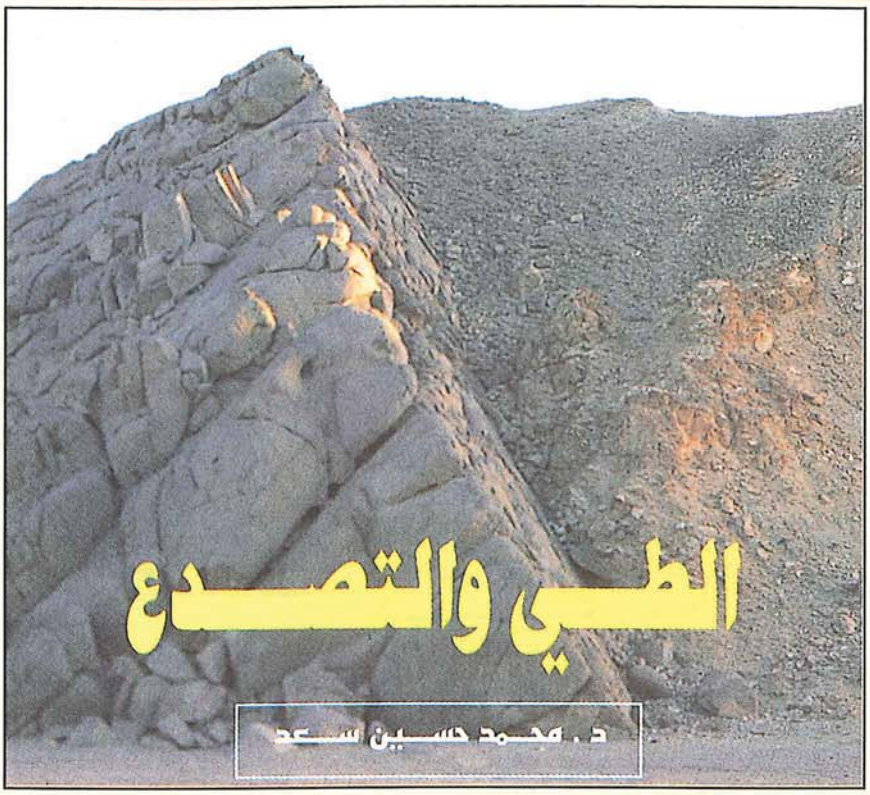


تعد ظاهرتا الطي والتصدع من الظواهر الجيولوجية الأساس التي تلعب دوراً فاعلاً ـ بمشيئة الله ـ في تشكيل سطح القشرة الأرضية لما يصاحبهما من حدوث انثناء وارتفاع وانخفاض وزحف طبقات الصخور ، وما يترتب على ذلك ـ على مر الأزمنة الجيولوجية ـ من اتساع قيعان المحيطات ، وتباعد القارات ، وتكوين الأودية الفالقية ، وظهور سلاسل الجبال الضخمة ، وغيرها من العمليات التكتونية الأخرى .

يرجع حدوث الطي والتصدع إلى تعرض طبقات الأرض لقوى كبس (ضغط) فتتشوه وتنثني الطبقات الضعيفة منها وتتكسر الطبقات الهشة ، وتحدث الطيات بصفة أساس في العمق ، بينما تتكون الصدوع غالباً قريباً من السطح وتمتد لعشرات الآلاف من الكيلو مترات طولاً وعرضاً لتغطي سطح الكرة الأرضية وقيعان بحارها ومحيطاتها . ولفهم هاتين الظاهرتين الجيولوجيتين سيتم تفصيل كل منهما كما يلي :

الطي

الطي (Folding) هو تشوه يحدث في صخور القشرة الأرضية ـ في صورة تقوسات وانثناءات ـ عند تعرضها لضغوط أكثر من حدودها المرنة . ويستغرق ذلك زمناً طويلاً قد يستمر ملايين السنين .

توجد الطيات في جميع أنواع الصخور (رسوبية ، متحولة ، نارية) إلا أنها أكثر وضوحاً في الصخور الرسوبية ، وبعض الصخور المتحولة ، حيث تفقد هذه الصخور وضعها الأصلي (أفقية أو مائلة) وتمر بكل المراحل الانتقالية ابتداء من التقوس الخفيف إلى الانثناءات العريضة .

يختلف عرض الطيات من مكان لآخر ، حيث يتراوح بين بضعة سنتيمترات إلى بضعة كيلو مترات ، وأحياناً إلى عشرات الكيلو مترات ، أما طولها فيصل عادة إلى عدة أضعاف عرضها .

● آليات الطي

يختلف الطي باختلاف نوع الآلية التي تحدثه . وهذه الآلية عبارة عن قوى دافعة وقوى مقاومة لها . ومن أهم هذه الآليات مايلي :

* **الكبس الأفقي (Horizontal Compression) :** وهو عبارة عن قوة مماسة لسطح الأرض تعمل في جانب واحد من الطبقات ، ويقابلها في الجانب الآخر مقاومة ، مثل كتلة ثابتة من دروع الصخور النارية (Igneous Shield Rocks) . شكل (١ـ أ) تعمل على تقوس أو ثني الطبقات ، وتعد هذه الطريقة أساس تكون الطيات في الأحزمة الجبلية (Orogenic Belts) .

