته مذيب ضعيف ولكنه يذيب بعض المعادن مثل الهالايت .

- التكربن Carbonation

يتم تفاعل التكربن علي مرحلتين، في المرحلة الأولي يتحد ثاني أكسيد الكربون الموجود في الطبيعة مع الماء وينتج عن ذلك حامض الكربونيك. وفي المرحلة الثانية يتفاعل حامض الكربونيك مع بعض المعادن مثل أكاسيد وهيدروكسيدات وكربونات الكالسيوم والبوتاسيوم والمغانسيوم ويتكون من هذه التفاعلات معادن جديدة هي كربونات المعادن أو بيكربوناتها. ومن أمثلة التجوية الكيميائية بالتكربن هو تأثير حامض الكربونيك علي الصخور الجيرية الصلبة وإذابتها في الماء.



شكل (33): أمثلة علي عوامل التجوية الطبيعية.

النحت

بعد أن تم توضيح التجوية وأنواعها المختلفة نتحدث فيما يلي عن العامل التالي من عوامل التعرية وهو النحت. وتحدث عملية النحت بواسطة عوامل مختلفة كالرياح والأمطار والسيول والأنهار والبحار. ولكل من هذه العوامل تأثير هدمي علي الصخور يشمل تفتيتها ونقلها كما أن له تأثير بنائي عبارة عن ترسيب ما ينقل من فتات الصخور. وفيما يلي توضيح لعملية النحت بالعوامل المختلفة.

1-نحت الرياح

يكون هذا أكبر تأثيرا في البلاد الحارة الجافة عنه في المناطق الرطبة وكذلك عندما يكون سطح الأرض خاويا تقريبا من النباتات والحشائش وذلك لأن الماء يعمل علي ربط فتات الصخور كما تعمل النباتات أيضا علي تثبيت التربة وتبعا لذلك يعتبر الجفاف وندرة الغطاء النباتي متطلبين أساسيين لحدوث عملية نحت الرياح.

وللرياح تأثيران أحدهما هدمي والأخر بنائي. والتأثير الهدمي للرياح يعتمد اعتمادا كليا علي ما تحمله من مواد مفتته ومن الرمال والأتربة وهذه الشحنة أما أن تكون محمولة في الهواء فتسمي بالشحنة المعلقة أو قد يدحرجها الهواء أمامه علي سطح الأرض فتسمي بالشحنة المدحرجة ويتوقف نوع الشحنة علي شده الريح وشكل الحبيبات وحجمها وكثافتها فقد تكون شده الرياح ضعيفة فيكون تأثيرها الهدمي ضعيفا وقد تكون الرياح قوية كالزوابع والأعاصير فتكتسح كل ما يقابلها علي سطح الأرض من صخور مفتتة ومواد رمليه وما شابة ذلك وتصبح بعد ذلك سلاحا فعالا في تفتيت أوجه الصخور أو بريها وصقلها. ويتم النحت بالرياح بطريقتين : التذرية Deflation والكحت Abrasion

فيما يتعلق بالطريقة الأولي وهي التذرية تقوم الرياح برفع المواد الصغيرة الحجم عن سطح الأرض ومن ثم انتزاعها حيث تستطيع الرياح حمل الرسوبيات الناعمة بحجم

الطين Clay والغرين Silt بالحالة المعلقة أما الحبيبات الأكبر حجما (حجم الرمل) فتحركها الرياح فوق سطح الأرض بالدحرجة تاركة وراءها ما تبقي من حصى كبير وجلاميد. أما الطريقة الثانية لنحت الرياح وهي عملية الكحت تتم عن طريق الرمال التي تحملها الرياح والتي تعمل علي قطع وبري سطوح الصخور التي تعصف وتمر بها.

ينتج عن أثر الرياح الهدمي بعض المظاهر الجيولوجية شكل (34) مثل الحصي الريحيةVentifacts والرصف الصحراوية Desert Pavement والكتل العمدانية Rock Pedestal والأعمدة الأرضية Zeugen ويمكن وصف هذه المظاهر باختصار كما يلي:

الحصي الريحية Ventifacts

وهي عبارة عن حصوات أو جلاميد حدث لها صقل وتكونت لها أسطح صغيرة بفعل الرياح وهي تتكون عندما تقذف الرياح بالرمال علي أحد جوانب الحصوة فتجعل وجهة مستويا.

