الفصل الرابع

الصدوع

المحاضرة الأولى

من الصفحة 86- 99

الفصل الرابع

الصـــــــدوع *Faults*

4 ــ 1 ــ مدخل:

تعد الصدوع محرضاً للنشـــاط الزلزالـــي، ويـــأتي اهتمامنـــا بهـــا عمليـــاً (Practical) كما هو علمياً (Scientifical) وكما هـــو جماليـــاً (Aesthetic). ويعتبر فهم الصدوع ذا أهمية بالغة في دراسات اســـتقرار الســـدود، الجســـور، المباني، محطات الطاقة الخ...، وذلك بسبب الآثار التدميرية التي تحدثها الصدوع النشطة على المنشآت والسكان الذين يقطنون بالقرب منها، (شكل 4 ــ 1)

شكل (4 ــ 1) تظهر الصورة الانزياح الأفقي على طول صدع انزلاق جانبي بالقرب من مصياف إلى الجنوب من حوض الغاب ــ يشير السهم إلى مقدار الحركة على طول الصدع لقناة جر مياه من العصر الروماني

تساعدنا دراسة الصدوع في إدراك عمليات بناء الجبال وفهم مظاهر التشوه وتقدم بذلك قيمة عملية هامة، فقد أحدثت الصدوع بعض الأشكال المذهلة على الأرض كما في جبال الألب الأوروبية ــ السلسلة الكندية. كما وتعد المسؤولة بشكل كبير عن نهوض الكتل في السلاسل الجبلية الكبيرة على الأرض.

4 ــ 2 ــ مظاهر عامة للصدوع *General features of faults:*

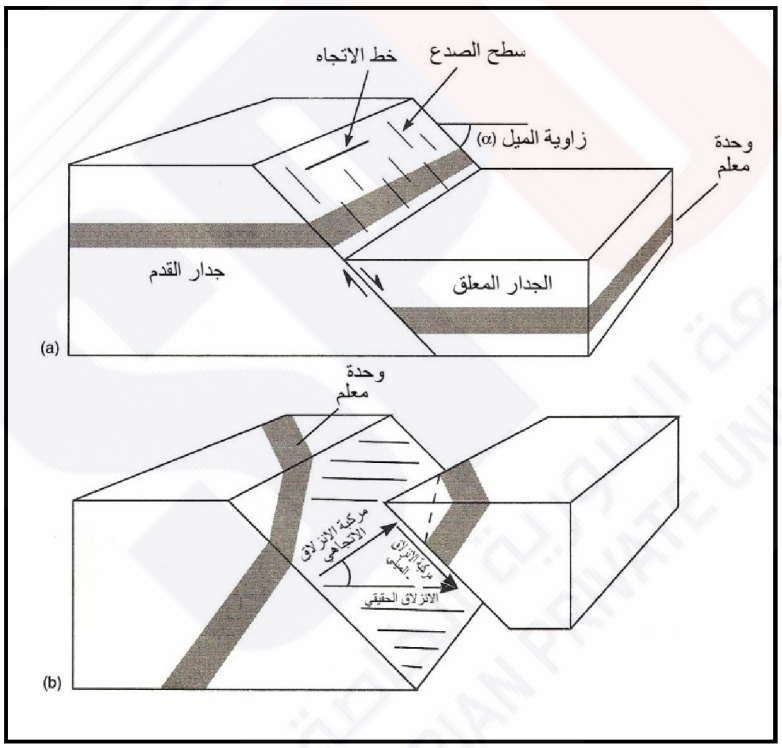
الصدع هو كسر يحدث في الصخر، يتميز بحركة موازية إلى مستوى الكسر، وفي بعض الأحيان، من الصعب تحديد ماهية هذه الحركة. وما هو الخيار الممكن أو غير الممكن في إطلاق تسمية صدع. فليس من الصعوبة تحديد الصدوع الكبيرة التي تسجل حركة بالكيلومترات. لكن الصعوبة تكمن في تحديد حركة لبضع سنتيمترات والتي يمكن أن تكون ذات أهمية في الدراسة، حتى الالتواءات الصغيرة تصبح ذات أهمية على صدع نشط، خصوصاً بالقرب من المباني أو السدود.

