الجامعة السورية الخاصة
SYRIAN PRIVATE UNIVERSITY

كلية هندسة البترول
Faculty of Petroleum Engineering

صفات الخزانات المتشققة

السنة الخامسة

المحاضرة الثالثة

الدكتور نضال شقير

2018 - 2019

fundamentals of fractured reservoir engineering

INTRODUCTION

BASIC GEOLOGY

مقدمة:

كما أسلفنا في المقدمة والمبادئ الأساسية نعلم أن:

إن دراسة جيولوجية شقوق الخزانات ، تتطلب دراسة العلاقة بين عمليات التشقق والأحداث الجيولوجية التي لعبت دور في التشقق .

غالبا ما تكون التشققات في الصخور ذات مصدر تكتوني ، تتطور في الطيات أو ارتباطا بالفوالق أو أنماط الشقوق (الفواصل) .

وأحيانا بسبب اختلاف في نسبة التحول الصخري أو التحجر (التصخر).

نتيجة التشقق (مثل الكسور المفتوحة، الحجم، التوزع، الاتجاه..الخ) تتعلق بالاجهادات ونمط الصخور(هش أو لين) أي الشروط البنيوية ،

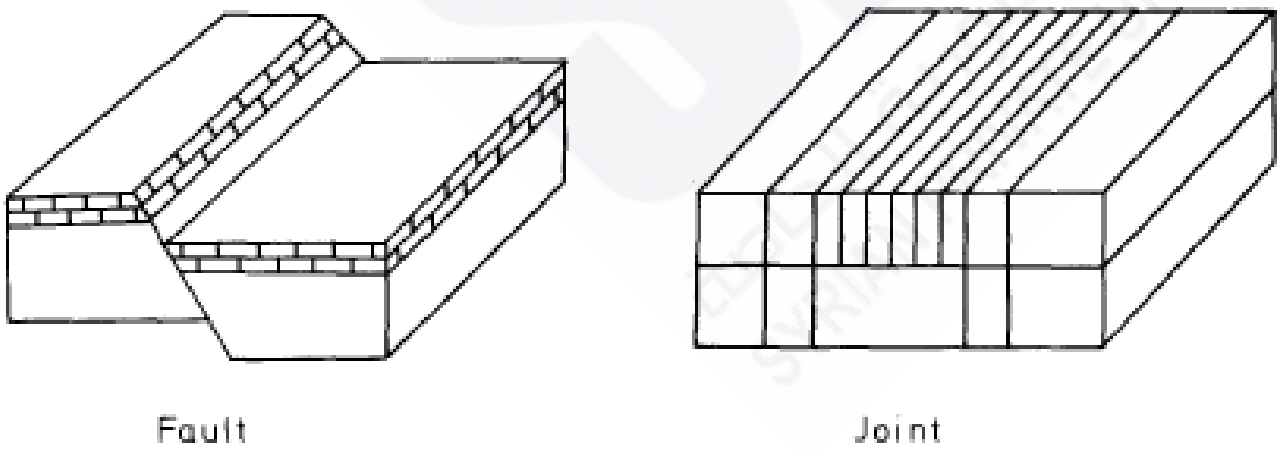
والعمق (جهد سماكة الطبقات المغطية تحت تأثير الجاذبية) الليتولوجيا وسماكة الطبقات .

What *is* a fracture? ما هي الشقوق

<u>الشقوق</u> (fracture) هي عبارة عن مستويات ضعف في الطبقات الصخرية تفقد عندها الصخور قابليتها على التماسك. أو يمكن القول هي عبارة عن السطح قليل **التماسك** الذي تحدث علية العملية.

حيث يشير **التمزق (rupture)** إلى حدوث العملية للصخور قليلة التماسك، وتحدث الكسور نتيجة هذا التمزق.

بشكل عام: الشقوق التي تُحدث إزاحة في الجسم الصخري (الوسط) تسمى فوالق أو صدوع .
أما الكسور التي لاتُحدث إزاحة واضحة في الجسم الصخري تسمى شقوق (joint). وذلك كما في الشكل التالي:



٤ 1.1 – Schematic presentation of a fault and a joint.

Origin of fractures أصل الشقوق

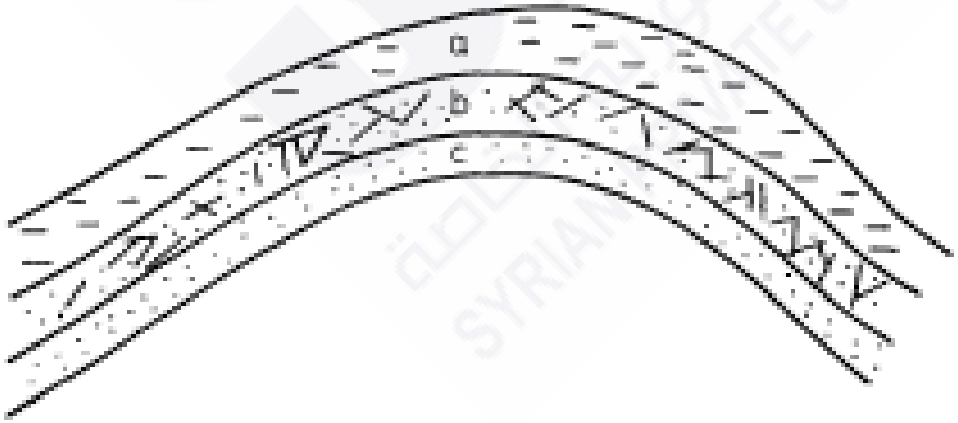
من المشاهدات الحقلية يمكن الاستنتاج أن علاقة الشقوق بالبنية يجب أن تكون مرتبطة بمجموعتين مختلفتين وهما:

١- الشقوق المتعلقة بالبنية: structure-related fractures :

تبدي تناسق في التوجه والانتظام للمنطقة المدروسة ، هذه العلاقة بالبنية تعود للميزات المحلية قبل الطي.

٢- الشقوق غير المتعلقة بالبنية : structure-unrelated fractures :

تتضمن الشقوق غير المنتظمة (الفواصل غير المستمرة) والتي تبدي عدم انتظام أو تناسق في التوجيه. مثل الشقوق المتعلقة بالميزات السطحية المختلفة (انهيارات، هبوط الصفائح جاذبيا ....)



1.2 – Non-fractured layers a and c, and interbedded fractured layer b.

الشروط الجيولوجية للشقوق

إن أكثر حدوث عمليات التشقق ضمن الخزانات، متوقعة ضمن الصخور الهشة للخزان وذات المسامية القليلة، حيث أدى تطور العمليات والأحداث التكتونية الدور الكافي والمناسب.

في هذه الحالة إذا كانت الشقوق هي شقوق كبيرة وذات امتداد كبير، عندها تسمى الشقوق **شقوق ماكروية (macrofracture)**.

أما إذا كانت الصخور هشة قليلا والمسامية بين الحبيبات كبيرة فان الكسور عادة لها امتداد محدود ومفتوحة قليلا نسبيا، عندها الشقوق تسمى **شقوق ميكروية (microfracture)**.

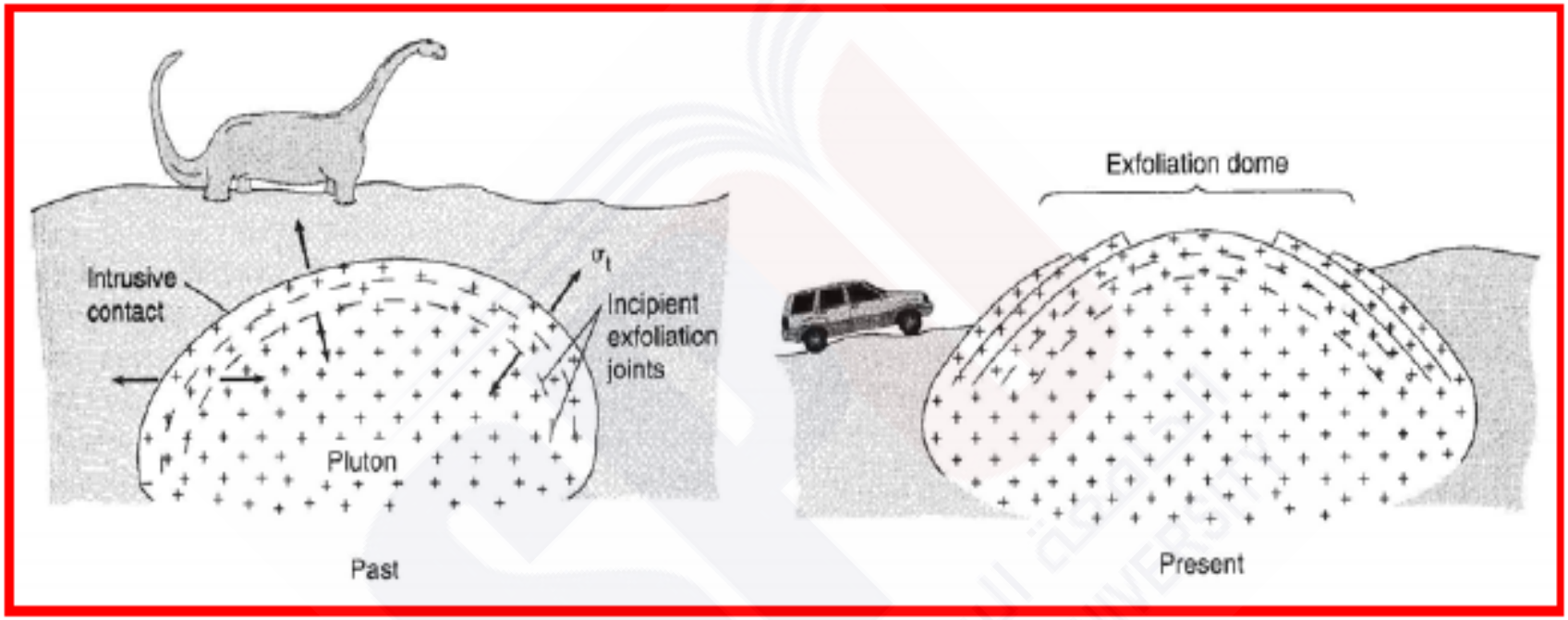
الشقوق المتولدة نتيجة الجهد والتي تقلل من تماسك الصخور، يمكن أن تسبب أحداث جيولوجية مختلفة مثل:

أ- **الانحناء** (diastrophism) في حالة الطيات والفوالق.

