الفصل الرابع

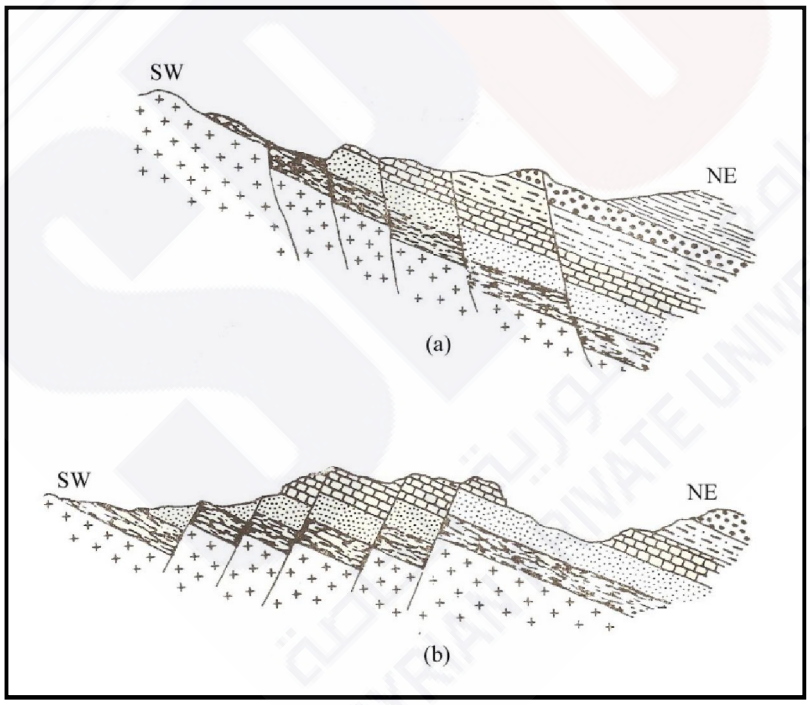
الصدوع

المحاضرة الثانية

من الصفحة 100- 122

4 ــ 6 ــ المجموعة الصدعية Fault set:

تتألف المجموعة الصدعية من عدة صدوع منفردة ذات وضعيات فراغيـــة متساوية تقريباً، وتتعاقب بمسافات قصيرة نسبياً، حسب ترتيب معامد لاتجاههـــا، وبالتالي فإن طبقة المعلم تظهر في المقطع الشاقولي مزاحة على الأغلـــب بشـــكل سلمي (الشكل 4 ــ 12). وتكون المجموعات الصدعية ذات صفة تباعدية (شدية) أو تقاربية (ضغطية) وذلك حسب طبيعة الصدوع المؤلفة لها (عادية أو عكسية)، وهي تصنف بالاعتماد على العلاقة بين اتجاه ميول الصدوع واتجاه ميول الطبقات إلى نوعين هما:



شكل (4 ــ 12) المجموعة الصدعية

a ــ مجموعة صدعية متوافقة حيث الطبقات والصدوع تميل نحـــو الشـــمال الشرقي.

