جيومورفولوجية بعض الحفر الكارستية في المنطقة الممتدة بين قريتي رأس الهلال و بطة بالجبل الأخضر شمال شرق الجماهيرية الليبية

إعـــــداد

الدكتور/ محمد فؤاد عبد العزيز سليمان

مدرس الجغرافية الطبيعية- كلية التربية

العريش - جامعة قناة السويس

مقـــدمـة :

تعتبر الحفر الكارستية من أكثر ظاهرات الكارست انتشـــارا فـــي منطقة الجبل الأخضر بصفة عامة وفى منطقة الدراسة بصفة خاصة ، حيث توجد أعداد كبيرة من هذه الحفر فـــي اللانـــد ســـكيب الطبيعـــي وتتفاوت هذه الحفر في عمقها ومسحاتها ، وتعددت تعريفـــات الحفـــر الكارستية ومنها كما ذكر (Fink , 1973 , p87) بأنها عبارة عـــن حفر غير عميقة متصلة بنظام تصريف جوفي وهى ذات مسقط اهليجى أو دائري مغلق قمعي أو حوضي الشكل بحيث يكون قطرها اكبر مـــن عمقها ، وعرفها (Sweeting, 1972, p55) بأنها عبـــارة عـــن انخفاضات مغلقة ذات أبعاد صغيرة إلى متوسطة الحجم تأخذ مقاطعهـــا الجانبية شكل القمع أو الحوض ، أما مســـقط فتحاتهـــا فتأخـــذ الشـــكل الدائري أو الاهليجى حيث يتراوح متوسط عمقها بين متـــريين و ١٠٠ متر وأبعادها بين ١٠ و ١٠٠ متر وفى الأغلب يكون قطرها اكبر من عمقها . وقد تعددت أنواع الحفر الكارستية باختلاف المـــؤلفين كمـــا يتضح من جدول (١)

وقد تم رصد اثنى عشرة حفرة كارستية في مناطق متفرقـــة فـــي منطقة الدراسة ، وذلك خلال الدراسة الميدانية خـــلال عـــامي ٢٠٠٥ و٢٠٠٦ ، حيث أجريت القياسات المورفومترية لهذه الحفر فضلا عن تحديد مواقعها باستخدام جهاز GPS نـــوع GARMEN والـــذي يصل دقته إلى ٥ أمتار ، وكذلك تم اخذ الصور الفوتوغرافية وســـوف تتم دراسة هذه الحفر على النحو التالي :

أولا - العوامل الطبيعية المؤثرة على الحفر الكارستية

ثانيا - الخصائص المورفومترية لمجموعة من هذه الحفر الكارستية .

ثالثا -العمليات الجيومورفولوجية التي تحدث داخل الحفر الكارستية .

رابعا - نشأة هذه الحفر الكارستية وتصنيفها .

جدول (١) اختلاف مسميات وتكوين الحفر الكارستية تبعا للمؤلفين

النوع	Ford & Williams (1989)	White (1988)	Jennings (1985)	Bögli (1980)	Sweeting (1972)	Culshaw &Waltham (1987)	Beck & Sinclair (1986)
انهيارية	(انهيارية)	(انهيارية)	(انهيارية)	(انهارية سريعة أو إزاحة بطيئة)	(انهيارية)	(انهيارية)	انهيارية
إذابة	(إذابة)	(إذابة)	(إذابة)	(إذابة)	(إذابة)	(إذابة)	إذابة
مركبة	-	-	مركبة	-	مركبة	-	-
هبوط	(إزاحة)	(انهارية مغطاة)	(إزاحة)	alluvial	alluvial	(إزاحة)	انهارية مغطاة
إزاحة	(إزاحة)	(إزاحة مغطاة)	-	-	-	-	إزاحة مغطاة
مدفونة	-	-	-	-	-	-	-

After : Waltham & Fookes, 2002 p.304 .

مراحل الدراسة:

١- إدخال البيانات :

تم إدخال البيانات إلي الحاسب الآلي بعدة طرق حيث استخدم الماسح الضوئي (Scanner A4) في إدخال الخرائط الورقة ، كما تم إدخال بيانات الموقع الفلكي لهذه الحفر المدروسة باستخدام جهاز GPS بطريقة مباشرة إلى الخرائط الرقمية على برنامج Map Info.

٢- الدراسة الميدانية :

تم التحضير للدراسة الميدانية بتحضير الخرائط الجيولوجية مقياس ١ :١٠٠٠٠٠ ، والخرائط الطبوغرافية متعددة المقاييس (١ :٥٠٠٠٠ ،١ :١٠٠٠٠٠) والصور الجوية مقياس ١:٤٠٠٠٠ ، واستخدام GPS نوع GARMEN ذو الدقة ٥ متر. حيث تم إجراء القياسات الميدانية الخاصة بالقياسات المورفومترية وأجريت الدراسة الميدانية على عدة مراحل خلال عامي ٢٠٠٥و٢٠٠٦ .

٣- تحليل البيانات :

تم التعامل مع البيانات في الحاسب الآلي باستخدام برنامج MapInfo 7.5، وبرنامج server ، حيث تم رسم مجسم للحفر للمنطقة ، وكذلك عمل مجسمات لهذه الحفر وانحدارات جوانبها. واستخدمت الخريطة الكنتورية في الرسم ، كما تم عمل الخرائط الرقمية بواسطة عمل Digtizing للخرائط التي بصيغة image ، وكذلك عمل مجموعة من الطبقات تشمل (التكوينات الجيولوجية السطحية ، البنية الجيولوجية ، والخريطة الكنتورية ، الخريطة

الجيومورفولوجية) و تم عمل قاعدة بيانات لهـذه الطبقـات وأجـراء التحليلات لها وعمل علاقات الارتباط بين هذه الطبقات

٤ - **إخراج البيانات** :

تم إخراج البيانات في عدة صور وهى الخرائط الرقمية ، الأشكال ثلاثية الأبعاد ، القوائم والجداول ، الرسومات الكارتوجرافية المتعـددة الملخصات والتقارير) بواسطة طابعات ليزر وطابعات ألوان .

أولا: الضوابط الطبيعية المؤثرة على الحفر الكارستية :

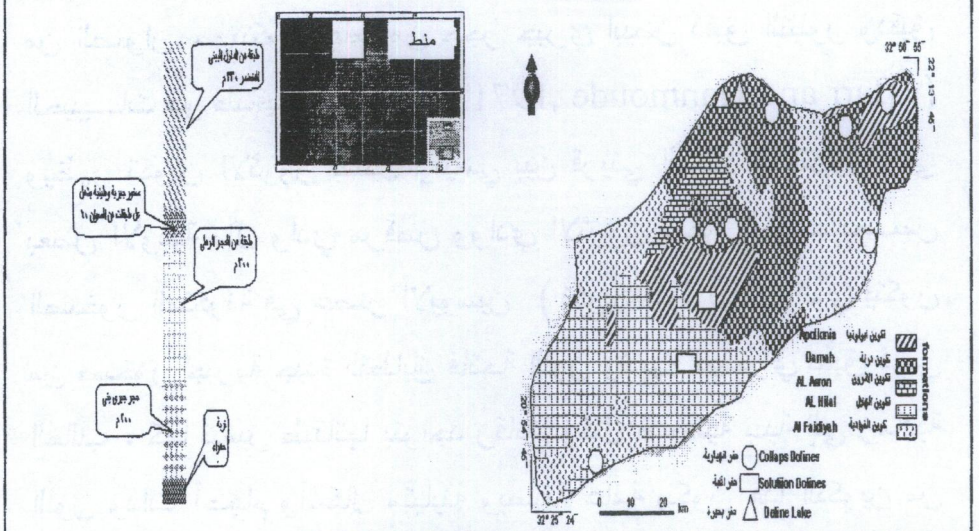
وتشمل جيولوجية المنطقة والخصائص المناخية لها فضلا عن دراسـة الخريطة الكنتورية للمنطقة .

١- **جيولوجية المنطقة** :

وسوف يتم بإيجاز دراسة التكوينات السطحية والبنية الجيولوجيـة والتتابع الطباقى **كما يلي** :

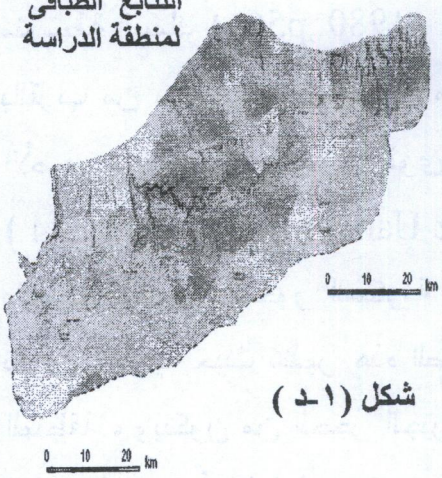
أ- **التكوينات السطحية** :

تتميز منطقة الدراسة بانتشار صخور الحجـر الجيـري المتعـددة التكوينات تبعا للعصور المتكونة خلالها كما يتضح من شكل (١-أ) ، ومنها ما تكون في الكريتاسى الأعلى (تكوين الهلال) والذي يتكـون من طبقات رقيقة من الأحجار الطينية التي تتميز بنسيج صخري دقيـق ويتراوح لون هذه الأحجار بين الضارب للخضرة والرمادي وينتشر هذا التكوين في المناطق الساحلية للمنطقة وصخور هذا التكوين هشه ضعيفة التماسك وتحتوى في جزئها العلوي على طبقات رقيقة مـن الصـخور الجيرية البيضاء (Rohilch , 1974 , 125) ، كما ينتشـر تكـوين الاثرون حيث يتكون من طبقات من صخور جيرية بيضاء لها نسـيج

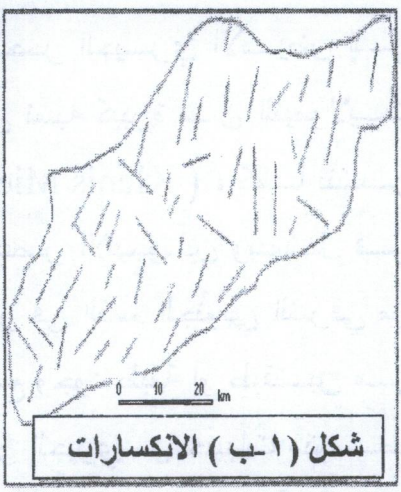


شكل (١-أ) التكوينات الجيولوجية السطحية وتوزيع وأنواع الحفر الكارستية و في منطقة الدراسة

شكل(١- ج)
التتابع الطباقى
لمنطقة الدراسة



شكل (١-د)



شكل (١-ب) الانكسارات

دقيق تنحلها في بعض الأحيان رقائق وعدسات رمادية إلى بنية اللـــون من الصوان ، ويتكون عاما من حجر جيري ابيض دقيق التبلور ودقيق الحبيبـــات ذو طباقيـــة (Barr and Hanmoude ,1971 ,p214) ويظهر تكوين الاثرون بشكل رئيسي بين قريتي الهلال والاثرون وفى بعض الأودية مثل وادي مرقص ووادي الاثرون ، كما توجـــد بعـــض الصخور المتكونة في عصر الايوسين (تكوين أبولونيا) والذي يتكون من صخور جيرية جيدة التطابق فاتحة اللون ونسيج صخري دقيق فـــي الغالب ، كما تتميز طبقاتها بتواجد رقائق وكتل صوانية بنية إلى رمادية اللون وذات أحجام وأشكال متباينة وبصفة عامة يتكون هذا التكوين من حجر جيري ابيض دقيق الحبيبات و دقيق التبلور طباشـــيري طبقاتـــه متوسطة السمك (Rohlich , 1980 ,p56) كما ينتشر تكوين درنـــة بالقرب من مدينة البيضا ويتكون من الحجر الجيـــري الأبـــيض إلـــى الأصفر ذو حبيبات دقيقة ويحتوى على نسبة كبيرة مـــن النيمولايـــت (Klenis Mied & Uander Berg , 1911,p44) ، كمـــا تنتشـــر بالمنطقة بعض الصخور المتكونة في عصر الاليجوسين ويتمثـــل فـــي تكوين الفائدية حيث تظهر هذه الصخور في القسم الجنوبي الشرقي من المنطقة ، ويتكون من الحجر الجيري مع وجود طبقة أو طبقتـــين مـــن الطين الجيري أو المارل ويتكون الحجر الجيري من حبيبات متوســـطة الحجم ذات لون يتراوح بين الأبيض والأصفر إضافة إلى احتوائة على طبقات تنتشر بها الطحالب والدولوميت ويتكون جزء السفلى من حجـــر جيري عضوي يبلغ سمكة ١٣٠.

كما تنتشر بعض ارسابات عصري البليستوسين والهولوسين والتي يتكون معظمها من الرمال والحصى ورواسب الأودية حيث تنتشر هذه الرواسب على طول الساحل وفى بطون الأودية.

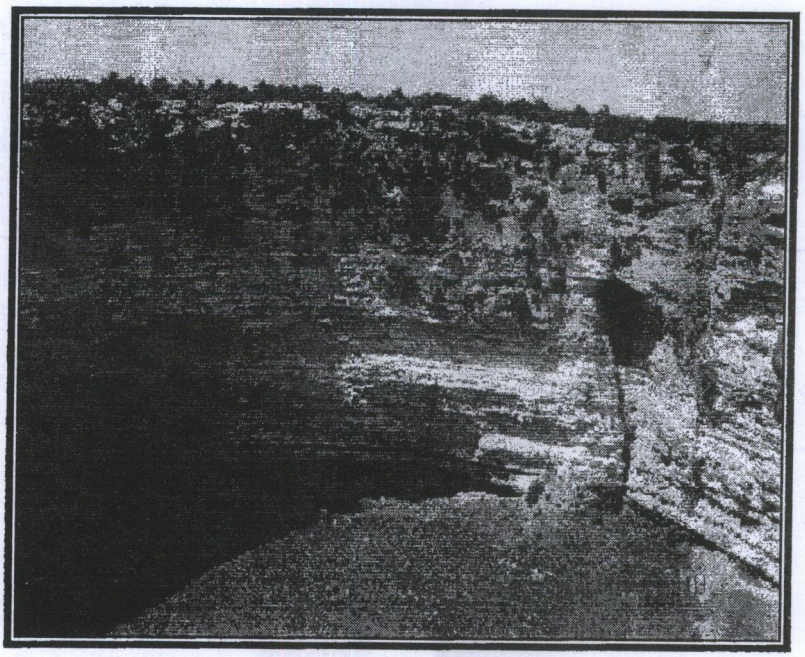
- من العرض السابق للتكوينات الجيولوجية السطحية في منطقة الدارسة يتضح أن الصخور السائدة هي الحجر الجيري الضعيف أمام عمليات التجوية بصفة عامة والتي تكثر به النفاذية العالية التي تصل إلى ٢٤,٥ مليداس (El Hawat ,1993 , P 27) ، مما يعنى سهولة تسرب المياه إلى الأعماق وتكون الحفر الكارستية الانهيارية، كما أن المادة اللاحمة تعد من عوامل ضعف الحجر الجيري وهى الكلس والمركبات الحديدية التي زادت من ضعف الحجر الجيري .

