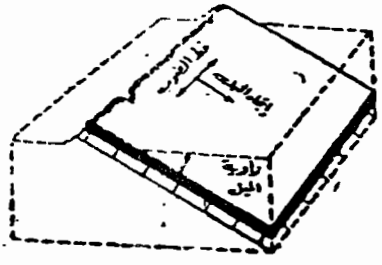
الباب الرابع

البنيات (التراكيب) الجيولوجية

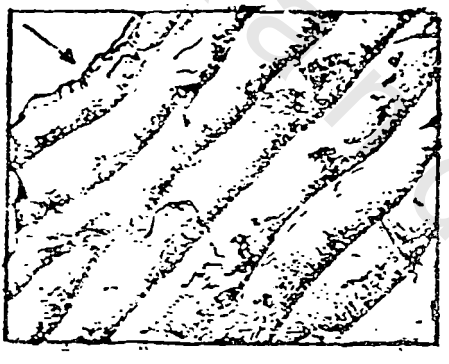
(بقلم الشناوى)

من المعروف أن الصخور الرسوبية تتكون فى بادىء الأمر فى هيئة طبقات أفقية متعاقبة نتيجة ترسيب الفتات الصخرى تحت مستوى سطح الماء فى أحواض الترسيب ، ثم تصلدها أى تدمجها . ولكن كثيراً ما تتواجد مثل هذه الصخور فوق مستوى سطح الماء فى أوضاع مختلفة منها ، الطبقات المائلة inclined (شكل ٥١) ، أو تشكيلات هندسية معقدة أو منثنية أى طبقات مطوية Folded (أشكال ٥٨ – ٦٨) ، أو متصدعة أى متفلقة Faulted ، (أشكال ٦٩ – ٧٧) أو بها آثار كسور فاصلية أى متفصلة Jointed . فكيف حدثت هذه التشكيلات الهندسية ، وما أسباب حدوثها ؟ من البديهى أنه قبل إجابة التساؤل على كيف ولماذا لابد من التعرف أولا على ماهية هذه التشكيلات الهندسية البنائية للقشرة الأرضية ، أى البنيات الجيولوجية أو التراكيب الجيولوجية Geologic structures . ويمكن التعرف على نوعين أساسين من هذه البنيات .



شكل ٥١) يبين خط امتداد (مضرب) طبقة مائلة

(شكل ٥٢) صورة تبين الشقوقات الطينية فى وادى النيـــل



(شكل ٥٣) صورة تبين علامات النيم (التموج) فى الحجر الرملى النـــوبى

(شكل ٥٤) صورة تبين التطابق المتقاطع فى الحجر الرملى النـــوبى (الواحات الخارجه)

أولا ـ البنيات الأولية Primary structures : وهى التى تتكون فى الصخور الحاوية لها نتيجة تأثير الظروف البيئية السائدة أثناء عملية ترسيبها وتصلدها ، مثل : التشققات الطينية (شكل ٥٢) علامات التموج أو النسيم Ripple marks (شكل ٥٣) ، التطابق الكاذب ، التيارى أو المتقاطع False, current or cross bedding (شكل ٥٤) ، وكذلك الفواصل العمدانية Columnar jointing (شكل ٣٤) ، التى تتكون أثناء عملية تبريد الحمم (لافا) وتصلده ، والتركيب الإنسيابى Flow structure (شكل ٣٦)، الناشىء من ترتيب المعادن ـ وخاصة النوع الإبرى أو العمدانى وكذلك الصفائحى ـ فى إتجاه سريان أو إنسياب الحمم على سطح الأرض أثناء تبريده وتصلده ، وأمثلة أخرى عديدة سيأتى الحديث عنها فى فصل لاحق .

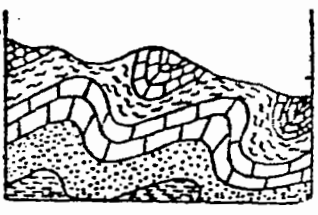
ثانياً ـ البنيات الثانوية Secondary structures : وهى تلك التراكيب التى تتكون فى الصخور فى وقت لاحق بعد إتمام عملية ترسيبها وتدجها ، وتنتج تحت تأثير قوة حركية فعالة قد تؤدى إلى ثنى الصخور وتجعدها أى طيها ، أو تؤدى إلى تصدعها أى تفلقها ، أو إصابتها بالفواصل . وفيما يلى وصف موجز لبعض التراكيب الثانوية الهامة ، أما وصف التراكيب الأولية فقد خصص له مكان آخر مناسب .

عدم التوافق

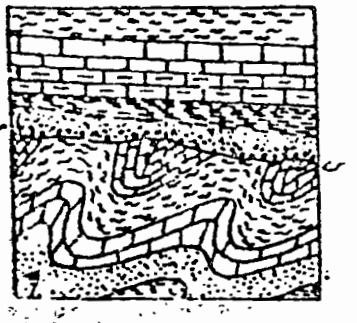
سبق القول بأن الصخور الرسوبية تتكون فى بادىء أمرها فى هيئة طبقات متعاقبة ، عادة ما تكون أفقية ومتوازية ، الحديث منها فوق الأقدم عمراً . ويتم ذلك نتيجة الترسيب المستمر المنتظم ، فتوصف الطبقات فى هذه الحالة بأنها متوافقة Conformable . ولكن أحياناً قد يضطرب الترسيب فينقطع

أو يتوقف لفترة من الزمن لسبب أو آخر مما يؤدى إلى ضياع أو إفتقاد جزء من التتابع الطبقى المتعاقب بما يحتويه من سجل جيولوجى ، فتوصف الطبقات حينئذ بأنها غير متوافقة Unconformable . وعلى ذلك يمكن تعريف عدم التوافق Unconformity بأنه وجود سطح فاصل ، ناتج عن تأثير عوامل التعرية أو عن إنقطاع الترسيب ، بين مجموعتين من الطبقات ، وبمعنى آخر هو سطح تحات Erosion surface ، يمثل فترة زمنية نشطت فيها عملية التعرية والتحات وتناقصت أو إنعدمت فيها عملية الترسيب . ويتميز سطح التحات فى أحيان كثيرة بوجود راق أى طبقة رقيقة من صخر الكونجلومرات ، يسمى الكونجلومرات القاعدى Basal conglomerate ، حيث يكون قاعدة المجموعة الصخرية التى تعلو سطح التحات .

تتم ظاهرة عدم التوافق تحت تأثير عوامل مختلفة وفى مراحل متوالية ، وعلى ذلك فهى ليست من البنيات الثانوية بالمعنى الصحيح وليست كذلك من نوع البنيات الأولية ولكنها تتم نتيجة إشتراك عوامل مختلفة وعلى مراحل متوالية كما يلى ، على سبيل المثال :



(شكل ٥٥) قطاع يبين تكوين سطح تحات ص ص فى تتابع طبقى مطوى.


(شكل ٥٦) قطاع يبين عدم التوافق بين مجموعتين من الطبقات على جانبى سطح التحات ص ص.

١) يتم ترسيب مجموعة صخرية من طبقات متعاقبة ومتوافقة .

٢) تتعرض هذه المجموعة الصخرية لحركة أرضية قد تكون جانبية كابسة تؤدى إلى تجعدها وطيها ، أو لحركة رأسية فترفعها عن مستوى سطح الترسيب، وفى كلتا الحالتين تتعرض هذه المجموعة الصخرية لتأثير عوامل التعرية.

٣) يتآكل السطح العلوى لهذه المجموعة الصخرية ويتعرى مما يؤدى إلى تكوين سطح تحات (س ص فى شكل ٥٥) .

٤) قد تؤدى حركة أرضية أخرى لاحقة إلى هبوط هـذه المجموعة الصخرية إلى ما تحت سطح البحر فتصبح قاعا لحوض ترسيب جديد يتم فيه تكوين مجموعة أخرى من طبقات متعاقبة متوافقة فيما بينها فوق سطح التحات . وغالباً ما تبدأ دورة الترسيب الجديدة بالكونجلومرات القاعدى (شكل ٥٦) .

ويمكن التعرف على أربعة أنواع من عدم التوافق (شكل ٥٧) .

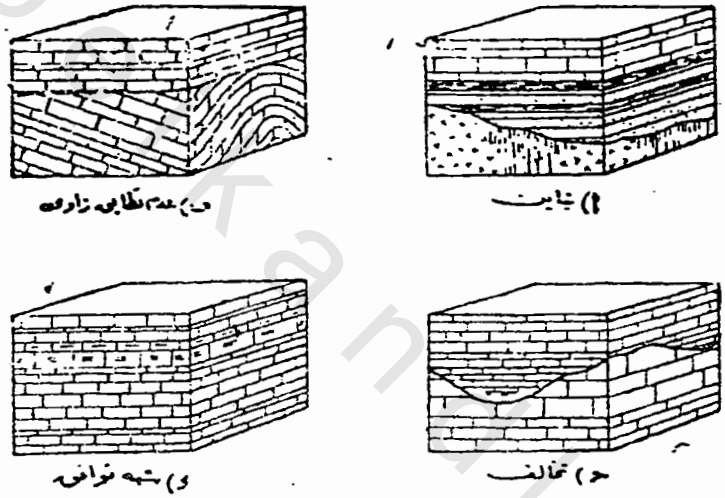
ا ـ تباين Nonconformity : حيث ترتكز صخور رسوبية طبقية فوق صخور غير طبقية قد تكون نارية أو متحولة .

ب) عدم تطابق زاوى Angular discordance : حيث يفصل سطح التحات (التعرية) بين وحدتين من صخور طبقية مختلفتين فى وضعهما من حيث إتجاه ومقدار الميل .

حـ) تخالف Disconformity : حيث يوجد وحدتين متوازيتين من صخور طبقية يفصل بينها سطح تحات غير مستو ذو تضاريس واضحة .

د) شبه توافق Paraconformity : حيث تكون الطبقات كلها متوازية

وسطح الإنفصال ـ أو الإتصال الظاهرى ـ بين الوحدتين ليس إلا مستوى سطح تطبق . وهذا السطح الفاصل بين الوحدتين يمثل ثغرة زمنية معينة توقفت أثناءها عمليات الترسيب وانقطع التتابع الطبقى ، وفى هذه الحالة يصعب التعرف على السطح الفاصل بين الوحدتين وخاصة عندما تكون الحفريات نادرة أو غير موجودة .



(شكل ٥٧) يبين أنواع عدم التوافق

الطيـــــات

تتعرض صخور القشرة الأرضية لتأثير قوى حركية كثيرة مختلفة النوع والإتجاه والمصدر والشدة . فقد تكون القوة كابسة ← Compression أو شادة ← Tension أو إزدواجية Couple . أما إتجاه فعلها فقد يكون جانبيا أو رأسياً ، وموازيا ، مائلا أو عمودياً على سطوح تطبق الصخور . أما مصدرها وشدتها فيتوقف على حالة وطبيعة جوف الأرض

والقشرة الأرضية ، وهناك آراء ونظريات مختلفة تفسر مصدر هذه القوى ويضيق المجال هنا على الخوض فيها .

