Journal of Al-Farabi for Humanity Sciences (3) Issue (3 December (2024)

ISSN: 2957-3874 (Print)
Journal of Al-Farabi for Humanity Sciences (JFHS)
https://www.iasj.net/iasj/journal/419/issues
مجلة الفارابي للعلوم الإنسانية تصدرها كلية الفارابي الجامعة

النمذجة الطبوغرافية باستخدام المرئيات الفضائية لظاهرة الكارست غرب وادي حوران

أ.د نبراس عباس ياس

قسم الجغرافية/كلية الاداب/الجامعة العراقية

Topographic Modeling of Karst Features in Western Wadi Horan Using Remote Sensing Data

Prof. Dr. Nibras Abass Yas
Department of Geography, College of Arts, University of Al-Iraqia
Email: nibras_yaas@aliraqia.edu.iq

-الملخص(Abstract)

تتناول الدراسة تحليل القابلية الكارستية في شمال غرب وادي حوران باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية. تتميز المنطقة بانتشار تكوينات كلسية وكبريتاتية وملحية شديدة الذوبان وتقطّع بنيوي واسع، ما يجعلها بيئة مثالية لتطور الدولينات والانخسافات والانهيدرايت السطحية. تهدف الدراسة إلى تحديد أبرز العوامل الجيولوجية والطبوغرافية والبنيوية المؤثرة في نشوء الكارست، وبناء نموذج مكاني يوضح درجات الحساسية الكارستية. تعتمد المنهجية على استخدام بيانات الارتفاع الرقمية(DEM) ، الخرائط الجيولوجية، صور الأقمار الصناعية، لإنتاج خريطة نهائية للقابلية الكارستية. ومن المتوقع أن تسهم النتائج في وضع أسس علمية لبيان الاشكال الجيومورفولوجية الكارستية. ان منطقة الدراسة تقع ضمن نطاق جيولوجي غني بالصخور الرسوبية القابلة للذوبان (الإيوسين، الباليوسين، الميوسين)، وهو ما يجعل المنطقة شديدة التأثر بالكارست. التفاعل بين الطبوغرافيا العالية غربًا، ونهر الفرات شرقًا، مع الطبيعة الجيولوجية الكلسية/الجبسية، يخلق بيئة مثالية لظهور المظاهر الكارستية مثل الكهوف، الدولينات، الانهيارات الأرضية، والأنهار الجوفية والمياه المتسربة من الفرات وشبكة الأودية تُعجّل عملية الإذابة الكارستية.الكلمات **المفتاحية: نمذجة ، طبوغرافية، كارست، مرئيات فضائية، حوران**

Abstract

This study investigates karst susceptibility in the northwestern sector of Wadi Horan through the integration of remote sensing data and Geographic Information Systems (GIS). The study area is distinguished by widespread limestone, gypsum, and halite formations, all of which are highly soluble, in addition to extensive structural discontinuities. These conditions collectively create a favorable setting for the development of dolines, sinkholes, and surface anhydrite features. The primary objective is to identify the key geological, topographic, and structural factors controlling karst processes and to construct a spatial model that delineates different levels of karst susceptibility. The methodology employs Digital Elevation Models (DEM), geological maps, and satellite imagery to generate a final susceptibility map. The expected outcomes contribute to establishing a robust scientific basis for identifying karst geomorphological features and understanding their spatial distribution. The study area lies within a geological framework dominated by soluble sedimentary rocks of the Eocene, Paleocene, and Miocene ages, rendering it highly vulnerable to karstification. Furthermore, the interaction between the elevated topography in the west and the Euphrates River in the east, combined with the limestone–gypsum lithology, provides an ideal environment for the emergence of karst phenomena such as caves, dolines, landslides, subterranean rivers, and infiltration of Euphrates water into the drainage network, which accelerates dissolution processes

Keywords: Karst modeling, Topography, Remote sensing, GIS, Wadi Horan

المقدمة(Introduction)

عَدّ الظواهر الكارستية من أبرز المظاهر الجيومورفولوجية التي تتشكل في البيئات الكلسية والجبسية نتيجة عمليات الإذابة والذوبان المائي للصخور، وما ينتج عنها من تكوينات سطحية وتحت سطحية كالدولينات والبوليات والكهوف والانخسافات الأرضية. وتمثل هذه الظواهر عاملًا جيومورفولوجيًا مؤثرًا في تشكيل سطح الأرض وفي تحديد طبيعة استغلال الموارد والأراضي، فضلًا عن كونها من المخاطر الطبيعية التي قد تُهدّد الاستقرار البنية التحتية في المناطق المعرضة لها. تتميز المنطقة الغربية من العراق، وبخاصة وادي حوران ومحيطه، بانتشار التكاوين الرسوبية الكلسية والجبسية التي تعود إلى العصور الإيوسين والميوسين وما تلاها، إضافة إلى تعقيدها البنيوي المتمثل في الصدوع والفواصل والشقوق الصخرية. وقد أسهمت هذه الخصائص الجيولوجية والطبوغرافية والهيدرولوجية في توفير بيئة مثالية لتطور الظواهر الكارستية بمختلف أشكالها. ويزيد من خطورة هذه الظواهر غياب خرائط دقيقة توضح مناطق القابلية الكارستية وتحدد نطاقاتها المكانية. لقد وفرت تقنيات الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية (RS & GIS) إمكانات واسعة لدراسة وتقييم القابلية الكارستية، من خلال دمج وتحليل المعايير المكانية المختلفة (الجيولوجيا، البنية، الانحدار، الارتفاع، التصريف) ساعدعلى بناء نموذج مركب يُظهر التباين في حساسية المناطق لظهور الكارست بدرجاته المختلفة.

مشكلة البحث:

تزايد ظواهر الانخساف والانهدام السطحي في المناطق الكلسية والجبسية غرب العراق يثير مخاطر جيومورفولوجية على البنية التحتية والأنشطة البشرية، في ظل غياب خرائط متخصصة تحدد مناطق القابلية الكارستية بدقة علمية معتمدة على التحليل المكاني والجيولوجي المتكامل.

فرضية البحث:

فترض الدراسة أنّ **توزيع المظاهر الكارستية في المنطقة مرتبط بدرجة كبيرة بالتفاعل بين البنية الجيولوجية (التكاوين الكلسية/الجبسية والصدوع)، والطبوغرافية (الانحدار والارتفاع والانحناء)، والهيدرولوجية (كثافة التصريف ورطوبة السطح)، بحيث يمكن التنبؤ بمناطق القابلية الكارستية العالية من خلال نموذج مكاني مركّب.**

هدف البحث

-تحليل البنية الجيولوجية والبنيوية (التكاوين الكلسية/الجبسية والصدوع) وعلاقتها بتطور الظواهر الكارستية.