الرصف الصحراوية Desert Pavement

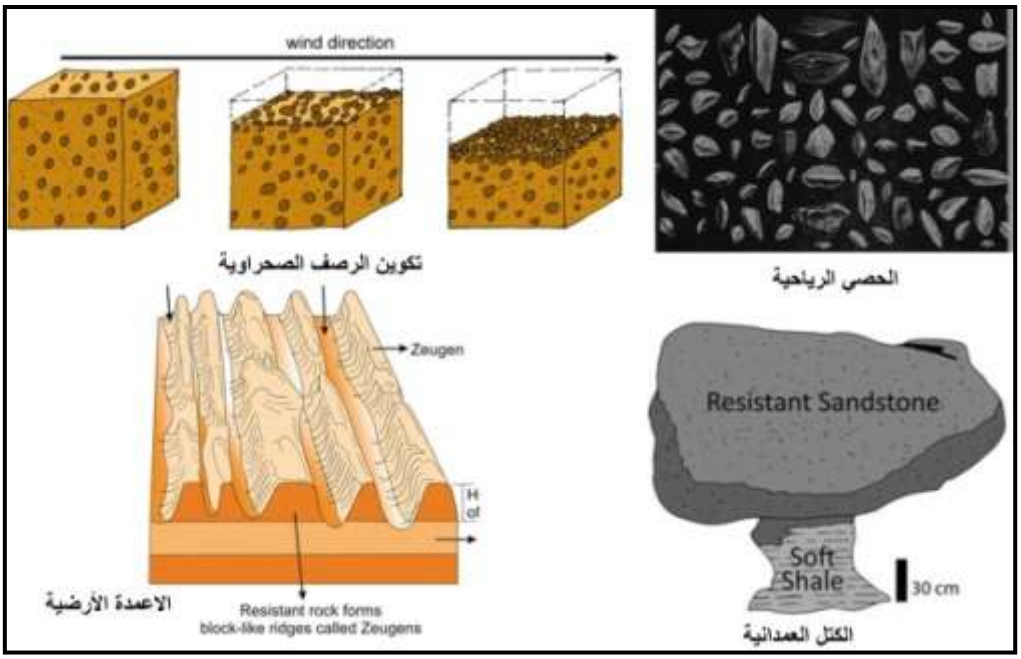
وهي عبارة عن طبقة من الحصى الصغيرة والجلاميد تغطي بعض أجزاء الصحراء وقد نتجت عن تذرية الرياح حيث عملت الرياح علي إزالة حبات الرمل والغرين وخلفت وراءها الحصى والجلاميد التي لم تستطع حملها عل شكل طبقة رقيقة وقد يلزم لتكوين رصيف الصحراء مئات الأعوام ولكن في حالة تكونه يصبح سطح الصحراء محميا من التذرية إلا إذا تأثر بمرور حيوان أو إنسان أو عربة فان الحصى والجلاميد تتحرك من مكانها كاشفة ما تحتها من حبات ناعمة معرضة إياها للتذرية من جديد.

الكتل العمدانية Rock Pedestal

تتكون الكتل العمدانية عندما تمر الرياح بصخور متباينة من حيث الصلابة أي صخور تحتوي علي أجزاء أو طبقات أصلب من الأخرى ويكون نتيجة لذلك أن تتآكل الأجزاء الرخوة أو الأقل صلابة وتبقي الصخور الصلبة بارزة كما يحدث عند تكوين المصاطب ويعرف هذا النوع من النحت بالنحت المتباين.

الأعمدة الأرضية Zeugen

تتكون الأعمدة الأرضية في المناطق التي تحتوي علي تبادلات متوازية من صخور صلبة ورخوة وطبقا لذلك يكون معدل نحت الرياح متباين بحيث يكون النحت في الأجزاء الرخوة أسرع وبالتالي تكون الأجزاء الصلبة أشكالا منضدية متوازية وقد يصل ارتفاعها إلي حوالي ثلاثين مترا.



شكل (34): المظاهر الجيولوجية الناجمة عن نحت الرياح

أما العمل البنائي للرياح فيحدث بمجرد أن تصادف هذه الرياح في طريقها عقبات أو نتوءات تؤدي إلي إيقافها أو تقليل سرعتها فتلقي بما تحمل من رمال وأتربة علي شكل رسوبيات. ويوجد نوعان من رسوبيات الرياح 1- اللوس Loess 2- الكثبان الرملية Sand Dunes

1-اللوس Loess

عبارة عن رسوبيات ضخمة من الغبار المحمول بالرياح يكون بحجم الغرين والذي يترسب من العواصف الترابية عبر ألاف السنوات. والمواد التي تكون اللوس مشتقة من التراب السطحي الموجود في الصحاري والسهول الفيضية النهرية ورسوبيات الدلتا واللوس رسوبيات متماسكة ولها خاصية تكوين جروف شديدة الانحدار ذات جوانب رأسية.

