

تأثير الشقوق والشقوق المرافقة على توزيع الإجهادات

الدكتور عدنان خضور*

(قبل للنشر في 2006/3/1)

□ الملخص □

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير الشقوق على توزيع الإجهادات وإلى أي بعد عن الشق يصل هذا التأثير (منطقة التأثير)، ودراسة العوامل الأساسية التي تلعب دوراً رئيساً في ذلك، كما يتناول باختصار المفاهيم الأساسية للشقوق وطرائق البحث توطئة لا غنى عنها. بعد ذلك ننتقل إلى تبيان الحالة الإجهادية-التشوهية للصخور وتأثير سطوح الانقطاع على التشوه وتوزيع الإجهادات فيها. ثم يتم عرض نتائج الحسابات (تم الحساب بطريقة العناصر المنتهية) التي تبين تأثير كل من مركبات الإجهادات الرئيسية σ_1 و σ_2 وزاوية ميل الشق على توزيع الإجهادات وعلى أبعاد منطقة التأثير، وفي النهاية أهم النتائج التي توصل اليها.

كلمات مفتاحية: الشقوق ، الشقوق المرافقة.

* أستاذ مساعد في قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين . اللاذقية - سوريا.

The Effect of the Cracks and the Attendant Cracks on the Distribution of Stresses

Dr. Adnan Kh○○○○door*

(Accepted 1/3/2006)

□ ABSTRACT □

This paper purposes to study the effect of cracks on the distribution of stresses and any distance from the crack the effect reaches (effect zone). It also studies the basic agents which play the main role. As an introduction, the paper briefly deals with the basic concepts of cracks and research. We then move to explain the stress-deformation status for the rocks and the effect of severance surfaces on the deformation and the distribution of stresses. The paper then shows the results of calculations (the calculation has been done in the finite elements way) which show the effect in each of the basic constructions of stresses σ_1 , σ_2 and the inclined angle of the crack on the distribution of stresses. At the end, the paper provides the most important results which the research obtained.

Key words: Cracks, Attendant Cracks.

* Associate Professor, Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, SYRIA.

مقدمة:

يتميز الربع الأخير من القرن العشرين بالازدياد المضطرد والوتيرة السريعة في إقامة المنشآت الهندسية الضخمة كالسدود والطرق والسكك الحديدية والأنفاق واستثمار الثروات الباطنية عن طريق المناجم العميقة والمقالع والآبار. كما ظهرت في الآونة الأخيرة وحصراً في البلدان المتقدمة التي تعتمد على الطاقة النووية حاجة ملحة في إيجاد مدافن آمنة للنفايات النووية. إن المنشآت الهندسية المذكورة أعلاه تشييد إما على قواعد صخرية أو ضمن الصخور التي لا بد من دراستها أي كانت وتحديد خواصها الميكانيكية والتشوهية وكذلك التأثير المتبادل للمنشآت والوسط المحيط بهدف تنفيذ الأعمال الهندسية بشكل آمن والاستثمار الأمثل لهذه المنشآت.

إن الصخور ما هي إلا جزء من ماسيف الصخور (ماسيف كلمة فرنسية massif ذات أصل لاتيني mass) الذي يتميز بخواص معينة تحدد وضعه الميكانيكي، متانته وكذلك وضعه الإجهادي-التشوهي. إن تعبير ماسيف الصخور مصطلح علمي يستخدم في مجالات عدة منها: التكتونيك، علم الصخور (البترولوجيا)، علم تضاريس الأرض (الجيومورفولوجيا)، الهندسة الجيولوجية، ميكانيك الصخور... الخ. يوجد تعاريف عدة لماسيف الصخور نذكر منها ما نراه حسب رأينا التعريف الأكثر توفيقاً وهو تعريف البر فسورة غالدكوفسكيا: (إن الماسيف هو جسم جيولوجي يكون تركيب تكتوني أو جزء منه، تشكل هذا التركيب في ظروف جيولوجية وجغرافية واحدة ويتصف بقانونية جيولوجية خاصة به) [7]. لاحقاً سنستخدم تعبير جملة صخرية بدلاً من مصطلح ماسيف.

في الدراسات التصميمية يجب النظر إلى الجملة الصخرية إضافة إلى تعريف غالدكوفسكيا كوسط متميز وخاص من الناحية الميكانيكية، ويجب فرز العوامل المميزة لوضعه البنيوي والتركيب، تشققه، بنيته الكتلية، اختلاف خصائصه باتجاهات مختلفة، وكذلك الإجهادات الطبيعية [8].

مجموعة الشقوق المتواجدة في هذا الحجم من الصخور أو ذلك تسمى بالتشقق. أي شق مهما يكن منشأه وبأي أبعاد هندسية كان ماعدا المجهرى يرافقه وبكلا الجانبين شقوقاً أبعادها أصغر بكثير من أبعاد الشق الرئيس سنطلق عليها اسم التشققات المرافقة ومناطق تواجدتها بمناطق التشققات المرافقة. تلاحظ التشققات المرافقة بشكل كبير حول الشقوق التكتونية وغيرها من الشقوق الكبيرة وتكون كثيفة حول الشق الرئيس وتبدأ كثافتها بالتناقص السريع كلما ابتعدنا عنه [4,2]. إن سماكة منطقة التشققات المرافقة تتعلق بعوامل عدة ولا تكون في علاقة خطية مع عرض الشق الرئيس

Δa وتراوح وفق دراستنا الإحصائية ما بين بضعة أجزاء من Δa و $8 \Delta a$

يتطلب من الدراسات الهندسية للصخور أن تولي الأهمية القصوى للشقوق التي تقطع الكتل الصخرية وتشكل سطوح ومستويات انقطاع في استمرارية الجسم. أن إحدى المسائل الهامة في ميكانيك الصخور هي دراسة الحالة الإجهادية-التشوهية لجملة الصخرية والتي يمكن أن تتم بالطرق الآتية:

1- القياسات الحقلية لمركبات الإجهاد

2- استخدام الحلول الرياضية الدقيقة

3- النماذج الفيزيائية

4- الطرق العددية

لن ندخل في التفاصيل الدقيقة لكل طريقة ماعدا الأخيرة وسنكتفي بعرض موجز جداً لخصوصية كل منها.