-شتقاق الخصائص الطبوغرافية) الانحدار، الاتجاه، الانحناء، من بيانات الارتفاع الرقمية (DEM) وتحديد أثرها في نشوء الكارست. ودراسة العلاقة بين العوامل الهيدرولوجية (كثافة التصريف، المسافة إلى المجاري) والقابلية الكارستية.

اهمية البحث

١- توفير خريطة علمية دقيقة لمناطق القابلية الكارستية تسهم في تخطيط المشاريع العمرانية والطرقية.

٢-المساعدة في الحد من المخاطر الطبيعية المرتبطة بالانخسافات والانهدامات.

٣-رفد الدراسات الجيومورفولوجية في العراق بأداة تحليلية حديثة تعتمد على GIS و.RS

-منهجية البحث

يعتمد هذا البحث على المنهج التحليلي الكمي المكاني والوصفي، الذي يُعنى بدراسة العلاقات بين العوامل الطبيعية والبيئية التي تؤثر في الاشكال الكارستية التي تؤثر في البنى التحتية.وتم استخدام عدة طرق لجمع البيانات منها:-

-مرئيات فضائية(Landsat-8/9) ، (Sentinel-2)

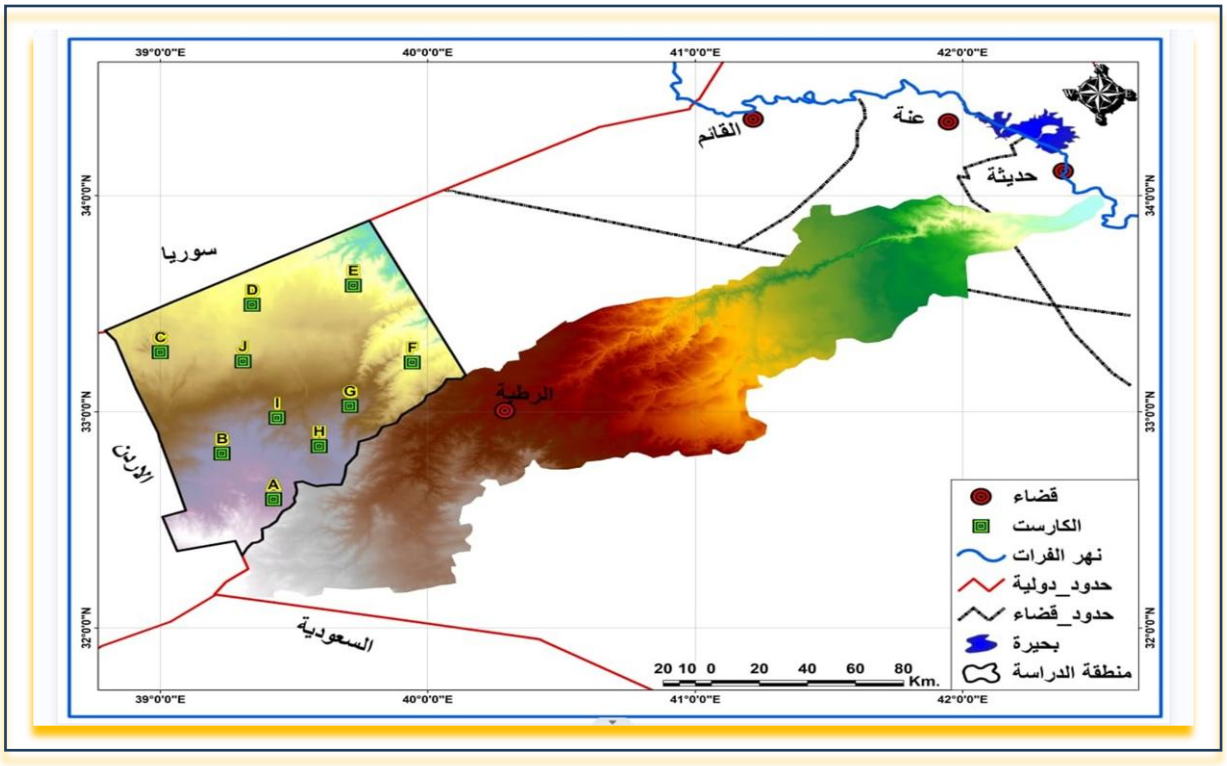
-نموذج الارتفاع الرقمي SRTM أو ASTER بدقة ٣٠م.

-خرائط جيولوجية وبنيوية وتربة مع بيانات الصدوع والفواصل.

-موقع منطقة الدراسة :-

تقع منطقة الدراسة اداريا ضمن محافظة الأنبار اذ يحدها من الشمال قضاء حديثة وعانة وصولاً إلى الحدود السورية وشرقاً نهر الفرات ومدينة حديثة. وغرباً الحدود العراقية – السورية – الأردنية اما جنوباً الحدود العراقية – السعودية ، واهم المدن والأقضية المهمة التي تقع ضمن منطقة الدراسة هي حديثة، عانة، القائم، الرطبة. هذا يعني أن المنطقة تقع في الجزء الغربي من العراق اما الموقع الفلكي (٣٢° – ٣٤° شمالاً) و (٣٩° – ٤٢° شرقاً) وتبلغ مساحة منطقة الدراسة (١١٧٢٩.٣٠كم٢). خريطة (١)

خريطة(١) موقع منطقة الدراسة



المصدر :-جمهورية العراق،وزارة الموارد المائية،الهيئة العامة للمساحة،خريطة العراق الادارية،مقياس(١/١٠٠٠٠٠٠)،٢٠١٧.