تحدث الصدوع في أشكال وأبعاد متعددة فقد تكون بطول مئات الكيلومترات أو بضع سنتيمترات قليلة، كما يمكن أن يكون أثر تكشفها مستقيماً أو متعرجاً وقد تحدث بأطراف حادة كالسكين، أو كصدوع بنطاقات قصية بسماكات مختلفة.

يمكن أن يتكون سطح الصدع أو نطاقات القص من تداخل التحام صخر مزحون مؤلف من الميلونيت أو البريشيا.

4 ــ 3 ــ التركيب البنيوي للصدوع *Anatomy of faults*:

ينبغي فهم تركيب الصدوع (الشكل 4 ــ 2) قبل الشروع في مناقشة التفاصيل المتعلقة بسلوك الصدوع أو بتحديد أنواعها، ترتبط معظم المظاهر الواضحة للتصدع بإزاحة بعض التوضعات العلام. وتحدث الإزاحة على طول سطح حركة حقيقي هو مستوي الصدع (Fault plane) الذي يحدث عليه الانزياح وعادة ما يكون غير مستوٍ، أو متعرجاً أو مقوساً، ويمكن قياس الميل الاتجاه على مستوي الصدع وبعض القياسات البنيوية الأخرى كالتحززات.



شكل (4 ــ 2)

a ــ تركيب الصدوع، تشير الأسهم إلى اتجاه الحركة النسبية.

b ــ صدع انزلاق منحرف، يظهر مركبات رمية الانزلاق الحقيقية وانحراف الرمية الحقيقية.

إذا لم يكن مستوي الصدع شاقولياً فالكتلة الصخرية التي تستند على مستوي الصدع تدعى بالجدار المعلق (hanging wall)، ويطلق على الكتلة الصخرية التي تقع تحت مستوي الصدع بالجدار السفلي (foot wall) أو جدار القدم، ويعود أصل هذان المصطلحان إلى العمليات المنجمية، وعلى اعتبار أن عامل المنجم كان يعلق مصباحه على ما يسمى بالجدار المعلق ويضع قدمه على الكتلة الصخرية التي سميت بجدار القدم.

زاوية ميل الصدع: وهي الزاوية المقيسة بين مستوي الصدع والمستوي الأفقي.

يوجد نوعان مختلفان من الصدوع:

ـ صدوع الانزلاق الميلي (dip-slip)، وصدوع الانزلاق الاتجاهي (strike-slip faults) (الشكل 4 ـ 2). يصنف الانزلاق على طول الصدع ـ الحركة الموازية لمستوي الصدع. ويكون انزلاقاً ميلياً عندما تكون الحركة إلى الأعلى أو إلى الأسفل بشكل موازٍ إلى اتجاه ميل الصدع، ويطبق اصطلاح انزلاق اتجاهي (strike-slip) عندما تكون الحركة موازية إلى اتجاه مستوي الصدع.

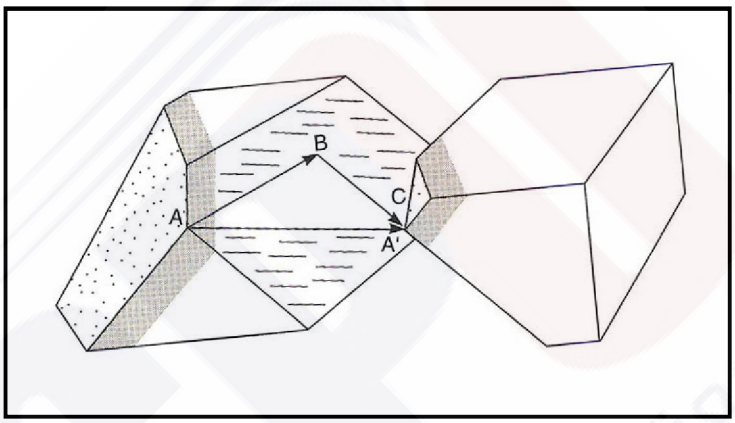
تبدي معظم الصدوع حركة انزلاق ميلي أو حركة انزلاق اتجاهي ويشكل اتحادهما صدوع الانزلاق المنحرف (oblique-slip).