تتفعل صخور القشرة الأرضية تحت تأثير جهود هذه القوى فتتشوه وتتخذ أشكالا أى بنيات (تراكيب) مختلفة . ويتوقف التشوه ، وبالتالى نوع البنية ، على مدى إنفعال Strain الصخور تحت تأثير جهد Stress قوة ما . ويتوقف إنفعال صخر ما على خواصه الطبيعية وعلى الظروف التى يتواجد فيها مثل : الحرارة والضغط ـ وهذان العاملان مرتبطان بالعمق الذى تتواجد فيه الصخور من سطح الأرض ـ ، ووجود المحاليل فى المسافات البينية لمكونات الصخر وكذلك الزمن أى طول مدة الإنفعال . بعض الصخور هشة أو قصمة Brittle قابل للكسر والقصم والبعض الآخر لين أو مرن أى طيع Ductile قابل للانسياب تحت تأثير جهد قوة ما . وأحيانا تتواجد صخور هشة تحت ظروف معينة تكسبها حالة اللين أو المرونة فتنفعل كما لو كانت قابلة للانسياب كما هو الحال فى الأعماق البعيدة من سطح الأرض حيث ترتفع درجة الحرارة والضغط . وعلى ذلك نجد أن الصخور التى تتواجد على أعماق بعيدة من سطح الأرض ـ على أبعاد قد تصل إلى مئات الكيلو مترات ـ تنفعل كما لو كانت لدنة Plastic فتنساب تحت تأثير جهد القوى الفعالة مكونة تجعدات أو ثنيات أى طيات Folds . ويطلق لفظ نطاق الإنسياب Zone of flow على تلك المنطقة البعيدة عن سطح الأرض التى تسود فيها الظروف الطبيعية المناسبة لتكوين البنيات (التراكيب) التى تتميز بوجود الطيات Folds . أما تلك الصخور التى تتواجد بالقرب من سطح الأرض ـ تحت ظروف تكاد تكون عادية من حرارة وضغط ـ فإنها تنفعل كما لو كانت هشة فتتكسر وتتصدع فى تلك لمنطقه التى تسمى نطاق التكسر Zone of fracture حيث

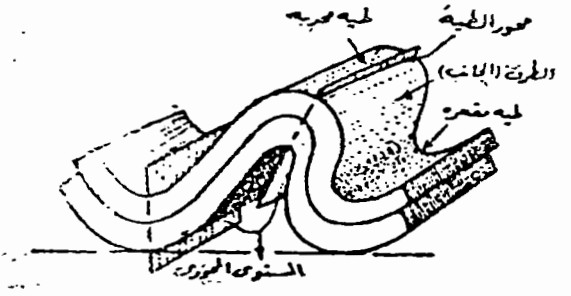
تسود التراكيب التي تتميز بوجود النوالق Faults والفواصل Joints . وبديهي أن الطبيعة لا تعرف مثل هذه الحدود النظرية الفاصلة بين كلا النطاقين ، فالطيات غالباً ما تكون مصحوبة بفوالق وفواصل .

الطيات وأنواعها

الطية هي تجعد أو إلتواء أو تموج يصيب صخور القشرة الأرضية وخاصة النوع الرسوبي منها . وقد تكون الطية بسيطة Sinple fold أي ثنية واحدة ولكن غالباً ما تكون مركبة Composite fold مكونة من عدة ثنيات متصلة . وتوصف الطية البسيطة حسب شكلها كما يلي :

ا ـ طية محدبة Anticline (شكل ٥٨) : ذات طبقات منثنية إلى أعلى ويسمى أعلى نقطة أو جزء من هذه الثنية هامة .

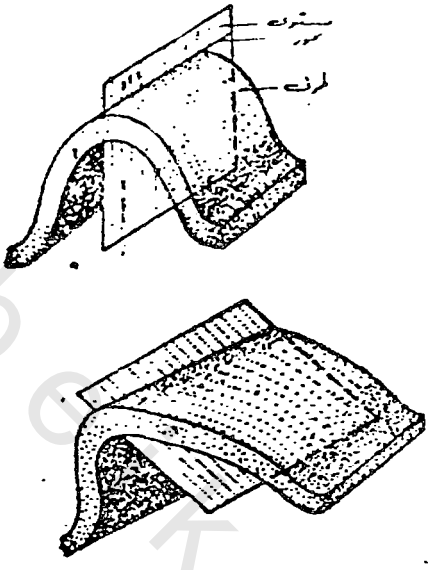
ب ـ طية مقعرة Syncline : ذات طبقات منثنية إلى أسفل ويسمى أسفل جزء منها قعر Trough . أما تلك الأجزاء من الطبقات التي تكون جانبي الطية سواء المحدبة أو المقعرة فتسمى جناحين Flanks أو طرفين Limbs . ويسمى المستوى الذي ينصف الزاوية بين الطرفين المستوى المحوري Axial plane ،



(شكل ٥٨) يوضح الطية وأجزاؤها

والخط الناتج من تقاطع هذا المستوى مع سطح طبقة ما فى الطية يسمى محور الطية Fold axis (شكل ٥٨).

وتوصف الطية حسب مقدار ميل طرفيها ووضع مستواها المحورى كما يلى :



(شكل ٥٩) طية محدبة متماثلة وأخرى غير متماثلة

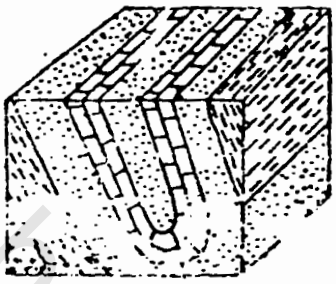
١) طية متماثلة Symmetrical fold : ذات طرفين مائلين بمقدار متساو فى إتجاهين متضادين على جانبي المستوى المحورى الذى يكون فى وضع رأسى (شكل ٥٩) .

٢) طية غير متماثلة Asymmetrical fold : إذا اختلف مقدار ميل الطرفين فى الإتجاهين المتضادين على جانبي المستوى المحورى الذى يتخذ وضعاً مائلا عن الوضع الرأسى (شكل ٥٩) .

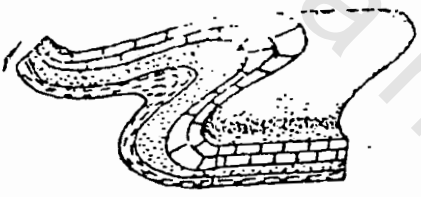
٣) طية متصاوبة أو متشابهة Isoclinal fold : ذات طرفين يميلان فى إتجاه واحد وبمقدار ميل متساو على جانبي المستوى المحورى الذى قد يكون رأسيا ، مائلا أو أفقيا ، (شكل ٦٠) .

٤) طية مقلوبة Overturned fold :

إذا زاد ميل المستوى المحورى للطية عن الوضع الرأسى بدرجة تؤدى إلى قلب الوضع الطبيعى الأصلى للطبقات المكونة للطية بحيث يصبح السطح السفلى أصلا لطبقات الطرف السفلى من الطية فى وضع علوى وتصبح الطبقات الحديثة التكوين تحت الطبقات الأقدم منها، أى مقلوبة الوضع فى الطرف السفلى من الطية . وتنتج الطية المقلوبة إذا مال طرفاها فى إتجاه واحد وزاد ميل مستواها المحورى، وبالتالى طرفيها ، عن ٤٥° بالنسبة للوضع الرأسى (شكل ٦١) .



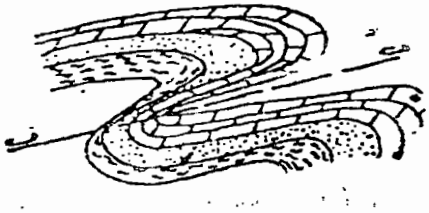
(شكل ٦٠) طية مقعرة متصاوية



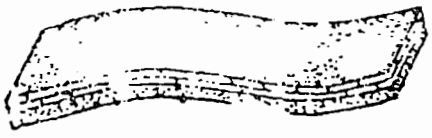
(شكل ٦١) طية محدبة مقلوبة

٥) طية مضطجعة أو نائمة Recumbent fold :

إذا زاد ميل المستوى المحورى عن الوضع المقلوب لدرجة يكاد يصبح فيها أفقيا . وبذلك يميل الطرفان فى إتجاه واحد، وقد يصيرا متوازيين وتكون الطبقات المكونة للطرف العلوى من الطيه فى وضعها الطبيعى من حيث ترتيب تعاقبها أما طبقات الطرف السفلى للطية فتتخذ وضعاً مقلوباً (شكل ٦٢)



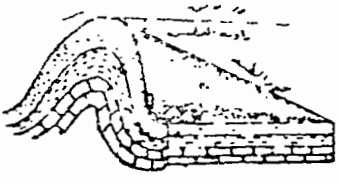
(شكل ٦٢ مضطجعة أو نائمة قابلة للتمزق على امتداد خط ف ف



(شكل ٦٣) طية وحيدة الميل

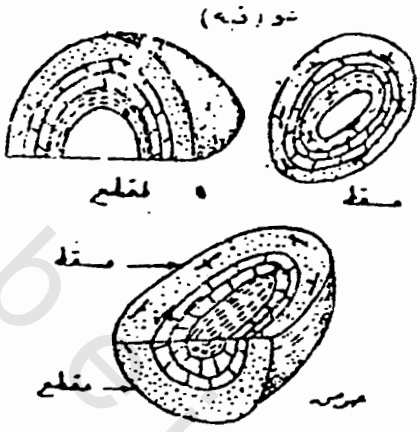
٦) طية وحيدة الميل Monoclinal fold : تميل الطبقات فى إتجاه واحد أى أنها طرف واحد، وعادة ما تكون جزءاً من تركيب كبير تكون فيه الطبقات أفقية أو مائلة بزاوية أصغر من زاوية ميل هذه الطية (شكل ٦٣) .

٧) طية مائلة المحور أو غاطسة Plunging fold : فى كل الأنواع السابقة يمتد محور الطية أفقياً موازيا لإمتداد الطبقات على جانبي الطية ، أما إذا مال محور الطية عن الخط الأفقى فى إتجاه إمتداد طبقاتها كان الطية تغطس أو تغور فى مكان ما تحت سطح الأرض فى هذا الإتجاه وبذلك تصبح مقفولة حيثما يتقاطع خط إمتداد طبقات الجانبين مع خط إمتداد محور الطية . وتسمى الزاوية المحصورة بين محور الطية الغاطسة والخط الأفقى زاوية الغطس Plunge angle (شكل ٦٤) .



(شكل ٦٤) طية محدبة غائرة (غاطسة)

٨) القبة أو القبو Dome : طية محدبة تميل طبقاتها فى جميع الإتجاهات من نقطة تتوسط قمتها ، وعادة ما يتخذ هذا التركيب شكلا دائريا أو بيضاويا (شكل ٦٥) .

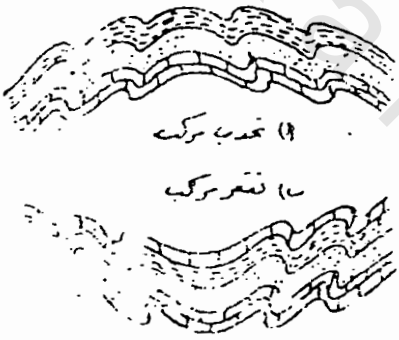


(شكل ٦٦) قبة وحوض

٩) الحوض أو القصعة

Basin : طية مقعرة تميل طبقاتها من جميع الإتجاهات نحو نقطة تتوسط قعرها (شكل ٦٥) .

