

## تأثير بعض الصفات الهندسية للصخور على توزيع الاجهادات حول نفق شيخ إبراهيم المقترح لمشروع ري الجزيرة الجنوبي- شمال العراق

هدير غازي محمد اديب

عز الدين صالح الجوادي

مركز بحوث السدود والموارد المائية  
جامعة الموصل

( تاريخ الاستلام ٢٠٠٩/٣/١٩ ، تاريخ القبول ٢٠١٠/٣/١٨ )

### المخلص

يتضمن البحث دراسة الصفات الهندسية للصخور وتوزيع الاجهادات حول محيط نفق افتراضي في الموقع المقترح لنفق شيخ إبراهيم ضمن مشروع ري الجزيرة الجنوبي- شمال العراق. تم الحصول على الوصف الكامل للكتلة الصخرية من خلال السجلات المتوفرة والمستقاة من تقارير تحريات التربة للمشروع، والمنفذة على مرحلتين، تمثل المرحلة الأولى أعمال التحريات الحقلية والثانية الفحوصات المختبرية. تكوّن صخور المتبخرات والصخور الكاربوناتية والصخور الفتاتية (المارل، الحجر الرملي وحجر الطين) الكتلة الصخرية الرئيسية في منطقة الدراسة. تم تعيين الصفات الهندسية وتقييمها من خلال (١٣) بئر استكشافي مثبت في السجلات أعلاه، ومن ثم وضع التصميم الأولي للنفق. استخدمت بيانات (١٢٩) نموذج صخري أجريت عليها الفحوصات الفيزيائية والديناميكية والميكانيكية المختبرية، فضلا عن الفحوصات الحقلية التي تضمنت دراسة التكررات الموجودة في الصخور، واختبار النفاذية. ساعدت المعلومات المستقاة من تلك الفحوصات على هذه النماذج وفي الآبار الاستكشافية في تحليل وتوزيع الإجهاد حول محيط فتحة النفق الافتراضي ذو القطع الدائري وبقطر (١٠) م باستخدام برنامج تحليل الإجهاد ثنائي الأبعاد Examine 2D

## The Effect of Some Engineering Properties of Rocks on Stress Distribution around the Proposed Sheikh Ibrahim Tunnel -South Jazirah Irrigation Project- Northern Iraq

Azealdeen S. Al-Jawadi

Hadeer G. M. Adeb

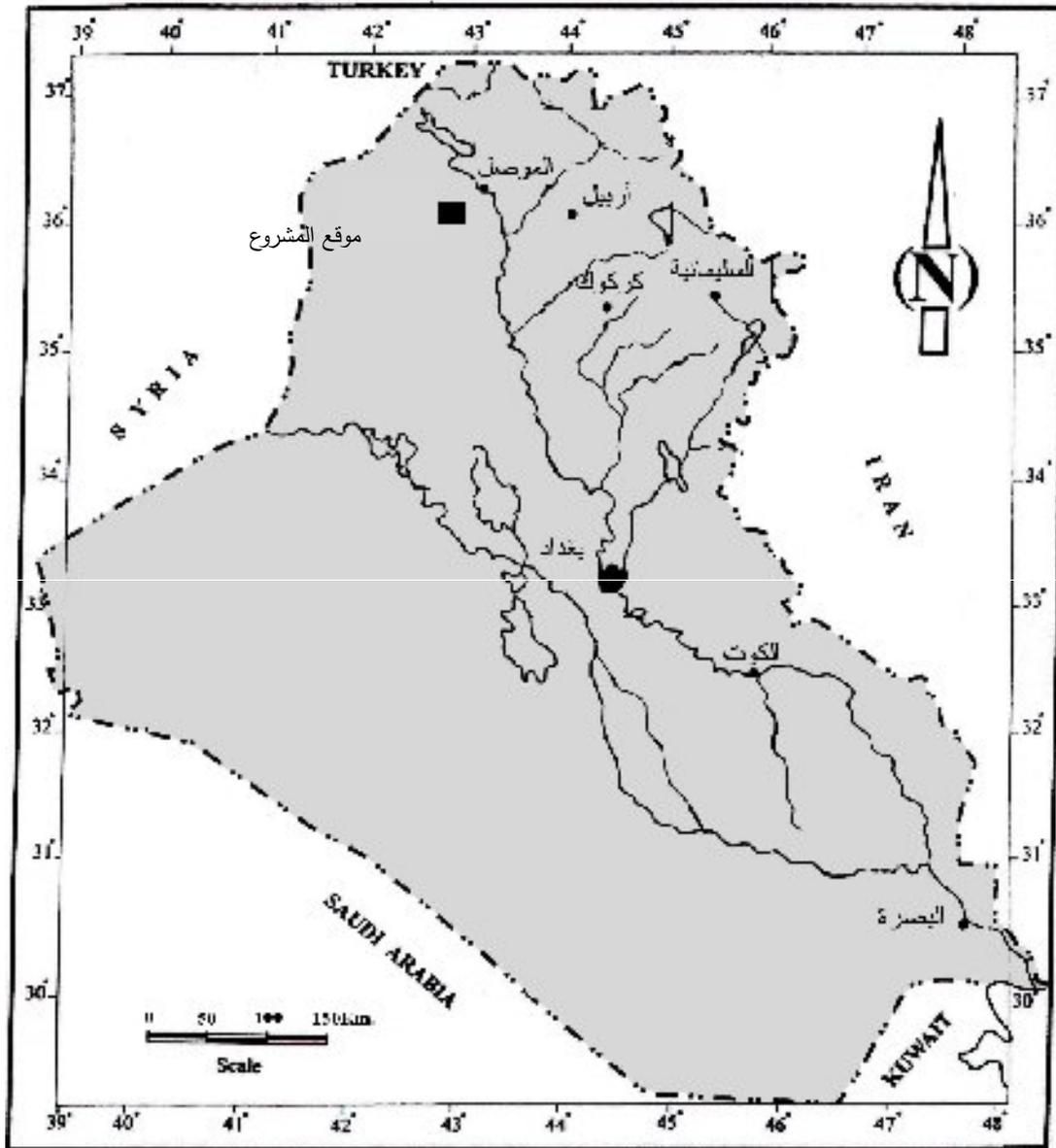
*Dams and Water Resources Research Center  
Mosul University*

### ABSTRACT

This paper tackles engineering properties of rocks and stress distribution around the assumed tunnel at the proposed site of the Sheikh Ibrahim Tunnel, South Jazirah Irrigation Project, North of Iraq. A full description has been obtained depending on available records, that taken from the executed soil investigation reports of the project. The investigations were done in two stages: the first was the field investigation and the second was the laboratory. The rock mass in Sheikh Ibrahim tunnel mainly consists of evaporite, carbonate, and clastic rocks (marl, sandstone and claystone). Engineering properties have been determined and evaluated through (13) boreholes as previously mentioned in the records and then to establish the preliminary design of the tunnel. The data of (129) rock samples, that conclude laboratory testing (mechanical, dynamical, physical) and field testing (study of fractures and permeability test), have been used in stress and distribution analysis around the assumed 10 meters diameter tunnel by using the two dimensional finite element analysis program.