تمثل الرمية الحقيقية (net-slip) أو الإزاحة الحقيقية (true displacement) إجمالي الحركة التامة المقاسة بشكل موازي لاتجاه الحركة.

لا يمكن في الواقع تحديد اتجاه الحركة المطلقة على الصدوع بدون معيار أولي، كأن تعرف بعض المعالم قبل زلزال ومن ثم تمسح وتحدد الحركة بعدئذٍ،

وقد يكون قياس انحراف الرمية الحقيقية على الغالب مفيداً في هذه الناحية. (الشكل 4 ــ 2 ــ b).

ــ الفاصلة (separation) مصطلح آخر يمثل مقدار المسافة الظاهرية المقاسة على سطح الصدع لطبقة أو عرق في اتجاه محدد (شكل 4 ــ 3) ويمكن تمييز فاصلة الاتجاه (strike separation) وفاصلة الميل (dip separation) ويمثل اتحادهما الفاصلة الكاملة (net separation).

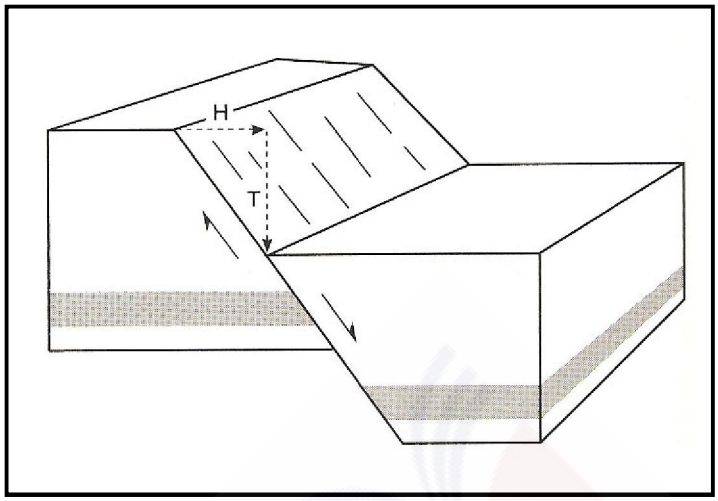


شكل (4 ــ 3) صدع انزلاق منحرف، يظهر الفاصلة الحقيقية A A' لطبقة معلم ومركباتها. فاصلة الاتجاه A B وفاصلة الميل B C مقاستان على مستوي الصدع.

إن مصطلحي الرمية الأفقية (heave) والشاقولية (throw) عادة ما يستخدمان لوصف المركبات الأفقية والشاقولية لفاصلة الميل.

تصف الرمية الأفقية (heave) المركبة الأفقية لفاصلة الميل مقاسة عمودياً على اتجاه الصدع.

كما تمثل الرمية الشاقولية (throw) المركبة الشاقولية المقاسة في المستوي الشاقولي الحاوي على الميل (الشكل 4 ــ 4).



شكل (4 ــ 4) مركبات فاصلة الميل ــ للرمية الأفقية H والشاقولية T

4 ــ 4 ــ المظاهر العامة على سطح الصدع:

Common features on fault surfaces:

تظهر بعض المظاهر ا لعامة على سطح الصـــدع كالأخاديـــد (grooves) والنمو الليفي للفلزات وكلاهما يصطفان بالتوازي مع اتجاه الحركة، وعـــادة مـــا ينتظمان في سلسلة من خطوات توافق اتجاه الحركة لكتلة الصدع المقابلة.

تدعى السطوح المصقولة بـــ (slickensides) وتظهـــر عليهـــا الخـــدوش (striations) والتي تدعى أيضاً (slickelines) (الشكل 4 ــ 5).