الطيات المركبة : تتكون من عدة ثنيات محدبة ومقعرة متوالية وهى إما تحدب مركب Anticlinorium وهو تحدب كبير ذو إمتداد عظيم يتكون من عدد كبير من طيات صغرى محدبة تتبادل معها طيات صغرى مقعرة (شكل ٦٦) ، أو تقعر مركب Synclinorium وهو تقعر كبير ذو إمتداد عظيم مكون من مجموعة طيات صغرى محدبة ومقعرة متوالية (شكل ٦٦) .



(شكل ٦٦) طيات مركبة

تواجد الطيات فى الطبيعة

قد يتصور الإنسان أن الطيات تتواجد فى الطبيعة فى صورة مثالية واضحة محددة المعالم تنطبق عليها جميع المواصفات النموذجية المميزة لها حسب الأوصاف السابقة ، ولكن الحقيقة ليست كذلك ، فغالبا ما تتواجد البنيات الجيولوجية ،

(شكل ٦٧) يبين العلاقة بين الطيات وتكوين المرتفعات الطوبوغرافية

ومنها الطيات ، غير كاملة بل متآكلة فى بعض أجزائها نتيجة تأثير عوامل التعرية على طول الزمن الجيولوجى ، فتظهر بصورة أخرى مشوهة أو معقدة تحتاج إلى دراسة اضافية للتعرف على نوعها وأصلها . وكذلك قد يتصور أن الطيات المحدبة هى الأساس فى تكوين المرتفعات الطوبوغرافية ، وقد يكون ذلك التصور صحيحا فى بعض الحالات وخاصة فى حالة بداية تكوين الطية ، ولكن تأثير عوامل التعرية المختلفة قد تقلب هذه الصورة تماما ، فالطيات المحدبة تتكون من طبقات صخرية مجهدة غالبا ماتتثابها الكسور كالفواصل والفوالق الصغيرة نتيجة تأثير قوة الشد التى كانت سببا فى نشأة هذا التحدب ، وهذا مما يسهل بل يساعد عوامل التعرية على سرعة تفتيتها وتآكلها ، فى حين أن صخور الطية المقعرة التى تنشأ أصلا تحت تأثير قوة كابسة تكون متماسكة متدمجة وبذلك تصبح أشد مقاومة لعوامل التعرية . فلا غرابة إذن أن تكون الطيات المقعرة جزءا من المرتفعات الطوبوغرافية بينما تتخذ الأنهار والوديان اتجاهها فى امتداد الطيات المحدبة (شكل ٦٧) .

الفوالق (الصدوع)

الفالق أو الصدع هو كسر فى مجموعة من الصخور يصحبه تحرك نسبى أو انزلاق أو ازاحة أحد الكتلتين الناتجتين عن الكسر أو كليهما . وتحدث

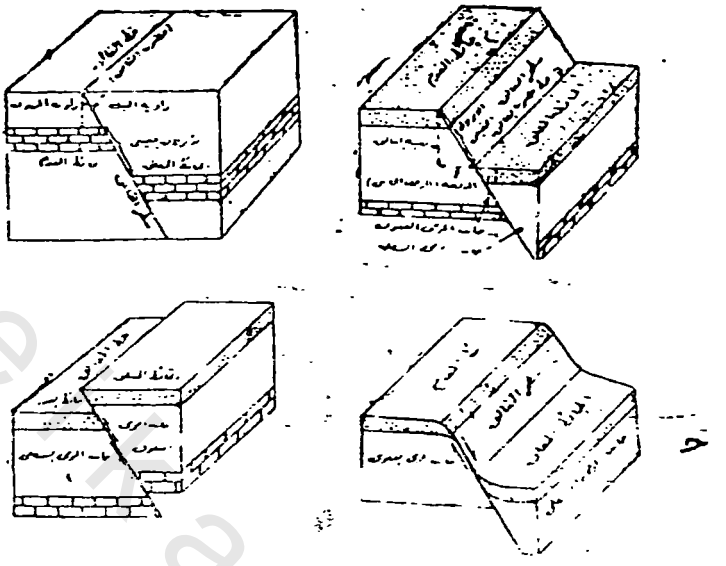
هذه الحركة النسبية موازية لسطح الكسر الذى يسمى مستوى أو سطح الفالق Fault plane or ... . يختلف امتداد سطح الفالق ، فبعضها يمتد إلى بضعة أمتار بينما يصل امتداد البعض الآخر إلى بضعة أو مئات الكيلومترات . كذلك يتفاوت مقدار الحركة أو الانزلاق على سطح الفالق بين بضعة سنتيمترات ومئات الأمتار. وأحيانا يكون سطح الفالق كسر واحد كبير واضح المعالم وأحيانا أخرى تحدث حركة الانزلاق على سطوح كسور عديدة متقاربة ومتداخلة فيما بينها فتكون مايسمى نطاق الفالق Fault zone الذى يتفاوت اتساعه بين جزء من المتر ومئات الأمتار . أما التحرك النسبي للكتل المتصدعة فقد يكون فجائيا على فترة واحدة أو متكررا على فترات متلاحقة ، أو قد يكون بطيئا يستغرق أزمانا طويلة . وفيما يلى تعريف بعض المصطلحات الوصفية للفوالق :

سطح الفالق Fault surface : سطح الكسر الذى تحدث عليه حركة انزلاق الكتلتين المتفلقتين (شكل ٦٨) .

ميل الفالق Fault dip : مقدار زاوية ميل سطح الفالق عن المستوى الأفقى .

مهوى الفالق Fault hade : مقدار زاوية ميل سطح الفالق عن المستوى الرأسى .

مضرب الفالق Fault strike : اتجاه الخط الناتج من تقاطع المستوى الأفقى مع سطح الفالق .



(شكل ٦٨) مجسم يبين أجزاء الفالق

الانزلاق الحقيقى True slip : مقدار الحركة أو الانزلاق الفعلى لأحد الكتلتين المتفلقتين أو كليهما على سطح الفالق .

الحائط المعلق Hanging wall : الكتلة المتفلقة التى تقع مباشرة فوق سطح الفالق المائل .

حائط القدم Foot wall أو الحائط الاسفل : الكتلة المتفلقة التى تقع تحت سطح الفالق المائل

رمية الفالق Throw of fault : المقدار الرأسى لحركة أو انزلاق أحد الكتلتين على سطح الفالق ، وبمعنى آخر هو مقدار التغير الرأسى فى منسوب الكتلتين المتفلقتين على جانبى سطح الفالق ، وتقاس رمية الفالق عموديا على اتجاه امتداد الطبقات المتفلقة (شكل ٦٨ - أ)

الدفعة أو الزحف الجانبي Heave or lateral shift : مقدار الانتقال الأفقي لأحد الكتلتين المتفالقتين ، وتقاس عموديا على اتجاه مضرب الفالق . وتتوقف الدفعة على درجة ميل الفالق فيزداد مقدارها بازدياد ميل سطح الفالق وبالتالي تنعدم الدفعة أي الزحف الجانبي إذا كان سطح الفالق رأسيا .

جانب المرمى السفلي Downthrow side : هو الجانب الذي ترتمي فيه أي تهبط أحد الكتلتين المتفلقتين إلى أسفل بالنسبة للكتلة الأخرى (شكل ٦٨)

جانب المرمى العلوي Upthrow side : هو الجانب الذي ترتفع فيه أحد الكتلتين المتفلقتين بالنسبة للأخرى .

أنواع الفوالق

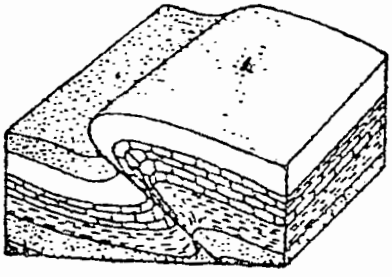
الفوالق أنواع كثيرة ، ويمكن تمييزها وتصنيفها حسب نوع القوة المسببة لها ، ومقدار ميل الفالق ، واتجاه الحركة النسبية للكتل المتفلقة ، وعلاقة مضرب الفالق باتجاه أو مضرب الطبقات المتفلقة ، وكذلك على طريقة تواجدها في الطبيعة من حيث وجودها مفردة أي فوالق بسيطة Simple faults أو متجمعة في ترتيب مميز ، أي فوالق مركبة Compound faults - وفيما يلي وصف موجز مبسط لبعض أنواع الفوالق :

أولا ـ الفوالق البسيطة : يمكن تمييز نوعين رئيسيين من الفوالق البسيطة حسب اتجاه الحركة النسبية لحائطي الفالق على سطحه : النوع الأول منها تكون فيه الحركة النسبية للكتل المتفلقة في اتجاه ميل الفالق ، ويشمل هذا

النوع الفالق العادى Normal fault والفالق المعكوس Reverse fault . أما النوع الثانى فتكون فيه الحركة النسبية للكتل المتفلقة فى اتجاه موازٍ لمضرب الفالق ولذلك يسمى فالق تزيح المضرب Strike slip fault .

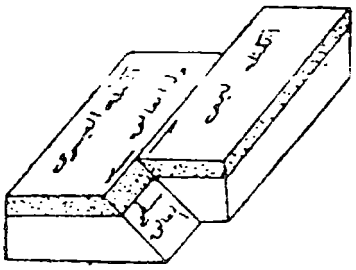
١ — الفالق العادى : يتميز هذا الفالق بأن حائطه المعلق يقع فى مستوى منخفض بالنسبة لحائطه القدمى . إى أن الحائط المعلق قد انزلق ظاهريا إلى أسفل بالنسبة لحائطه القدم فى اتجاه ميل سطح الفالق . وأحيانا يسمى هذا النوع فالق جاذبية Gravity fault حيث أن الحركة الظاهرية للكتلة الهابطة فى اتجاه جاذبية الارض . ويسمى هذا النوع أيضا فالق شد Tonsion fault لأنه قد ينتج عن قوة شد تؤدى إلى زيادة الإمتداد الجانبى للطبقات المتفلقة .

٢ — الفالق المعكوس (أحيانا يسمى فالق دسر Thrust fault) : ويكون حائطه المعلق فى مستوى أعلى من حائطه القدمى بمعنى أن الحركة الظاهرية للحائط المعلق إلى أعلى بالنسبة للحائط القدمى فى عكس اتجاه ميل سطح الفالق . وأحيانا يسمى هذا النوع فالق كبس Compression fault حيث أنه ينشأ عن قوة كابسه تؤدى إلى تقصير الامتداد الجانبى للطبقات المتفلقة (شكل ٦٨ ، ٦٩) .