اولا-الخصائص الجغرافية والطبوغرافية:

أ-البنية الجيولوجية:

-ترسيات الإيوسين :(Eocene deposits)

تعود إلى العصر الإيوسين، وهو أحد عصور الحقب الثلاثي في السجل الجيولوجي. يُمثّل الإيوسين الفترة الزمنية التي تمتد تقريبًا من حوالي ٢٣ مليون سنة إلى حوالي ١٦ مليون سنة مضت، وهي غالبًا من الصخور الكلسية والمارلية، وهذه أكثر الوحدات الجيولوجية تعرضًا لظواهر الكارست.[١]

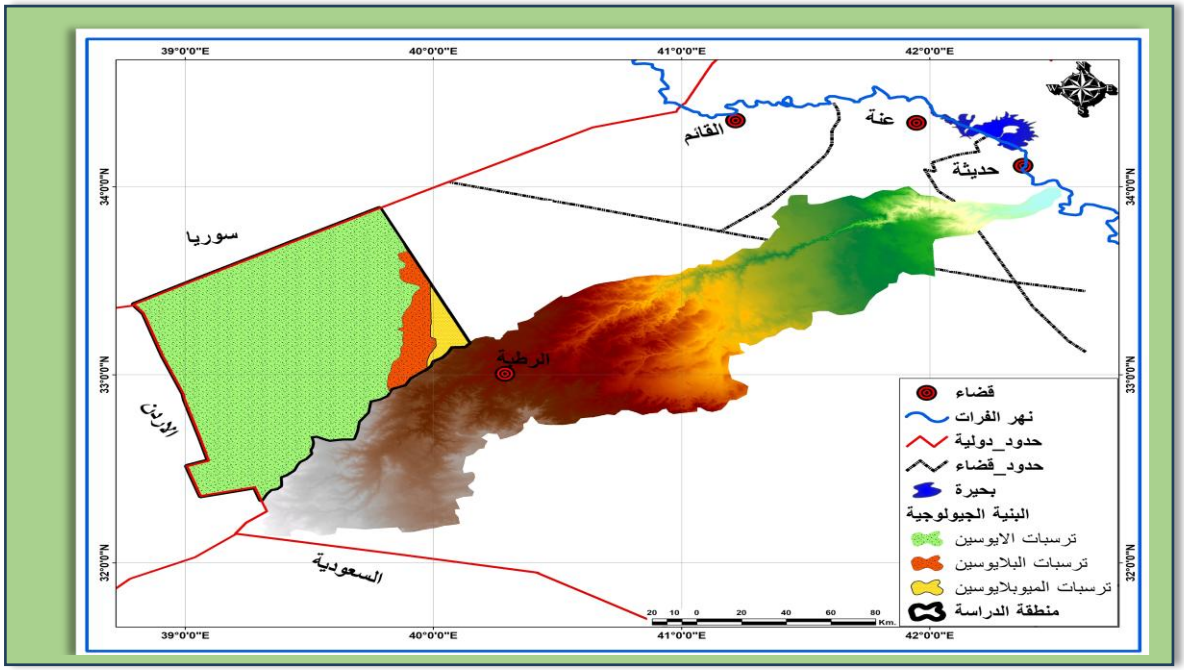
-ترسيات الباليوسين :(Paleocene deposits) تعود إلى عصر الحقبة الميوسين (الميزوزويك)، وتحديدًا إلى فترة الوسطى من زمن الحقب الثالث (الثلاثي). يبلغ عمر ترسيات الباليوسين تقريبًا من ٢٣ مليون سنة إلى ٥.٣٣ مليون سنة مضت، ويمتاز بتنوع الحياة، وشهد الباليوسين تنوعًا كبيرًا في الحياة الفقارية والبحرية، مع ظهور الحيتان والأسماك الكبيرة والطيور الحديثة وتطور الثدييات، بدأ الثدييات تتنوع بشكل ملحوظ، وظهرت فيها العديد من الأنواع التي تطورت لتكون أسلاف الثدييات الحديثة. [١] وتطورت ترسيات الباليوسين نتيجة لعمليات الرفع والانخفاض في مستوى سطح البحر، وتضمنت طبقات صخرية تحتوي على صخور رسوبية قد تكون كلسية أو جيرية، تساهم أيضًا في إذابة الكارست.

-ترسبات الميوبلايوسين :(Miocene deposits) ترسبات الميوبلايوسين هي طبقات ترسيبية تتكون من مجموعة من الرسوبيات البحرية القديمة التي تعود إلى حقبة الميوسين، وهي جزء من الحقبة الوسطى في تاريخ الأرض، وتحديدا تعود إلى حوالي ٢٣ إلى ٢.٦ مليون سنة مضت. تتكون من مجموعات من الأحجار المفتتة، والطين، والرواسب العضوية، وتمتاز باحتواؤها على أحافير بحرية وحيوانات ونباتات قديمة. [١] وتمتاز بكونها ذات بيئة بحرية وتظهر في طبقات جيولوجية واضحة ذات سمات مميزة. ويمكن أن تحتوي على معادن قيمة مثل الحديد والمنغنيز ، وهي صخور رسوبية تشمل الجبس والأنهيدرايت مع الصخور الكلسية، وهي بيئات مثالية لتطور الكارست خاصة في الصخور الجبسية. خريطة(٢)

ب-الصدوع

يبرز اثر الصدوع مثل صدع بخمة و صدع قلعة نزة اذ يؤدي إلى تكوين فواصل وشقوق واسعة في الصخور الكلسية، تسهّل من تسرب مياه الأمطار والسيول إلى الأعماق، كلما زادت النفاذية، زادت قدرة المياه على إذابة كربونات الكالسيوم، مما يعجّل في تشكّل المظاهر الكارستية.خريطة(٣)وهذه الصدوع تعمل كقنوات طبيعية" لتصريف المياه داخل الصخور الكلسية والجبسية، وهذا يساهم في تكوين أنهار جوفية واتساع الفجوات تحت السطح وغالبًا ما تصطف الينابيع الكارستية على امتداد خطوط الصدوع،