### المقدمة

يغطي مشروع ري الجزيرة الجنوبي مساحة تقدر بـ (٢٢٥.٠٠٠) هكتار، ويقع بين بلدي تلعفر وسنجار غربا والمحلية شرقا، ويبعد ما بين (٤٥-٧٠) كم جنوب غرب مدينة الموصل (الشكل ١). يرتبط المشروع بمشروع سد الموصل الواقع على نهر دجلة عن طريق محطة ضخ عند بحيرة السد التي ترتبط بالقناة المغذية بطول (٦٣) كم، منها (١٩) كم عبارة عن نفق يخترق طية شيخ إبراهيم المحدبة. استخدم هذا النفق كبديل أول لهذا المشروع، وفي حالة عدم انجازه فيستخدم البديل الثاني والذي هو عبارة عن نحالات (محطات ضخ) تقوم برفع وضخ المياه من مؤخر القناة المغذية عند طية شيخ إبراهيم لإيصالها إلى القنوات الرئيسية والفرعية للمشروع على الطرف الجنوبي الغربي لهذه الطية. يبلغ طول القنوات المغذية الرئيسية والفرعية التي تغطي كامل أراضي المشروع بحودود ٥٢٥ كم (Energoinvest and Dijla Center, 1991).



الشكل ١: خارطة موقعه لمشروع ري الجزيرة الجنوبي.

تبعد منطقة الدراسة عن مدينة الموصل (٤٥) كم تقريبا، وتكون بداية النفق عند قرية العاشق على الطرف الشمالي الشرقي لطية شيخ إبراهيم المحدبة، وينتهي عند قرية شيخ إبراهيم على الطرف الجنوبي الغربي لهذه الطية (الشكل ٢).



استخدمت الآبار التي تغطي كامل مسار النفق ابتداءً من النقطة Sheikh Ibrahim Tunnel (SIT-2A)، عند الكيلومتر (٤٢.٠٠٠) إلى النقطة (SIT-16) عند الكيلومتر (٥٨.٠٠٠)، (الشكل ٣). اعتمدت البيانات المأخوذة من الآبار في أعلاه التي تمثل صخور المتبخرات والصخور الكربوناتيية والصخور الفتاتيية (المارل، حجر الرمل ونسبة قليلة من حجر الطين) لغرض انجاز التصميم الأولي لنفق شيخ إبراهيم المقترح.

إن الغاية من هذا البحث هي وضع دراسة أولية لتوزيع الاجهادات حول النفق المقترح في طية شيخ إبراهيم المحدبة لمشروع ري الجزيرة الجنوبي، ذو القطع الدائري وبقطر ١٠ م باستخدام الصفات الهندسية (الحقلية والمختبرية).

### جيولوجية وتركيبية منطقة الدراسة

يعد نفق شيخ إبراهيم احد البدائل الرئيسة لإمرار المياه، إلى المشروع الرئيس لري الجزيرة الجنوبي، عبر طية شيخ إبراهيم المحدبة. تقع طية شيخ إبراهيم شمال غرب العراق ضمن نطاق أقدام الجبال. وتمتد باتجاه شرق/جنوب شرق-غرب/شمال غرب. يبلغ طولها ما يقارب (١٣.٥) كم، وعرضها (٦.٥) كم، ويصل أقصى ارتفاع لها عند السهول المحيطة بها (٣٢٥) م. تعود صخور منطقة الدراسة بصورة أساس إلى تكوين الفتحة الذي ينكشف على امتداد موقع النفق وتحديداً على الطرف الشمالي الشرقي للطية، بينما ينكشف تكوين انجانة على امتداد النفق في الطرف الجنوبي الغربي للطية، ويعود قسم من الصخور المنكشفة إلى تكوين جريبي. أما وصف هذه التكوين ابتداءً من الأقدم إلى الأحدث فهو كما يأتي، (الشكل ٣)، (فنوش، ١٩٨٩).

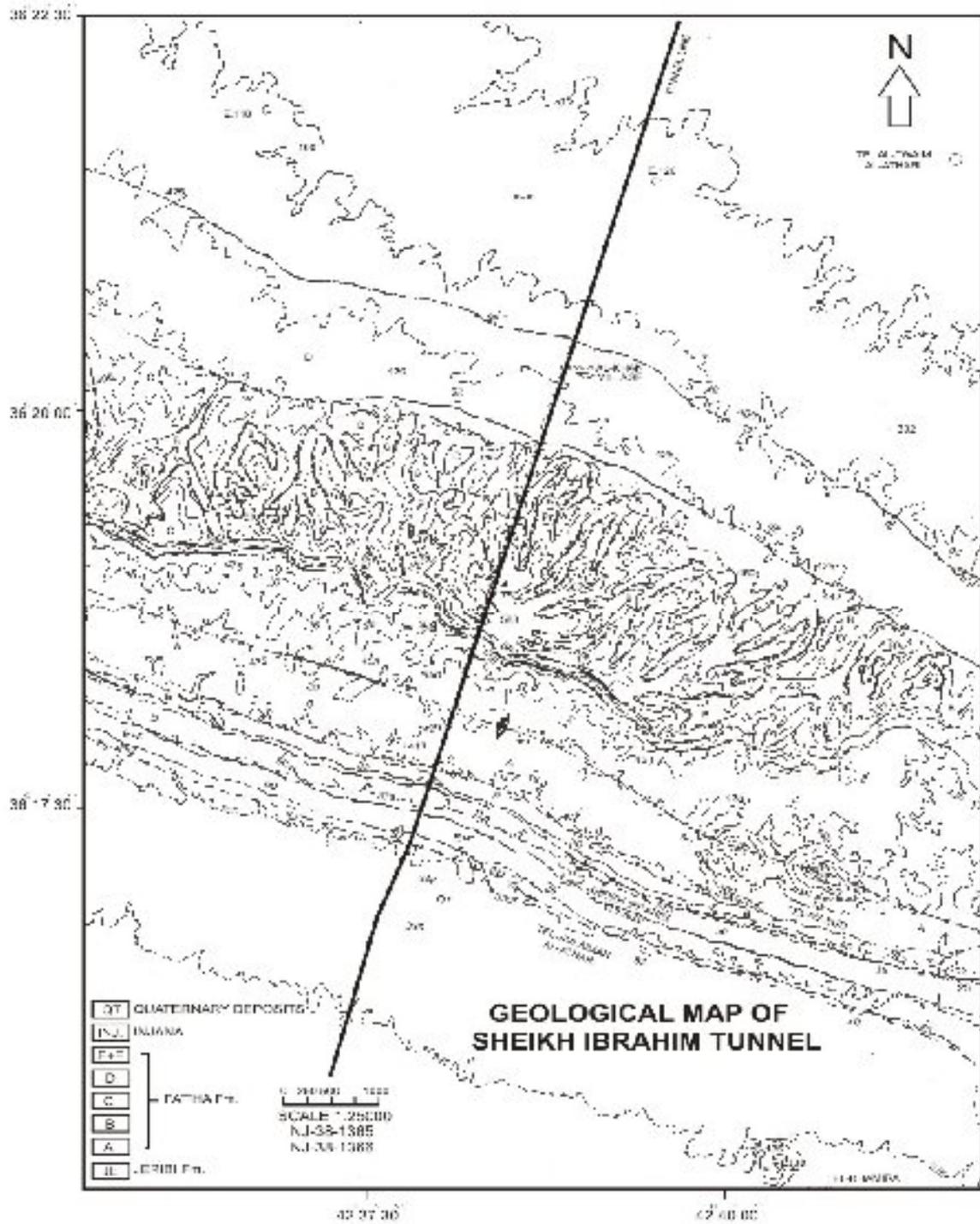
١. تكوين جريبي (المايوسين الأوسط): يوجد هذا التكوين في أجزاء واسعة من المناطق المحيطة بطية شيخ إبراهيم، لاسيما في مناطق تل مسعود وتل مكرود فضلا عن انه ينكشف في لب هذه الطية. يصل السمك المنكشف لهذا التكوين إلى حوالي أكثر من (٥٠) م. ويتكون بصورة أساس من حجر جيرى مارلي وحجر جيرى شعابي يتداخل مع حجر جيرى متدلتمت. وتكون ترسبات هذا التكوين متطبقة في الأجزاء السفلى وكتلية في الأجزاء العليا منه.