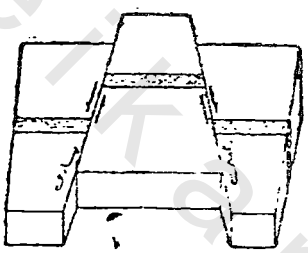
(شكل ٦٩) مجسم فالق دسر

٣ — فالق تزيح المضرب (وأحيانا يسمى فالق العقص Wrench fault): غالبا مايكون سطح الفالق فى هذا النوع فى وضع يكاد يكون رأسيا ولذلك لايمكن



(شكل ٧٠) فالق عكس (تزيح المضرب)

هنا تميز حائط معلق أو حائط قدمى. وتكون الحركة النسبية للكتل المتفلقة فى اتجاه أفقي تقريبا موازٍ لمضرب الفالق . ويوصف فالق تزيح المضرب بأنه يسارى Sinistral or left-handed إذا لاحظ الناظر على طول امتداد خط الفالق بأن الكتلة المتفلقة التى تقع على يساره تبدو كما لو كانت قد تحركت ظاهريا نحوه وأن الكتلة التى تقع على يمينه قد تحركت بعيدا عنه ، أما إذا



(شكل ٧١) مجسم لفالق تزيح مضرب أحدهما يمينى والآخر يسارى

كانت الحركة الظاهرية للكتلتين المتفلقتين تبدو عكس ذلك فإن الفالق يوصف بأنه يمينى Dextral or right-handed (شكل ٧٠ ، ٧١) .

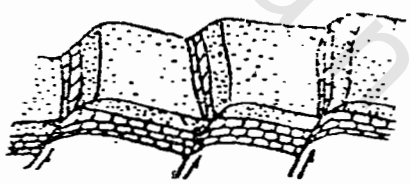
ثانياً — الفوالق المركبة : وهى التى تتواجد فى مجموعات منها :

١ — فوالق درجية Step faults : مجموعة فوالق متوازية المضرب وغالبا ما تكون رمياتها فى اتجاه واحد فتبدو كما لو كانت درج سلم (شكل ٧٢) .

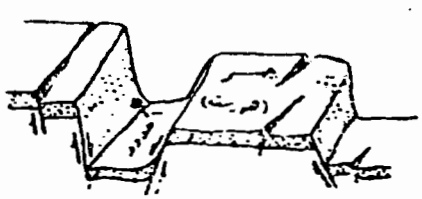
٢ — فوالق حوضية أو فوالق خسف أو أخدود Trough faults or graben:

عبارة عن كتلة فالقية Fault block يزيد طولها كثيرا عن عرضها انخسفت بين كتلتين جانبيتين نتيجة حدوث فالقين عاديين يحدانها من الجانبين (شكل ٧٣) ، مثل أخدود البحر الأحمر Red sea graben الذى يكون جزءا من الأخدود الأفريقى العظيم African great graben الذى أدى إلى تكوين بحيرات شرق أفريقيا والبحر الأحمر والبحر الميت .

٣ — فوالق جسرية أو هورست Horst : عبارة عن كتلة فالقية اندفعت أو ارتفعت إلى مستوى أعلى من كتلتين جانبيتين نتيجة حدوث فالقين عاديين يحدانها من الجانبين (شكل ٧٣) وغالبا ما تكون الأخاديد مصحوبة بفوالق جسرية صغيرة نسبيا منتشرة على قاع الأخدود أو على جانبية .



(شكل ٧٢) يمثل فوالق درجية



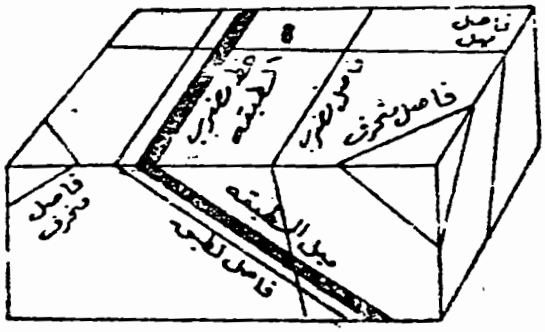
(شكل ٧٣) يمثل الاخدود والفوالق الجسريه او الهورست

الفواصل

الفواصل هى مستويات كسور أو شقوق أو شروخ تتكون فى الصخور المشة دون حدوث أى حركة أو انزلاق للكتل المتفصلة على سطوح التفصل (شكل ٧٤) . وتظهر الفواصل عادة فى الصخور السطحية أو القريبة من السطح أى فى نطاق التكسير . ويوصف الفاصل — تماما مثل الفالق — بتحديد إتجاه مضرب سطحه ومقدار واتجاه ميله . وغالبا ما تكون سطوح الفواصل مستوية وتتخذ وضعا رأسياً أو مائلا . وتتراوح الفواصل فى امتدادها واتساعها من شقوق يصعب رؤيتها بالعين المجردة إلى كسور ذات إمتداد كبير واتساع واضح . كما تتراوح المسافة بين الفاصل والآخر من بضعة سنتيمترات إلى بضعة أمتار . وغالبا ما تتواجد الفواصل فى مجموعات مختلفة متقاطعة تتكون كل مجموعة منها من عدة فواصل من نوع واحد أى ذات مضرب وميل واحد . ويمكن تصنيف الفواصل هندسيا حسب اتجاه مضربها بالنسبة للطبقات الحاوية لها كما يلى (شكل ٧٥) :

(شكل ٧٤) صوره تبين طقمين متعامدين من الفواصل

١ — فواصل مضرب Strike joints : ذات مضرب يوازى إتجاه مضرب الطبقات المتفصلة أو إتجاه المستويات الشيستوزية (مستويات ترتيب المعادن الصفائحية المميزه لصخور الشيست والنيس) .



(شكل ٧٥) يمثل أنواع الفواصل بالنسبة للطبقات

٢ – فواصل تطبق Bedding joruts : ذات مضرب يوازى مستويات تطبق الصخور المنفصلة .

٣ – فواصل ميل Dip joints : ذات مضرب يوازى اتجاه ميل الطبقات المنفصلة .

٤ – فواصل منحرفة أو مبنية Diagonal or oblique joints : ذات مضرب فى اتجاه منحرف عن اتجاه مضرب الطبقات المتصلة واتجاه ميلها .

كذلك يمكن تصنيف الفواصل إلى نوعين على أساس نشأتها ونوع القوى المسببة لها كما يلى

١ – فواصل شد Tension joints : تنشأ بصفة أساسية نتيجة تأثير مباشر لقوة شد ، ولكن قد يتولد جهد الشد عن فعل قوة كابسة كما يحدث فى السطوح العليا من الطبقات المحدبة والسطوح السفلى فى الطبقات المقعرة أثناء تكونها (شكل ٧٦) . وأحيانا يتولد جهد الشد عن فعل قوة ازدواجية ، ومثال ذلك جهد الشد الذى ينتج عن الحركة النسبية لحائطى فالق فى إتجاهين

متضادين على مستوى سطح الفالق مما يؤدى إلى تكوين فواصل شد فى الصخور القريبة من سطح أو نطاق الفالق (شكل ٧٧) . كذلك يتولد جهد الشد نتيجة إنكماش مواد الحمم (لافا) أثناء عملية تبريدها وتصلدها ومثال ذلك التركيب الأولى الذى يسمى الفواصل العمدانية Columnar joints التى تظهر بوضوح فى صخور البازلت فى هيئة أعمدة رأسية طويلة ذات مقطع غالباً ما يكون سداسى الشكل (شكل ٣٤) .

(شكل ٧٦) يوضح فواصل الشد فى هامة التجدلات وقاع التقعرات .

(شكل ٧٧) يوضح فواصل الشد نتيجة الحركة النسبية للكتل المتفالقة على سطح فالق عادى .

٢ - فواصل كبس Compression joints (وأحيانا تسمى فواصل جز (Shear joints) تتكون هذه الفواصل نتيجة فعل مباشر لقوة كابسة أو قوة ازدواجية . وأحيانا تكون القوة الازدواجية الفعالة غير مباشرة كأن تتولد عن فعل قوة كابسة .

ويصعب على المبتدىء التمييز بين فواصل الشد وفواصل الكبس فى العمل الحقلى ، الا أن هناك بعض القرائن التى تساعد على التعرف على هذين

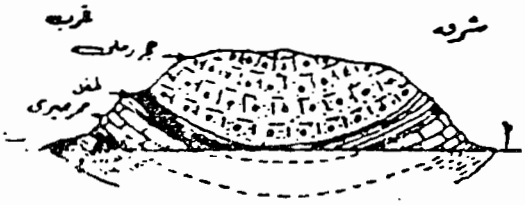
النوعين والتمييز بينهما ، فمثلا تتميز فواصل الشد بأنها تكون فاغرة أى مفتوحة فى بداية نشأتها ولكنها قد تمتلىء فيما بعد ببعض الرواسب الثانوية اللاحقة فتفقد هذه الميزة قيمتها إلى حد ما ، ومع ذلك فوجود مثل هذه الرواسب اللاحقة فى هيئة عروق رقيقة ممتدة فى إتجاهات منتظمة متوازية هى فى حد ذاتها قرينة على وجود فواصل شد . أما فواصل الكبس أو الجز فلا تكون فاغرة فى بداية تشأتها ولكن تأثير عوامل التعرية على مستويات هذه الكسور الضيقة قد يؤدى إلى تفتحها نتيجة التفتيت والتآكل المستمر لسطوح هذه الفواصل فتبدو كما لو كانت فاغرة أصلا ، هذا بالاضافة إلى احتمال امتلائها بعد ذلك برواسب ثانوية لاحقة مما يزيد فى صعوبة التمييز بين النوعين . وهناك قرائن أخرى يجب الاستعانة بها فى مثل الحالات للتمييز بين النوعين ولكن يضيق المجال هنا عن دراستها .

النواحى الاقتصادية للبنيات الجيولوجية

لا تقتصر الدراسات الجيولوجية على النواحى العلمية البحتة بل تتعداها إلى النواحى العملية الاقتصادية فى جميع المجالات المدنية والزراعية والصناعية . فدراسة التراكيب الجيولوجية هامة وأساسية بالنسبة للمهندس المدنى ومهندس المناجم قبل تشييد المبانى الثقيلة وإنشاء الطرق والسكك الحديدية وحفر القنوات وبناء السدود هذا بالإضافة إلى أن جميع العمليات اللازمة للبحث عن الفحم ورواسب الخامات المعدنية الأخرى ، وكذلك البحث عن الماء الجوفية والبترول تحتاج أساساً إلى معرفة التراكيب الجيولوجية التى قد تتواجد بمنطقة البحث . وفيما يلى ، على سبيل المثال وفى إيجاز ، بعض نواحى استخدام التراكيب الجيولوجية فى هذه المجالات المختلفة

المجالات الهندسية : قبل أن يشرع المهندسون فى تشييد المنشآت الضخمة الثقيلة أو إنشاء الطرق وشق الأنفاق لابد من دراسة تفصيلية دقيقة لنوع الصخور وخواصها وتراكيبها فى منطقة العمل ، إذ أن هذه الدراسة أساسية فى تقدير تكاليف المشروع . فالمعروف أن الصخور المفككة أسهل فى الحفر والإزالة وبالتالى فهى أقل تكلفة فى هذه الناحية من الصخور المتصلدة ، ولكن النوع الأول أقل قدرة عن النوع الثانى على تحمل الجهود الناشئة من ضغط المنشآت الثقيلة . وتتوقف قدرة الصخور المتصلدة على خواصها الطبيعية وكيفية تواجدها فى الطبيعة ، فمثلا الحجر الرملى صلد جامد وقادر ذو مقاومة تآكل عالية بطبيعة تكوينه ، إلا أن وجود مستويات الكسور كالفواصل والشقوق يقلل من قيمه هذه فى الخواص فى اللازمة بعض الأغراض الإنشائية . والمثال التالى يوضح أهمية دراسة التراكيب الجيولوجية فى أعمال الإنشاءات الهندسيـــة .