يهدف البحث إلى دراسة تأثير الشقوق على توزيع الإجهادات في الجملة الصخرية وإلى أي بعد عن الشق يصل هذا التأثير (منطقة التأثير) من خلال دراسة تفصيلية لتأثير σ_1/σ_2 و α على الحالة الإجهادية المستوية لنموذج يمثل جملة صخرية تحتوي على شق رئيسي ومنطقة تشققات مرافقة حيث أن:

$$\sigma_1/\sigma_2 - \text{النسبة بين الإجهادات الفعالة على حدود المنطقة المدروسة.}$$

$$\alpha - \text{الزاوية المحصورة بين مستوي الشق واتجاه تأثير الإجهاد الأعظمي } \sigma_1.$$

1- القياسات الحقلية: تلحظ القياسات الحقلية الوضع الراهن للحالة الإجهادية في الجملة الصخرية وبما أن هذه الطرق تعتمد على أجهزة القياس في تعيين الحقل الإجهادي ونظراً للتركيب المعقد للجملة الصخرية فهي تتطلب جهداً مالياً ونفقات مادية كبيرة.

2- الحلول الرياضية الدقيقة: تطبق الحلول الرياضية الدقيقة فقط للوسط المتجانس المستمر عندما تكون الشروط الطرفية بسيطة، أما عندما تكون الجملة الصخرية معقدة التركيب فلا بد من تبسيط المخطط الحسابي ويتعذر عملياً استخدام كافة المعطيات التي نحصل عليها من التحريات الجيوهندسية، والتي يدونها لا يمكن التقييم الصحيح للجملة الصخرية.

3- النماذج الفيزيائية: تهدف النماذج الفيزيائية إلى التغلب على المشاكل الجمة الناجمة عن صعوبة تحقيق فرضيات تماثل الخواص (الايزوتروبيك) بشكل مقبول وتمثيل التركيب الفعلي للكتل (التباين، التشقق) واختيار مواد النموذج بالمواصفات الفيزيائية والميكانيكية المطلوبة وكذلك تطبيق الشروط الطرفية وقياس الإجهادات. لكن استخدام هذه النماذج بقي محدوداً جداً نظراً لصعوبة استخدامها في الأوساط غير المتجانسة كالصخور حيث إن ذلك يتطلب تجريب عدد كبير من النماذج.

4- الطرق العددية: تحظى الطرق العددية بانتشار واسع وخاصة طريقة العناصر المنتهية في دراسة الوضع الإجهادي- التشوهي للجملة الصخرية، تمكن هذه الطريقة وبشكل جيد تمثيل الخصائص التركيبية والحالة الراهنة وخواص كتل الصخور والأشكال المختلفة للمحولات والحالة الإجهادية الطبيعية [6,2].

عند حساب الحالة الإجهادية- التشوهية لجملة صخرية لا بد من وضع مخطط يتألف من شبكة عناصر بحيث يكون الوسط ضمن كل عنصر شبه متجانس وشبه مستمر أي أن الخواص التشوهية ضمن كل عنصر ثابتة. إذا احتوت الجملة الصخرية على شقوق كبيرة يجب ألا يمثل هذا الوسط كوسط شبه متجانس وشبه مستمر بينما الأجزاء المحصورة بين هذه الشقوق فيمكن أن تكون شبه متجانسة وشبه مستمرة، في هذه الحالة وعند وضع شبكة العناصر يجب فرز الشقوق والتشققات المرافقة وتحديد خواصها، كما يجب أن تكون أبعاد المخطط الحسابي أكبر بعدة مراتب من سماكة الشقوق والتشققات المرافقة التي لا تخضع للتوسيط.

للحصول على حل أكثر دقة نعطي عند وضع شبكة العناصر عدد كبير من العناصر صغيرة الأبعاد للشقوق ومناطق التشققات المرافقة بغض النظر عن شكل العنصر. ستكون كثافة عناصر الشبكة كبيرة في هذه المناطق. نظراً لإمكانيات الحواسيب المحدودة نضطر لاختيار عدد معقول من العناصر يعطي نتائج مقبولة حيث يتم تكثيف وتصغير أبعاد العناصر في الشقوق ومناطق التشققات المرافقة وتقليل عدد العناصر وجعل أبعادها أكبر كلما ابتعدنا عن هذه المناطق.

I- الحالة الإجهادية للكتل الصخرية وتأثير الشقوق عليها

يكون الجسم الجيولوجي في موضعه الطبيعي ضمن القشرة الأرضية تحت تأثير إجهادات تختلف بالقيم والاتجاه من مكان إلى آخر. الدليل على هذه الإجهادات التي تفوق في بعض الأحيان حد متانة الصخور الكثير من الظواهر كالحركات التكتونية الحديثة والهزات الأرضية والفوالق والشقوق وغيرها. تكون الجملة الصخرية مجهددة نتيجة لعوامل كثيرة منها قوى الجاذبية والقوى التكتونية وغيرها وإن توزع الإجهادات ضمنها يتعلّق بعوامل عديدة من أهمها:

- أبعاد الشقوق

- النسبة بين قيم الإجهادات الرئيسية σ_1 و σ_2 المؤثرة على حدود المنطقة المدروسة

- توضع الشقوق بالنسبة لمحاور الإجهادات الرئيسية σ_1 و σ_2

- نسبة عوامل التشوه للمواد المألئة للشقوق، مواد منطقة التشققات المرافقة وكذلك الصخور السليمة.

بما أنها تتميز الجملة الصخرية في أغلب حالات تواجدتها ببنيتها التشققية الكتلية التي تسبب في تركيز الإجهادات ضمنها، يجب أن تؤمن دراسة الخواص التشوهية للصخور الحصول على كافة العوامل الضرورية للتقييم الكمي مع الأخذ بالاعتبار الخواص البنيوية.

1.I- تأثير الشقوق المستمرة المملوءة على توزع الإجهادات

أي شق كان يمكن تمثيله بشكل شق رئيس معبأ على جانبيه تشققات مرافقة ومحدود بمستويي انزلاق متوازيين. السماكة المحصورة بين هذين المستويين هي عرض الشق Δa . إن عوامل مرونة هذه المنطقة تكون أصغر بعشرات المرات من عوامل مرونة الصخور السليمة [1]، [3].