2- الكثبان الرملية Sand Dunes

عبارة عن أكوام أو تلال من الرمال ترسبت بفعل الرياح وتختلف الكثبان في الشكل والحجم حسب طبيعة الرياح واتجاهها والكمية المتاحة من الرمال ومقدار وتوزيع الغطاء النباتي.

تتكون الكثبان في المناطق التي تتواجد فيها كميات كبيرة كافية من الرمال السائبة غير المحمية ورياح كافية لتحريكها، ويكثر وجود مثل هذه المناطق في الصحاري الرملية والسهول الفيضية الرملية والشواطئ الرملية ويبدأ تكون الكثيب بوجود عائق يسبب انخفاضا في سرعة الرياح مثل شجرة أو عمود أو صخرة وعند انخفاض سرعة الريح يتكون راسب صغير من المواد التي تحملها الرياح علي جانب العائق في الناحية المحجوبة عن الريح مكونة كومة صغيرة من الرمل وفي حالة استمرار هبوب الرياح

محملة بالرمال فترة زمنية فان كومة الرمل تكبر لتكون كثبانا يصل ارتفاعه احيانا لعشرات ومئات الأمتار.

تختلف الكثبان من حيث الشكل والحجم اعتمادا علي سرعة واتجاه الرياح وعلي كمية الرمال المتاحة في المنطقة وبناء علي ذلك توجد أشكال مختلفة من الكثبان الرملية شكل (35) نذكر منها ما يلي:

الكثبان المستطيلة Longitudinal Dunes

هي كثبان طويلة تشبة الحيود تتكون بطريقة موازية لاتجاه الريح من الممكن أن يزيد طولها عن 100 كم وارتفاعها 100 متر وتتكون هذه الكثبان نتيجة هبوب الرياح في اتجاهين مختلفين علي الأقل.

الكثبان السيفية Seif Dunes

هي نمط خاص من الكثبان الطولية تشبة السيف العربي وقد يصل ارتفاعها إلي 200 متر وطولها 180 متر، وهي تنتشر في مجموعات لتكون حيودا تمتد لمسافة كيلومترات كثيرة في الصحراء.

البرخانات Barachans

هي كثبان هلالية الشكل تتميز بوجود امتدادين طويلين مقوسين يشيران الي الاتجاه الذي تولي منه الرياح ويكون الانحدار بسيطا من ناحية اتجاه الرياح وشديدا في الاتجاه المضاد.

الكثبان الهلالية المعكوسة Parabolic Dunes

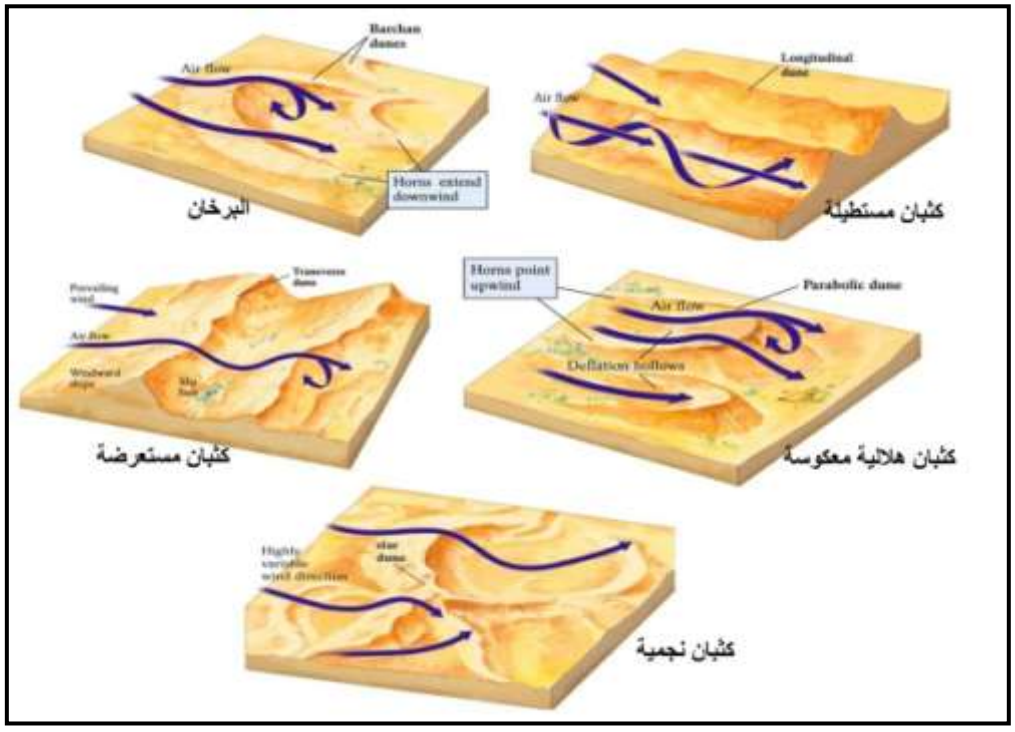
هي علي شكل حرف U وتشبه الكثبان الهلالية (البراخانات) إلا أن طرفاها يشيران إلي مصدر هبوب الرياح.