أ- البنية الجيولوجية:

الجبل الأخضر بصفة عامة له وضع جيولوجي خاص يتميز عن جيولوجية ليبيا بصفة عامة ، حيث يعد الجبل الأخضر جزء مرتبط بحوض البحر المتوسط حيث يشكل جزءً جنوبيا منفصل عن النظام الجبلي التكتونى الاوربى والشمال افريقى

(توني ، الجزائر ، المغرب) والمعروف بنظام الألب التكتونى ، حيث تم رفع الجبل الأخضر عند الحافة الجنوبية لحوض البحر المتوسط.

ونتيجة لحدوث الكثير من الحركات التكتونية المختلفة للجبل الأخضر والتي كانت مصحوبة بالكثير من الانكسارات ، و يوضح الشكل (١- ب) امتداد شبكة كثيفة من الانكسارات والشقوق التي تساعد بصورة كبيرة في تسرب مياه الأمطار إلى باطن الأرض مما يساعد بصورة كبيرة على زيادة عمليات الإذابة كما يتضح من صورة (١) فضلا عن اثر الانكسارات على محاور بعض الحفر الكارستية كما سوف يتضح فيما بعد ، حيث يلاحظ زيادة الشقوق بالقرب من الانكسارات مما يشير إلى أنها متزامنة مع الانكسارات في التكوين ، والاتجاه العام للانكسارات في المنطقة الشمال الشرقي / الجنوب الغربي.



صورة (١)

الشقوق المنتشرة على جوانب حفرة رقم (٤)

وقد أمكن تحديد ثلاثة أنواع مختلفة من الشقوق في منطقة الدراسة وهى :

أنواع الفواصل:

يمكن تصنيف الفواصل من حيث المنشأ إلى نوعين هما فواصل أولية وهى الفواصل التي تكونت أثناء تكون الصخر، وفواصل ثانوية وهى الفواصل التي تكونت في مرحلة لاحقه التكون الصخر وقد تكون الأولية والثانية في منطقة واحدة ، ويمكن أن تصنيف الفواصل من حيث اتساع مقدار الفاصل وهو ما يعنينا :

فواصل مفتوحة: وهى عبارة عن شقوق يزداد اتساعها على ا سم عند السطح مع اتجاهها وتضيق بالاتجاه نحو العمق ، وتتابين أطوالها ما بين ٢٥ سم و٥ سم ويأخذ معظمها اتجاه شمال شرقي/جنوب غربي وعادة ما تكون هذه الفواصل مستقيمة .وتؤثر هذه الشقوق بصورة كبيرة في تسرذب مياه الأمطار إلى باطن الصخر مما يسمح بحدوث عملية الإذابة .

فواصل مغلقة: وهى عبارة عن شقوق يقل اتساعها عن ا سم عند السطح وتشكل هذه الفواصل ، وعادة ما تكون هذه الفواصل غير مستقيمة .

فواصل مملوءة: وهى عبارة عن شقوق من النوع المفتوح االتي تتجمع به كميات من رواسب من الرمال والحجارة ، وتأثير هذه الشقوق في تسرب الماء قليل نسبيا نظرا لامتلاء هذه الشقوق بالرواسب التي تعوق تسرب الماء.

ج - التتابع الطباقي :

مما لا شك فيه أن تتابع الطبقات يؤثر بصورة كبيرة على عمليات الإذابة وخاصة المتعمقة منها ومن ثم سوف يتم دراسة هذا التتابع كما يتضح في شكل (١- ج) حيث يتضح وجود طبقة من المارل البني الرمادي المخضر بسمك ٣٣٠متر.

- تتابع من الصخور الجيرية والطينية مع وجود حجر جيري ابيض اللون دقيق التبلور يشمل على طبقات دقيقة من الصوان ويبلغ سمك هذه الطبقة ٦٠متر .
- وجود طبقة من الحجر الرملي الأبيض الفاتح بلوري خشن الحبيبات وطبقاته رقيقة من الصوان بسمك يصل إلى ٣٠٠ متر .
- طبقة حجر جيري تحاتى مع تعاقب طبقات حجر جيري بنى دقيق الحبيبات يعلوها حجر جيري سطحي ومرجاني يبلغ سمك هذه الطبقة ٢٠٠ متر .
- وجود رواسب من الحجر الجيري مكونة من مفتتات صدفية ورواسب وديان من الحصى والرمل والجلاميد وبقايا نباتات وكذلك تربة حمراء وبعض الرواسب المتحجرة بسمك يصل إلى ٥٠ متر.

من عرض التتابع الطباقى يتضح انه يتكون من طبقات رسوبية ضعيفة أمام عمليات الإذابة مما ساهم في زيادة عمق الحفر الكارستية التي يصل عمقها في بعض الأحيان إلى ١٣٢ متر .

١- الخصائص المناخية:

المناخ من أهم عوامل التي تتحكم في العمليات الجيومورفولوجية و الظاهرات بصفة عامة وفى عملية الإذابة وتكون الحفر الكارستية بصفة خاصة ، يعد مناخ منطقة الدراسة ضمن مناخ الجبل الأخضر بصفة عامة لذلك يكتسب الكثير من خصائصه المناخية مثل ارتفاع الرطوبة النسبية وغزارة الأمطار الشتوية حيث تعد من البيئات شبه الرطبة ، ويلخص الجدول (٢) بيانات الحرارة والأمطار والرطوبة النسبية في محطة شحات ودرنة وهما اقرب محطات الأرصاد لمنطقة الدراسة ويتضح من تحليل هذه البيانات ما يلي :

- يبلغ المعدل السنوي لدرجات الحرارة بين ١٦,٥٤° م في شحات و ٢٠,٠٨° م في درنة ، ويرجع انخفاض هذا المعدل في شحات إلى ارتفاع المنسوب التي تقع عليه ليصل إلى ٦٢٥ متر ، أعلى معدل حرارة شهر وصل إلى ٢٦,٢٩ ° م في درنة خلال شهر يوليو والى ٢٩,٢١° م في محطة شحات خلال شهر أغسطس ، وكان اقل معدل شهري في محطة درنة إلى ١٤,٩ °م خلال شهر يناير وفى محطة شحات ٩,٤٥ °م خلال نفس الشهر السابق مما عمل على تقليل سرعة الماء في الأودية وأدى إلى ارتفاع معدلات تسرب المياه إلى الأعماق وزيادة عمليات الإذابة داخل الحفر والشقوق والفواصل .ويؤثر ذلك بصورة كبيرة على درجة حرارة الماء والتي بدورها تحدد مكونات و عناصر الماء الكربونية فقد تبين أن كمية ثاني أكسيد الكربون المحلل في الماء تكون مرتين أكبر في درجة حرارة ٠° م منه في درجة حرارة ٢٠ °م. إذا فالإذابة بالمناطق الكارستية الباردة تكون

مهمة، فإذا كانت مناطق تساقط الثلوج تعرف إذابة نشيطة فهذا يرجع إلى تدنى درجة الحرارة و كذلك للأمطار التي تتلقاها. أما بالمناطق الاستوائية الرطبة فإن نسبة المواد تكون قليلة بالمقارنة مع المناطق الباردة، في حين أن كمية الماء مهمة و إنتاج ثاني أكسيد الكربون مهم نظرا لوجود غطاء نباتي كثيف. أما بالنسبة للمناطق المتوسطة فمكونات الماء تكون مرتفعة خلال الصيف إذ تكون أمام مياه زائدة التشبع. بصفة عامة فان سرعة الإذابة تكون بطيئة نظرا لقلة الأمطار و وزيادة معدلات التبخر. إضافة إلى هذه العناصر الثلاثة (حرارة الماء و كمية الماء و نسبة Co2)، نضيف عامل الشقوق التي توجد بالصخر. ففي المناطق المعتدلة و الرطبة الامتياز يكون لصالح الماء الذي يتسرب داخل الشقوق خاصة في الصخور ذات شقوق كثيرة مثل الطباشير؛ الدلو ميت و الشقوق التي نجدها بالصخر تلعب دورا كبيرا في تطور الأشكال السطحية .

- تتميز الأمطار في محطتي درنة وشحات بالمعدل المرتفع حيث وصل المعدل السنوي في درنة إلى ٢٦٢ ملم وفى شحات إلى ٥٢٢,٣ ملم حيث تقع شحات على منسوب نحو ٦٢٥ متر ودرنة على الساحل كما يلاحظ أن موسم سقوط الأمطار يمتد إلى ١٧٧ يوم خلال العام وتعد كمية الأمطار هي الأعلى في شحات مقارنة بأية منطقة بليبيا . ويشير ذلك إلى احتمالية كبيرة لتسرب المياه إلى الأعماق عن طريق الشقوق والفواصل أو دورها الكبير فى زيادة معدلات الإذابة السطحية لاسيما أن صخور الحجر الجيري تتميز بالنفاذية العالية ، وحيث أن صخور الحجر الجيري هي السائدة في منطقة الدراسة والتي تصل قيمة (ph) بها إلى (٨)

مما يزيد من عملية الإذابة حيث يتفاعل ماء المطر مع ثاني أكسيد الكربون أو معادن الصخر التي يتسرب خلالها حيث أن الماء النقي ليس له نشاط كيميائي إنما يمارس نشاطه من خلال ما يحملة من شوائب عالقة أو ذائبة وبذلك تحدد قيمة (ph) قابلية المعادن للتفاعلات الكيميائية المختلفة .

ويوضح جدول (٢) ما يلي:

اختلاف معدلات ذوبان السيلكا والالومنيا باختلاف نسبة (ph) و تحدد كمية الماء المتوفرة نوعية الناتج الكيميائي في مجال التجوية الكيميائية حيث إن تفاعل الارثوكليز مع كمية قليل من الماء يؤدى إلى تحوله إلى لايت .

Ca Alca + 2h2o ---------- ca sio3 10 h2o + sio2 + koh
3ca Al sio3 + 2h2o ---------- Al sio2 (oh) 4 + sio2 + koh

كما تحدد كمية المياه مقدار ما يتجمع منها في الفراغات الصخرية وفى أعماق المختلفة ، واحتمالية وصول المياه إلى أعماق ابعد يزداد مع زيادة هذه الكمية مما يحدد عمق عملية الاذابه ، كما يحدد حركة المياه داخل التربة وخاصة الحركة الرأسية ، وبذلك ينبغي دراسة القيمة الفعلية للأمطار في منطقة الدراسة حيث تصل نسبة الفاقد من مياه الأمطار إلى عن طريق الجريان السطحي إلى ١,٨ %
(Hidroprogekat , 1972 ,p 79)

جدول (٢) المعدلات الشهرية لدرجة الحرارة والأمطار والرطوبة النسبية في محطتي شحات ودرنة

الشهر	شحات			درنة		
	درجة الحرارة م	كمية الأمطار ملم	الرطوبة النسبية %	درجة الحرارة م	كمية الأمطار ملم	الرطوبة النسبية %
يناير	١٤,١٩	١١٤,٨	٧٣	٩,٤٥	٦١,٦	٧٣
فبراير	١٥,٧	٨٢	٧٤	١١,٥	٧,٣٩	٧٠
مارس	١٥,٤	٦٣,٩	٧١	١٥,٥	٢٢,٥	٧٠
أبريل	١٦,٤	٢١,١	٦١	١٦,٧	٥٩,٨	٦٩
مايو	١٧,٣٩	٨,٩	٥٦	١٨,٦٤	٤,٥	٧٢
يونيو	٢٣,٤٦	٠,٢٢	٥٥	٢٢,١٢	٣,٢	٧٣
يوليو	٢٥,٤٥	٠,٠١	٦٦	٢٢,١٦	٠	٧٧
أغسطس	٢٦,٢٩	١,٥	٧٠	٢٣,٣	٠,٠٣	٧٩
سبتمبر	٢٥,٢٢	٧,٠٦	٧٠	٢٩,٢١	٤,٤	٧٣
أكتوبر	٢٢,٩٣	٣٦,٨	٧٢	١٨,٦٦	٣٤	٧١
نوفمبر	١٩,٢٩	٧٧,٢	٧٣	١٤,٧٥	٢٧	٦٨
ديسمبر	١٥,٧٧	١٠٨,٨	٧٦	١١,٠٢	٥,٥٥	٧١
سنوي	٢٠,٠٨	٥٢٢,٣	٩٦	١٦,٥٤	٢٦٢	٧٢

المصـــدر : المركز الوطني للأرصاد الجوية ، طرابلس ، الجماهيرية العربية الليبية .

وإذا أخذنا في الاعتبار أن كمية الأمطار في درنة نحو ٢٦٢ ملم وفى شحات نحو ٥٢٢,٣ ملم يمكن أن نحصل على أن كمية المياه المتسربة للتربة ٤,٢ ملم في درنة و٩,٤ ملم في شحات وهذه الكميات مختلفة من فصل إلى أخر وكمية المياه التي تتسرب إلى الخزانات الجوفية تصل إلى ٢٤,٨ % حيث تصل إلى ٦٤,٩ملم في درنة و١٢٩,٥ ملم في شحات . ويبلغ المعدل السنوي للرطوبة النسبية في درنة ٧٢% وفى شحات ٦٩ % مما يشير إلى ارتفاع الرطوبة بصفة عامة ، مما يؤكد على مناخ المنطقة يميل نحو البيئة شبه الرطبة .

تحليل الخريطة الكنتورية :

يتضح من الشكل (١- د) إن منطقة الدارسة تنحدر بصفة عامة نحو الشمال حيث إن أعلى خط كنتور بها يصل إلى ٨٠٠ متر وهى مقطعة بعدد من الأودية حيث أنها المنحدرة نحو الشمال لتصب في البحر المتوسط ، كما أن الشقوق الضيقة الناتجة عن انهيار التربة التي تتحرك لأسفل السطح الكارستى و عملية الإذابة القوية بفعل وجود ثاني أكسيد الكربون الثقيل (نجدها بالأساس في المحدبات و المناطق السيئة التهوية) .تلعب دورا في التشكيل الكارستي و وكذلك تساهم التعرية في المناطق الجبلية بجعل المجال يزخر بالشبكات المائية و أيضا بفعل الحركات الهيدروميكانيكية مثل السقوط و يجب التأكيد على أن الطبوغرافية تتحكم في عملية التساقط الكيماوي .

التوزيع الجغرافي للحفر الكارستية محل الدراسة:

تم اختيار نحو اثنى عشر حفر كارستية تغطى معظم أجزاء المنطقة كما في شكل (١- أ) كما أنها تتباين فيما بينها في المساحة والعمق وكذلك النشأة، وهنا ينبغي الإشارة إلى انه تم إهمال بعض الحفر الصغيرة والتركيز على الحفر التي تتميز بكبر أبعادها المورفومترية .

قاعدة البيانات للحفر الكارستية وعلاقتها بالتوزيع الجغرافي للحفر الكارستية:

تم عمل قاعدة بيانات للحفر الكارستية اعتمادا على إدخال مجموعة من الطبقات التي تساهم بدور كبير في نشأه وتطور الحفر الكارستية **وتشمل هذه الطبقات ما يلي :**

اعتمادا على الطبقات السابقة تم استنتاج الجدول التالي والذي يوضح الحفرة واسم التكوين الذي تقع فية فضلا عن تحديد نوع الحفرة: وفيما يلي شرح لعلاقة التوزيع الجغرافي وكل طبقة من الطبقات جدول(٣).