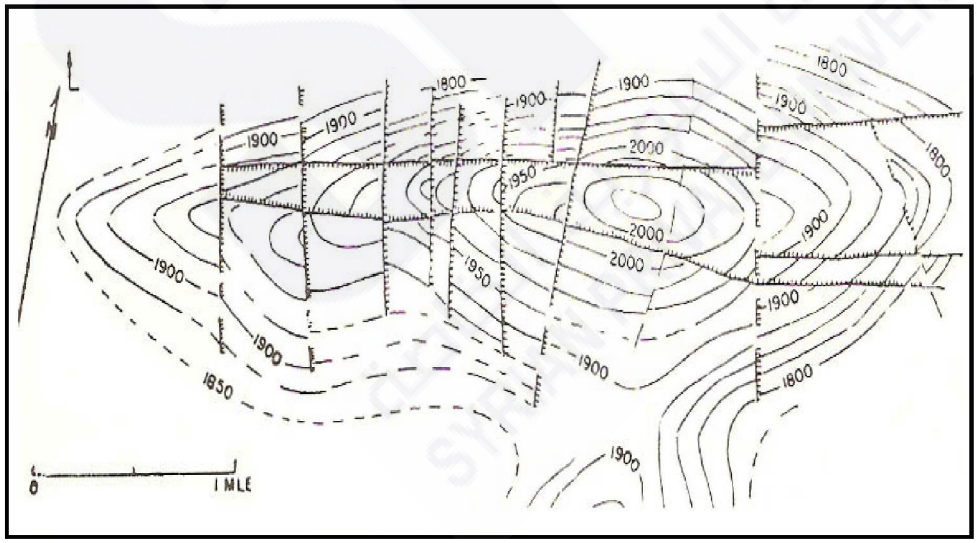
b ــ مجموعة صدعية لا متوافقة حيث الطبقات تميل نحو الشـــمال الشـــرقي بينما تميل الصدوع نحو الجنوب الغربي.

ـ المجموعة الصدعية المتوافقة (Synthetic faults): يتوافق اتجاه ميل الصدوع المؤلفة لهذه المجموعة مع اتجاه ميل أجزاء طبقة المعلم المصابة بها (الشكل 4 ـ 12 ـ a).

ـ المجموعة الصدعية اللامتوافقة (antithetic faults): ويكون اتجاه ميل الصدوع المؤلفة للمجموعة معاكساً لاتجاه ميل أجزاء طبقة المعلم (الشكل 4 ـ 12 ـ b).

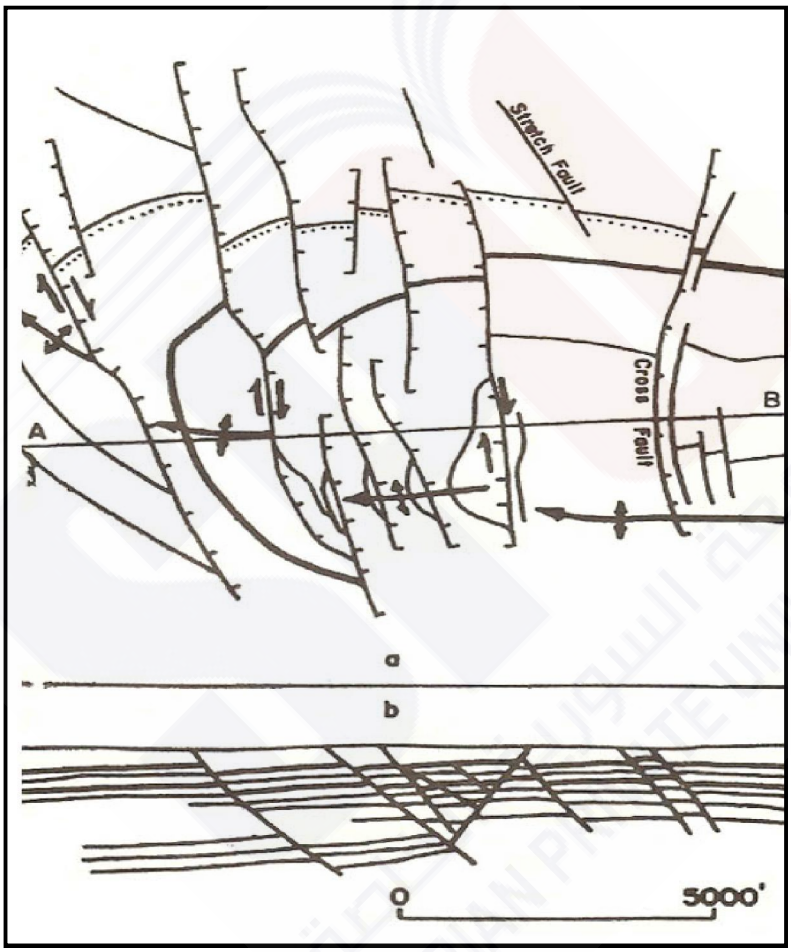
4 ـ 7 ـ الصدوع الطولانية والصدوع العرضية:

يكثر وجود هذه الصدوع على المحدبات، وهي تشكل معظم صدوع الجاذبية، حيث يعد الهبوط الداخلي لمركز النهوض في الوسط من الأمور المميزة لمثل هذه البنيات (الشكل 4 ـ 13) التي تنتشر في الانهدامات المركزية لطيات جبال سورية ولبنان وهي تتمثل في منطقة الزبداني وسرغايا والبقاع والغاب.