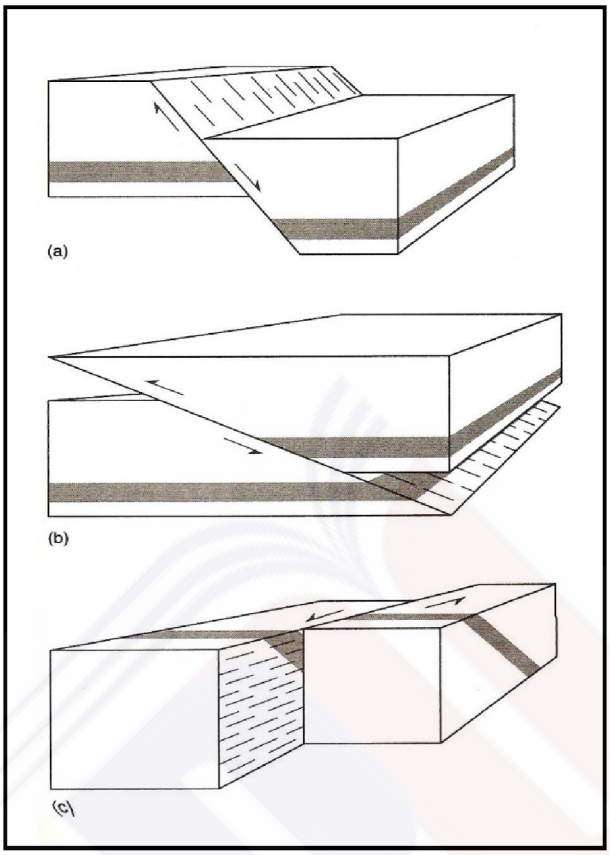
ويدعى اصطفاف الفلزات على سطح الحركة بـــ (slickenfibers) وتعتبر هذه المظاهر جميعها كأنواع من التخطط (lineation) الذي يوضح اتجاه الحركة النسبية مثل (شمال ــ جنوب أو شمال شرق ــ جنوب غرب) على طول السطح.

شكل (4 ــ 5) اصطفاف فلز الكالسيت على سطح الصدع لتشكيلة كالبرغ في الديفون الأسفل ــ وادي Hudson نيويورك. (يمثل دفتر الحقل ــ المقياس) (Hatcher)

يمكن أن تستخدم التدرجات الصغيرة لتحدد اتجاه الحركة، وعادة ما يكــون اتجاه التدرجات هو اتجاه حركة السطح المقابل، وغالبــاً مــا تســجل الســطوح المصقولة حادثة الحركة الأخيرة على الصدع.

4 ــ 5 ــ تصنيف أندرسون: *Andersonian classification*

حدد الجيولوجي البريطاني (آرنست أندرسون، 1942) تصــنيفه للصــدوع ضمن ثلاث فئات: الصدوع العاديــة (Normal faults)، الصــدوع التراكبيــة (Thrusts faults) والصدوع الملتوية (wrench) أو صدوع الانزلاق الاتجاهي (Strike –slip faults) (الشكل 4 ــ 6). (Hatcher, 1995)

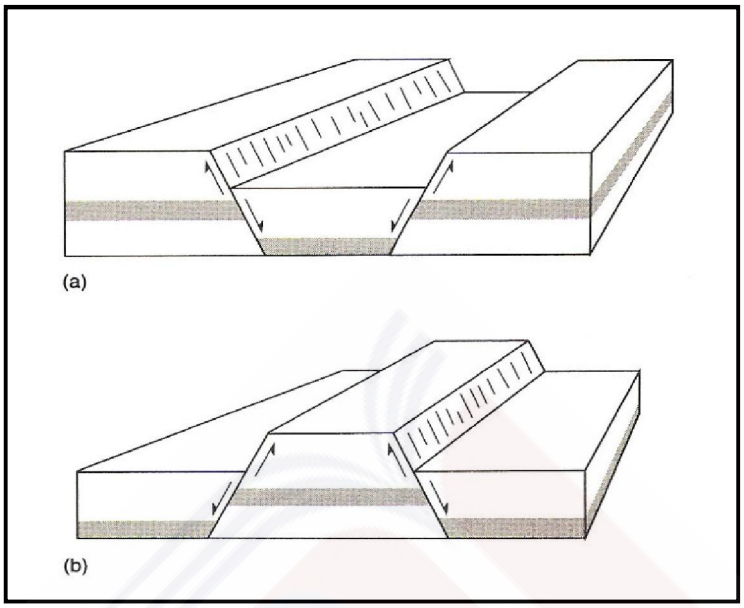


شكل (4 ــ 6) تصنيف آندرسون للصدوع.

a ــ عادية، b ــ تراكبية، c ــ انزلاق اتجاهي.