جدول (٣) الطبقات التي تم التعامل معها فى برنامج Map info

م	اسم الطبقة	وصف الطبقة
١	طبقة التكوينات جيولوجية السطحية	عمل طبقة من التكوينات الجيولوجية والتي شملت على كوينات الجيولوجية الم مختلفة في المنطقة وشملت على وينات (تكوين أبولونيا ، تكوين الهلال ، تكوين درنة ، تكوين الاثرون ، تكوين الفؤادية) وتم الاعتماد على الخرائط الجيولوجية مقياس ١ :١٠٠٠٠٠
٢	طبقة البنية الجيولوجية	واحتوت على الانكسارات والشقوق والفواصل وتم الاعتماد على الخريطة الجيولوجية مقياس رقم ١ :١٠٠٠٠٠
٣	طبقة الخريطة الكنتورية	تم عمل طبقة من الخرائط الكنتورية ذات الفاصل كنتورى الذي يصل إلى ٢٠ متر حيث تم الاعتماد على خرائط مقياس رسم ١ :٥٠٠٠٠ حيث تم تحويل هذه الخرائط إلى الصيغة الرقمية.
٤	طبقة الحفر الكارستية	شمل على اثنى عشر حفرة كارستية وهى مجال الدراسة .
٥	طبقة الظاهرات جيومورفولوجية	تم عمل طبقة خريطة جيومورفولوجية للمنطقة وتشمل على الأودية في منطقة الدراسة والتلال والحافات وبعض الظاهرات الجيومورفولوجية الأخرى

المصدر : من عمل الطالب

١- علاقة التوزيع الجغرافي للحفر بالتكوينات الجيولوجية السطحية:

من الجدول(٤) يتضح أن الحفر الكارستية في المنطقة تكونت في ثلاثة تكوينات جيولوجية ، حيث تكونت الحفر الكارستية الناتجة عن الإذابة السطحية (عدد ٢) في تكوين أبو لونيا ويمكن إرجاع ذلك إلى أن هذا التكوين يحتوى على صخور الحجر الجيري الايوسينى التي تتميز بأنها تتميز بالمسامية عالية والنفاذية المنخفضة مما يسمح لها بحجز كميات كبيرة من المياه مما يزيد من الإذابة السطحية، بينما وجد أن معظم الحفر الانهيارية تقع في تكوين درنة وتكوين الفؤادية بعدد (٦).

جدول (٤) علاقة نوع الحفرة الكارستية بالتكوينات الجيولوجية السطحية

الحفرة	نوع الحفرة	اسم التكوين	وصف التكوين
١	انهيارية	الفؤادية	حجر جيرى حبيباتة متوسطة الحجم مع طبقة من الطين الجيرى
٢	انهيارية	رواسب زمن رابع + تكوين أبو لونيا	حصى ورواسب الاودية حجر جيرى ذو نسيج صخرى دقيق
٣	حفرة كهف	درنة	حجر جيرى ذو حبيبات دقيقة
٤	انهيارية	درنة + أبو لونيا	حجر جيرى ذو حبيبات دقيقة مع حجر جيرى ذو نسيج صخرى دقيق
٥	انهيارية	درنة	حجر جيرى ذو حبيبات دقيقة
٦	انهيارية	درنة + أبو لونيا	حجر جيرى ذو حبيبات دقيقة مع حجر جيرى ذو نسيج صخرى دقيق
٧	حفرة بحيرة	رواسب زمن رابع + درنة	حصى ورواسب اودية مع حجر جيرى ذو حبيبات دقيقة
٨	حفرة بحيرة	رواسب زمن رابع + تكوين أبو لونيا	حصى ورواسب الاودية حجر جيرى ذو نسيج صخرى دقيق
٩	انهيارية	رواسب زمن رابع + درنة	حصى ورواسب اودية مع حجر جيرى ذو حبيبات دقيقة
١٠	انهيارية	درنة	حجر جيرى ذو حبيبات دقيقة
١١	إذابة سطحية	رواسب زمن رابع + تكوين أبو لونيا	حصى ورواسب الاودية حجر جيرى ذو نسيج صخرى دقيق
١٢	إذابة سطحية	رواسب زمن رابع + تكوين أبو لونيا	حصى ورواسب الاودية حجر جيرى

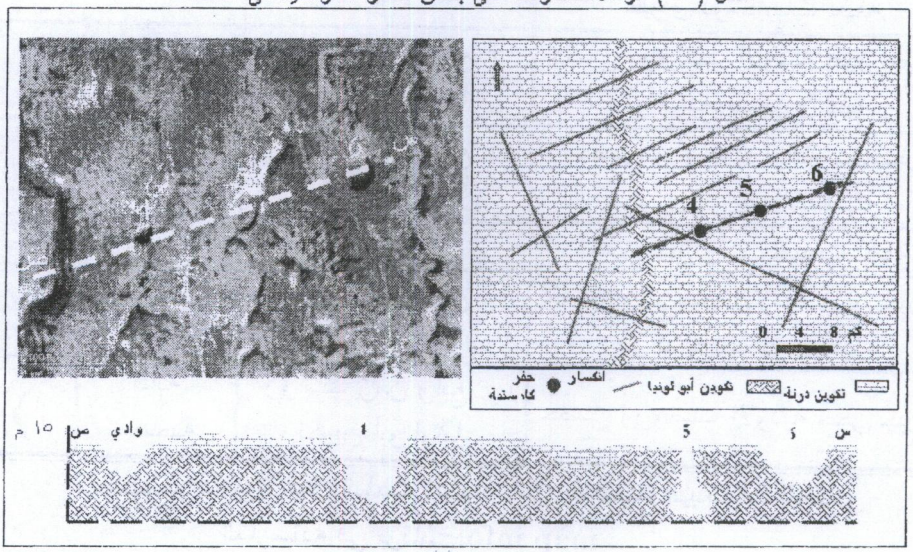
المصدر : من عمل الباحث اعتمادا على قاعدة البيانات للحفر الكارستية في برنامج map info

وأيضا هناك نحو عدد ٢ حفر انهيارية توجد في تكويني درنة وابولونيا معا ، ويساعد على ذلك ارتفاع النفاذية في صخور الحجر الجيرى دقيق الحبيبات التي تمثل تكوين درنة ذلك رغم أن المسامية في هذه الصخور تتراوح ما بين المنخفضة و العالية (١٠,٤ %- ٣٤,١ %)

٢- **علاقة التوزيع الجغرافي للحفر الكارستية مع البنية الجيولوجية في المنطقة**

يوضح الشكل (٢) أن الانكسارات الموجودة في المنطقة قد أثرت بصورة كبيرة على بعض اتجاهات محاور بعض الحفر الكارستية حتى أنها أيضا كانت تمثل مجالات يتم تسرب المياه منها فتكونت بعض الحفر على نفس

شكل (٢) اثر الانكسارات على بعض الحفر الكارستية في المنطقة



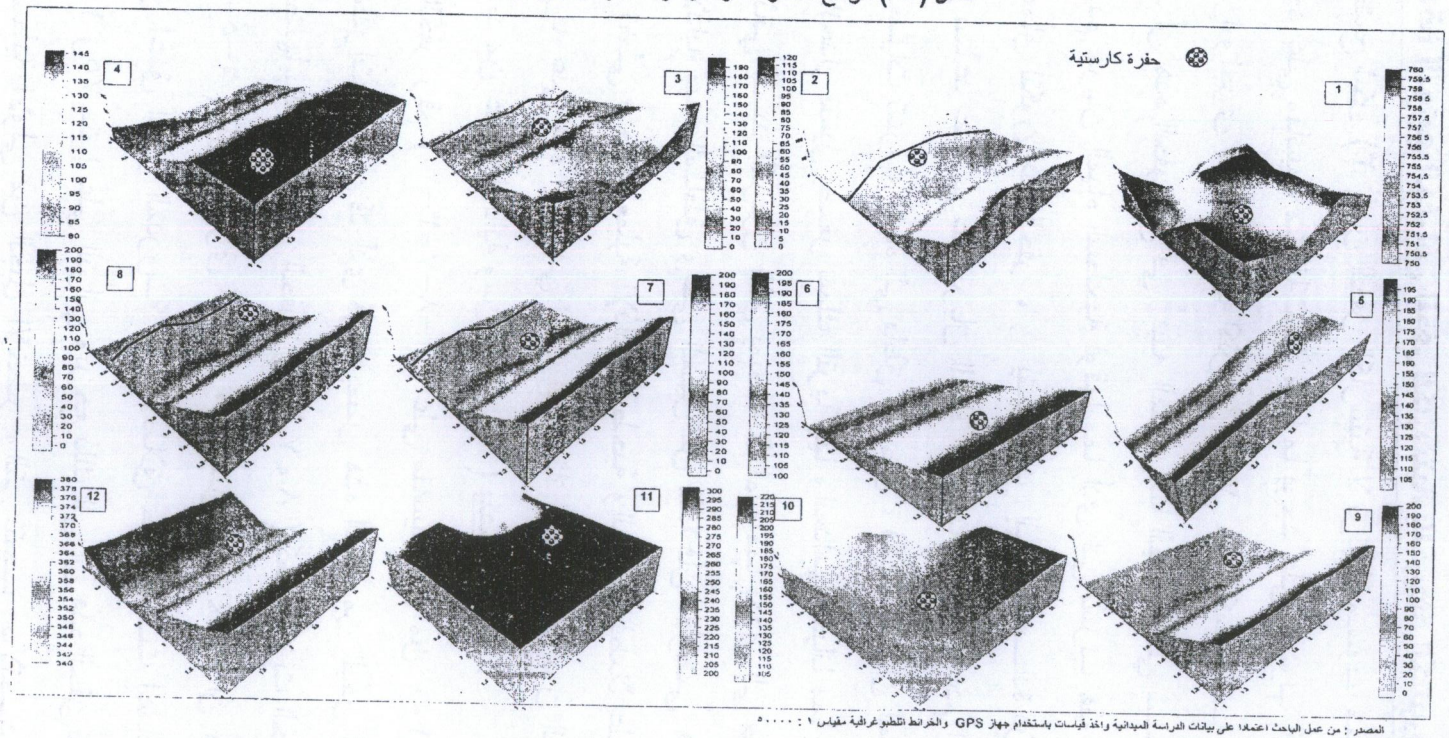
محور الانكسار كما يتضح من الحفر أرقام (٤ و٥ و٦) .

٤- علاقة التوزيع الجغرافي للحفر الكارستية بالخريطة الكنتورية :

يوضح شكل (٣) أن الحفر الكارستية لا ترتبط بمنسوب معين بل أنها توجد على مناسيب مختلفة حيث منها ما يوجد على منسوب اقل من ٣٠ مترا وأخرى على منسوب اكثر من ٧٤٠ متر، كما انه من الملاحظ أن هذه الحفر تقع في فيئه المنحدرات الهينة والتي ساعدت على عدم جريان المياه السطحية فوقها مما أدى إلى تسرب هذه المياه إلى الأعماق لتكون هذه الحفر ، و يشير ذلك إلى أن زيادة درجة الانحدار تساعد على سرعة جريان المياه السطحية وبالتالي عدم إعطاء فرصة لعمليات تسرب المياه إلى باطن الأرض ، فضلا عن أن المناطق شديدة الانحدار تتميز بصغر سمك التربة بها وانعدامها أحيانا مما يؤدى إلى قلة ثاني أكسيد الكربون الذي يمتصه الماء ، مما يؤدى إلى ضعف عملية الاذابه بهذه المناطق وعلى العكس من ذلك فأن الأرضي هينة الانحدار تعطى فرصة لعملية الإذابة السطحية والمتعمقة فضلا على أن سمك التربة على هذه الأراضي يزود الماء بثاني أكسيد الكربون الذي بدورة يزيد من عملية الإذابة ومن الشكل (٣) **يتضح التالى** :

- تقع الحفر رقم (٢-٣-٧-٨-٩) على مناسيب اقل من ١٠٠ متر وعلى انحدرات هينة و قد أدى قرب بعض هذه الحفر من البحر الى امتلاء بعضها بالماء كما فى الحفرة رقم (٧ و٨) كما تركزت الحفر رقم (٤-٥-٦) بين كنتورى ١٤٠ و١٦٠ متر والملاحظ ان هذه الحفر هى اعمق الحفر المدروسة على الاطلاق حيث بلغت اعماقها ٨٢ و١٣٣ و٧٥ مترا على التوالي ويرجع ذلك الى ان هذه الحفر تقع على المصطبة الاولى من الجبل الاخضر والتى تتميز بالانحدارت

شكل (٣) مواقع الحفر الكارستية وعلاقتها بطبوغرافية المكان المحيط بها



المصدر : من عمل الباحث اعتمادا على بيانات الدراسة الميدانية واخذ قياسات باستخدام جهاز GPS والخرائط الطبوغرافية مقياس ١ : ٥٠٠٠٠

الهينة على ظهر المصاطب الثلاثة بينما تكونت الحفر رقم (١١ و١٢) على المصطبة الثانية على مناسيب (٣١٠ و٣٨٠ متر) على التالى ، واخيرا تكونت الحفرة رقم (١) المصطبة الثالثة بمنسوب ٧٤٣ وبعمق ٤٦ متر .

٤- علاقة التوزيع الجغرافي للحفر الكارستية بالأشكال الجيومورفولوجية:

تؤثر الظاهرات الجيومورفولوجية المحيطة بالحفر الكارستية وتتأثر بها، حيث تمثل هذه الحفر أراض منخفضة السطح مقارنة بالمناطق المجاورة ، وقد تؤثر هذه الظاهرة على تغير مجارى مسيلات بحيث تكون هذه الحفر مصبات لمياه هذه المسيلات والتي يمكن ان تجرى بها المياه بشكل كبير أثناء فترات السيول والتي يكثر حدوثها في منطقة الجبل الأخضر ، ومع توالى هذه العملية تعجل مياه السيول على ردم بعض الحفر الكارستية والتقليل من عمقها عن طريق الرواسب التي تجلبها مياه السيول داخل هذه الحفرة كما يتضح فى حفرة رقم (٦) فضلا عن بعض هذه الحفر قد أدى إلى كشف السطوح الصخرية التحتية (المغطاة) لعمليات التجوية المختلفة . كما لوحظ وجود بعض أحواض التصريف الداخلية والتي تصرف مياهها فى داخل هذه الحفر حيث تحاط هذه الحفر بخط تقسيم مياه على مسافات متباينة منها ، كما تؤثر على طول الروافد التي تصب فى هذه الحفرة الكارسستية حيث إن الحفرة الأقدم تكون الروافد أطول حولها وذلك بسبب تعدد مرات السيول والفترة الزمنية الأطول كما يتضح من الحفرة رقم (٥) ، كما أثرت الجروف بصورة كبيرة على بعض الحفر الكارستية كما يتضح في

الحفر وذلك بزيادة كمية المياه المنجرفة من هذه الجروف على الحفر الكارستية ، كما أثرت على اتجاهات محاور هذه الحفر ومعظمها يأخذ نفس اتجاه هذه الجروف، ويوضح شكل (٤) مواقع الحفر الكارستية المدروسة وعلاقتها بالأشكال الجيومورفولوجية المحيطة بها حيث يتضح من معظمها انها تقع فى بالقرب من خطوط تقسيم المياه بين الاودية الجافة وينطبق ذلك على الحفر التى تكونت على المصطبتين الثانية والثالثة من مصاطب الجبل الاخضر.