٢. تكوين الفتحة (المايوسين الأوسط): يغطي هذا التكوين مساحة كبيرة من منطقة الدراسة، ويصل السمك المنكشف له في هذه المنطقة إلى أكثر من (٥٠٠) م، ويمكن تقسيم صخور هذا التكوين إلى:

أ. الصخور الكربوناتيية: والتي تتضمن عدة أنواع وهي الحجر الجيري الرملي، المارلي، الدولومايتي أو المتدلتمت، فضلا عن وجود الفير.

ب. صخور المتبخرات: وتحتوي على بعض الأنواع المختلفة من الانهيدرايت، الجبس العقدي والمتطبق.

ج. الصخور الفتاتية: والتي تتضمن صخور من المارل والحجر المارلي، المارل الرملي، الرمل المارلي، حجر الطين وحجر الغرين، مع وجود الكبريت في هذه الصخور.



الشكل ٣: الخارطة الجيولوجية لمنطقة الدراسة موضحة عليها مسار النفق المقترح محورة عن (فنوش، ١٩٨٩).

٣. تكوين انجانة (المايوسين الاعلى): ينكشف هذا التكوين على الطرف الجنوبي فقط من طية شيخ إبراهيم المحدبة، ويبلغ سمك هذا التكوين في هذه المنطقة (١٢٠) م تقريبا. يتألف هذا التكوين من صخور فتاتية تتضمن الانواع الاتية: مارل، صخور طينية، صخور غرينية، وحجر رملي اركوزي يتغير تدريجيا ما بين الغريني والطيني والمارلي.

٤. ترسبات العصر الرباعي (البليستوسين - الهولوسين): وتغطي هذه الترسبات بعض من اجزاء القناة المغذية والنفق، ومعظم مناطق القنوات الفرعية للمشروع (القناتين الشرقية والغربية، والقنوات المتفرعة منها). وهي عبارة عن ترسبات مائة للوديان Wadi Fillings، ترسبات المنحدرات Slope Sediments، المراوح الغرينية Alluvial Fans، وترسبات السهول الفيضية Flood Plains، فضلا عن وجود ترسبات التربة الجبسية Gypcrete.

### البيانات المستخدمة

تم الحصول على الوصف الحقلي لمعظم الآبار الاستكشافية البالغ عددها (١٣) بئرا، على امتداد مسار نفق شيخ إبراهيم وعلى أعماق مختلفة، (الجدول ١) (Energoinvest and Dijla Center, 1991). تضمن الوصف الحقلي في المصدر في أعلاه نوع الصخرة Lithology، نسبة اللباب المستخرج Core Recovery Ratio، دالة نوعية الصخرة (RQD) Rock Quality Designation، نسبة تكسر اللباب Fracture Log Ratio والنفاذية Permeability. إن هذا الوصف الحقلي الدقيق يساعد كثيرا في إعطاء الصفات الهندسية للكتل الصخرية، وذلك لصعوبة تمثيل مثل هذه الصفات مختبريا (Sopaci and Akgun, 2008).

حصلت نتائج الفحوصات المختبرية من اللباب المستخرج من هذه الحفر من تقرير تحريات التربة (Al-khafaji, 1990)، والتي شملت الكثافة الكلية Bulk Density، درجة التشبع Saturation، نسبة الماء Water Absorption Ratio، وسرعة الموجات الطولية والمستعرضة Longitudinal and Shear Wave Velocity. وقد استخرج من هذه السرعة نسبة بوسون Poisson's Ratio ومعامل يونك الديناميكي Dynamic Young's Modulus، ومعامل القص الديناميكي Shear Dynamic Modulus، فضلا عن المقاومة الشدية Tensile Strength بالطريقة البرازيلية، المقاومة الانضغاطية Uniaxial Compression Strength، ومعامل يونك الاستاتيكي Young's Static Modulus. إن استخدام هذه البيانات، فضلا عن القياسات الحقلية التي تجرى خارج الآبار الاستكشافية مثل المسافة بين الفواصل Joints Spacing ودرجة التجوية تفيد أيضا في تخمين طريقة الحفر، وكذلك

استقرارية المنحدرات (Gurocak, *et.al.*, 2008). ورّعت البيانات لغرض المعالجة الإحصائية لكل بئر استكشافي منفصل اعتمادا على العمق، ثم اختير النوع الصخري لكل الآبار وبصورة منفصلة أيضا. وقد شملت الأنواع الصخرية بالدرجة الأساس صخور الجبس، المارل، حجر الجير، حجر الرمل وحجر الطين.

الجدول ١: أرقام ومواقع وعمق الآبار الاستكشافية على طول مسار النفق.

رقم البئر	العمق (م)	الموقع
SIT- 2A	٧٥	قرية تل السمن
SIT -4	٦٥	قرية دبونة
SIT- 5	٩٠	قرية وانة
SIT- 6	١٠٠	قرية وانة
SIT-7	١٠٥	قرية وانة
SIT-8	١٣٠	قرية وانة
SIT-9	١٥٠	قرية الخان
SIT-10	١٩٠	قرية الخان
SIT-12	١٩٥	طية شيخ إبراهيم
SIT-13	١٣٠	طية شيخ إبراهيم
SIT-14	٨٠	قرية شيخ إبراهيم
SIT-15	٦٠	قرية شيخ إبراهيم
SIT-16	٥٠	قرية شيخ إبراهيم

### طريقة العمل

تركز العمل في هذه الدراسة على استخدام برنامج الجداول الالكترونية Microsoft Excel للقيام بتوزيع البيانات حسب العمق والنوع الصخري ومعالجتها إحصائيا. كذلك فقد تم استخدام برنامج الاختبار ثنائي الأبعاد (Rocscience, 2006) Examine 2D، بطريقة القطع المحدد المثلثي Finite Elements. يقوم البرنامج بتحليل الاجهادات المرنة للصخور تحت السطحية، ويكون مثالياً للقيام بتحليل المعاملات، التصاميم الأولية، وكأداة تعليمية في التحليل العددي للاجهادات في المفاهيم الجيوتهكنيكية.

استخدمت البيانات المبينة في (الجدول ٢) كمدخلات إلى برنامج تحليل الإجهاد ثنائي الأبعاد، وحددت الأعماق إلى مركز مقطع النفق على طول مساره.