ليس من الحكمة الشروع فى شق نفق مثلا قبل التأكد مسبقا من نوع التراكيب الجيولوجية التى قد تتواجد بالمنطقة . يمثل شكل (٧٨) التركيب الجيولوجى لمنطقة يلزم شق نفق فيها من الشرق إلى الغرب وبعد التعرف على نوع الصخور الظاهرة بالمنطقة أمكن إفتراض مسار النفق على إمتداد الخط « أ ب » وذلك إعتمادا على أن الصخور التى سيخترقها النفق من النوع الصلد القادر (حجر جيرى فى هذا المثال) الذى لا يحتاج إلى إنشاء دعامات إضافية (خوصانة) أو تبطين النفق بما يكفل الأمان عند استخدامه . وقدرت تكاليف المشروع على هذا الأساس دون النظر إلى التركيب الجيولوجى للمنطقة . ولكن الدراسة التفصيلية الدقيقـــة للتركيب الجيولوجى بالمنطقـة



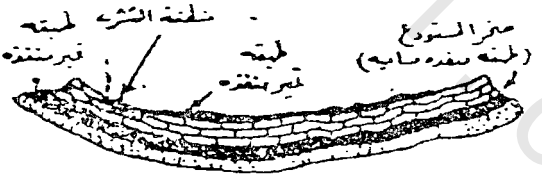
(شكل ٧٨) يمثل امتداد نفق خلال طية مقعرة

أوضحت أن خط النفق الذى سبق تحديده سوف يمتد مسافة قصيرة خلال تلك الصخور الصلدة القادرة ثم يخترق بعد ذلك صخور طبقة الطفل ، وهذا الصخر بطبيعته من النوع اللين الطيع الذى يحتاج إلى إنشاءات إضافية باهظة التكاليف لتدعيمه حتى لا ينهار أثناء وبعد الحفر . هذا بالإضافة إلى أن الحجر الرملى الذى يعلو طبقة الطفل المكونة لقبو النفق من النوع المسامى المنفذ للماء ، وذلك يؤدى طبعا إلى أن تتشرب صخور الطفل الماء الذى قد يتجمع فى الحجر الرملى مما يوهن من عزم صخور الطفل فيزيد الأمر تعقيدا بخلق صدوبات بل كوارث لم تكن فى الحسبان من حيث تكاليف المشروع وسلامة إستخدام النفق .

المجالات الزراعية : أهم المشروعات الزراعية هى حفر القنوات وبناء الخزانات والسدود والبحث عن المياه الجوفية . لا شك أن مستويات الكسور كالفوالق وخاصة الفواصل من التراكيب الجيولوجية التى تساعد كثيرا فى تسهيل عمليات الحفر ، ومع ذلك فهى من ناحية أخرى أكثر التراكيب الجيولوجية التى قد تسبب أضراراً بالغة وخطيرة بالسدود . فوجود مثل هذه التراكيب فيما وراء السد تؤدى إلى تسرب المياه ، وبالتالى انخفاض مقدارها عن معدل الاستغلال المقرر للسد . أما وجود مثل هذه الكسور تحت قاعدة

السد ذاته فان تسرب المياه خلالها يؤدى إلى احداث ضغط مائى مستمر تحت قاعدة السد فيضعفها مما يؤثر على السد ذاته فيفقد قيمته المقدرة له ، بل قد يسبب تصدعه وانهياره إذا لم تحقن هذه الكسور والشقوق بما يسدها تماما لوقف تسرب المياه تحت قاعدة السد .

تعتبر المياه الجوفية Underground water المصدر الوحيد للماء اللازم لاستزراع الأراضى الصحراوية الجافة . والميـــاه الجوفية دائمة الحركة فى الصخور الحاوية لها ، ويتحدد اتجاه حركتها وكذلك سرعة سريانها بالتراكيب الجيولوجية التى تمر فيها . وأحد الشروط اللازم توافرها فى الطبقات الحاملة للمياه الجوفية حتى يمكن اعتبارها مستودع ماء جوفى Aquifer مناسب هو تركيب جيولوجى فى هيئة طية مقعرة واسعة ضحلة Shallow broad syncline تحكمه من أعلى وأسفل أو من أعلى على الأقل طبقات غـــير منفذة (شكل ٧٩) .



(شكل ٧٩) قطاع تخطيطى فى مستودع ماء جوفى

ويعتبر تكوين الحجر الرملى النوبى فى مصر واحد من أهم مستودعات المياه الجوفية . والتركيب الجيولوجى لهذا التكوين الرملى وحيد ميل Monocline عظيم الامتداد والسمك تميل فيه الطبقات الحاملة للماء تجاه الشمال (شكل ...) . وبديهى أن التعرف على الخواص والشروط التى يجب

توافرها لتكوين مستودعات المياه الجوفية يسهل الدراسة اللازمة لاختيار أنسب الأماكن لحفر الآبار .

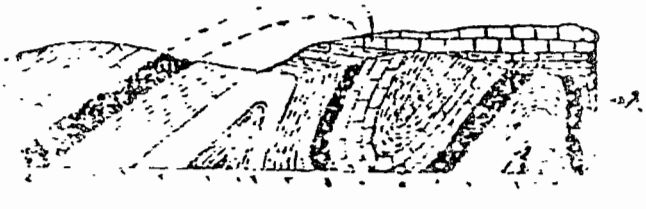
المجالات الصناعية : تهتم الدول المتقدمة بالدراسات والأبحاث الخاصة بالتنقيب والكشف Prospection عن مواردها الطبيعية من الثروات المعدنية كخطوة أولى ولكنها أساسية في تعدين Mining واستغلال هذه الثروات لإقامة الصناعات المختلفة التي تعتبر مقياسا لحضارة الأمم ودرجة رقيها ومدى تطورها . ودراسة العلوم الجيولوجية - ومن بينها الجيولوجيا البنائية (التركيبية) هي حجر الأساس في الكشف عن الثروات المعدنية .

البنيات الجيولوجية والتعدين : تعتبر دراسة التراكيب الجيولوجية في مناطق التعدين أساسية لتحديد أنسب الأماكن للمداخل واتجاه الممرات والأنفاق اللازمة لعمليات التعدين ، وغالبا ما تكون سطوح التطبق واتجاه الفواصل والكسور هي السبيل في تحديد هذه الاتجاهات . بجانب ذلك فان القصور في دراسة التركيب الجيولوجي لمنطقة التعدين عادة ما يؤدي إلى استنتاجات خاطئة ، أو على الأقل ناقصة ، في تقدير التكاليف والانتاج ومقدار الخام الذي يمكن استغلاله . .

يتكون الفحم ورواسب بعض الخامات الهامة الأخرى مثل الفوسفات والحديد (الرسوبي النشأة) تحت نفس الظروف التي تتكون فيها الصخور الرسوبية الحاوية لها . وعلى ذلك فالتراكيب الجيولوجية لمثل هذه الصخور هي أحد العوامل الهامة والمؤثرة مباشرة في توزيع وامتداد مثل هذه الخامات.

ويتوقف على ذلك مدى صحة المعلومات اللازمة لاختيار أنسب طرق الاستغلال وتقدير تكاليف الانتاج وفيما يلى بعض الأمثلة التى توضح ذلك :

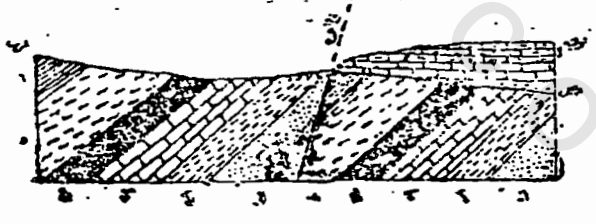
١) يمثل شكل (٨٠) تركيبا جيولوجيا يتكون من طية محدبة وأخرى مقعرة غير متماثلة ، وأحد الطبقات (رقم ٤) فى هذا التركيب يحتوى على خام يمكن استغلاله . بدأ العمل فى استخراج الخام من الطرف الغربى للطية المحدبة فى أول الأمر على أساس أنه الم الاجمالى لما يمكن استغلاله إذ أنه الجزء الظاهر فقط على سطح الأرض فى . قة الاستغلال . أما احتمال امتداد الطبقة الحاوية للخام فى الجزء الشرقى من منطقة الاستغلال فكان مشكوكا فى أمره إذ أنه لا يظهر على سطح الأرض حيث تغطية طبقات أخرى غير متوافقة مع التركيب المطوى . وعلى ذلك استبعد الجزء الشرقى من منطقة الاستغلال عند حساب مقدار الخام الذى يمكن استغلاله وبالتالى فى تقدير تكاليف الإنتاج . ولكن الدراسة التفصيلية لتعاقب الطبقات وأوضاعها فى وسط المنطقة أثبت أن الطبقات تكرر نفسها فى ترتيب معين ٣ - ٢ — ١ — ٢ — ٣ كما هو مبين بالشكل . وبهذا أمكن استنتاج أن مثل هذا الترتيب فى تعاقب الطبقات المائلة فى هذا الوضع هو قرينة على وجود طية محدبة غير



(شكل ٨٠) يمثل تعاقب طبقات مطوية تحتوى على طبقة حاملة لخام يمكن استغلاله (طبقة رقم ٤) ظاهرة فى الجزء الغربى فقط من المنطقة ولكنها فى الجزء الشرقى من المنطقة منطاة بطبقات أفقية غير متوافقة مع التعاقب المطوى .

متماثله تكاد تقرب من النوع المقلوب، وأن طرفها الشرقى قد يكون جزءا أو امتداد لطية أخرى مقعرة فى الجزء الشرقى من منطقة الاستغلال وتحجبها عن سطح الأر الطبقات غير المتوافقة معها فى هذا الجزء . وعلى هذا الأساس تم تحديد أنسب الأماكن للحفر بحثا عن الطرف الآخر من الطية ثم تتبعها شرقا استعدادا لاستغلال الخام بكامله فى المنطقة . وبديهى أن الإنتاج الكامل للخام يزيد بكثير عما كان مقدرا له فى بداية الأمر ، كذلك فان القيمة المدفوعة كحق استغلال المنطقة كلها كانت أقل بكثير عما يجب بسبب التفصيلا فى دراسة تراكيب المنطقة قبل منح حق الاستغلال .