خريطة(٢) الترسبات الجيولوجية لمنطقة الدراسة



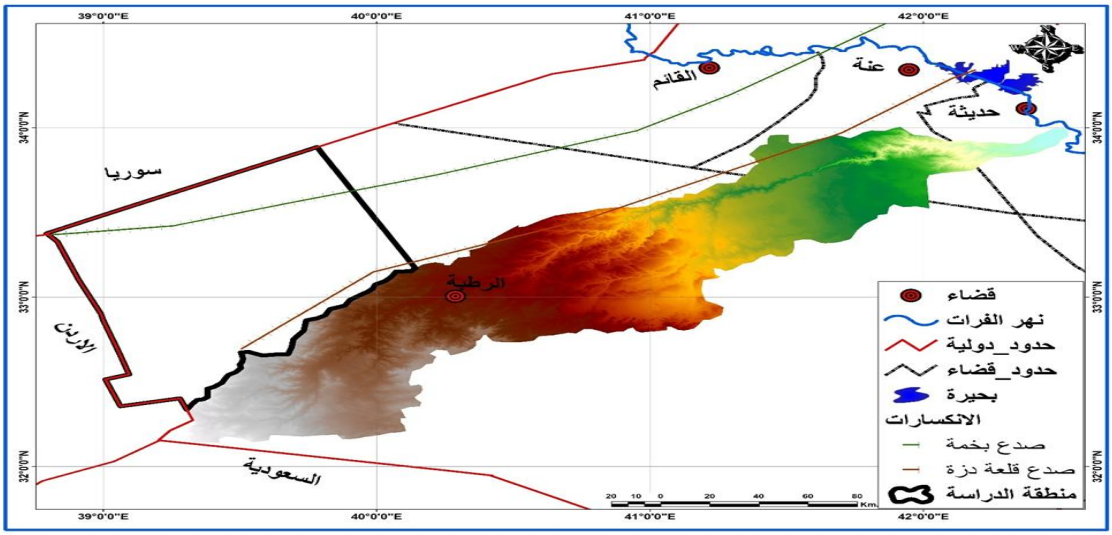
المصدر :-جمهورية العراق، وزارة الصناعة،الهيئة العامة للمسح الجيولوجي، خريطة العراق الجيولوجية، مقياس (١/١٠٠٠٠٠٠)،٢٠١٣.

وعند التقاء الصدوع والفواصل الصغيرة، تتسع مناطق الإذابة لتكوّن الكهوف الكبيرة والسطح فوق هذه الفجوات معرض للانهيار، مما ينتج دولين وانخسافات أرضية. ان وجود الصدوع يؤدي إلى اختلاف في مستويات السطح (رفع أو هبوط كتل صخرية).هذا التباين يزيد من اندفاع المياه وانحدارها، ويعزز عمليات الإذابة الكارستية على طول المنخفضات. تعد الصدوع والانكسارات هي العامل البنيوي الأساسي في نشوء وتطور الكارست في الرطبة.[٦] لأنها تزيد من: (نفاذية الصخور، تسرب وتوجيه المياه الجوفية، سرعة الإذابة الكيميائية، تكوين الكهوف والينابيع الكارستية) وبذلك فإن مناطق وجود الصدوع هي الأكثر عرضة للمظاهر الكارستية، وتشكل بؤرًا نشطة للتغيرات الجيومورفولوجية.

ج- أقسام السطح:

-**منطقة الحمادة** :-تمثل هضاب صخرية واسعة شبه مستوية مغطاة بالصخور الجيرية والصوانية، تفتقر للتربة العميقة، ما يسرّع تسرب المياه إلى باطن الأرض، هذه المنطقة بيئة مناسبة لتطور الكارست السطحي (شقوق، فجوات، دولينات) بسبب وفرة الصخور الجيرية.

خريطة(٣) الصدوع ضمن منطقة الدراسة



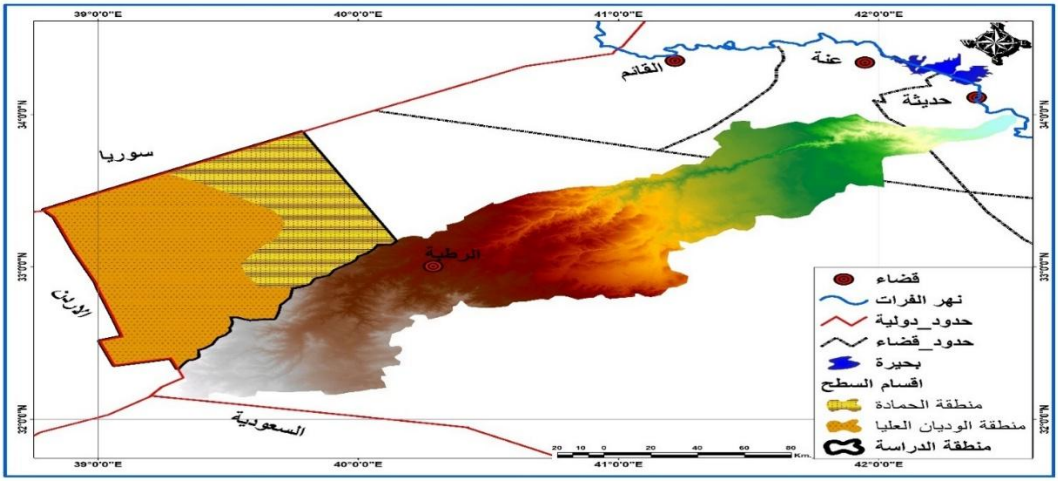
المصدر :-جمهورية العراق، وزارة الصناعة،الهيئة العامة للمسح الجيولوجي، خريطة العراق الطبوغرافية، مقياس (١/١٠٠٠٠٠٠)،٢٠١٠.

-**منطقة الوديان العليا:**- تتميز بوجود شبكة أودية متقطعة وسيول موسمية.الانحدارات تسهّل جريان المياه وتغلغلها عبر الفواصل والشقوق، و تشكل مناطق تغذية للمياه الجوفية، ما يؤدي إلى توسع الكهوف والأنهار الجوفية. وتشمل الامتداد الطبوغرافي من المرتفعات غربًا (البني الداكن) إلى المنخفضات شرقًا (الأخضر الفاتح). تربط بين بيئة الحمادة والهضاب غربًا ونهر الفرات شرقًا. وان المنطقة الانتقالية بين الهضاب ونهر الفرات تمثل أكثر البيئات عرضة لتطور الكارست نظراً لتقاطع العوامل الطبوغرافية والهيدرولوجية فيها.الخريطة(٤) توضح أن قضاء الرطبة يتدرج من الهضاب الكلسية الغربية (الحمادة والوديان العليا) إلى السهول والفرات شرقًا، وهو ما يخلق بيئة طبيعية مثالية لتطور الكارست. إذابة الصخور الكلسية/الجبسية بفعل الأمطار والسيول الموسمية. [٦] مع تأثير نهر الفرات كعامل تغذية جوفية، يؤدي إلى تشكّل كهوف، دوليات، انخسافات أرضية، وينابيع كارستية.خريطة(٤) وشكل(١)

