سرعة التحلل الكارستي وآثارها على المنشآت الهندسية في مدينة تلعفر

م.د . أحمد حسين حسين

وزارة التربية العراقية / المديرية العامة لتربية نينوى

(قدم للنشر في ٢٠١٩/٩/١٦ ، قبل للنشر في ٢٠١٩/١٢/٥)

ملخص البحث:

تناول البحث دراسة سرعة التحلل الكارستي في مدينة تلعفر ، وتبين إن العامل الجيولوجي بتكويناته الصخرية الجبسية والكلسية فضلا عن الظروف المناخية يعدان ابرز العوامل المحددة لسرعة التحلل الكارستي، كما إن هناك عوامل أخرى كالخصائص التضاريسية والتربة والنبات الطبيعي.

أظهرت نتائج الدراسة إن قيمة سرعة التحلل في الصخور الجبسية وصلت إلى١٦.٥ملم/ سنويا في حين إن قيمتها في الصخور الكلسية وصلت إلى ١٧.٤ملم / ١٠٠٠ سنة ، ويعود هذا التباين إلى توفر العوامل الطبيعية الأكثر ملائمة لتحلل الصخور الجبسية وكونها اقل مقاومة وأكثر استجابة لعملية الذوبان والتحلل عن نظيرتها الكلسية . بينت الدراسة الآثار السلبية لظاهرة التحلل الكارستي على المنشات الهندسية المختلفة والبنى التحتية مما يتطلب إيجاد الحلول الناجعة لها .

The speed of Karst dissolution and its effects on the engineering installations in the city of Telafar

Abstract:

The study investigated the speed of the karstic dissolution in the city of Tal Afar. The geological factor in the gypsum and Limestone rock formation as well as the climatic conditions are the main determinants of the speed of karstic dissolution. Other factors such as geomorphology, soil and natural vegetation. The results of the study showed that the value of the decomposition in gypsum rocks reached 16.5 mm / year, while its value in Limestone rocks reached 17.4 / 1000 years. This variation is due to the availability of the most suitable natural factors for gypsum rocks, For its Limestone counterpart. The study showed the negative effects of the phenomenon of karstic dissolution on the various engineering facilities and infrastructure, which requires finding solutions.

١.المقدمة

تؤدي العمليات الجيومورفولوجية خاصة العمليات المرتبطة بالتجوية الكيميائية إلى تغيرات في التراكيب الصخرية وصولا إلى ذوبانها وتحللها بدرجات متباينة تبعا لمقاومتها لعملية التجوية، لم تعد الدراسة الوصفية تلائم الأبحاث المعاصرة ،وذلك لعدم التوصل إلى نتائج يعتد بها لتقدير المخاطر التي تتعرض لها المناطق الكارستية بمنشاتها الهندسية المتنوعة ،لذا كان لزاما إتباع الدراسة الكمية من خلال البيانات والعلاقات الرياضية التي تتيح الحصول على النتائج الدقيقة لمعرفة سرعة التحلل الكارستي، وبناء على تلك المعطيات يتم التنبؤ بالمخاطر التي من الممكن أن تتعرض لها المنشات الهندسية من طرق وجسور والمنشات العمرانية ومنشات البنى التحتية الأخرى، وتبعا لذلك يتم اخذ الإجراءات اللازمة لتجاوز تلك المخاطر التي تكلف خسائر طائلة في الأموال العامة والخاصة ، فضلا عن صعوبات في توفير الخدمات العامة للسكان.

تم دراسة العوامل الطبيعية المؤثرة في التحلل الكارستي من البنية الجيولوجية والظروف المناخية والاشكال الجيومورفولوجية والتربة والنبات الطبيعي فضلا عن العوامل البشرية ،كما تم التحليل الهيدروكيميائي لمياه عين صوباشي الذي يعد المجرى المائي الدائمي الوحيد المخترق لمدينة تلعفر، فضلا عن تحليل مياه المجاري المؤقتة المتمثلة بمياه الوديان أثناء موسم التساقط المطري للحصول على المحتوى الكاربوناتي من ايونات الكالسيوم والمغنيسيوم ، وتم الاعتماد على العلاقة الرياضية لكوربل لاستخراج قيمة سرعة التحلل الكارستي في الصخور الكلسية ومقارنتها مع الصخور الجبسية السائدة في تكوينات منطقة الدراسة، وبحثت الدراسة عن أهم المنشات التي تعرضت لمخاطر ومشاكل سرعة التحلل الكارستي وإيجاد الحلول الناجعة لتجاوزها مستقبلا بغية النهوض بالمنشات والبنى التحتية إلى أحسن المستويات لتسهيل وتقديم أفضل الخدمات بأقل التكاليف للسكان.

١:١: مشكلة الدراسة:

تكمن مشكلة الدراسة في توافر الظروف الطبيعية والبشرية التي تعمل على زيادة سرعة التحلل الكارستي ، وما يترتب على ذلك من آثار تهدد المنشات الهندسية بمخاطر متباينة ،فضلا عن عدم وجود أية دراسة سابقة لإيجاد قيمة التحلل الكارستي مما يجعل صعوبة تقدير أو تنبؤ المخاطر التي تواجه تلك المنشات لاتخاذ الاحتياطات اللازمة لتلافيها .

٢:١: الفرضية :

تفترض الدراسة عن ارتفاع قيم سرعة التحلل الكارستي في منطقة الدراسة ، مما يبرز تساؤلات عدة منها :

- ما هي العوامل التي تؤدي إلى زيادة سرعة التحلل الكارستي؟
- ما هي طبيعة المنشات المتضررة من التحلل الكارستي؟

٣:١: أهداف الدراسة :

تهدف الدراسة إلى معرفة القيم الحقيقية لسرعة التحلل الكارستي ، ومن ثم تحديد النشاط الكارستي وتأثيره على المنشات الهندسية والبنى التحتية ومعرفة مستويات المخاطر التي تتعرض لها تلك المنشات لإيجاد الحلول الناجعة لها لتلافي الخسائر الاقتصادية والنهوض بالبنى التحتية لتقديم أفضل الخدمات للسكان.

٤:١: منهجية البحث:

تم إتباع المنهج الاستقرائي لتتبع تأثير العوامل الطبيعية على سرعة التحلل الكارستي في منطقة الدراسة ، ومدى ترابط تلك العوامل مع بعضها البعض، فضلا عن المنهج ألاستنتاجي في عمليتي التحليل والتركيب للتوصل إلى الآثار المترتبة عن سرعة التحلل الكارستي على المنشات الهندسية ،كما اعتمد في هذه الدراسة على المنهج الكمي من خلال جمع البيانات واستخدام العلاقات الرياضية لتحديد سرعة التحلل الكارستي.