الكثبان المستعرضة Traverse Dunes

وتوجد بوجه خاص علي طول سواحل البحار وشطان البحيرات وتتكون بحيث يكون محورها الطولي عمودا علي اتجاه الرياح وقد يصل ارتفاع الحيد الرملي الي 3 حتي 4.5 متر كما يصل طولها الي ما يقرب من الكيلومتر.

الكثبان النجمية Star Dunes

وهي ذات شكل نجمي ناتجة من هبوب الرياح في اتجاهات مختلفة.



شكل (35): الأشكال المختلفة للكثبان الرملية

2-نحت الأمطار

تكثر الأمطار في المناطق الاستوائية وتقل تدريجيا نحو القطبين كما تكون كمية الأمطار في الجهات الساحلية أكبر منها داخل القارات.للأمطار عمل هدمي فقط ولا يتم العمل البنائي لها وهو ترسيب ما تحمله هذه الأمطار من فتات صخري إلا بواسطة السيول والأنهار. وينقسم العمل الهدمي للأمطار إلي عمل آلي وعمل ميكانيكي.

العمل الآلي أو الميكانيكي فيعتمد علي اصطحاب الأمطار لرياح شديدة مما يساعد علي نقل المواد المفتتة علي سطح الصخور أو تفتيت أجزاء منها ومن أمثلة ذلك ما يحدث في البلاد الجافة من نحت الأمطار لأوجه الصخور الجيرية أو الطباشيرية مكونا في النهاية مجموعة من الأخاديد تفصلها جروف حادة نوعا ما وقليلة الارتفاع كما هو الحال في كثير من جبال شبه جزيرة سيناء. ويفسر العمل الميكانيكي للأمطار باليتين هما آلية الاصطدام وآلية الجريان.

أما العمل الكيميائي للأمطار في تفتيت الصخور فيشتمل علي إذابة ماء المطر لبعض الغازات الموجودة في الهواء مثل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون كما سبق وتم إيضاحه في حالة التجوية الكيميائية

3-نحت السيول

تظهر السيول بعد هطول الأمطار الغزيرة مكونة أنهار وقتية تترك مجاريها ظاهرة سواء علي سفوح الجبال أو في الصحراء بعد تصريف مياهها. فعند هطول الأمطار الغزيرة علي التلال أو الجبال تنحدر مياهها في مجاري ضيقة ثم تتصل هذه المجموعات من مجاري مياه المطر وتكون السيول ويكبر السيل ويتزايد حجمه وسرعته حتي يصل في النهاية الي نهر يصب فيه مثل السيول التي تنحدر من أعلي جبال البحر الأحمر بالصحراء الشرقية وتصب في وادي النيل. وتكتسح السيول ما تقابله في طريقها من مواد طينية أو حصي مختلف الأحجام أو كتل صخرية كبيرة اذا كان السيل جارفا وقويا وتكون هذه المواد بمثابة الالات التي تستعملها السيول في نحت وتعميق مجاريها وبمرور السنين نجد ان المجاري الضيقة التي تنشأ في البداية من نحت السيول قد تحولت الي أخوار ضيقة جدا. وقد وجد أن العمل الهدمي للسيول يظهر واضحا في الطحاري لندرة وجود النباتات فيها علي العكس من تأثيره في البلاد التي تغطيها النباتات والغابات.