د-طبيعة سطح منطقة الدراسة

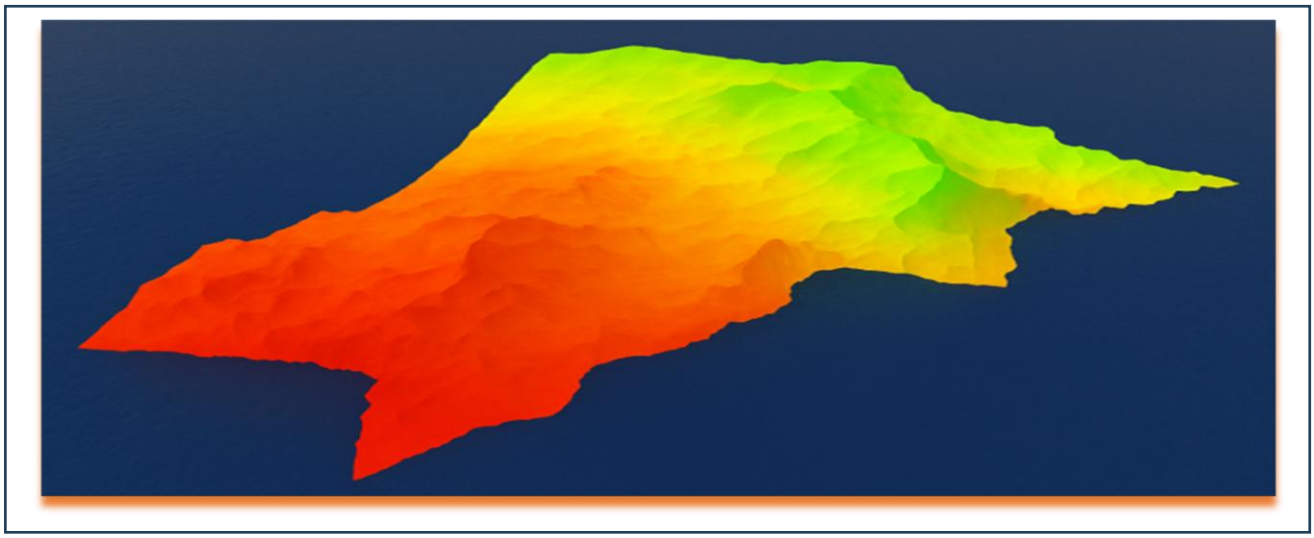
-**خريطة اتجاه الانحدار**:توضح الخريطة اتجاه انحدار الأراضي ضمن منطقة الدراسة نحو الجهات المختلفة.أغلب الانحدارات تتجه نحو الشمال الشرقي والشرق، مناطق الانحدار المنخفض تقع في المناطق الشرقية، وهي مناسبة لتجمّع المياه، ويوثر اتجاه الانحدار على حركة المياه السطحية والجوفية،وان الانحدارات نحو الشمال الشرقي تسمح بتسرب المياه باتجاه منخفضات يمكن أن تتشكل فيها الظواهر الكارستية. [٦] كما ان المناطق المسطحة تشجع على تراكم المياه وتغذيتها للصخور الجيرية، مما يزيد من ذوبان الصخور الكربونية وتشكّل الكهوف. [١]

خريطة(٤)اقسام السطح ضمن منطقة الدراسة



المصدر :-

شكل (١) مجسم ثنائي الابعاد لمنطقة الدراسة



المصدر: من عمل الباحثة باستخدام برنامج(arc scene)

-**خريطة الكنتور (الخطوط الكنتورية)**:توضح الخريطة خطوط الارتفاع بالكنتور، وتشير إلى اختلاف التضاريس بين الغرب (مرتفع) والشرق (منخفض)، توزيع الظواهر الكارستية (A–J) يتركّز غالبًا في المناطق ذات ارتفاعات بين(٦٥٠ إلى ٨٠٠ م) والكارست يظهر على المنحدرات المتوسطة إلى شديدة الانحدار، وهذه المنحدرات الكنتورية تساهم في سرعة تدفق المياه نحو الشقوق والتصدعات، مما يزيد من التعرية الكيميائية، وان الكارست أكثر تواجدًا في المناطق ذات تضاريس وعرة وتفاوت ارتفاعات، حيث تكون الصخور مكشوفة أكثر وعرضة للذوبان، ووجود الظواهر الكارستية في مناطق الارتفاعات المتوسطة يدل على توازن بين توفر المياه والانحدار المناسب لتغذية التربة الجيرية[٦].

-**خريطة فئات الارتفاع:** تُظهر الفئات الارتفاعية (٥٧٠ م إلى ٩٣٠ م). وان الكارست يتركز في فئات: (٦٩٠–٧٣٠ م)، (٧٤٠–٧٨٠ م)،.(و٧٩٠–٨٣٠ م) . والمناطق الأعلى (أكثر من ٨٤٠ م) أقل احتواءً على الكارست، ربما بسبب قلة توفر المياه أو صلابة الصخور.الفئات المتوسطة من الارتفاع (٦٩٠–٨٣٠ م) توفر، كمية أمطار مناسبة، ودرجة حرارة تساعد على التفاعلات الكيميائية، وضغط مائي معتدل يسمح بتغذية الشقوق الجيرية، والارتفاعات المنخفضة جدًا أو العالية جدًا لا توفّر الظروف المثالية لتكوّن الكارست. وهذا مايتضح في الجدول(١) والخريطة(٤)

جدول(١)التفسير العلمي والاهمية البحثية للخصائص الطبوغرافية

الخريطة	التفسير العلمي	الأهمية البحثية
خريطة درجة الانحدار (Slope)	تقسيم المنطقة إلى فئات انحدار1.9–0) ، 7.92–، 15.98–، 29.516–، .(30>	تستخدم في تحديد ملاءمة الأرض للزراعة والعمران، وتقدير خطورة الانجراف والتعرية.
خريطة اتجاه الانحدار (Aspect)	تبيّن اتجاه ميل السطح (شمال، جنوب، شرق، غرب، واتجاهات فرعية). توضح العلاقة بين الانحدار والتعرية والجريان السطحي.	مهمة لتحديد مسارات الجريان، دراسة التعرية والرسوبيات، وتقييم تأثير المناخ المحلي (رطوبة، تبخر).
خريطة الكنتور (Contour)	خطوط تمثل الارتفاعات بفاصل رأسي محدد، توضّح شكل التضاريس (مرتفعات، أودية، منحدرات).	تساعد في دراسة التضاريس الدقيقة، التخطيط الهندسي (طرق، سدود)، والتحليل الهيدرولوجي.
خريطة خطوط الكنتور التفصيلية	خطوط كنتور متقاربة/متباعدة تكشف شكل السطح بدقة، مع أرقام للارتفاعات.	ضرورية لفهم شبكة التصريف، حركة المياه السطحية والجوفية، ودراسة الظواهر الكارستية.
خريطة فئات الارتفاع (Elevation (Classes	تقسيم المنطقة إلى نطاقات ارتفاع (٥٧٠–٩٣٠ م)، تُظهر التدرج الطبوغرافي من الجنوب الغربي المرتفع إلى الشمال الشرقي المنخفض	تساعد على ربط الارتفاع بالمناخ، توزيع العمليات الجيومورفولوجية (كارست، تعرية)، وتوضيح علاقة التضاريس بالموارد المائية.