٢. موقع منطقة الدراسة:

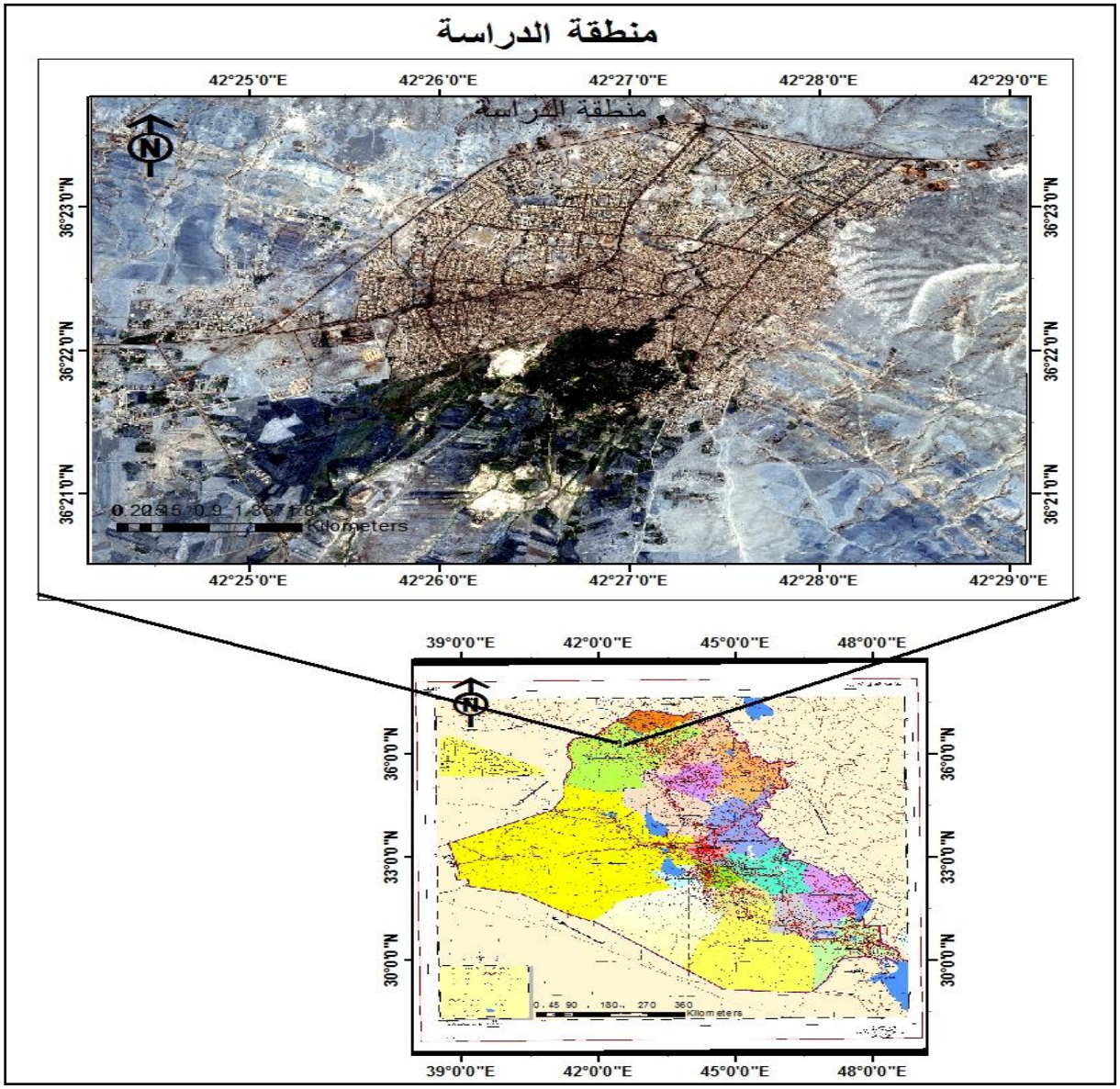
تقع منطقة الدراسة وكما يتبين من الخارطة (١) شمال غربي العراق ضمن محافظة نينوى والى الغرب من مدينة الموصل بحوالي (٦٠ كم) متمثلة بمدينة تلعفر وضواحيها ، فلكيا تقع بين خطي طول (٩ً ٢٤ً ٤٢ْ – ٦ً ٢٩ً ٤٢ْ شرقا) ودائرتي عرض (١٩ً ٢٠ً ٣٦ْ – ٥٨ً ٢٣ً ٣٦ْ شمالا)، وتشغل مساحة قدرها (٦٣ كم٢) .

٣ .العوامل الطبيعية لمنطقة الدراسة والمؤثرة في التحلل الكارستي :

١:٣: الجيولوجيا :- تتكشف في منطقة الدراسة كما يتبين من الخارطة (٢) العديد من التكوينات الجيولوجية التي لها الأثر البارز في معدلات سرعة التحلل الكارستي، وتعود التكوينات المتكشفة إلى عصر المايوسين الأوسط من الزمن الجيولوجي الثالث وحتى عصر الهولوسين من الزمن الجيولوجي الرابع، واهم هذه التكوينات :

- تكوين الفتحة : يشكل هذا التكوين الذي يعود بالعمر الزمني إلى المايوسين الأوسط معظم منطقة الدراسة ، إذ ينكشف في شمال وشرق منطقة الدراسة ضمن التلال الواطئة وأطراف طيات سعسان وزمبار، وتتفاوت طبيعة صخور التكوين بين صخور جبسيه وكلسيه وصخور المارل ،كما يتباين سمك الطبقات الصخرية في المنطقة لتصل إلى ٣٢٣ مترا .[١]