سنتناول هذا الموضوع من خلال دراسة تفصيلية لتأثير σ_1/σ_2 و α على الحالة الإجهادية المستوية لنموذج يمثل جملة صخرية تحتوي على شق رئيسي ومنطقة تشققات مرافقة حيث إن:

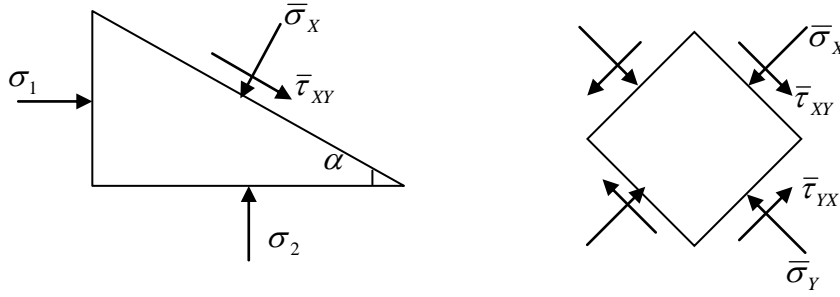
σ_1/σ_2 - النسبة بين الإجهادات النازمية الفعالة على حدود المنطقة المدروسة.

α - الزاوية المحصورة بين مستويي الشق واتجاه تأثير الإجهاد الأعظمي σ_1 .

لدينا الجملة الصخرية ABCD التي تحتوي على شق رئيس عرضه Δa على جانبيه منطقة تشققات مرافقة سمكها L تؤثر عليه الإجهادات σ_1 و σ_2 . نأخذ من هذه الكتل الصخرية منطقة للدراسة $A'B'C'D'$ ينعدم على حدودها تأثير الشقوق والتشققات المرافقة على توزع الإجهادات الشكل (5). نأخذ أبعاد منطقة الدراسة كالاتي (تؤخذ الأبعاد بالنسبة لعرض الشق): الطول Δa ؛ الارتفاع $40\Delta a$ ؛ منطقة التشققات المرافقة $L'' = 7\Delta a$.

بما أن قيمة الزاوية α متغيرة في الحسابات لذلك تؤخذ الإجهادات عند تطبيق الشروط الإجهادية الطرفية وفقاً للرسم (1) والعلاقات الآتية:

$$\left. \begin{aligned} \bar{\sigma}_x &= \sigma_1 \cdot \sin^2 \alpha + \sigma_2 \cdot \cos^2 \alpha \\ \bar{\sigma}_y &= \sigma_1 + \sigma_2 - \bar{\sigma}_x \\ \bar{\tau}_{xy} &= (\sigma_1 - \sigma_2) \sin \alpha \cdot \cos \alpha \end{aligned} \right\}$$



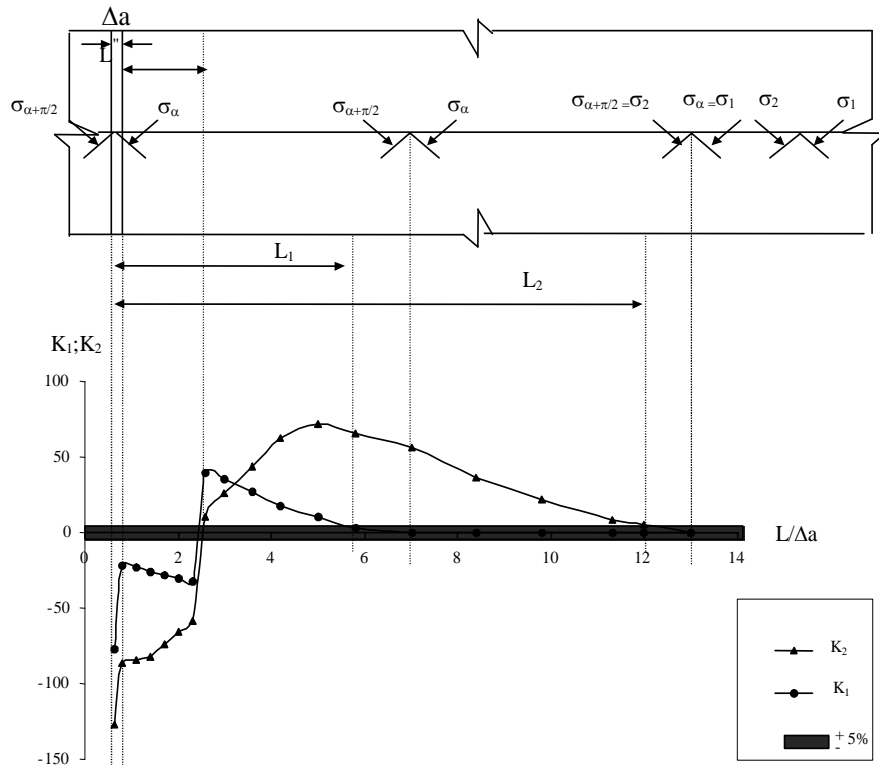
الشكل-1: تحديد الإجهادات الطرفية

لاحقاً سنبين سماكة منطقة تأثير الشقوق L على الحالة الإجهادية للجملة الصخرية المحيطة (تؤخذ الأبعاد بالنسبة لعرض الشق الرئيس Δa) ونعني بمنطقة التأثير تلك المنطقة من الحقل الإجهادي التي تكون فيها الإجهادات محرصة وقيم الإجهادات فيها تختلف عن قيم الإجهادات المتواجدة في الحقل ككل. أما سماكة منطقة التأثير فهي الحد الفاصل بين منطقة تتحرف فيها قيم الإجهادات عن قيم الإجهادات المؤثرة والثابتة خارج منطقة التأثير. نعتد قيمة الانحراف 5% وهي كافية للأغراض الهندسية. الشكل(2).

