المحاضرة الثالثة

من الصفحة 21-30

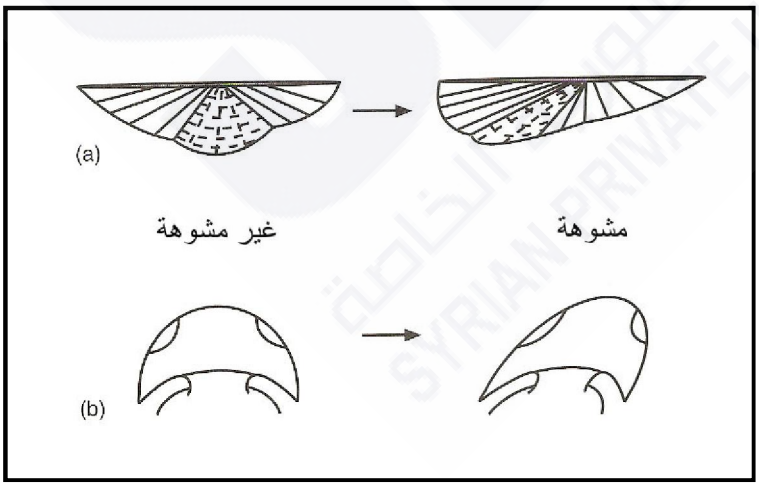
2 ــ 2: الانفعال Strain

مدخل:

تعدّ دراسة الجيولوجيا التركيبية بصورة عامة دراسة للتشوه، ويفتــرض أن التشوه بصورة عامة أيضاً حصيلة الإجهادات المختلفة.

إن إمكانية ملاحظة البنيات التكتونية، مقتصرة عادة على بعدين فوق ســطح الأرض، مع بعد ثالث محدد بعدة كيلومترات شاقولية مــن تكشــفات السلاســل الجبلية.

تشكلت معظم البنيات التي نتمكن مــن ملاحظتهــا لــزمن طويــل ولعــدة كيلومترات عمقاً في قشرة الأرض، إن إحراز فهم أكبر للبنيات التكتونية ولمعرفة ظروف تشكلها تتم من خلال مقارنة مع التشوه الحالي مع الحالة الأصــلية غيــر المشوهة لكتلة صخر مشابهة، فعلى سبيل المثــال نجــد مــن الســهولة مقارنــة المستحاثات المشوهة مع نظيرها غير المشوه الشكل (2 ــ 7).



شكل (2 ــ 7) مستحاثات غير مشوهة ومشوهة

لاحظ التغيرات في الأطوار والزوايا للخطوط في معظم المستحاثات غير المشوهة

(a) براكيبودا (b) تريبلويت

قدمت الأعمال الحديثة التي تصف التشوه كمياً، أداة هامة في فهمنا لتشـــوه الصخور، كما ساعدت على إنشاء نماذج أكثر واقعية بغية توضيح كيفية اســـتعادة الأجسام الصخرية إلى الحالات غير المشوهة، وفي المناقشات الأولى لهذا النـــوع والكم من الانفعال المؤثر في الأجسام الصخرية سوف نأخذ بالاعتبار فقط الحالـــة الأولية والحالة النهائية للكتلة المشوهة، دون الأخذ بمسار التشوه وتعاقب مراحلـــه ما بين الوضع المبتدى والوضع الأخير.