الجدول ٢: معدل الصفات الهندسية المعطاة إلى برنامج تحليل الإجهاد ثنائي الأبعاد (Examine-2D).  
مصدر البيانات (Al-khafaji, 1990).

معامل يونك الديناميكي كيا باسكال	معامل القص الديناميكي كيا باسكال	نسبة بوسون الديناميكية	فحص المقاومة الشدية كغم/سم <sup>٢</sup>	المقاومة الانضغاطية كغم/سم <sup>٢</sup>	الكثافة الكلية غم/سم <sup>٣</sup>	عمق مركز النفق م	رقم البئر الاستكشافي
٢٢.٤١٦٤	٨.٧٠٣٦	٠.٣٥	١٩.٧٣	١٨٦.١٧	٢.٢٩٦٢	45	SIT-2A
٣٤.٠١٤٨	١٢.٧٢٧٥	٠.٣٤	١٣	١٣٠	٢.٣١٣٤	54.1	SIT-4
٤٥.٧١	١٦.٩١٦	٠.٣٥	٢٩.١٣	١٧٩.١٥	٢.٦٢٧٦	82.2	SIT-5
٥٧.٨٦٨	٢٣.٩٦٦	٠.٢٣	١٩.٠٣	١٨٣.٥٧	٢.٥٩٤٨	62.5	SIT-6
٤٢.٣٢١٤	١٦.٠٩٤٣	٠.٣٣	٣٠.٧٢	٣١٦.٥٧	٢.٧٤٨٦	82.65	SIT-7
٤٩.٣٩٩٣	١٨.٧٨	٠.٣١	٣١.٩٥	٢٤٩	٢.٦٠٥٨	118.6	SIT-8
٥٩.٨٩٤٦	٢٢.٣٤	٠.٣٢	٣٧.٣٢	٣٨٩.٣٨	٢.٦١٦٨	140.15	SIT-9
٣٠.٨٦١٤	١١.٦٤٣٦	٠.٣٤	٢٦.٣١	٣٠٧.١٤	٢.٤٨٢٣	184.7	SIT-10
١٧.٩٩٧٣	٦.٨٢٧٣	٠.٣٣	٣٠.٠٢	٣٠٠.٢	٢.٣٦٠٧	159	SIT-12
٤٢.٩٧٤٥	١٦.٠٩٤٥	٠.٣٣	٢١.٩٣	٣١٧	٢.٥٤٦٢	114.7	SIT-13
٥.٣١	١.٩٦٠٠	٠.٣٤	-	-	٢.١٤٠٠	46.6	SIT-14
٦.٠٩	٢.٢	٠.٣٧	-	١١١.٠	٢.١٨٠٠	46	SIT-15
٥.٢٠٥	١.٩٣٥	٠.٣٥	-	١٥١.٥	2.106	31.7	SIT-16

### تحليل النتائج

اعتمد تحليل النتائج على النوع الصخري لمفرده لكل الآبار الموزعة على طول مسار النفق، وذلك لتحديد الاختلافات في الصفات الهندسية، (جدول ٣).

امتازت الصفات الحقلية بظهور تباينات عالية فيما بينها ولكل نوع صخري من الأنواع الخمسة فعلى سبيل المثال تظهر نسبة اللباب المستخرج اختلافاً عالياً نسبياً بين الحجر الرملي وبقية الأنواع الصخرية الأخرى. أما دالة نوعية الصخر اعتماداً على دير (Deere, 1964) فقد أظهرت تبايناً قليلاً بين جميع الأنواع الصخرية على طول مسار النفق. إن بيانات نسبة التكررات أعطت نسبة تكررات أقل في الصخور الرملية قياساً إلى الصخور الكربوناتيّة فضلاً عن متانة المواد السمنتية الموجودة فيها، ولهذا فإن هذه البيانات ارتبطت مع قياس النفاذية التي دلت على وجود نفاذية عالية في الصخور الكربوناتيّة وقليلة في الصخور الرملية.

يلاحظ في الجدول (٣) أن صخور المتبخرات والصخور الكربوناتيّة تعطي كثافة أعلى مقارنة مع الكثافات التي تعطيها الصخور الفتاتيّة. إما فيما يخص نسبة التشبع ونسبة امتصاص الماء فقد أظهرت هاتان الصفتان وجود علاقة تربط بينهما وبين نسبة التكررات والنفاذية، إن صخور الجبس تمتاز بنسبة تشبع ونسبة امتصاص ماء قليلة نسبة إلى فحص النفاذية الذي أظهر نفاذية عالية في تلك الصخور وهذا يعزى إلى وجود التكررات في تلك الصخور. من جهة أخرى فإن قيم النفاذية كانت أعلى في صخور حجر الرمل التي امتازت بنسبة امتصاص ماء عالية ونسبة تشبع قليلة مما يدل على عدم احتوائها على التكررات. ويلاحظ أيضاً من الجدول (٣) أن صخور المارل أعطت نسبة عالية من نسبة التشبع ونسبة امتصاص الماء مقارنة مع الطين وحجر الجير وذلك لاحتوائها على نسبة تكررات عالية واحتوائها على الطين. أما الصفات المختبرية الأخرى الموضحة في الجدول (٣)، فقد لوحظ أن الصخور الجيرية تمتاز بصفات استاتيكية عالية تفيد في تحمل النفق للاجهادات المسلطة عليه لاسيما الناتجة عن الغطاء الصخري. تمتاز صخور المتبخرات بصفات ديناميكية عالية تخدم كثيراً في تحمل الاجهادات الناتجة عن الهزات الأرضية، فضلاً عن تلك التي تحصل بسبب ضخ المياه وتفريغها داخل النفق.