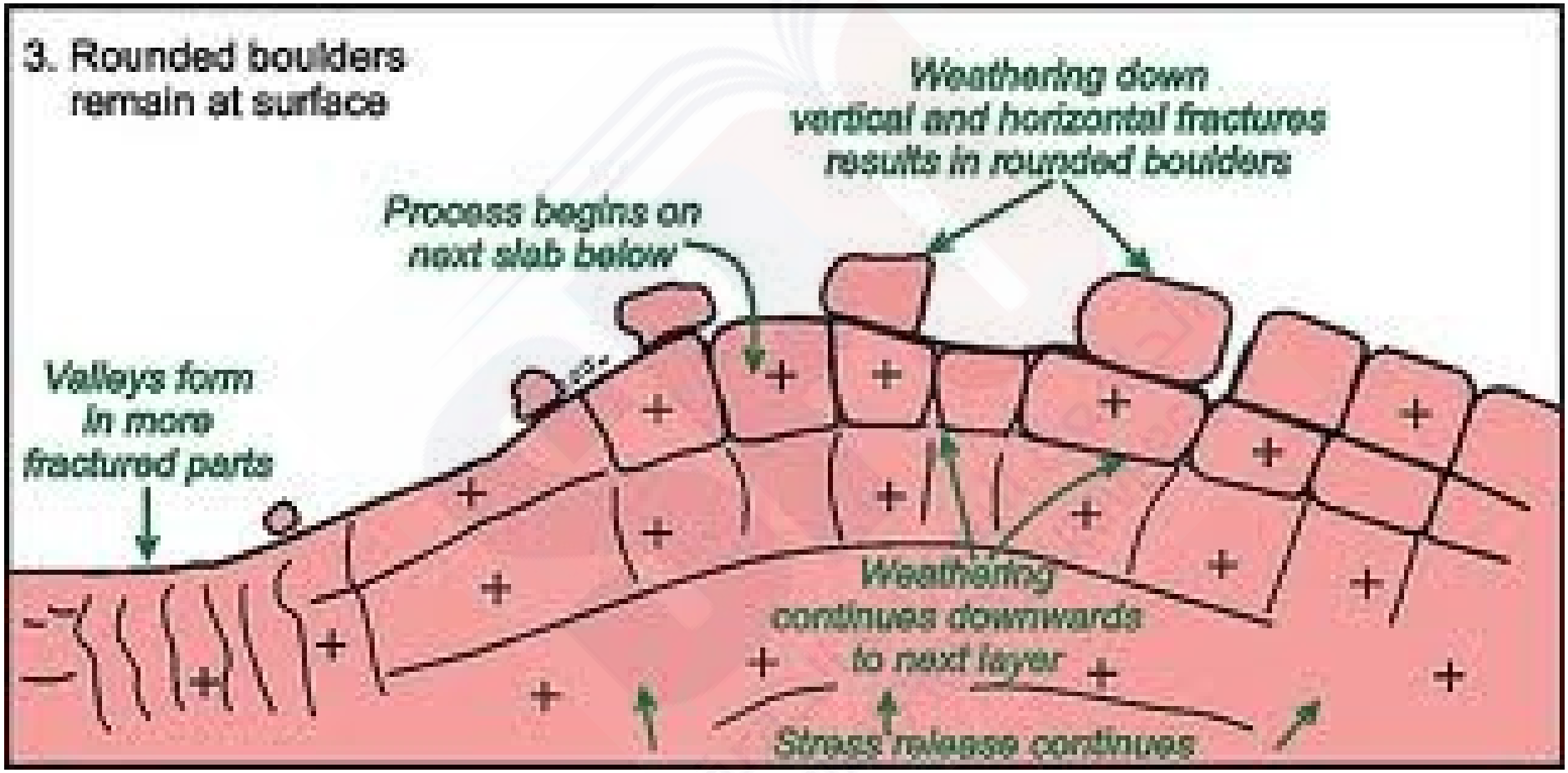
ب- **التفتت أو التآكل الكبير**(deep erosion) الناتج للطبقات الأعلى التي تسبب تمايز الجهد على الصخور من خلال المستويات الضعيفة .

ت- **الانكماش الحجمي للصخور** (rock volume shrinkage) نتيجة فقدان المياه من الشل أو الشل الرملي(أي عندما يتعلق الأمر بصخور الشل و الشل الرملي).

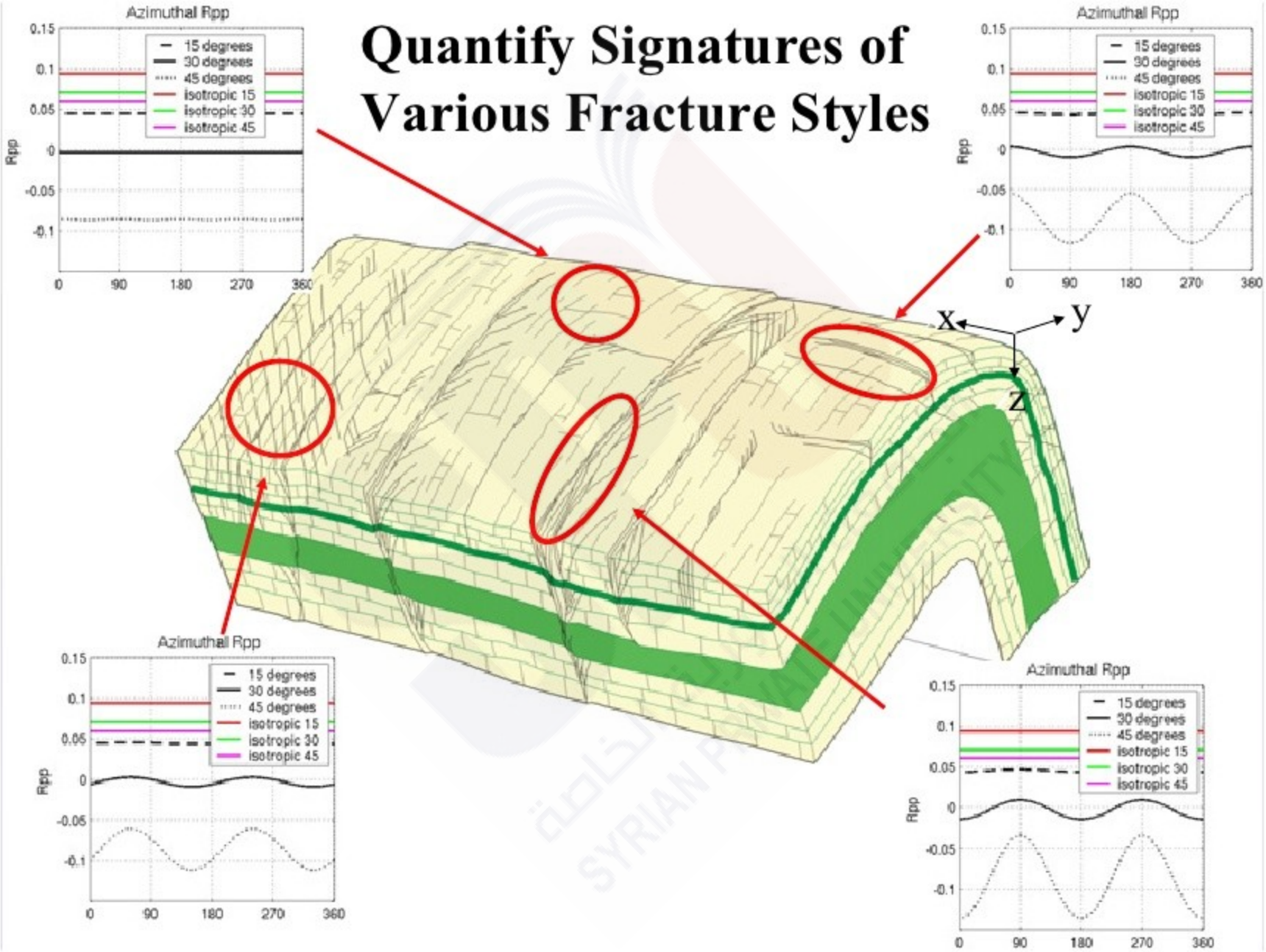
ث- **انكماش حجم الصخور**(rock volume shrinkage) تغيرات درجة الحرارة في الصخور النارية. يمكن تمثيل ذلك في الأشكال التالية:

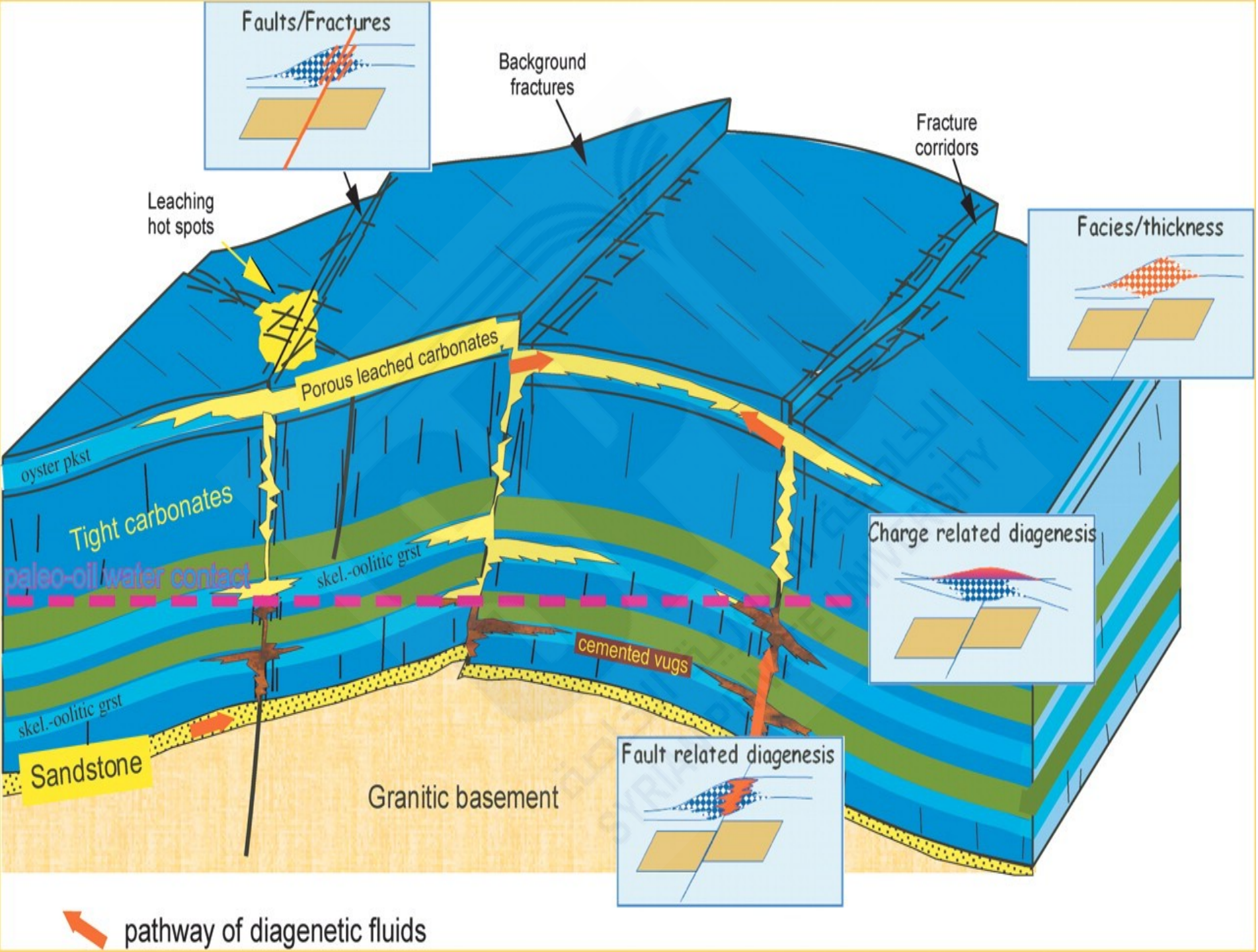


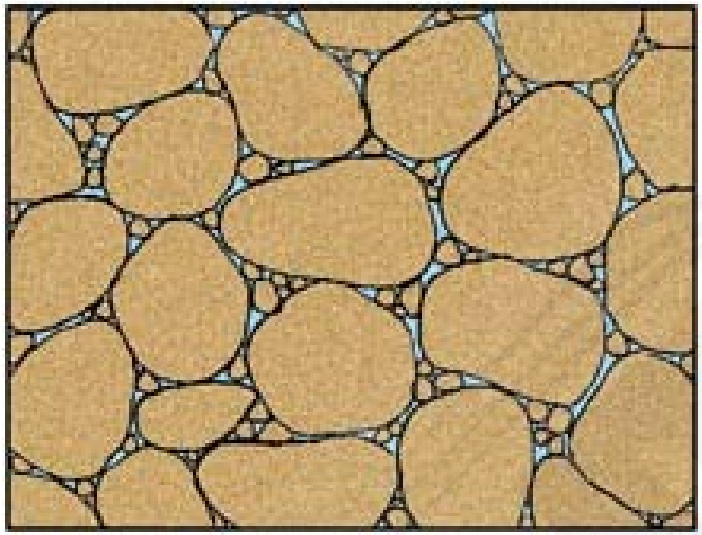
الشكل (٤): فواصل التقشر التي تتكون بعد صعود الكتلة الصخرية نحو الأعلى أو إزالة الطبقات الصخرية التي تعلوها (Van der Pluijm and Marshak,1997).