نرمز إلى:

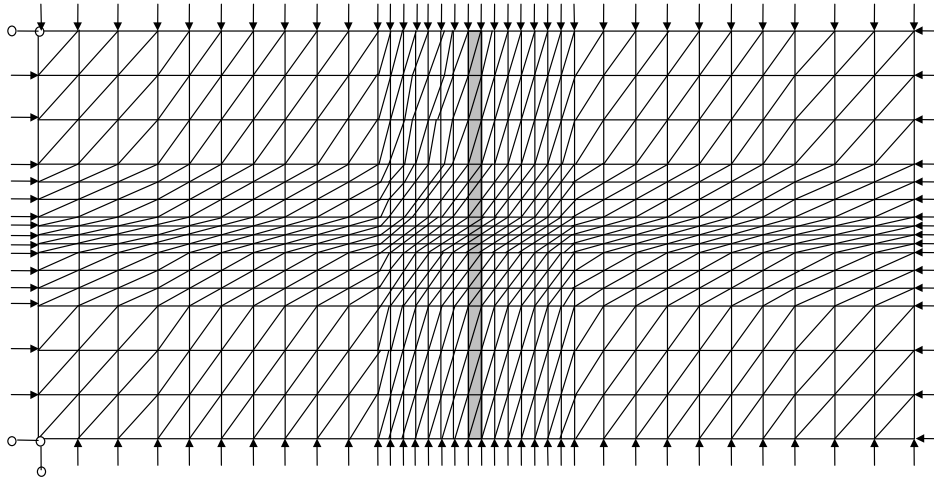
L_1 - سماكة منطقة تأثير الشقوق على الإجهاد σ_α .

L_2 سماكة منطقة تأثير الشقوق على الإجهاد $\sigma_{\alpha+\pi/2}$.



الشكل - 2 : تأثير الشقوق على توزيع الإجهادات

لقد اعتمدنا في البحث طريقة العناصر المنتهية والحساب وفق برنامج أثبتنا صحته لمثل هذه الأغراض في دراسات سابقة لنا، كما أخذنا أبعاد المنطقة الحسابية بحيث لا تؤثر الشروط الطرفية على دقة النتائج واستخدمنا شبكة عناصر مثلثية الشكل (3).



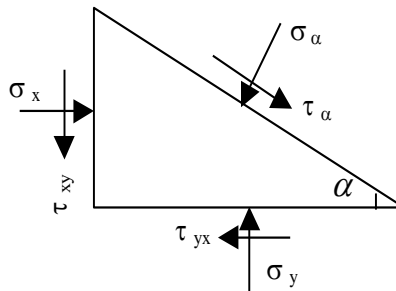
الشكل - 3 : الشبكة المستخدمة في الدراسة

نتيجة للحسابات تم تعيين مركبات الحقل الإجهادي σ_x و σ_y و τ_{xy} في منطقة الدراسة الشكل (5)، أما الإجهادات σ_{α} و $\sigma_{\alpha+\pi/2}$ فيتم الحصول عليها وفقاً للرسم (4) والعلاقات التالية:

$$\sigma_{\alpha} = \sigma_x \cdot \sin^2 \alpha + \sigma_y \cdot \cos^2 \alpha + 2\tau_{xy} \cdot \sin \alpha \cos \alpha$$

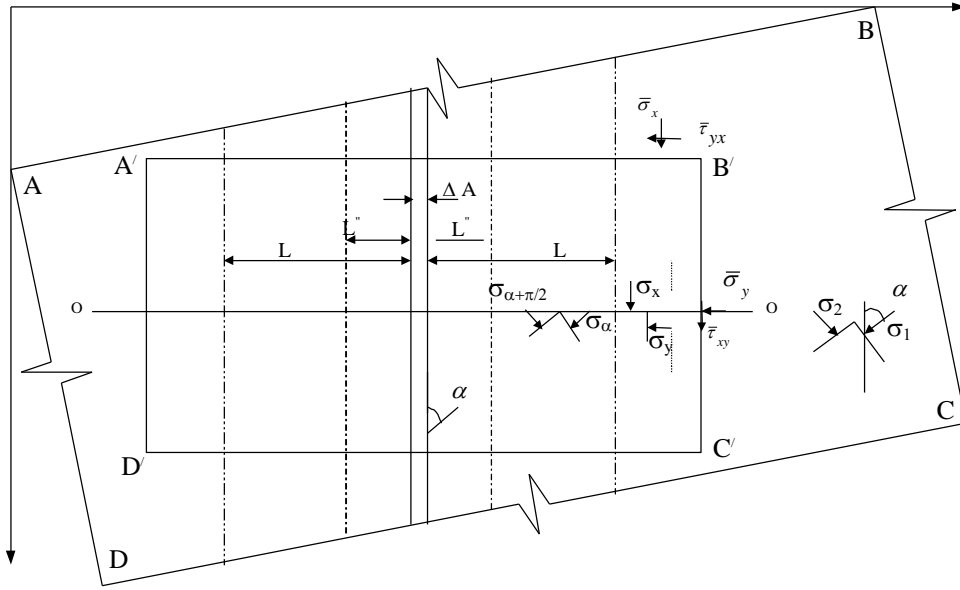
$$\sigma_{\alpha+\pi/2} = \sigma_x + \sigma_y - \sigma_{\alpha}$$

$$\tau_{\alpha} = (\sigma_x - \sigma_y) \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \tau_{xy} (\cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha)$$



الشكل - 4 : تحديد σ_{α} و $\sigma_{\alpha+\pi/2}$

إن الإجهادات σ_{α} و $\sigma_{\alpha+\pi/2}$ تؤثر على سطوح موازية لسطوح تأثير الإجهادات الرئيسة σ_1 و σ_2 الفعالة خارج الشق الرئيسي ومنطقة التشققات المرافقة. أي أن اتجاه فعل الإجهادات σ_{α} و σ_1 وكذلك σ_2 و $\sigma_{\alpha+\pi/2}$ متطابقة الشكل (2).



