الفصل الرابع

الصدوع

المحاضرة الثالثة

من الصفحة 112-122

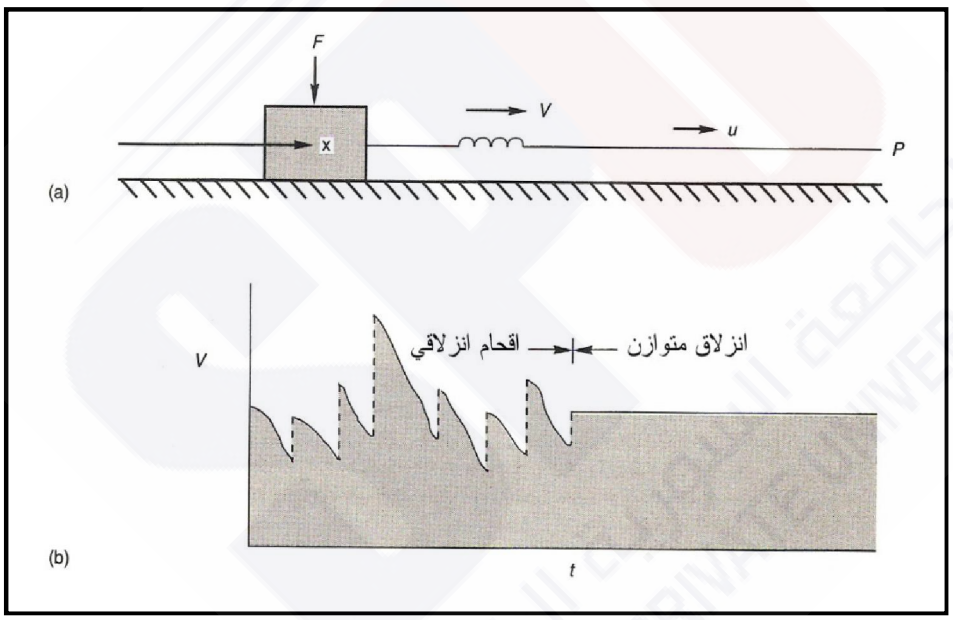
4 ــ 11 ــ آلية الحركة *Movement Mechanisms*:

تظهر الحركات على الصدوع بآليتين مختلفتين على الأقل:

1 ــ بواسطة الإقحام الانزلاقي (stick slip) (انزلاق احتكاكي غير مستقر).

2 ــ بواسطة انزلاق متوازن (stable sliding) (زحف مستمر).

تتضمن آلية الإقحام الانزلاقي (الشكل 4 ــ 21) حركة مفاجئة على الصدع بعد تراكم الجهد لفترة طويلة، تكون هذه الآلية وما يرافقها من ارتدادات مرنة، كما يعتقد، مسبباً في حدوث الزلازل.



شكل (4 ــ 21)

a ــ لتحريك هدف مربوط بنابض بواسطة سلك قوي (p) يجب أن يتجاوز مقدار الاحتكاك (f) قبل أن يتحرك الهدف. كما يجب أن السلك يشد بالسرعة (u) حتى يتم تجاوز الاحتكاك على السطح وسوف يتحرك الهدف بسرعة عالية عندما يتراخى النابض. إذا بقي النابض مشدوداً والكتلة لم تسمح بتوقف الحركة فإن الكتلة سوف تستمر بالحركة بواسطة الانزلاق المتوازن. ومن جهة أخرى إذا توقفت الكتلة حتى لوقت قصير، فإن الاحتكاك سوف يتغلب ثانية وتتضمن الدورة إقحام انزلاقي الذي سوف يعود.

b ــ مخطط الزمن (المحور x) مقابل السرعة (v) يوضح آلية إقحام انزلاقي وآلية انزلاق متوازن.

كما تتضمن آلية الانزلاق المتوازن حركة غير متقطعة على طول الصـــدع، وهكذا يتحرر الجهد باستمرار ولا يتراكم.