* **تيارات الحمل (Convection Currents) :** وتؤدي حركتها في الجزء العلوي من طبقة الوشاح الأرضي ـ نطاق من الصخور شبه المنصهرة ذات كثافة ولزوجة عالية ، يتراوح عمقه بين ١٠٠ إلى ٣٥٠كم من سطح الأرض ـ إلى تكوين الطيات في الأحزمة الجبلية . ويرجع ذلك بصفة أساس إلى تأثير الفعل السحبي (Dragging Action) القوي لهذه التيارات ـ عند ارتفاعها إلى أعلى ودورانها أفقياً وهبوطها مرة أخرى إلى باطن الأرض ـ على السطح السفلي للقشرة الأرضية مما يؤدي إلى كبس أحواض متقابلات الميل الأرضية (Geosynclinal Troughs) وتقوس أو اعوجاج الصخور المفتتة إلى الخارج (Buckled out) وطيها ودفعها (Thrusting) ، شكل (١ـ ب) .

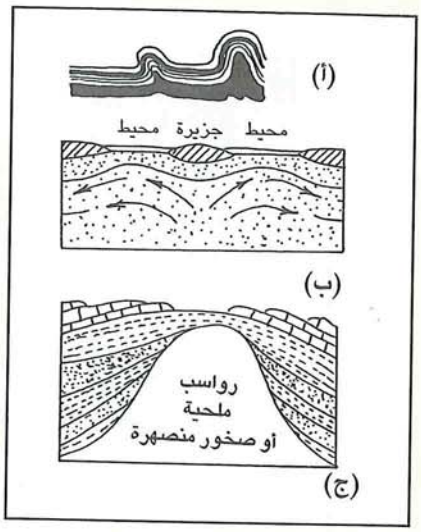
* **تداخل الصهير و الملح (Intrusion of Magma and Salt Deposits) :** تؤدي القوى الناتجة عن تداخل أو اندفاع المواد الأرضية المصهورة (Magma) ، أو الرواسب الملحية إلى طي طبقات الصخور والرواسب المحيطة بها على شكل قبة (Dome) ، شكل (١ ـ ج) .

● أجزاء الطية

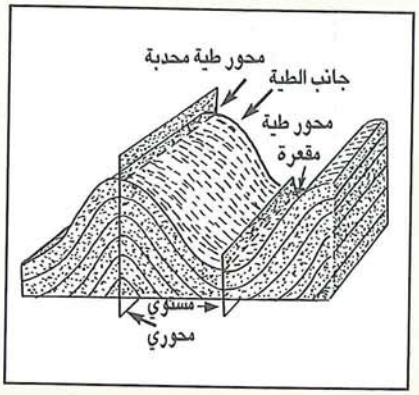
للطية عدد من الأجزاء متمثلة في ما يسمى بالمستوى المحوري للطية ومحور الطية وجانب الطية، ولتفصيل هذه الأجزاء نذكر التالي :

* **المستوى المحوري (Axial Plane) :** مستوى يقسم الطية إلى قسمين متماثلين تقريباً ، وقد يكون هذا المستوى رأسياً أو مائلاً أو أفقيا .

* **محور الطية (Fold Axis) :** خط تقاطع المستوى المحوري مع كل المستويات الطبقية (Bedding Planes) الموجودة في



● شكل (١) آلية تكوين الطيات .



● شكل (٢) أجزاء الطية .

الطبقات المطوية ، ويمر هذا الخط عادة بقمة (Crest) الطية المحدبة ، وبقاع (Trough) الطية المقعرة . ويأتي محور الطية إما رأسياً أو مائلاً أو أفقياً .

* **جانب الطية (Fold Limb) :** ويمتد من مستواها المحوري إلى المستوى المحوري للطية المجاورة لها ، أي إنه يمثل أحد جانبي طية محدبة أو طية مقعرة ملاصقة لها ، ويمثل الشكل (٢) الأجزاء المختلفة للطية .

● أنواع الطيات

يمكن تصنيف الطيات إلى عدة أنواع مختلفة طبقاً لعدة عوامل منها شكل الطية (وضع جانبي الطية) ، ووضع المستوى المحوري لها (اتجاه خط مضربه (Strike) وميله (Dip)) ، ووجود الطية في الطبيعة وذلك كما يلي : -

* **شكل الطية :** للطيات العديد من الأشكال ولذلك يمكن أن تقسم تبعاً لذلك إلى التالي : -

- طية محدبة (Anticline) : وتتميز بتقوس أو انثناء الطبقات المكونة لها إلى أعلى، شكل (٣-أ) ، ويميل جانباها في اتجاهين مخالفين بعيدين أحدهما عن الآخر ، وتظهر أقدم الطبقات (Oldest Formations) في الجزء الأوسط من الطية على جانبي المستوى المحوري لها ، ومحاطة بالطبقات الأحدث على الجانبين .

- طية مقعرة (Syncline) : تتشكل على عكس الطية المحدبة حيث تتقوس الطبقات المكونة لها إلى أسفل، (شكل ٣-ب) ، ويميل جانب إحداهما في اتجاه الأخرى ، وتوجد أحدث الطبقات (Youngest Formations) في الجزء الأوسط من الطية على جانبي مستواها المحوري .

- طية وحيدة الميل (Monocline) : تميل فيها الطبقات في اتجاه واحد فقط أي إنها ذات جانب واحد ، شكل (٣-ج) ، وتمثل هذه الطية - عادة - جزءا من تركيب كبير ذي طيات أفقية أو مائلة بزاوية أصغر من زاوية ميل هذه الطية .

- القبة (Dome) : تركيب تميل فيه الطبقات من جميع الاتجاهات بعيداً عن نقطة متوسطة تسمى مركز القبة (Dome Center) ، وتظهر الطبقات المكونة لقبة - تآكل جزؤها العلوي - في المسقط الرأسي ، شكل (٣-د) على هيئة دوائر تكون أقدمها في الداخل ومحاطة من كل الجوانب بالطبقات الأحدث عمراً .