الشكل- 5 : النموذج المدروس

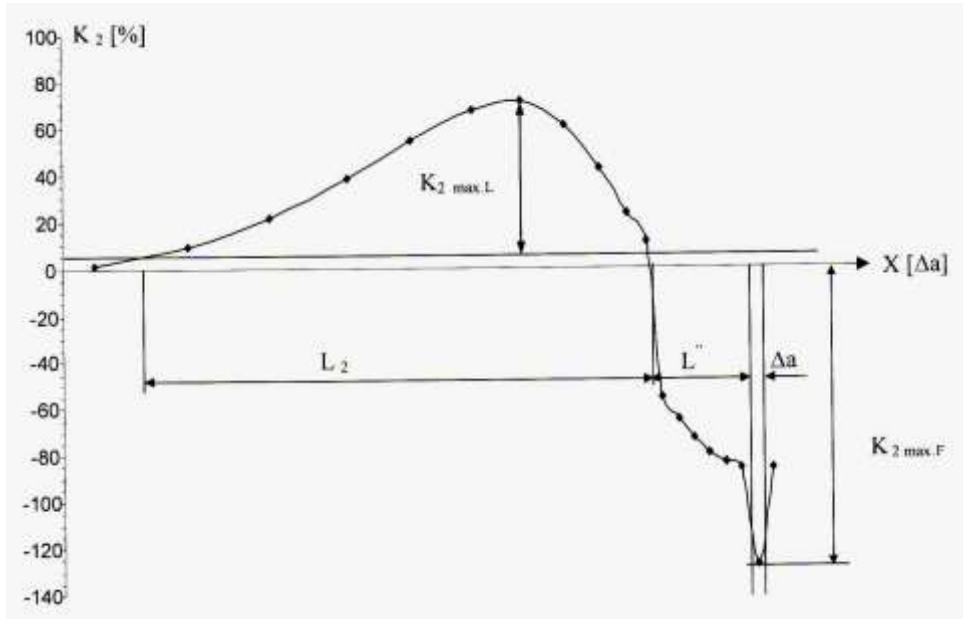
ولدراسة تغير قيم $\sigma_{\alpha+\pi/2}$ و σ_{α} نعرف العاملين اللابعد بين K_1 و K_2 المرتبطين بـ σ_1 و σ_2 بالعلاقات التالية:

$$K_1 = \frac{\sigma_{\alpha} - \sigma_1}{\sigma_1} 100\% ; \quad K_2 = \frac{\sigma_{\alpha+\pi/2} - \sigma_2}{\sigma_2} 100\%$$

بما أن قيم σ_1 و σ_2 ثابتة خارج منطقة التأثير فإن السبب في تغير قيم K_1 و K_2 هو فقط تغير قيم $\sigma_{\alpha+\pi/2}$ و σ_{α} عندما نتكلم عن تغير قيم K_1 و K_2 فهذا يعني تغير قيم الإجهادات التي نبحت عنها، وستكون في الكتل الصخرية منطقة خارج منطقة التأثير تنتهي فيها قيم K_1 و K_2 إلى الصفر.

" $K_{\max,L}$ ، $K_{\max,F}$ نعني بهذه المفاهيم الانحراف الأعظمي أي نقاط الذروة على منحنى تغير الإجهادات تبعاً

للابتعاد عن محور الشق في منطقة التأثير L وفي الشقوق F الشكل (6).

الشكل- 6 : تغير قيم K_2 بالاتجاه المتعاود على مستوى الشق الرئيسي (المستقيم oo الشكل 7)

نعرض نتائج الحسابات بشكل منحنيات تغير قيم الإجهادات على مستقيم متعامد على مستوى الشق، المستقيم oo' على الشكل (5).

2.I- دراسة تأثير نسبة مركبات الإجهاد (σ_1 و σ_2) وزاوية ميل الشق α على توزيع الإجهادات

نصادف في الطبيعة حالات كثيرة تفوق فيها الإجهادات الرئيسية الأفقية الإجهادات الرئيسية الشاقولية بعدة مرات لذا سنتطرق في عملنا هذا على دراسة تأثير النسب الآتية: $\sigma_1/\sigma_2=1; 2; 3; 4; 5; 7.5; 10$

كي نتمكن من إجراء الحسابات العددية لابد من إعطاء قيم محددة للإجهادات الفعالة على حدود المنطقة الحسابية. نعطي σ_2 قيمة ثابتة مقدارها 5Mpa أما σ_1 فنعطيها القيم الآتية:

$$\sigma_1 = 5; 10; 15; 20; 25; 37.5; 50 \text{ Mpa}$$

في هذه الحسابات تعطى زاوية الميل (α) قيمة ثابتة. ثم نجري حسابات لاحقة تعطى فيها زاوية الميل القيم الآتية:

$$\alpha = 0^0; 15^0; 30^0; 45^0; 60^0; 90^0$$

أعطيت سماكة منطقة التشققات المرافقة بالنسبة إلى عرض الشق الرئيس القيمة $L/\Delta a=7$ ومعاملات المرونة القيم: $E_F:E_L:E_G=1:8:20$ (حيث أن $E_F=500\text{Mpa}$)، ونسبة بواسون كالآتي:

$$v_F: v_L: v_G = 0.3:0.2:0.1$$

E_F - عامل مرونة المواد المألثة للشق.

E_L - عامل مرونة الصخر في منطقة التشققات المرافقة.

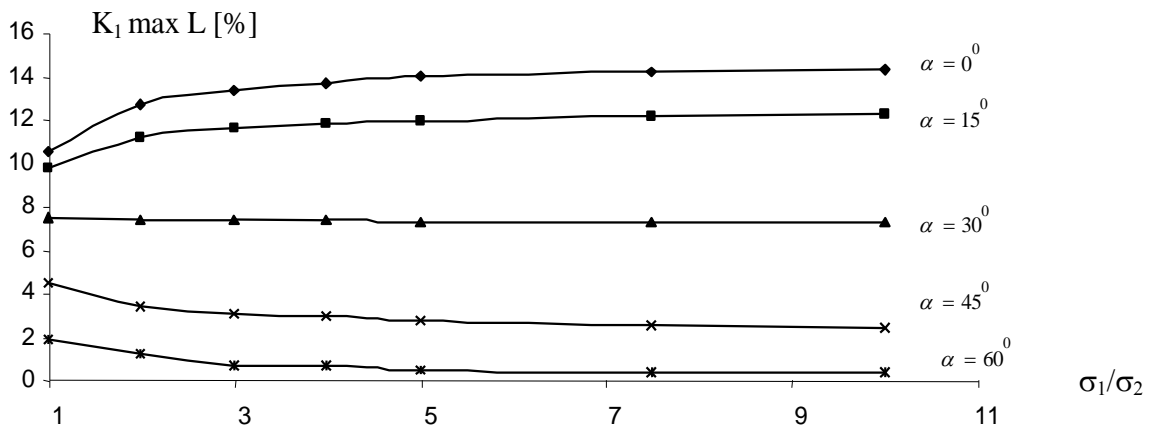
E_G - عامل مرونة الصخر السليم.

v_F - نسبة بواسون للمواد المألثة للشق.