إن هذا الاختلاف في السلوك يمكن أن يحدث على طول مقاطع مـــن نفـــس الصدع النشط الخاضع إلى تأثير انزلاق متوازن. وحيثما تكون الميـــاه الجوفيـــة وافرة، فبإمكانها التحرك بواسطة الإقحام الانزلاقي، تبدي بعض أجزاء من صدع سان أندرياس في كاليفورنيا سلوك إقحام انزلاقي والبعض الآخر يبـــدي انزلاقـــاً متوازناً.

يمكن أن تحدد آلية الحركة أيضاً عوامل أخرى أكثر تعقيداً كتقـــوس ســـطح الصدع. كما يمكن أن يسبب سحب المياه الجوفية بالقرب من مقاطع صدوع نشطة في انتقال الآلية من انزلاق متوازن إلى إقحام انزلاقي، وبـــذلك تـــزداد خطـــورة حدوث الزلزال. ويمكن أن يكون العكس صـــحيحاً أيضـــاً مـــع وجـــود بعـــض الصعوبات فقد افترضت عمليات ضخ السوائل في نطاق الصدوع كطريقة لتحرير طاقة الانفعال المرنة المتراكمة، وليقلل بالتالي احتمالية حدوث الزلازل الكبيـــرة، لكن نسبة السوائل المفترض ضخها في الصدع تبقى غير معروفة. إذ يرفع ضـــخ السوائل في نطاق الصدع ضغط السائل ويخفض فعالية الجهد العمودي، لكـــن إذا كان ضخ السائل سريعاً جداً سوف يحرض زلازل ضعيفة إذ يسمح بإتمـــام آليـــة الإقحام الانزلاقي عوضاً عن الاستنزاف البطيء للجهد المتراكم بواسطة الزحف.

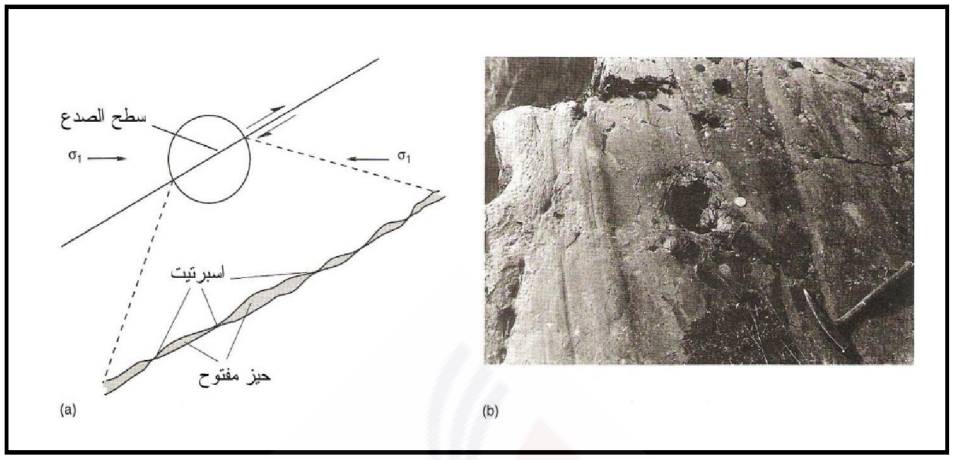
افترضت نتائج بعض الدراسات المجراة على ســـوائل محرضـــة للنشـــاط السيسمي في (Rangely, colorado) أن الأرض في حالة إجهاد عالي قريبة من التكسر وذلك بسبب الازدياد في ضغط السوائل الذي يحدث تأثيراً مهماً.

