تآكل الصخور الكلسية البطروخية (تربة الأساس) فى مياه الصرف الصناعي

محمد على شيخ مشاعل

الهندسة الجيوتكنيكية – كلية الهندسة المدنية

جامعة حلب – الجمهورية العربية السورية

الملخص

لا يقتصر تأثير طرح المياه المحملة صناعيا بأملاح ال Cl- و SO4-- في الطبيعة، على جمال البيئة و سلامتها فحسب، بل يتخطاها إلى مواد المنشآت الهندسية (الخرسانة) و ما شيدت عليه من تربة الأساس (صخور كلسية). درست هذه العلاقة مختبريا بإستخدام نموذج بسيط، توصل من خلاله إلى نتائج جديرة بالإهتمام، لدى تصميم و تنفيذ أية منشأة هندسية فى وسط يتأثر بالمياه بشتى أنواعها، و خاصة الملوثة صناعيا، لما تحتويه من أملاح كيميائية ذات تأثير عدواني على الصخور الكربوناتية، و مما له فيما بعد أثره السلبي على توازن المنشآت الهندسية المشيدة عليها، الذي يتمثل فى إدخال إجهادات جديدة غير محسوبة على المنشآت تؤدي إلى تصدعها أو إنهيارها بصورة مفاجئة.

المقدمة

تنتشر الصخور الكلسية (الجيرية) بصورة واسعة فى الطبيعة وحيث أنها تهيمن على مساحة كبيرة من سطح الأرض(فى الجبال والسهول والوديان) عمد الإنسان لإستخدامها فى شتى مراحل تطور الحياة. و لقد إتخذ الإنسان قديما من كهوفها سكنا له، ثم بنى من حجارتها البيوت و العمارات العالية وأدخلها أخيرا فى تصنيع الخرسانة و الأسمنت. تتسم هذه الصخور بحساسية كبيرة تجاه المياه فى الطبيعة بشتى أنواعها، وترتفع درجة الحساسية هذه فى حال تواجد بعض الأحماض (Cl^-, SO_4^{--}) أو المواد الكيميائية فى تلك المياه. تحل الصخور الكربوناتية بسهولة فى المياه تحت السطحية الملوثة ومياه الأمطار و غيرها لإحتوائها على H_2CO_3 و تتشكل فيها الكهوف الكارستية [1-5].

و بما أن تشكل و ترسيب الكلس إلى جانب بعض الأكاسيد الأخرى (Fe^{+++}, Mg^{++}) قد تم فى بحار ضحلة و دافئة ضم أحيانا العديد من الحيوانات البحرية التى تقدمها لنا الطبيعة فى هيئة أحافير أو قوالب أحفورية غنية بالسليس، فقد تعرضت هذه الرسوبيات الكلسية فيما بعد إلى عمليات جيولوجية حولتها إلى صخور كلسية قاسية عبر مرحلة الارتصاص والتماسك Diageneses، فكان منها الطرى والمتوسط و العالى القساوة [6] .

تتكشف على الساحل الشمالى فى مصر و حول مدينة الإسكندرية مجموعة من الصخور الكلسية البطروخية Oolitic Limestone، كما هو موضح فى الشكل ١حديثة التكوين Pleistocene، لم تتعرض إلى دياجنيز عالي. تقتلع حاليا كميات كبيرة منها لتصنيع أحجار البناء، كما تتخذ فى مناطق أخرى كتربة أساس لتشيد المنشآت الهندسية عليها

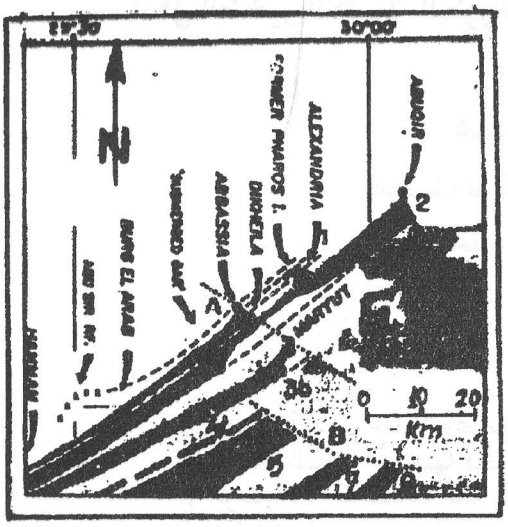
بأساسات متنوعة تحت وفوق منسوب المياه تحت السطحية الملوثة. كان ذلك حافزا كافيا للقيام بهذه الدراسة، حرصا على سلامة المنشآت الهندسية و الساكنين، حيث أن تقييم درجة دعومة المنشآت عنصرا هاما يدخل فى تحديد حجم المبالغ المرصودة لها و نوعية الدراسات الهندسية.

لمحة جيولوجية و جيومورفولوجية

تنتشر صخور البلايستوسين Pleistocene على الساحل الشمالى المطل على البحر الأبيض المتوسط لجمهورية مصر العربية، فى هيئة عتبات شريطية Bars تمتد بشكل عام من الشرق إلى الغرب. تبدى هذه التشكلات مورفولوجية خاصة و نموذجية بالشواطئ التى لا تتأثر كثيرا بالمد والجزر، إذ يعتبر البحر الأبيض المتوسط من البحار المغلقة، بسبب إنفتاحه الضيق عبر عتبة جيولوجية على المحيط الأطلسى فقط عند مضيق جبل طارق. أعلى سعة للمد سجلت محليا هى ٠ ٣سم [7]:

قسم الباحثون هذه التوضعات الى ٨-١٠ عتبات Bars بينما تشكلات طينية عضوية Lagoons تأخذ نفس الإمتداد على الشاطئ [8, 9] تختلف فيما بينها سماكة الطبقات. أعتبرت تشكلات العتبات ١-٤ غير منتظمة "Facies" [7] بسبب التيارات المائية الحتية المتغيرة Erosion streams.