شكل (4 ـ 13) هبوط المناطق الداخلية لمركز المحدب

وقد اقتُرح أن ضغط القص (Compressional shear) أدى إلـــى انحنـــاء النهاية اليسارية المرتفعة (الشكل 4 ــ 14 ــb, a) وأدخل هذا الانحناء النـــاهض مركبة انزلاق جانبي يميني على عدد من الفوالق المستعرضة وسبب كذلك انزياح الأثر المحوري في حالة المحدب، وتشابه هذه الحالة انزياح الصدع المســـتعرض في منطقة التنايا.



شكل (4 ــ 14) تطور صدوع الجاذبية المستعرضة

4 ــ 8 ــ الحركات الناجمة عن الصدوع (الحركة النسبية):

Relative movement:

يشكل مفهوم الحركة النسبية أي حركة الكتلة العلوية بالنسبة للكتلة السفلية، الأساس في تصنيف الصدوع إلى عادية ومقلوبة واتجاهية أو منحرفة.

يبين الشكل 4 ــ 15 الاتجاهات الممكنة الموافقة لمختلف أنواع الحركات التي تنجم عنها.

ــ تتوافق الحركة 1 مع صدع عادي.

ــ تتطابق الحركة 2 مع صدع مقلوب.

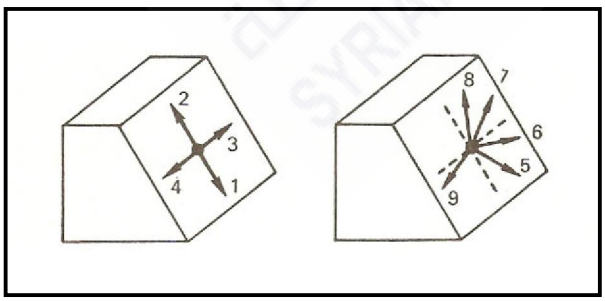
ــ تتوائم الحركتان 3 و 4 مع حركة انزياحية (3) يمينية dextral والثانية (4) يسارية sensetral.

ــ تقابل الحركة (5) صدع عادي يميني زاوية الميل <45°.

ــ تمثل الحركة (6) صدع انزلاق يميني عادي زاوية الميل <45°.

ــ تعكس الحركة (7) صدع مقلوب يميني زاوية الميل <45°.

ــ توضح الحركة (9) صدع انزلاق يساري عادي.



شكل (4 ــ 15) مظهر الحركات الناجمة عن الصدوع

4 ــ 9 ــ معايير التصدع *Criteria for faulting:*

يثبت حدوث الصدوع في منطقة ما، غالباً، من خلال تمييز مظاهر محـــددة، ومن ثم تشخيص هذه الصفات وتحليلها، وقد تحتاج إلى معيارين واضحين.

الزلازل أو الزحف الأرضي وارتباطهما بالتكسر. وبما أن معظم الصدوع لا تعتبر نشطة بالتالي نحتاج إلى معايير أخرى، رغم وجود كثير من المناطق التـــي من المتعذر ملاحظة سطح الصدوع مباشرة بسبب الغطاء النباتي أو التوضـــعات الحديثة والأتربة.