- الحوض (Basin) : وهو طية تميل فيها الطبقات إلى الداخل في جميع الاتجاهات نحو نقطة متوسطة تسمى مركز الحوض ، وتظهر الطبقات في المسقط الرأسي للحوض، شكل (٣-هـ) ، في شكل دوائر حديثة العمر في الداخل ومحاطة من الخارج بالطبقات الأقدم منها .

* **وضع المستوى المحوري :** تقسم الطيات تبعاً لوضع المستوى المحوري لها إلى عدة أنواع أهمها مايلي :

- طيات متماثلة وغير متماثلة (Symmetrical and Asymmetrical Folds) : تعرف الطية المتماثلة بأنها الطية التي يكون فيها المستوى المحوري رأسيا ، شكل(٣-و) ، ويتساوى ميل الطبقات على جانبيها . أما إذا كان المستوى المحوري مائلاً ، شكل (٣-ز) ، وميل الطبقات على الجانبين غير متساو فتعرف الطية عندئذ بأنها غير متماثلة .

- طية مقلوبة (Overturned Fold) : تنشأ نتيجة لاستمرار الضغط على الطبقات المطوية حتى يصبح المستوى المحوري في وضع أفقي أو قريب منه ، شكل (٣-ح)، ويميل جانبا الطية في الاتجاه نفسه ولكن بدرجات ميل مختلفة ، وتصبح الطبقات المكونة لأحد الجانبين - التي يزيد الميل فيها أكثر من ٩٠° - مقلوبة أو معكوسة ، أي إن السطح السفلي لكل منها يتجه لأعلى .

- طية مضطجعة (Recumbent Fold) : وتسمى أيضاً بالطية الراقدة ، وهي تمثل أقصى حالات الانقلاب في الطيات ، شكل (٣-ط) ، ويميل فيها الجانبان في المستوى نفسه ، ويأخذ المستوى المحوري وضعاً أفقياً حتى إن جانبي الطية يكونان متوازيين تقريباً ، وأحدهما فوق الآخر ، ويقل سمك الطيات في الساق المعكوسة مقارنة بمثيلتها في الجانب الآخر ، وتمتلىء الأجزاء الوسطى لكثير من الطيات المضطجعة بصخور متبلورة (Crystalline Rocks) ، بينما تتكون الطبقات الخارجية من صخور رسوبية .

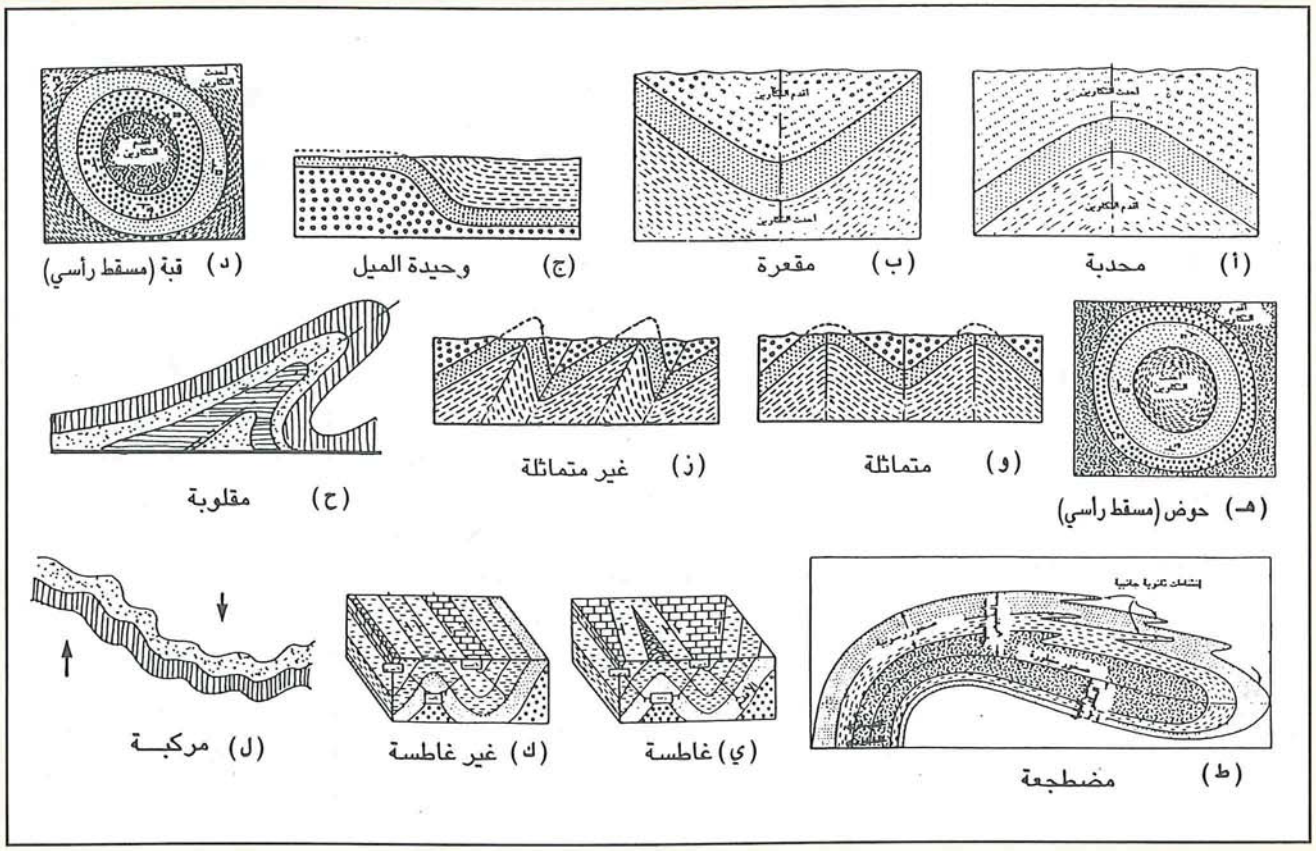
- طية غاطسة (Plunging Fold) : وهي الطية التي يكون محورها مائلاً عن المستوى الأفقي من ناحية واحدة أو ناحيتين ، ويشكل معه زاوية غطس (Angle of Plunge) أكبر من صفر وأقل من ٩٠° شكل (٣-ى) .