3. Rounded boulders remain at surface
Weathering down vertical and horizontal fractures results in rounded boulders
Process begins on next slab below
Valleys form in more fractured parts
Weathering continues downwards to next layer
Stress release continues

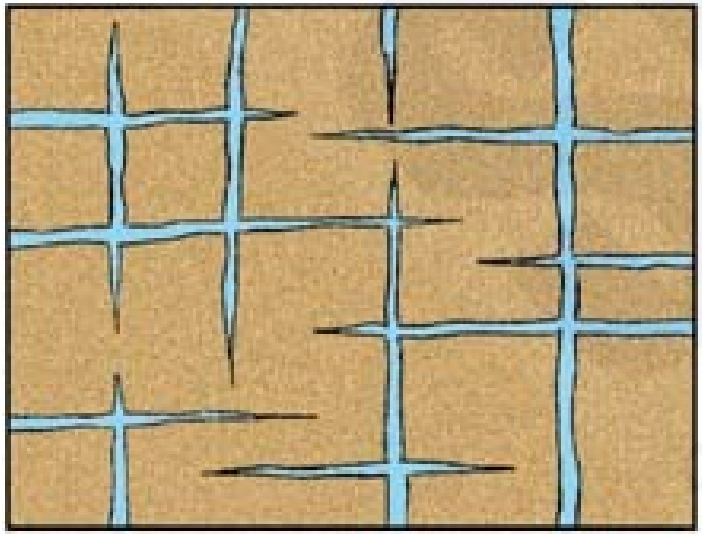
Quantify Signatures of Various Fracture Styles




Faults/Fractures
Background fractures
Fracture corridors
Leaching hot spots
Facies/thickness
Porous leached carbonates
oyster pkst
Tight carbonates
paleo-oil/water contact
skel.-oolitic grst
Charge related diagenesis
cemented vugs
skel.-oolitic grst
Sandstone
Granitic basement
Fault related diagenesis
pathway of diagenetic fluids



Sedimentary aquifer
Groundwater storage
between grains of sediment



Sedimentary aquifer
Groundwater storage
in solution cavities

Rock mechanics vs. fracturing

Basic equations المعادلات الأساسية

ميكانيكية الصخور مقابل الشقوق

تتعرض صخور الخزان إلى تحريض جهود مختلفة منها ضغط ثقل وزن الطبقات الساكن (geostatic) وضغط السوائل والقوى التكتونية.

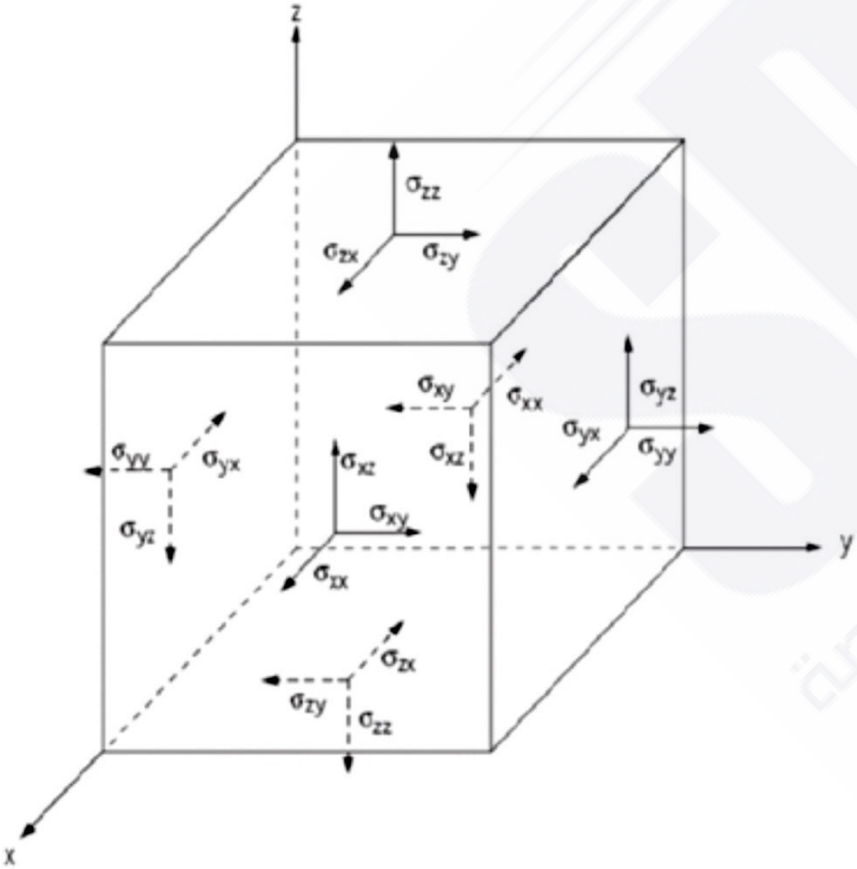
إن مركبات الاجهادات الرئيسية الثلاث σ1, σ2, σ3 هي الجد الرئيسي الأكبر والأوسط والأصغر على التوالي.

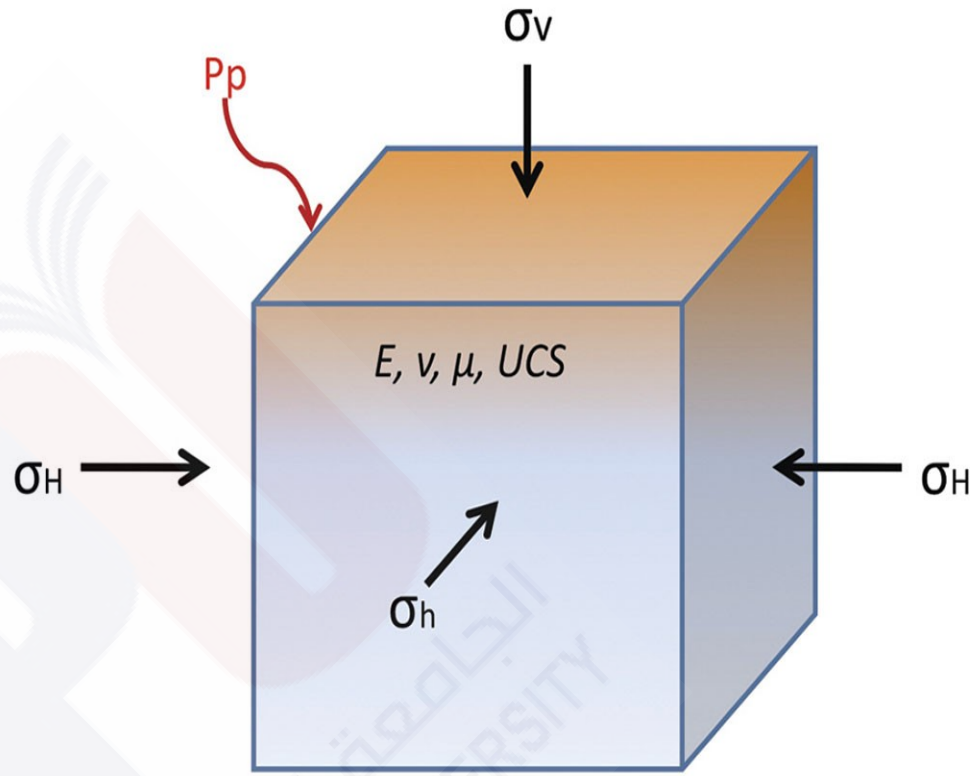
غالبا من هذه الاجهادات الثلاث ، إن الإجهاد العمودي σ1 يتولد من ضغط وزن (ثقل) الطبقات أي الصخور المغطية الأعلى.

فيما الاجهادات الأفقية σ2, σ3 تعمل كاجهادات انضغاطية وشديه .

انظر الشكل (١-٣) التالي:

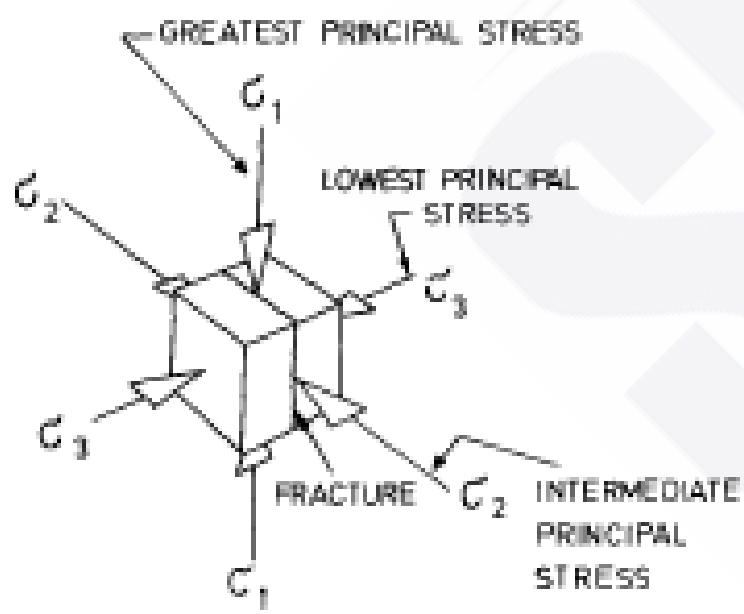
إن هدف تحليل الاجهادات هو لتحديد الاجهادات الناظمية و القصية لأي مستوي ولأي اتجاه كان، وتعطي الاتجاه و الدرجة للاجهادات الرئيسية.