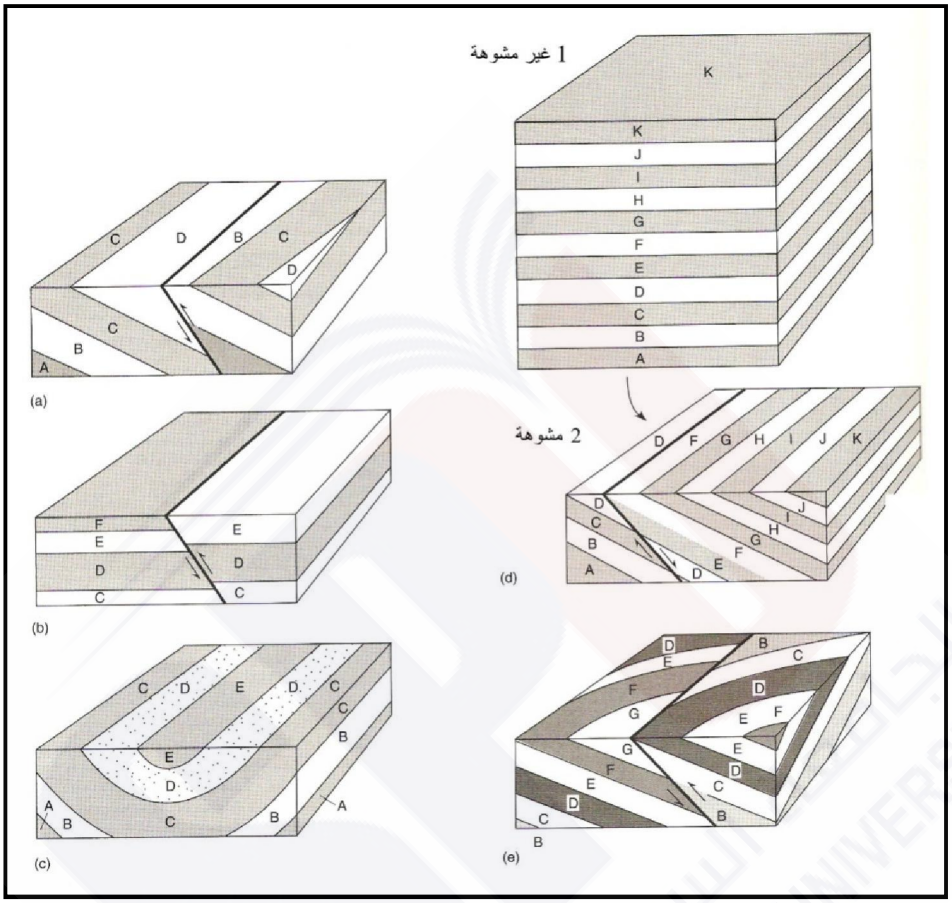
وقد اعتمد في إيضاح الصدوع على المبادئ التالية:

4 ــ 9 ــ 1 ــ التكرار أو الحذف repetition and omission:

إن تكرار الوحدات الصخرية أو حذفها أو إزالة العلامات المميزة أو التعاقب في الصدوع يشكل دلائل على وجود الصدوع لكن لا بد من التأكد أولاً أن حدوث هذا التكرار لا يرتبط بعملية الطي. يسبب التكرار بالتصدع عموماً حالـــة غيـــر منتظمة (الشكل 4 ــ 16) فالوحدات DCBA، تمثل فيها A الطبقة الأقـــدم وقـــد تراصفت ضمن وحدات DCBA مع A أو B من التعاقب على القمة. تبقـــى D تحت التعاقب (الشكل 4 ــ 16 ــ a) في حـــين يمثـــل (الشـــكل 4 ــ 16 ــ c) التعاقب بالطي والذي يحدث تعاقباً منتظماً CDEDC في الخريطـــة. وبطريقـــة مماثلة يمكن أن تسقط وحدات من التعاقب عندما تستمر الطبقات في مكان آخر.

وعلى كل حال، فإن التكرار أو الحذف يمكن أن يظهـــر بوضـــوح بتمييـــز وحدات علام ببعض الخصائص الفيزيائية التي تسمح لنا بربط وإظهار الإزاحة أو الحذف للوحدات الصخرية التي حدثت فعلياً. وبهذا الخصوص يمكن للمســـتحاثات

المرشدة والنسيج والتركيب الصخريين أو أية مظاهر مميزة أخرى في الوحـــدات الصخرية أن تخدم كوحدات علام.