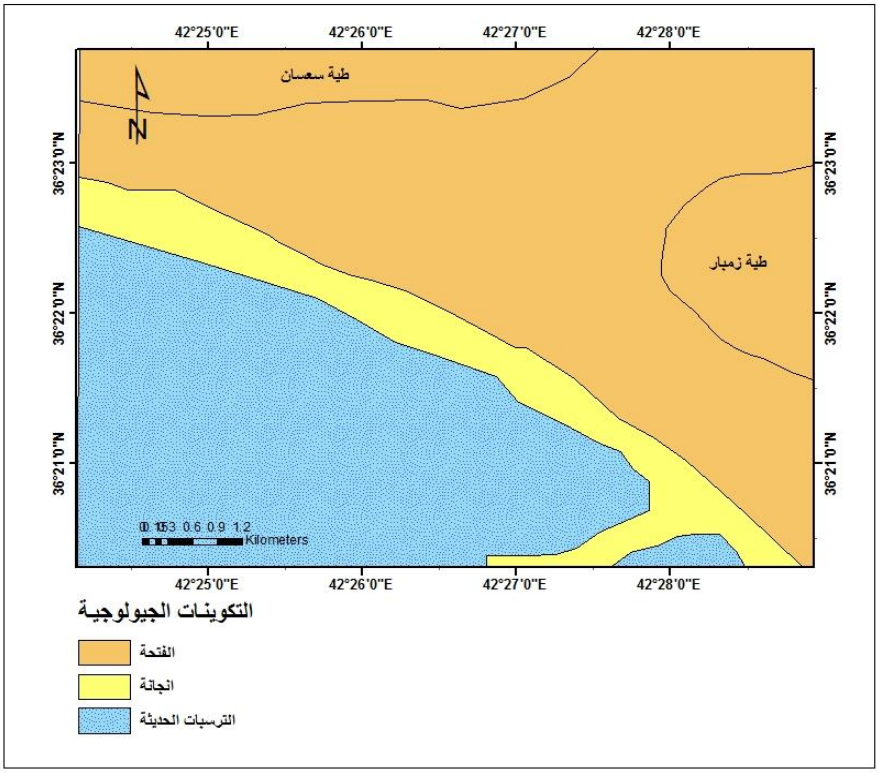
الخارطة (١) منطقة الدراسة



المصدر/ Ikonos Satelite,(2012), Satelite image at 1 meter Resolution,(Hic) map for Iraq

تكمن أهمية هذا التكوين الجيولوجي في طبيعة صخوره القابلة للتحلل بمعدلات عالية وسريعة من خلال عمليات التجوية الكيميائية التي تعمل على إنشاء قنوات إذابة ومسامية ثانوية تفوق بأضعاف المسامات الأولية والتي تعد عامل تسريع في إذابة تلك الصخور .وتتباين سرعة التحلل الكارستي بين صخورها، فالصخور الجبسية لها قابلية أكبر على التحلل عن الصخور الكلسية بمقدار يتراوح بين (١٥٠ – ٧٥٠٠) مرة.[٢]وهذه القيم تشكل مخاطر أكبر على المنشات الهندسية بمختلف أنواعها ،إذ إن هبوط سطح الأرض وتوسيع الشقوق والفواصل نتيجة التحلل قد لا تتجاوز عدة ملليمترات عبر ١٠٠ سنة في الصخور الكلسية بينما يصل إلى(١٠٠سم) في الصخور الجبسية.[٣]

خارطة (٢) جيولوجية منطقة الدراسة



المصدر / الخارطة الجيولوجية لمنطقة الموصل (NJ38/13) الصادرة من المسح الجيولوجي والتحري المعدني، بغداد ،١٩٩٥

- تكوين انجانة:- يعد هذا التكوين اقل انتشارا والعمر الزمني له يعود إلى المايوسين الأعلى، وينكشف على شكل ألسن طولية ضمن المناطق الأقل انحدارا وسط منطقة الدراسة ويتكون بشكل رئيس من تعاقبات منتظمة من الحجر الطيني الأحمر مع طبقات من الحجر الرملي والحجر الغريني وقد تكون مغطاة بالترسبات الحديثة.إن محدودية انتشار هذا التكوين ومحدودية صخوره القابلة للتحلل تقلل من أهميته في سرعة التحلل الكارستي وتحد من خطورته على المنشات الهندسية.

- الترسبات الحديثة :- تتضمن ترسبات عصر البلايستوسين والهولوسين ،ويتكشف التكوين في جنوب منطقة الدراسة ذات الطبيعة السهلية ،ويتكون من ترسبات تتباين في خصائصها وطبيعة مكوناتها فتكون على شكل فتاتيات صخرية وحصوات مختلفة في أحجامها وأشكالها مع ترسبات طينية وغرينية ورملية ضمن الوديان في حين تشكل الترب المتبقية ذات المحتوى الجبسي العالي اغلب أجزاء التكوين وتتميز باستجابتها العالية والسريعة للتجوية الكيميائية ومن ثم التحلل.

٢:٣: الظروف المناخية :- يعد المناخ من العوامل الرئيسة التي تتحدد على ضوئها ظاهرة سرعة التحلل الكارستي من خلال عناصره المختلفة،وتم الاعتماد على بيانات محطة تلعفر وكما مبين في الجدول (١) لسنوات الرصد ١٩٨٠ – ٢٠١١ [٤]، وسيتم بيان كل عنصر وكما يأتي:

١:٢:٣: التساقط :- يتميز التساقط بتباينه وتذبذبه السنوي والفصلي والشهري ويمتد ذلك إلى التباين اليومي،يصل المعدل السنوي لكمية التساقط إلى (٣٢٣,٨ ملم)،بلغ عدد سنوات التساقط دون المعدل السنوي ١٨ سنة في حين إن عدد سنوات التساقط الذي تجاوزت قيمها المعدل السنوي بلغ ١٣ سنة وسجلت السنة المطرية ١٩٩٦-١٩٩٧ أعلى قيمة إذ وصلت إلى (٦١٤،٤ ملم) بينما الأدنى كانت في السنة المطرية ٢٠٠٨-٢٠٠٩ وبلغت (١٤٣،٣ ملم)، أما من حيث التباين الفصلي فنجد إن التساقط شتاء يشكل ٥٠ % من مجموع التساقط السنوي و٣٣% في فصل الربيع وتنخفض النسبة إلى ١٧% في الخريف ،بينما التساقط الشهري يبلغ أقصى مداه في شهر آذار الذي بلغ(٥٩،٥٣ ملم) وينخفض إلى أدنى معدلاته في أيار(١٣،٨٥ملم) كما يتميز التساقط بالشدة المطرية التي تصل أحيانا إلى(٣٢ملم/ساعة).

هناك علاقة وثيقة بين التساقط وسرعة التحلل الكارستي ، فالعلاقة طردية بينهما إذ يزداد التحلل بزيادة التساقط ويقل بنقصان التساقط وقد يقل الى ادنى مستوياته عند انخفاض التساقط الى (٢٥٠ – ٣٠٠ ملم) في الصخور الكلسية ، ولكن يستمر التحلل في الصخور الجبسية حتى وان قلت كمية التساقط عن (٢٥٠ ملم) .[٥]

٢:٢:٣: الرطوبة النسبية:- يعد ارتفاع الرطوبة النسبية عاملا مؤثرا في زيادة سرعة التحلل الكارستي، وترتبط معدلات الرطوبة بمعدلات التساقط زمانيا، إذ ترتفع في أشهر الشتاء ويبلغ معدلها (٧٦،٣%) في شهر كانون الأول وينخفض المعدل إلى(٢١%) في شهر تموز.