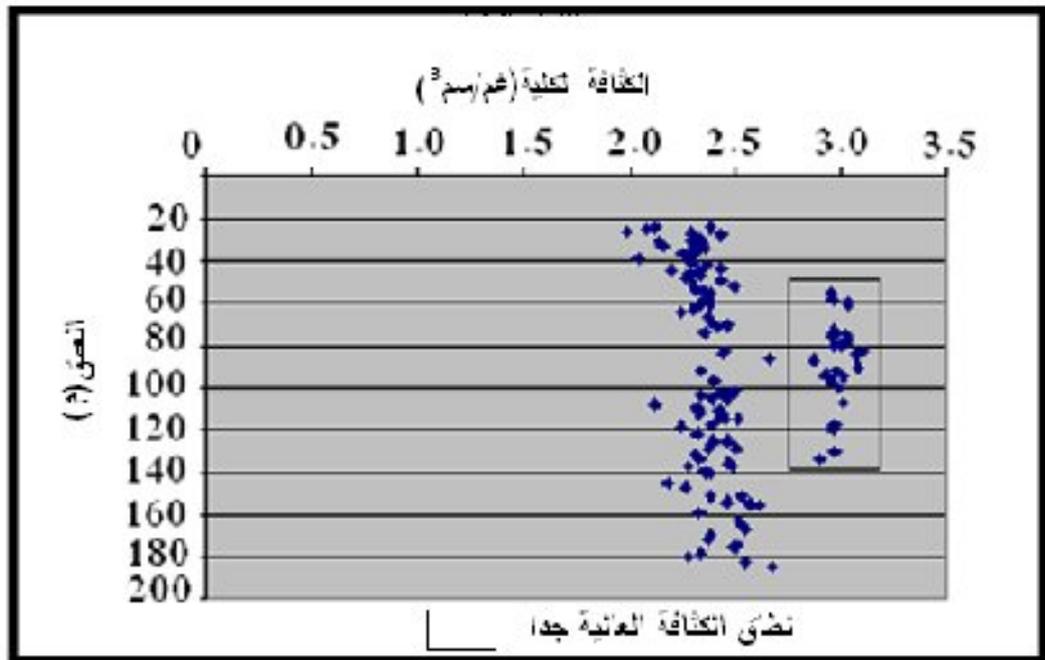
أدخلت جميع البيانات التي تمثل الصفات الجيدة والرديئة إلى برنامج الاختبار ثنائي الأبعاد Examine 2D التي تشمل العمق، الكثافة الكلية، المقاومة الانضغاطية، المقاومة الشدية، نسبة بوسون الديناميكية، معامل القص الميكانيكي وأخيراً معامل يونغ الديناميكي. إن تحليل البيانات باستخدام طريقة موهر - كولومب Mohr-Coulumb Method يتطلب إدخال المقاومة الشدية في حسابات البرنامج، بينما تحليل هذه البيانات باستخدام طريقة هوك - براون Hoek-Brown Method يتطلب إدخال المقاومة الانضغاطية في الحسابات. إن هذين النوعين من المقاومة يفيدان في استنباط المقاومة القصية Shear Strength، معامل الاحتكاك Cohesion Factor وزاوية الاحتكاك الداخلي Angle of Internal Friction للكثلة الصخرية باستخدام برنامج Rocklab (Rocklab, 2006)، وكما استنبطها اكجون وكوكار (Akgun and Kockar, 2004) في منطقة حسن كيف جنوب شرق تركيا.

الجدول ٣: معدل الصفات الهندسية الحقلية (المساحة المظللة) والمختبرية (غير المظللة) للأنواع الصخرية المختلفة. (Al-khafaji, 1990) و (Energoinvest and Dijla Center, 1991).

النوع الصخري الصفات الهندسية	صخور المتبخرات (الجبس)	الصخور الكاربوناتية (حجر الجير)	الصخور الفتاتية (المارل)	الصخور الفتاتية (حجر الرمل)	الصخور الفتاتية (حجر الطين)	المعدل
نسبة اللباب المستخرج %	٩٢.٧٩	٨٩.٧٧	٨٢.٧٧	٩.٧٧	٦٩.٥	٨٩.٥٨
دالة نوعية الصخور %	٨٢	٨٨	٨٢	٧١	٩٥	٨٤
نسبة تكسر اللباب %	٢٢	٢٢	١٩	١٧	٢٥	٢١
النفاذية لتر/م/ثانية	٠.٩٨	٢.٧	١.٥	٠.٩٤	١.٢	١.٤٦
الكثافة الكلية غم/سم <sup>٣</sup>	٢.٥٣٥٦	٢.٥١٨٠	٢.٣٥٤٠	٢.٣٩٥٠	٢.٢٩٥٥	٢.٤٨٦
نسبة التشبع %	٠.٢٢	٠.٤٦	١.٨٧	٠.١٧	٠.٧٥	٠.٥٨
نسبة امتصاص الماء %	٠.٣٥	١.٨٨	٣.٢٦	٢.٦٨	٠.٩٩	١.٤٥
المقاومة الشدية كغم/سم <sup>٢</sup>	٢٦.٠٦	٣٢.٤٩	٢٢.٩١	٢٢.١٧	٢٨.١٠	٢٨.٣٢
المقاومة الانضغاطية كغم/سم <sup>٢</sup>	٢١٥.٥١	٣٢٨.٤٩	٢٦٣.٧٥	١٣٤.٣٨	٢٢١	٢٥٤.٣٢
معامل يونك الاستاتيكي كيكا باسكال	١.٣٢٦	٣.١٩٣	١.٤٩٩	١.١٨٠	—	١.٨
سرعة الموجات الطولية م/ثانية	٥٠٩٥.٥	٤٦٦٣.٢	٢٨٤٨	٥٣٧٣.٢	٣٧٦٣	٤٤٤٦.١
سرعة الموجات القصية م/ثانية	٢٥٣٥.٣	٢٢٨٠.٣	١٤٢٨.٠	١٧١٦.٢	١٩٥٤	٢١٩٨.٨
نسبة بوسون الديناميكية	٠.٣٤	٠.٣٣	٠.٣١	٠.٣٤	٠.٣٣	٠.٣٣
معامل يونك الديناميكي كيكا باسكال	٤٤.٢٦	٣٩.٤١	١٧.٣٧	٢٥.٤٥	٣٦.٢٩	٣٦.٧٢
معامل القص الديناميكي كيكا باسكال	١٦.٨٠	١٤.٩٠	٦.٨٤	٩.٤٥	١٠.٥٠	١٣.٩

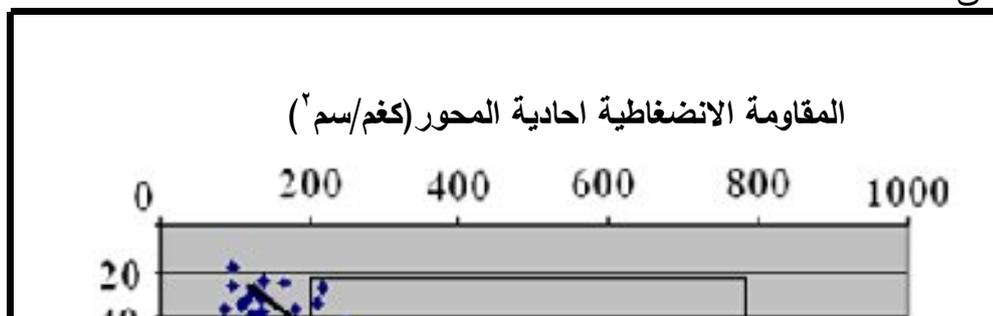
### مناقشة النتائج

استخدمت الكثافة الكلية، المقاومة الانضغاطية أحادية المحور ومعامل يونك الديناميكي في رسم علاقة تمثل توزيع هذه المعاملات مع العمق ولكل النماذج الصخرية مجتمعة. لوحظ من خلال (الشكل ٣) الذي يمثل العلاقة بين الكثافة الكلية والعمق وجود قيم عالية للكثافة في عموم منطقة الدراسة حسب تصنيف وليمسون (Williamson, 1984)، وقيم أعلى بين العمقين (٥٠) و (١٤٠) م. تمثل هذه القيم صفات فيزيائية عدت جيدة جدا قياسا إلى الأعماق الأخرى خارج هذا النطاق. إن ظهور الصفات الهندسية الأفضل بعد العمق (٥٠) م يدل على تأثير التجوية على هذه الصفات من سطح الأرض إلى هذا العمق، وأن الصخور التي تصل إلى هذا العمق في المنطقة القريبة من محور الطية في الآبار SIT-9, SIT-10, SIT-11 هي غيرها في طرفي الطية، (الشكل ٢).