شكل (4 ــ 16)

a ــ تكرار أو حذف وحدات ستراتيغرافية.

b ــ انقطاع علامات ستراتيغرافية.

c ــ التكرار في الطي، لاحظ التناظر في نموذج التكشف.

d ــ حذف لوحدة بالتصدع في منطقة واحدة التي يمكن أن تظهر في مكان ما من التعاقب.

e ــ انقطاع البنيات.

4 ــ 9 ــ 2 ــ الميلونيت أو الكاتاكلاستmylonite or cataclasite:

يعد حدوث صخور الصدع الميلونيت أو البنية التهشمية (أو كليهما) على طول نطاق الصدع معياراً جيداً آخر للتصدع حيث يؤدي انزلاق الكتل الصخرية عبر الصدوع إلى تحطم ميكانيكي للصخر وذلك بشدات متفاوتة، وتتألف الكاتاكلاست من حبات صخرية ذات حجوم مختلفة غارقة في أمية أكثر نعومة، وتوجد على امتداد بعض النطاقات الصدعية أما الميلونيت فهو صخر ناعم الحبيبات يتشكل من خلال التحطم والطحن الناجم عن الحركة عبر سطح الصدع.

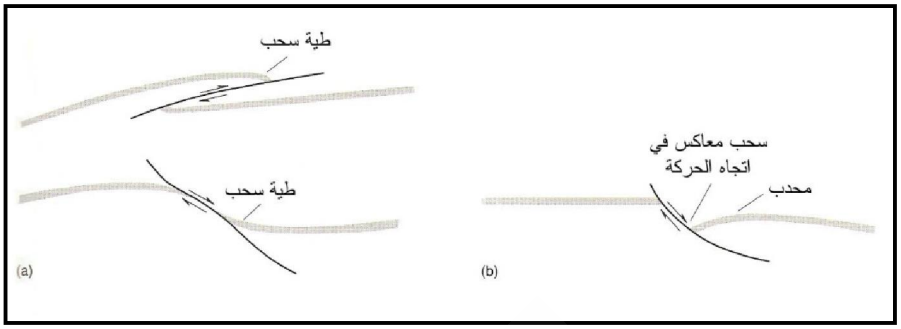
4 ــ 9 ــ 3 ــ العروق والسيلسة ونمو الفلزات

Veins, silicification, Mineralization growth:

يمثل وجود العروق والسيلسة ونمو الفلزات دلائل أخرى لإظهار عملية التصدع حيث يمكن للسوائل المتحركة على طول نطاق الصدع أن تحدث تبادلات بينها وبين الصخور المحيطة مما يؤدي إلى نمو حبات فلزية على طول نطاق التكسر. ويجب توخي الحذر عند استخدام هذا المعيار وربطه مع دلائل أخرى لأنه يمكن لهذه الظواهر أن تحدث في تكسرات غير صدعية.

4 ــ 9 ــ 4 ــ السحب Drag:

ينشأ على طول الصدع وحدات ذات تشوه انحنائي، تظهر وكأنها مسحوبة إلى الصدع أثناء الحركة، ويمكن تحديد اتجاه حركتها، لأن طيات السحب تبدي عدم انتظام في اتجاه حركتها، يحدث السحب في الصدوع التراكبية حيث تظهر الطبقات مسحوبة بميل نحو الأسفل في الجدار المعلق أو ميل نحو الأعلى في جدار القدم وباتجاه مستوي الصدع (الشكل 4 ــ 17 ــ a) تحدث النتيجة المعاكسة مع طيات السحب في الصدوع العادية.