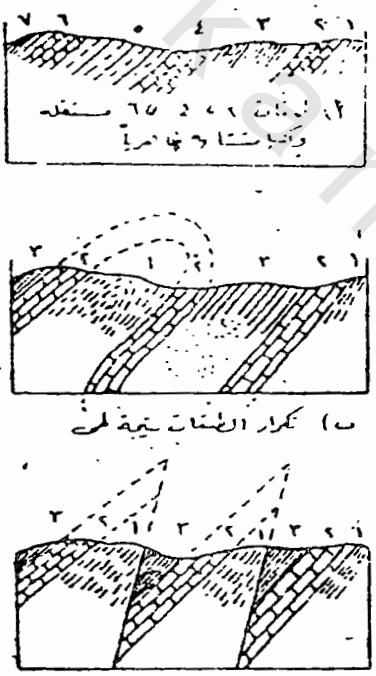
٢) يمثل شكل (٨١) منطقة بها طبقات مائلة تجاه الغرب وبتوسطها فالق غير واضح المعالم . وفى الجانب الغربى من المنطقة تظهر على سطح الأرض طبقة (رقم ٤) حاملة لخام يمكن استغلاله . أما فى الجزء الشرقى من المنطقة فتظهر على سطح الأرض طبقات أخرى أفقية غير متوافقة مع الطبقات المائلة (عدم تطابق زاوى) مما أدى إلى عدم التفكير فى احتمال وجود الطبقة الحاوية



(شكل ٨١) يمثل تعاقب طبقات مائلة أصابها فالق . الطبقة رقم ٤ تحتوى على خام يراد استغلاله . تظهر هذه الطبقة على سطح الارض فى الجزء الغربى فقط من المنطقة وتختفى فى الجزء الشرقى تحت سطح عدم تطابق زاوى (س) . لاحظ ترتيب تكرار الطبقات فى هذا الشكل وقارنه بالتكرار فى الشكل السابق .

للحام فى الجزء الشرقى من المنطقة . وعلى هذا الأساس قدرت كمية الحمام الذى يمكن استغلاله وكذلك قيمة حق الاستغلال . وبعد دراسة التعاقب الطبقى وترتيب الطبقات وأوضاعها ثبت أن تكرار ظهور الطبقات - كما هو مبين بالشكل (٥ - ٤ - ٣ - ٢ - ١ / ٥ - ٤ - ٣ - ٢ - ١) - يؤكد وجود ذلك الفالق الذى أدى إلى تكرار طبقة الحمام المختفية تحت سطح عدم التوافق . وبذلك زادت كمية الحمام التى يمكن استغلالها عما كان مقدرا لها فى أول الأمر .

٣) أما شكل (٨٢) فيمثل ثلاث مظاهر ذات صفات صخرية متشابهة وتحتوى على حمام يمكن استغلاله . ولكن امتدادها كما هو ظاهر على سطح الأرض لا يبشر ولا يشجع على الإقدام على الاستغلال ، فقد تنتمى هذه المظاهر لثلاث طبقات منفصلة أو قد تكون أجزاء من طبقة واحدة متكررة نتيجة تركيب جيولوجى . وبديهى أن كمية الحمام فى الحالة الاولى سوف تكون أكبر من الحالة الثانية . ويمكن اكتشاف الحالة الحقيقية عن طريق الحفر وهذا ما يكلف الكثير ، ولكن الدراسة التفصيلية قد تؤدى إلى استنتاج



(شكل ٨٢) يمثل خطاطات تبين ثلاث احتمالات مختلفة لتوضيح التركيب الجيولوجى لمظاهر ثلاث طبقات متشابهة النوع والوضع.

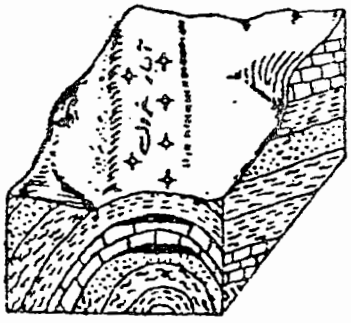
الاحتمالات المختلفة ثم ترجيح صحة احتمال أو آخر. ففى الحالة الأولى لا يوجد تكرار فى التعاقب الطبقى (شكل ٨٢ـ أ) . أما فى الحالة الثانية فهناك احتمالين : أولهما أن تتكرر الطبقات فى ترتيب ١ ـ ٢ ـ ٣ / ٢ ـ ١ ـ ٢ / ٣ وهذا يدل على وجود طيتين متشابهتين أحدهما محدبة والأخرى مقعرة وتميل أطرافها فى نفس الإتجاه وبنفس المقدار تقريبا (شكل ٨٢ ب) . أما الاحتمال الثانى فهو تكرار الطبقات فى ترتيب ١ ـ ٢ ـ ١/٣ ـ ٢ ـ ١/٣ ـ ٢ ـ ٣ (شكل ٨٢ حـ) مما يدل على أن هذه المظاهر الثلاثة ما هى إلا أجزاء من طبقة واحدة أصابها قالقين من النوع المعكوس يميلان فى نفس الاتجاه تقريبا. والفرق واضح بين كل من الاحتمالين الأخيرين فيما يختص بتقدير كمية الحمام وبالتالى حساب التكلفة والإنتاج .

مصائد البترول : من المعروف أن المواد البترولية الحمام تتكون نتيجة تراكم البقايا العضوية ثم تحللها تحت ظروف مختزلة . وتتجمع هذه المواد الهيدروكربونية على هيئة كريات دقيقة جدا تنتشر داخل الطبقات الرسوبية التى تتكون معاصرة لتراكم هذه البقايا العضوية ، ولذلك تسمى هذه الصخور « الصخر الأم » Mother rock أو « صخر منبع » Source rock . وغالبا مايكون الصخر المنبع من النوع الذى يتميز بدقة حبيباته وعظم سمك طبقاته. أما عن الطاقة اللازمة لعملية تحلل المواد العضوية التى ينشأ عنها البترول الحمام فمن المحتمل أنها تنتج عن الحرارة والضغط فى الأعماق البعيدة عن سطح الأرض ، وعن تأثير البكتيريا المختزلة والنشاط الحرارى للمواد المشعة التى قد تحتويها الصخور المنبعة .

ومن البديهى أن المواد البترولية تتكون بكميات صغيرة فى الصخر المنبع.

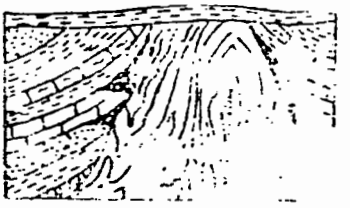
فكيف تتجمع إذن فى مخازن بترولية ضخمة ؟ تتعرض الصخور المنبعة لضغط الرواسب التى تعلوها ، وغالبا ماتكون عظيمة السمك ، ويؤدى ذلك إلى كبس الرواسب الطينية وتدمجها فتضطر الكربات الهيدروكربونية إلى الإنسحاب من المسافات البينية لمكونات الصخور المنبعة ثم إلى الهجرة باحثة عن مكان آخر ملائم تأوى اليه . وتسمى هذه العملية الاضطرارية الهجرة الأولية Primary migration . وتسلك المواد البترولية المهاجرة طريقها بما يتوافق وخصائصها الطبيعية . وحيث أنها أقل كثافة من المواد الصخرية التى تتخللها فانها تسلك الطريق الذى يؤدى بها إلى طبقات أعلى من طبقات منبعها ، فتنساب صاعدة حتى تجد نوعا من الصخور المسامية المنفذة حيث تتجمع . وبمجرد تجمع المواد البترولية فى الصخور الخازنة Reservoir rock تبدأ مكوناتها فى الانفصال حسب كثافتها فى ثلاث طبقات : طبقة من المياه تعلوها طبقة المواد البترولية يليها طبقة الغازات ، وتعرف هذه العملية بالهجرة الثانوية Secondary migration .

وقد يصادف المواد البترولية أثناء هجرتها الأولية بعض التراكيب الجيولوجية المميزة ، تسمى مصائد البترول Petroleum traps ، والتى يفضل البترول الحام التجمع فيها عن أى مكان آخر . ومن أهم المصائد البترولية التركيبية هى التراكيب القبوية أى القبة Domal structures ، الطيات المحدبة Anticlines

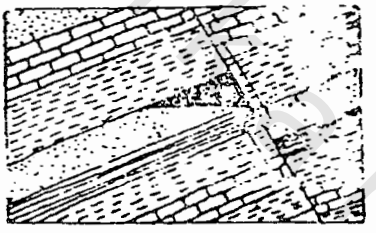


(شكل ٨٣) تتحدد مواقع آبار البترول حسب التركيب الجيولوجى للصخور الخازنة

(شكل٨٣،٨٤) أحاديه الميل Monoclines أو المصيدة الفالقية Fault trap (شكل ٨٥) حيث يعمل مستوى الفالق ـ وغالبا ما يكون مصقولا ـ كحاجز يمنع تسرب المواد البترولية إذا ما أدى هذا الفالق إلى إيجاد صخور غير منفذة فى مواجهة صخور منفذة حاوية للبترول . ولا يعنى وجود هذه التراكيب أنها حتما خازنة للبترول الخام ، فقد تتواجد مثل هذه التراكيب خاوية جدباء ، إلا فى حالة اعتراضها طريق الهجرة الأولية للمواد البترولية واحتوائها على طبقات من صخور مسامية منفذة تسمح بتجمع البترول الخام فيها . ومن البديهى أن الصخور الخازنة للبترول لابد وأن تكون مغطاة أو محكمة الإغلاق بواسطة طبقات أخرى غير منفذة تمنع الخام من التسرب إلى الطبقات السطحية حيث يتعرض للمؤثرات الجوية فيفقد الجزء الكبير من مكوناتها .



(شكل ٨٤) قطاع فى طية اختراقية (قبة ملح) يتجمع البترول حولها فى الطبقات الخازنة .



(شكل ٨٥) قطاع يمثل مصيدة بترول فالقية .

بعد هذا العرض الوصفى الموجز للبنيات (التراكيب) الجيولوجية وبعض النواحى الاقتصادية لدراستها قد يتساءل القارىء مستفسرا عن أسباب تكون هذه البنيات وكيفية نشأتها وتتطلب الإجابة على هذه الاستفسارات تفهم

خاصية التوازن الإستاتيكى للقشرة الأرضية Isostasy وما يرتبط بها من حركات أرضية Earth movements ، وبعض النظريات المفسرة لأسباب وميكانيكية هذه الحركات ، ويمكن ايجاز ذلك فيما يلى :

توازن القشرة الارضية

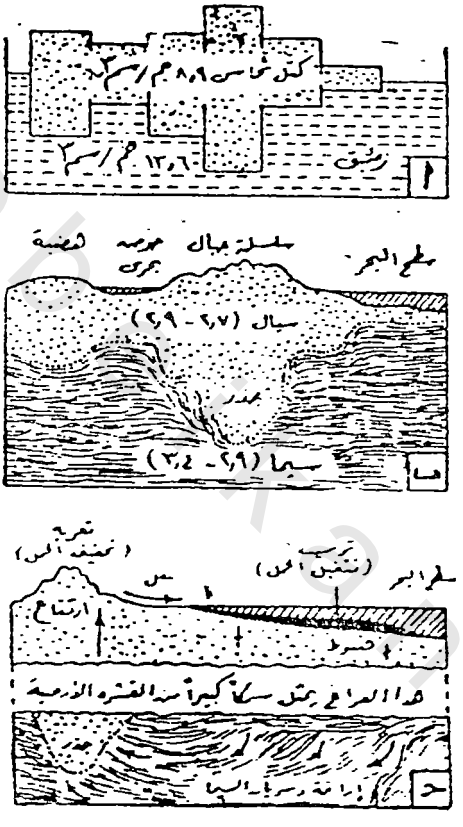
تدل الدراسات الجيولوجية على أن القشرة الأرضية كانت دائما ولاتزال تحت تأثير النشاط الطبيعى والكيمائى للعوامل الجوية المختلفة مثل الرياح والأمطار والسيول والصقيع والجليد وأمواج البحار، فهذه العوامل كلها فى دأب ونشاط مستمر، ويظهر أثرها فى تفتيت صخور القشرة الأرضية بواسطة العوامل الجوية (عملية التجوية Weathering) وكذلك بواسطة الكائنات الحية ، ثم نقل هذه المواد الصخرية المفتتة من مكان وجودها إلى أماكن أخرى بواسطة الرياح والأمطار والثلاجات (عملية النقل Transport) ، كما أن لهذه المواد المفتتة أثناء نقلها أثر فعال فى نحت الصخور المختلفة التى قد تمر بها (عملية النحت أو التحات Erosion) مثل النحت الرياحى Wind erosion والنحت النهرى River erosion والنحت البحرى Marine erosion ونحت السيول Torrent erosion . ونتيجة كل هذه العمليات مجتمعة هى تعرية أو تغيير هدمى لسطح الأرض، ولذلك تسمى التعرية Denudation .