تتشكل الصخور البطروخية لدى ترسيب الكالسيت فى بحر ضحل دافىء حول فتات ناعم جدا من بقايا الدروع الحيوانية أو ذرات السلت و الرمال بشكل قشور رقيقة جدا. يزداد حجم هذه الحبيبات كلما تحركت في مياه البحر على الشاطىء من هنا إلى هناك. وبانحسار البحرتتعرض التشكيلات إلى عملية الارتصاص و تتماسك بملاط كربوناتي Carbonatic Cement .



شكل ١ الخارطة الجيولوجية لمنطقة الدراسة[7]

تتربع مدينة الإسكندرية الشاطئية على تشكلات العتبة ١ Bar غرب الدلتا، المؤلفة من عدة طبقات صخرية كلسية بطروخية، مسامية ذات لون أبيض وأصفر فاتح، تتخللها توضعات رملية (سبرت حتى ٤٥ مترا عند مشروع إحياء مكتبة الإسكندرية على شاطئ البحر بمنطقة الشاطبي). يمتد الشريط الترسيبي هذا إلى الداخل بارتفاع بسيط عن سطح البحر، مما يشير إلى ارتفاع منسوب المياه تحت السطحية فى هذه المدينة. (أنظر الشكل رقم ١).

المنشآت الهندسية و هدف الدراسة

شيدت فى مدينة الإسكندرية العديد من المنشآت الهندسية على صخور البلايستوسين البطروخية بأنواع مختلفة من الأساسات (أوتاد عميقة Deep Piles، أبار إسكندرانية نفذت من الدبش + مونة أسمنتية عادية بأبعاد مختلفة) لترتفع إلى عدة أدوار متكررة (٦-١٦)، بإستخدام نظام عمراني هيكلي و جدران حمالة (حوائط) من الطوب الأحمر.

فى المناطق العشوائية (مناطق المخالفات مثـــل العجمـــي... وغيرها) نفذت العديد من المنشآت الهندسية التى تجمع مياهها المالحة المستخدمة في بيارات (حفرة فى تربة الأساس بـــدون إكساء، تصرف إليها مياه الصرف الصحي و غيرهـــا). وفى مناطق أخرى تطرح مياه الصـــرف الصنـــاعي فى الطبيعـــة، لتختلط مع المياه تحت السطحية ذات المنسوب المرتفع و المياه الجوفية، و تجري تحت المنشآت الهندسية.

تعتبر مياه الصرف الصناعي أكثر عدوانية من غيرها(مياه الأمطار ومياه الشرب.....) علـــى الخرســـانة و الصخـــور الكربوناتية البطروخية: CO_3^{--} لما تحتويـــه مـــن أمـــلاح كيميائية منحلة(SO_4^{--}, Cl^-) . يتمثل هذا الفعل العدواني بتفتيت الصخور إلى حزيئات و إنحلالـــه فى المـــاء فى حالـــة التلامس فقط[10]. و يزداد تأثيره فى حالة الجريان وتجديـــد المياه، علما بأن للمياه فى الطبيعة حركتان: أفقيـــة و أخـــرى رأسية.

لدى تفريغ الصخور(تربة الأساس) من تحت الأساسات مهما كان نوعها، سيختل نظام توازن توزيع الإجهادات بين المنشآ و التربة عند سطح التماس، و تتولد إجهادات إضافيـــة جديدة شدية أو ضغطية فى المنشأ تقود إلى ظـــهور أضـــرار عمرانية لا يحمد عقباه [5] .

تهدف هذه الدراسة إلى الوقوف على مدى تأثـــير ميـــاه الصرف الصناعي الملوثة على صخور تربة الأساس الكربوناتية البطروخية وبالتالي على المنشآت الهندسية. من أجل ذلـــك صنع نموذجا دراسيا بسيطا كما هو مبين فى الشكل ٢ يمكن عن طريقه تحديد كميات المواد المنحلة في المـــاء و كذلـــك المنقولة مع التيارات المائية [11]وأخيرا تلـــك الـــتى فتتـــت وإنفصلت عن جسم الصخر و بقيت فى مكانها.

و أهم ما تهدف إليه الدراسة هو التأكيد و التنبيه علـــى الترابط العضـــوي بـــين العلـــوم التطبيقيـــة (الجيوكيميـــاء والجيوفيزياء والمينرالوجيا والجيوتكنيك / الهندسة المدنيـــة)، و أن حل أية مشكلة أو معضلة هندسية قائمة، يتطلب الرجوع إلى أصل وماهية المواد الهندسية وما ترتكـــز عليـــه (تربـــة الأساسات ومكوناتها الدقيقـــة) ومـــا حولهـــا مـــن ميـــاه وتلوث...إلخ.

و أخيرا التركيز على العلاقة المتبادلة بين هـــذه النقـــاط مجتمعة، وأن إهمال أى عنصر من عناصر هذه المعادلة سيضلل الطريق أمام المهندس، و يقود إلى حل غير سليم.

المواد المستخدمة فى الدراسة

أحضرت الصخور الخاضعة للدراسة من منطقة الساحل الشمالي عند الكيلو ٥٤، من محجر، كشفت فيه تشكيلة العتبة الشريطية (الشكل ١) المنتشرة بصورة واســـعة فى مدينـــة الإسكندرية. تشتمل هذه التوضعات على تشكـــلات مـــن الصخور الكلسية البطروخية ($\phi \approx 1$ مم) المسامية؛ حبيباتها بيضاء إلى بيضاء مصفرة ذات روابط كربوناتية. بعض الكتل قاس والآخر هش، يمكن تفتيته بين الأصابع (حتى بمجرد تمرير الأصابع عليها). لذلك أختيرت العينات من كـــلا النوعـــين أعلاه.