شكل (4 ــ 17)

a ــ السحب على صدع تراكبي وصدع عادي.

b ــ سحب عكسي على صدع عادي. (منظر مقطع عرضي)

يحدث السحب المعاكس (Reverse drag) على طول بعض الصدوع العادية المنحنية (الشكل 4 ــ 17 ــ b) حيث يظهر التطبق وقد سحب نحو الأسفل موازياً للحركة على طول الصدع، ينشأ السحب المعاكس بحركة المواد إلى فجوات تم حدوثها على طول الصدع، مسببة إزاحة دورانية على مقاطع مائلة بشدة ومظهرة سحباً يميل نحو الأعلى.

4 ــ 9 ــ 5 ــ السطوح المصقولة والخدوش

Slickensides and silke nlines

تشير السطوح المصقولة والخدوش على طول سطح الصدع غالباً، إلى الحركة الحاصلة وإلى اتجاه الحركة الأخيرة وهي تنتج عن الاحتكاك بين كتلتي الصدع حيث يعمل الصقل على إعادة تنظيم سطحي للفلزات بالمقياس المجهري. يلاحظ في بعض الأحيان وجود درجات صغيرة ذات امتداد معامد للخدوش وقد تكون واضحة أو قد تكون صغيرة جداً أحياناً. تفيد هذه الدرجات في تحديد اتجاه الحركة، حيث أن الحركة تحدث عبر الجهة المنبسطة باتجاه الانحدار الشديد للدرجة. وبشكل عام فعند ملامسة السطح المصقول بأصابع اليد وتحريكها باتجاه

الحركة فإن السطح يبدو أكثر نعومة من الاتجاه المعاكس، مفترضين أن الكتلة التي نلمسها هي الكتلة الثابتة وأن الكتلة الأخرى (غير الموجودة) هي المتحركة.

4 ــ 10 ــ آليات الصدوع *Fault Mechanics:*

حُددت ثلاثة أنماط صدعية، من خلال ارتباطها مع الجهود القصية والرئيسة في الأرض. وقد أوضح وفقاً لذلك منظومة الإجهاد في مجموعتين:

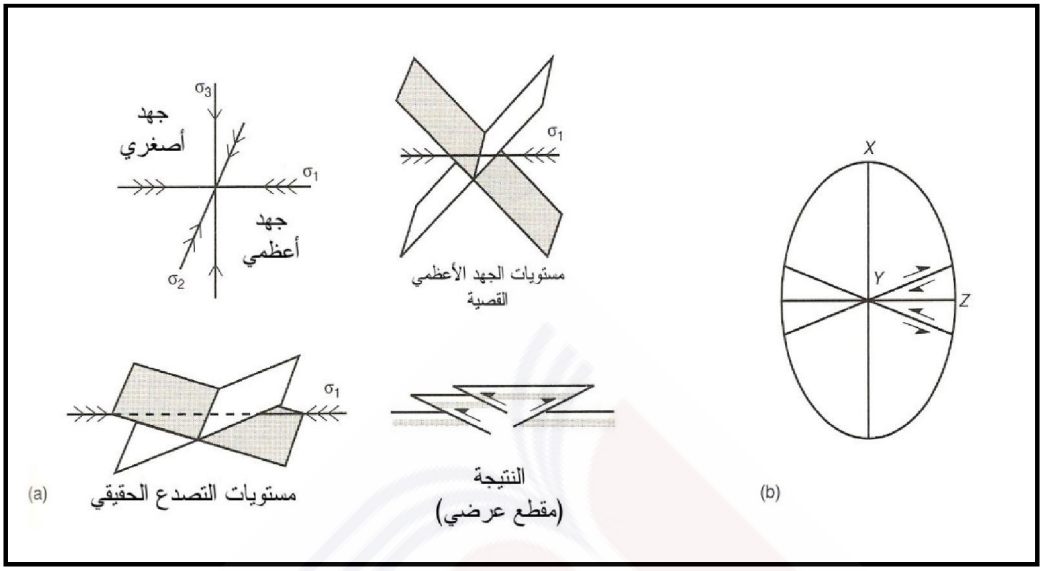
1 ــ قوى الجاذبية.