وعند خروج مياه السيول من اخوارها فانها تنتشر علي سطح السهول وبذلك تفقد سرعتها وتبدأ بترسيب ما تحمله من مواد.. ويكون الترسيب عادة اما علي شكل نصف دائرة مركزها مخرج الخور ميسمي ما يرسب بمخروط السيول أو يكون الترسيب علي شكل مثلث تكون قمته عند مخرج الخور حيث ترسب عندها الكتل الصخرية والحصي الكبير ثم يتناقص حجم الحصي تدريجيا وينتهي بالرمال والمواد الطينية عند قاعدة المثلث ويعرف هذا النوع من الترسيب بالدالات الجافة.

شكل (36): مخروط السيل

4-نحت البحار والمحيطات

تقوم البحار والمحيطات بالتأثير علي ما حولها من سطح القشرة الأرضية بواسطة الحركة الدائمة لمياهها والتي يرجع سببها إلي الأمواج والمد والجزر والتيارات البحرية وهذه الحركة لها تأثير كبير كعامل جيولوجي حيث ينتج عنها تغيرات كبيرة في شكل الصخور وتركيبها علي طول خط الشاطئ.

للبحار والمحيطات عمل هدمى وعمل آخر بنائى ويعتبر العمل الهدمي للبحار والمحيطات أقل أهمية من عملها البنائي لأن الأول لا يتعدي مساحات محدودة من الشاطئ أما الثاني فهو الغالب لأن جميع مساحات البحار والمحيطات تعتبر المأوي لمعظم المواد المفتتة والمنقولة بواسطة العوامل الأخري.

العمل الهدمي للبحار والمحيطات:

يشمل هذا تأثير المياه علي المناطق الشاطئية وأهم أسباب حركة المياه ما يلي:

1-الأمواج

وهي عبارة طاقة متحركة رأسية علي طول خط التماس بين الغلاف الجوي وسطح المحيط نتيجه هبوب الرياح في اتجاه معين. ويختلف حجم الموجه في البحر الواحد نتيجة عده عوامل وهي قوة وسرعة الرياح ، طول سطح الماء الذي هبت عليه الرياح، وزمن الهبوب. وكلما كبرت قيمة كل عامل من هذه العوامل كلما كبرت الموجه المتكونة.

تعمل الأمواج علي تفتيت صخور الشاطئ عندما تصطدم به وتقدر القوه التي تصطدم بها الأمواج علي الشاطئ ما بين 3000 و 30000 كيلوجرام علي المتر المربع وهي قوه هادمه كبيرة خصوصا إذا كانت المياه محملة بما نقل إليها من مواد مفتته أو بالمواد التي فتتتها المياه بنفسها من صخور الشاطئ. وتختلف درجة مقاومة صخور الشاطئ للأمواج فتتآكل الصخور الرخوة بينما تظل الصخور الصلبة بارزة ومن هنا تنشأ التعرجات والمغارات الساحلية.

2-المد والجزر

وهو عبارة عن حركة منتظمة للمياه تحدث كل 12 ساعة و 16 دقيقة .وليس من السهل ملاحظة هذه الظاهرة في البحار المفتوحة آذ أن الفارق في مستوي الماء في حالتي المد والجزر لا يتعدي 60 سم لكن مدي المد يكون ملحوظا بدرجه أكبر قرب الشواطئ، وقد يتراوح من اقل من 60 سم (كما في خليج المكسيك مثلا) إلي ما قد يصل إلي 15 مترا (كما في خليج فاندي نوفاسكوشيا بكندا). وعمل المد والجزر يشبه عمل الأمواج إلا انه يساعد علي حمل ما فتته الأمواج بعيدا عن الشاطئ ويكون من نتائجه تكوين عتبات مدرجة علي الشاطئ تدل كل منها علي منسوب المياه في وقت كل من المد والجزر.

وتحدث غالبا ظاهرة المد والجزر بسبب تأثير الجاذبية الثقيلة للقمر علي مياه الأرض.