أما المياه فأخذت من مصادر الصرف الصناعي المطروح في الطبيعة في منطقة وادي القمر. كانت المياه ذات رائحـــة واخذة و لون مائل للإصفرار المخضر. سجلت مواصفاتها فى فقرة النتائج . تم إختيار هذه المياه بعـــد مقارنـــة تركيبـــها الكيميائى مع تحـــاليل ميـــاه أولى الهطـــولات المطريـــة في الإسكندرية بتاريخ١٩٩٥/١٢/٢٧، و كذلـــك مـــع الميـــاه الجوفية من منطقة البر الغربى بمدينة الإسكندرية.

التجارب المعتمدة

أخضعت العينات الصخرية فى هذه الدراسة إلى عدد من الإختبارات لتحديد خواصها الفيزيائية و الكيميائية والميكانيكية، منها لتحديد الرطوبة الطبيعية، و الكثافة الكلية، ودرجة إمتصاص الماء حتى الإشباع(تجربة Ensline Test [12] و لفترات متنوعة و كذلك حللت على مركباتها الكيميائية.

كما حدد معامل الإهتراء(Los Angelos Test)، و أخيرا التدرج الحبيبي للمواد المتفتتة المتبقية فى الموشور (المنشور) عند نهاية التجربة (الجدول رقم ١).

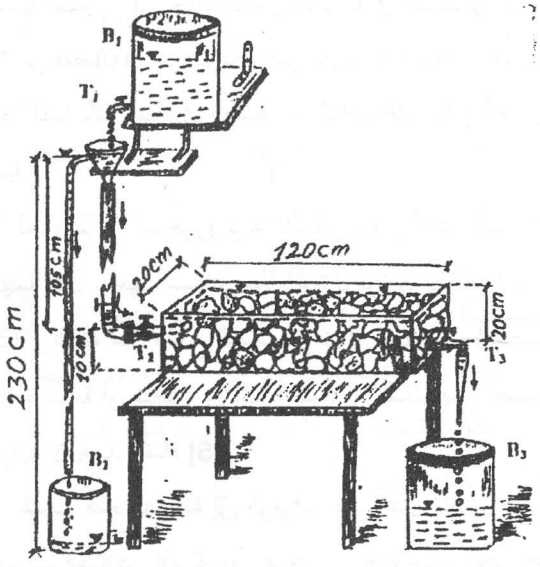
حللت المياه المستخدمة فى التجارب كيميائيا قبل بداية التجربة تحليلا شاملا و كذلك مرتين أثناء التجربة(بعد ٣٠ يوما و٦٤ يوما) للوقوف على متغيراتها من جراء جريانها على العينات. من ناحية أخرى و للحصول على نتائج سريعة و ملموسة كانت تحدد نسبة(كمية) الأملاح المنحلة فى الماء أثناء التجربة. فقد حددت هذه قبل و بعد الغمر بالماء لمدة ثلاثة أيام، ثم يوميا(لمدة أسبوع) و من بعدها أسبوعيا حتى نهاية التجربة. أثناء ذلك كانت تسجل درجات حرارة الماء التى تراوحت بين ١٥-١٦°م طوال فترة التجربة (فصل الشتاء).

حددت سرعة الجريان فى نهاية التجربة(بتواجد عينات فى الموشور) بإستخدام مادة ملونة. بعد تكرار التجربة عدة مرات بلغت السرعة وسطيا ١٥,٦ متر/يوم، عند كمية تدفق ثابتة (دخول و خروج) ١٥ سم^3 / دقيقة و ذلك بمعدل ١٧٦ نقطة/الدقيقة. أي ما يعادل ٢١,٦ لتر/يوم.

النموذج الدراسي

لتمثيل مختبريا ما يطرأ فى الطبيعة على الصخور الجيرية البطروخية، التي تقبل التآكل فى المياه ، و التى أستعملت منها مساحات شاسعة لتأسيس المنشآت الهندسية عليها، أقترح تصنيع نموذجا بسيطا يتألف من موشور من مادة البرسبكس. ٢٠x٢٠x١٢٠سم)، كما فى الشكل ٢ . أحدث فى واجهته الأمامية و الخلفية ثقبين ثبت فيهما صنبورين، الأول يرتفع مركزه عن القاعدة ٢,٥ سم.

(T3 من الأمام)، و الثاني ١٠ سم (T2 من الخلف)، أى أن الفارق بينهما المحقق للميل الهيدروليكي ٧,٥ سم وضع الموشور على طاولة بشكل أفقي، ثم رصفت فيه العينات الصخرية بصورة عشوائية حتى إرتفاع ١٥ سم ، و غمرت بالماء حتى إرتفاع١٧ سم .



شكل ٢ نموذج مبسط لآلية التجربة

توصل المياه للموشور من حوض ماء علوي (B1) سعته ٣٠ لتر له صنبور (T1) تخرج منه الماء بتحكم إلى قمع موصول بخرطوم بلاستيكي شفاف (مع إمكانية إغلاق من الأسفل)، يؤدي إلى الصنبور (T2) في الموشور. ثقب القمع في أعلاه و ثبت فيه خرطوم رفيع من البلاستيك لتصريف الماء

الفائض إلى حوض تجميع (B2) وبذلك يتحقق مستوى و ضغط مائي ثابت. يرتفع مركز فتحة الصنبور (T1) حوالي ٥ سم عن قاعدة الحوض B1، لتشكيل حيز ترسيب للمواد المنقولة بواسطة الماء المتدفق من الموشور إلى حوض التجميع (B3) بعد ضخها إلى الأعلى في الحوض (B1).