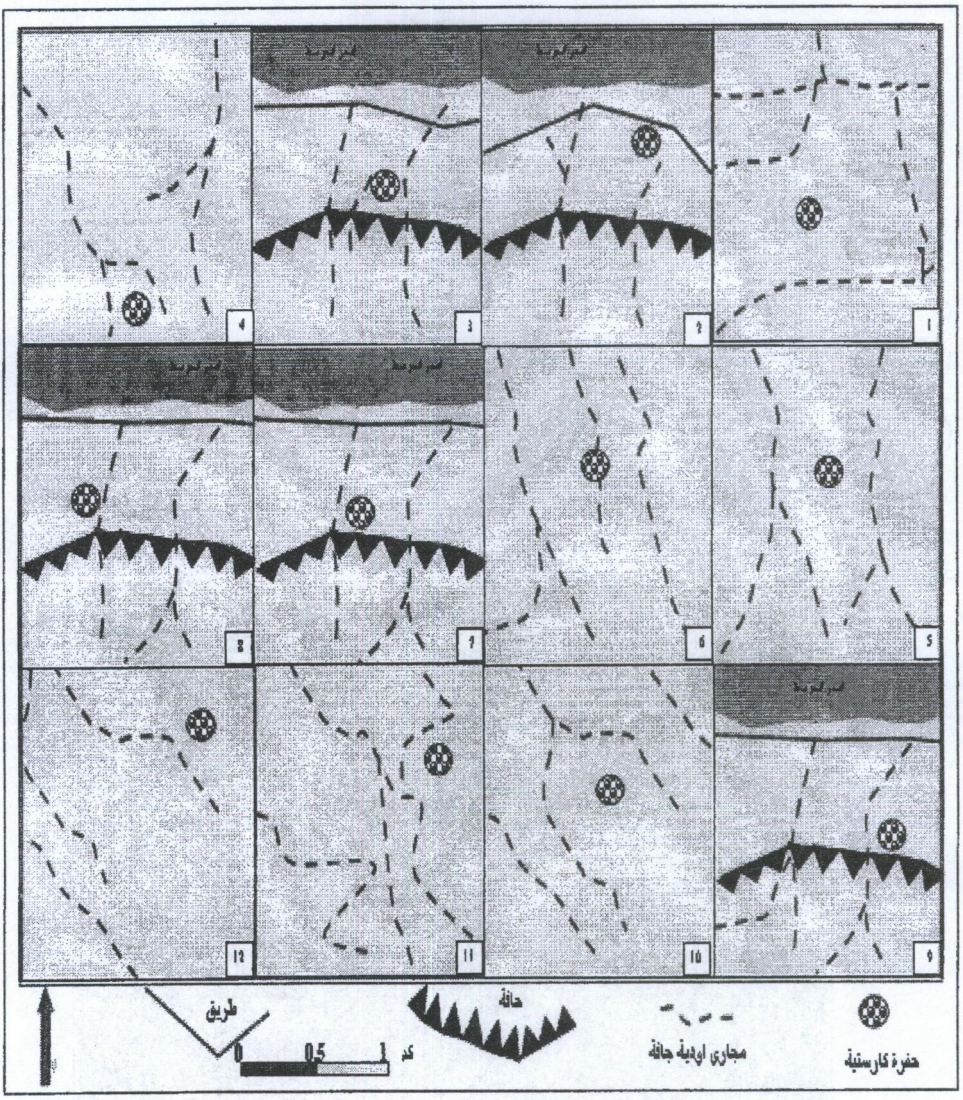
بينما تقع المصاطب على توجد قبل الحافة الاولى للمصطبة الاولى بينما تقع بالقرب من مجارى الاودية التى ساهمت بدور كبير فى نشأه وتطور هذه الحفر حيث ساعدت على جلب المياه الى مواضع الحفر والتى تسربت فيما بعد من خلال الشقوق والفواصل وتسببت فى نشأه هذه الحفر .

ثانيا يتم دراسة الخصائص المورفومترية لمجموعة من هذه الحفر الكارستية:

تعد الخصائص المورفومترية من أكثر الخصائص الجيمورفولوجية ذات الطابع الكمي الذي يعتمد على البيانات الرقمية المتعلقة في قياس المسافات والمساحات ومن ثم إنشاء المعادلات الرياضية المورفومترية المعتمدة على تلك القياسات .

تتباين أبعاد الحفر الكارستية الاثنى عشر سواء في المساحة أو العمق حيث منها ما يصل عمقه إلى أكثر من ١٣٢ متر ومنها اقل من ٢٠ متر ، كما أن بعضها قريب من مستوى سطح البحر مما أدي إلى امتلائه بالماء وتعرف بالبحيرات الكارستية مثل بحيرة البراك نوط التي

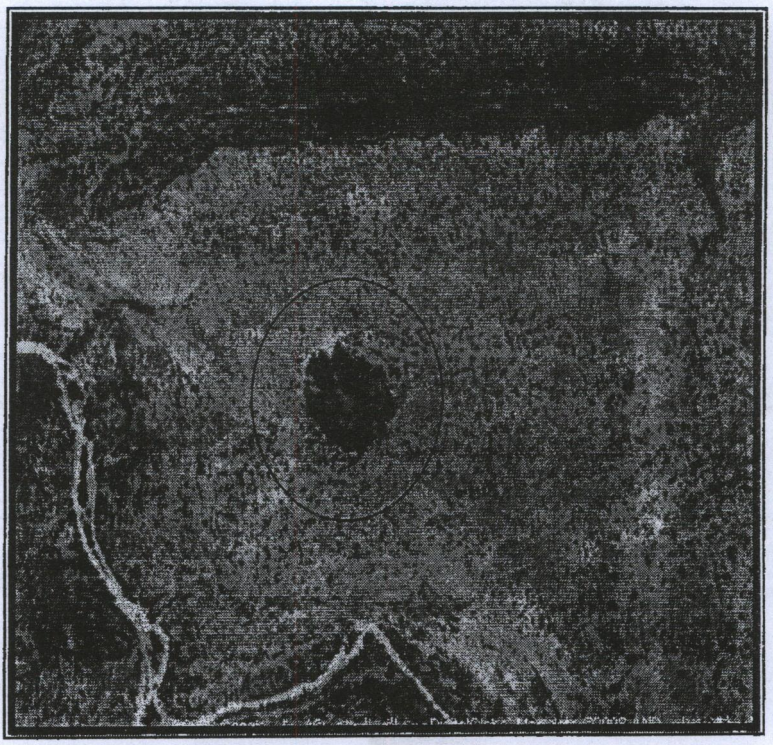
شكل (4) مواقع الحفر الكارستية وعلاقتها بالظاهرات الجيومورفولوجية التى حولها



تقع شرق بلدة سوسه بنحو ٩ كم وهى بحيرات عميقة وتشرف جدرانها على قيعانها بانحدارات شديدة والجدول (٥) يوضح الخصائص المورفومترية للحفر الكارستية المدروسة .

- تراوحت مناسيب مواضع هذه الحفر بين ٢١ متر و ٧٤٣ متر ويشير ذلك إلى زيادة دور المياه المتسربة من مياه الأمطار حيث إن مناطق وجود هذه الحفر لا يرتبط بمناطق بمنسوب معين .

- تأخذ معظم الحفر المدروسة البيضاوي كما يتضح من الشكل رقم (٧) والذي يشير إلى معظم هذه الحفر ذات نشأه انهياريه حيث أنها تتميز بشدة انحدار جوانبها وتتميز بوجود مركزيين للحفر شكل (٥) الحفرة رقم (٥) ذات الشكل البيضاوي كثيفة الغطاء النباتي

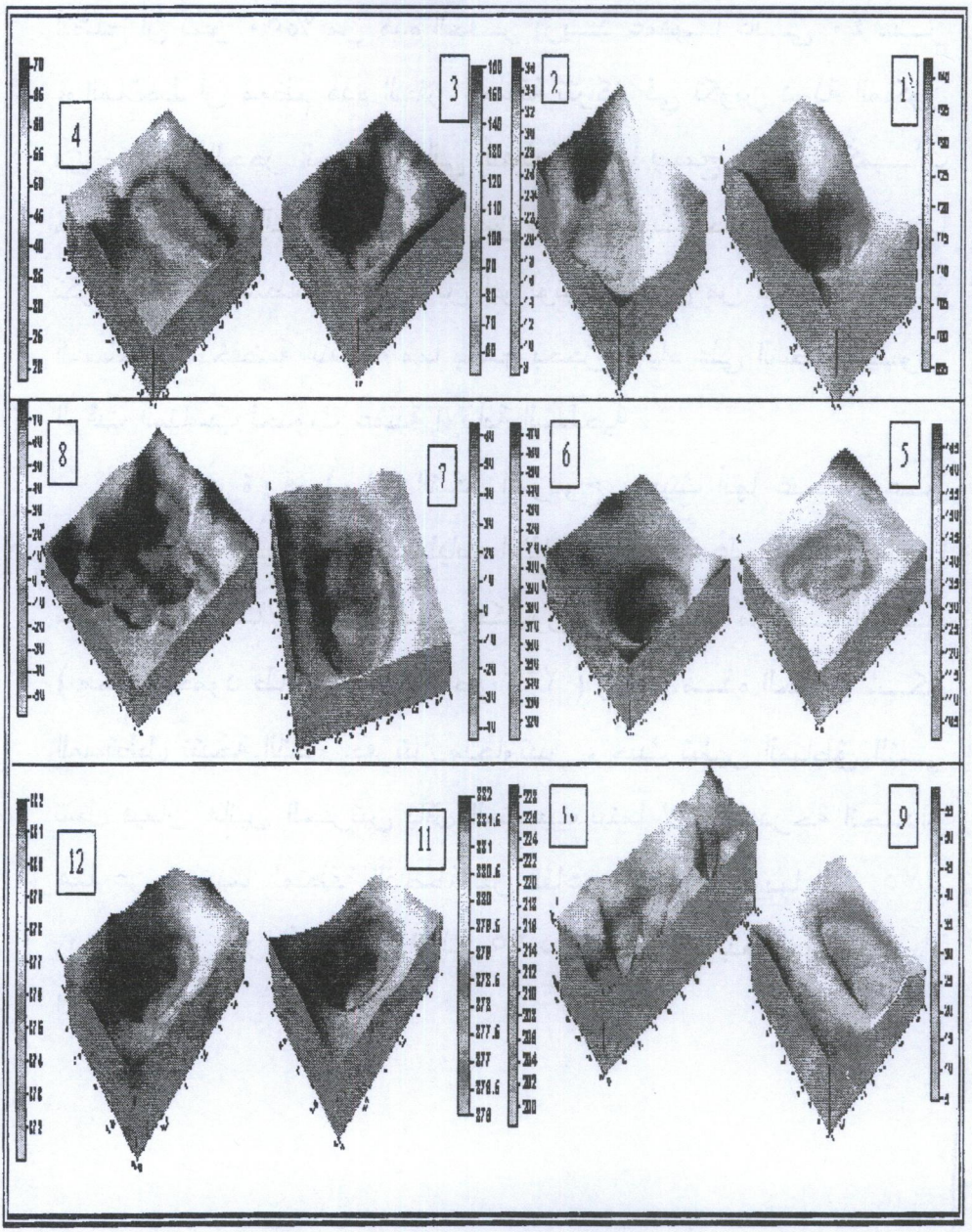


ويسود الشكل المستطيل في الحفر رقم (٤-١٠) والذي يشير إلى دور الصدوع في نشأتها حيث تأخذ اتجاه شمال شرق/جنوب غرب، كما ينتشر نمط الحفر القمعية الكبيرة الحجم في الحفر رقم (١-٦) والتي تتميز بالانحدارات المنتظمة صوب القاع ، وتوجد الحفر المفلطحة كما يتضح من الحفرة رقم (٢-٨) وهذه الحفر من نوع الحفر المركبة التي تكونت من تلاحم أكثر من ثلاث حفر وتتميز بوجود ثلاث مراكز وتمثل أكثر أنواع الحفر عمقا ، وتفصل بينها نتؤات ذات مناسيب أعلى من هذه المراكز والتي كانت تمثل جوانب الحفر القديمة قبل عملية الاندماج فضلا عن وجود نمط الحفر الكهفية كما في الحفرة رقم (٣) والتي تأخذ الشكل الكهفى ويكون أعمق نقطة في الحفرة بعيداً عن قطرها الخارجي حيث انه لم يكتمل انهيار سقف الحفرة لأسباب خاصة باتجاهات الصدوع المؤثرة على تكوين هذه الحفرة .

	الموقع	الحفرة هيئة	نوع الفتاه	المنسوب م	القطر متر	المحور من الأعلى	العمق م	أقصى عرض	أقصى طول
١	N ٣٢ ٤١ ١٣ E ٢١ ٥٨ ٢٣,٢	بيضا ويه	انهيارية	٧٤ ٣	٥٧	١٧٠	٤٦	٤٧	٥٦
٢	N ٣٢ ٥٥ ٣٧,١ E ٢٢ ٧ ٢١,١	دائرية	انهيارية	٣٥	٣٣	١٨٠	٢٠	٢١	٣٢
٣	N ٣٢ ٥٤ ١٥ E ٢٢ ٣ ٤	كهفيه	انهيارية	٦٢	٩٢	١٢٠	٢٨	٤١	٩٠
٤	N ٣٢ ٤٣ ٥١,١ E ٢١ ١٩ ٥٥,٩	دائرية	انهيارية	١٤ ٢	١٨٣	١٧٠	٨٢	٥٥	١٨٠
٥	N ٣٢ ٤٤ ٥,٥ E ٢١ ٢١ ٣,١	دائرية	انهيارية	١٥ ٢	-٢٥ ٧٦	١٦٥	١٣٣	٢٧	٧٧
٦	N ٣٢ ٤٤ ٨,٨ E ٢١ ٢٠ ٤٣	بيضا ويه	انهيارية	١٥ ٧	٤٤٨ - ٣١٢	١٤٠	٧٥	١٣ ٢	٤٤٥
٧	N ٣٢ ٥٤ ٣٤,٤ E ٢١ ٤٨ ٣٢,٢	بيضا ويه مملوءة ماء	حفرة بحيرة	٢٢	١١٧	٢٢٠	٦٠	٦٢	١١٨
٨	N ٣٢ ٥٤ ٣٦ E ٢١ ٢٨ ٤٠,١	مستطيلة	حفرة بحيرة	٢١	١٧٦	٢٢٠	٦٤	٤٨	١٧٥
٩	N ٣٢ ٥٤ ٣٣,٥ E ٢١ ٤٨ ٤٠	بيضا ويه	انهيارية	٢٢	٣٧	٢٢٠	١٩	٢٢	٣٨
١٠	N ٣٢ ٢٩ ٢١,٨ E ٢١ ٣٦ ٣٨	مزدوجة	shaft	٢٢ ٣	١٦٠	١٥٠	١٨	٥٢	٢٠٠
١١	N ٣٢ ٢٩ ٢١,٨ E ٢١ ٣٦ ٣٨	مذدوجه	إذابة	٣١ ٠	١٤٠	١٧٠	٥	١٠ ١	١٤١
١٢	N ٣٢ ٣٢ ٤٤ E ٢١ ٢٨ ٣٨	بيضاوية	إذابة	٣٨ ٠	١٢٣	١٦٠	٦	٩٤	١٢٢

المصدر : من عمل الباحث اعتمادا على الدراسة الميدانية

شكل (٦) مجسمات الحفر الكارستية المدروسة



تراوحت أعماق الحفر المدروسة بين ٤ أمتار إلى ١٣٢ متراً وان أتضح أن نحو ٥٠% من هذه الحفر يزيد عمقها على ٤٠ متر ،والملاحظ أن معظم هذه الحفر العميقة تتركز في تكوين درنة المتكون من صخور الحجر الجيري عالي النفاذية مما يسمح بتسرب كميات كبيرة من المياه إلى أعماق كبيرة من السطح حيث تحدث الإذابة ، بينما تكونت الحفر السطحية في تكوين أبو لونيا المتكون من صخور عالية المسامية ومنخفضة النفاذية مما يسمح بحجز المياه على السطح ويوفر الوقت المناسب لحدوث عملية الإذابة السطحية .