٣:٢:٣: درجة الحرارة:- العلاقة بين هذا العنصر والتحلل الكارستي تتباين بتباين التكوينات الصخرية ، إذ يزداد التحلل في الصخور الجبسية بارتفاع درجات الحرارة ويصل ذروته عند (٣٧م ْ) بعكس الصخور الكلسية التي يزداد تحللها بانخفاض درجات الحرارة.[٦]

تتميز درجات الحرارة بتباينها لأشهر السنة فيبلغ معدلها السنوي (٢٠،٩ م ْ)، ينخفض المعدل شتاء ويصل إلى ادني قيمه في شهر كانون الثاني (٧،٤ م ْ) ويرتفع إلى (٣٤،٩ م ْ) في شهر تموز .

إن تطابق انخفاض درجات الحرارة مع زيادة التساقط شتاء يساهم في زيادة التحلل الكارستي في الصخور الكلسية، في حين إن ارتفاع درجات الحرارة التدريجي في أشهر الربيع والخريف مع معدلات التساقط المسجلة يساهم في زيادة التحلل في الصخور الجبسية .

تلعب درجات الحرارة دورا إضافيا فضلا عن دورها في زيادة التحلل الكارستي وتؤثر تأثيرا مباشرا على المنشات الهندسية وتعمل على أضعافها عند عدم إتباع الأساليب الصحيحة عند تشييد تلك المنشات فعلى سبيل المثال لا الحصر يتوجب عدم فرش المواد في الطبقة تحت الأساس للمشاريع كافة عندما تكون درجة الحرارة (٣م ْ) فما دون، وعند فرش طبقة البرايم القيرية (المستحلب القيري) في الطرق يجب أن تكون درجات الحرارة لا تقل عن (١٥ م)، أما التبليط بالخرسانة الاسفلتية الساخنة فيتطلب درجة حرارة لا تقل عن (٥ م ْ) .

لذا يجب الحذر عند القيام بأعمال المشاريع الهندسية الانفة الذكر في شهري كانون الأول وكانون الثاني لانخفاض درجات الحرارة إلى

دون المعدلات التي تتطلبها الأعمال الإنشائية في بعض الأيام بالرغم من عدم انخفاض المعدلات الشهرية إلى دون (٧،٤ م ْ) .

٤:٢:٣: التبخر:- يتناسب التبخر طرديا مع درجات الحرارة وتبعا لذلك ينخفض شتاء ويسجل أدنى قيمة في شهر كانون الثاني اذ يبلغ (٤٥،٦ ملم) ويرتفع صيفا ويسجل (٤٩٢،٣ ملم) في شهر آب،بلغ المجموع السنوي للتبخر(٢٨٩٧،٩ ملم)،إن انخفاض التبخر بالتزامن مع درجات الحرارة شتاء يساهم في زيادة الفائض المائي الذي يكون بتماس مباشر مع الصخور وبالتالي زيادة وتيرة التحلل الكارستي .

٣:٣: النبات الطبيعي :- يتمثل النبات الطبيعي في النباتات الحولية التي تنمو مع تساقط الأمطار وتنتهي فترة حياتها بحلول الجفاف صيفا كالبابونج والخباز،فضلا عن أشجار التين والرمان والتوت واليوكالبتوس والسرو، تساهم النباتات بجميع أنواعها على تقليل الجريان السطحي للمياه وزيادة تغلغلها في التربة والصخور ،فضلا عن دورها في زيادة المواد العضوية في التربة من خلال تحلل جذورها وأوراقها وأغصانها والتي تسهم مع المجموعات البكتيرية وبتفاعلات كيميائية من تحويلها إلى أحماض عضوية تزيد من سرعة التحلل الكارستي.

الجدول (١) المعطيات المناخية لمحطة تلعفر لسنوات الرصد ١٩٨٠ – ٢٠١١

العناصر / الاشهر	الامطار/ملم	الرطوبة النسبية %	درجة الحرارة ° م	التبخر / ملم
كانون الثاني	٥٥.٦	٧٥.٨	٧.٤	٣١.١
شباط	٥١.٢	٧١.٩	٨.٣	٤٩.٤
اذار	٥٥.١	٦١.٦	١٢.٧	٧٦.٣
نيسان	٣٨.٧	٥٦.٢	١٨.٧	١٣٩
أيار	١٣.١	٣٤.٦	٢٦.١	٢٣١.٩
حزيران	٠.٦	٢٣.٧	٣١.٦	٣٠٧.٢
تموز	٠.١	٢١.٥	٣٤.٩	٣٤٢.٩
اب	صفر	٢١.٩	٣٤.٧	٣١٩.٥
أيلول	صفر	٢٤.٢	٢٩.٣	٢٣٣.٧
تشرين الأول	١٧.٥	٣٦.٨	٢٣.٢	١٥٥.٧
تشرين الثاني	٣٧.٢	٥٥.٤	١٤.٩	٧٩.١
كانون الاول	٥٤.٧	٧٦.٣	٩.٢	٤٠.٢
المعدل	٣٢٣.٨	٤٦.٦	٢٠.٩	٢٠٠٦

المصدر / وزارة النقل ،الهيئة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي، قسم المناخ ، سجلات غير منشورة .

٤:٣: جيومورفولوجية المنطقة :- تتميز منطقة الدراسة بتنوع مظاهرها الجيومورفولوجية التي تؤثر بشكل مباشر في سرعة التحلل الكارستي وتخلق مشاكل في المنشات الهندسية واهم هذه المظاهر هي:-

١:٤:٣: وديان التعرية :- تخترق منطقة الدراسة (مدينة تلعفر) من الشمال إلى الجنوب مجموعة من الوديان التي نشأت في ظل الظروف المناخية المطيرة التي تتباين في أشكالها وأعماقها واتساعها ومن أهم هذه الوديان وادي حسنكوي ووادي قنبردرة ووادي قرمزدرة فضلا عن وديان أخرى اقصر واقل تطورا مما ذكر أعلاه،تعمل هذه الوديان مجتمعة على تقطيع أجزاء المدينة وأحيائها مما يتطلب إنشاء العديد من الجسور والقناطر لربط أحياء المدينة بعضها مع البعض الآخر.

٢:٤:٣: عين صوباشي الكارستي:- ويشكل المصدر المائي السطحي الدائمي الوحيد في المنطقة ،ويساهم في سقي بساتين الرمان والتين والمساحات المزروعة بالخضراوات التي تقدر بعشرات الدونمات، ومن خلال الفحص المختبري للخصائص الهيدروكيميائية للعين تبين سيادة ايون الكبريتات لانبثاق العين من الصخور الجبسية علما إن تصريفها يصل إلى ١٠٠ لتر/ثا .