- طية غير غاطسة (Non Plunging Fold) : وتشمل الطيات المحدبة والمقعرة بأنواعها المختلفة ذات المحور الأفقي (Horizontal Axis)، شكل (٣-ك) ، وتظهر فيها منكشفات (Outcrops) الطبقات - بعد إزالة الأجزاء المرتفعة بوساطة عوامل التعرية المختلفة - على جانبي المحور متوازية أو شبه متوازية.

● الطيات في الطبيعة

تلعب الطيات دوراً فاعلاً في تكوين تضاريس القشرة الأرضية وتقسم من حيث وجودها في الطبيعة إلى نوعين هما :

* **طيات بسيطة (Simple Folds) :** وتمثل كل أنواع الطيات التي سبق الحديث عنها ، وتتكون من ثنية واحدة سواء أكانت محدبة أو مقعرة ، إلا أن هذه التراكيب لا توجد في الطبيعة بمفردها أو منفصلة بعضها عن بعض بحدود إلا نادراً جداً . ومن أمثلة الطيات البسيطة قبة الحسنة (Hasaana Dome) في منطقة أبو رواش غرب القاهرة ، وتحدب



● شكل (٣) أنواع الطيات .

سواند رزفوت في مقاطعة بمبروكشاير بانجلترا ، وهو تحدب صغير لا يتعدى عرضه عشرة أمتار ، ويقل ارتفاعه عن ذلك قليلاً .

* **طيات مركبة (Composite Folds) :** وتتكون من عدة ثنيات من نوع واحد أو من عدة أنواع مختلفة ، شكل (٣ــ ل) ، وهناك نوعان من الطيات المركبة فهي إما طية محدبة مركبة (Anticlinorium) إذا كان الاتجاه أو التركيب العام لها من النوع المحدب ، وإما طية مقعرة مركبة (Synclinorium) إذا كان الاتجاه أو التركيب العام لها من النوع المقعر .

تحتل الطيات المركبة مساحات كبيرة وتمتد إقليمياً حتى إنها تشتمل على أقطار برمتها ، وتصل أبعادها إلى مئات الكيلو مترات، وتسمى الطيات العليا والسفلي من الطيات المركبة بالتحدبات أو التقعرات الإقليمية (Regional Anticlines and Synclines) ، وتمثل التقعرات الإقليمية ــ في الماضي ـ أحواضاً عظيمة تراكمت فيها الرسوبيات لملايين السنين ثم أتت عليها الحركات الأرضية فرفعتها فوق سطح البحر في هيئة سلاسل جبلية كبيرة مثل جبال الأبلاش والألب والهيمالايا .. وغيرها . ومن أمثلة التحدبات الإقليمية قبو سنسناتي (Cincinati Arch)بولاية أوهايو بالولايات المتحدة الأمريكية ، وفيه تميل الطبقات ميلاً خفيفاً بعيداً عن خط محور متوسط يبلغ طوله حوالي ٤٠٠كم .

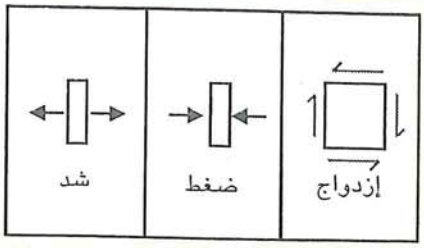
التصدع

يعرف التصدع (Faulting) بأنه تشويه يحدث لصخور القشرة الأرضية المتماسكة أو الهشة ــ في صورة كسور (Faults) حركية ـ عند تعرضها لقوى شد (Tension) أو كبس(Compression) أو ازدواج (Coupling) ، شكل (٤) ، تعمل على سطح الأرض أو في باطنها . ويصاحب التصدع عادة انزلاق أو حركة للصخور على جانب واحد على الأقل بحيث تزاح الصخور في ذلك الجانب ـ إما إلى أعلى أو إلى أسفل أو إلى الجنب أوفي أي اتجاه آخر ـ بالنسبة لنظيرتها في الجانب الآخر .

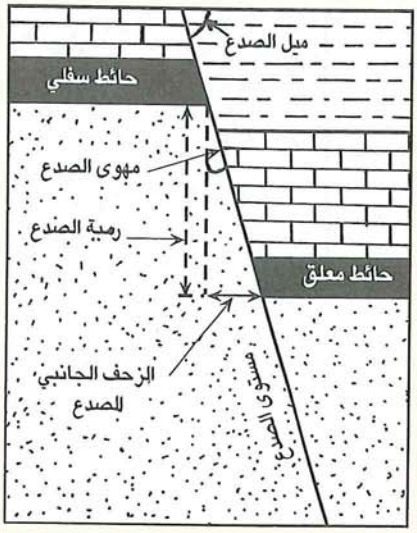
يتراوح مقدار الإزاحة أو الحركة عند تكون الصدوع من بضعة سنتيمترات إلى آلاف الأمتار ، وتحدث الحركة المصاحبة للتصدع إما فجأة وعلى فترات متلاحقة مثل الحركة المسببة لحدوث الزلازل ، وإما بعد أزمان طويلة .