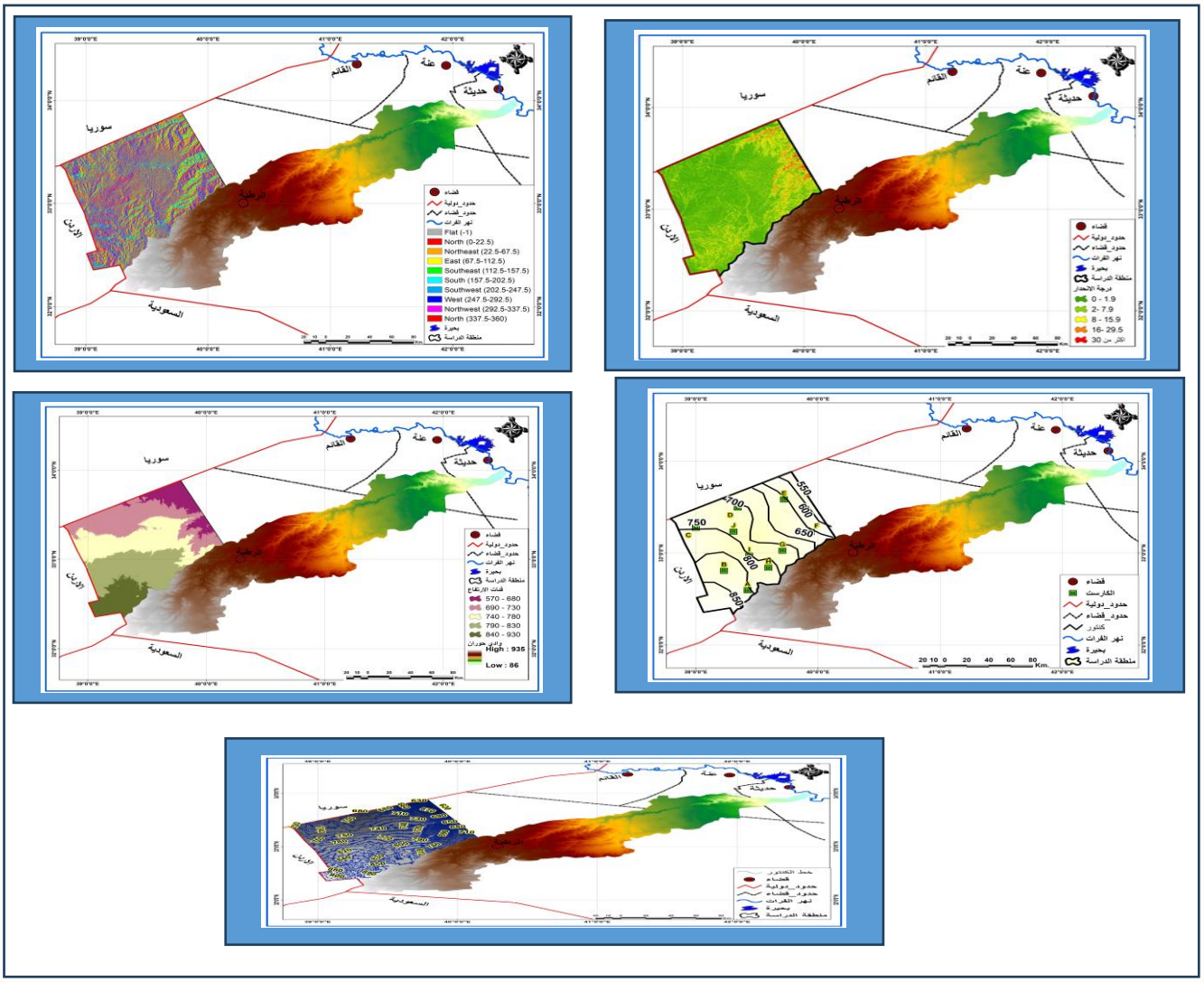
المصدر: خريطة(٥)

هـ-الترب:-

تم تصنيف الترب الرئيسة وأثرها في تطور الظواهر الكارستية بشكل أساساً في البيئات الكلسية/الجبسية بفعل إذابة المياه للأملاح والمعادن القابلة للذوبان ومن اهم اصناف الترب هي:خريطة(٦)

١-**التربة الجافة الكلسية (باللون البني الغامق)**: تنتشر غرب قضاء الرطبة قرب الحدود مع سوريا والأردن، غنية بالكربونات ($CaCO_3$) والدولومايت، قليلة العمق وضعيفة التربة الزراعية، ما يسمح بتسرب سريع للمياهإلى الأسفل تعد من أكثر البيئات ملاءمة لظواهر الكارست (دولين، كهوف، فواصل مذابة)، المياه الشتوية تذيب كربونات الكالسيوم وتوسع الفجوات التي تسبب احتمالية انخسافات ارضية عالية.

الخريطة(٥)الخصائص الطبوغرافية(الانحدار ،اتجاه الانحدار ،الكنتور ،فئات الارتفاع)