4 ــ 12 ــ سطوح الصدوع والانزلاق الاحتكاكي:

Fault surfaces and frictional sliding

تتصف سطوح الصدوع بين كتلتين كبيرتين أنها ليست ناعمة تماماً ولا مستوية على الإطلاق. خصوصاً في المقياس الميكروسكوبي، تدعى الشواذات والشوائب في المقياس المجهري وحتى المقياس الكبير بالأسبيرتيت (asperities) (الشكل 4 ــ 22). تزداد المقاومة للانزلاق الاحتكاكي بسبب ازدياد عدم تعرج السطوح الحادة، كما يسبب أيضاً بنقصان نسبة مساحة السطح الحقيقي للصدع بالاحتكاك. وقد اقُترح أنه وبسبب الأسبيرتيت حتى أفضل السطوح المصقولة لن تنطبق على بعضها ويلاحظ ازدياد الأسبيرتيت المتكسر في مساحة الاحتكاك. يمكن أن تكون مساحة الاحتكاك الأولي بحوالي 10 % لكن عندما تبدأ الحركة، تُزال السطوح غير المنتظمة وتزداد مساحة الإزاحة والاحتكاك، وبسبب أن الأسبيرتيت يزود السطح بقوة احتكاك وبمقاومة للحركة، لذلك يجب أن يتكسر كي تحدث الحركة.

أوضحت تجارب ميكانيك الصخور على سطوح الصدوع بأن المقاومة للاحتكاك الانزلاقي تزداد بعد بدء الحركة (تجارب قساوة الصخور) أو بازدياد كمية الأسبيرتيت في نطاق الاحتكاك، لكنها أوضحت أيضاً أن ذلك يتم بالاعتماد على قيم السرعة ومقدار الإزاحة. إن هذه الزيادة يمكن أن تنتج عن مساحة الاحتكاك الأعظمية ويتطلب لذلك تكسراً أكبر للأسبيرتيت لبدء الحركة لكن قوة نطاق الصدع تتناقص ثانية مع استمرار الحركة.



شكل (4 ــ 22)

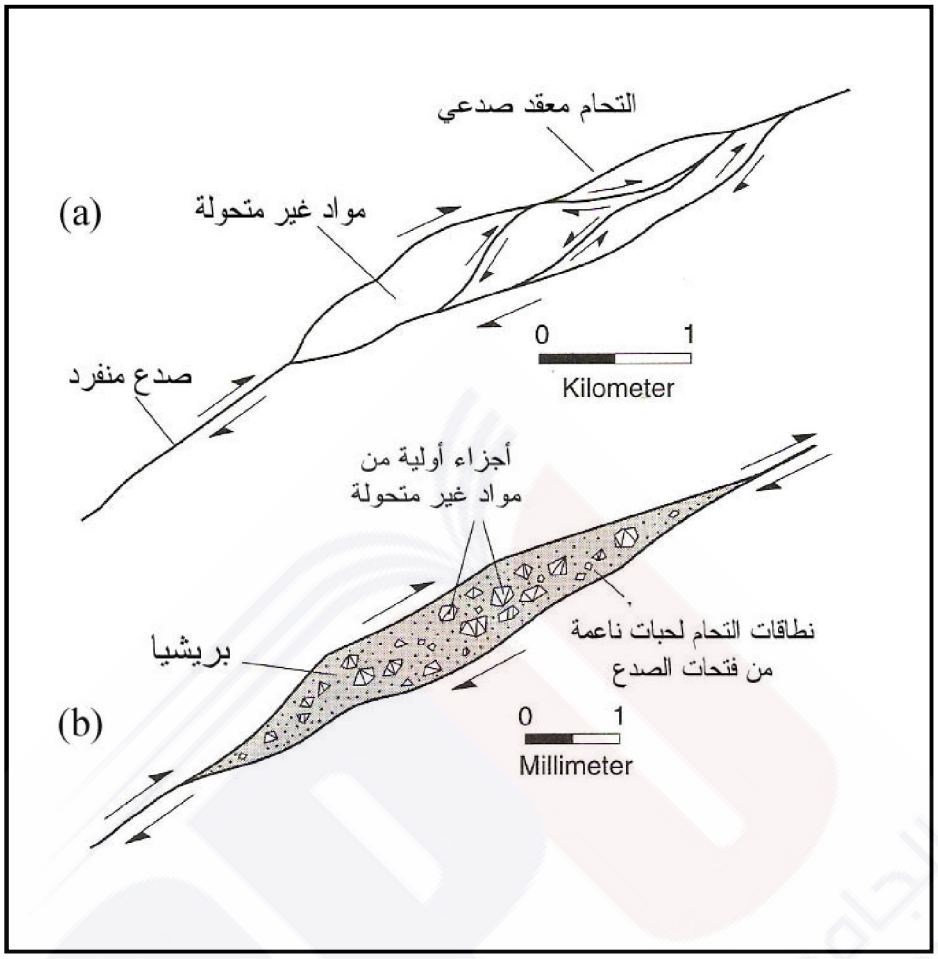
a ــ الأسبرتيت ومنطقة سطح الاحتكاك على طول الصدع.