● آلية التصدع

تتلخص آلية تصدع الصخور ــ على افتراض أن الصخور صلبة ومتجانسة الصفات الميكانيكية وأنها تعرضت لقوى كبس ــ في التأثيرات التشوهية التى تظهر عليها قبل حدوث الكسر الرئيس وتحرك جانبي الصخر . فعند تعرض الصخور لقوى الكبس فإنها تستجيب للإجهادات الواقعة عليها بطريقة السلوك المرن (Elastic Behaviour) ، ومع زيادة الكبس فإنها تفقد خاصية المرونة وتدخل مرحلة التشوه والانفعال الدائم نتيجة لتكوُّن وتقدم مجموعة من الكسور الصغيرة ، وهكذا يزداد حجم الكسور وأعدادها مع زيادة الكبس خاصة في نطاق أو مستوى الصخر الأكثر تشوهاً مع محاولة تحريك جزء من الصخر عن جزئه الآخر ، ومع استمرار الكبس ينكسر الصخر ويتحرك جداراه ـ على طول سطح



● شكل (٤) أنواع القوى المؤدية للتصدع .



● شكل (٥) أجزاء الصدع .

الصخر ـ بطريقة الزحف (Slide) دون ابتعاد بعضهما عن بعض .

● أجزاء الصدع

للصدع عدة أجزاء ، شكل (٥) ، يمكن توضيح أهمها على النحو التالي :

* **مستوى الصدع (Fault Plane) :** يسمى أيضاً سطح الصدع ، وهو السطح الذي يحدث عنده انفصال وانزلاق الطبقات ، ويفصل بين كتلتي الصخور على جانبي الصدع ، ويكون المستوى إما رأسياً أو مائلاً

* **الحائط المعلق (Hanging Wall) :** كتلة الصخور الملاصقة للسطح العلوي للصدوع المائلة .

* **الحائط السفلي (Foot Wall) :** كتلة الصخور الملاصقة للسطح السفلي للصدوع المائلة .

يوجد الحائطان المعلق والسفلي فقط في الصدوع المائلة أو الأفقية حيث إنهما يقعان على جانبي الصدع الذي يفصل بينهما ، أما الصدوع الرأسية فليس لها حائط معلق أو سفلي لأن مستوى الصدع في هذه الحالة رأسي.

* **رمية الصدع (Throw of Fault) :** المسافة الرأسية ـ الناتجة من حركة الصدع ـ في منسوب الصخور المناظرة على جانبي الصدع.

* **ميل الصدع (Dip of Fault) :** الزاوية المحصورة بين مستوى الصدع والمستوى الأفقي .

* **مضرب الصدع (Strike of Fault) :** اتجاه الخط الناتج من تقاطع مستوى (سطح) الصدع مع المستوى الأفقي ، وهو اتجاه أي خط أفقي على مستوى الصدع .

* **مهوى الصدع (Hade of Fault) :** مقدار الزاوية التي يصنعها مستوى الصدع مع المستوى الرأسي ، وهي تتمم زاوية ميل الصدع (مجموعهما ٩٠°) .

* **خط الفالق (Fault Line) :** الخط الناتج عن تقاطع مستوى الصدع مع سطح الأرض ، ويسمى أحياناً بأثر الصدع (Fault Trace) ، أو منكشف الصدع (Fault Outcrop) .

● أنواع الصدوع

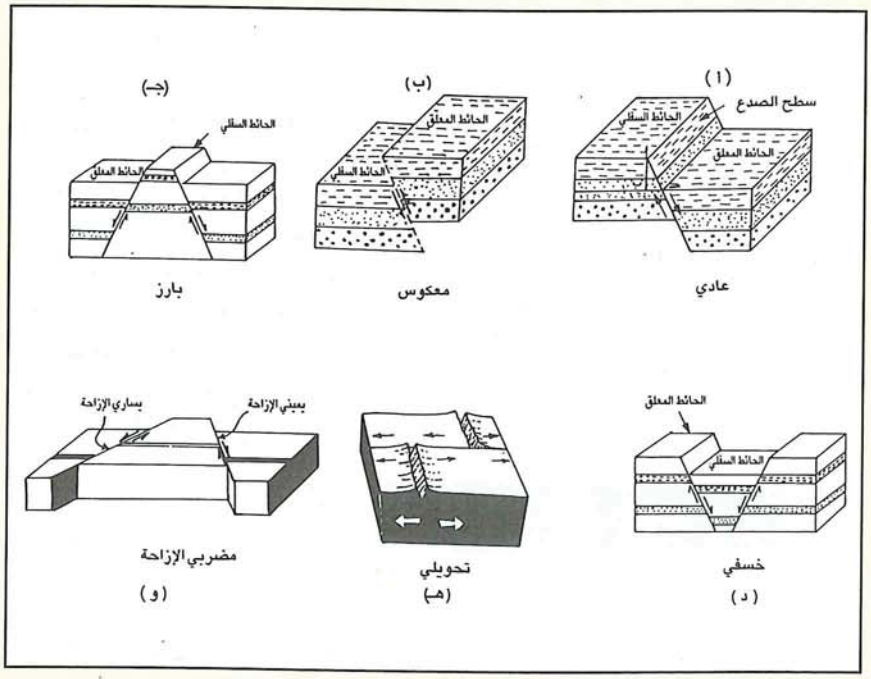
يمكن تصنيف الصدوع إلى عدة أنواع ، شكل (٦) ، وذلك إما على أسس هندسية (Geometricall) مثل انحراف الازاحة الصافية (Net Slip) ، ووضع الصدع بالنسبة للطبقات المجاورة له ، وترتيب الصدوع ، ومقدار ميل الصدع ، والحركة الظاهرية على الصدع ، وإما على أسس تكوينية (Genetically) مثل الحركة النسبية والحركة المطلقة للصدع . ومن أهم أنواع الصدوع مايلي : ـ

* **صدوع عادية (Normal Faults) :** تتكون نتيجة لقوى الشد ، وأحياناً من قوى الضغط والازدواج ، ويتحرك فيها الحائط المعلق ظاهرياً إلى أسفل بالنسبة للحائط السفلي له ، شكل (٦ـأ) ، ويكون سطح الصدع مائلاً بزاوية كبيرة (٦٠°) عن المستوى الأفقي .