تأخذ الحفرة رقم (١٠) الشكل المزدوج ، حيث أنها عبارة عن حفرتين متجاورتين عملت عمليات الإذابة السطحية على أن تجعلها متصلة حيث عملت على تكون مخفضات مركبة النشأة (محمد محمود طه ، ٢٠٠٠ ، ص٢٦٢) وتأخذ هذه الحفر شكل المستطيل نتيجة التحام حفرتين متجاوتيين ، حيث تظهر المناطق التي تمثل قيعان هاتين الحفرتين بأقل المناسيب بينما لا تزيد درجة انحدار هما عن ٢ بينما المنطقة الفاصلة بين القاعين يصل منسوبها إلى٢٥ م وذات انحدار يتراوح بين ١٠ إلى ٢٥ درجة مئوية وينعدم بها الغطاء النباتي .

جدول (٦) بعض المعاملات المورفومترية للحفر الكارستية المدرسة

المعامل	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠	١١	١٢
طاقة التضرس	٠,٨٧	٠,٦	٠,٣٧	٠,٤٤	٥,٣	٠,١٧	٠,٥	٠,٣٦	٠,٥١	٠,١١	٠,٠٣	٠,٠٤
الطول/العرض	١,١٩	١,٥٢	٢,١٩	٣,٢٧	٢,٨٥	٣,٣٧	١,٩٠	٣,٦٤	١,٧٢	٣,٣٦	١,٣	١,٢٩

المصدر : من عمل الباحث اعتمادا على بيانات جداول (٥)

- تراوحت قيم طاقة التضرس (العلاقة بين عمق الحفرة/ وقطرها) بين (٠,٠٣ و ٥,٣) ويشير ذلك إلى إن الحفر التي ترتفع فيها قيمه التضرس يزيد عمقها على قطراها فتكون احتمالية النشأة الانهيارية لها اكبر وكما يتضح من حفر رقم (٥

بينما تشير انخفاض هذا المعامل إلى قلة عمق الحفرة وزيادة عمقها مما يشير إلى احتمالية النشأة عن طريق الإذابة السطحية تكون اكبر كما يتضح في الحفر رقم (١١ و١٢)

بينما تراوحت نسبة الطول الى العرض وهو المعيار التى اقترحة (Rachocki ,1981 , p.66) بين ١,١٩ و ٣,٦٤ وتشير القيم التى تقل فيها هذا المعيار الى انها قريبة الى الشكل الدائرى او البيضاوى وتنشر فى الحفر رقم (١ -٢-٧-٩-١١-١٢) بينما تشير زيادة هذا المعيار الى القرب من الشكل المستطيل كما يتضح فى الحفر رقم (٣-٤-٦-٨-١٠) .

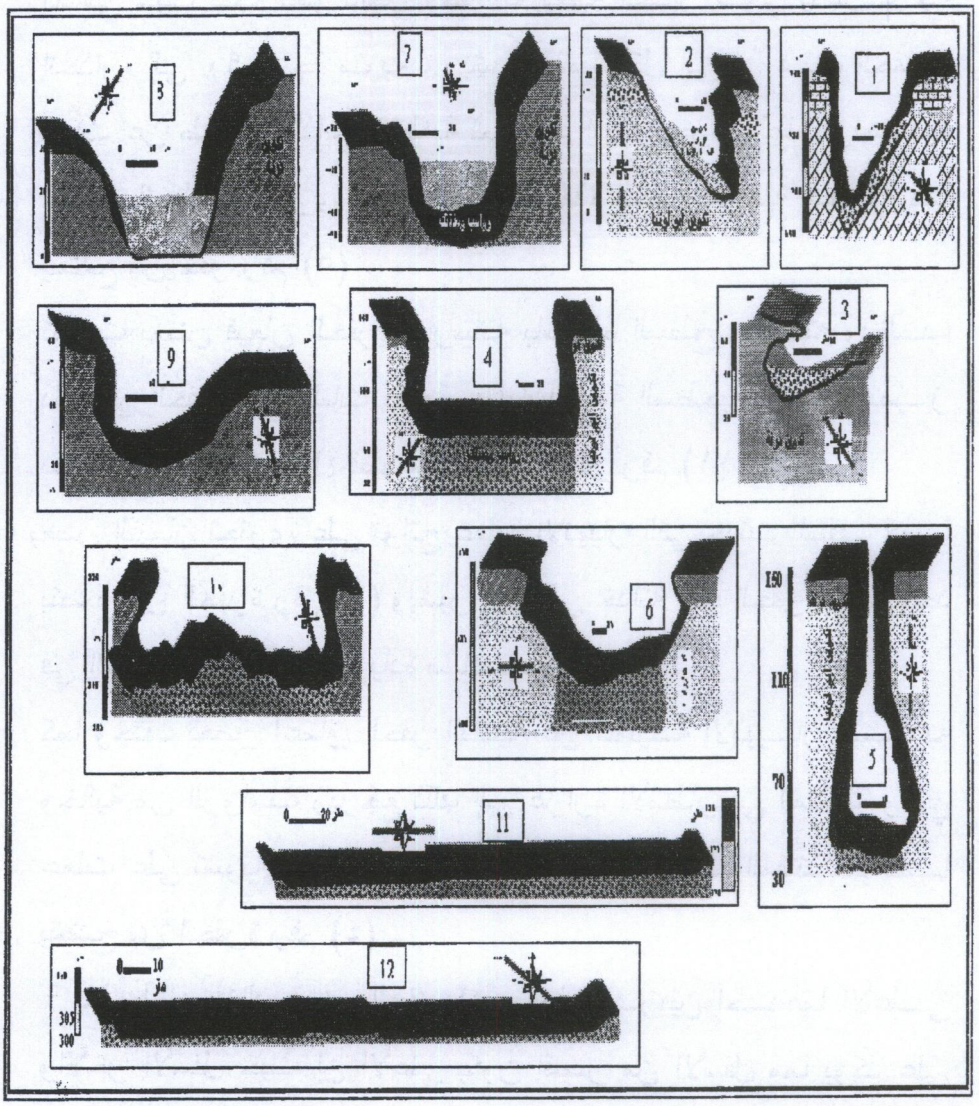
تحليل قطاعات الحفر الكارستية :

تم رسم القطاعات العرضية للحفر الكارستية المدروسة كما يتضح من شكل (٧).

- تحتل الانحدارات الشديدة والجروف الرأسية التي تتراوح بين ٩٠-٨٠ درجة المرتبة الأولى بنسبة ٦٨ % من جملة الاطوال المقاسة ، وتسود فى الحفر رقم (٤و٥) والتي تشير إلى أنها ذات نشأه انهياريه كما أنها تشير إلى أنها حفر كارستية تمر بمرحلة الشباب .

بينما شغلت الانحدارت المتوسطة التى تتراوح بين ٤٠-٥٠ درجة مئوية المرتبة الثانية بنسبة ٢٣% من جملة الاطوال المقاسة ، وتسود فى الحفره رقم (٩) حيث تشير إلى أنها ذات نشأه انهياريه كما أنها تشير إلى أنها حفر كارستية تمر بمرحلة الشيخوخة ، وكانت الانحدارت الهينة التى تتراوح بين (صفر -١٥) المرتبة الأخيرة بنسبة ٩% من جملة الاطوال المقاسة ، وتسود في القطاعات رقم (١١-١٢) ويدل ذلك الشكل على أن هذه الحفر ناتجة عن عملية الإذابة السطحية .

شكل (٧) القطاعات العرضية للحفر الكارستية المدروسة



- بعض المنحدرات تتميز بوجود نمطين من الانحدار الأول وهو السفلي حيث يتجه نحو داخل الحفر ثم يعقبة انحدار علوي يصل درجة انحداره إلى ٩٠ درجة مئوية ، ويشير هذه الشكل إلى إن هذه الحفر نشأت عن طريق الإذابة الباطنية ثم حدث انهيار جزئي لها ، واحتمالية حدوث انهيارات أخري كبير حيث تمر هذه الحفر بمرحلة الطفولة كما يتضح من حفر رقم (٥) .
- تميزت بعض قيعان الحفر الكارستية باستواء السطح ونعومته ويغلب ذلك في الحفر التي نشأت نتيجة عملية الإذابة السطحية حيث تتميز بضحولتها وزيادة طول قطرها كما في الحفر رقم (١١-١٢) .
- بعض القيعان تحتوى على نواتج عملية الانهيار التي حدثت للسقف كما يتضح من الحفرة رقم (٢) ويشير ذلك إلى حداثة هذه الحفر حيث توجد في الحفر العميقة وذلك لزيادة سمك طبقة السطح .
- كما وجدت بعض أعماق الحفر الناتجة عن عملية الانهيار مستوية وخالية من الرواسب ويرجع ذلك إلى غزارة الأمطار في المنطقة والتي عملت على تسوية مفتتات عملية الانهيار وإذابته هذه المفتتات كما يتضح من الحفرة رقم (٤) .
- يلاحظ إن هناك بعض الحفر التي تأخذ قطريين أحدهما الأعلى والآخر الأسفل حيث إن الأعلى يكون اقصر من الأسفل مما يؤكد على أن نشأه هذه الحفر انهياريه ناتجة عن الإذابة الباطنية ، حيث يلاحظ أن هذه الحفر في القطاع الجيولوجي لها تأخذ تكوينيين حيث يمثل التكوين الأسفل تكوين درنة الضعيف أمام عمليات الإذابة بينما التكوين الأعلى تكوين أبو لونيا .

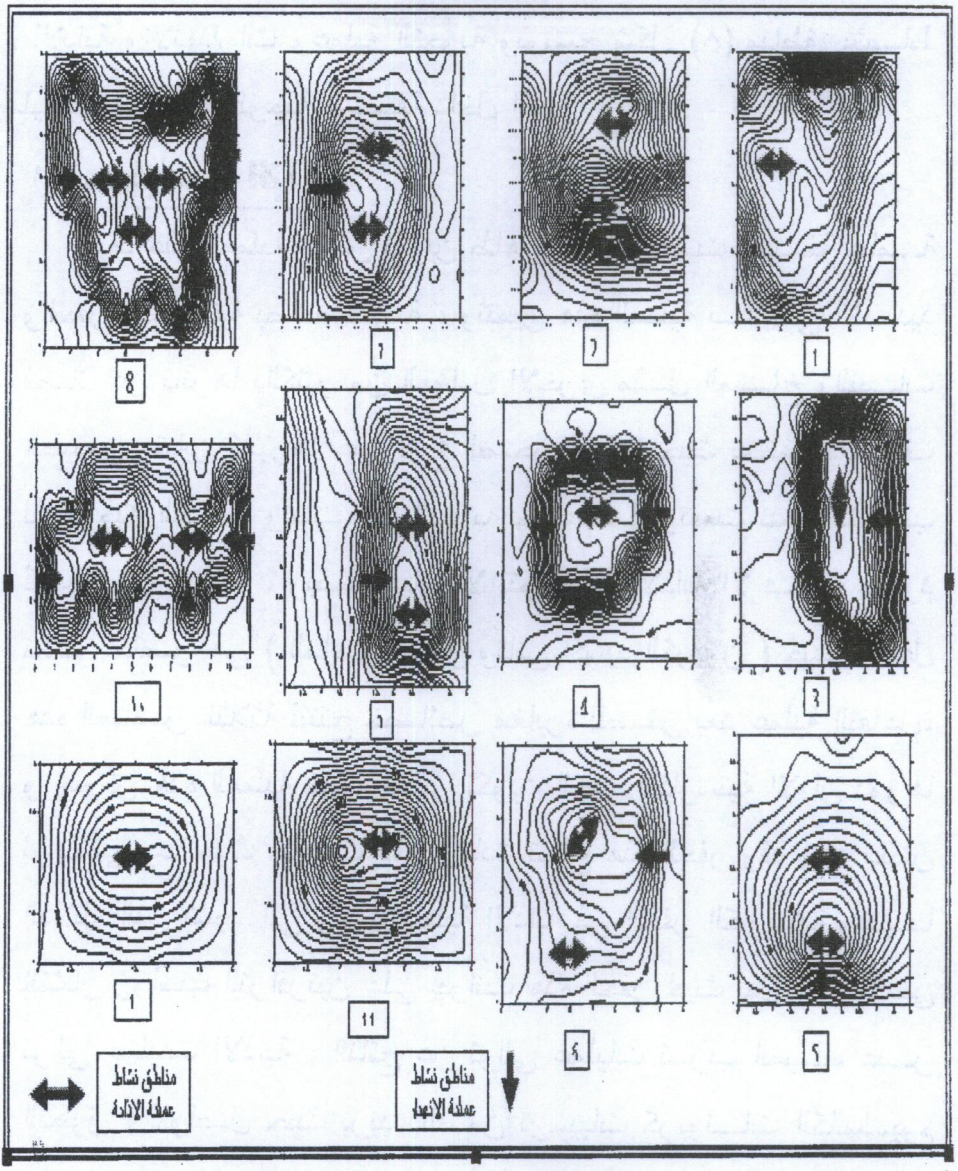
العمليات الجيومورفولوجية التى تحدث داخل الحفر الكارستية :

تتنوع العمليات الجيومورفولوجية التى تحدث داخل الحفر الكارستية بين الإذابة والانهيارات وعملية التجوية ويوضح شكل (٨) مناطق نشاط العمليات الجيومورفولوجية المختلفة داخل الحفر.

١- عملية الإذابة :

تعد هذه العملية اساس تكوين ظاهرات الكارست بصفة عامة والحفر الكارستية بصفة خاصة ، وتتميز هذه العملية بالبطئ الشديد فضلا عن تأثرها بالكثير من العوامل الاخرى مثل المناخ والنبات الطبيعى وتباين تأثيرها على نوع الصخر الواحد حيث تختلف باختلاف لثيولوجية الصخر ونسب الشوائب به حيث كلما ارتفعت نسبة الشوائب قلت عملية الاذابة ، وبصفة عامة لا تتم عملية الاذابة الا فى وجود ثلاث عناصر هى (الماء والصخر وثانى اكسيد الكربون) حيث تتفاعل هذه العناصر الثلاثة لتنتج خصائص مغايرة للصخر بعد عملية التفاعل، ورغم ان هذه العملية كانت اساس تكوين الحفر الكارستية الا ان دورها لم ينتهى بعد حيث ساعدت على زيادة اتساع هذه الحفر وقد وجد بعض الدلائل التى تشير الى وجود عملية الاذابة فى الحفر الكارستية ومنها انتشار رواسب الترافرتين على جوانب هذه الحفر حيث يدل ذلك على توالى عمليات الاذابة ، الناتج عن توالى عمليات تسرب المياه عبر الشقوق والفواصل حيث يزيد ذلك من ترسيبات كربونات الكالسيوم باشكال مختلفة ، فضلا عن وجود بعض التكهفات على جوانب الحفر الكارستية ناتجة عن عملية الاذابة ويؤكد على ذلك وجود رواسب

شكل (٨) السمات الكنتورية داخل الحفر الكارستية المدروسة ومناطق نشاط عمليتي الانهيار والاذابة



كربونات الكالسيوم بها ، وقد تأثرت عملية الاذابة فى الحفر الكارستية بمجموعة من العوامل و التي من أهما ما يلي :

أ- **ثاني أكسيد الكربون** :ويستمد الماء هذا العنصر أثناء سقوط الأمطار ويساعد على ذلك إن فترة التساقط في المنطقة تمتد إلى طول العام تقريبا ، كما انه يكتسب من التربة ذات الغطاء النباتي الكثيف وهو ما يتوفر فى المنطقة .ويوضح جدول (٧) وجود علاقة طردية بين نسبه تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون وكمية الجير المذاب .