أ ــ الصدوع العادية:

وهي صدوع انزلاق ميلي، بحيث يتحرك الجدار المعلق إلى الأسفل بالنسبة إلى جدار القدم. وفي حين يتكون الغور (graben) من كتلة سقطت إلى الأسفل ما بين صدعين عاديين شبه متوازيين يميلان باتجاه بعضهما (الشكل 4 ــ 7 ــ a). ونجد بالمقابل /النجد/ (horst) وهو عكس الغور، ويتكون من صدعين عاديين شبه متوازيين، بحيث يميلان بعيداً عن بعضهما وتبقى الكتلة بين الصدعين مرتفعة (الشكل 4 ــ 7 ــ b) تبدي الصدوع العادية، عادة مظهراً مقعراً نحو الأعلى بحيث تميل بشدة بالقرب من السطح بينما تتسطح مع العمق.



شكل (4 ــ 7) a ــ بنية غور، b ــ بنية نجد.

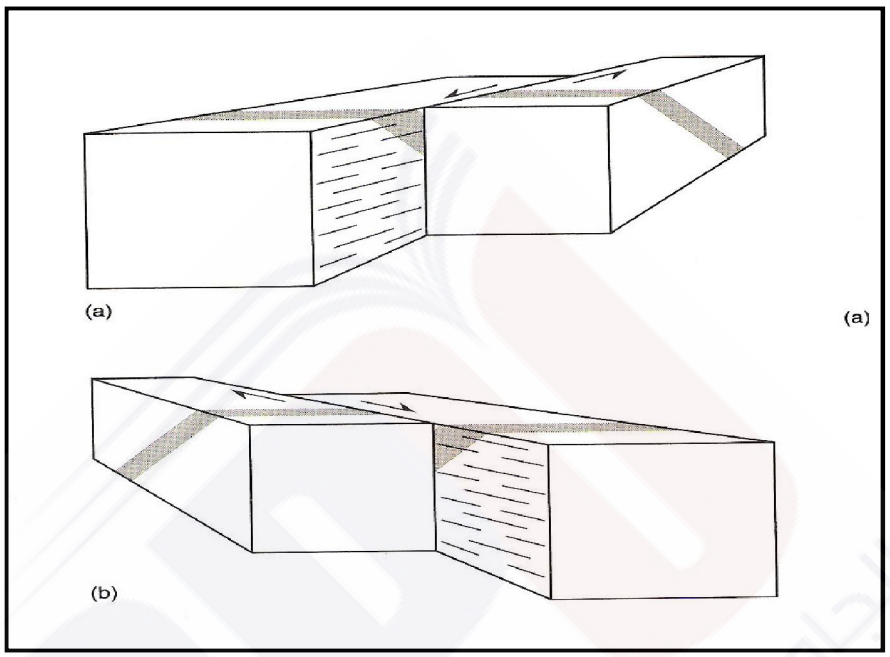
ب ــ الصدوع التراكبية:

يتحرك الجدار المعلق إلى أعلى بالارتباط مع جدار القدم في الصدوع التراكبية والعكسية (الشكل 4 ــ 6 ــ b) ويعامل بعض الجيولوجيين هذان المصطلحان بشكل منفصل، صدوع تراكبية وصدوع عكسية، بحيث تحدد الصدوع التراكبية بزاوية ميل 30° أو أقل، والصدوع العكسية بميل معتدل أو حاد ما يعادل (45 أو أكثر)، ولهما اتجاه الحركة نفسه كما في التراكبية، ولهذين الصنفين من الصدوع آلية متماثلة.

ج ــ صدوع الانزلاق الاتجاهي:

وصف أندرسون فئتين من صدوع الانزلاق الاتجاهي على أساس اتجاه الحركة النسبية للملاحظ عبر مستوي الصدع (الشكل 4 ــ 8). صدوع الانزلاق الاتجاهي حيث تتحرك الجهة المقابلة للناظر إلى اليمين وتدعى (dextral) أو

صدوع انزلاق اتجاهي يميني جانبي (strike-slip faultsright-lateral) وتلك التي تتحرك فيها الجهة المقابلة إلى اليسار وتدعى (sinistral) أو صدع انزلاق اتجاهي يساري جانبي. (Left-lateral strike-slip faults).