2 ــ الإجهاد الأفقية المطبقة والتي تبقى ثابتة في أي مستوى أفقي لكنها تزداد مع العمق بسبب الازدياد في وزن عمود الصخر، وفيما يلي آليات هذه الأنماط:

4 ــ 10 ــ 1 ــ آلية الصدوع التراكبية

Thrust fault Mechanics:

يمكن تحديد آلية الصدوع التراكبية المثالية بأنها ناجمة عن تأثير الجهدين الرئيسيين الأعظمي والمتوسط المتجهين أفقياً، مع الجهد الرئيسي الأصغر المتجهة شاقولياً (الشكل 4 ــ 18). وبهذا يتحدد الصدع التراكبي بالانضغاط الأفقي يتوافق إهليلج الانفعال المثالي مع شكل هذا الجهد الموافق لمستويات صدع باتجاه 45° أو أقل بالنسبة للأفق الذي يتوازى فيه مع محوري الانفعال والجهد المتوسطين. تتكون مستويات الصدع عادة في زوايا أصغر بسبب عدم التجانس في الصخور وتعقيد عمليات الانفعال.



شكل (4 ــ 18)

a ــ اتجاهات الجهود الرئيسة في الصدوع التراكبية.

b ــ مظهر إهليلج الانفعال للتراكب. لاحظ أن y يكون أفقياً وعمودياً على مستوى الصفحة. المنظر يوازي اتجاه الصدع.

يظهر في مستويات الصدع مستويا قصٍ لكن عادةً ما يسيطر مستوي قص وحيد مسبباً حدوث الصدع، ويمكن أن يسبب مستوي القص الآخر مجموعة تكسرات مع إزاحة ثانوية والنتيجة هي صدع تراكبي تتحرك فيه الكتلة العليا (الجدار المعلق) إلى الأعلى بالنسبة إلى الكتلة السفلى (جدار القدم).

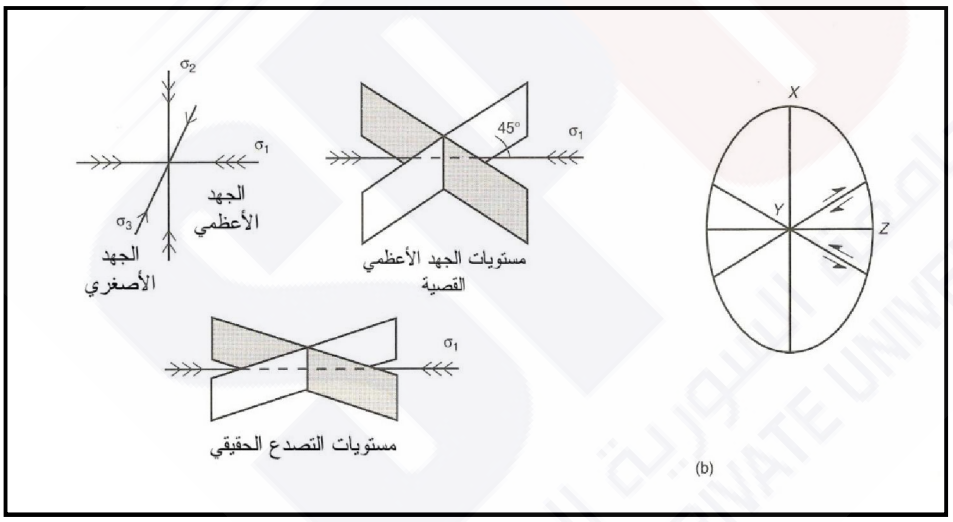
4 ــ10 ــ 2 ــ آلية صدوع الانزلاق الاتجاهي:

Strike-slip fault Mechanics:

عندما تكون محاور الجهد الأعظمي والأصغري الانضغاطية الرئيسية ــ أفقية. ومحور الجهد المتوسط الرئيسي شاقولياً، فالحالة مناسبة لصدع انزلاقي اتجاهي (الشكل 4 ــ 19). وهكذا مع جميع الصدوع فإن محور الجهد الرئيسي المتوسط سوف يتوضع ضمن أي مستوي صدعي متشكل. وبالنتيجة يجب أن

يكون شاقولياً هنا، ويتضمن أيضاً إهليلج الجهد الموافق لصدع الانزلاق الاتجاهي مستويات شاقولية من جهود قصية أعظمية والتي تتوضع بزاوية 45° أو أقل إلى محور الجهد الأصغري.