z
y
x
σzz
σzx
σzy
σxy
σxx
σxz
σyz
σyx
σyy

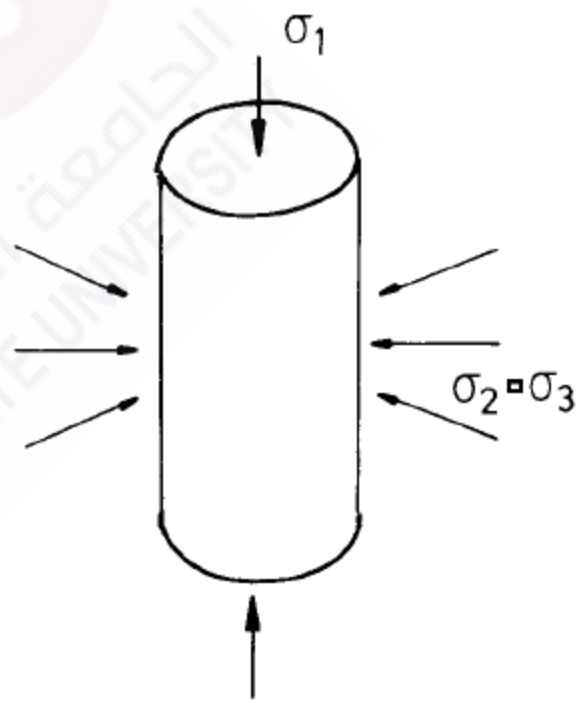

σv
Pp
E, v, μ, UCS
σH
σH
σh

Testing of rock material

The experiments are made on a cylindrical sample subjected to an axial force (maximum principal stress **σ1**,) acting along the axis of the cylinder and to a lateral confining fluid pressure (so that the two minimum stresses are equal, **σ 2 = σ3)** directed normal to the axis of the cylinder (figure 1.7)

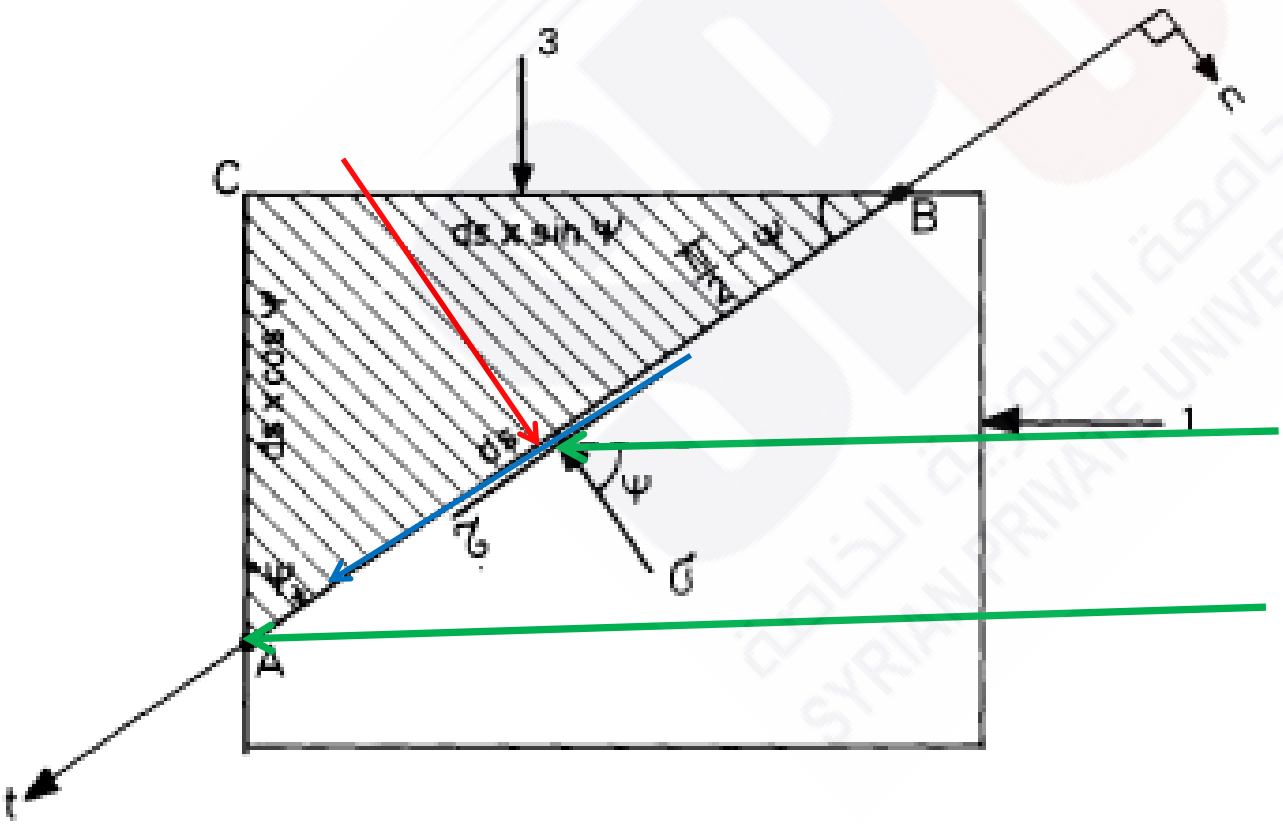


1.3 – Stress element and preferred plane of fracturing



1.7 - Triaxial test for a cylindrical specimen (axial compression **σ 1 and fluid confining pressure σ 2 = σ3**)

العلاقة بين الجهد الناظمي σ وجهد القص τ تشكل تقاطع مع مستوي متعامد على σ 1 و σ 3 يتم العبير عنها بتابع للزاوية ψ المتشكلة بين الإجهاد الأساسي الأعظمي σ 1 والمستوي AB كما في(الشكل ١-٤):



1)4 – σ and τ on a plane of angle ψ (King Hubert', Courtesy AAPG).

لتحديد العلاقة بين σ و τ وجهد القص يجب العودة لنتائج التجارب المخبرية والتي تبين الإجهاد والقص متناسبين مباشرة مع الإجهاد الناظمي حيث:

$$\tau/\sigma = tg\ \psi = tg\ (\psi+45)$$

ψ: زاوية الاحتكاك الداخلي للمادة .

وباستخدام مغلف دائرة مور ، الفوالق تشكل مستوي بزاوية *45+ ψ/2.*
الرمل له زاوية احتكاك داخلي تساوي ٣٠ درجة حيث الفالق العادي له زاوية ميل تساوي ٦٠ *درجة.* $\Phi = \psi/2 + 45 = 45 + 30/2 = 60$.

عندما تكون ψ زاوية الاحتكاك الداخلي كبيرة يعتبر الصخر هش وعندما تكون هذه الزاوية صغيرة يعتبر الصخر لين.
باستخدام الاجهادات الاعظمية و الاجهادات الاصغرية σ_1 و σ_3 يمكن ملاحظة أن القيمة العظمى σ_1 تقريبا لكل الصخور هي تشوهات لدنة ، ومغلف مور يكون تقريبا موازي للمحور σ_1 .
وعند الضغط القليل اغلب الصخور تفشل في سلوكها كالكسور الهشة. المعادلة الرئيسية التي تمثل الحالة هي: $\tau = \pm(\tau_0 + \sigma\ tg\ \psi)$

النتيجة الأساسية من هذا الإجراء هي أن المتانة النهائية للصخور تزداد مع ازدياد الضغط المحصور .

إذا حدث التمزق قبل حدوث التشوه اللدن المعتبر ، فان المادة تعتبر هشة.

وإذا تمزقت المادة بعد حدوث التشوه تعتبر المادة لينة.

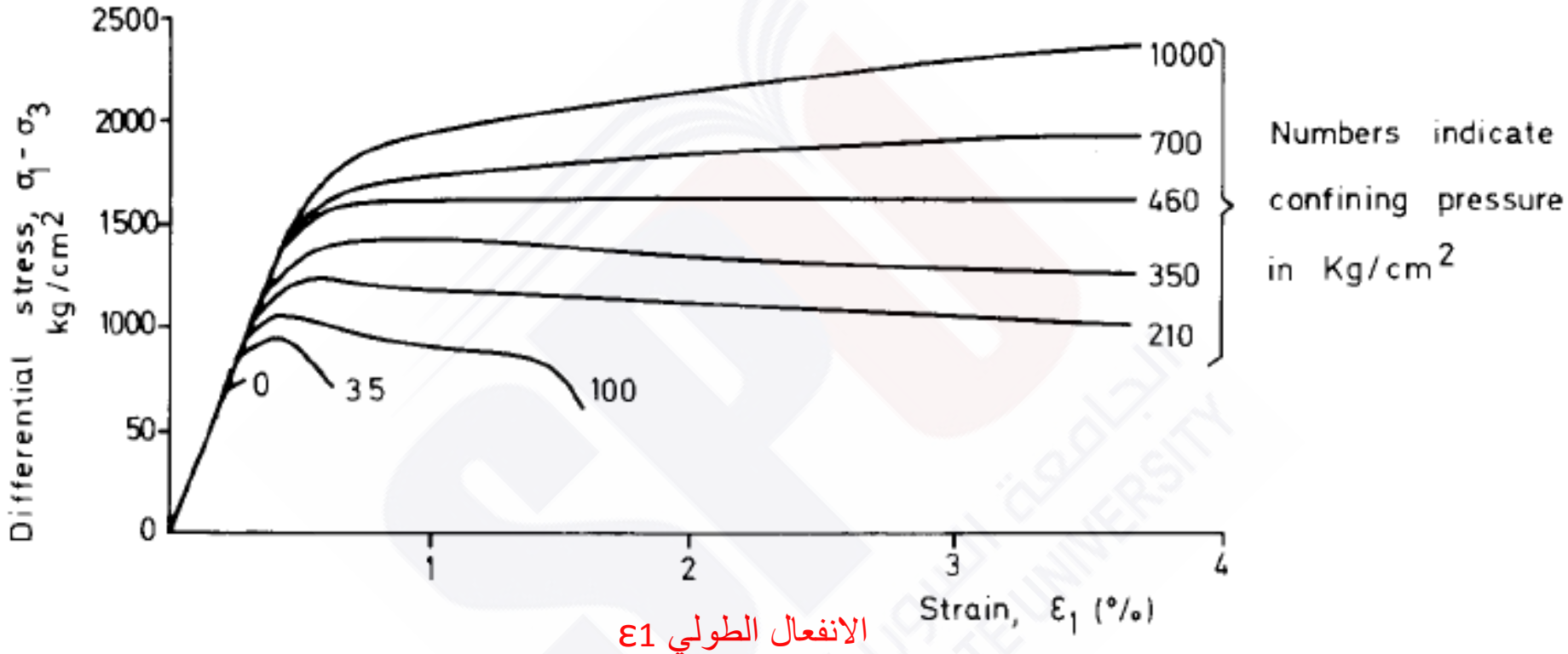
وكمثال على ذلك يوضح الشكل (١-٨) إن فرق الاجهادات $\sigma 1 - \sigma 3$ مرسوم مقابل الانفعال الطولي $\varepsilon 1$ عند حالات مختلفة من الضغط المحصور.

كما يوضح الشكل، إن شكل منحنيات $\sigma 1 - \sigma 3$ مقابل الانفعال $\varepsilon 1$ سيتأثر بالضغط المحصور.

عند الضغط المحصور القليل فانه للشقوق الهشة يحصل هبوط واضح في المتانة وعندها يحدث انهيار، لاحظ المنحنيات عند 0 و 35 و 100 .

بينما عند الضغط المحصور الكبير التشوهات الكبيرة يمكن أن تحدث بدون أي هبوط في المتانة . لاحظ المنحنيات من 200 حتى 1000.

فرق الاجهادات σ 1 - σ3



1.8 – Differential stress $\sigma_1 - \sigma_2$ vs. strain ε for various confining pressures.