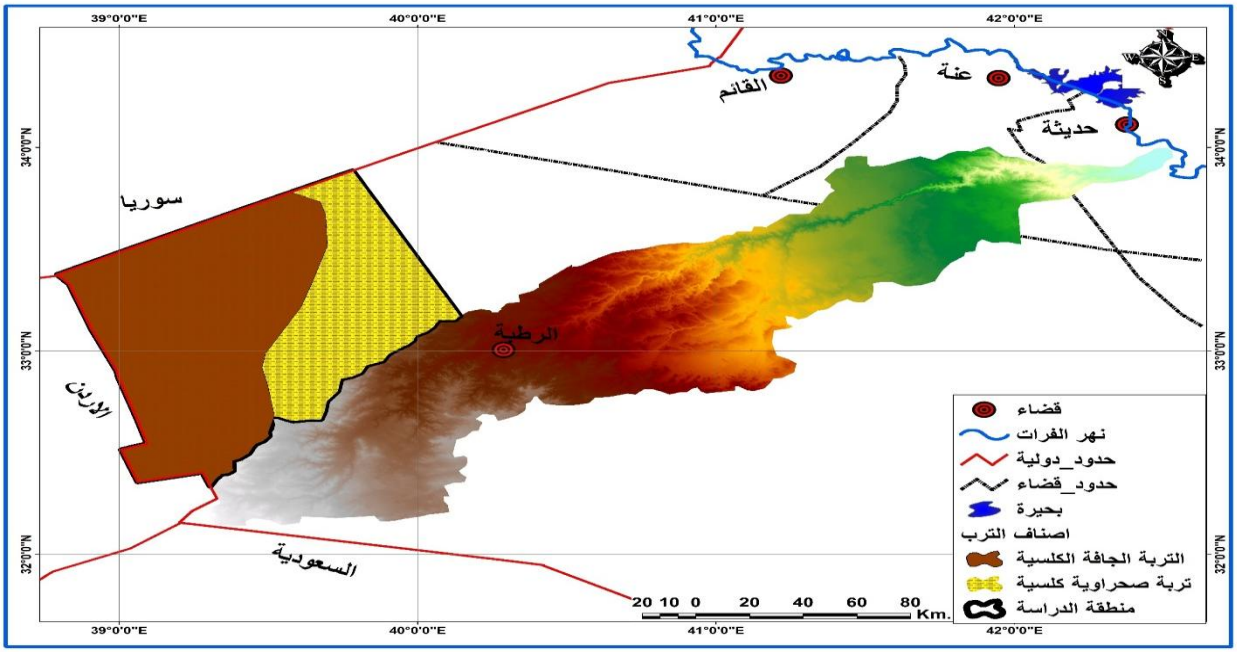
المصدر :بالاعتماد على انموذج الارتفاع الرقمي(DEM) بدقة مكانية(٣٠)م، وباستخدام برنامج(Arc map 10.8)

٢-**تربة صحراوية كلسية (باللون الأصفر)**:تقع ضمن الهضاب الصحراوية الوسطى.تربة سطحية ضعيفة التطور، مشبعة بكربونات الكالسيوم، وتغطي مساحات واسعة.قليلة الأمطار لكن السيول المفاجئة في الشتاء تتسرب مباشرة داخل الشقوق.بيئة مثالية لتطور الكارست الجوفي (أنهار جوفية وكهوف).وجود الغطاء الكلسي مع ندرة الغطاء النباتي يزيد من سرعة عملية الإذابة.[٧]

وتتضح العلاقة بين التربة والكارست من خلال ان:

-الترب الكلسية (سواء جافة أو صحراوية) غنية بكربونات الكالسيوم القابلة للذوبان ← إذابة كيميائية سريعة عند تماسها مع مياه الأمطار والسيول، وقلة العمق وندرة المادة العضوية ← يسمحان بتسرب مباشر وسريع للمياه نحو الصخور الكلسية أسفل السطح، اما المناخ الجاف ← يركز الأمطار في فترات قصيرة ← اندفاع السيول يزيد من سرعة التغلغل والإذابة. وان وجود الفرات شرقًا ← يغذي المياه الجوفية ويزيد من احتمالية تكوين أنهار جوفية وعيون كارستية، ويتضح من الخريطة (٦) أن منطقة الدراسة تقع ضمن نطاق جيولوجي-ترابي غني بالكربونات (تربة جافة كلسية وصحراوية كلسية)، ما يجعلها بيئة مثالية لتطور الكارست. التربة الضعيفة التطور وذات النفاذية العالية تُسهم في تسرب المياه إلى الصخور الكلسية وتذويبها. [٧] مؤديةً إلى تكوّن كهوف، دولينات، ينابيع كارستية، وانهيارات أرضية. [٤]

خريطة(٦)تصنيف الترب في منطقة الدراسة .



المصدر :

جدول(٢) **العلاقة بين أصناف الترب وتأثيرها في تطور الكارست في منطقة الدراسة**

نوع التربة	الخصائص الرئيسة	أثرها في تطور الكارست	المظاهر الكارستية المتوقعة
التربة الجافة الكلسية (البني الغامق)	-غنية بكربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) -قليلة العمق -ضعيفة التربة الزراعية -نفاذية عالية	- تسرب سريع للمياه إلى الصخور الكلسية - إذابة كيميائية قوية للكالسيت - توسع الفواصل والشقوق الجوفية	-دولينات (منخفضات كارستية) -انهيارات أرضية (Sinkholes) - توسع الكهوف تحت السطح
التربة الصحراوية الكلسية (الأصفر)	-تربة سطحية ضعيفة التطور -فقيرة بالمواد العضوية -مشبعة بكربونات الكالسيوم -تنتشر في الهضاب الصحراوية	- زيادة معدل الإذابة الكارستية بفعل قلة الغطاء النباتي -مياه السيول الموسمية تتغلغل مباشرة في الشقوق	-كهوف وأنهار جوفية -فجوات كارستية واسعة -ينابيع كارستية عند تماسها مع الفرات

المصدر :-

نستنتج مما سبق الخريطة ان منطقة الدراسة تقع ضمن نطاق جيولوجي غني بالصخور الرسوبية القابلة للذوبان (الإيوسين، الباليوسين، الميوسين)، وهو ما يجعل المنطقة شديدة التأثر بالكارست. التفاعل بين الطبوغرافيا العالية غربًا، ونهر الفرات شرقًا، مع الطبيعة الجيولوجية الكلسية/الجبسية، يخلق بيئة مثالية لظهور المظاهر الكارستية مثل الكهوف، الدولينات، الانهيارات الأرضية، والأنهار الجوفية والمياه المتسربة من الفرات وشبكة الأودية تُعجّل عملية الإذابة الكارستية.

ثانيا–المكونات الأساسية للنظام الكارستي:

الكارست هو **نظام جيومورفولوجي–هيدروجيولوجي** يتكون نتيجة عمليات الإذابة الكيميائية للصخور القابلة للذوبان مثل **الحجر الجيري (Limestone)**، **والدولوميت(Dolomite)** ، **والجبس(Gypsum)** ، **والملح الصخري .(Halite)** وتؤدي هذه العمليات إلى نشوء طيف واسع من الأشكال الأرضية السطحية وتحت السطحية، نتيجة التفاعل بين **الماء (خصوصًا الغني بثاني أوكسيد الكربون أو الكبريتات) والصخور الذائبة** عبر الفواصل والصدوع والفراغات الصخرية. [٣]

–الخصائص الرئيسية للكارست هي:

* **الذوبان الكيميائي** :يحدث عبر تفاعل المياه الطبيعية (حمضية ضعيفة) مع معادن الكربونات أو الكبريتات.
* **النفاذية والبنية** :وجود شبكة من الفواصل والصدوع يُسهّل حركة المياه وتعمق الإذابة.