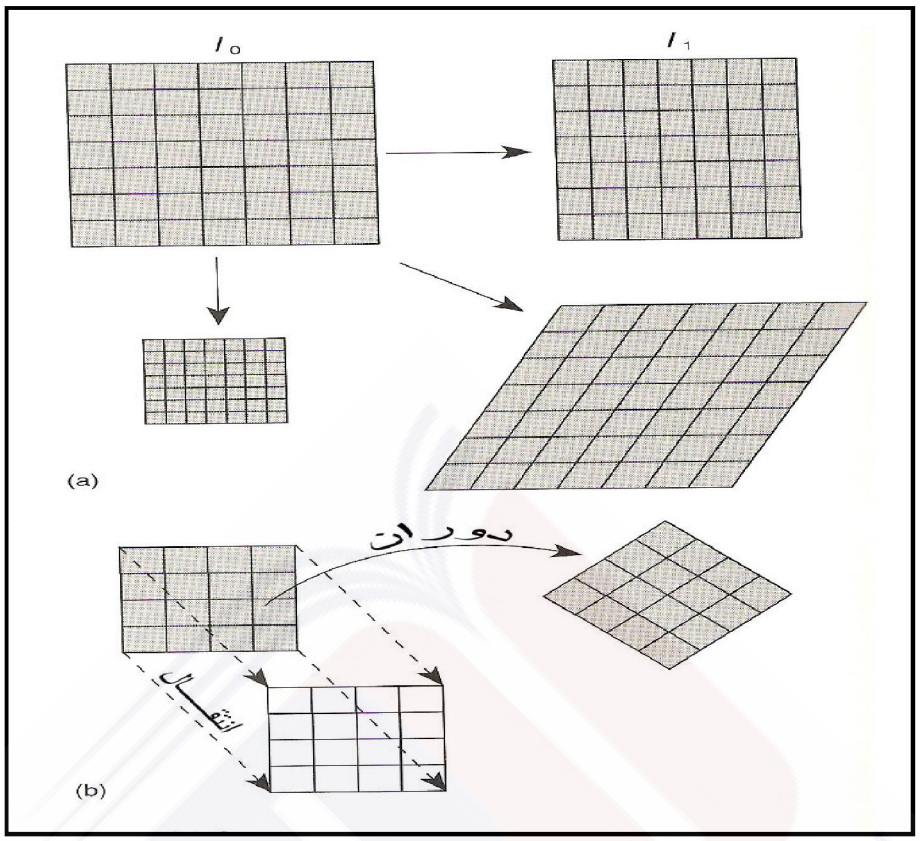
2 ــ 2 ــ 1: تعاريف Defination:

التشوه Deformation:

هو حقل إزاحة لحركة الجزيئات المساقة تكتونيـــاً، والمتضـــمنة العمليـــات والحركات التي تمَّ فيها الشكل المنجز الجديد. يشمل التشوه دوران وانتقال الجسم الصلب شكل (2 ــ 8) ويمكن للتشوه أن يكون مستمراً (لا تتكسر الخطـــوط) أو متقطعاً (تتكسر الخطوط).

تتضمن المصطلحات التالية التي تصف حركة الجسم الصخري كلاً من:

- **الانحراف (distoration):** ويعني تغيير الشـــكل (shape)، الـــدوران (Rotation)، تغير في الاتجاه والانتقـــال (transition)، تغيـــر فـــي الموضع (Position).
- **الانفعال (strain):** ويوصف على أساس تغير مظهر الشـــكل والمقـــاس بتغير في طول الخط، تغيرات في العلاقات الزاوية بـــين الخطـــوط أو تغيرات الحجم.



شكل (2 ــ 8)

(a) الانفعال كانحراف أولي لخطوط متوازية ومتعامدة، يتضمن تغيراً في الطول، الشكل، أو الحجم لكتلة

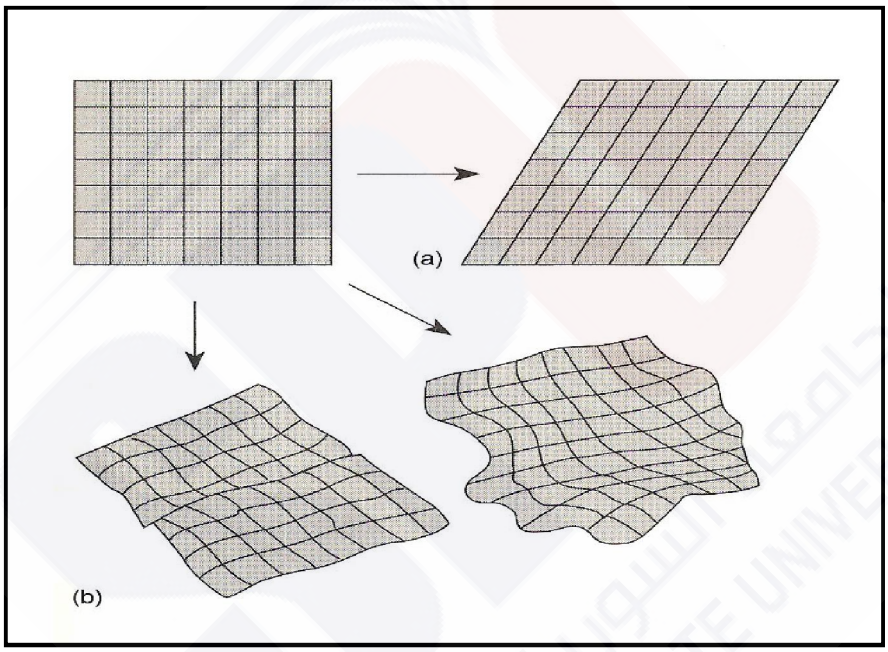
(b) انتقال جسم صلب أو دوران للكتلة بدون انحراف مرافق

وليس من غير المألوف أن يستخدم مصطلح الانفعال لوحده ليصف الإزاحات على طول الصدوع.