٣:٤:٣: المظاهر الكارستية:- تعد المنطقة غنية بالمظاهر الكارستية المتمثلة بالكهوف المختلفة في أشكالها وأحجامها ،والدولينات بنوعيها (دولينات الإذابة ودولينات الانهيار) فضلا عن التحززات الأرضية (البوغاز) وأقراص العسل ، وتعود نشوء معظم هذه الأشكال والمظاهر إلى المناخ القديم الذي ساد أثناء عصر البلايستوسين قبل ١١ ألف سنة ضمن العصر الجيولوجي الرابع والذي تميز بتعاقب الفترات المطيرة مع فترات الجفاف.[٧]وسيتم لاحقا تحديد النشاط الكارستي ودوره في استمرار تشكيل المظاهر المختلفة من خلال تحديد سرعة التحلل الكارستي.

٤:٤:٣: التلال الواطئة :- تتخلل التلال السهول المنبسطة وتتميز بكونها تلال منعزلة ولا تتصل على شكل سلسلة طويلة ، إذ تؤثر على زيادة الانحدار التي تزيد من احتمالية الجريان السطحي وتقلل من ترشيح مياه الأمطار إلى داخل التربة والصخور.

٥:٤:٣: الخصائص الانحدارية: يتضح من المقطع الطولي لمنطقة الدراسة وكما مبين في الشكل (١) وجود انحدار تدريجي من شمال منطقة الدراسة إلى جنوبها، إن عدم وجود انحدارات شديدة يعد عامل مساعد في زيادة المياه المترشحة إلى أعماق التربة والصخور نتيجة بطئ جريان المياه وبذلك يزداد التحلل الكارستي.

٣:٥: التربة:- علاقة التربة تتحدد بسرعة التحلل الكارستي من خلال محتوياتها ومكوناتها من المعادن القابلة للتحلل والذوبان ،وتتنوع التربة في منطقة الدراسة التي يمكن إجمالها بما يأتي:-

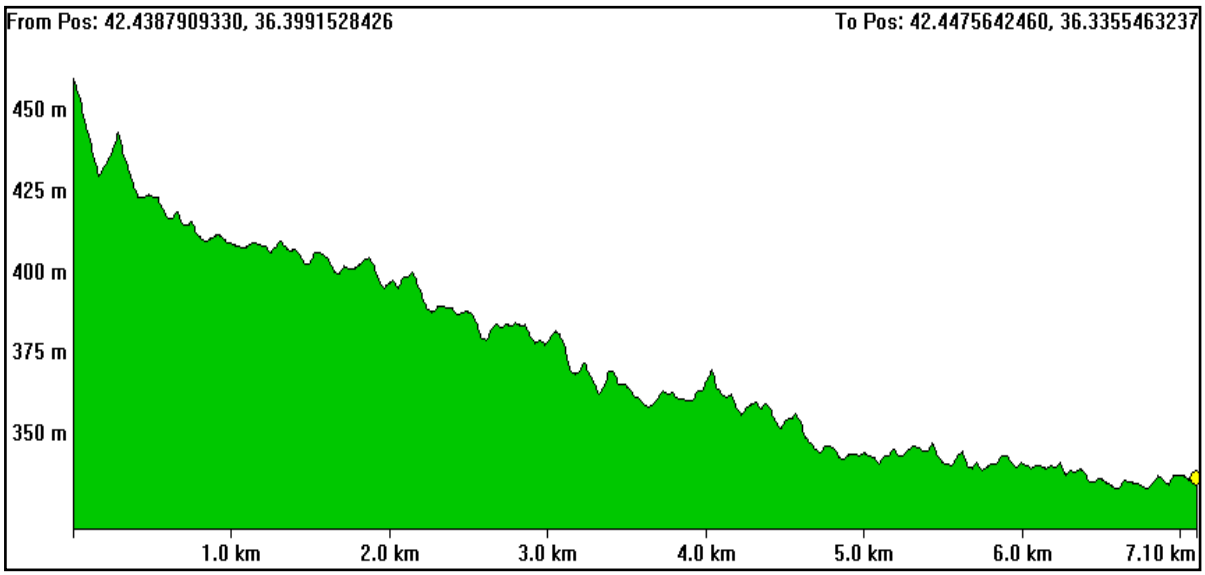
١:٥:٣: ترب الليثوصول مع الحجر الرملي والجبسي:- تسود في أطراف مدينة تلعفر القريبة من الطيات الشمالية والشرقية ،وهي ترب حديثة التكوين وتتكون من فتاتات الحجر الكلسي والجبسي،ولذا فهي تزيد من التحلل الكارستي لقابليتها على التحلل والذوبان.

٢:٥:٣: الترب البنية :تتكون من الطين الرملي والغريني والأطيان الحمراء مع الكلس وهي ذات مسامية ونفاذية جيدة تساهم في تغلغل المياه إلى الصخور التي تقع أسفلها .[٨]

٣:٥:٣: الترب الجبسية:- الترب الجبسية التي تغطي اغلب أجزاء منطقة الدراسة لها قابلية عالية للتحلل الكارستي ،ويصل المحتوى الجبسي في هذا النوع من الترب إلى (٣٤%)،وتسهم في تشكيل التكهفات وانتشار ظاهرة أنابيب التربة (Piping Soil) وانعكاس ذلك على ظهور المشكلات والمخاطر التي تهدد المنشات الهندسية من تخسفات وهبوط المنشات وانهياراتها .

لذا يجب اخذ الإجراءات اللازمة عند البدء بأعمال بناء وتشيد المنشات الهندسية لارتفاع نسب المعادن الموجودة في الترب وخاصة الجبسية ، فقد نصت المواصفات القياسية العراقية للطرق والجسور أن لا تزيد نسبة الجبس في الترب التي تقام عليها المنشات عن ١٠% .[٩]

الشكل (١) المقطع الطولي لمنطقة الدراسة.



المصدر/ نموذج الارتفاع الرقمي (Landsat) بدقة (٣٠) متر

٦:٣: العامل البشري :- يكمن تأثير هذا العامل في التحلل الكارستي من خلال بعض الممارسات الخاطئة ونقص الخدمات كانعدام المجاري الاصطناعية مما يؤدي إلى صرف المياه طبيعيا عن طريق الوديان والجداول الطبيعية الأخرى ،وهذا بدوره يؤدي إلى تماس اكبر للمياه مع الصخور القابلة للتحلل ويزيد من سرعته.كما إن عدم إتباع المواصفات القياسية المتعلقة بالمنشات الهندسية ابتداء من التسوية الترابية وإزالة الطبقات الرخوة وانعدام الفحوصات المختبرية لمواد التربة وصخور الأساسات ،فضلا عن عدم صلاحية المواد المستخدمة في الركام السطحي وتحت السطحي كلها أسباب تؤدي إلى زيادة التحلل وظهور مشكلات في المنشات والحيلولة دون تقليل سرعة التحلل الكارستي وتجاوز آثاره السلبية.