شكل (4 ــ 8)

a ــ صدع يساري sinistral (جانبي ــ يساري)

b ــ صدع يميني dextral (جانبي ــ يميني)

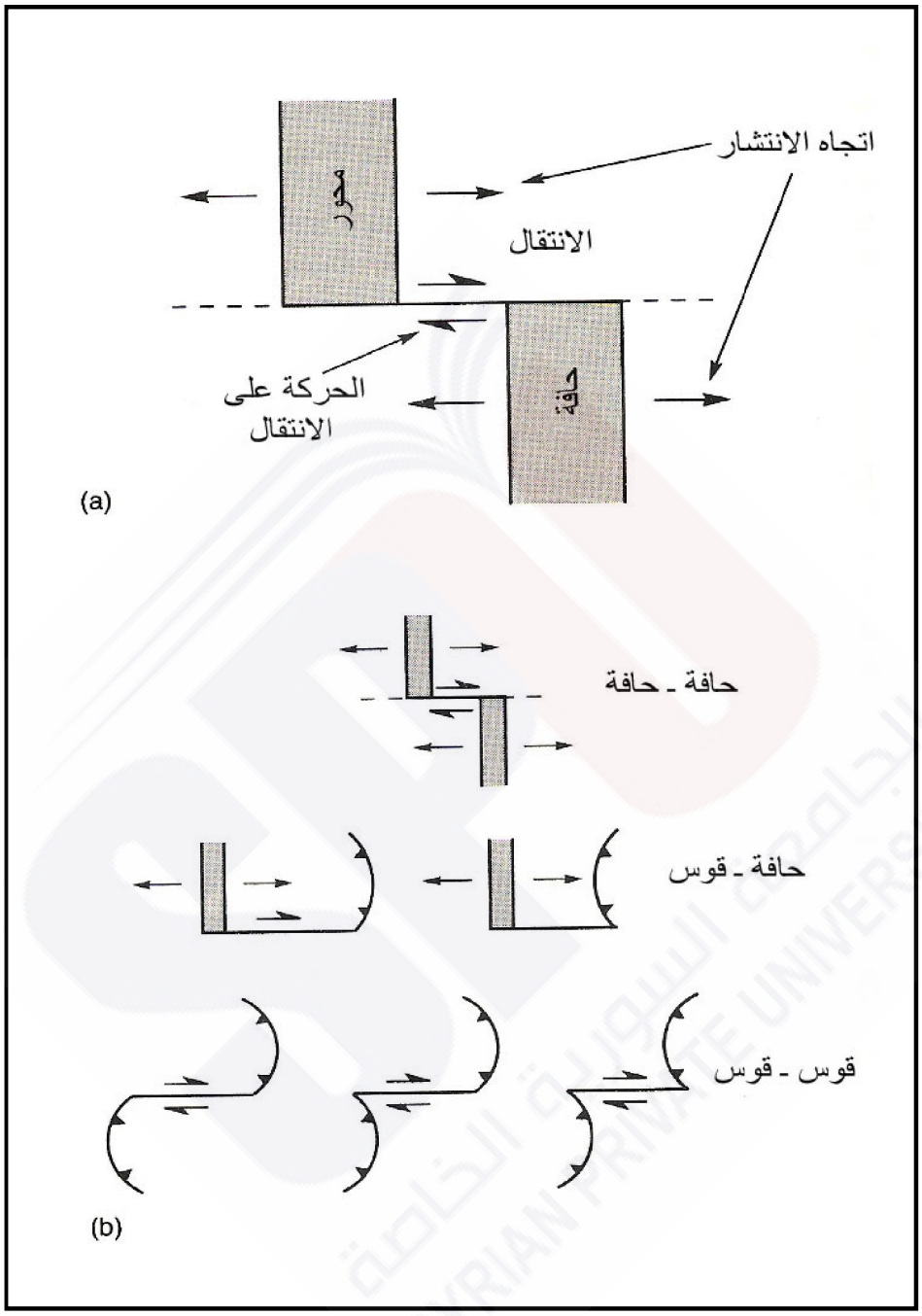
لاحظ، فيما إذا تحرك الناظر إلى الجهة المقابلة لكتلة صدع مفترضة من جهة الملاحظة الأولى ومن ثم استدار ليواجه الصدع ثانية فإن نفس الحركة النسبية سيتم ملاحظتها مرة أخرى، وهكذا فيما إذا نظر الملاحظ عبر مستوي الصدع، يرى الجهة المقابلة، حيث يقف، وقد تحركت إلى اليمين فيكون الصدع يميني جانبي، عادة ما تكون صدوع الانزلاق الاتجاهي ذات ميل شديد كما على طول الصدع الألبي في نيوزيلندا وصدع سان ــ أندرياس في كاليفورنيا.