ب- **درجة حرارة الماء** : تسهم انخفاض درجة حرارة الماء بصورة كبيرة فى زيادة عملية الإذابة ويشير جدول رقم (٦) الى وجود علاقة عكسية بين درجة حرارة الماء وكمية الجير المذابة .

ج- **النسيج الصخرى** : ويشمل على النفاذية والمسامية حيث تعمل الأولى على توغل المياه الى مسافات كبيرة داخل الصخور وقد اثر ذلك فى نشاه الحفر الانهيارية كما يتضح فى تكوين درنة ذو صخور الحجر الجيري عالي النفاذية ، بينما ساعدت المسامية على عدم نفاذ المياه لمسافة كبيرة داخل الصخر مما سمح لحدوث عملية الإذابة السطحية وحدوث حفر الإذابة السطحية كما يتضح فى تكوين أبو لونييا المتميز بصخور الحجر الجيري ضعيف النفاذية .

د- **نسبة الشوائب** : تقلل نسبة الشوائب فى صخور الحجر الجيري من إتمام عملية الإذابة حيث إن أفضل مكان لحدوث عملية الإذابة هو فى صخور الحجر الجيري .

٥- **الغطاء النباتى** : لا شك ان وجود الغطاء النباتي فى المنطقة يساعد على زيادة نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون الذي يزيد من عملية إذابة الصخور فضلا عن ان النبات الطبيعى يعمل على زيادة فعالية التجوية الحيوية التى تفتت الصخور وتساعد على تسرب المياه إلى داخل الصخر وهو ما يسود فى المنطقة.

جدول (٦) نتائج تجارب كمية الجير المذاب فى درجات حرارة مياه مختلفة وتركيزات مختلفة من غاز ثاني أكسيد الكربون

درجة حرارة الماء	تركيز غاز ثانى اكسيد الكربون	
	%٠,٣٣	%٠,٤٤
٠	٩٦	١٠٦
١٠	٧٥	٨٣
٢٠	٥٩	٦٥
٢٩	٤٩	٥٤

After: Hutchison, 1957, p56

٢- عملية الانهيارات :

تحدث هذه العملية نتيجة سقوط كتل صخرية من جوانب هذه الحفر على قاع الحفر نفسها ، وجدير بالذكر ان هناك من الحفر التى نشأت نتيجة حدوث عملية الانهيالات والتي حدثت بعد حدوث عملية الإذابة الباطنية للصخور ، وتتميز عملية الانهيار بالسرعة الكبيرة ويدل على ذلك وجود الكتل الصخرية الكبيرة فى قيعان بعض الحفر الكارستية ، حيث يمكن هنا ان نميز بين نمطين من الانهيارات الأول وهو الناتج عن انهيار السقف نفسة وقد يحدث الانهيار بشكل فجائي أو على مراحل او على فترات متباعدة وذلك مصاحبا لتكون الحفر الكارستية وتميزت نتيجة هذا الانهيار بوجود كتل صخرية كبيرة والنوع الثانى وهو انهيار جوانب الحفر الكارستية وينتج عنه رواسب مفككة صغيرة تتساقط نتيجه وجود انحدارات زائدة كبيرة وكلما زاد الميل اختل الثبات والاستقرار وبدأ الانهيار بالحركة نحو الأسفل أو يبقى في وضع غير مستقر ، والميل مظهر طبيعي لتركيب جيولوجي أولي أو ثانوي. وينهار المنحدر الذي يتمتع بزاوية انحدار اكبر من زاوية توازن القوى المؤثرة فية ، حيث زاوية الانحدار قد تصل في بعض المناطق إلى أكثر من 85° درجة ، وبالتالي تصبح هذه المناطق عرضة لتساقط الكتل الآيلة للسقوط نحو الأسفل تحت تأثير الجاذبية الأرضية الطبيعية. وتتأثر عملية الانهيارات فى الحفر الكارستية بمجموعة من العوامل المساعدة وهى:

أ- **الجاذبية الارضية** :

إن الجاذبية الأرضية تلعب دوراً كبيراً في عملية الانهيارات والانزلاقات الصخرية وزحف التربة المفككة والركام الصخري على المنحدرات وقوة الجاذبية الأرضية تزداد بزيادة مقداري الكتلة ودرجة الميل ، اي تتناسب تناسبا طرديا مع مقدار الكتلة ودرجة الانحدار وتزداد ايضاً عندما تمتلي مسامات الصخور بالمياه أثناء تساقط الأمطار. وكلما زادت درجة الانحدار كلما زادت هذه القوة وبهذا نجد ان ظواهر الانزلاقات الأرضية وتساقط الكتل الصخرية وزحف التربة تزداد في المنحدرات شديدة الانحدار عنها في المناطق ذات الانحدارات المتوسطة ، كما أن وجود العديد من الشقوق والفواصل في الكتل الصخرية المعلقة تساعد الجاذبية الأرضية على جذبها إلى أسفل نتيجة لثقلها وامتلاء مسامات هذه الكتل بالمياه أثناء تساقط الأمطار وضعف قوى التماسك بين حبيباتها.

ب **درجات الانحدار** :

نجد ان معظم مناطق الانهيارت والانزلاقات الارضية الحفر الكارستية تمتاز بانحدارات شديدة تؤدي الى عدم استقرار الكتل الصخرية والتربة الواقعة عليه ، وكلما زاد الانحدار اختل الثبات والاستقرار وبدأ الانهيار أو يبقى في وضع غير مستقر وينهار المنحدر الذي يتمتع بدرجة انحدار اكبر من زاوية توازن القوى المؤثرة فية ، حيث زاوية الانحدار قد تصل في بعض المناطق الى 90º ، وبالتالي تصبح هذه المناطق عرضة لتساقط الكتل الايلة للسقوط وزحف التربة تحت تأثير الجاذبية الارضية الطبيعية وبعض العوامل الأخرى.

ج- **الغطاء النباتي** :

ان وجود بعض الاشجار والحشائش ذات المجاميع الجذرية الكثيفة الموجودة في مناطق الانحدارت الشديدة تلعب دوراً كبيراً في عملية الانزلاق والانهيار حيث ترسل او تمتد او تنتشر او تنمو جذورها داخل شقوق وفجوات الصخور الموجودة فيها وهذا يؤدي الى توسعها وتكسرها نتيجة نمو وحركة هذه النباتات داخل الشقوق كما انها تساعد على تسرب المياه مما يؤدي الى تفتت الصخور .

د- **الأمطار** :

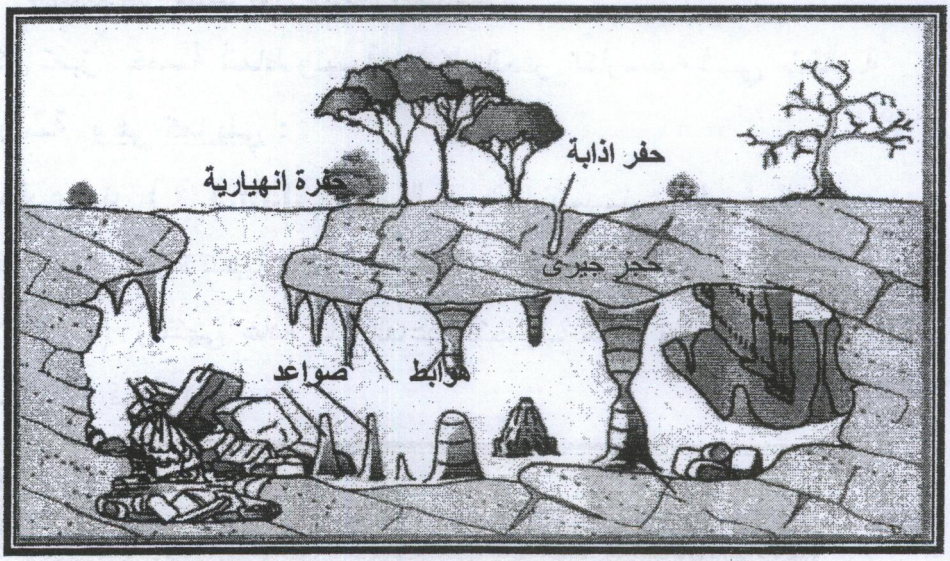
تعتبر الأمطار احد الأسباب الرئيسة التي تؤدي إلى الانهيارات والانزلاقات الأرضية نتيجة لتأثر الصخور بالعديد من الشقوق والفواصل. فعندما تتشبع هذه الصخور بمياه الأمطار أو الضباب الكثيف المشبع ببخار الماء الذي يستمر عدة اشهر خلال فصول السنة أو العيون تؤدي إلى تقليل وأضعاف قوى التماسك والشد والاحتكاك بين أسطح التلامس للكتل الصخرية وتعمل أيضا على غسيل وإذابة المواد اللاحمة في الصخور وتكوين مادة رغوية تسهل عملية انزلاق الصخور أو التربة التي تعلوها كما أنها تشكل حمل وثقل إضافي على الطبقات الصخرية مما يؤدي الى زيادة الوزن وتشقق الصخور نتيجة الثقل الواقع عليها مما يسهل عملية الانزلاق للمكونات الصخرية.

٣- عمليات التجوية داخل الحفر الكارستية

تحدث عملية التجوية بنوعيها الميكانيكى والكميائى داخل الحفر الكارستية بصورة كبيرة ، حيث تعد المسؤل الاول عن توسيعا بصورة مستمرة وتتمثل عملية التجوية الميكانيكية فى انهيار كتل من جوانبها وذلك عن طريق التمدد بواسطة ازالة الضغط ، حيث تم ازالة المياه التى كانت توجد فى الممرات ،مما يدل على حدوث ضغط هيدرو استاتيكى على الصخور ومن ثم يحدث الانهيار (Sweating ,1972, p26) كما ساعدت التجوية الكميائية بصورة كبيرة فى توسيع هذه الحفر بواسطة عملية الاماهة والتى تحدث نتيجة اضافة الماء المتسرب الى هذه الحفر الى الصخر مما ادى الى اتحاده مع بعض المعادن المكونة للحجر الجيرى الذى يعد من اكثر الصخور قابلية لعملية التميوء ومن ثم يضعف الصخر ، وادى ذلك الى تكون بعض الظاهرات الجيومورفولوجية داخل هذه الحفر مثل الصواعد والهوابط والاعمدة الجيرية كما يتضح من الشكل رقم (٩) حيث تكونت هذه الهوابط نتيجة تسرب المياه المحملة بالجير خلال الشقوق والفواصل داخل الكهف مما عمل على اضطراب بين غاز co2 الموجود فى الحفرة وغاز co2 الموجود فى المياه المتسربة حيث يخر co2 من هواء الكهف مما يعنى حدوث ترسيب الجير المحمل فى المياه على هيئة حلقات من نقطة خروج المياه من السطح . وبنفس الطريقة تكونت ظاهرة الصواعد مع اختلاف ان كمية المياه المرشحة من اعلى تسقط بصورة عمودية على قاع الكهف مما يعمل على اتساع حجم رذاذات كمية المياه وتبخرها وتبقى رواسب الجير ومع توالى هذه العملية تتكون

الصواعد وتؤثر المسافة التى تقطعها المياه من المخرج الى المسقط فى شكل وتكون الصواعد بصورة كبيرة (Bogli,1980,p25) وتحدث الاعمدة الجيرية نتيجة التحام الصواعد مع الهوابط.

شكل (٩) تكون بعض الظاهرات الجيومورفولوجية داخل الحفرة الكارستية



رابعا - نشأة هذه الحفر الكارستية وتصنيفها :

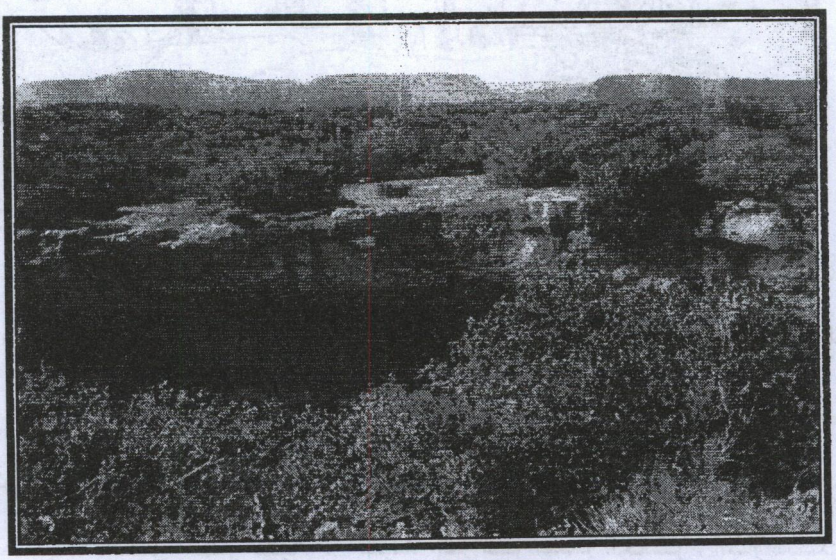
ومن خلال تقنية نظم المعلومات الجغرافية تم بناء قاعدة بيانات جغرافية ذات خصائص وقياسات مورفومترية متمثلة في قياس الأطوال والمساحات والارتفاعات والانحدارات ثم القيام بجميع التحليلات الموفومترية المعتمدة على تلك القياسات وصولاً إلى نتائج دقيقة ساعدت في تصنيف الحفر الكارستية ، حيث اقترنت نشأه الحفر الكارستية بجيولوجية المكان والظروف المناخية السائدة به فضلا عن اقترانها

بأنواعها ، وهنا يمكن أن نضع تصنيفين لهذه الحفر ، الأول و يعتمد على التصنيف من حيث النشأة وهى بذلك تنقسم إلى حفر إذابة سطحية وحفر انهيارية (إذابة متعمقة) والثاني ويعتمد على تصنيف الشكل لهذه الحفر وهى تنقسم إلى حفر البئر وحفر سطحية وحفر مركبة وحفر الكهف وحفر البحيرة .وسوف يتم تناول هذه التصنيفات كما يلي :

١- تصنيف الحفر من حيث الشكل

أمكن تميز خمسة أنماط رئيسة لشكل الحفر الكارستية في منطقة الدراسة وهى كما يلي :

أ-**حفره البئر (Jama)** وهى الحفر التي تتميز بالعمق الشديد واقطارها صغيرة نسبيا ودرجة انحدار جوانبها شديد ويتراوح بين (٨٠-٩٠) وتنتهى عادة عند القاعدة بتجويف مغلق وهى كما في الصورة رقم (٢)



صورة (٢)

الحفرة رقم (٥) ويتضح

انها من نمط الحفرة بئر

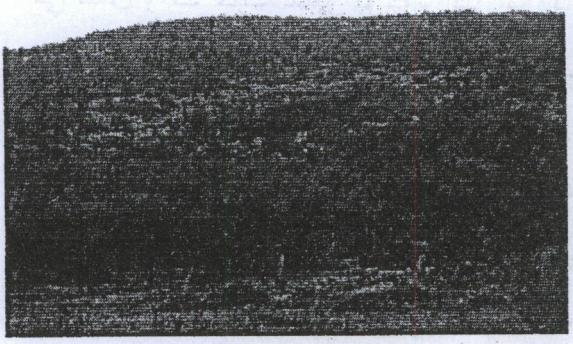
ب- الحفر المركبة

(Closed depers) وهى حفر مركبة من اكثر من حفرة تم دمجها في شكل واحد حيث تتميز بوجود اكثر من قاع لهذه الحفر التي تشكل قيعان الحفر القديمة وعادة تأخذ شكل مستطيل أو مثلث ومثال على ذلك حفرة رقم (١٠) والتي تأخذ الشكل المستطيل حيث تتميز بوجود عدد ٢ قاع لها تتميز بأنها هينة الانحدار وبها بطبقة من الرواسب تفصل بينهما منطقة مرتفعة نسبية لا توجد به رواسب .