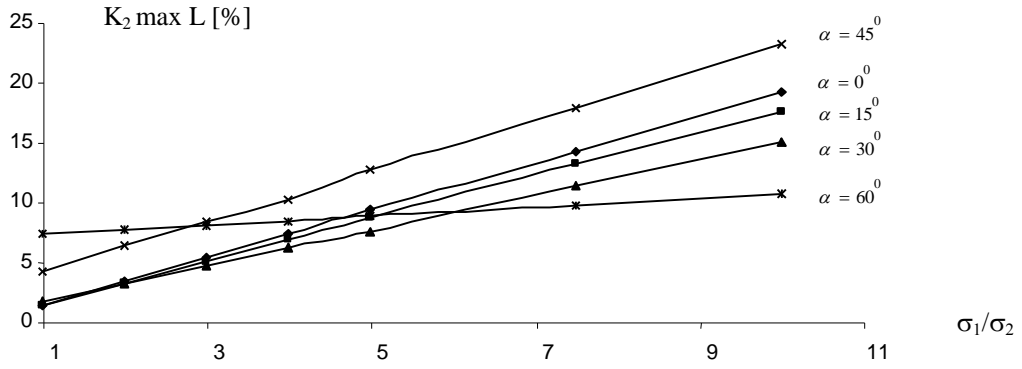
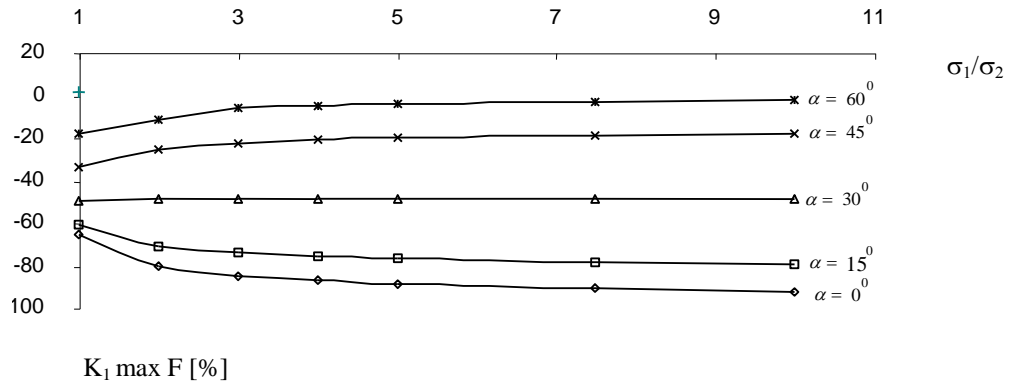
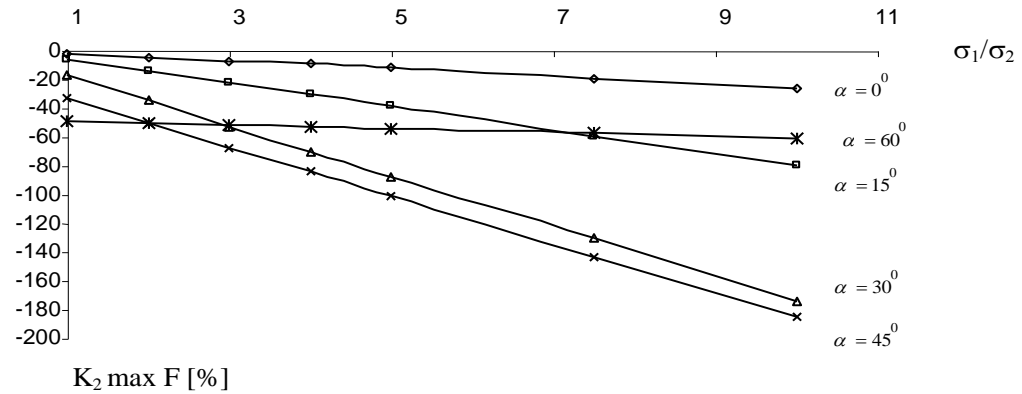
v_L - نسبة بواسون للصخر في التشققات المرافقة.

v_G - نسبة بواسون للصخر السليم.

نقدم نتائج الحسابات بشكل منحنيات تغير القيم الأعظمية لكل من K_1 و K_2 في منطقة التأثير وكذلك في الشق نفسه الأشكال (7-10)