3-التيارات البحرية

عبارة عن حركة محلية محدودة لكتل من المياه تنتقل من مكان لأخر وهذه الحركة تقتصر في الغالب علي المياه السطحية. تنتج التيارات البحرية في الغالب نتيجة لتغير كثافة الماء بتغير درجة حرارته في المناطق الاستوائية عنة في المناطق القطبية وكذلك بسبب تغير درجة ملوحة الماء من مكان لأخر نتيجة التبخر وتوجد التيارات البحرية في جميع البحار والمحيطات المفتوح. وهناك التيارات الساحلية التي تعتمد في قوتها واتجاهها غالبا علي الريح وعي طبيعة الساحل وكذلك تيارات السحب وهو ما يحدث علي الشاطئ عند ارتداد مياه الموجات إلي الداخل.

يتم النحت البحري بطرق عديدة ، فيحدث التآكل بالفعل الهيدرولوكي عندما تضرب الأمواج الرسوبيات ضعيفة التماسك أو الصخور السائبة بسبب تشققها ، وقد يحدث سحج أيضا للساحل عندما ينحت فيه فتتات الصخور الذي تحمله الامواج والتيارات.

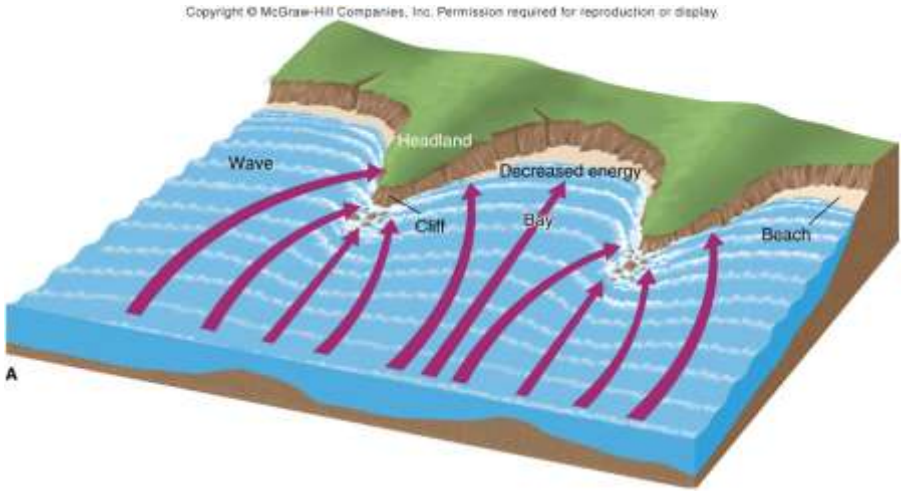
ونتيجة للنحت البحري تتكون بعض الملامح الجيولوجية مثل الجروف والمغارات والخلجان والجروف المقطوعة وغيرها، وفيما يلي وصف لأهم هذه الملامح:

1-الجروف البحرية Wave –Cut Cliffs

تتكون بتأثير الفعل التحاتي للأمواج علي الصخر السفلي للشاطئ يليها عملية تكوين الكهف في الصخر المعلق، ومل هذه الجروف تكون رأسية ومن أمثلتها تلك الموجوده بشواطئ أمريكا الشمالية من جهة المحيط الهادي.

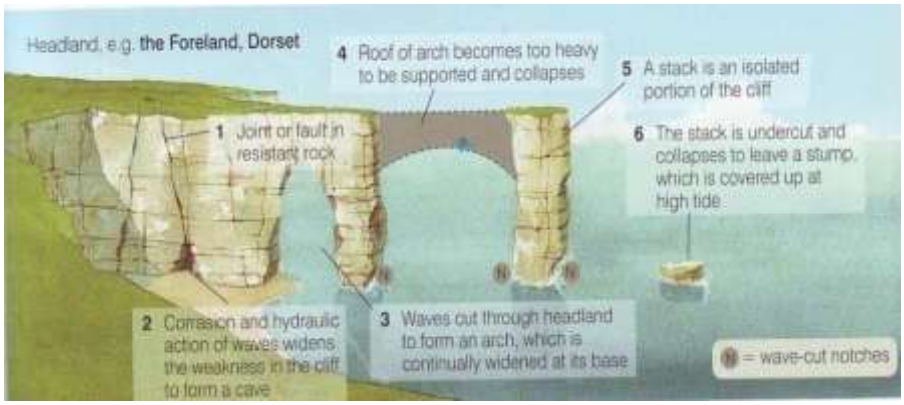
2-الرؤوس الأرضية Head Lands والخلجان Bays

هي بروزات تشبه الأصبع مكونة من صخور مقاومة للتجوية وتمتد داخل البحر.