يمكن أن يحدث الانفعال بدرجات متناهية الصغر أو كانفعال متناه (Finite strain).

في الانفعال المتجانس (strainhomogeneous)، حيث أن الخطوط المستقيمة والمتوازية قبل التشوه تبقى مستقيمة ومتوازية بعد التشوه (الشكل: 2 ــ 9).

في حين أن الانفعال غير المتجانس (Inhomogeneous) يكون العكس أي أن الخطوط المستقيمة أو المتوازية قبل التشوه لا تبقى مستقيمة أو متوازية بعد التشوه. ويمكن للخطوط أن تتكسر أثناء التشوه غير المتجانس، وهناك عامل آخر يؤثر في نوع انفعال كتلة الصخر وهو المقياس. حيث يمكن اعتبار أن الانفعال المتجانس يؤثر بكتلة الصخور على مقياس من عدة كيلومترات بينما تعزى التشوهات في مقياس السنتيمترات إلى الانفعال غير المتجانس.



شكل 2 ــ 9 (a) انفعال متجانس (b) انفعال غير متجانس

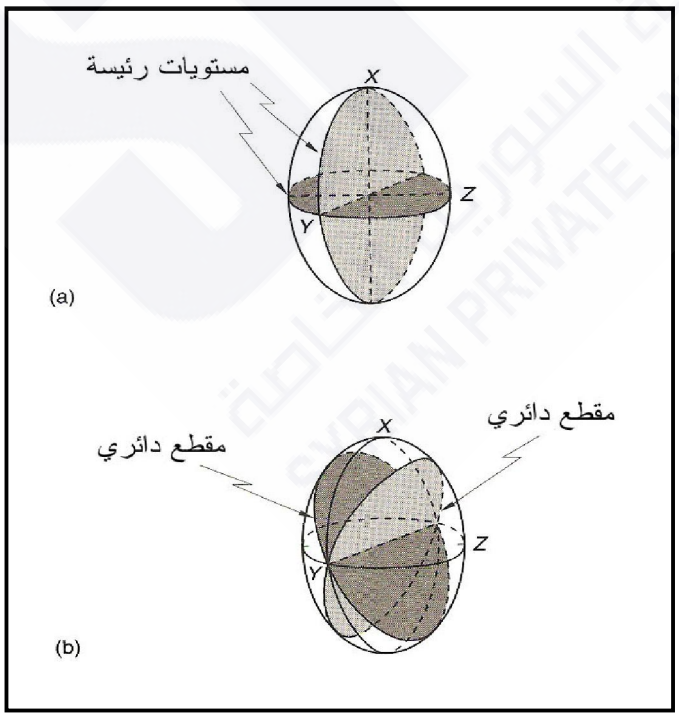
لاحظ أنه بعد التشوه، الخطوط المرجعية المتوازية أو المستقيمة في الجسم والتي تعرضت إلى انفعال متجانس، تبقى مستقيمة أو متوازية. على حين بعد الانفعال غير المتجانس تتكسر هذه الخطوط وتلتوي

2 ــ 2 ــ 2 ــ إهليلج الانفعال Strain Ellipsoid:

يعد أداة تصويرية تقدم مرجعاً لتقدير تغير الشكل المقصود من الحالة الأولية، وتشكل المقاطع عبره إهليلجاً، غالباً ما يوقع على الخارطة الجيولوجية، كما توضح المقاطع العرضية توزيع التغيرات الشكلية كدلالة على المواقع الجيولوجية. يتكون إهليلج الانفعال من إهليلج ثلاثي المحاور نشأ بالانفعال من أساس كرة بأقطار موحدة وتكون المعادلة لإهليلج الانفعال كالتالي:

$$\frac{X^2}{X^2}+\frac{Y^2}{Y^2}+\frac{Z^2}{Z^2}=1 \quad (8-2)$$

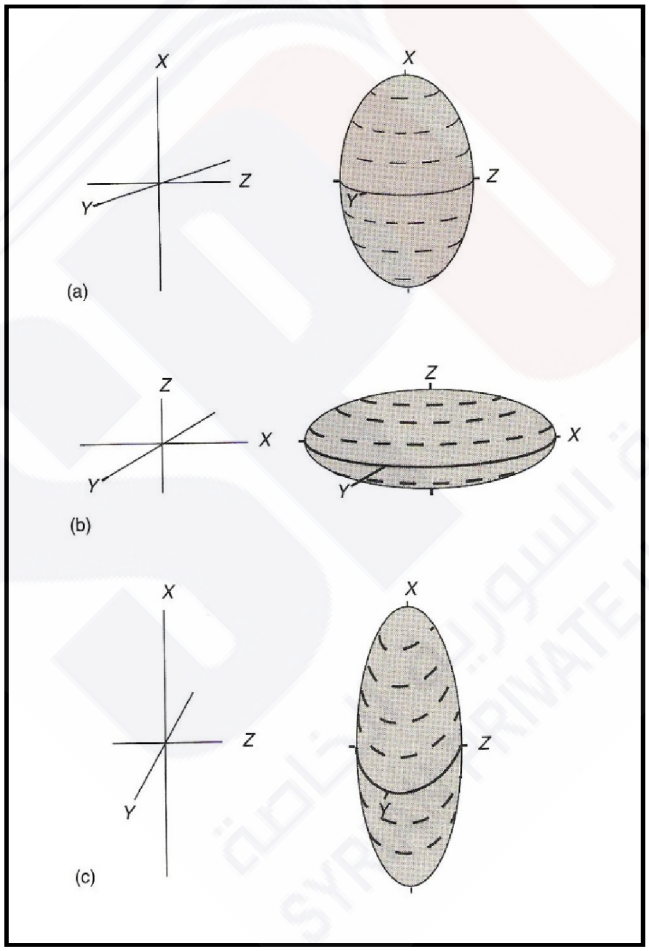
إذ يعزى الإهليلج إلى ثلاثة محاور متعامدة x, y, z والأقطار الرئيسية X, Y, Z أطولها $X \geq Y \geq Z$ وبهذا يشكل X محور الانفعال الرئيس الأكبر، Y محور الانفعال الرئيس المتوسط، Z محور الانفعال الرئيس الأصغر كما ويمكن أن يحدد ثلاثة أنواع من إهليلج الانفعال (شكل: 2 ــ 10).



شكل (2 ــ 10) إهليلج الانفعال مع المحاور الرئيسة x ، y ، z والمقاطع الدائرية

تكون الحالة العامة $Z < Y < X$ وحيث توجد حالتين خاصـــتين $Z \le Y = X$ (وتظهر بشكل مفلطح شبه كروي على هيئة الهمبرغر).

و $Z = Y \le X$ وينتج في شكل متطاول أو (في هيئة ســيكار أو الهــوت دوغ) يكون التمييز بينهما جلياً في تشخيص نوع الانفعال المؤثر في الجسم الصــخري لاسيما في حالة ملاحظة بعض علامات الانفعال المــؤثرة فــي شــكل البيــوض المشوهة. (الشكل 2 ــ 11).



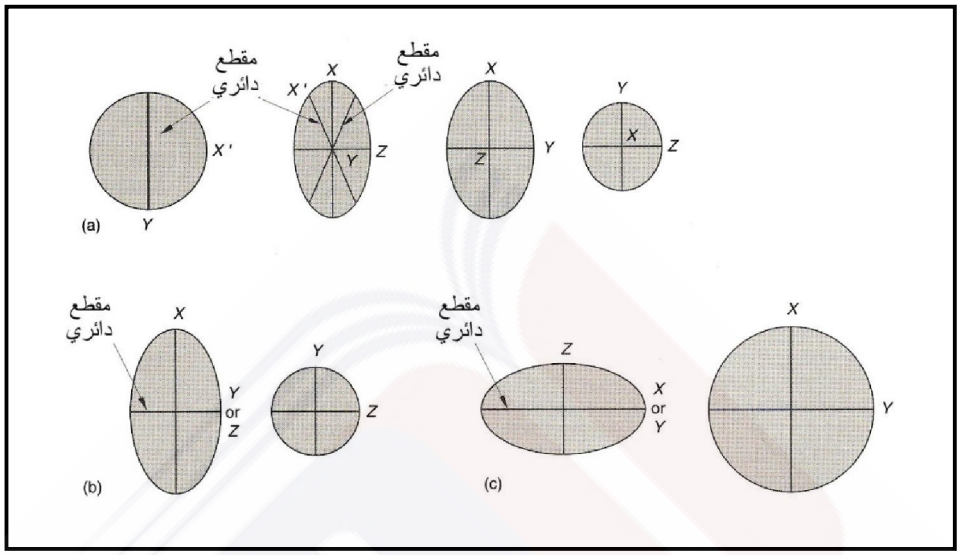
شكل (2 ــ 11) ثلاثة نماذج من إهليج الانفعال