تحضير العينات و مسار تجربة التآكل Mixcorrosion

بهدف توسيع المساحة المعرضة للتماس مع الماء، حطمت الصخور إلى أجزاء بأبعاد لا تزيد عن١٥ سم ، ثم أستبعدت منها الأجزاء المتجوية. وضعت لتجفف فى فرن عند ٦٠°م لمدة ثلاثة أيام. نفخت كل قطعة منها بحرص شديد من جميع جهاتها بالهواء الموجه المضغوط، بهدف إبعاد جميع العوالق عن سطحها(غبار، فتات ناعم). قدرت المساحة الخارجية بصورة تقريبية، بغض النظر عن الإلتواءات و عدم إستواء السطح تماما، لأننا كنا سنحتاج إلي أجهزة خاصة معقدة. بعد وزن القطع الصخرية المجففة التي ستخضع للتجربة بدقة الجرام الواحد، رصفت في الموشور بصورة عشوائية و روعي أثناءها ملئ جميع الفجوات المتشكلة بين القطع، قدر الإمكان الشكل ٢.

الماء المستخدم فى التجربة يمثل مياها ملوثة صناعيا (مياه صرف صناعي)، أستخلصت منها الشوائب بالترشيح جيدا، و حددت خواصها الفيزيائية و الكيميائية. كنا نحتاج إلى ٥٠ لتر من هذا الماء حيث غمرت العينات بحوالي ٢٥ لتر منه و الباقي وضع في الحوض (B1) لتأمين جريان منتظم أثناء التجربة. بطريقة التنقيط البطئ بدأ تدفق الماء من الحوض (B1) إلى الموشور. لدى ملامسة الماء للكتل الصخرية و أثناء مرحلة الغمر، بدأ الصخر بإمتصاص الماء فإهتزت بعض جزيئاته الخارجية السطحية و تحركت منسلخة عنه بشكل شرائح دقيقة و رقيقة، لتتهاوى بعد تحررها عن الكتل الصخرية إلى أسفل قاع الموشور أو لتستقر على سطح الكتل التي تقع أسفل منها.

خلال عملية الغمر و بعد ثلاثة أيام لوحظ إنخفاض منسوب الماء في الموشور بما يعادل ٤ لتر و عليه يكون الصخر الجاف قد إمتص حوالي ١٨% من وزنه ماء. داخل الحوض بدأ تشكل فقاعات غازية بأحجام مختلفة (Φ = ٠,٢-٠,٣ سم) وإتفاعها إلى سطح ماء الغمر. يشير ذلك إلى تفاعل الأحماض مع $CaCO_3$ و إنطلاق غاز CO_2 . دامت هذه التفاعلات عدة ساعات. كما لوحظ إرتفاع ذرات صغيرة جدا من الصخر غطت سطح الماء فى الموشور بنسبة كبيرة. بعد فترة غمر دامت ثلاثة أيام و عند درجة حرارة ١٥-١٦°م بدأت عملية تمرير الماء من الحوض (B1) على الصخور بطريقة التنقيط ببطئ شديد، بحيث يتم التحكم بكميات تدفق ثابتة ١٥ سم^3 / الدقيقة من وإلى الموشور أي ما يعادل ٢١,٦ لتر/يوم . و بسرعة جريان شبه ثابتة ١٥,٦لتر/يوم وهى سرعة تتوافق و معطيات Bentz *et al.* [3] لمثل هذه الصخور.

للتحكم فى إرتفاع مستوى ماء ثابت أحدثت فى أعلى القمع فتحة تسمح بإنتقال الماء الفائض بواسطة خرطوم رفيع إلى الحوض (B2) ، و يضمن بذلك إستمرار تدفق ثابت خلال الـ 24 ساعة. كانت المياه المتجمعة فى الحوض (B3) تعاد يوميا إلى الحوض العلوي (B1) و ينتظر مدة 4 ساعات حتى يتم هناك ترسيب المواد المنقولة من الصخور مع الماء. بعد ذلك يفتح الصنبور (T1) ثانية، علما بأن الصنبور (T3) لم يغلق مطلقا طيلة فترة التجربة(عدا أيام الأعياد).

بعد الجريان لمدة يومين تشكلت كميات كبيرة من التخثرات الكيميائية (بطريقة الندف) ذات لون بني تعوم في الماء داخل الموشور. كانت تعلق هذه على سطح الصخور وأحيانا تسد الصنبور (T3) . مما إضطرنا لإستخلاصها من

الماء، فتبين أنها من الأكاسيد الحديدية. تكررت هذه الظاهرة عدة مرات (قارن الأجزاء الأفقية من المنحني فى الشكل ٥ .

إستمرت عملية الجريان ٦٤ يوما. في النهايـــة و قبـــل إستخراج الكتل الصخرية من الماء هزت كل قطعة تحت الماء بشدة داخل الموشور من أجل إبعاد كل ما هو عالق عليها من تخثرات كيميائية أو جزيئات صخـــرية متحررة. وزنـــت العينات المستخرجة بدقة الجرام الواحـــد وجففت فى الفرن لمدة ثلاثة أيام عند حرارة ٦٠°م، ثم حددت كميات الميـــاه الممتصة. كما حددت كميات المواد التى فقدها الصخر خلال التجربة(مواد منحلة+ مواد منقولة+ مواد متفتتـــة متفككـــة ومنهارة في أسفل المنشور). دونت النتائج في الجـــدول ١ ونوقشت فيما بعد.