إن أنماط الشقوق تتأثر كثيرا بالضغط المحصور كما في الشكل (١-٩):

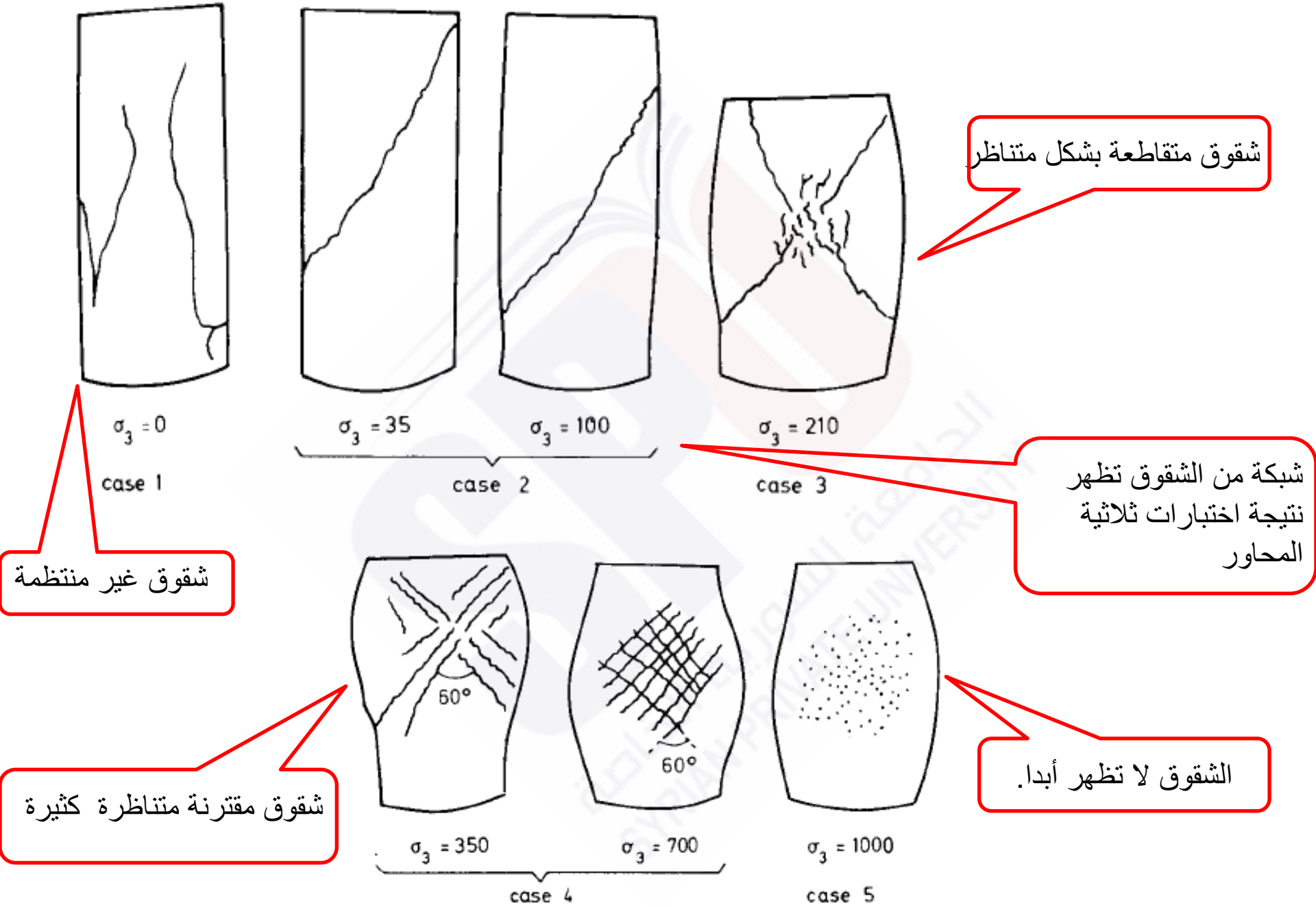
-إذا كان الضغط المحصور قليل (اقل من ٣٥ كغ / سم٢) فان الشقوق الناتجة هي شقوق غير منتظمة.

-إذا كان الضغط المحصور اكبر من ٣٥ كغ / سم٢أو ١٠٠ كغ/ سم٢ فان شبكة من الشقوق تظهر نتيجة اختبارات ثلاثية المحاور.

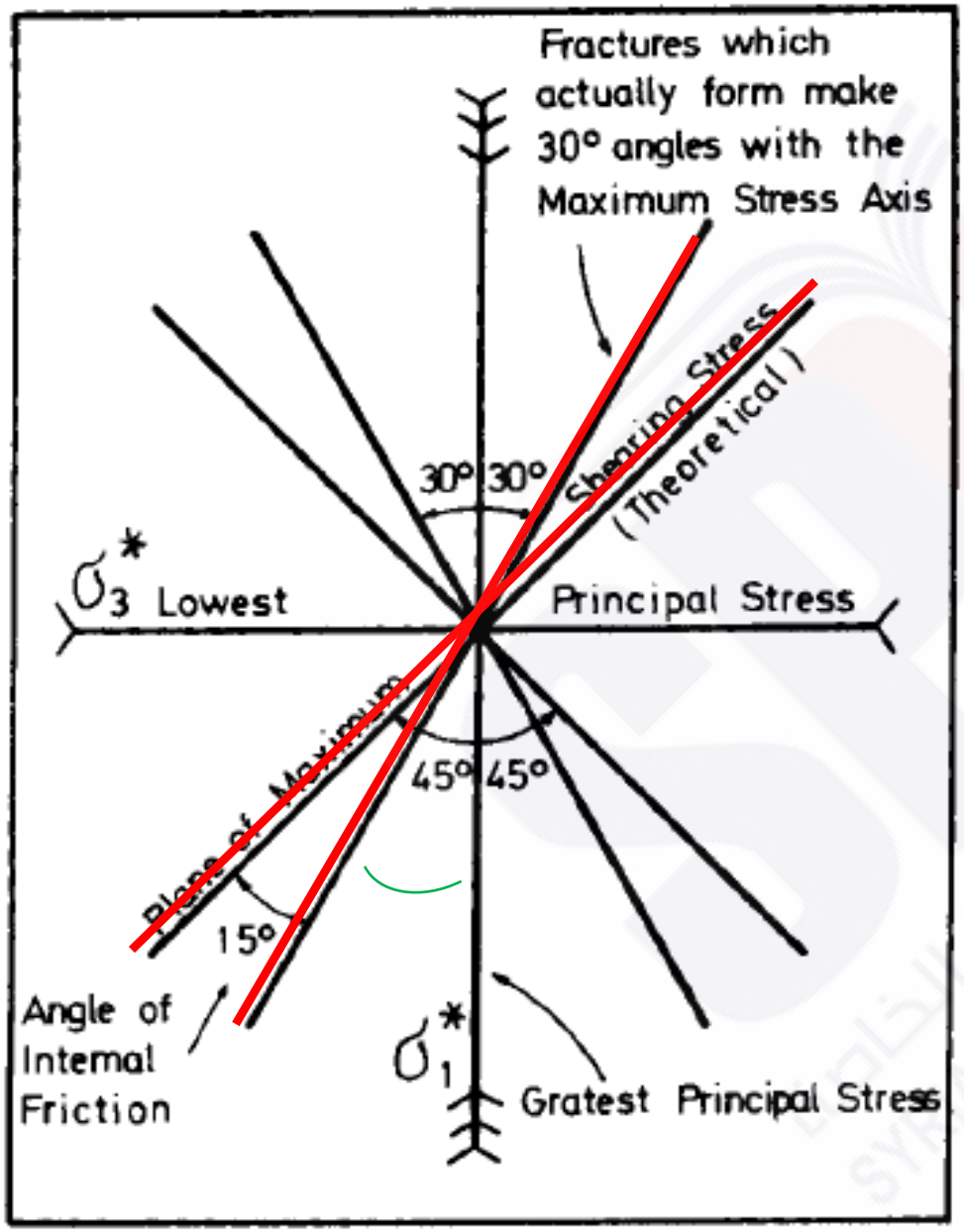
-إذا كان الضغط المحصور اكبر من ٢٠٠ كغ / سم٢ فان شكل الشقوق الناتجة هي شقوق متقاطعة بشكل متناظر.

-وبزيادة الضغط المحصور من (٣٠٠-٧٠٠ كغ/سم٢) فان شقوق مقترنة متناظرة كثيرة مرتبطة بتقصير جوهري أساسي في ارتفاع العينة.

-وعند ازدياد الضغط المحصور اكبر من ١٠٠٠ كغ/سم٢ فان الشقوق لا تظهر أبدا.



1.9 – Triaxial testing results for various confining pressures σ_3 (kg/cm²).



1.10 – Schematization of principal stress and shear stress.

العلاقة بين اتجاه الإجهاد وإجهاد القص والكسور عرضت للحجر الرملي على شكل مخطط الشكل(١-١٠) .يبن هذا الشكل أن الاتجاهين الرئيسيين الشاقولي والأفقي يعبرون عن محور الجهد الرئيسي الأكبر σ1 ومحور الجهد الرئيس الأصغر σ 3 .

مستوى إجهاد القص الرئيسي (الحقيقي) يشير تشكل زاوية ٣٠ ° مع المحور الرئيس الأعظم.

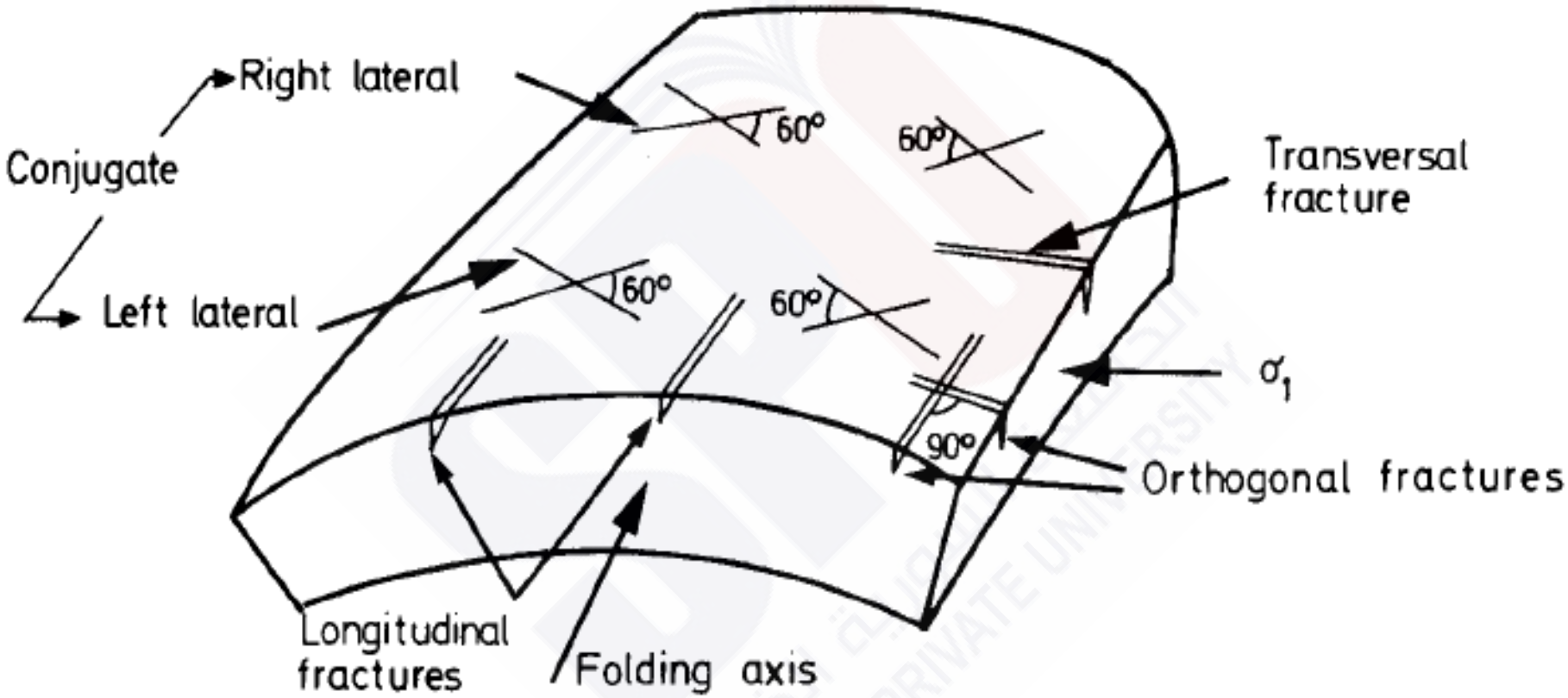
الزاوية بين فرق إجهاد القص الأعظمي (النظري) ٤٥°، وإجهاد القص الحقيقي (٣٠°)، تمثل زاوية الاحتكاك الداخلي وقيمتها ١٥ درجة.