b ــ فتحات وأخاديد على جدار القدم لصدع تراكبي قريب من الأفقي ــ جبال الجورا ــ سويسرا. نجمت الفتحات بواسطة الشوائب ــ الأسبرتيت على سطح جدار القدم والتي تحطمت وأزيلت أثناء الحركة أو بواسطة الأسبرتيت في الجدار المعلق الذي اقتلع المواد من جدار القدم. (Hatcher)

4 ــ 13 ــ الصدوع اللدنة والتكسرية:

Brittle and Ductile faults

تأخذ معظم مناقشات آلية الصدوع وجهة دراسة الصدوع التكسرية في 5 ــ 10 km من القشرة العليا للأرض. تتكون الصدوع في هذه القشرة العليا من حركة سطحية مفردة أو من التحام معقد لتكسرات سطحية (الشكل 4ــ 23).

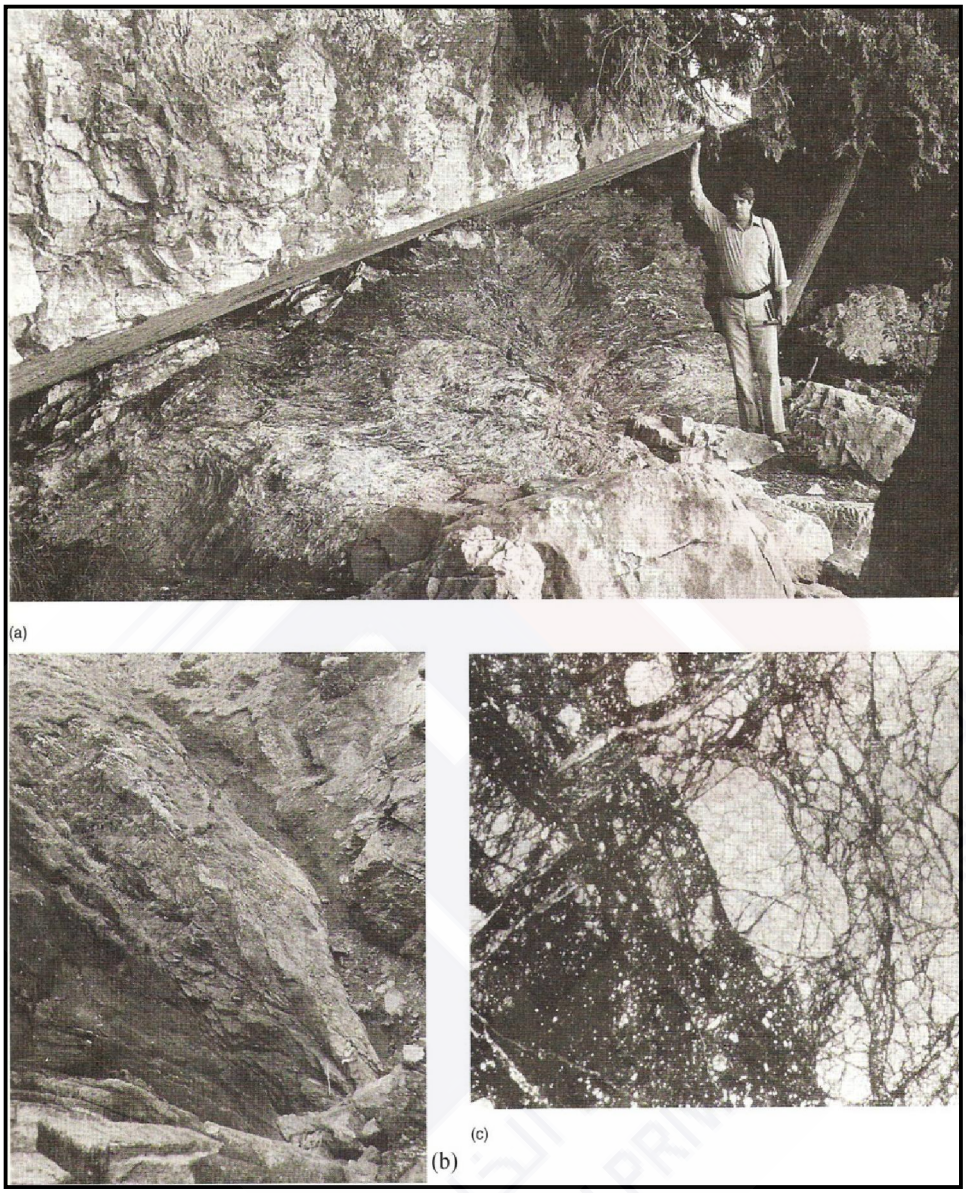


شكل (4 ــ 23) خصائص الصدوع التكسرية في القشرة العليا

a ــ منظر خارطة لنطاق صدع يظهر توزع سطوح الحركة وطريقة تغير نطاق الصدع من صدع مفرد إلى نطاق التحام صدعي.

b ــ منظر مغلق للمشهد (a)، لاحظ بقاء أجزاء المواد الداخلية غير المشوهة في المقياس الميكروسكوبي.

يمكن أن يكون للصدع المنعزل (المفرد) تماس حاد كالسكين (شكل 4 ــ 24).



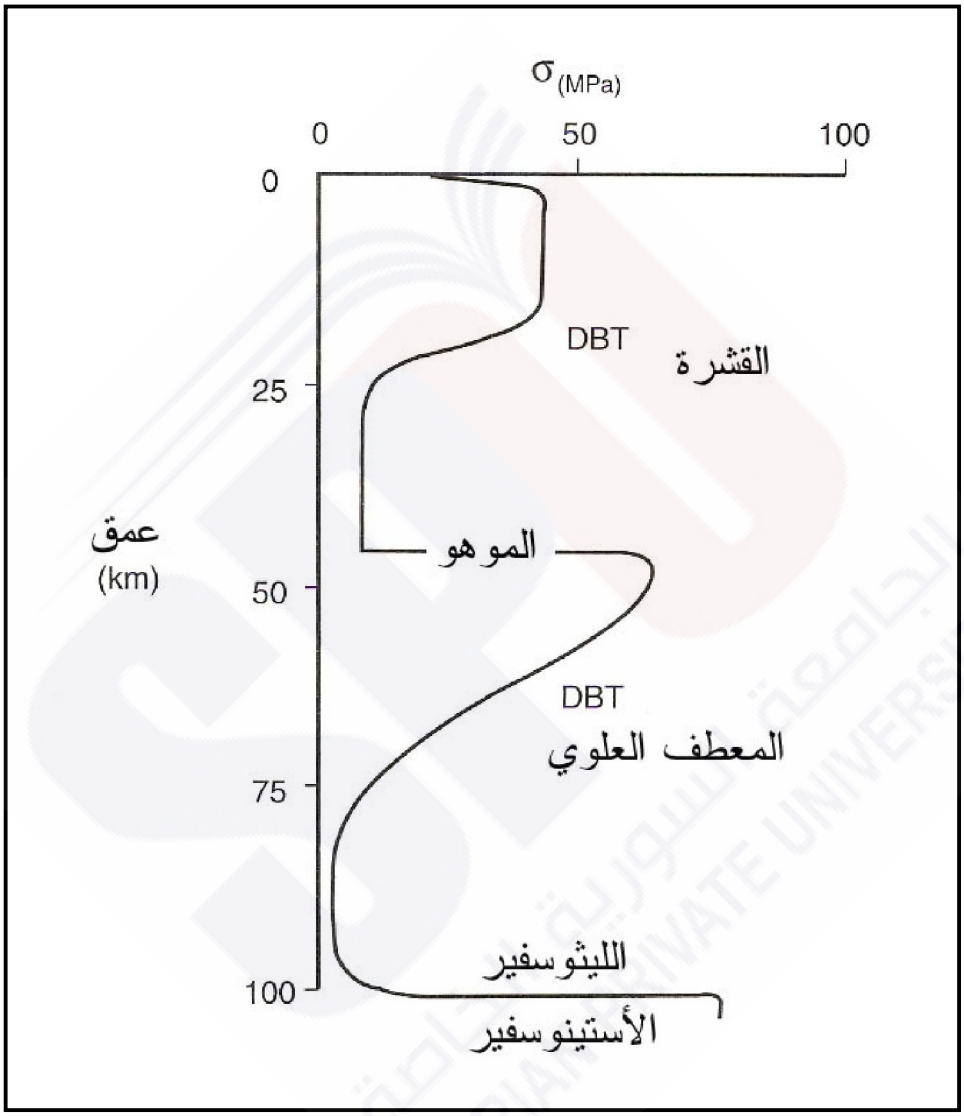
شكل (4 ــ 24)