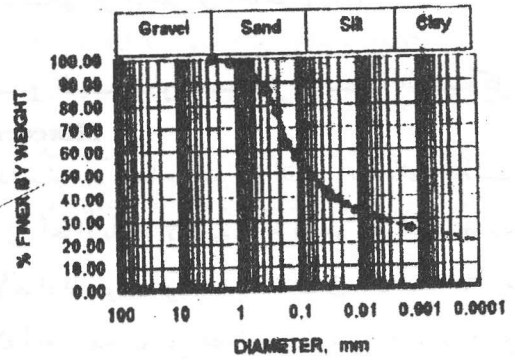
النتائج

جمعت فى الجدول ١ بعـــض الخـــواص الجيوتكنيكيـــة للصخور الخاضعة للدراسة.

جدول ١ بعض الخواص الجيوتكنيكية ونتائج التجارب للصخور الكلسية البطروخية بالاسكندرية

.الرطوبة الطبيعية	٨,٧ %
الكثافة الحجمية	١٩,٢٨ كيلو نيوتن /م٣ ١٩,٩٢ كيلو نيوتن /م٣
لوس أنجلوس (معامل الاهتراء)	%٥٨
الامتصاص (فى يوم واحد)	%١٥
الامتصاص فى ٦٤ يوم	%١٩
الامتصاص حتى الاشباع	%٥٨
المواد المنقولة خلال التجربة	١٧,٠٠جرام
المواد المتفتتة خلال التجربة	٢١٥,٠٠جرام
الأملاح المنحلة عند نهاية التجربة	%١,٥٧
التدرج الحبيبى للمواد المتفتتة.	٥٢/٢١/٢٧

.يمثل الشكل ٣ التدرج الحبيبي للمواد المتفتتـــة و المتبقيـــة في الموشور بعد جريان الماء على الصخر لمدة ٦٤ يوما (تجربـــة مركبة: الجزء المنقط يمثل تجربة الهيدرومتر).



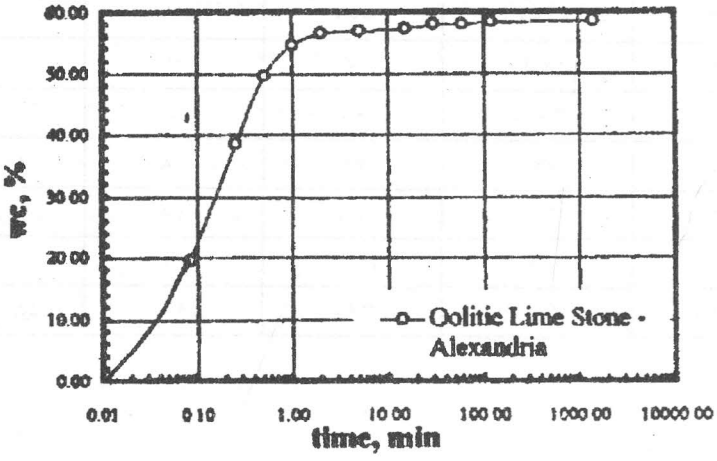
شكل ٣ التدرج الحبيبى للمواد المتفتتة بالتجربة من الصخور الكلسية البطروخية

حللت الصخور الجيرية البطروخية على معادنها و أكاســـيدها المركبة و سجلت النتائج في الجدول ٢.

جدول ٢ تحليل كيمائى للصخور الكلسية البطروخية بالاسكندرية

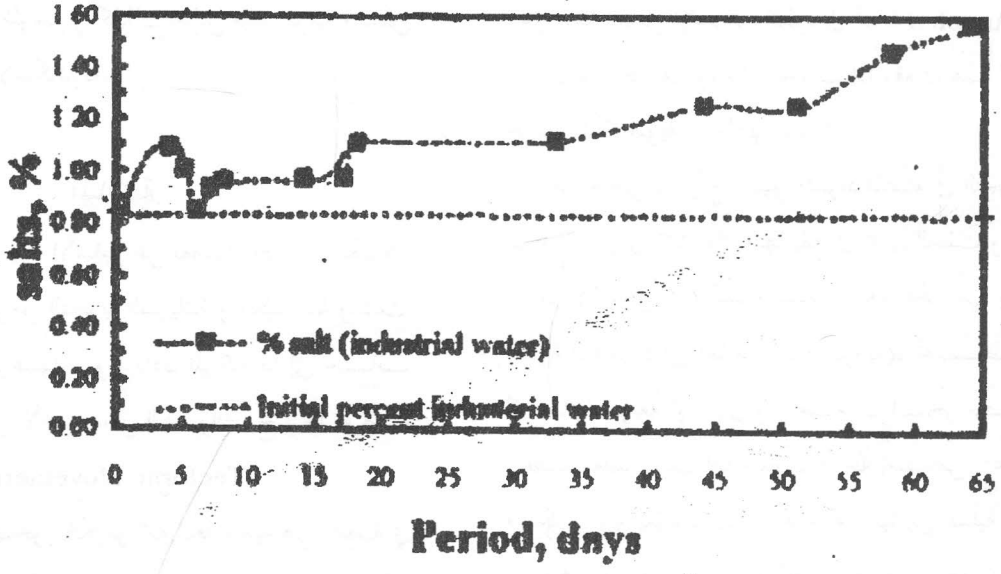
الأكاسيد	النسبة (%)	المعادن	النسبة (%)
LOI	٤٢,٥٩	$CaCO_3$	٩١,٦٧
CaO	٥١,٣٣	$MgCO_3$	٤,٣٣
MgO	٢,٠٦	SO_4	٠,٨٠
IR	١,٠٠	CI	٠,٥١
R_2O_3	١,٤٥	R_2O_3	١,٤٥
CI	٠,٥١	مواد صلبة	١,٠٠
SO_3	٠,٨		

يوضح الشكل٤ ، تجربة Ensline [12] التي تحدد من خلالها درجة إمتصاص المكونات الناعمة للترب المـــارة مـــن غربال ٢٠٠ ، للماء بالعلاقة مع الزمن حتى درجة الإشبـــاع التام.