٤ . قياس سرعة التحلل الكارستي

يعد التحلل الكارستي نتاج تفاعل بين الأغلفة الغازية والصخرية والمائية والحيوية، فالغلاف الغازي يساهم بالأمطار التي تحمل معها الأوكسجين وثاني اوكسيد الكاربون بشكل مذاب لتكوين حامض الكاربونيك الفعال في إذابة الصخور الكلسية وتحللها، فضلا عن احتواء الأمطار على اوكسيد الكبريت الناتج من احتراق الكبريت

ويذوب ذلك الاوكسيد مكونا حامض الكبريتيك ذات التأثير الشديد في إذابة الصخور الكاربوناتية، وعليه كلما زادت كمية الأمطار زادت سرعة التحلل الكارستي.

يعتمد دور الغلاف الصخري في التحلل بطبيعة الصخور التي تستجيب لعملية التجوية الكيميائية ، وتأتي في مقدمتها الصخور الجبسية والكلسية التي تشكل نسبة عالية من صخور منطقة الدراسة التي لها قابلية عالية للذوبان والتحلل فضلا عن الخصائص المسامية الثانوية المتمثلة بالشقوق والفواصل التي تقوم بدور القنوات في نقل المياه إلى داخل الصخور وبوتيرة أسرع من عملية الترشيح ،وكلما كانت نقاوة الصخور مرتفعة زادت سرعة التحلل الكارستي وكلما زادت الشوائب غير القابلة للذوبان والتحلل انخفضت سرعة التحلل ، وكذلك العلاقة تكون طردية مع مساحة الصخور المعرضة للتماس مع المياه.

يعد الغلاف المائي ضروريا ولا يمكن الاستغناء عنه سواء بشكل غير مباشر عن طريق الدورة المائية أو بشكل مباشر من خلال التفاعلات الكيميائية بين المياه والمعادن المكونة للصخور وبالتالي تحللها ، ولا يقتصر دور المياه على كميتها فحسب وإنما يتعدى ذلك إلى سرعتها فتزداد سرعة التحلل المائي بزيادة سرعة التيار المائي وخاصة في الصخور الجبسية.[١٠]

أما الغلاف الحيوي فيشارك في التحلل الكارستي من خلال التفاعلات البكتيرية في التربة التي تزيد من الأحماض العضوية وثاني اوكسيد الكبريت الناتجة من تفسخ جذور وأوراق النباتات وتحلل أشلاء الحيوانات، وعند تفاعل هذه المواد مع الماء تزيد من حامضيته وترفع من قدرته على إذابة المكونات المعدنية للصخور.

تم الاعتماد في هذه الدراسة على معادلة كوربل (Corbel) لحساب سرعة التحلل الكارستي وذلك لدقتها وسهولة تطبيقها وإمكانية الحصول على المتغيرات المستخدمة في المعادلة، ولكون مياه عين صوباشي هي المياه السطحية الدائمية الوحيدة في المنطقة فقد تم الاعتماد على نتائج التحليل الهيدروكيميائي لمياهه في احتساب التحلل الكارستي، تم اخذ عينات من العين وتحليلها لأربع مرات حسب فصول السنة كما مبين في الجدول (٢) .

وتم حساب سرعة التحلل الكارستي حسب الصيغة الرياضية الآتية[١١]:

$$V= 4ET/100$$

V: سرعة التحلل الكارستي ملم/١٠٠٠ سنة

E: معدل التساقط السنوي الصافي بالديسمتر.(مجموع التساقط لكل شهر – مجموع التبخر لنفس الشهر)

T: المتوسط السنوي للمحتوى الكاربوناتي ملغم/لتر(بدلالة ايونات الكالسيوم والمغنيسيوم) .

بلغ معدل سرعة التحلل الكارستي للعينات الاربع (١٧.٤ ملم/ ١٠٠٠ سنة) للصخور الكلسية التي تفسر نشوء المظاهر الكارستية في المنطقة في عصر المناخ المطير وليس نتاج مناخ العصر الحالي ،ولا تشكل هذه القيمة خطورة تذكر للمنشات، إلا إن المخاطر تكمن في سرعة التحلل الكارستي في الصخور الجبسية التي متوسط تحللها تعادل (٩٥٠) مرة عن تحلل الصخور الكلسية، ووفقا لذلك فان سرعة التحلل الكارستي في الصخور الجبسية هي:

١٧.٤× ٩٥٠=١٦٥٣٠ملم/ ١٠٠٠ سنة = ١٦.٥ملم/سنة

تعد هذه القيمة مرتفعة جدا وتشكل خطورة بالغة على المنشات الهندسية والبنى التحتية لما لها من اثر سلبي في نشوء وتشكيل التكهفات تحت السطحية وتآكل الأساسات وهبوطها والتقليل من كفاءتها وانهيار المنشات الهندسية كنتيجة نهائية لتلك المخاطر ، خاصة إذا ما أدركنا إن نسبة الصخور الجبسية والترب الجبسية تنكشف على مساحة واسعة من منطقة الدراسة.

٥. مخاطر التحلل الكارستي على المنشات الهندسية

تتعرض الكثير من المنشات الهندسية والبنى التحتية إلى مشاكل ومخاطر جمة نتيجة سرعة التحلل الكارستي في مدينة تلعفر، ومعظم هذه المشاكل والمخاطر ناجمة عن عوامل طبيعية مناخية وجيولوجية وعوامل بشرية تتمثل في عدم إجراء الفحوصات المتعلقة بمواضع الأساسات ضمن الطبقات الصخرية والترب، وكذلك عدم اعتماد المواصفات القياسية الهندسية الخاصة بالركام السطحي وتحت السطحي للطرق والجسور والمنشات الهندسية الأخرى.