a ــ صدع حد السكين، على طول تراكب نبع البوابة العالية الأردوفيسي الأوسط، Vermont.

b ــ نطاق كاتا كلاستي على طول صدع تكسري جنوب ويلز.

c ــ كاتاكلاست من نطاق قص Homestake كولورادو (Hatcher).

أو يمكن أن يتكون من نطاق كاتاكلاستي تهشمي، يعتقد أن النطاق الانتقـــالي (تكسر ــ لدونة) يحدث في أعماق (10 ــ 15 km) في القشرة القارية (شكل 4 ــ 25). لكن استثنائياً يمكن أن يحدث محلياً بالقرب من السطح.



شكل (4 ــ 25)

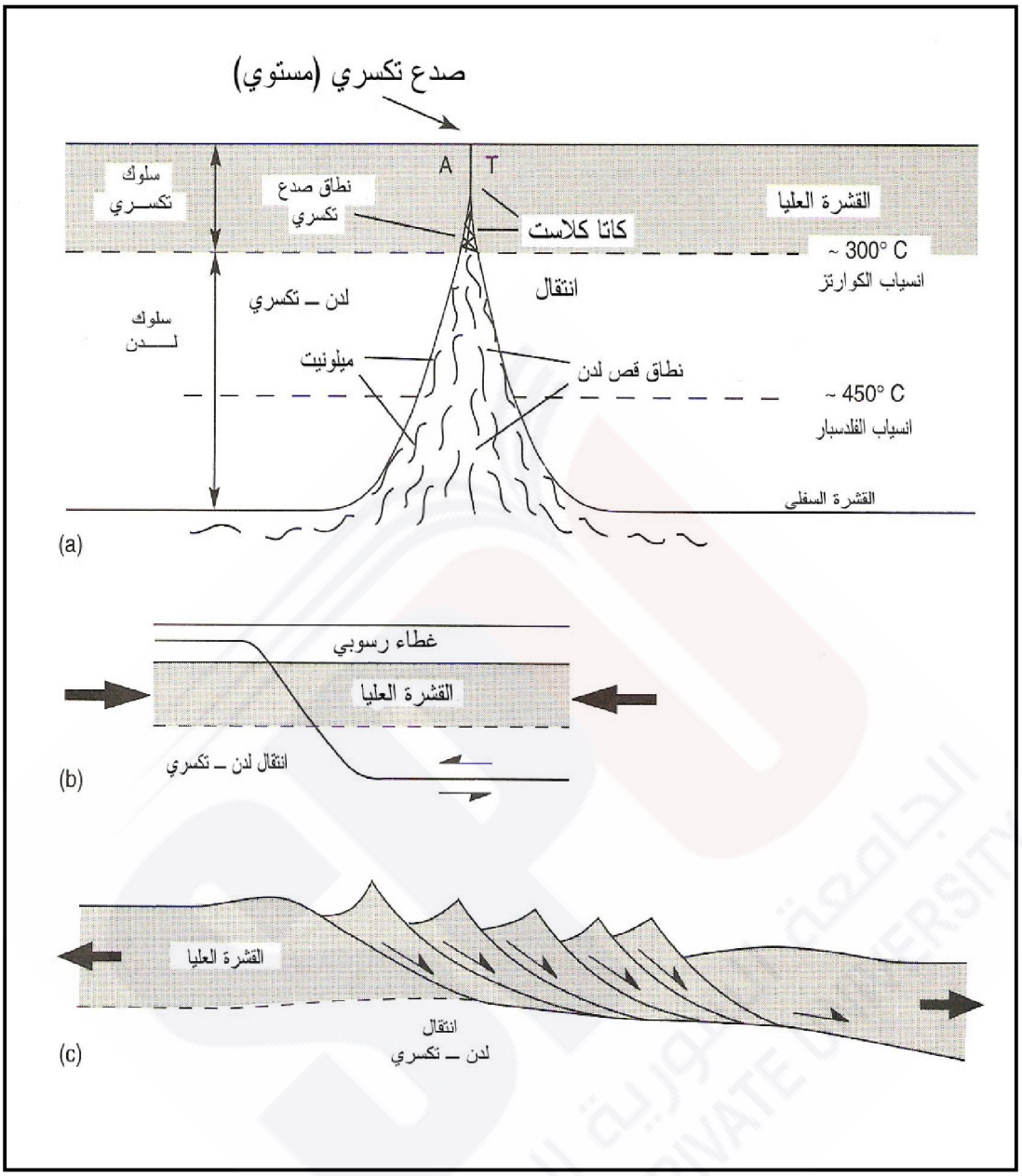
نموذج للقشرة والمعطف العلوي وضع على أساس السلوك الميكانيكي لكوارتز جاف ورطب بالنسبة للقشرة، ولأوليفين جاف بالنسبة للمعطف.

DBT ــ انتقال لدن ــ تكسري.

ــ تتضمن الصدوع التي تخترق القشرة أو معظم أجزائها كــلا الســلوكين التكسري واللدن، حيث يخترق الصدع الانزلاقي الاتجاهي الكبير النشــط ســان أندرياس في كاليفورنيا والصدع الأناضولي في تركيا والصدع الألبي في نيوزيلندا