ج- الحفر المتسعة (Polje): تمثل البولوجى منخفضات اذابة واسعة المساحة ومغلقة وتشمل على قيعان فسيحة ومستوية عادة او تنحدر انحدار هينا صوب المركز (ممدوح تهامى ، ١٩٩٧ ، ص٢٩) كما يظهر من حفرة رقم (١١-١٢- ٩) بينما يزيد درجة انحدار جوانبها على ٢٠ درجة مئوية .

صورة رقم (٣) تبين مقطع جانبي للحفرة رقم (٧) وهى من نمط الحفرة المتسعة .

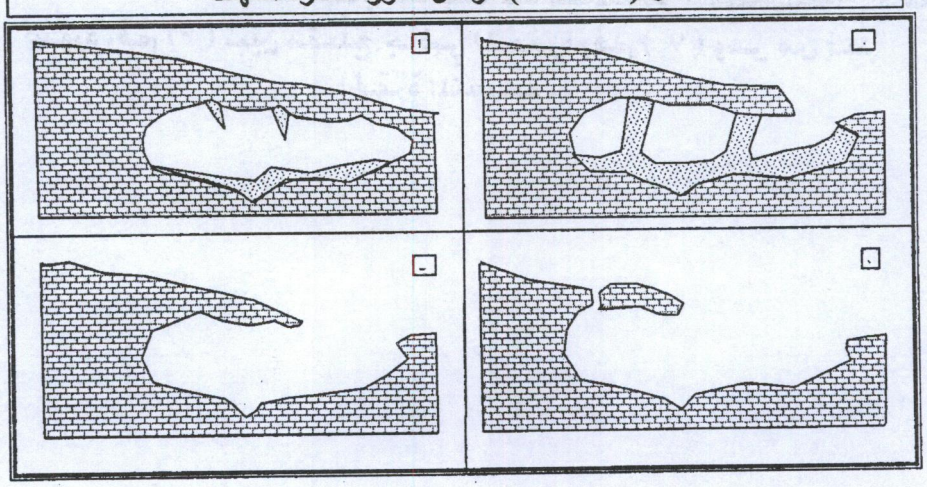
د- **حفر الكهف** وتأخذ هذه الحفر شكل الكهف الذى لم يكتمل حيث انها عبارة عن حفر انهيارية ولكن حدث الانهيار جانبيا وليس رأسيا نتيجة تأثرة بالصدوع كما يتضح فى الصورة رقم (٣)



صورة رقم (٤) للحفرة رقم (٣) وهى من نمط الحفرة الكهف

و تتكون الحفرة الانهيارية الكهفية بصورة مختلفة نسبيا عن الحفرة الانهيارية بأن تتكون نفس المراحل الاولى ولكن يكون الانهيار جانبي نسبيا عن الحفر الانهيارية العادية يمكن ان يرجع ذلك لتأثرها بالانسكارات أو نتيجة ميل التضاريس نفسها كما يتضح من شكل (١٠)

شكل (10) مراحل تطور الحفرة الكهف



ه- **حفرة البحيرة** :وهى عبارة عن حفر كارستية عميقة قريبة من البحر حيث تنجح مياه البحر فى عملية النشع والوصول الى هذه الحفر وتمتلئ بالماء كما فى الحفر رقم (٧-٨)

شكل (١١) موقع الحفر(٧و٨) من نوع حفرة البحيرة القريبة من البحر

٢- تصنيف الحفر الكارستية من حيث النشأة

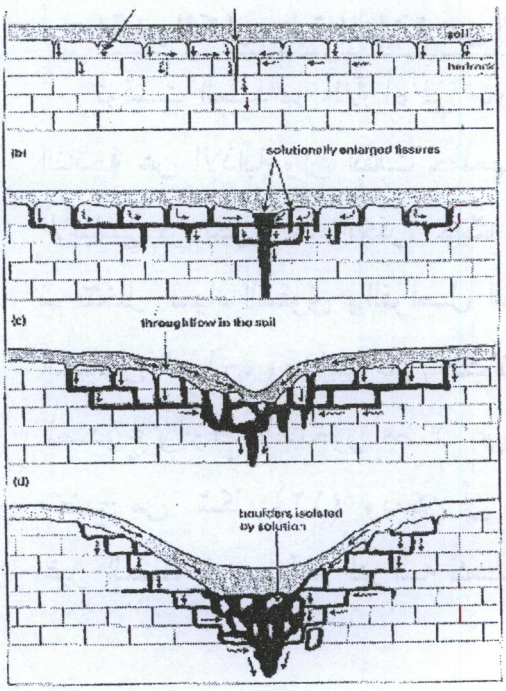
وتنقسم إلى حفر الإذابة السطحية والحفر الانهيارية وهى كما يلي :

أ - **الحفر الكارستية الناتجة عن الاذابه السطحية :**

نوقشت العديد من الآراء في معرض تفسير نشأة الحفر الكارستية الناتجة عن الإذابة وان اتفقت جميعها على أن عامل الإذابة هو العامل الأساسي في تكون هذه الحفر حيث تتجمع المياه في منخفض صغير ثم تتخلل المياه الشقوق والفواصل السطحية وتعمل على استمرار انخفاض السطح، ويساعد على ذلك توزيع هذه الحفر وتأثرها بمحاور الصدوع وأنواع الصخور فضلا عن شبكة التصريف السطحية كما يتضح من شكل (١٢) ويمكن أن ينطبق ذلك على الحفر الكارستية غير العميقة في منطقة الدراسة كما يتضح في حفر (١١-١٢)

ويرى (Marres ,1935, p 47) أن للتكوين الصخري والتراكيب الجيولوجية اثر كبير في نشأة وتكون الحفر الكارستية الناتجة عن الإذابة حيث انه لا يزيد قطرها عن ٥٠متر ولا يزيد عمقها عن ٥ متر ويشيع وجودها في الصخور الجيرية ذات الحبيبات الدقيقة ، ويتفق ذلك مع رصد من هذه الحفر .

ويساعد على هذا التفسير توزيع الحفر الكارستية وشبكة التصريف بالمنطقة حيث إن هذه الحفر تقع في المناطق هينة الانحدار عند خطوط تقسيم المياه لشبكات التصريف ، ويشير (Mortel, 1921 , p224) إلى أن هذه الحفر تكونت في النطاق السطحي غير المشبع بالماء الذي يقع فوق مستوى المياه الجوفية حيث عمليات مياه الأمطار على تكون هذه الحفر قبل أن تصل إلى المياه الجوفية .



شكل (١١) مراحل تكون الحفر الانهيارية

الحفر الكارستية الانهيارية :

يوضح شكل (١٢) طريقة تكون الحفر الانهيارية بصفة عامة .

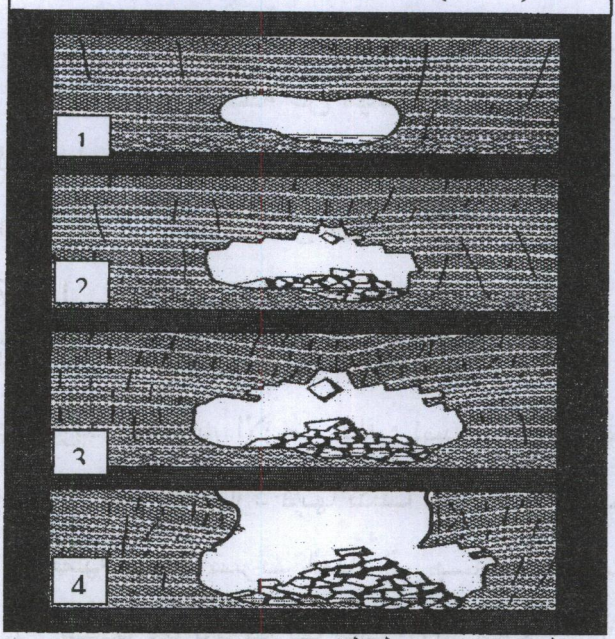
ويتضح أن تكون هذه الحفر يمر بعدة حفر وهى :

- تبدأ عملية تقويض سفلي في الطبقات السفلي والناتجة عن عملية الإذابة من المياه الجوفية الناتجة عن مياه الامطار المتسربة عبر الشقوق والفواصل ،وقد تعددت النظريات التي تناقش نشأه هذه الفراغات الباطنية التي تحدث أسفل القشرة الأرضية حيث اقترح (Ranault , 1967 , p145) نظرية تباين درجات الحرارة والتي تشير إلى أن صخور الحجر الجيري خلال فصل الشتاء

تكون باردة ويكون باطن الأرض دافئ نسبيا ، وعندما تسقط الأمطار على الحجر الجيري البارد فإنها تذيب جزء منها وتصبح مشبعا وباستمرار هذه العملية يحدث تسرب المياه إلى باطن الأرض حيث تصبح المياه اكثر نشاطا وتزداد قدرتها على الإذابة في الصخور الباطنية ، بينما اقترح (Swinnerton , 1932) أن المكان الأمثل لحدوث عملية الاذابه في باطن الأرض هو على سطح طبقة المياه الجوفية حيث تحدث اكبر كمية إذابة .

- اتساع فتحة الإذابة في الطبقة السفلية وحدوث انهيار تدريجي نتيجة زيادة عمليات الإذابة لصخور الحجر الجيري .
- يزداد مقدار الاتساع بصورة كبيرة حتى انه يقارب على الوصول لسطح الحفرة
- تصل إلى مرحلة انهيار السقف نتيجة فعل الجاذبية الأرضية وزيادة عملية الإذابة وتبقى رواسب الانهيارية موجودة في قاع الحفرة الكارستية .

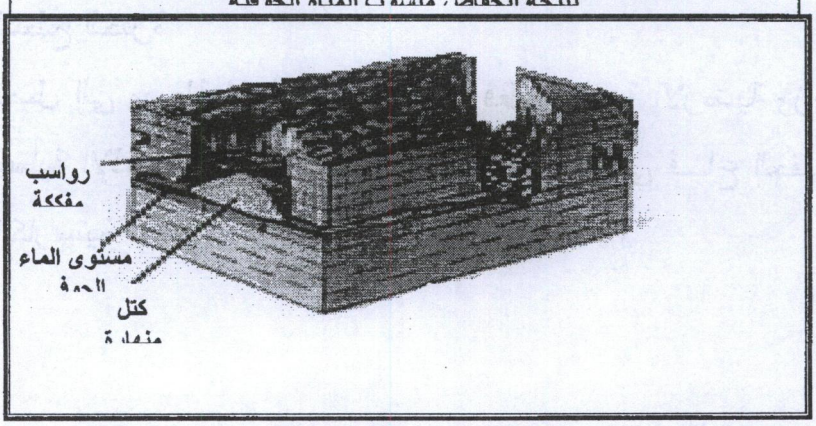
شكل (١٢) مراحل تكون الحفر الانهيارية



المصدر : من عمل الباحث

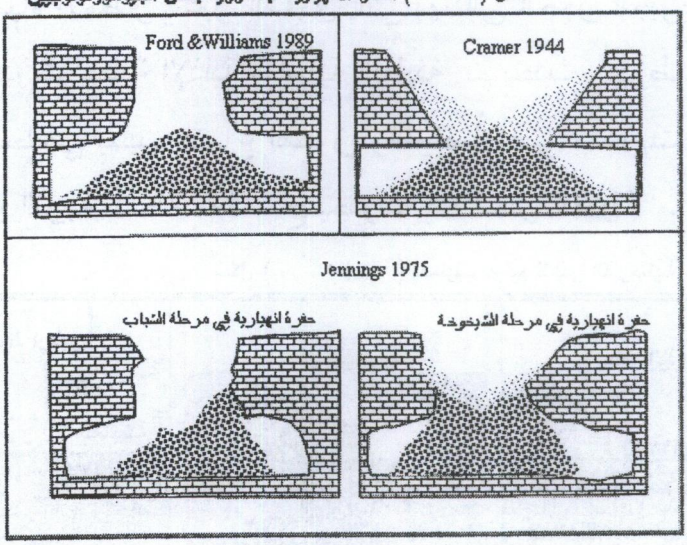
بعض الحفر الكارستية الانهيارية يمكن أن تتكون نتيجة انخفاض مفاجئ لمنسوب المياه الجوفية نتيجة استنزاف المياه ، مما يخلق فراغ تحت طبقة الصخر مما يؤدى إلى انهيار سقف بعض هـذه الصـخور بفعل الجاذبية الأرضية ويكون ذلك في الحفر ذات الأبعاد الكبيرة فـي المساحة والعمق كما يتضح من شكل رقم (١٣) .

شكل (١٣) يوضح طريقة تكون بعض الحفر الانهيارية
نتيجة انخفاض منسوب المياه الجوفية



وقد تباينت اوصاف الجيومورفوجيين فى الحفر الانهيارية كما يتضح من شكل (١٥).

شكل (١٤) الحفر الانهيارية تبعا لرؤية بعض الجيومورفولوجيين



ويرى (Waltham and Fookes. ، 2005 , p 22) ان التصنيف السابق يعد تصنيف عام وقدم تصنيفا اخر كما فى شكل (١٦).

١- **حفر الإذابة** (**Solution doline**) :

وتنشاه هذه الحفر نتيجة الإذابة السطحية التدريجية للحجر الجيري كما أنها تتميز بوجود الشقوق التي تسمح بتسرب المياه إلى أعماق كبيرة .