الجدول (٢) الخصائص الهيدروكيميائية لعين صوباشي ملغم /لتر، ومعدلات سرعة التحلل الكارستي/ملم

الرقم	تاريخ العينة	Cl	SO_4	K	Na	Mg	Ca	TDS	معدل التحلل الكارستي
١	٢ كانون الثاني	٤٣	١٨٦٠	٢	٤٦	٦٨	٦١٤	٢٦٦٨	٦٦.٨
٢	٢ نيسان	٤٥	١٨٧٤	٢	٤٧	٦٣	٦٠٥	٢٦٥٩	٢.٦
٣	٢ تموز	٤١	١٨٥٥	٢	٤٥	٥٩	٦٠٠	٢٦٧٧	٠.٢٦
٤	٢ تشرين الاول	٤١	١٨٥٠	٣	٤٣	٥١	٥٨٧	٢٦٨١	٠.٢٠
	المعدل								١٧.٤

المصدر/ تم التحليل من قبل الباحث في مختبر كلية الزراعة جامعة الموصل سنة ٢٠١٣

تتنوع المشاكل والمخاطر التي تتعرض لها المنشات من تشققات الأبنية والأساسات إلى التخسفات في الطرق وصولا إلى انهيارات في المنشات ومنها الجسور التي تسببها ظاهرة الهبوط المتباين ،إذ تهبط المنشات المختلفة نتيجة لوزنها المسلط على الأساسات هبوطا متباينا نتيجة التحلل الكارستي التفاضلي على طول الفواصل والشقوق وأسطح التطبق ويكون الثقل الواقع بين منطقة اتصال التربة بالصخور الأساسية شاذا جدا مما يؤدي إلى فقدان الاتزان.[١٢]كما تعد ظاهرة أنابيب الترب في الترب الجبسية سببا مباشرا في مشاكل المنشات المختلفة كتخسفات الطرق وانهيار المباني نتيجة الفجوات التي تتسع يوما بعد آخر لازدياد سرعة التحلل الكارستي خاصة أثناء تساقط الأمطار. تم بحث ثلاث نماذج من المنشات التي تضررت بدرجة اكبر من غيرها في المدينة وهي كالآتي:

١- الجسور :- نتيجة اختراق مجموعة من الوديان للمدينة التي قطعت أوصالها تم إنشاء العديد من الجسور التي تربط أجزاء المدينة ، ومن أهم جسور المدينة جسر حسنكوي الذي يعد

حيويا ويربط بين شطري المدينة الغربي والشرقي وبين أحياء ذات كثافة سكانية عالية ومقام على وادي حسنكوي الذي يصل عمقه إلى ١٥ متر ، وقد انهار هذا الجسر وكما يتضح من الصورة (١) سنة ٢٠١٣ مما أدى إلى انقطاع الاتصال بين شطري المدينة وإيجاد تحويلات بديلة تبعد عدة كيلومترات.

الصورة (١) جسر حسنكوي المنهار

المصدر/ عدسة الباحث ٢٠١٣/٤/٣

يعود أسباب الانهيار إلى وضع أساسات الجسر على الصخور والترب الجبسية التي وصلت سرعة تحللها٥.١٦ملم/سنة وحدوث الذوبان التفاضلي بسبب وجود الشوائب ضمن الصخور المتحللة وحدوث الهبوط المتباين،كما إن تصريف مياه الأمطار الشتوية والربيعية التي تزداد سرعة جريانها بزيادة التصريف وما يتبع ذلك من زيادة مساحة الصخور المعرضة للتماس مع المياه وزيادة التفاعلات الكيميائية ومن ثم زيادة سرعة التحلل الكارستي، ومن العوامل الأخرى التي تسرع وتيرة التحلل الكارستي صرف مياه المجاري للعديد من الأحياء السكنية إلى وادي حسنكوي مما يوفر عنصر الماء الفعال مع درجات الحرارة المرتفعة التي تصل بالصخور الجبسية إلى ذروة التحلل صيفا .

لذا فقد تضافرت العوامل التي ساهمت في انهيار الجسر وفي مقدمتها العوامل الجيولوجية والمناخية فضلا عن العامل البشري المتمثل بعدم إنشاء مجاري اصطناعية واستمرار صرف مياه المجاري طبيعيا عن طريق الوادي وانعدام الفحص المختبري لأساسات الجسر وعدم إجراء صيانة لها من خلال تحشية أساسات الجسر بالاسمنت .

٢- مشروع ملعب كرة القدم:- وقع اختيار موقع هذا المشروع في أقصى شمال منطقة الدراسة ضمن أطراف طية سعسان التي تتكشف فيها تكوين الفتحة دون اخذ العامل الجيولوجي بنظر الاعتبار،وكان مخطط المشروع عبارة عن ملعب لكرة القدم يتسع ل(٥٠٠٠) متفرج ،تم البدء بتنفيذ المرحلة الأولى من المشروع عام٢٠١٣ وهي مرحلة التسوية الترابية لإزالة الطبقة السطحية من التربة وأثناء ذلك حدثت تخسفات بأعماق وصلت إلى أكثر من (٣) أمتار وبقطر (٨) أمتار واكتشاف تكهفات تحت سطحية كما يتضح من الصورة(٢) ناتجة عن سرعة التحلل الكارستي في الصخور الكلسية والجبسية ، بالرغم من عدم وجود مجاري مائية ضمن المساحة المخصصة للمشروع إلا إن طبيعة الصخور الغنية بالفواصل والشقوق التي اتسعت بمرور الزمن نتيجة الأمطار الهاطلة وأدت إلى تغلغل المياه إلى أعماق الصخور وتحللها وتشكيل تلك التكهفات التي لم تتحمل أوزان الآلات والمعدات التي كانت تعمل في المشروع وقدرت الخسائر المادية ب(٢٠٠) مليون دينار، ونتيجة لهذه التخسفات تم إلغاء المشروع وحرمان المدينة وشبابها من مشروع حيوي.

الصورة (٢) تخسفات في مشروع ملعب كرة القدم

المصدر/ عدسة الباحث ٢٠١٣/٦/٥

٣- تخسفات الطرق:- تحدث التخسفات في الكثير من طرق المدينة المبلطة كما تتضح في الصورة (٣) نتيجة سرعة التحلل الكارستي في الطبقات تحت السطحية ، وتتفاقم مشكلة التخسفات وتتوسع لعدم اتخاذ الإجراءات اللازمة للحد من تأثير التحلل الكارستي ومنها عدم الفحص المختبري للتربة التي تشييد عليها الطرق ،فضلا عن طبيعة الركام السطحي وتحت السطحي التي ترص بها الطرق وعدم مطابقتها للمواصفات القياسية التي تنص على الصورة (٣) تخسفات الطرق المبلطة أن لا تزيد نسبة الكبريتات الكلية المتمثلة ب(SO_4) عن ٠.٢% ولا تزيد نسبة الكلوريدات عن ٠.٥غم/لتر،والمحتوى الجبسي عن١٠% ويعد الركام غير صالح إذا احتوى ١٢% من المواد العضوية.[١٣]

كما إن انعدام المجاري في المدينة تؤدي في بعض المناطق إلى تجمع المياه حول الطرق ولارتفاع المحتوى الجبسي في التربة تنشا قنوات الإذابة والتحلل وتسلك المياه طريقها أسفل الطرق مشكلة الفجوات والتكهفات التي تسرع من التخسفات.

الصورة (٣) تخسفات الطرق المبلطة

المصدر/ عدسة الباحث ٩/٧ /٢٠١٣

٦. النتائج والتوصيات:

١:٦:النتائج:-

١- بينت الدراسة تحكم العامل الجيولوجي والعامل المناخي في سرعة التحلل الكارستي، فضلا عن تأثير عوامل ثانوية أخرى منها الجيومورفولوجيا والتربة والنبات الطبيعي والعامل البشري.