(a) إهليليج ثلاثي المحاور $Z < Y < X$

(b) شبه الكروي مفلطح ثنائي المحور $Z < Y = X$ (مظهر مفلطح)

(C) متطاول ثنائي المحور $Z = Y \le X$ (مظهر الــ هوت دوغ، السجق).

إن المقاطع عبر إهليلج الانفعال عموماً تكون موازية إلى أي محوري انفعال رئيسيين وهم: XZ, ZY, XY تكون إهليليجية (شكل 2 ــ 12).



شكل (2 ــ 12) مقاطع عبر إهليلج الانفعال

(a) ثلاثي المحاور

(b) متطاول

(c) مفلطح

وفي حالات خاصة تكون مقاطع XY (المفلطحة) وYZ (المتطاولة) بشكل دائري، بالإضافة إلى ذلك فإن أي إهليلج انفعالي ثلاثي المحور له مقطعان دائريان مائلان ومتناظران إلى المحورين X وZ ويتضمن المحور Y.

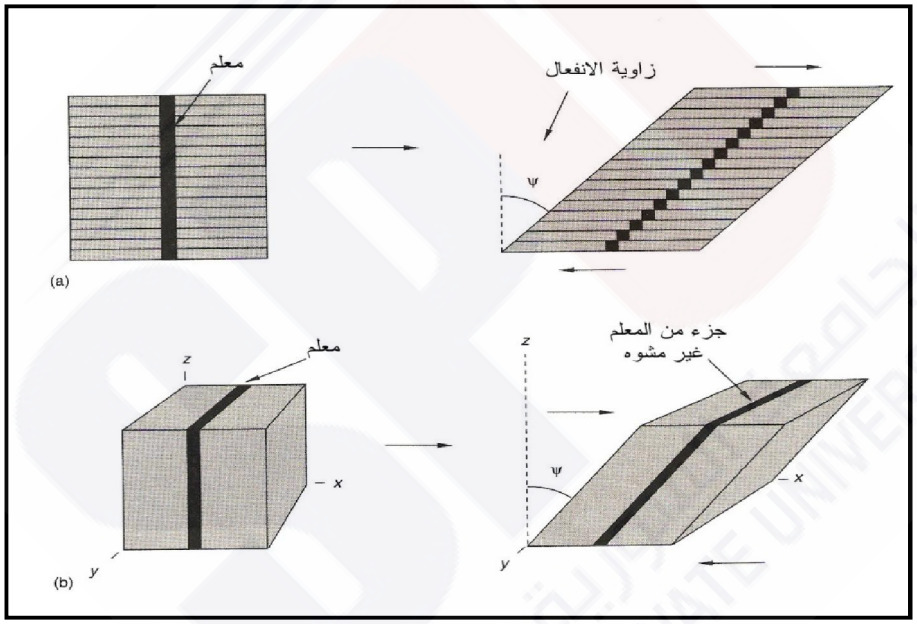
إن الخاصة المهمة للمقطعين الدائريين تتمثل في أن الخطوط فيهما تعرضت إما إلى عدم تطاول أو تطاول متساو في كل الاتجاهات أو أنها أعيدت إلى طولها الأصلي. وبهذا فإن مقدار التطاول يعادل مقدار التقصير.

في الحالة الأبسط، تعد العلاقة ما بين إهليلج الانفعال إلى إهليلج الجهد هي إحدى علاقات التبادل العكسي للمحاور: X هو محور الانفعال الرئيسي الأعظمي يتطابق مع σ_3 محور الجهد الأصغر. وبطريقة مماثلة أيضاً فإن المحور Z يتطابق مع σ_1. وإن المحورين المتوسطين Y و σ_2 يتوافقان أيضاً. تصح هذه المعادلة ما دام الانفعال مستمراً بشكل متحد المحور (coaxially) موازٍ إلى المحور الرئيسي والانفعال لا دوراني.