شكل ٤ العلاقة بين الزمن وامتصاص الماء

فى الشكل ٥ رسمت العلاقة بين نسبة الأملاح المنحلة فى الماء قبل و خلال فترة التجربة



شكل ٥ إنحلال الأملاح فى مياه التجربة

جدول ٣ التحاليل الكيميائية لمياه الصرف الصناعى خلال تجربة انحلال الصخور الكلسية الأوليتية / الاسكندرية

المواد	مياه المطر	المياه السطحية	مياه الصرف الصناعى		
			البدائى	بعد ٣٠ يوم	بعد ٦٤ يوم
الناقلية الكهربائية	١٧٥	٥٥٠	١٥٧٠٠	٢٣٥٣٠	٣٢٤٠٠
pH	٧	٧	٨,٢	٨,٢	٨,٢
الكلوريدات (مج /ليتر)	١٨	٩٠	٣٠٠٠	٦١٠٠	٧٣٧٥
كربونات (القساوة مج / ليتر)	١٨	٥٧	٧٢٠	٧٠٠	٦٩٠
كبريتات SO_4 مج /ليتر	١٥	٤٨	١٠٥	٦٤٢	٢١٩٤
كبريت SO_3 مج / ليتر	٧٢	٢٠٠٠	٨٧	٥٢٠	١٨٢٨
إجمالى الأملاح غير المنحلة (مج /ليتر)	٩٠	٣٩٠	٧٥٠٠	١١٢٣٠	٢٦٠٨٢

كما دونت فى الجدول ٣ نتائج التحاليل الكيميائية التي أجريت على عينات الصرف الصناعي قبل التجربة و خلال شهرين تقريبا إلى جانب نتائج تحاليل أولى الهطولات المطرية فى الإسكندرية لهذا الموسم و كذلك تحاليل مياه جوفية من منطقة البر الغربي بالإسكندرية.

المناقشة

تميز صخور تربة الأساس عن بعضها بعضا جيوتكنيكيا بدرجة مقاومتها لعوامل التجوية الفيزيائية و الكيميائية و ذلك بناء على نشأتها و نوعيتها و المعادن المركبة لها إلى جانب العديد من العوامل الأخرى مثل البنية والنسيج و ما تعرضت له من تكتونيك Tectonic Movements .

وحيث أن الصخور الكربوناتية البطروخية هي المعنية في هذه الدراسة يتوجب التعرف على جميع خواصها الجيوتكنيكية وغيرها على أكمل وجه من أجل الحفاظ على توازن جيد و سليم للمنشآت الهندسية التي نفذت بل وستنفذ عليها مستقبلا. تبين لنا أن هناك نوعين من الصخور البطروخية في المقطع البروفيلي (قارن الكثافة الكلية الجدول ١)، غير أن تركيبهما المعدنى متشابه تقريبا (الجدول ٢) . وما يثير الإنتباه هو قيمة معامل الإهتراء الخطرة فى تجربة Los Angeles = 58.0 % ؛ فكيف وماذا سيحدث إذا وقعت هذه الصخور تحت منشأة حيوية و تخللتها المياه؟ .

من منحني التدرج الحبيبي للمواد المتفتتة فى التجربة نجد أن هناك حوالي ٦٣ % منها يقع فى مجال السلت و الرمل الناعم (الشكل ٣) كما و يشير الشكل الخارجى و هيئة الحبيبة الواحدة، إلى أنها مستديرة(كروية)، تحاط بروابط كربوناتية سريعة الإنحلال وأن مسامات الصخر متصلة مع بعضها بعضا، ذلك أنها حققت درجة إمتصاص عالية جدا الشكل ١، و يعود ذلك إلي عدم تعرضها إلى عملية ديا جنيز عالية فى الطبيعة. من ناحية أخرى نجد أن درجة الإشباع التام لدى التفكك الكلي لذراتها الناعمة بلغت ٥٨% (الشكل ٥). تمتص هذه النسبة من الماء من قبل المواد المارة من غربال

٢٠٠ علما بأن حوالي ٢٧% من مركبات الصخر البطروخي يقع فى مجال التدرج الغضاري Clay fraction و هى من معادن الكالسيت والدولوميت (الجدول ٢). تماشيا مع الملاحظات المسجلة لدى بداية مرحلة الغمر، فإن جزيئات عديدة ستتساقط عن الكتل الصخرية وبذلك تفتح المجال مجددا أمام الجزيئات المكشوفة حديثا للإنحلال والتفتت السريع Mixcorrosion, [10]، ينتج عن ذلك إرتفاع نسبة الأملاح المنحلة فى الماء (الشكل ٥).

من الجدول ٢ نجد أن ٩٨% من المعادن المركبة للصخر قابلة للإنحلال، مما سيساعد فى رفع كمية الأملاح المنحلة في الماء خلال مسار التجربة (الجدول ٢ - Cl^- , SO_4^{--} :).

تتضح هذه الصورة من خلال عملية التكرار للجريان و رفع كمية الجوامد الصلبة الذائبة (من ٧٥٠٠مجم/لتر إلى ٢٦٠٨٢)، التي تتوافق و الإرتفاع الطردي لقيمة الناقلية الكهربائية.