يؤدي حدوث الصدع العادي إلى ازدياد طول المسافة الأفقية التى تغطيها الطبقات التي يقطعها هذا الصدع ، ويرجع ذلك بصفة أساس إلى انزلاق الحائط المعلق للصدع إلى أسفل بالنسبة للحائط السفلي له.

* **صدوع معكوسة (Reverse Faults) :** تنتج عن تأثير قوى الضغط الجانبي، شكل (٦ ــ ب) ، وتسمى أحياناً صدوع الضغط (Compression Faults) ، ويتحرك فيها الحائط المعلق ظاهرياً بالنسبة للحائط السفلي ، ويكون ميل الصدع أكبر من ٤٥°، أما إذا كان الميل أصغر من ذلك فيسمى بصدع الدفع (Thrust Fault) .

ومما يجدر ذكره أن تكوّن الصدوع



● شكل (٦) أمثلة لأنواع الصدوع .

المعكوسة يؤدي إلى قصر المسافة الأفقية التي كانت تغطيها الطبقات القاطعة لها .

* **صدوع بارزة (Horst Faults) :** مجموعة صدوع يرمي جزء منها في اتجاه ، ويرمي الجزء الآخر في اتجاه مضاد ، شكل (٦ـ ج) فتتكون بذلك كتل بارزة وعالية (Horst) من الطبقات على جانبيها كتل على مستويات أقل ، وينتج عن تأثير هذه الصدوع تكوين تراكيب جيولوجية مناسبة جداً لتراكم النفط ، ومن الأمثلة على ذلك معظم حقول النفط المنتشرة على جانبي خليج السويس بجمهورية مصر العربية .

* **صدوع خسفية (Graben Faults) :** مجموعة صدوع يرمي بعضها في اتجاه ويرمي البعض الآخر في الاتجاه نفسه فينشأ عن ذلك خفض الكتل الوسطى من الطبقات إلى أسفل مقارنة بالكتل الجانبية ، شكل (٦ـ د) . ومن أشهر الصدوع الخسفية في العالم مجموعة صدوع الأخدود العظيم (Great Rift Valley) الذي أدى إلى تكوين بحيرات شرق إفريقيا والبحر الأحمر والبحر الميت .

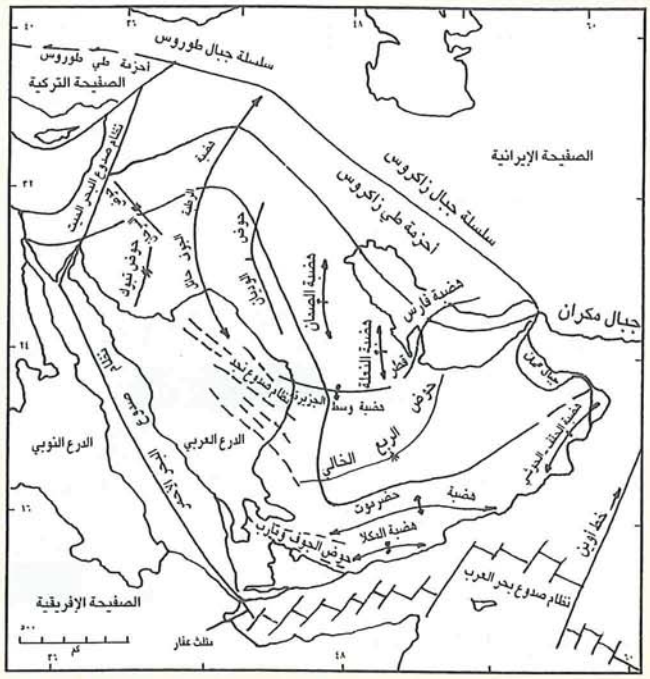
* **صدوع تحويلية (Transform Faults) :** تسمى أيضا بالصدوع النقلية ، وهي صدوع يكون مضربها في اتجاه متعامد أو مائل على مضرب الطبقات التي تقطعها ، وتوجد الصدوع التحويلية ـ عادة ـ بين جزئين من حيد منتصف المحيط (Midocean Ridge) ، شكل (٦ـ هـ) ، أو بين حيد وأخدود (Trench) أو بين أخدودين محيطين .

* **صدوع مضربية الإزاحة (Strike Slip Faults) :** تسمى أيضاً بالصدوع الملوية (Wrench Fault) أو الجانبية (Lateral) أو الانهدامية (Rift) ويكون فيها مضرب الصدع موازيا لمضرب الطبقات أو عمودياً على اتجاه الميل فيها . وتتميز هذه الصدوع بأن سطحها ـ عادة ـ رأسي أو قريب من الرأسي (يميل بزاوية أكبر من ٨٠ْ عن الأفقي) وتتحرك كتلتا الصدع ـ إحداهما إلى الأخرى ـ في اتجاه خط امتداد سطح الصدع ، وقد تتحرك إحدى الكتلتين إلى اليمين أو اليسار .