Fracturing under geological events

الشقوق تحت تأثير الحوادث الجيولوجية

إذا الشق تطور تحت تأثير حالة إجهاد واحدة، فان نموذج الشقوق تسمى: الشقوق المترافقة (***conjugate* fractures**). في هذه الحالة كما في الشكل(١-١١) نمط الشقوق الحاوي على شق قصي أفقي أيسر وشق قصي أفقي أيمن ناتج عن جهد رئيس كبير، وتتقاطع بزاوية ٦٠ درجة.ولها تجاه واحد ضمن نظام الشقوق.

ولكن على العكس الشقوق المتعامدة بزاوية ٩٠ درجة هي نتيجة أكثر من حالة جهد واحد.



1.11 – Conjugate and orthogonal fractures referred to the folding axis.

Fractures vs. faulting

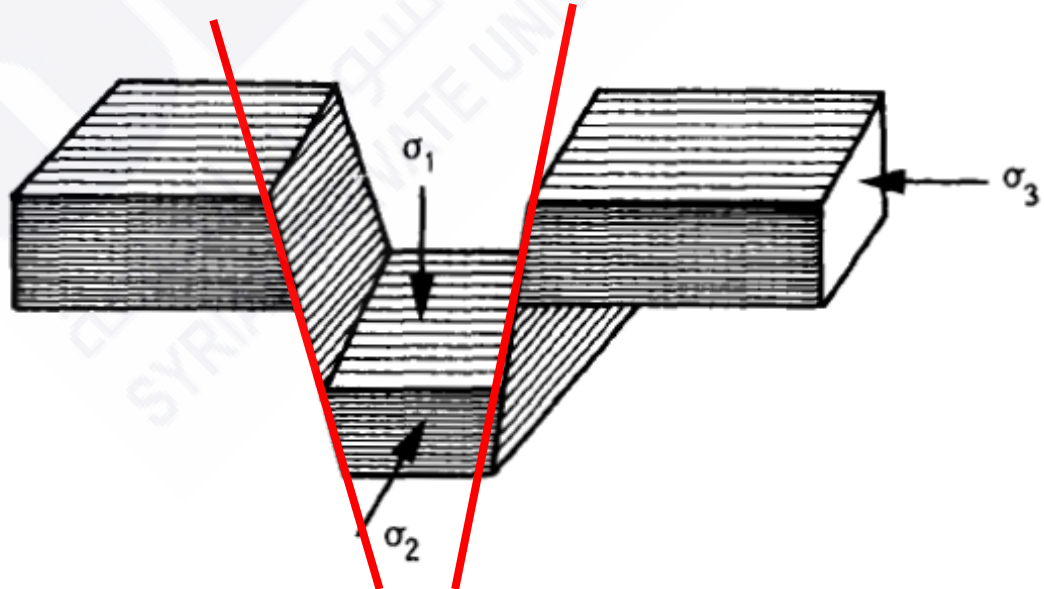
الشقوق مقابل الفوالق

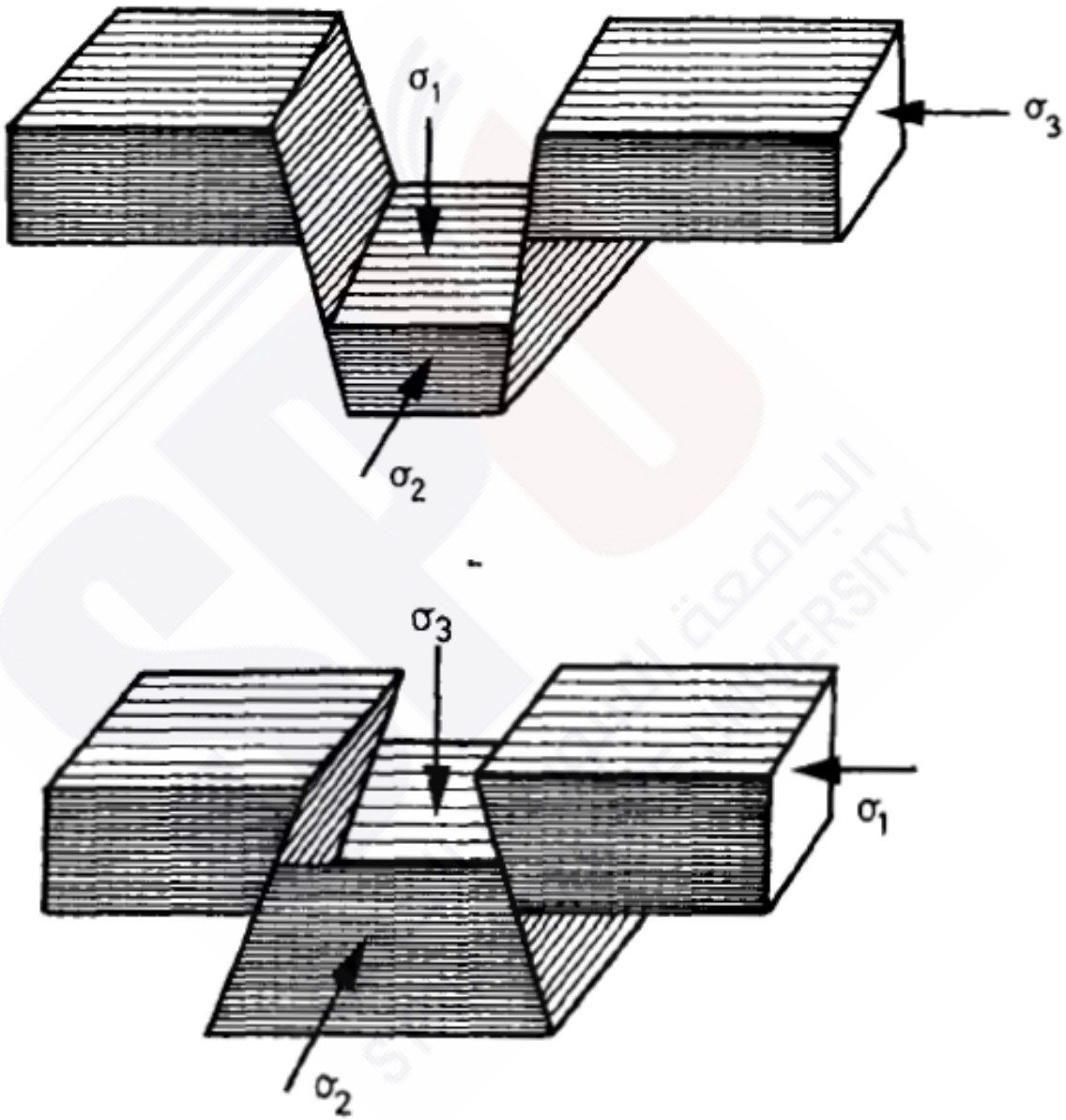
لفهم أسلوب الإجهادات الرئيسية الثلاث **(σ 1 > σ 2> σ 3)**التي تتأثر بالتشوهات الجيولوجية المختلفة، كما في الأمثلة الواردة التالية، في هذه الأمثلة إن توزع الإجهادات مرتبط بالفوالق والكسور القصية.

الحالة 1:

إذا كان الإجهاد الرئيس σ 1 ذات اتجاه عمودي و σ 2 و σ 3 ذات اتجاه أفقي، يتشكل فالق طبيعي عادي حيث يتكون فالقين مقترنين بزاوية ٦٠° . حيث :

$$\sigma_3 \cong \frac{1}{2}\sigma_1 \div \frac{1}{3}\sigma_1$$



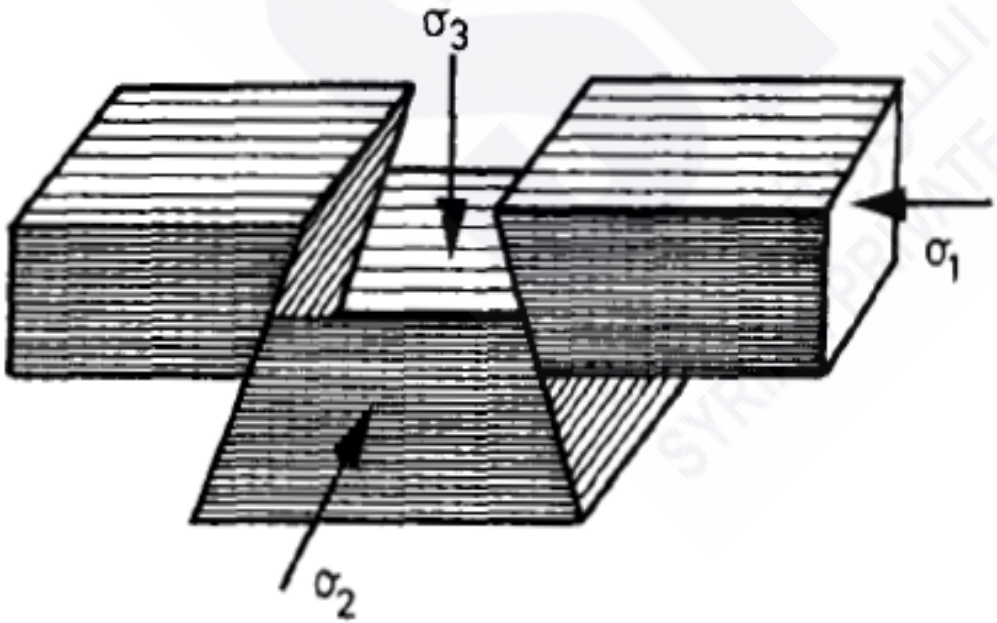


1.12 – Faulting: a) Extension and normal fault and b) compression of inverse fault.