تلمس عدوانية الماء منذ أول فترة لملامسته الصخر وبدون أي جريان. هنا ترفع نسبة الأملاح المنحلة فيه بعد ثلاثة أيام من الغمر إلى ٥١,٠٩٠٤%. الشكل ٥ لتبدأ بالإنخفاض مع أول يوم لجريان الماء فوق الصخور. تفسر هذه الظاهرة بتشكل أملاح غير منحلة في هذا الوسط، و إنفصالها عن الماء لتعلق على سطح الكتل الصخرية أو لتسقط إلى قاع الموشور. كانت هذه تستخلص من الماء بإستمرار كي لا تحجب ملامسة الماء لسطح الصخر و تحد من عملية الإنحلال. وعليه نلاحظ أنه بعد كل عملية إستخلاص يحدث إرتفاعا جديدا لنسبة الأملاح المنحلة (الشكل ٥). يمكن توضيح ذلك من خلال المعادلات التالية بإختصار:

$$H_2O + CO_2 \text{ ------ } H_2CO_3$$

$$H_2CO_3 \text{ ------- } H^+ + HCO_3^-$$

$$HCO_3^- + Ca^{++} \text{ ------ } Ca(HCO_3)_2$$

$$Ca(HCO_3)_2 \text{ ----- } CaCO_3 + H_2O + CO_2$$

في حالة الإشباع

وكثيرا ما تتشكل أيضا أملاحا غير قابلة للذوبان مثل الجبس $Ca\,SO_4$.

و بعض الأكاسيد الحديدية المائية وغيرها: $FeO(OH)_2$, Fe_2O_3، أي الهيماتيت و الجيوتيت، لتبعد عن الماء. أما غاز الكربون CO_2 فيوصف لدى Neumann [13] بأنه غاز حر معتدي، سيقود مباشرة بعد تشكله مرحلة إنحلال صخري جديدة، تزداد فاعليتها مع إنخفاض درجات الحرارة. و هذه الظاهرة خطرة على الخرسانة أيضا.

إن مجموع ما خسره الصخر (الذي وزنه ٢٢,١٦٢) كيلو جرام نتيجة لعمليات التآكل المشترك Mixcorrosion (تفتت و نقل + إنحلال) فى هذه التجربة بلغ٢,٠٧٢٤% .

فإذا علمنا أن هذه النتيجة تنحصر في ثوابت فعل طال صخر مساحته التقديرية١٥,٦متر/يوم ، و لمسافة تماس = ١,٢متر ، تحت سرعة جريان ١٥,٦ متر/يوم، و كمية تدفق مائي ٢١,٦ متر/يوم أصبح لدينا ملكية تصور ما يمكن أن يجري فى الطبيعة و خاصة تحت المنشآت اهندسية. فالصخور فى الطبيعة متشققة ومساحة التماس كبيرة جدا و إمكانية تجدد و تدفق المياه الطازجة على الصخور متوفرة دائما.

الخلاصة

يستخلص من نتائج هذه التجربة التي مثلت فى المختبر بنموذج بسيط جدا:

.أن المنشآت اهندسية المنفذة على صخور كلسية، مارلية و بطروخية أيضا، هي دائما في خطر، إن لم تجر قبل تصميمها و تنفيذها دراسات جيوكيميائية و مينرالوجية و جيوتكنيكية هادفة على تربة الأساس لتحديد كيفية التأسيس عليها فى مجال منسوب المياه الجوفية.

.و حيث أننا لا نجد فى الطبيعة مياها ساكنة(سطحية، تحت سطحية أو جوفية) فإن لحركاتها و سرعاتها، خاصة

حول الأساسات و تحتها أثرا فعالا على سلامة منطقة التماس والإرتكاز، وعلى الأخص إن كانت ترتكز على صخور قابلة للإنحلال و سهلة التفتت(العينات الخاضعة للدراسة).

.من ناحية أخرى تغطى الصخور في الطبيعة (تربة الأساس) دائما بشبكية تشقق أو تفلق أو غيرها من التراكيب الثانوية، لذلك ستجد المياه بأنواعها طرقا سهلة لجريانها و القيام بعمليات تآكل صخري مزدوجة Mixcorrosion تحت المنشآت الهندسية. ينتج عن ذلك إتساع عرض الشقوق و تعميقها و تشكل كهوف كارستية.

.يزداد تأثير المياه على تربة الأساس لدى إحتوائها على أملاح منحلة كمياه الصرف الصناعي و الصحي، و مياه الأمطار ولن ينخفض هذا التأثير لدى إختلاط هذه المياه المعتدية مع المياه تحت السطحية.

.لدى حدوث هذه العمليات تحت المنشآت الهندسية ستتشكل فراغات وكهوف (كارست Karst) تحت الأساسات وستنخفض قيم الخواص الميكانيكية لتربة الأساس، مما سيؤدي إلى تحرك الأساسات بصورة خطرة ينتج عنها ظهور أضرار عمرانية جسيمة فى المنشآت الهندسية. غالبا ما تصل هذه إلى درجة عالية من الخطورة (حسب درجة التصدع). و عليه تقيم درجة الخطورة، و يتخذ القرار النهائي بالتدعيم أو الهدم، أو أن يفاجأ الجميع بإنهيار المنشآت على ساكنيها كما حدث فى مناطق عديدة من العالم[5] .

.بناء على ما تقدم، يتوجب عدم إستثناء تأثير مياه البحر من هذه المعادلة، نظرا لما تحتويه من العديد من الأملاح المنحلة فيها وحركتها المستمرة تحت الأساسات بالقرب من الشواطئ.