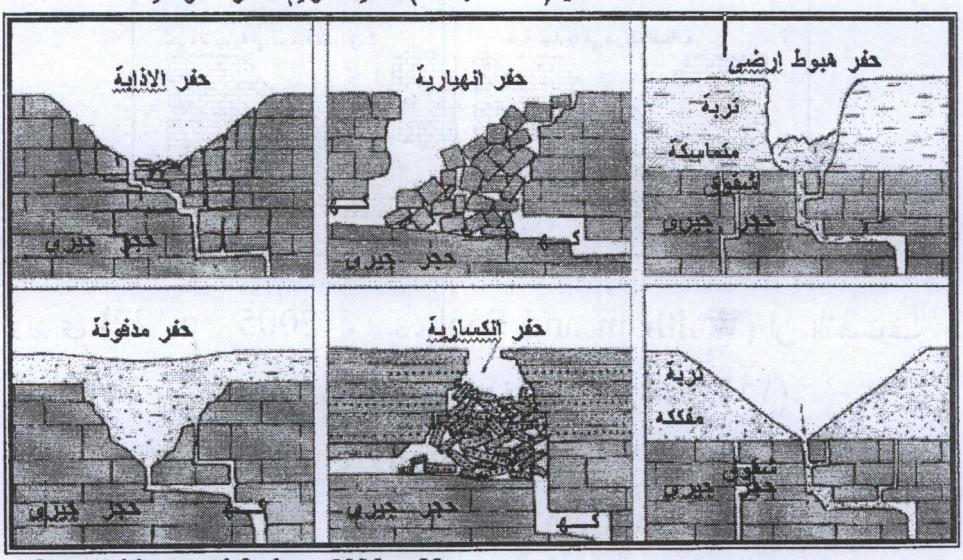
١- **حفر انهيارية** (**Collapse doline**): وهى حفر تكونت بصورة انهيار سريع ومفاجئ وتتميز بوجود كهوف ذات ممرات أسفل هذه الحفرة

حيث تسربت مياه الأمطار والشقوق إلى الحجر الجيري السفلى وتم عملية إذابة داخلية ثم حدث انهيار السقف داخل هذه الحفر وتتميز الحفر الحديثة منها بوجود رواسب عملية الانهيار .

٢-حفرة هبوط (Dropout doline):

وتتشكل هذه الحفرة في التربة المتماسكة ،تسمح هذه التربة بتسرب مياه الأمطار عبر الشقوق التي بها إلى الحجر الجيري مما يسمح بحدوث عملية الإذابة الباطنية البطيئة ثم يحدث هبوط مستوى التربة السطحي بسبب اتساع الشقوق والفواصل التي سربت كميات كبيرة من التربة بداخلة مما سمح بحدوث هذا الحفر العميقة .

شكل (١٥) تصنيف وليم للحفر الكارستية



After: Waltham and fookes , 2005 , p22

٣- الحفر المدفونة (Buried doline) :

وهذه الحفر متكونة اسفل التربة السطحية ولكنها لا تظهر نتيجة وجود غطاء كثيف من التربة و قد تحدث نتيجة انهيار تربة على حفرة انهيارية قديمة او نتيجة تغير بيئى بطئ (Bezuidenhout ، p 25 and Enslin, 1970)

٥- **حفر انكسارية (Caprock doline)**

وهى حفر ناتجة عن نفاذ او انخفاض منسوب المياه الجوفية مما ادى الى وجود فراغ داخلى اسفل الصخور مما عمل على انكاسر الصخور نتيجة الجاذبية الارضية .

٦- **حفر الإزاحة (Suffosion doline)** وتحدث عملية إذابة باطنية بطيئة تحت سطح الأرض ، مما يؤدى الى حدوث انخفاض فى طبقات التربة السفلى ، حيث تتسرب هذه الطبقات داخل الشقوق والفواصل اسفل الحفرة .

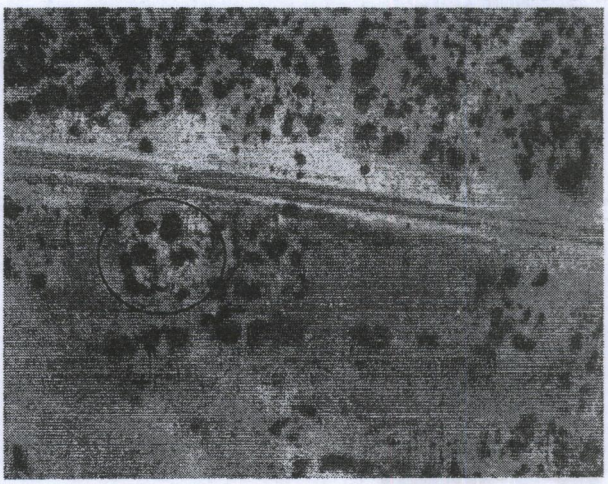
الأهمية التطبيقية للحفر الكارستية :

للحفر الكارستية دور سلبي على كافة أنماط النشاط البشرى حيث نجد أنها قد تتكون بجانب المحلات العمرانية آو الطرق كما يتضح الحفرة رقم (٢) حيث يمكن أن يؤثر ذلك بصورة كبيرة على الطرق ، فضلا عن تعرض المباني والمنشآت للكثير من الأخطار من جراء هذه الحفر

لذلك ينبغى التالى :

- الرجوع الى جهة الاختصاص عند تنفيذ اي مشاريع انشائية من اجل عمل دراسات جيولوجية وتكتونية وزلزالية بالاضافة الى دراسة ميكانيكية التربة والصخور للمواقع المراد استخدامها .
- اخلاء المنازل التي بنيت فوق مناطق خطرة وتحسبا لسقوط مفاجيء الى اسفل هذه الحفر .
- اعداد خرائط جيوبيئية يحدد عليها مواقع الحفر الكارستية في منطقة الجبل الاخضر ومدى درجات خطورتها من اجل الاستفادة منها مستقبلاً.

- تصميم وتنفيذ قنوات تصذريف لمياه الامطار لمنعها من التغلغل ووصولها الى الحجر الجيرى ، بحيث هذه القنوات تخترق الطبقات الطينية حتى الوصول الى الحجر الجيرى من اجل منع تشبع الطبقات الجيرية بالمياه. فضلا عن استخدام هذه المياه فى منافع الحياه .



شكل (١٦) الحفرة رقم (٢) وخطرها على طريق سوسة – رأس الهلال المجاور لها .

الخـــــــاتمة

تمثل الحفر الكارستية بالجبل الاخضر مظهـر جيومورفولـوجى فريد، وهذه الظاهرة من الظاهرات التى تنشئ بصورة تحت سطحية او فوق سطحية وذلك تبعا لطريقة نشأه هذه الحفر ، **ويمكن ايجاز الخاتمة في عدة نقاط وهى :**

- هيأت العوامل الطبيعية الظروف المواتية لنشأت هذه الحفر وذلك من خلال تكوينات جيولوجية سطحية ضعيفة أمام عمليـات الإذابـة متمثلة في الحجر الجيري المتعدد التكوينات تبعا للعصور حيث يمثل العصر الكريتاسى تكوين الهلال وتكوين الاثرون وتمثل عصـر الايوسين في تكوين أبولونيا وتكوين درنة وأخيرا عصر الاليجوسين المتمثل في تكوين الفؤادية مع انتشار شبكة كثيفـة ومتنوعـة مـن الشقوق والفواصل والتى كانت الممر الاول للمياه المؤثرة علـى عملية الاذابة فضلا عن ان بعض الانكسارات اثرت على اتجاهات محاور بعض الحفر الكارستية ويتضح ذلك في محاور الحفر رقـم (٤-٥-٦) ، فضلا عن وجود ظروف مناخية ملائمة وهى مناخ شبة رطب ضمن وجود كميات وفيرة من مياه الامطار ، كما اثـر المظهر التضاريسى بصورة كبيرة على هذه الحفـر مـن خـلال المناطق الهينة الانحدار والتى تضمن استقرار المياه لفتـرة تسـمح بتسرب هذه المياه فضلا عن اثرت الجروف على توجيـه بعـض اتجاهات الحفر الكارستية.

- أكدت دراسة الخصائص المورفومترية لهذه الظاهرة على وجود علاقة وثيقة بين الخصائص المورفومترية للحفر ونوع العملية التى تسببت فى نِشأتها كما ساعدت فى تصنيف الحفر الكارستية فضلا عن دراسة القطاعات العرضية لها و وما بها من مدلولات جيومورفولوجية ، وبدراسة العمليات الجيومورفولوجية السائدة فى الحفر الكارستية تباينت بين عملية الاذابة الاساسية فى نشأه هذه الحفر وعملية الانهيار سواء الانهيار القديم والمواكب لكشف الحفر الكارستية ويتمثل فى انهيار السقف او الانهيار الحديث والمتمثل فى انهيار جوانب هذه الحفر ، كما ساعدت عملية التجوية بصورة كبيرة فى توسيع هذه الحفر .
- تم تصنيف هذه الحفر لعدة انواع تبعا لطريقة نشأتها فمنها ما تكون نتيجة الاذابة السطحية وهى الحفر غير العميقة ويتضح ذلك في الحفر رقم (١١ و١٢) ومنها ما تكون نتيجة عملية الانهيار التالية لعملية الاذابة الباطنية لصخور الحجر الجيري وينطبق ذلك على باقي الحفر المدروسة في المنطقة ، وتم تميز خمسة أنماط رئيسة للحفر الكارستية من حيث الشكل وتمثلت في الحفر البئر كما في الحفرة رقم (٥) والحفر الكهفية كما في الحفرة رقم (٣) والحفر المركبة كما في الحفرة رقم (١٠) والحفر المتسعة كما في الحفر رقم (١٢) والحفر البحيرة كما في الحفرة رقم (٧ و٨).
- أثرت الحفر الكارستية على الظاهرات الجيومورفولوجية التى حولها وذلك فى تأثرها على اتجاهات بعض المجارى المائية كما تأثرت ببعض الجروف التى اثرت على اتجاهات محاور بعض

هذه الحفر، كما تم تصنيف الحفر تبعا للشكل حيث تمثلت فى حفر البئر وهى الحفر العميقة ذات القطر الضيق والحفر الكهف والحفرة المتسعة والحفر المركبة الناتجة عن التحام اكثر من حفرة ، وفى النهاية تم معرفة الاثر السلبى والمتمثل فى عملية الانهيار التى تحدث فى اى مكان سواء طرق او محلات عمرانية والايجابى للحفر الكارستية على اللانسان والمتمثل فى تربة قيعان هذه الحفر الغنية بالمواد العضوية التى تستخدم فى الزراعة فضلا عن بعض هذه الحفر مزوع بالفعل.

أولا : المصادر والتقارير

١-**امانة التخطيط** ، مصلحة المساحة ، الاطلس الوطنى . طرابلس للنشر والتوزيع ، بنغازي (١٩٨٢)

٢- **الجماهيرية العربية الليبية** ، خرائط طبوغرافية ، لوحة البيضا، لوحة سوسة ، لوحة رأس الهلال ، مقياس ١:٥٠٠٠٠ ، الجيش الامريكى ، ١٩٦٤ .

٣- **امانة الزراعة المرج** ، صور جوية ، الجبل الاخضر ، مقياس ١:٢٠٠٠٠ ، ١٩٧٤ .

٤ - **الادارة العامة للبحوث الجيولوجية** ، خريطة ليبيا الجيولوجية ، طرابلس ، ليبيا ،١٩٨٥ .

٥- **المركز الوطنى للارصاد الجوية** ، طرابلس ، ليبيا ، ٢٠٠٣

6- Department of water and soil, Eastern zone Branch , Libyan ,1992

ثانيا : المراجع العربية

١) حسن على يوسف (٢٠٠٥) جيومورفولوجية كهوف جبل القارة بالإحساء شرقي المملكة العربية السعودية ، الاصدرة الرابعة عشر الملحقة بالعدد أربع وخمسون -كلية الآداب- جامعة الإسكندرية .

٢) خليفة الشحومى (٢٠٠٣) مورفولوجية الكارست في المنطقة الممتدة بين درنة وسوسة بالجبل الأخضر – شرق ليبيا ، رسالة ماجستير غير منشورة ، جامعة قار يونس – كلية الآداب – قسم الجغرافية .

٣) سالم محمد الزوام (١٩٩٥) الجبل الأخضر دراسة في الجغرافية الطبيعية ، دار الكتب الوطنية ، بنغازي .

٤) محمد صبري محسوب (٢٠٠١) الأطلس الجيومورفولوجى معالجة وتحليل للشكل والعملية، الطبعة الأولى ، دار الفكر العربي ، القاهرة

٥) محمد صبري محسوب (١٩٩٨) جيومورفولوجية الأشكال الأرضية ، دار الفكر العربي ، القاهرة

٦) محمد مجدي تراب (٢٠٠٥) أشكال سطح الأرض ، منشأه المعارف ، الإسكندرية

٧) محمد محمود طه (٢٠٠٠) منخفضات الهضبة الجيرية فيما بين وأدى النيل والخارجة ، العدد السادس والثلاثون – الجمعية الجغرافية المصرية

٨) ممدوح تهامى عقل (١٩٩٧) : جيومورفولوجيـــة الظـــاهرات الكارستية فيما بين واديى الكلب وابـــراهيم بلبنـــان ، المجلـــد الخامس والاربعون – كلية الادب – جامعة الاسكندرية .

ثالثا : المراجع الاجنبية

1) **Barr, F.T.and Hammuda O.S, (1971)** " Biostratigraphy and planktonic zonation of Upper Cretaceous Atrun Limeston and Hilal Shale, Northeast Libya "In: Farinacci, A (Ed.) Proc 2nd .Int .cont.Plankt. Microfossils Rome, 1970 ,pp27-40
2) **Bogli , A .(1980)** " Karst Hydrology and physical Speleology " Transvaal Museum Pretoria ,Mem .11.
3) **Cramer, H., (1944):** Die Systematik der Karstdolinen. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, Beilage Band, Abt. B, 85, 293-382
4) **El Hawat A . S. and Shelmani M A (1993) :** Short Notes and Guidebook on the geology of AL Jabal AL Akdar Cyrenaice Ne Libya .Sedimentary Basins of Libya.
5) **Fink, M. H. (1973)** " Mehrsprachiges Lexikon der Karst- und Hohlenkunde Entwurf .ISU , Int. Speleoi.Union.
6) **Ford, D.C. & Williams, P.W (1989).** Karst Geomorphology and Hydrology, London and Boston: Unwin Hyman
7) **Hideroprojekat, (1972)** master plan, development of water resources in Wadi Derna region

8) **Hutchinson, G.E.(1957)** " A Treatise on Limnology " New York and London, Wiley

9) **Jennings, J., (1975)**: Doline morphometry as a morphogenetic tool: New Zealand example. New Zealand geographer, 31, 6 – 25

10) Jennings, J.N .(1985) : Karst Geomorphology, Oxford: Blackwell–

11-Marres, P. (1935) "Les Garnds Causses" 2 vols. (Tours, Arrault).

12-Martel, E.A. (1921) " Nouveau traite des eaux souterraines " : O . Doin –

13- Rachocki A.(1981) : "Alluvial Fans John Wiley &Sons .New York. –

14- Renault, Ph. ,(1967) : Contribution a l'étude des actions mécaniques dans la spéleogenese. Annales de spéléologie, 22, 1, 5 - 596

15- Rohlich P. (1974) " Geological Map of Libya, scale 1:250000" Sheet : - Al Bayda, N134-15 Explanatory Booklet , (I .R.C., L.A.R. Tripoli)

16- Rohlich P. (1980) "Tectonic development of Jabal al Akhder" in M.J.Salem and M.T.Buserwil (Eds.), Geological of Libya. Academic Press London, lll : 923-931.**Sweeting MM .(1972)** : Karst Landforms. MacMillan : London.

18 - Swinnerton , A.C.(1932) " Origin of Limestone Cavern " Bull . Geol .Soc .Am.,663-693

19- White, W.B., (1988) :Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains . Oxford University Press, Oxford. 464 pp