الحالة 2:

من خلال التاريخ الجيولوجي ،عندما يحدث تقصير لطبقات الأساس بتأثير الطي (فعل الطي) أو الضغط العلوي(ضغط الطبقات الأعلى)، فان الإجهاد الأصغر **σ 3 سيكون عمودي بينما الإجهاد الأعظمي σ 1 سيكون أفقي كما في الشكل** (١-١٢b). في هذه الحالة تغيرات **σ 1 هي:** $\sigma_1 \cong 2\sigma_3 \div 3\sigma_3$

يتشكل فالق عكسي نتيجة اجهادات الضغط الجانبي σ 1 والإجهادات ذات الاتجاه العمودي σ 3 الناتج عن وزن الطبقات الأعلى(اجهادات الغطاء الصخري).

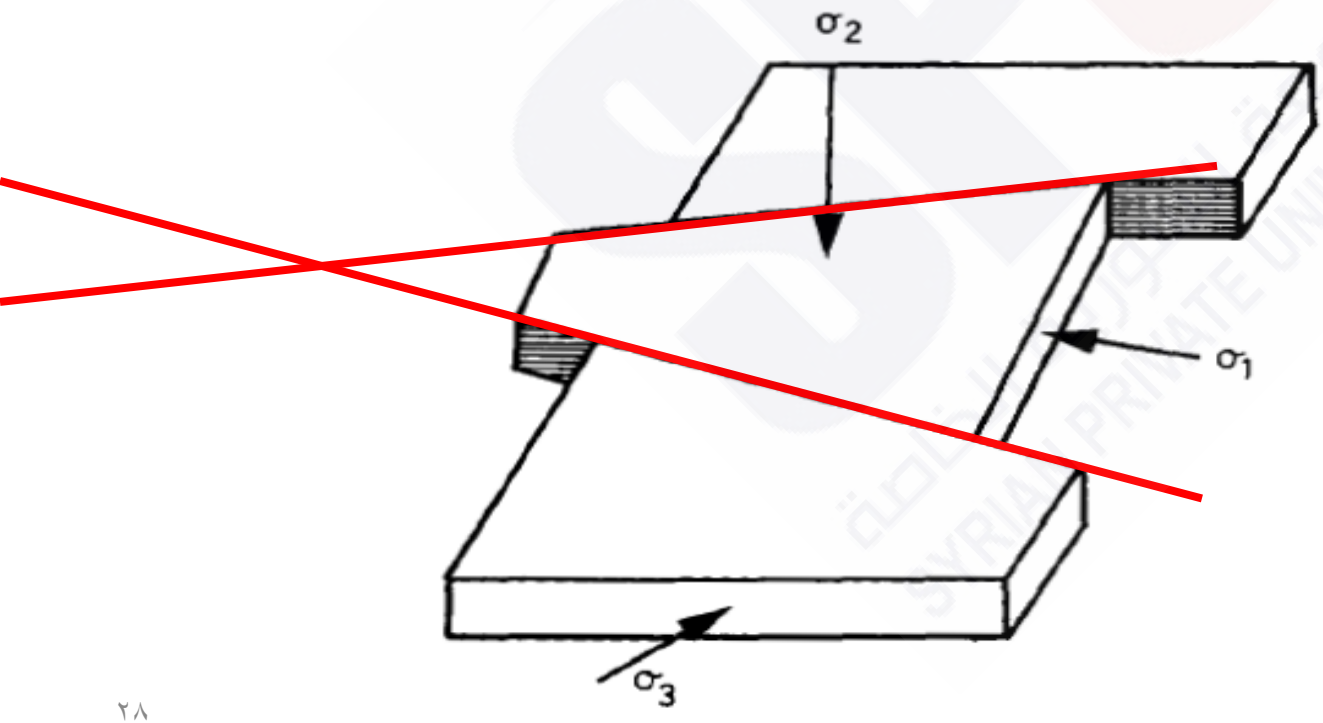


الحالة 3:

هي حالة مختلفة عن سابقتها، عندما يكون الإجهاد الرئيسي الأعظمي σ 1 و الأصغري σ 3 كلاهما أفقيان، والإجهاد الأوسط σ 2 عمودي حيث يمثل (الشكل ١-١٣) شقوق القص والضغط.

في هذه الحالة إن الإجهادات الرئيسة الاعظمية و الاصغرية **(σ 1, σ 3)** كلاهما أفقية و **(σ 2)** إجهاد شاقولي .

يتشكل فالق عرضي ، حيث يتشكل سطحين لكسرين بزاوية ٦٠ درجة.



1.13 – Compression and shear fracturing.

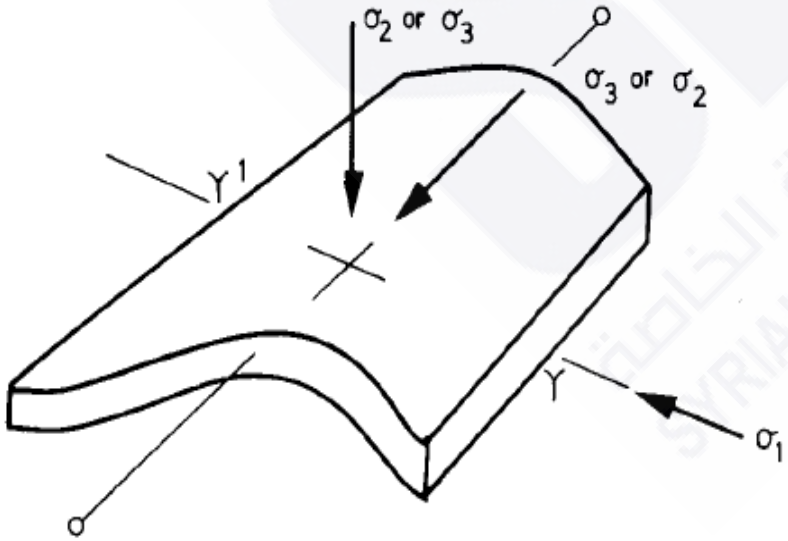
Fractures vs. folding

الشقوق مقابل الطيات

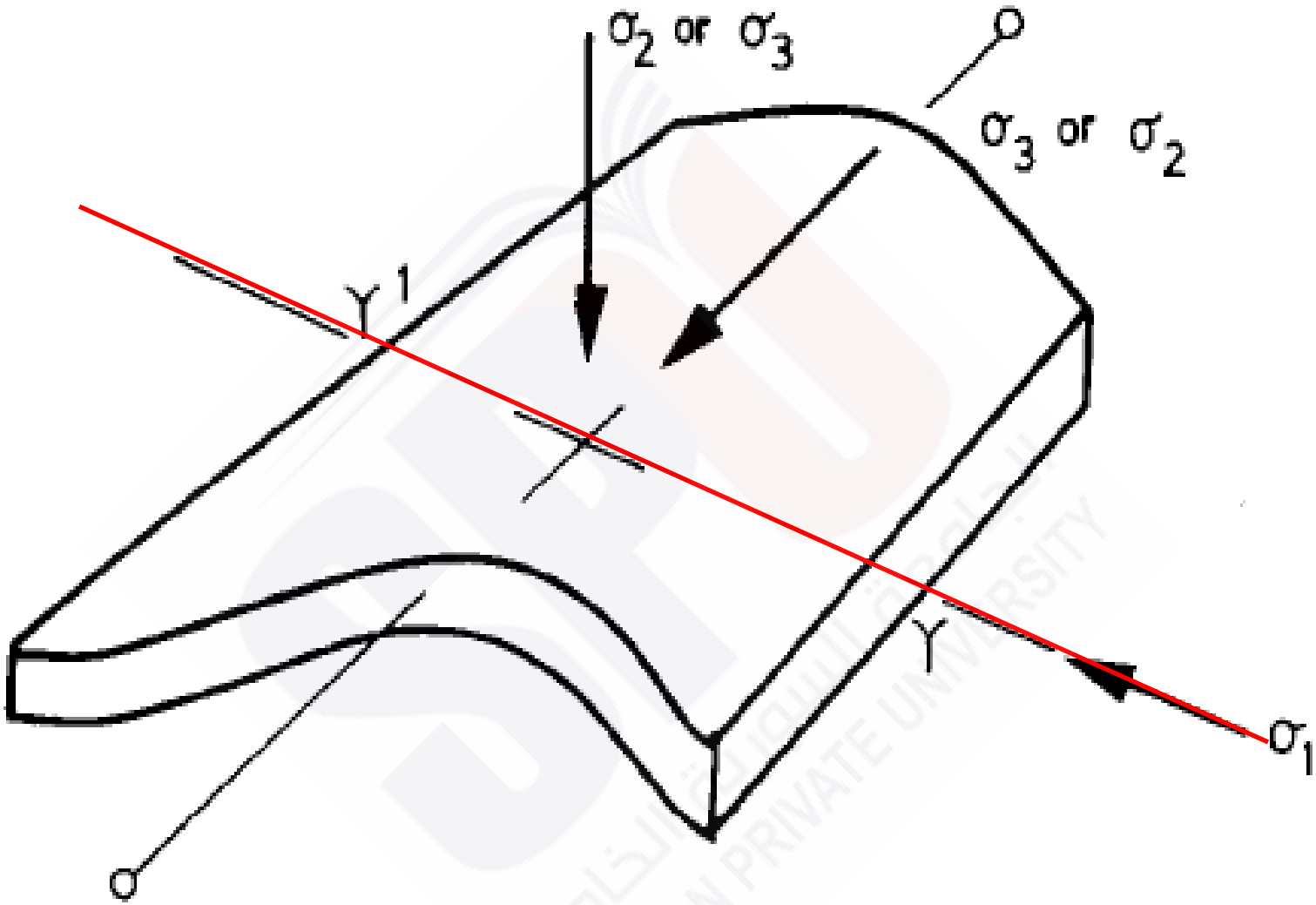
في حالة الطيات والشقوق غير المرتبطة بحالة إجهاد واحدة (كما في حالة الفوالق) لكن مرتبطة بحالات مختلفة من الجهد والتي تحتل مكان من خلال تاريخ الطيات. حيث هناك عدة حالات:

الحالة1 :

الإجهاد الجانبي الأفقي **σ 1** فعال من اتجاه واحد كما في (الشكل١-١٤)، الطي يولد سلسلة من الشقوق نتيجة اجهادات الضغط والشد. وله نمطان:



1.14 – Folding compression



1.14 – Folding compression

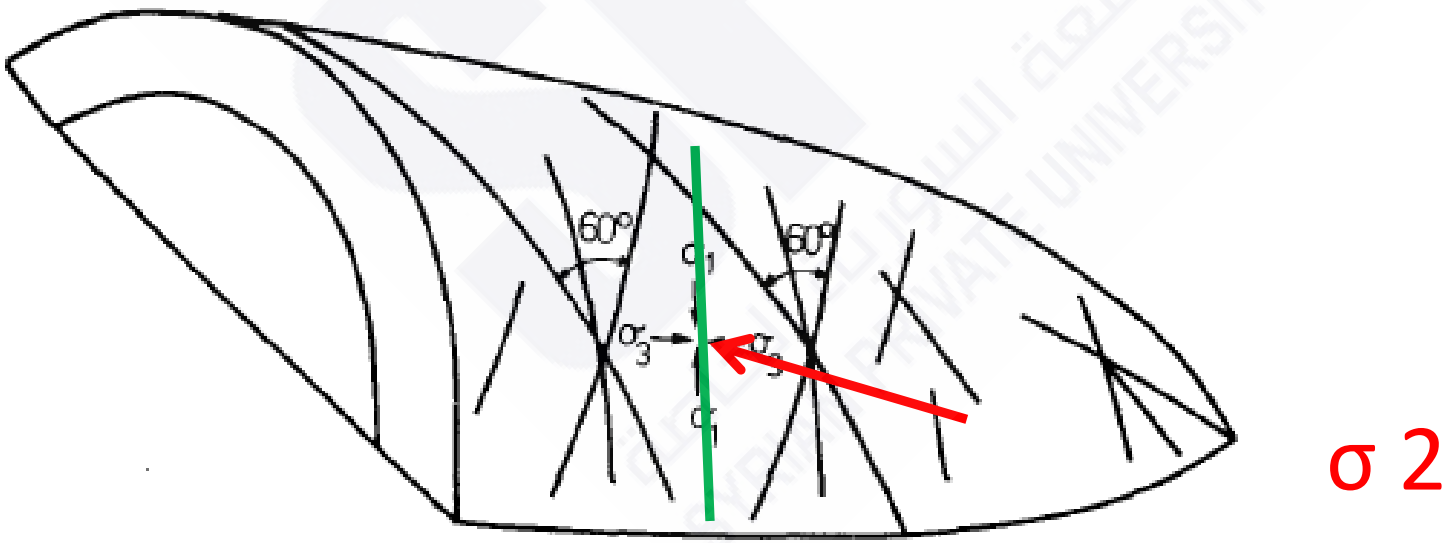
النمط 1 :

يمثله (الشكل ١-١٦) حيث:

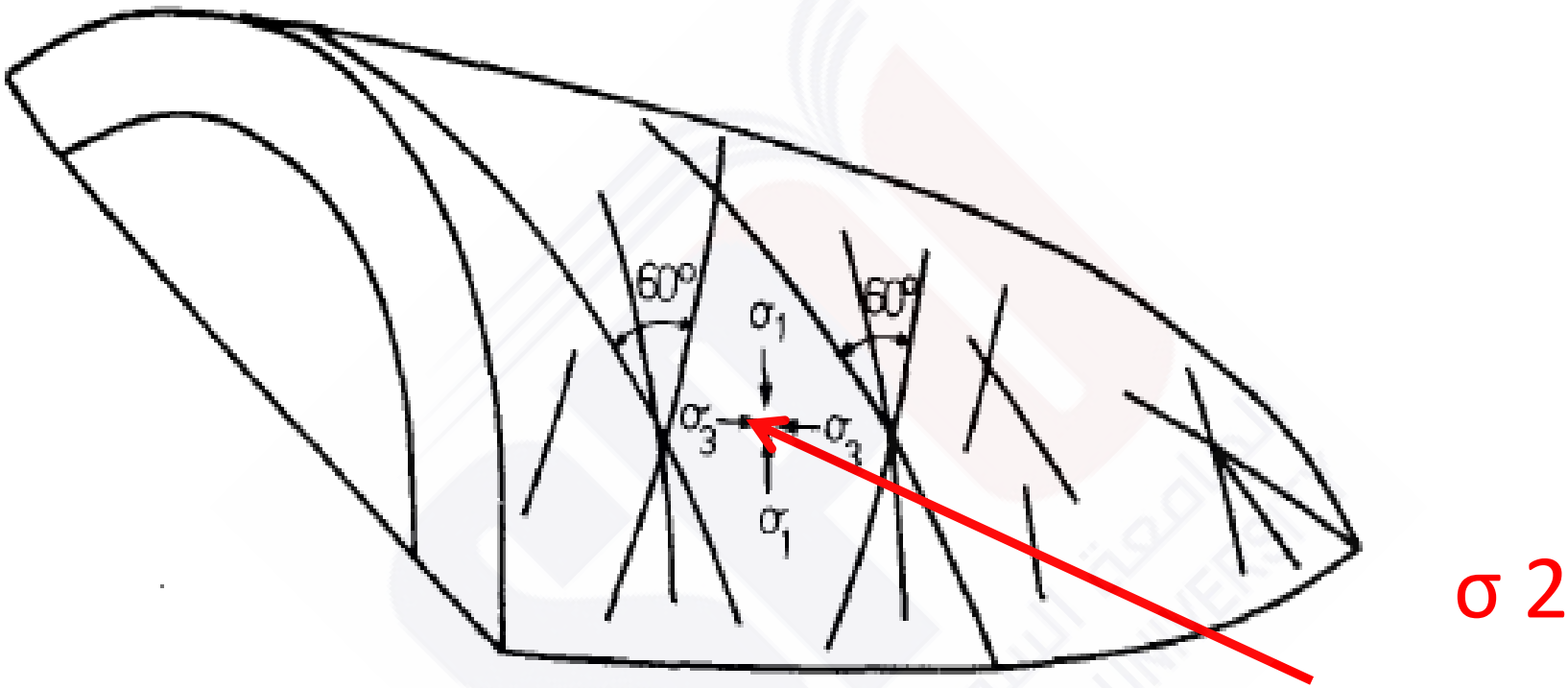
σ1, σ3 على طول مستوي التطبق.

σ 2 عمودي على مستوي التطبق.

تتشكل أو تحدث مجموعة من الشقوق العرضية والشقوق المقترنة وذلك بسبب اتجاه الإجهاد الرئيسي الأعظمي σ 1 على طول ميول البنية .



1.16 – Fracture Pattern 1: σ_1, σ_3 acting in the bedding plane and σ_2 acting normal to the bedding plane (σ_3 – dipdirection: σ_1 – strike direction). (Stearns[2], Courtesy AAPG).



1.16 – Fracture Pattern 1: σ_1, σ_3 acting in the bedding plane and σ_3 acting normal to the bedding plane (σ_3 – dipdirection: σ_1 – strike direction). (Stearns[2], Courtesy AAPG).

النمط 2 :

يمثله (الشكل١-١٧) حيث هذا النمط مصغر عن النمط 1:

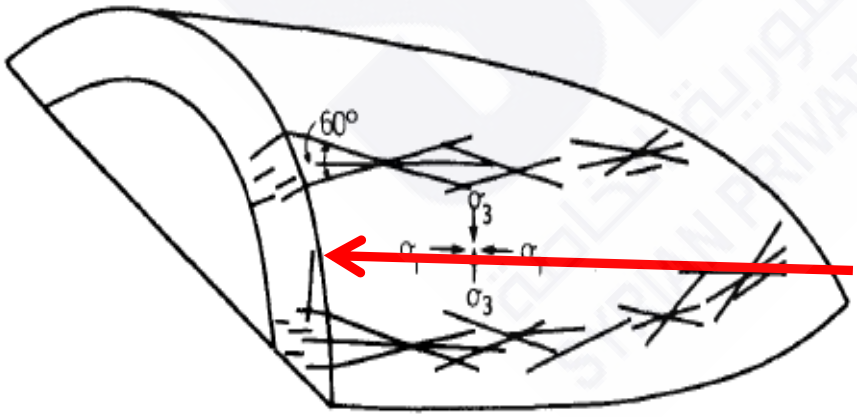
σ 2 عمودي على مستوي التطبق.

σ1, σ3 على طول مستوي التطبق.

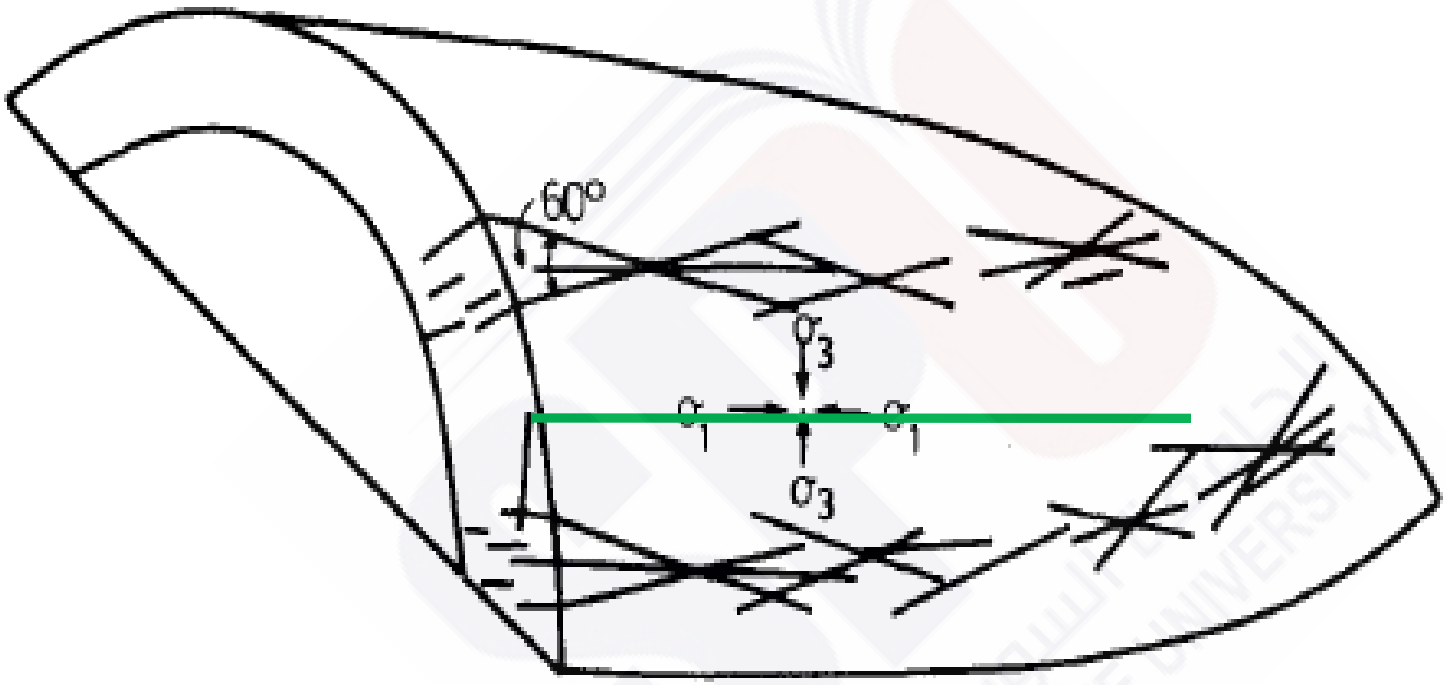
فقط الفرق إن الإجهاد الأعظمي الرئيسي σ1 يؤثر باتجاه موازي لمحور الطي. حيث النتيجة هي مجموعة من الشقوق المقترنة.

σ1 تمثل متجه الطبقة (متعامد مع خط الميل) بالنسبة للمستوي الأفقي.

فيما الإجهاد الأصغري σ3 يشر إلى اتجاه الميل.



1.17 – Fracture pattern 2: σ_1, σ_3 acting in the bedding plan and σ_1 acting normal to the bedding plane (σ_3-dip direction, σ_1-strike direction). (Stearns[2], Courtesy AAPG.)



1.17 – Fracture pattern 2: σ_1, σ_3 acting in the bedding plan and σ_1 acting normal to the bedding plane (σ_3-dip direction, σ_1-strike direction). (Stearns[2], Courtesy AAPG.)

Thanks for your attentions