ولو أن عوامل التعرية كانت مستمرة فى عملها دون أن يقابلها ويوازنها أى عمل آخر بناء لكانت قد انمحت الأرض من الوجود ، ولكن الحكمة العادلة أنزلت رسلها لإيجاد حالة توازن دائمة ومن الحكمة أن عوامل الطبيعة الهدامة نفسها هى العوامل البناءة للقشرة الأرضية ولو أن مكان نشاطها

الهدمي يختلف ويبعد عن مكان نشاطها البنائي ، وبذلك أوجدت حالة التوازن اللازمة لاستقرار كوكبنا هذا بل لاستقرار الكون بأكمله ، فالعوامل التي تقوم جاهدة بتفتيت الصخور غالباً ما تنقلها أو تساعد في نقلها إلى مكان آخر حيث ترسبها وتبني بها جزءاً آخر تضيفه إلى سطح الأرض مثل ترسيب الطبقات الصخرية في البحار وتكوين الدالات عند مصاب الأنهار والكثبان الرملية في المناطق الصحراوية ، وتعرف كل هذه العمليات مجتمعة عملية البناء أو الترسيب Deposition . كما أن هناك أدلة واضحة تثبت تحرك الطبقات الخارجية للأرض مما يؤدي إلى ارتفاعها لتكون الجبال وما يظهر لنا من القارات ، أو قد تؤدي إلى خسفها تحت مياه المحيطات ، وفي كل من هاتين العمليتين ينحسر البحر عن جزء من سطح الأرض فتظهر أرضاً جديدة أو قد يغمرها ويطغى عليها فتظهر بحار جديدة أو تتخذ البحار القديمة أشكالا وطبوغرافيات جديدة ، كل هـــذا والأرض في حالة متوازنة باستمرار . وسيخصص الباب التالي لعمليات التعرية والترسيب .

وقد أثبتت قياسات الجاذبية بجانب دراسات تفصيلية أخرى إلى استنتاج خاصية من أهم خواص القشرة الأرضية ـ وهي خاصية التوازن الاستاتيكي Isostasy والتي تعني أن الأعمدة الصخرية ذات القطاعات العرضية المتساوية فوق مستوى معين (مستوى التعادل Level of co npensation) ويوجد على عمق ما بين ٥٠ ، ١٠٠ كيلومتر تحت سطح البحر) تكون كتلتها واحدة مهما اختلفت أطوالها . ويعزى إلى هذه الخاصية سبب الارتفاع الشاهق للجبال وهي التي تحوي المواد الصخرية الخفيفة الوزن وكذلك انخفاض قيعان المحيطات التي تتكون من مواد صخرية قاعدية التركيب كبيرة الوزن النوعي (شكل ٨٦ ـ أ ، ب) .

فإذا ما تفتتت هذه الأعمدة الجبلية العالية تحت تأثير عوامل التعرية المختلفة ، تبع ذلك خفة الحمل أو الضغط على الطبقات الصخرية التى تقع تحتها ، وفى نفس الوقت تزداد الحمولة أو الضغط على المناطق الأخرى المجاورة والتى تترسب فيها المواد المفتتة من تلك الأعمدة الجبلية ، والنتيجة الحتمية إذن لعملية التعرية فى مكان والعملية البنائية أو الترسيب فى مكان آخر هو حدوث اختلاف فى الضغط الواقع على الطبقات السفلية لسطح القشرة الأرضية . ويبدأ



(شكل ٨٦) يوضح ظاهرة التوازن الاستاتيكى

توازن هذا الضغط الإختلافى Differential pressure على الأجزاء السفلية للقشرة الأرضية بسريان بطىء للمادة الصخرية اللزجة من طبقة السيما الثقيلة الوزن والتى تقع تحت منطقة الترسيب إلى قاع المنطقة التى حدث فيها التعرية (شكل ٨٦ جـ) وبذلك تعلو وترتفع وتعيد التوازن مرة جديدة . وتعرف عملية سريان مواد السيما من مكان ازداد فيه الحمل أو الضغط إلى مكان آخر قد خف فيه الضغط عند مستوى معين باسم استعادة التوازن الاستاتيكى Isostatic readiustment

الحركات الأرضية

مرت الكرة الأرضية أثناء مراحل نموها بتحركات مختلفة أدت إلى اختلاف وتغير فى توزيع البحار والأرض اختلافا بينا فى العصور الجيولوجية المختلفة (دراسة الجغرافيا القديمة) . ومن الأدلة التى توضح حدوث حركات أرضية عنيفة أن الصخور الرسوبية الغنية بالحفريات ـ وهى بقايا الحيوانات التى كانت قد عاشت تحت سطح البحر فى وقت من الأوقات ـ توجد فى أعلى قمم الجبال فى العالم مثل الطبقات الرسوبية التى تكون جبال الهملايا والتى ارتفعت من قاع البحر إلى أكثر من ثلاثين ألف قدم . ودليل آخر ، هو وجود كثير من مناجم الفحم على أعماق بعيدة تحت مستوى سطح البحر ، والمعروف أن الفحم يتكون من بقايا نباتية كجذوع الأشجار والأغصان لبعض الغابات التى كانت قد نمت فوق سطح الأرض على مستوى أعلى من سطح البحر .

ومن الأدلة الواضحة على حركات الأرض فى الأزمنة التاريخية القريبة بقايا معبد سيرابيس قرب نابولى فى إيطاليا حيث توجد الأعمدة محفورة بحيوانات بحرية من نوع معين (ليثوفاجاس Lithophagus) على ارتفاع ١٨ قدم فوق أرض المعبد ، وتوجد بالحفر بقايا قشور هذه الحيوانات ، وهذا يدل دلالة قاطعة على أن أرض المعبد لابد وأن كانت قد انخفضت وغمرها البحر الذى كانت تعيش فيه هذه الحيوانات ثم ارتفعت الأرض ثانية إلى وضعها الحالى ، وكذلك وجود الشواطىء المرجانية المرفوعة Raised coral beaches فوق مستوى سطح البحر .

وهناك نوعان من الحركات الأرضية . احداها تسمى بالحركة البانية للقارات Epirogenic movement ، هى حركة بطيئة قد تدوم لأزمنة جيولوجية

عديدة ، فى اتجاه رأسى يؤدى إلى هبوط أو ارتفاع مساحات شاسعة من القارات يتبعه تقدم البحر Sea transgression ليطغى على الجزء الهابط أو انحسار البحر Sea retrogression عن الجزء الذى ارتفع عن سطح اليابسة . وهذا النوع من التحركات الأرضية هو المسئول عن ترتيب وضع المحيطات والقارات فى الأزمنة الجيولوجية المختلفة ، ويظهر تأثير الحركات البانية للقارات على سطح الأرض فى تكوين المرتفعات والمنخفضات الشاسعة مثل الهضاب والأحواض المائية والجبال الكتلية Block mountains أو الوديان الفالقية المخسوفة Rift valleys .

والنوع الثانى من الحركات الأرضية هو مايعرف بالحركات البانية للجبال Orogenic movements . وهذه حركات سريعة خاطفة قصيرة المدى (بالمعنى الجيولوجى وبالنسبة للحركات البانية للقارات) وعنيفة فى تأثيرها . وتنشأ مثل هذه الحركات ، بصفة عامة ، تحت تأثير قوى ضغط جانبية وينتج عنها انثناءات مجدبة أو مقعرة فى طبقات القشرة الأرضية ، وما يتبع هذه الثنيات الضغطية من كسور وفوالق أو إنزلاق أطراف الثنيات على مستويات فالقية مما يؤدى إلى تراكم كتل الصخور الرسوبية الطبقية فوق بعضها التشغل حيزاً ضيقاً بعد أن كانت تغطى مساحات شاسعة ، وترتفع بالتالى فوق مستوى سطح البحر لتكون سلاسل الجبال بعد أن كانت تغطيها مياه البحار . وما من شك فى أن مواد الصهير ، ماجما Magma ، تنشط وقت حدوث مثل هذه الحركات ويبدأ فى الصعود لغزو مناطق الضعف الناتجة من عملية الإنثناء والتهشيم والتكسير ، وقد تجد طريقا لها يؤدى بها إلى الطبقات العليا من القشرة الأرضية حيث يبرد ويتجمد فى هيئة كتل أو صخور نارية متداخلة (متطفلة) أو حتى على سطح الأرض فى هيئة براكين ثائرة تقذف بحممها وغازاتها .

لم تكن هذه الحركات الأرضية مستمرة طول وقت نمو الكرة الارضية، بل كانت هناك فترات هادئة (ظاهريا) تتميز بالبناء حيث كانت تترسب خلالها كميات ضخمة من الصخور الطبقية فى الأحواض المائية ، وتمثل فترات الهدوء الجزء الأكبر من التاريخ الجيولوجى للأرض ، وقد قدرها بعض العلماء بما يعادل $\frac{3}{4}$ من تاريخ الأرض ، أما الجـــزء الصغير $\frac{1}{4}$ فإنه يمثل الوقت الذى كانت تمر فيه الأرض بحركات ثورية وتطورية عصبية هى الحركات البانية للجبال . وأهم الحركات البانية للجبال التى انتابت الكرة الأرضية هى :-

١) الحركة الكاليدونية Caledonian Movement : أثناء الحقب القديم الأسفل Lower Palaeozoic Era ، فى آخر العصر السيلورى - العصر الديفونى Silurian-Devonian Systems .

٢) الحركة الهرسينية (أبالاشيه) Hercynian(Appalachian) Movement: اثناء الحقب القديم الأعلى Upper Palaeozoic Era، فى وقت العصر الكربونى - البرمى Carboniferous-Permian .

٣) الحركة الألبية Alpine Movement : فى آخر الحقب المتوسط (الثانى) Mesozoic (Secondary) Era وبداية الحقب الحديث (الثالث) Cenozoic (Tertiary) Era .

أما عن النظريات الخاصة بكيفية تكوين الجبال والمفسرة لأسباب وميكانيكية الحركات الثورية للأرض فعديدة ومتشعبة ، ويضيق المجال هنا لدراستها ويمكن تبسيطها وإيجازها فيما يلى :-

١) نظرية الانكماش Contraction Theory : (إيلي دي بومونت Elie de Beaumont في أوربا ، جيمز دانا James Dana في أمريكا) وأساس هذه النظرية هو أن الانكماش الناتج عن تبريد الكرة الأرضية سبب حدوث قوتين : إحداهما قوة شد داخلية في اتجاه مركز الكرة الأرضية والأخرى وليدة الأولى ، وهي قوة سطحية جانبية ضاغطة في مكان وشادة في مكان آخر في القشرة الأرضية . وقد أدى ذلك إلى أحداث تقلصات وتجعدات في القشرة الأرضية نتج عنها تكوين أحواض البحار وسلاسل الجبال .