معظم الليثوسفير، وكذلك يشكل أيضاً حدود الصــفائح (الشــكل 4 ــ 26 ــ a) وتتكون من نطاقات صدوع تكسرية على السطح لكن وفي أعماق كبيرة يمكن أن يحدث الميلونيت.

يمكن أن توجد الدلائل المباشرة عن الانتقال في كلا نمطي صخور الصــدع التكسري واللدن على السطح ــ اليوم ــ على طول بعض الصدوع كالألبي فــي نيوزيلندا ونطاق ميلونيت (Borrego spring – santa Roza) في كاليفورنيا.

إن الصدوع التراكبية التي تزاح فيها الكتل الكبيرة من الصخور المبلــورة، يمكن أن تنشأ عبر أو أسفل نطاق انتقال لدن ــ تكسري، وتنتشر داخــل القشــرة العليا التكسرية شكل (4 ــ 26 ــ b)، وأخيراً، يمكن أن يزاح الغطاء التراكبــي التام إلى صخور القشرة العليا كما في مناطق الأحواض والسلاسل حيث يمكن أن تتشكل صدوع عادية على مقياس إقليمي وتنتشر في نطاق انتقال تكسري ــ لــدن (الشكل 4 ــ 26 ــ c).



شكل (4 ــ 26)

a ــ سلوك صدع انزلاق اتجاهي في القشرة العليا والسفلى.