٢- أظهرت نتائج سرعة التحلل الكارستي ارتفاع قيمتها في الصخور الجبسية التي بلغت (١٦.٥ ملم/سنة)، في حين بلغت في الصخور الكلسية (١٧.٤ ملم/١٠٠٠سنة) .

٣- تسبب سرعة التحلل الكارستي في منطقة الدراسة إلى مشاكل ومخاطر في المنشات الهندسية المختلفة وتظهر جليا في البنى التحتية من الطرق والجسور فضلا عن المباني العامة والخاصة .

٤- مما يؤكد نتائج الدراسة ان هناك تباين في شدة المشاكل والمخاطر التي تسببها التحلل الكارستي التفاضلي والتي تؤدي إلى الهبوط المتباين للأساسات بين التشققات والتخسفات وانهيارات المنشات .

٥- توصلت الدراسة إلى إن المظاهر الكارستية الحالية في الصخور الكلسية بشكل خاص تعود إلى العصور المناخية المطيرة لانخفاض قيمة التحلل الكارستي حاليا .

٦- عدم التقيد بالمواصفات القياسية العراقية بالمنشات الهندسية تزيد من سرعة التحلل وتفاقم من المشاكل والمخاطر لتلك المنشات.

٢:٦: التوصيات:

١- إعداد تقرير أولي قبل البدء بالبناء والتشييد يتضمن إعطاء البيانات الدقيقة والتوصيات اللازمة للتصميم الهندسي لضمان السلوك الآمن للمنشات عن طريق تحقيق اتزان واستقرار أساساتها في الأعماق الضحلة أو العميقة ،ويعتمد ذلك على المعلومات السابقة عن المنطقة من حيث جيولوجيتها وصخريتها وظروفها المناخية وهيدرولوجيتها ومستوى المياه الجوفية.

٢- الفحص المختبري الهيدروكيميائي الدوري لمياه العيون والينابيع والمياه الجارية في الوديان للوقوف على المحتوى الكاربوناتي فيها ولمعرفة سرعة التحلل الكارستي لتلافي مخاطرها والحد من تأثيراتها .

فضلا عن إجراء فحوصات التربة والصخور أثناء مراحل العمل المختلفة لتحديد محتواها الجبسي والكلسي وقابلية تحملها للمنشات المقامة عليها .

٣- عدم إقامة المنشات على الترب والصخور الجبسية قدر الإمكان في حال توفر البدائل،والالتزام بالمواصفات القياسية العراقية للطرق والجسور والبناء التي تحدد مواصفات ترب وصخور أساسات المنشات والتقيد بنسب الأملاح المسموح بها في الترب.

٤- إعطاء موضوع التكهفات تحت السطحية أهمية بالغة لخطورتها على المنشات الهندسية ومحاولة الكشف عنها بجميع الوسائل، ولا سيما الوسائل الجيوفيزيائية والاستشعار عن بعد والصور بالأشعة تحت الحمراء

لتحديد اتجاهات الفواصل والشقوق التي تعد الأساس في نشوء التكهفات.

٥- طبقات الأساس من الركام يجب أن تكون سليما وصلدا غير قابل للتحلل وذا ديمومة عالية وخاليا من الأملاح في الحصى المكسر ولا تتأثر بعمليات الأنجماد أو التشبع بالماء والجفاف.

٦-إجراء الفحص الدوري لنسبة التآكل لمعرفة مدى تأثر سطح ركام معين بالاندثار الخاص لفحص خرسانة الطرق والجسور بواسطة الجهاز المخصص لهذا الغرض والذي يعرف بجهاز لوس انجلس.

٧- إنشاء أنظمة المجاري الاصطناعية للأحياء السكنية لتصريف مياهها وعدم الاعتماد على المجاري والجداول الطبيعية المتمثلة في الوديان وذلك للتقليل من التحليل الكارستي.

٨-إجراء صيانة دورية للمنشات والبنى التحتية وخاصة الطرق والجسور لتحشية الفجوات التي تنشا بالاسمنت وعدم السماح بتوسع تلك الفجوات والتكهفات التي تعد السبب الرئيس في انهيار الجسور وتخسفات الطرق.

المصادر والهوامش:-

1- Mustafa A.M, (1980), Sedim entological Studies of Lower Fars formation in Sinjar basine, Iraq. Unpub. M.S.C. Dissertation, College of Science, univ. of Mosul.p.25

2- Erich. S, (2002), Physical geol og- y , Earlham College,p.1 http://www.dep.state.fl.us/geology/geologictopics/sinkhole.htm.

3- Waltham A.C & Fookes P.G, (2003), Engineering Classification of Karst ground Conditions, Quarterly Journal of Engineering Geology and hydrology, Vol.36, pp. 101-188 . www.speleogenesis.info

٤- وزارة النقل ، الهيأة العامة للأنواء الجوية ، قسم المناخ ، سجلات غير منشورة .

٥- عبد السلام محمد المايل ، جيومورفولوجية المظاهر الكارستية في منطقة حديثة في الهضبة الغربية ، رسالة ماجستير (غير منشورة) ، كلية الاداب ، جامعة بغداد ، ١٩٩٦ ، ص١٣ .

6- Richard J.H , (2003) , Fundame- ntals of Geomorphology , First ed , Routledge , London , p.134 .

٧- سحر نافع شاكر ، جيمورفولوجية العراق في العصر الرباعي ، مجلة الجمعية الجغرافية العراقية ، العدد ٣، ١٩٨٩،ص٢٢٨ .

٨- خالد فالح ، دراسة معادن وبعض صفات ترب منطقة الجزيرة ، تلعفر ، سنجار ، البعاج ، رسالة ماجستير (غير منشورة) ، كلية الزراعة ، جامعة الموصل ، ١٩٨٢ ، ص١٠ .

٩-الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية،المواصفات العامة للطرق والجسور،بغداد،٢٠١٤،ص٣٦

10-James, A. N. and Lupoton, A.R. (1978). Gypsum and Anhydrite in foundation Hydraulic stractures, Geotechniqe, Vol.28, No.3.

11-Corbel.J.,(1956), New method for the study of Limestone Regions ,Review Canadian of geography,10, p.240

12- James p. Reger , (2005) , Foundation Engineering Problem and Hazard in Karst Terranse , Mary Land Geological Survey , Baltimor . p.1

www.mgs.md.gov./esic/fs/fs//.htm

١٣ – المركز الوطني للمختبرات والبحوث الانشائية ،قسم البحوث، مواصفات المواد والاعمال الانشائية ، العراق، بغداد ،٢٠٠٩، ص١٢٦