د ــ صدوع الانتقال (التبدلي) Transform faults:

وهي نوع من صدوع الانزلاق الاتجاهي، اكتشفت من قبل (Tuzo wilson, 1965)، كونها تمثل نتيجة ضرورية لتعويض فروقات في الحركة بين الصفائح الليثوسفيرية (الشكل 4 ــ 9 ــ a). وقد لوحظت في المحيطات، بخلاف معظم الصدوع الأخرى وهي تربط محيطاً بآخر، كما حددت عدة أنواع من صدوع الانتقال التبدلي فهي تتضمن صدع حافة ــ حافة (ridge-ridge)، حافة قوس (ridge-arc)، قوس ــ قوس (arc-arc).

هـ ــ الصدوع السُلمية echelon faults:

وتصنف أنواع من صدوع أخرى كالصدوع السُلمية (echelon faults) والتي تكون متوازية تقريباً واحداً إلى الآخر لكنها تحدث في مقاطع قصيرة غير مترابطة، وتتداخل هذه الصدوع أحياناً.



شكل (4 ــ 9)

a ــ الحركة على صدوع الانتقال (التبدل).

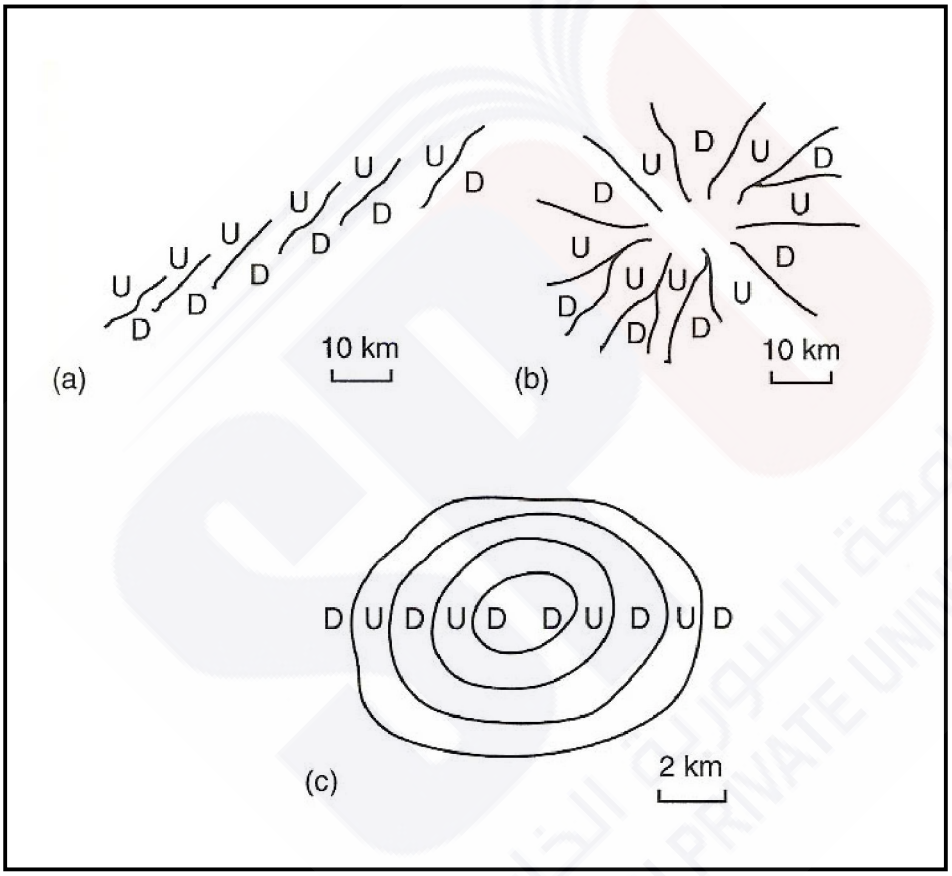
b ــ أنواع من صدوع الانتقال (التبدل).