A ــ بعيداً عن الملاحظ. T ــ ياتجاه الملاحظ.

b ــ نشوء تراكبات كبيرة مبلورة بالحركة على طول نطاق انتقال لدن ــ تكسري، والانتشار إلى القشرة العليا.

c ــ انتشار الصدوع العادية على طول انتقال لدن ــ تكسري في نطاقات شد القشرة وإلى القشرة العليا التكسرية

4 ــ 14 ــ المظاهر الجيولوجية والمورفولوجية في مناطق الصدوع النشطة:

Geological and Geomorphologic features in regions of active faulting

تقطع الصدوع سطح الأرض بشكل متكرر في مناطق النشاط التكتوني الحالي، وحيث يتم ذلك، فإن الخصائص المورفولوجية السطحية، يمكن أن تتوقف على الحركة النسبية لجهتي الصدع، وفقاً للأنواع التالية:

A ــ الصدوع العادية Normal faults:

تتميز الصدوع العادية بخاصة شد نشط لمناطق القشرة، ويتحكم بالنموذج الطبوغرافي الكلي، من خلال مركبات الحركة الشاقولية على سطوح الصدوع التي تظهر أحياناً على شكل نجود أو أغوار في كثير من مناطق القشرة. تأخذ الأغوار بإزاحة مستمرة حيث يهبط سطح القشرة في مناطق القارة إلى ما دون مستوى سطح البحر، كما في البحر الميت ــ فلسطين، ووادي الموت ــ كاليفورنيا.

ــ تتعرض كتل النجود في المناطق القارية إلى حت سريع وينتقل حطام الحت بشكل مستمر إلى الغور المجاور.

ــ يقود الترقق الكبير في القشرة، والذي غالباً ما يحصل في مناطق الشد إلى اندفاع اللافا، وإلى تطور نشاط مغماتي على طول الصدوع، كما في الأغوار ما بين الصدعين العاديين المتحدين مثال غور حوض الراين جنوب ألمانيا، النظام الانهدامي في شرق أفريقيا.

ــ في المناطق التي تخضع فيها القشرة المحيطية إلى فعالية الشد فإن كــلا النظامين (الغور والنجد) يحدثان تحت سطح البحر، وإن شد القشرة هنا لا يكــون مرتبطاً مع تشكل الصدوع العادية فقط بل تتم أيضاً مع اندفاع ماغما بازلتية على طول الحواف المائلة أو الدايكات التي تكسر السطح وتتشكل البيلولافــا البازلتيــة تحت البحرية.

ــ إن المناطق التي تتعرض إلى انخفاضات في الأغوار تحت البحرية تكون مواقع لتراكم كثيف للافا أو من مرافقاتها الحتية (البريشيا، أو توضــعات الطــف والبيروكلاست والرسوبات البحرية).

ــ عندما يقطعُ الصدعُ العاديّ سطحاً قارياً يؤدي عادة إلى تشــكل مظهــر جرف منتظم موجه يدعى الأحدور الصدعي (fault scarp) يتوافــق مــع أثــر الصدع (الشكل 4 ــ 27 ــ A)، (4 ــ 28).

ــ يتراجع الجزء الأعلى من الاحدور الصدعي بالنسبة إلى الكتلــة العلويــة بعيداً عن سطح الصدع كنتيجة لعملية الحت المحلية، لكن قاعدة الاحدور تعــاود نشاطها دوماً كنتيجة لتعاقب مستوي الصدع (الشكل 4 ــ 27 ــ A).

ــ تقطع جوانب الوديان نسبياً الكتلة الصاعدة المستمرة بالصعود بالنسبة إلى الغور كما يزداد النشاط الحتي ليحدث وديان شكل مقطع V.

ــ تنقل المواد الناشئة عن الحت من كتلة النجد إلى الغور.

ــ يقود أي تغير مفاجئ في انحدار احدور الصدع العــادي إلــى حــدوث المروحة الغرينية (الطمية) (alluvial fan).