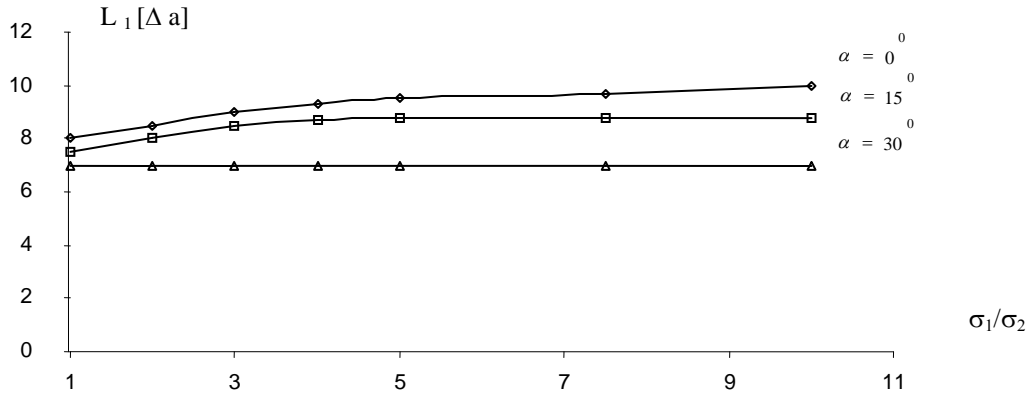


الشكل - 7 : القيمة الأعظمية ل K_1 في منطقة التأثير تبعاً لتغير النسبة σ_1/σ_2

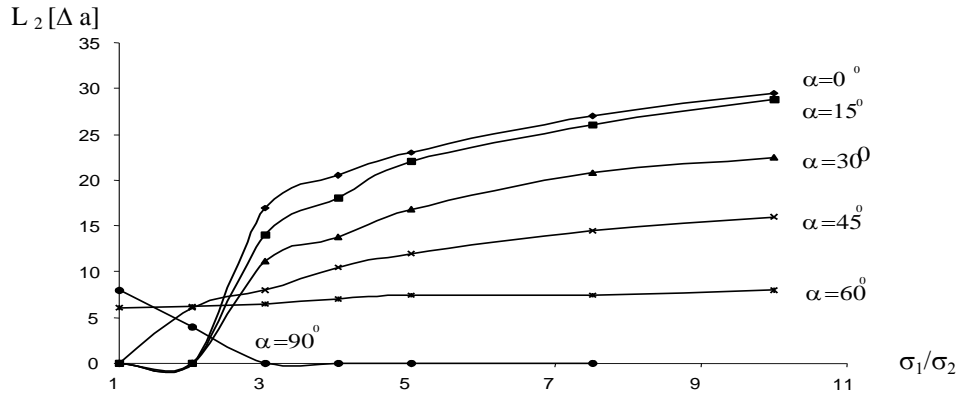
الشكل - 8 : القيمة الأعظمية لـ K_2 في منطقة التأثير تبعاً لتغير النسبة σ_1/σ_2 الشكل - 9 : القيمة الأعظمية لـ K_1 في الشق الرئيس تبعاً لتغير النسبة σ_1/σ_2 الشكل - 10 : القيمة الأعظمية لـ K_2 في الشق الرئيسي تبعاً لتغير النسبة σ_1/σ_2

تأثير النسبة σ_1/σ_2 على القيم الأعظمية لـ K_2 نبيته على الشكلين (8,10). نرى من هذه المنحنيات أنه للزوايا 0° - 45° α تزداد قيم K_2 في الشق وفي الصخور السليمة عند إزدياد قيم σ_1/σ_2 . أما عند الزاوية $\alpha=60^\circ$ فتزداد قيمة K_2 قليلاً في الصخور السليمة في منطقة التأثير وتبقى ثابتة في الشق. تأثير النسبة σ_1/σ_2 على القيم الأعظمية لـ K_1 نبيته على الشكلين (9)، (7). من هذه المنحنيات نرى أنه عند الزاوية $\alpha=30^\circ$ وعلى حد سواء في الشق وفي الصخور السليمة في منطقة التأثير تبقى قيمة K_1 ثابتة تقريباً. أما عند

الزوايا $0^{\circ}, 15^{\circ}, 45^{\circ}, 60^{\circ}$ فتتأثر قيمة K_1 زيادة أو نقصاناً حتى النسبة $\frac{\sigma_1}{\sigma_2} \leq 3$ بعد ذلك يصبح هذا التأثير طفيفاً. استناداً إلى معطيات الحسابات تم رسم منحنيات تبين سماكة منطقة تأثير الشقوق على الوضع الإجهادي للمجموعة (شق رئيسي - منطقة تشققات مرافقة - صخور سليمة) عند قيم مختلفة لـ σ_1/σ_2 و α الأشكال (11-14).