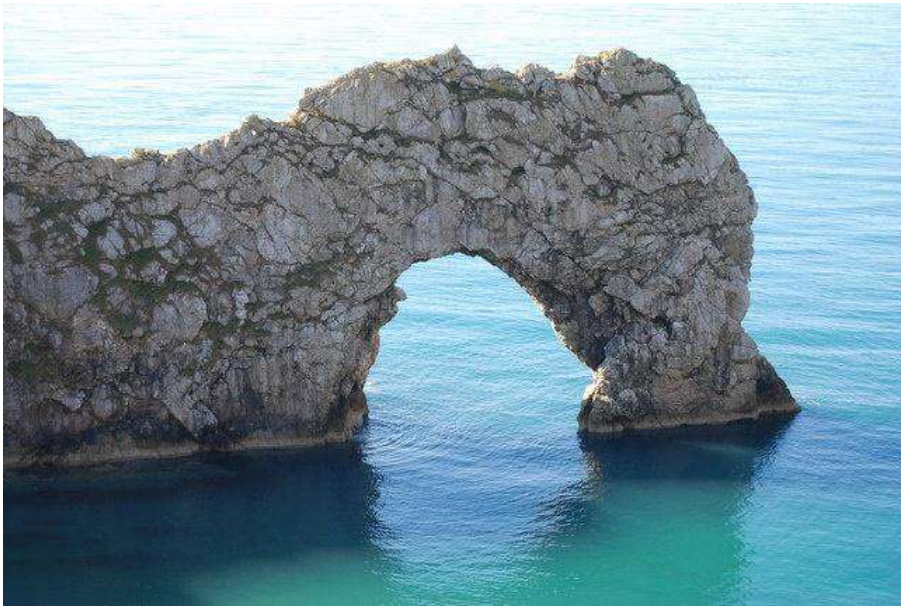


3-الكهوف والأقواس والقوائم البحرية Sea Caves, Sea Arches, and Stacks

تنشأ الكهوف البحرية Sea Caves عن الحركة المستمرة للأمواج، نتيجة لفعل الأمواج في تفريغ الجرف البحري من الداخل . وقد تخترق الأمواج تماما رأسا من الرؤوس البحرية فتشكل أقواسا بحرية Sea Arches . واذا انهار القوس فان الصخور المتبقية عند الرأس تنفصل لتكون قوائم بحريةStacks.



كهف تكون بفعل الأمواج



قوس تكون نتيجة اختراق الأمواج لرؤوس بحرية

قوائم بحرية Stacks تكونت نتيجة انهيار الأقواس البحرية

العمل البنائي للبحار والمحيطات:

العمل البنائي للبحار والمحيطات هو الغالب لأن جميع مساحات البحار والمحيطات تعتبر المأوى الذى تؤول اليه معظم المواد المفتتة والمنقولة بواسطة العوامل الأخرى.

عندما تقل سرعة الأمواج أو التيارات فانها ترسب حمولتها، كما أن الأمواج المتكسرة علي الشاطئ تلقي عليه ببعض الحبيبات الصخرية وتتكون معظم هذه الحبيبات المترسبة من شظايا صخرية جلبتها عوامل التجوية الميكانيكية من اليابسة.

ترسب البحار والمحيطات رواسبها فى مناطق مختلفة العمق ولكل منها رواسبه الخاصة كما يلى:

- **المنطقة الشاطئية: Littoral Zone**

وهذه المنطقة تتعرض لتأثير الأمواج والمد والجزر وفيها يتراكم الحصى والرمال الخشنة وأخيرا الطين. المنطقة الشاطئية لها ملامح ترسيبية مميزه لها مثل الشواطئ والألسنة والحواجز والتمبولو.

الشواطئ:

هي رسوبيات ساحلية من الفتات الصخري وهي ملامح مؤقتة تكون في الغالب رملية التكوين إلا أنها قد تتكون أيضا من الجلاميد والحصي والأصداف والوحل أو خليط من هذه المواد.

شكل توضيحي لشاطئ رملي.

الحواجز Bars

هي تجمعات رملية طويلة وضيقة تقع موازية للشاطئ وتفصله عنها بحيرة شاطئية ضحلة (لاجون Lagoon).

Copyright © McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.