ينتشكل القص عادة في زوايا حادة بشكل أكبر وفي تناظر حول محور الانفعال الأصغري (ومحور الجهد الأعظمي) وذلك بسبب الاتحاد الأفضل لجهود القص العالية وللجهود العمودية الضعيفة ولهذا يوجد في الصخور المتساوية الخواص وبالإضافة إلى ذلك يمكن أن يلعب الانفعال غير المتجانس دوراً هاماً في تشكل الصدوع لمعظم الكتل الصخرية.



شكل (4 ــ 19)

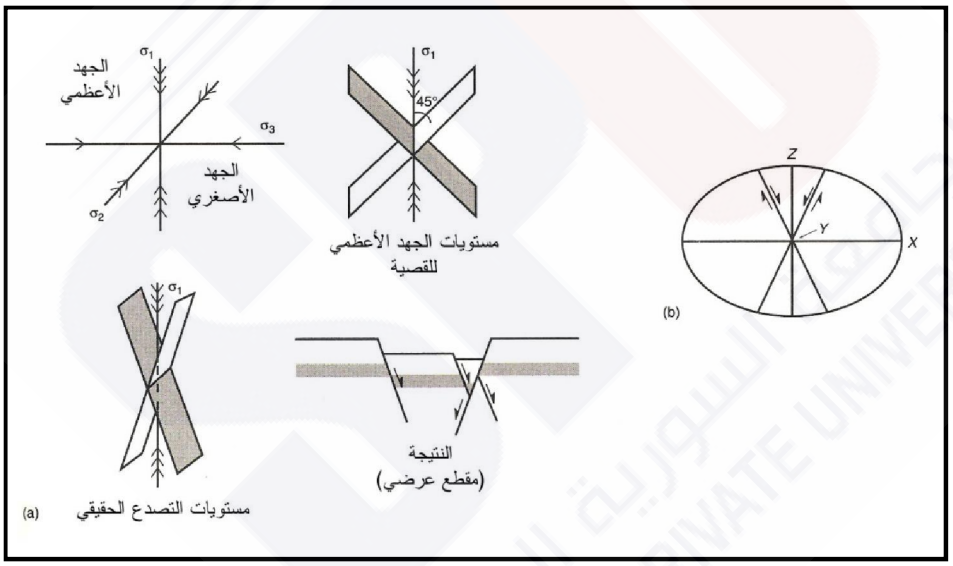
a ــ اتجاهات الجهود الرئيسة لصدع الانزلاق الاتجاهي.

b ــ إهليلج الانفعال لصدع الانزلاق الاتجاهي. y يكون عمودياً في القشرة ويتجه عمودياً على الصفحة هنا.

4 ــ 10 ــ 3 ــ آلية الصدوع العادية:

Normal faults Mechanics

يتضمن ميكانيك الصدوع العادية الشد في اتجاه أفقي واحد، مع جهد أعظمي رئيسي (σ_1) شاقولي (الشكل 4 ــ 20). ويتوقع أن تكون مستويات القص بزاوية 45° أو أقل بالنسبة إلى المحاور الرئيسية الأعظمية والأصغرية للجهد وللانفعال على التوالي. وبناءً على ذلك يتشكل مستويان صدعيان مائلان يتوضعان بتناظر حول المحور الشاقولي. ويستخدم مستويا القص هذان بالتناوب في نطاقات الصدوع العادية المعقدة.



شكل (4 ــ 20)

a ــ اتجاهات محاور الجهد الرئيسة للصدع العادي.

b ــ إهليلج الجهد للصدع العادي. y أفقي وعمودي على الورقة، يكون المنظر موازياً لاتجاه الصدع.