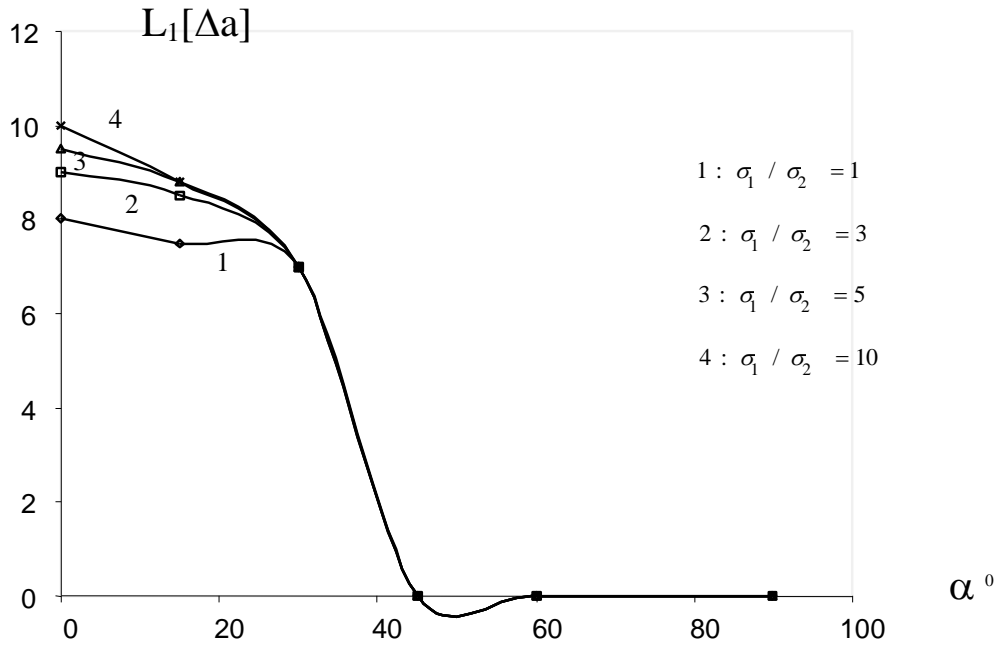


الشكل - 11 : سماكة منطقة التأثير L_1 تبعاً لتغير النسبة σ_1/σ_2

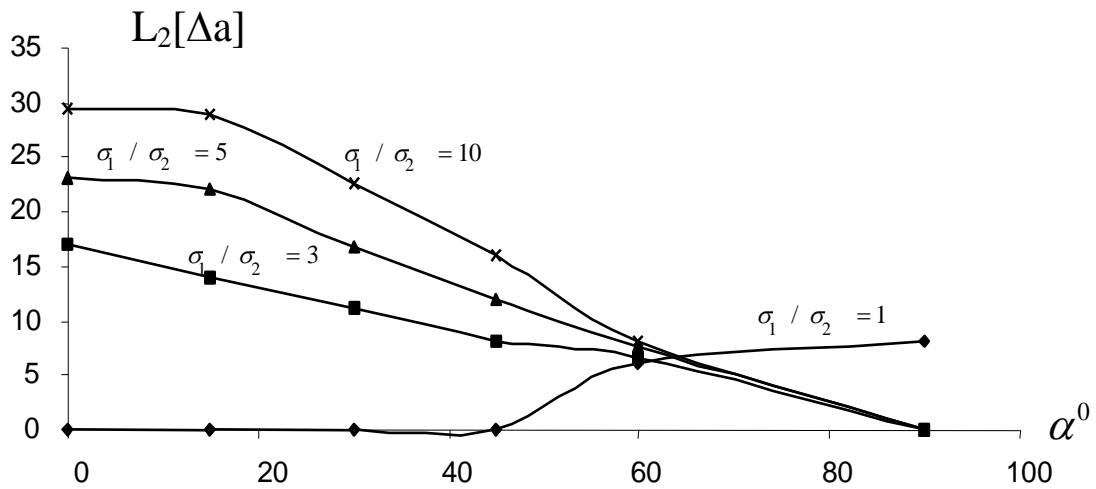


الشكل - 12 : سماكة منطقة التأثير L_2 تبعاً لتغير النسبة σ_1/σ_2

يتضح من منحنيات الشكلين (11,12) أن سماكة منطقة تأثير الشقوق (L_2, L_1) على قيم K_1, K_2 مختلفة وأن L_2 أكبر من L_1 .



الشكل- 13 : سماكة منطقة التأثير L_1 تبعاً لزاوية ميل الشق الرئيسي α ولقيم مختلفة للنسبة σ_1/σ_2



الشكل- 14 : سماكة منطقة التأثير L_2 تبعاً لزاوية ميل الشق الرئيسي α ولقيم مختلفة للنسبة σ_1/σ_2

يتبين من الأشكال (11-14) أن زاوية ميل مستوي الشق الرئيسي على اتجاه تأثير الإجهاد الرئيس الأعظمي تؤثر بشكل كبير على قيمة L_2 التي تنخفض بازدياد قيمة α مع ثبات قيمة σ_1/σ_2 ما عدا $\alpha=60^0$ التي تبقى سماكة منطقة التأثير ثابتة تقريباً بغض النظر عن قيمة σ_1/σ_2 ، والزاوية $\alpha=90^0$ التي نلاحظ عندها انخفاضاً كبيراً في قيمة L_2 بازدياد قيمة σ_1/σ_2 .

النتائج:

تنتشر الشقوق في أنواع الصخور كافة تقريباً وتلعب دوراً أساسياً في توزيع الإجهادات وأهمية بالغة في تحديد متانة الصخور، وبالرغم من ذلك لم تحظ بالاهتمام الكافي من قبل الباحثين الأمر الذي شجعنا للقيام بدراسة بعض جوانب هذه المسألة الهامة. توصلنا في بحثنا إلى العديد من النتائج تم ذكرها في سياق البحث وفيما يلي نلخص أهم النتائج:

- 1- إن وجود الشقوق يؤدي إلى تباين كبير في الحقل الإجهادي في الشقوق وكذلك في الوسط المحيط.
- 2- حسب توزيع الشقوق في الحقل الإجهادي يلاحظ فيه تناقص أو تزايد قيم الإجهادات بالنسبة للحقل الإجهادي المتجانس في الوسط المحيط. إن عامل تغير قيم الإجهادات خاصة عند تناقصها حتى تتحول إلى إجهادات شادة في الشق في حالة توضع الطبيعي (قبل إقامة المنشأة) من أخطر وأهم العوامل التي يجب دراستها لما قد ينتج من توسع للشق وانتشاره وتغير خواص المتانة والنفوذية عند إقامة المنشأة.
- 3- إن ازدياد قيمة σ_1/σ_2 المؤثرة خارج منطقة التأثير يؤدي إلى ازدياد قيم الإجهادات في الشقوق والوسط المحيط وازدياد قيمة L .
- 4- إن ازدياد قيمة زاوية ميل مستوي الشق بالنسبة لاتجاه فعل σ_1 (مع ثبات بقية العوامل) يؤدي إلى تناقص قيمة L .

المراجع:

- 1- ATKINSON, B.K. – *Subcritical crack in geological materials, J. of Geophysical Research*, vol.89, N^o B6, 4077-4114, 1984
- 2- ATKINSON, B.K., MEREDITH P.G. – *The theory of subcritical crack growth with applications to minerals and rocks, in Fracture Mechanics of Rock, Academic Press Inc. (London), 113-166, 2002*
- 3- ALIABADI, M.H. – *Fracture of Rock, Queen Mary and Westfield College, University of London, UK, 2003*
- 4- SCAVIA, C. – *Method for the study of crack propagation in rock structures, Geotechnique, 45:3, pp.447-463, 1995*
- 5- SCAVIA, C. – *Analysis of crack Propagation in a Compressive Stress Field. Proc. Int. Conf. on Recent Developments in the Fracture of Concrete and Rock, School of Engineering, University of Wales, College of Cardiff, UK, 2001*
- 6- SCAVIA, C., VIGGIANI G., CASTELLI M. & DESRUES J. – *An experimental and numerical study of shear fracture propagation in rock, Proc. Int. Symp. on Deformation and Progressive Failure in Geomechanics, IS NAGOYA, pp.175-180, 1997*
- 7- ГОЛОДКОВСКАЯ, Г.А – *К природе прочности массивов скальных горных пород. Вестник МГУ, 1974*
- 8- УХОВ, С.Б – *Скальные основания гидротехнических сооружений. Энергия, Москва, 2002.*