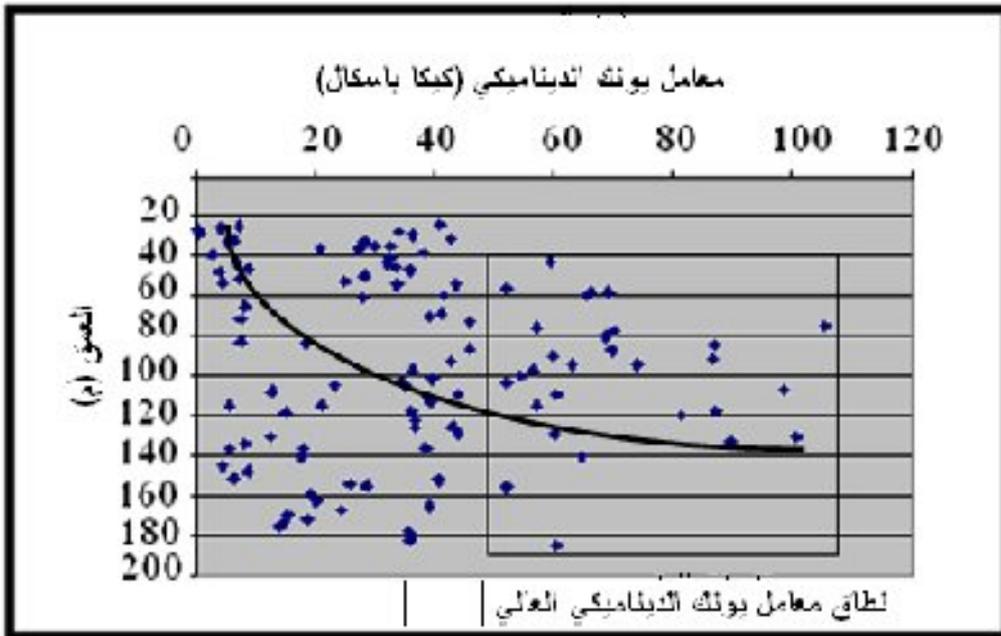


الشكل ٣: توزيع الكثافة الكلية مع العمق للنماذج الصخرية في الآبار مجتمعة.

أما (الشكل ٤) فإنه يمثل العلاقة بين المقاومة الانضغاطية مع العمق. إن قيم المقاومة الانضغاطية عموماً تعد عالية حسب تصنيف جيننجر (Jennings Classification) (Russo, 1994)، ولوحظ وجود قيم عالية جداً للمقاومة الانضغاطية بين العمقين (٢٠) و (١٩٠) م. وتمثل هذه القيم صفات ميكانيكية جيدة قياساً إلى الأعماق الأخرى، إذ أن هذه القيم عموماً تزداد مع العمق. وأخيراً يمثل الشكل (٥) العلاقة بين معامل يونك الديناميكي مع العمق، الذي أظهر قيم عالية لهذا المعامل بين العمقين (٤٠) و (١٩٠) م، إذ عدت هذه القيم صفة جيدة في تلك الأعماق قياساً إلى الأعماق الأخرى، حيث أن القيم العالية لا تتواجد خارج هذا النطاق.



الشكل ٤: توزيع المقاومة الانضغاطية أحادية المحور مع العمق للنماذج الصخرية في الآبار مجتمعة



الشكل ٥: توزيع معامل يونغ الديناميكي مع العمق للنماذج الصخرية في الآبار مجتمعة.

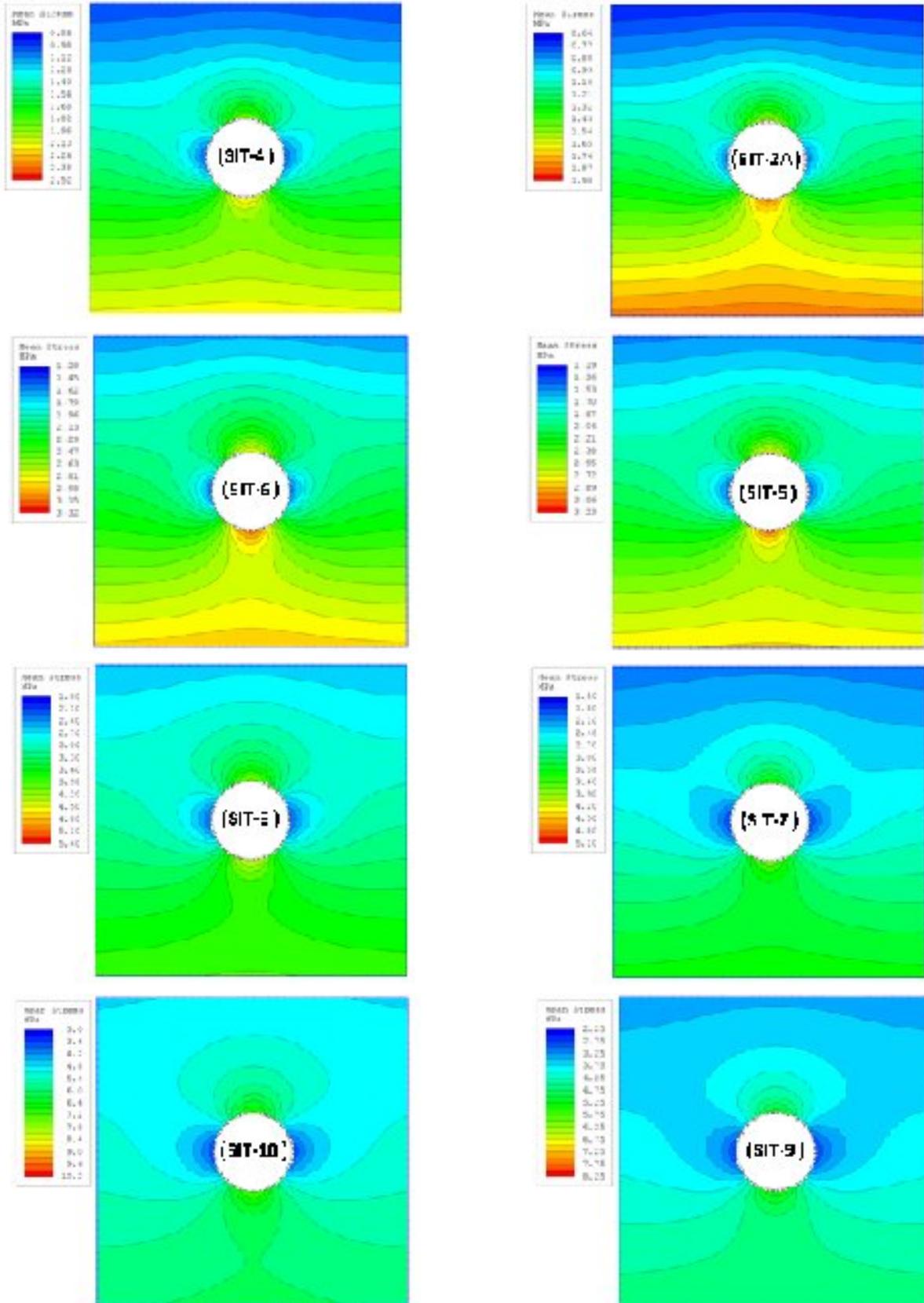
يبين الشكلين (٦ ، ٧) كثافة توزيع الاجهادات حول النفق المقترح وعلى طول مساره، وان هذه الكثافة تزداد في الآبار الواقعة على طرفي الطية بعيدا عن محورها. إن قيم الاجهادات تزداد كما اقتربنا من محور الطية بسبب زيادة ثقل الغطاء الصخري، ويدل ذلك على عدم وجود علاقة تربط بين قيم الاجهادات وكثافة توزيعها. تزداد كثافة الاجهادات الرئيسية على طول محور النفق في الآبار SIT-2A، SIT-5 و SIT-6 (الشكل ٦) والبئرين SIT-14 و SIT-15 (الشكل 7)، وقد يعزى تركيز هذه الاجهادات إلى الأسباب الآتية:

١. وجود الطيات الثانوية القريبة من السطح الطبوغرافي التي تسبب تكوين التكسرات الشدية Tension Joints في المناطق المحورية لها في الآبار الثلاثة الأولى.
  ٢. احتمالية وجود الفوالق من النوع الاعتيادي في البئرين SIT-6 و SIT-5، (الشكل ٢).
  ٣. تأثير عمق التجوية الذي يصل إلى محور النفق في الآبار الموزعة على طرفي الطية.
- يحصل تحسن في كثافة توزيع الاجهادات الرئيسية  $(\sigma_1 + \sigma_3)/2$  كلما اتجهنا باتجاه محور الطية الرئيسية من البئر SIT-7 وصولاً إلى البئر SIT-13 الشكلين (٦ ، ٧)، وهذا يعود إلى قلة تأثير الطيات الثانوية في هذه المواقع والذي يؤدي إلى انخفاض فرق الإجهاد  $(\sigma_1 - \sigma_3)$  في المنطقة المحورية من الطية. تأخذ طبقات تكوين الفتحة عند البئر SIT-13 وضعاً عمودياً، إذ يصل ميل الطبقات فيه إلى  $(85^\circ)$ ، ومن ثم تأخذ وضعاً أفقياً كلما اتجهنا إلى جهة الجنوب الغربي للطية. يعزى هذا إلى تأثيرات فوالق القاعدة الصخرية التي تعمل على تكوين ما يسمى بظاهرة المصاطب التركيبية Structural Terraces. تؤدي هذه الظاهرة إلى تكوين طبقات أفقية تقريبا في الطرف الجنوبي الغربي للطية، (الشكل ٢). إن المصاطب التركيبية توجد في نطاق الطيات الواطئة، ويمكن أن تميز حقلها في موقع الدراسة وفي طية عين الصفرة، إلى الشمال الشرقي، إذ تأخذ طبقات تكوين البيلاسي Pila Spi Formation وضعاً أفقياً باتجاه الجنوب الغربي لتلك الطية (Numan, 1984)، (الشكل ٩). ترتبط هاتان الطيتان (طيتي عين الصفرة و شيخ إبراهيم المحديتين) مع بعضهما عبر طبقات أفقية ولا وجود للطيات المقعرة في ذلك النطاق.

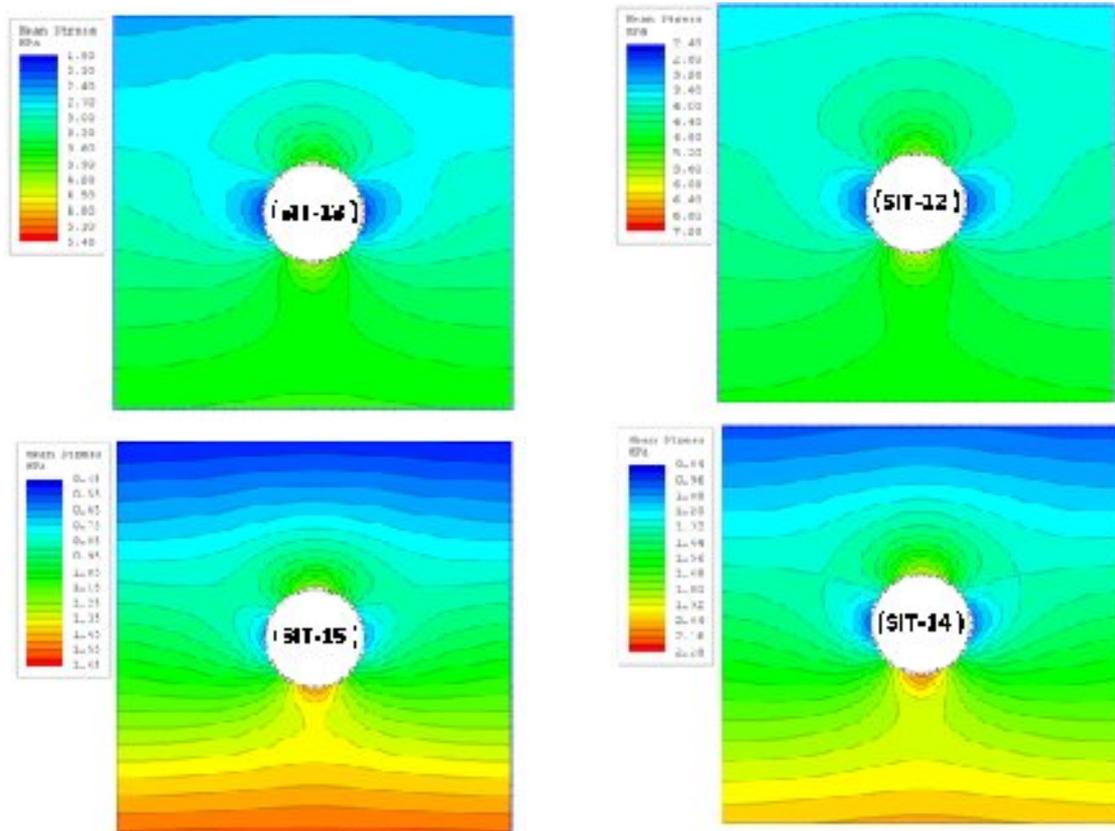
وباستمرار التقدم باتجاه الجنوب الغربي لمسار النفق يلاحظ انخفاض في كثافة توزيع الاجهادات الرئيسية على طول محور النفق، لاسيما البئرين SIT-14 و SIT-15، (الشكل ٧). وقد يعزى هذا إلى أن المناطق التي يتواجد فيها هذين البئرين تمثل مناطق تماس بين تكويني الفتحة وانجانة. بينما تكون صفات البئر SIT-16، (الشكل ٧)، والواقع فوق طبقات تكوين انجانة وبعيدا عن نطاق التماس بين التكوينين المذكورين في أعلاه، تكون صفاته جيدة قياسا إلى الآبار المجاورة.

أما فيما يخص كثافة توزيع الاجهادات العمودية  $(\sigma_1)$  لجميع الآبار الموجودة على مسار النفق في منطقة الدراسة، فإنها تكون متساوية عموماً، ويمثل (الشكل ٨) كثافة توزيع الإجهاد العمودي في موقع البئر (SIT-2A)، إذ اختير لكي يكون نموذجاً ممثلاً لبقيّة الآبار. إن هذا يعطي انطباعاً على أن اختلاف توزيع

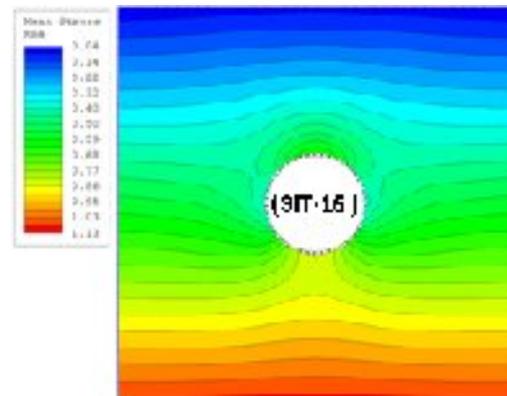
الاجهادات الرئيسية على طول مسار النفق ليس حاصلًا بسبب الاجهادات المسلطة، نتيجة الغطاء الصخري فحسب، وإنما بسبب تباين الصفات الهندسية والتركيبية لصخور المنطقة بشكل عام.