يعدّ إهليلج الانفعال مفيداً في دراسة الأجسام الجيولوجية، بحيث يمكن ربطها مباشرة بالبنيات المفردة كمستويات الصدوع المتوافقة مع مستويات القص، في إهليلج الانفعال أو الشقوق التي تتشكل موازية للمستوي YZ، أو في الانفصام الاردوازي الذي يتشكل غالباً موازياً إلى المستوى XY (عمودياً على Z) من إهليلج الانفعال، وأيضاً الكثير من السطوح المحورية للطي والمتشكلة موازية للمستوي XY.

2 ــ 2 ــ 3 ــ القــص البســيط والتــام *Simple and pure shear:*

يمكن اعتبار التشوه المتجانس إما دورانياً أو غير دوراني، يمثــل الانفعــال الدوراني المتجانس بواسطة التشوه الملاحظ مثل انثناء بطاقات أوراق اللعب عندما تتحرك بالنسبة لبعضها بالمسافة نفسها (الشكل: 2 ــ 13) تتوازى الحركة النسبية للبطاقات مع مستويات الإزاحة بين كل ورقتين متجاورتين.



شكل (2 ــ 13)

(a) نموذج أوراق اللعب يمثل القص البسيط

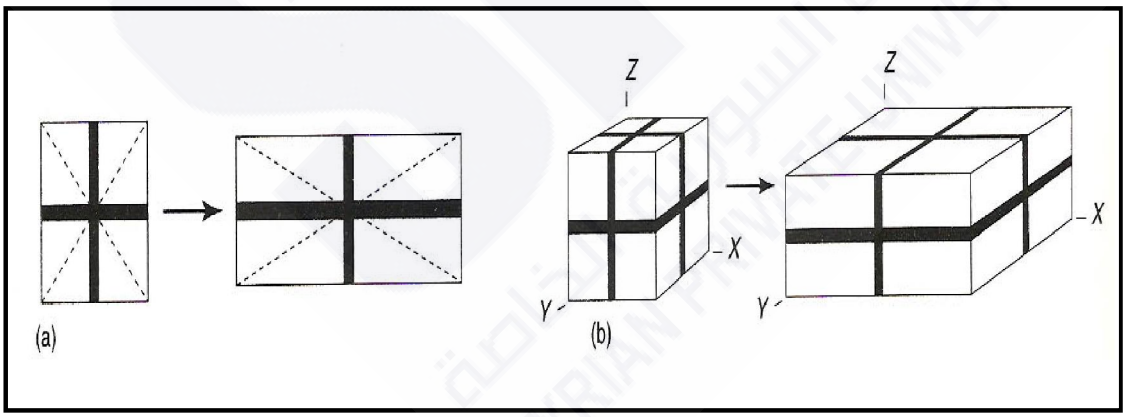
(b) تشوه مكعب بقص بسيط متجانس المحاور Z,Y, X هنا متناسقة

تتعلق الإزاحة التامة لأي بطاقة بالتي تحتها دلالة على مقدار القص، ويعبر عنها بزاوية الدوران φ بالعلاقة $\delta = \tan\varphi$ حيث δ انفعال القص ويــدعى هــذا النوع من الانفعال الدوراني المتجانس بالقص البسيط Simple shear.

ومع تقدم القص البسيط فإن العلاقة بين الإجهاد ومحاور الانفعال تتغير باستمرار.

يعد القص البسيط مثالاً عن مستوي الانفعال المتجانس، حيث أن أطوال الخطوط لا تتغير بالتوازي مع المحور Y خلال التشوه وبالنتيجة فإن الانفعال واقع في المستوي XZ ويكون أساساً في بعدين.

القص التام Pure shear: وينتج عن الانحراف بوساطة التشوه المتجانس حيث أن المحاور الرئيسة لا تدور شكل (2 ــ 14) ويمكن الاعتقاد بأن القص التام يشكل حالة مثالية للتسطح المحوري أو التطاول لإهليلج الانفعال، وهكذا بإضافة مركبات الدوران والانتقال، يمكن للقص التام أن يتبدل إلى قص بسيط ما دام مستوي الانفعال قصاً تماماً. وهكذا يمكن لأي انفعال متجانس أن يمثل اتحاداً من قص تام بالتدوير وبالانتقال لجسم صلب.



شكل (2 ــ 14)

a ــ التشوه بالقص التام المتجانس ــ لاحظ أن الزوايا بين المحاور الرئيسية (الخطوط الغامقة) تبقى غير متغيرة. لكن تتغير الزوايا بين الخطوط الأخرى (المقطعة).

b ــ تشوه بالقص التام لمكعب.