و ــ الصدوع الشعاعية Radial faults:

تتقارب باتجاه نقطة مفردة.

ز ــ الصدوع المتمركزة Concentric faults:

حيث تتمركز حول نقطة (شكل 4 ــ 10).

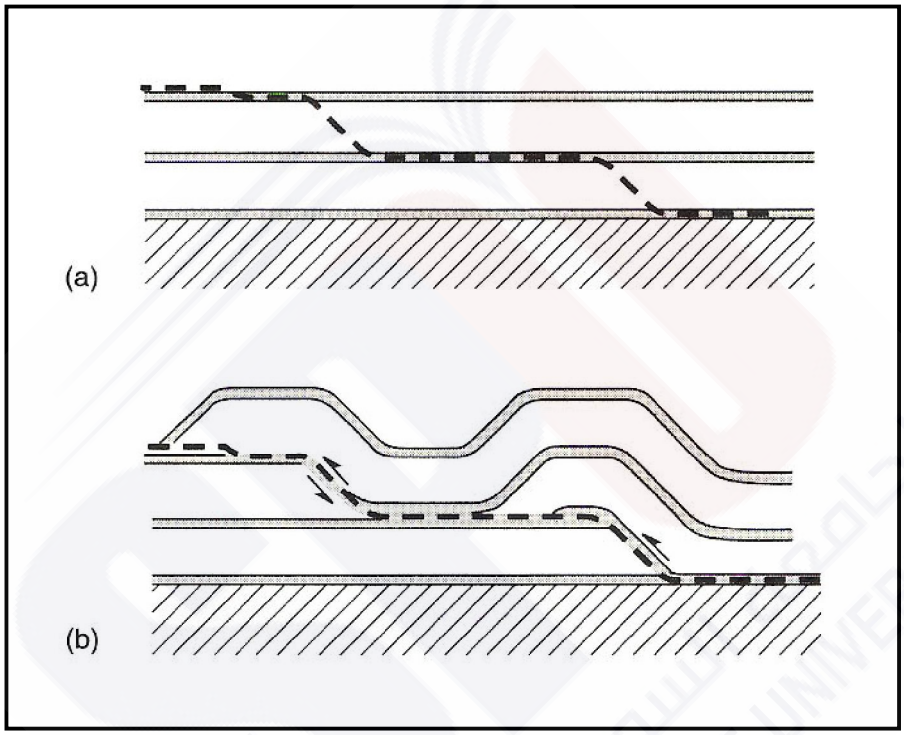


شكل (4 ــ 10)

a ــ صدوع سلمية بخطوات يمينية. b ــ صدوع شعاعية. c ــ صدوع متمركزة.

ح ــ صدوع التطبق أو صدوع مستوي التطبق Bedding faults:

وتتبع التطبق أو تحدث موازي لاتجاه مستويات التطبق (الشكل 4ـــ 11). وكثير من الصدوع العادية والتراكبية هي صدوع تطبق وذلك بسبب حدوثها على طول النطاقات الضعيفة موازية للتطبق.



شكل (4 ــ 11) صدع التطبق (مستوي) في مقطع عرضي

a ــ يظهر قبل الحركة مسار تكسر الصدع (الخط المنقط) التي سوف ينتشـــر بشكل موازٍ لبعض الطبقات (الضعيفة وينتقل بحدة أكثر عبر طبقات أخرى (أقوى).

b ــ صدع تشكل بحركة انزلاق ميلي للجدار المعلق فوق جدار القدم مشـــكلاً تراكباً.