حاجز بحري

الألسنة Spites

هي جسور طويلة من الرمل والحصي تمتد داخل الماء ولكنها تتصل بالأرض من أحد طرفيها وهي ناتجة من تلاقي تيارين بحريين حيث تترسب الرمال عند خط التماس بينهما.

التمبولو Tombolo

هو معبر (أو لسان) رقيق من الرمل والحصي يصل بين جزيرة وبين اليابسة أو يصل بين جزيرتين.

- **منطقة المياه الضحلة Shallow Water Zone:**

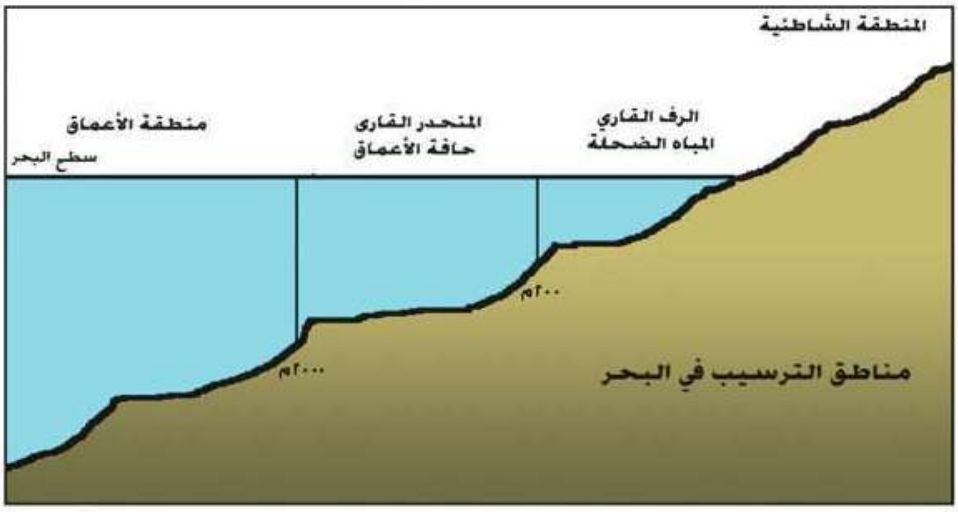
وهى منطقة الرف القارى التى تمتد من المنطقة الشاطئية الى عمق حوالى 200 متر تقريبا . وتشتمل رواسب هذه المنطقة على الحصى والرمال قرب المنطقة الشاطئية ثم الرواسب الطينية كالطمى والطين تجاه الداخل . هذا عدا الرواسب البحرية التى تتكون نتيجة تراكم هياكل الكائنات البحرية بعد موتها وتكون رواسب هذه المنطقة حوالى 80% من الصخور الرسوبية الموجودة على سطح الأرض.

- **منطقة حافة الأعماق Bathyal Zone**

وهى منطقة المنحدر القارى وتبدأ من عمق 200 متر الى حوالى 2000 متر تقريبا. ورواسب هذه المنطقة دقيقة الحبيبات وتكون غالبا من الطين وقد تحتوى على مواد جيرية وسيليسية من بقايا الحيوانات وحيدة الخلية كالفورامينيفرا والدياتوم والراديولاريا وشوكات الاسفنج.

- **منطقة الأعماق Abyssal Zone**

وهى منطقة الأعماق السحيقة وأكبر الأماكن جميعا وتشمل كل الأعماق التى تزيد عن 2000 متر. ورواسبها خالية من الفتات الذى تحمله الرياح والأنهار وتوجد بها رواسب بركانية مكونة من طين أحمر أو رماد بركانى مما يسقط على وجه المحيط بعد أن يكون محمولا بالرياح . وكذلك توجد رواسب عميقة دقيقة أخرى تعرف باسم الأوز وهى بقايا حيوانات مجهرية كالفورامينيفرا والدياتوم.



قائمة المراجع

1 - **العمري، عبدالله محمد، محمد، عادل كامل (2020)**: الجيولوجيا العامة، الجمعية السعودية لعلوم الأرض، الرياض، السعودية.

2 - **عطاالله، ميشيل كامل(2009):** أساسيات الجيولوجيا. دار المسيرة،عمان، الأردن.

3 - **ناشد ، مختار رسمي (1995):** ما هي الجيولوجيا. الهيئة المصرية العامة للكتاب.

4- **Earle, Steven (2015):** Physical Geology Gabriola Island.

5- Jain, Sreepat (2014): Fundamentals of physical geology. Springer New Delhi Heidelberg New York Dordrecht London.