ووجه النقد لهذه النظرية هو أن تبريد الكرة الأرضية لم يكن مستمراً بل كانت هناك فترات جليدية تتخلل فترات دفيئة طول التاريخ الجيولوجي للارض. وهناك وجه اعتراض آخر ، هو الشك في أن التبريد يؤدي إلى هذا الانكماش الذي ينتج عنه تجعدات في القشرة الأرضية بدرجة تسمح بتكوين الجبال الشاهقة ، واعتراض ثالث وهو أن التبريد في حد ذاته مردود عليه حيث أن الحرارة الناشئة من النشاط الإشعاعي والتفاعلات الكيمائية في باطن الأرض يهدم الافتراض الذي بنيت عليه النظرية .

٢) نظرية التمدد / جولي Joly's Expansion Theory : بنيت هذه النظرية على فكرة تمدد القشرة الأرضية نتيجة للحرارة الناشئة من النشاط الإشعاعي والتفاعلات الكيمائية في باطن الأرض وما تبع عملية التمدد من حدوث ضغط اختلافي أدى إلى تكوين تجعدات في القشرة الأرضية نتج عنها تكوين المرتفعات والمنخفضات ، وهذه النظرية عكس نظرية الانكماش ، ولم تجد رواجاً علمياً .

٣) نظرية تزحزح القارات Continental Drift : (فيجنر ١٩٢٩ Wegener ، دى توات ١٩٢٧ - ١٩٣٧ Du Toit) نشأت هذه النظرية على أساس ملاحظة الشبه الكبير بين شكل الساحل الغربى للقارة الأفريقية والساحل الشرقى لأمريكا الجنوبية ، وكذلك وجه التشابه والتقارن بين الرواسب البحرية (للعصر الطباشيرى) على كل من جانبى المحيط الأطلسى (شكل ٨٧) وتفترض هذه النظرية أن كل القارات الموجودة حاليا كانت متحدة فى كتلة واحدة كبيرة تسمى بانجيا Pangaea حتى بداية الحقب المتوسط (الثانى) من تاريخ الكرة الأرضية ، وأنه كان يوجد وسط هذه الكتلة الموحدة بحرى قديم يسمى تيثز Tethys فى موضع البحر الأبيض المتوسط ، ثم تزحزحت أجزاء من هذه الكتلة الموحدة الكبيرة وانفصلت عن بعضها فى بداية الحقب المتوسط .

وتفترض النظرية أن حركة الزحزحة والإنفصال كانت فى اتجاهين : - أحدهما فى الاتجاه الشمالى (شمال خط الاستواء) نتج عنها إنضغاط حوض التيثز وتكوين الجبال الألبية ، وثانيهما فى اتجاه الغرب ونتج عنه انفصال الأمريكتين لتكوين جبال الشاطىء الغربى .

والنقد الموجه لهذه النظرية هو أنها اهتمت بدراسة الارض فى أواخر تاريخ حياتها وتركت بداية تطورها بدون تفسير ، كما أن هناك أكثر من عقبة أو صعوبة فى تفسير الزحزحة القارية فى هذين الاتجاهين بل أن النظرية ينقصها تفسير لأسباب مقنع الزحزحة .

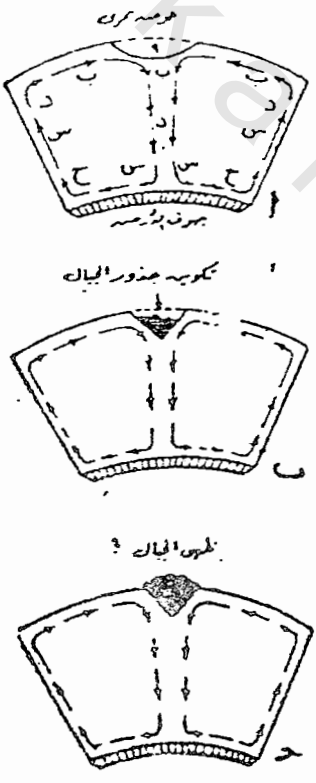
٤) نظرية التموجات (أو التورمات) الأرضية Oscillation-Undation Theory :(هارمان ١٩٣٠ Haarmann ، وبيلى Bailey Willies ، فان بيملين Van Bemelen) افترض هارمان تكوين تورمات أرضية Geotumours تفصلها منخفضات أرضية Geodepressions نتيجة سريان الصهير الصخرى (الماجما) الموجود تحت القشرة الأرضية من مكان (تحت المنخفضات) إلى مكان آخر (تحت التورمات) وذلك لإعادة حالة التوازن الإستاتيكى فى القشرة الأرضية بعد اختلال توازنها تحت تأثير عامل كونى غامض Mysterious Cosmic Factor . والخطوة الطبيعية التالية هى تعرية هذه التورمات الأرضية وترسيب المواد الناتجة من التعرية فى المنخفضات . وعند تحرك العامل الكونى الغامض بالنسبة لوضع الأرض فانه يتبع ذلك تحرك التورمات الأرضية وبالتالى المنخفضات الأرضية بما فيها من مواد رسوبية ، ويؤدى ذلك إلى رفع الصخور الرسوبية التى تكونت فى المنخفضات الأرضية ، وبالتالى ارتفاعها ، بواسطة الجاذبية على السفوح المنحدرة للتورمات الأرضية الحديثة التكوين ، فتتراكم هذه الصخور فوق بعضها فى شكل ثنيات أرضية مقعرة بكسور وفوالق بمرور الزمن شاهقة لتكوين سلاسل الجبال .

لم تجد هذه النظرية عائلا لها حيث لا يكفى مجرد إفتراض تأثير عامل كونى غامض فى مثل هذه الحالات لتبنى النظرية بفرضها ، وحيث أن التراكيب الإنزلاقية غير مقبولة كسبب أساسى لتكوين الجبال .

ولذلك فقد حاول ويلز وفان بيميلين إيجاد تعديلات وتفسيرات لحركة سريان الصهير الصخرى تحت القشرة الأرضية ، وما ينتج عن ذلك من تكوين التراكيب الصخرية ، بطرق عديدة لا داعى لتفصيلها ، ويمكن القول بأن هذه المحاولات كانت معقدة التفسير وغير محكمة لأنها بنيت على افتراضات عن حالة ما تحت القشرة الأرضية التى لا يعرف عنها إلا القليل ، بل أن ما وصلت إليه المعرفة عن القشرة الأضية نفسها ما زال فى حاجة إلى المزيد .

٥) نظرية التيارات الناقلة Convection Current Theory : وقد نشأت فكرة هذه النظرية فى أوائل القرن الحالى (أمبفيرر ١٩٠٦ Ampferer ، ثم تولاها غيره بالتنميه ومنهم ستيلا ١٩٣٦ Stille ، كريجز ١٩٣٩ Griggs ، هولمز ١٩٢٨ Holmes ، هيس ثم فينتج ماينيز ١٩٣٤ Vening Meinesz) .

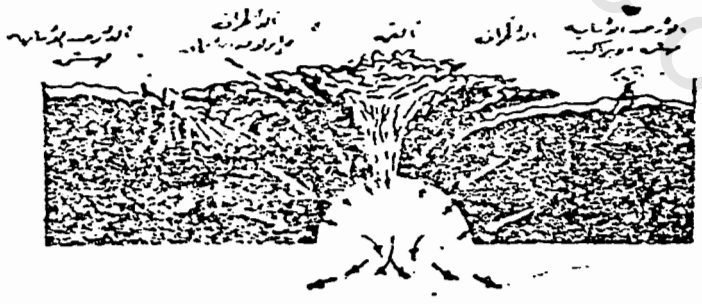
وأساس هذه النظرية هو إفتراض حدوث تيارات حمل حرارية تحت القشرة الأرضية نتيجة اختلاف فى درجة الحرارة وبالتالى اختلاف فى الكثافة ، وأن حدوث هذه التيارات يوجد حالة التوازن الاستاتيكى للأرض ، فالمناطق العميقة تحت القشرة الأرضية تستمد حرارتها من باطن الأرض وكذلك من حرارة النشاط الإشعاعى فتخف كثافة مكوناتها نسبياً وتضطر هذه للارتفاع



(شكل ٨٨) يوضح نظرية تيارات الحمل الناقلة
ب = بارد ، د = دافىء و س = ساخن ، ح = حار

إلى الطبقات الأعلى تحت القشرة الأرضية ـ أما المناطق السطحية ، على عكس ذلك، فتفقد حرارتها بدرجة أكبر وأسرع من الأجزاء الباطنية فتضطر بذلك إلى الهبوط نتيجة لثقل وزنها عن ذى قبل ، وحيث أن سرعة التبريد فى قاع المحيطات أكبر منها تحت القارات فمن البديهى أن تتكون التيارات الناقلة من تيار هابط تحت المحيطات وتيـــار صاعد تحت القارات فى هيئة حلقات أو دوائر مقفولة (شكل ٨٨) ينتج عنها إعادة توازن درجة الحرارة .

وعلى أساس صحة وجود مثل هذه التيارات الناقلة فى باطن الأرض تقدم كثير من العلماء بتفسيرات مختلفة لميكانيكية تكوين الجبال على أساس واحد هو: أينما تنساب مثل هذه التيارات الناقلة فى مستوى أفقى تحت سطح الأرض فانها تحدث قوى فعالة يظهر أثرها فى قوة ضاغطة فى مكان يتقابل فيه تياران ، وقوة شادة عند مكان افتراقهما ، فمن المتوقع أن تتكون الجبال أينما يتقابل تياران ثم ينحرفا هابطين حيث تنمو هناك قوة شفط Sucking للقشرة الارضية إلى باطنها ، ينشأ عنها تراكم الكتل الجانبية لهذه المنطقة بعد تكسيرها وتحطيمها وتكوين التنيات الأرضية والقوالق ، حسب قوة الشفط الناتجة (شكل ٨٩) .



(شكل ٨٩) يوضح طريقة تكوين الجبال نتيجة قوة الشفط الناشئة من التيارات الناقلة (عن كراوس Kraus)

وقد وجدت هذه النظرية معارضة أقل من سابقاتها ، بل أنها الوحيدة التي تجد محبذين أكثر من معترضين في وقتنا الحالي ، ومع ذلك فهناك بعض الملاحظات التي لا يمكن التأكد من حقيقتها ، فمثلا : لو أن كل الدلائل تشير إلى وجود مثل هذه التيارات الناقلة في باطن الارض وأنها قد تؤدي إلى إيجاد قوة هدامة ، إلا أنه من غير المعروف ما إذا كان أثرها كافياً لتهشيم وتكسير وتراكم الكتل الصخرية الضخمة لتكوين مثل هذه الجبال الشامخة ، ومرد ذلك لصعوبة الوصول إلى معرفة ماتحت القشرة الأرضية ، بل أن القشرة الأرضية نفسها مازالت تحتاج إلى كثير من الدراسة .