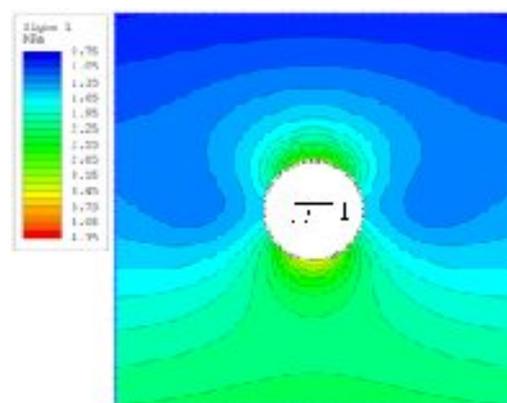
الشكل ٦: توزيع الاجهادات الرئيسية حول النفق المقترح في مواقع الآبار (SIT-2A) إلى (SIT-10).

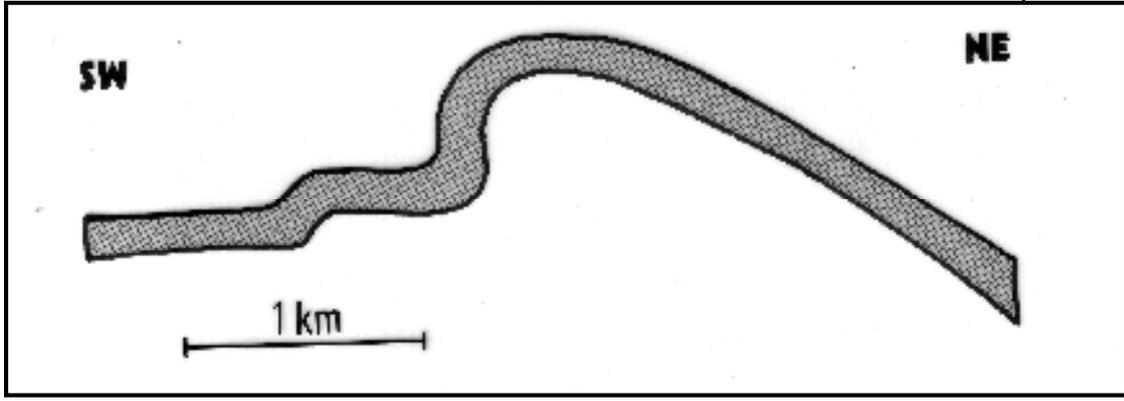


الشكل ٧: توزيع الاجهادات الرئيسية حول النفق المقترح في مواقع الآبار (SIT-12) إلى (SIT-16).



الشكل ٨: نموذج لتوزيع الإجهاد العمودي  $\sigma_1$  حول النفق المقترح في موقع البئر (SIT-2A) والممثل لبقية الآبار.





الشكل ٩: مقطع تخطيطي لطية عين الصفرة تبين ظاهرة الشرفات التركيبية على الطرف الجنوبي الغربي للطية، عن نعمان (Numan, 1984).

### الاستنتاجات

- ١- إن أفضل الصفات الهندسية، لقسم من نماذج الصخور، كانت في الطبقات الواقعة بين العمقين (٦٠-١٤٠) م، وذلك لتأثير التجوية على الأعماق الأقل من (٦٠) م لجميع الآبار.
- ٢- وضحت الدراسة تأثير التراكيب الجيولوجية على توزيع الاجهادات حول النفق المقترح، فضلا عن الصفات الهندسية للصخور أيضا.

### التوصيات

- ١- يفضل حفر آبار استكشافية بين الآبار (SIT-6) ، (SIT-7) وكذلك (SIT-13) ، (SIT-14) وذلك لتعيين حدود توزيع الصفات الجيدة عن الرديئة للاجهادات الرئيسة في تلك الآبار على التوالي.
- ٢- إجراء دراسة حقلية ومسح جيولوجي تفصيلي للطبقات والفواصل في منطقة الدراسة لإثرائها بتصنيف كامل للكتلة الصخرية.
- ٣- يوصى بمراعاة الدقة عند تبطين النفق في حالة إنشائه، لاسيما في الصخور ذات النفاذية العالية نسبياً والمتمثلة بالصخور الكربوناتيّة، فضلا عن قابلية هذه الصخور وصخور المتبخرات للإذابة.

### المصادر العربية

- فنوش، سالم احمد خضر، (١٩٨٩) دراسة تركيبية لطبتي شيخ إبراهيم والمحلبية المحدبتين، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية العلوم، جامعة بغداد.

## المصادر الأجنبية

- Akgun, H. and Kockar, M.K. 2004. Design of anchorage and assessment of the stability of openings in silty, sandy limestone: a case study in Turkey. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, Vol. 41, pp. 37 - 49.
- Al-Khafaji, A.N., 1990. Soil and investigation, Sheikh Ibrahim Tunnel, South Jazira Irrigation Project. Unpublished Report, Dijla Center Library.
- Deere, D.U., 1964. Technical description of rock cores for engineering purposes, Rock Mechanics and Rock Engineering, Vol. 1, pp. 17 - 22.
- Energoinvest and Dijla Center, 1991. Geological and geotechnical investigation work, Final field report, book 1-4, Unpublished Report, Dijla Center Library, Mosul-Iraq.
- Gurocak, Z., Alemdag, S. and Zamam, M.M., 2008. Rock slope stability and excavatability assessment of rocks at the Kapikaya dam site, Turkey Engineering Geology, Vol. 96, pp. 17 - 27.
- Numan, N.M.S., 1984. Basement control of stratigraphic sequences and structural patterns in Iraq. Journal of Geological Society. Iraq, Vol. 16 pp. 8 - 28.
- Roclab., 2006. software for rock mass strength analysis using the Hoek-Brown failure criterion, Toronto, Canada, Rocscience inc.
- Rocscience, 2006. (Phase <sup>2</sup>) A 2D finite element program for calculating stresses and estimating support around excavations Toronto. Canada, Rocscience Inc.
- Russo, G., 1994. Some considerations on the applicability of major geomechanical classifications to weak and complex rocks in Tunnelling, GEODATA S.p.A. Torino, Italy, pp. 63-70.
- Sopaci, E. and Akgun, H., 2008. Engineering geological investigations and preliminary support design for the proposed Ordu Peripheral Highway Tunnel Ordu, Turkey. Engineering Geology. Vol. 96, No. 1-2, pp. 43-61.
- Williamson, D.A., 1984. Unified Rock Classification System, Bulletin of the Association of Engineering Geologists, Vol. XXI, No. 3, pp. 345 - 354.