المقترحات

عند الإضطرار لتنفيذ منشآت هندسية على صخور كلسية بطروخية في نطاق منسوب المياه تحت السطحية يفترض بالمهندسين الإلمام الشامل بأمور العلاقات الجيوكيميائية و الجيوتكنيكية و الميرالوجية المتبادلة بين كل من الخرسانة و الصخور (تربة التأسيس) و المياه بأنواعها المتواجدة فى موقع العمل. و من أجل الحفاظ على سلامة المنشآت الهندسية و خاصة السكنية منها، و كذلك من أجل الوصول إلى درجة مقبولة من الديمومة نقترح ما يلي:

١. القيام بدراسات جيوتكنيكية و جيوكيميائية و هيدرولوجية مركزة على الصخور الكربوناتية المتواجدة في نطاق المياه تحت السطحية. هنا علينا ألا نبخل بالتكاليف الأولية، لأن ذلك سينعكس إيجابا على ديمومة المنشأة بشكل عام، و على البيئة و سلامة السكان بشكل خاص.

٢. التأكد من عزل اساسات المنشآت الهندسية جيدا عن المياه المعتدية.

٣. عدم طرح مياه الصرف الصناعي، و المخلفات الصناعية في الطبيعة مما لها من تأثير مدمر على تربة الأساسات، حتى وإن إختلطت مع المياه تحت السطحية.

٤. حرصا على سلامة البيئة و المجتمع يتوجب معالجة هذه المياه بصورة جيدة قبل طرحها فى الطبيعة(فى البحار، و البحيرات والأنهار و الترع).

٥. ولمعرفة مجريات الأمور أكثر يفضل إجراء تحاليل كيميائية شاملة على مياه الجريان في التجربة يوميا بدلا من شهريا وذلك بواسطة جهاز الإمتصاص الذري لحصر تغيرات جميع الأيونات الداخلة في التجربة(في الماء و الصخور).

٦. إخضاع المنشآت الهندسية المنفذة على مثل هذه الصخور لعمليات مراقبة دقيقة جدا و طويلة الأمد، لقياس أية تغيرات تطرأ عليها بعد تشييدها مثل: الهبوطات غير المتجانسة التصدعات فى الجدران و العناصر الخرسانية وغيرها.

المراجع

1. R.Brinkmann, "Lehrbuch der Algemeine Geologie",_Bd.III, Enke Verl., Stuttgart, pp. 450, (1967).
2. H. Prinz, Abriss der Ingenieur Geologie, Enke Verl., Stuttgart, pp. 419, (1982).
3. A. Bentz and H.-J. Martini, "Lehrbuch der Angewandten Geologie", Bd. II, Teil 2, , EnkeVerl. Stuttgart, pp. 1357-2151 (1969).
4. M.A. Shaikh Mashail, Principle of Engineering Geology,pp. 493 , Theo. Part, Aleppo University, (1986).
5. M.A. Shaikh - Mashail," Deteriorating and Supporting of Building in Karst area.",Arab Eng.Journal., Vol. 111, pp. 11-15, (1994).
6. D.U. Deere, "Geological Consideration", Rock Mech. Eng. Practice. Editors: Stagg and Zienkiewicz, Joh Wiley and Sons,, pp. 1-20, (1968).
7. K.W. Butzer, "On the Pleistocene Shore Lines of Arab's Gulf, Egypt", The Journal of geol., University of Chicago, pp. 1357-2151 (1969).
8. F.E. Zeuner, Dating the Past., Methuen and Co., 4th ed., pp. 516, (1950).
9. N.M. Shukri, G. Philip, and S. Rushdi, "The Geology of the Mediterranean Coast Between Rosetta and Bardia", II. Pleistocene Sediments: Geomorphology and Microfacies" Bull. Inst. d'Egypte, Vol .37, pp. 395 -427, (1950).
10. A. Bogli, "Mischkorrosion- Ein Beitrag Zum Verkarstun-gsproblem", Erdkunde, 18, DuemlerVerl. Bonn, pp. 83-92, (1964).
11. R.Floss, "Zusaetzliche Technische Vorschriften und Richtlinien fuer Erdarbeiten in Strassenbau", ZTVE, StB.76, Komentar", Bonn, pp. 454, (1979).
12. E.Schultze, H. Muhs, Bodenun-Tersuchungen fuer Ingenieur-Bauten. 2te Aufl., Springer Verl., pp. 722 (1967).
13. R. Neumann, "Geologie fuer Bauingenieure", Wilh. Ernst & Sohn Verl., Berlin, pp. 785, (1964).

كلمة شكر

شكري الجزيل لجميع الأساتذة الدكاترة في إدارة كلية الهندسة – جامعة الإسكندرية، و كذلك للزملاء الأساتذة الدكاترة في معمل ميكانيكا التربة و الأساسات، و إلى جميع مهندسيه والعاملين فيه لتعاونهم الفعال. و أتوجه بالشكر الخاص للأستاذ الدكتور ألكسان يني سالم و الدكتورة هدى رشدي هندي/ مختبر الكيمياء لما أسدياه من جهد ليكون البحث عند هذا المستوى.

Mixcorrosion of Oolitic Limestone (Foundation Rock) in Disposed Industrial Water

M.A. Shaikh-Mashail

Geotechnical Engineering, Aleppo University, Faculty of Civil Engineering, Syria

ABSTRACT

The detrimental effect of industrial disposed water contaminated with SO_4^{--} , and Cl^- is not limited to destruction of the environmental beauty and safety, but it is extended to construction materials (e.g. aggregates, sand, cement, which are the main components of concrete), and to the supporting soil (carbonatic oolitic lime stone) as well.

Such effect has been experimentally studied using a simple model. The results are very useful and can be applied to structures founded on media under the influence of aggressive water. The analysis has shown that about 2.07 % (by weight) mixcorrosion took place in the oolitic limestone when subjected to aggressive water for 65 consecutive days. This imposes additional stresses to the super-structure, which may cause its deterioration eventually its failure.

Received May 13, 1996
Accepted August 15, 1998