ويمكن تقسيم الصدوع مضربية الإزاحة ـ طبقاً للحركة النسبية لكتلتي الصدع ـ إلى نوعين ، شكل (٦ـ و) ، هما : صدوع مضربية يمينية الإزاحة (Right Handed Strike Slip Faults) ، وصدوع مضربية يسارية الإزاحة (Left Handedstrike Slip Faults).

ويمكن معرفة ذلك بالنظر بمحاذاة مضرب الصدع فإذا تحركت الكتلة التي على يمين الشخص قريبا منه ، وتحركت الكتلة التي على يساره بعيداً عنه كان الصدع المضربي يميني الإزاحة ، أما إذا تحركت الكتلة الموجودة على يمين الشخص بعيدا عنه وتحركت الكتلة التي على يساره إلى ناحيته كان الصدع المضربي يساري الإزاحة . ومن أهم الأمثلة على الصدوع المضربية كل من صدع سان أندرياس (San Andreas Fault) في كاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية الذي يزيد طوله عن ٦٠٠ ميل، أما مقدار إزاحته الجانبية الكلية فلا يزال تقديرها محل خلاف بين العلماء حتى الآن ، وكذلك صدع غور الأردن ووادي عربة الذي يمتد إلى البحر الأحمر جنوباً ، ويصل إلى حدود تركيا شمالاً ماراً بسهل البقاع في لبنان ثم سوريا ، وتقدر الحركة الجانبية عليه ـ حسب آخر المعلومات ـ بحوالي ٧٥كم .

يوضح الشكل (٧) ، أنظمة الصدوع حول الصفيحة العربية كأحد أمثلة مجموعة الصدوع المضربية يسارية الإزاحة مثل صدع البحر الميت ، وصدوع خليج عدن ، ومجموعة الصدوع المضربية يمينية الإزاحة مثل صدوع زاكروس المعكوسة وصدوع البحر العربي . كما يوضح الشكل أنظمة الصدوع والطيات المحدبة والمقعرة وأحواض الترسيب في شبه الجزيرة العربية.



● شكل (٧) أنظمة الصدوع حول الجزيرة العربية وداخلها .

التعرف على الصدوع

يمكن التعرف على أماكن الصدوع على سطح الأرض من خلال مشاهدة آثارها عقب حدوثها ، فهي تسبب إما ارتفاعاً أو انخفاضاً أو تحركاً في بعض الأجزاء من سطح القشرة الأرضية بعضها بالنسبة لبعض ، إلا أنه مع مرور الزمن تعمل عوامل التعرية على حت (Erosion) التضاريس البارزة مما يؤدي إلى زوال أثر الصدع ظاهرياً ، إلا أن هناك بعض المشاهدات التي يمكن من خلالها التعرف على حدوث تصدع في منطقة ما على سطح الأرض ، من أهمها مايلي :

١ ـ صقل جوانب (Slickenside) الصخور التي حدث عليها التصدع من تأثير الاحتكاك الحادث بين الصخور المكونة لجانبي الصدع عندما تهبط أو ترتفع أو تتحرك يميناً أو يساراً إحداهما بالنسبة للأخرى ، وكثيراً ما يصاحب هذا الصقل تخدش منتظم للسطح المصقول نتيجة للاحتكاك تحت ضغط مرتفع ، ويمكن تعيين اتجاه مرمى الصدع في حالة ما إذا كانت هذه الخدوش على درجة عالية من الوضوح .

٢ ـ تكون أنواع خاصة من الصخور مثل البريشيا والكونجلوميرات في منطقة الصدع، وهي عبارة عن صخور تهشمت وانسحقت نتيجة لحركة جانبي الصدع أحدهما ضد الآخر ، ثم تماسكت بما ترسب بين جزئياتها من مواد لاحمة ، وتسمى هذه الصخور بكونجلوميرات أوبريشيا الصدع (Fault Conglomerates and Fault Breccia) .

٣ ـ ظهور بعض الطبقات أو التراكيب الجيولوجية في منطقة ما ثم اختفاؤها فجأة على امتداداتها . وقد لوحظت هذه الظاهرة في إنجلترا أثناء عملية استخراج الفحم عندما وصلت بعض طبقات الفحم إلى نهاية مفاجئة .

٤ ـ التغير المفاجىء في السحن (Facies) الرسوبية ، أي وجود طبقة رسوبية في مواجهة طبقة أخرى تختلف عنها في التركيب والخواص الكيميائية والفيزيائية مثلما يحدث في المصائد النفطية في وجود صخر منفذ (Permeable Rock) في مواجهة صخر غير منفذ .

٥ ـ تكرار أو اختفاء بعض الطبقات الرسوبية في تتابع طبقي (Stratigraphic Sequence)

٦ ـ التغير المفاجىء في ميل الطبقات .

وبالإضافة إلى ما سبق توجد بعض الدراسات والقياسات والتفسيرات التي يمكن من خلالها معرفة الصدوع تحت السطحية مثل القياسات المغناطيسية والتثاقلية ، والزلزالية ، وتسجيلات الآبار (Well Logging) ، وحفر آبار استكشافية بالمنطقة ، ثم تفسير هذه البيانات وربطها بالبيانات الجيولوجية السطحية ومعلومات الاستشعار عن بعد وذلك لمعرفة أهم الصدوع التي تقطع كلا من الطبقات الرسوبية وصخور القاعدة المعقدة (Basement Complex) بالمنطقة .

اقتصاديات الطي والتصدع

تعد معرفة ودراسة أماكن الطيات والصدوع ذات أهمية اقتصادية كبيرة في عدة مجالات منها البحث عن النفط والمعادن، والمياه الجوفية ، وفي التعدين واستخراج الخامات ، وفي الكثير من العمليات الهندسية والإنشائية ، ومن أمثلة هذه المجالات مايلي :

● النفط

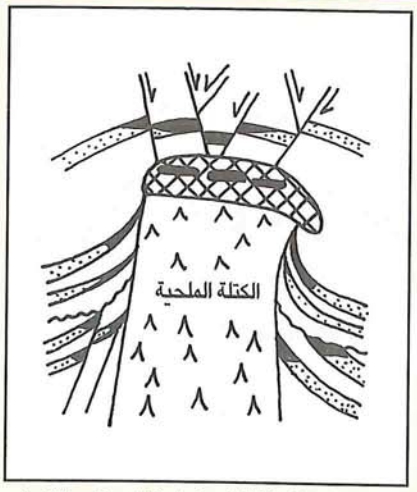
تعد المصائد التركيبية (Structural Traps) التي تكونت بفعل عناصر الطي أو التصدع من أنواع المصائد الرئيسة التي تعمل على اصطياد وحفظ النفط والغاز الطبيعي بها . وتقسم المصائد التركيبية إلى ثلاثة أنواع هي :-

* **مصائد طي :** وتشتمل على مصائد التراكيب الجيولوجية المحدبة مثل القبة والطية المحدبة المتماثلة وغير المتماثلة ، وتعد الطية المحدبة المستطيلة أكثر الطيات ملاءمة لتجمع النفط ، حيث إن جوانبها المنحدرة تساعد على تراكم النفط عند قمتها تحت الغطاء الصخري ، وتختلف الطيات في الحجم فمنها الصغير ذو الجوانب المنحدرة انحداراً شديداً ، ومنها الكبير ذو الجوانب بسيطة الانحدار .

تعد مصائد الطي المصدر الأساس للنفط في منطقة الشرق الأوسط ، وخاصة في حوض الترسيب العربي الكبير ، ومن أمثلتها طيات النعلة ، أبقيق ، القطيف ، خريص ، والحرملية بالمملكة العربية السعودية ، وطية دخان في قطر ، وطيات برجان ومجوي والأحمدي بالكويت . وتعد طية النعلة المحدبة العملاقة ـ بالمملكة ـ التي يمتد طولها حوالي ٢٤٠ كم ومتوسط عرضها حوالي ٢٥ كم من أهم الطيات لاحتوائها على حقل الغوار الذي يمثل أكبر حقول النفط في العالم .

* **مصائد صدعية :** وهي مصائد تكونت بفعل الصدوع (عادية أو معكوسة) سواء بطريقة مباشرة عندما تؤدي الحركة على جانبي الصدع إلى رفع أو خفض طبقة مسامية يتجمع فيها النفط أمام طبقة غير مسامية أخرى مما يؤدي إلى توقف هجرة النفط والاصطياد ، أو بطريقة غير مباشرة من خلال مشاركة الصدوع مع ظواهر تركيبية أخرى مثل الطي أو الميل أو تغير النفاذية لعمل مصيدة .

* **مصائد القباب الملحية :** وهي مصائد مركبة (تركيبية وطبقية) ، ويصنفها البعض على أنها مصائد تركيبية ، ناتجة عن اقتحام وتوغل الكتل الملحية في الرواسب التى تعلوها فتؤدي إلى حدوث طيات أو قبب وفوالق وكسور ، وتنتشر هذه المصائد في ساحل خليج المكسيك ، وشمال ألمانيا ، وإقليم إمبا (Emba) بالاتحاد السوفيتي السابق ، ويوضح شكل (٨) قطاعا في حقل به قبة ملحية في شاطىء خليج المكسيك مبيناً عدد البرك النفطية (Oil Pools) المتكونة بها ، ويلاحظ تجمع النفط في الطبقات المطوية في صورة قبة فوق عامود الملح ، وفي الصخور التي طويت إلى أعلى .



● شكل (٨) قطاع في قبة ملحية على شاطىء خليج المكسيك .

● الثروة المعدنية

تتركز الرواسب الاقتصادية الهامة الفلزية واللافلزية ـ عادة ـ في تراكيب جيولوجية معينة ، فمثلاً تعد الكسور بأنواعها وخاصة الصدوع من أنسب التراكيب التي تترسب فيها الخامات المعدنية في هيئة عروق (Viens) ، كما تستخدم بعض الصدوع الأخرى كقنوات تصل عن طريقها المحاليل الحاملة للخامات إلى أماكن ترسبها . هذا وقد تترسب بعض الخامات المعدنية بالقرب من قمم التحدبات حيث تتكون فراغات في الأجزاء القريبة من القمم نتيجة للطي الشديد الذي يحدث في هذه الأجزاء .

● الأعمال الهندسية

تعد دراسة وتحديد أماكن الطيات والصدوع من أهم عوامل اختيار أنسب الأماكن التي يقام عليها الكثير من المنشآت الهندسية ، وذلك للعمل على حفظها وسلامتها وعدم تعرضها للتصدع والانهيار أو تسرب المياه السطحية أو الجوفية إليها . ومن أمثلة هذه المنشآت المدن السكنية الجديدة ، والمنشآت الاستراتيجية كمحطات الكهرباء والمياه والمحطات النووية ، وخطوط السكك الحديدية ، والمطارات ، والأنفاق ، والخنادق، والطرق الجبلية ، وفي أعمال المحاجر والمناجم ، وإقامة السدود ، وقنوات ومواسير المياه أو الصرف الصحي ، ومد الكابلات البحرية .... وهكذا .