* **الأشكال السطحية** :الدولينات، البوليات، الانخسافات، الوديان الجافة أو المختفية.

* **الأشكال التحت سطحية** :الكهوف، الممرات الجوفية، الصواعد والهوابط.

١-العمليات:(Processes) وتتضمن مراحل متعددة اهمها:- [٢]

أ-الذوبان :(Dissolution) العملية الأساسية، حيث تتفاعل المياه الحمضية قليلاً (بسبب ذوبان ثاني أكسيد الكربون فيها لتشكل حمض الكربونيك الضعيف) مع الصخور القابلة للذوبان.

ب-التساقط :(Precipitation) عملية عكسية تؤدي إلى ترسيب المعادن الذائبة (مثل كربونات الكالسيوم) لتشكيل الأشكال المتدلية مثل الصواعد والهوابط.(Speleothems)

٢-الأشكال الأرضية:(Landforms)

أ-السطحية :(Surface) مثل "لابيه" (أحواض ذوبان صغيرة)، "دولين" (منخفضات مغلقة)، "أويولا" (أحواض كارستية واسعة)، "البولييه" (سهول كارستية واسعة)، ومجاري المياه العميقة.

ب-تحت السطحية :(Subsurface) مثل "الكهوف(Caves) "، "الأنهار والبحيرات تحت الأرضية"، وأشكال الترسيب مثل "الصواعد والهوابط."

٣-النظام الهيدرولوجي[٣]:(Hydrological System)

يتميز بغياب أو ندرة المجاري المائية السطحية، حيث تتسرب المياه بسرعة إلى باطن الأرض عبر نظام من الفواصل والكسور. يشكل "المستوى البيزومتري (Water Table) "للخزان الجوفي الكارستي أساس النظام.

-العوامل المساهمة في نشاة وتكوين الكارست: [٣]

-التركيب الجيولوجي: وجود صخور كلسية (إيوسين وباليوسين) وصخور جبسية (ميوسين) يجعل المنطقة ذات قابلية عالية لتطور الكارست.

-المناخ: المنطقة ذات مناخ جاف إلى شبه جاف، الأمطار قليلة ولكنها غزيرة ومركّزة شتاءً، مما يؤدي إلى إذابة سريعة للأملاح والجبس.

-الهيدرولوجيا: قرب المنطقة من نهر الفرات يوفر تغذية مائية سطحية وجوفية، تساعد في عمليات الإذابة الباطنية.

-الطبوغرافيا: الانحدارات الظاهرة (من الغرب المرتفع إلى الشرق المنخفض) تخلق فروق طاقة تساعد في حركة المياه السطحية والجوفية، ما يسرّع تكوين الفجوات الكارستية.

-اهم انواع الكارست: [٥]

* **كارست كلسي :(Limestone Karst)** الأكثر شيوعًا، ينتج عن إذابة الحجر الكلسي.

* **كارست جبسي :(Gypsum Karst)** أسرع تشكلًا، بسبب سرعة ذوبان الجبس والأنهيدريت.

* **كارست ملحي :(Salt Karst)** شديد الحساسية، إذ يذوب الملح بسرعة عالية جدًا.

٤-المظاهر الكارستية والنظام الكارستي المتوقع ضمن منطقة الدراسة

-الدولين :(Dolines) منخفضات دائرية تنتج عن إذابة الصخور الكلسية أو الجبسية.

-الكهوف :(Caves) خاصة في مناطق الإيوسين والميوسين.

-الأنهار الجوفية: نتيجة تسرب مياه الأمطار والسيول إلى طبقات قابلة للإذابة.

-الانهيارات الأرضية :(Sinkholes) في المناطق ذات الجبس، والتي تتعرض لانهيارات مفاجئة بسبب سرعة الذوبان.ان المنطقة معرضة لتطور شبكة جوفية للمياه قد تؤثر على استقرار البنى التحتية. احتمالية تسرب المياه من نهر الفرات أو الخزانات الجوفية إلى الصخور الكلسية/الجبسية وتكوين فراغات. مخاطر جيولوجية مثل الانخسافات المفاجئة، ما يشكل تهديدًا للمستوطنات والطرق. بيئة ملائمة لتطور الينابيع الكارستية التي قد تكون مصدرًا للمياه العذبة في المناطق الجافة. [٤]

- توزيع الكارست ضمن منطقة الدراسة:

يتضح من الخريطة(٧) وجود عشرة نماذج عشوائية تم اختيارها بشكل يتفاوت مع طبيعة السطح ضمن منطقة الدراسة وتم التركيز على المناطق التي تظهر فيها الكارست بشكل واضح من خلال المرئية الفضائية (لاند سات ٢٠٠٨). وتم استخدام رموز خاصة من قبل الباحثة بهدف التمييز بين كل عينة والاخرى ،التحليل الجيومورفولوجي لخريطة الكارست في منطقة الدراسة الخريطة توضح مواقع انتشار الظواهر الكارستية المشار إليها بالمربعات الخضراء(A-J) داخل منطقة الدراسة، وعلاقتها بالبيئة الجيولوجية والطبوغرافية.

جميع النقاط (A–J) تتوزع في الجهة الشمالية الغربية من وادي حوران، وهي المناطق ذات الصخور الكلسية/الدولومايتية هذا الانتشار يرتبط مباشرةً بطبيعة الصخور الكلسية الجافة والصحراوية الكلسية، إضافةً إلى وجود الفواصل والشقوق البنيوية تركز الكارست في هذه الجهة يدل على أن العامل البنيوي (الصدوع والانكسارات) والعامل الهيدرولوجي (مياه الأمطار والسيول) هما السبب الرئيس لتطوره.

٤ .المظاهر الكارستية المتوقعة في النقاط(A–J)

–الدولين :(Dolines) منخفضات دائرية أو بيضوية تنتشر عند النقاط.A, B, D

–الكهوف :(Caves) نتيجة تراكم الإذابة في العمق خاصةً عند النقاط.G, H, I

–الأنهار الجوفية: محتملة في النقاط E, F نتيجة قربها من المنحدرات الشرقية التي تتجه نحو الفرات.

–الانهيارات الأرضية :(Sinkholes) محتملة في النقاط C, J عند التقاء الشقوق والفواصل المذابة.

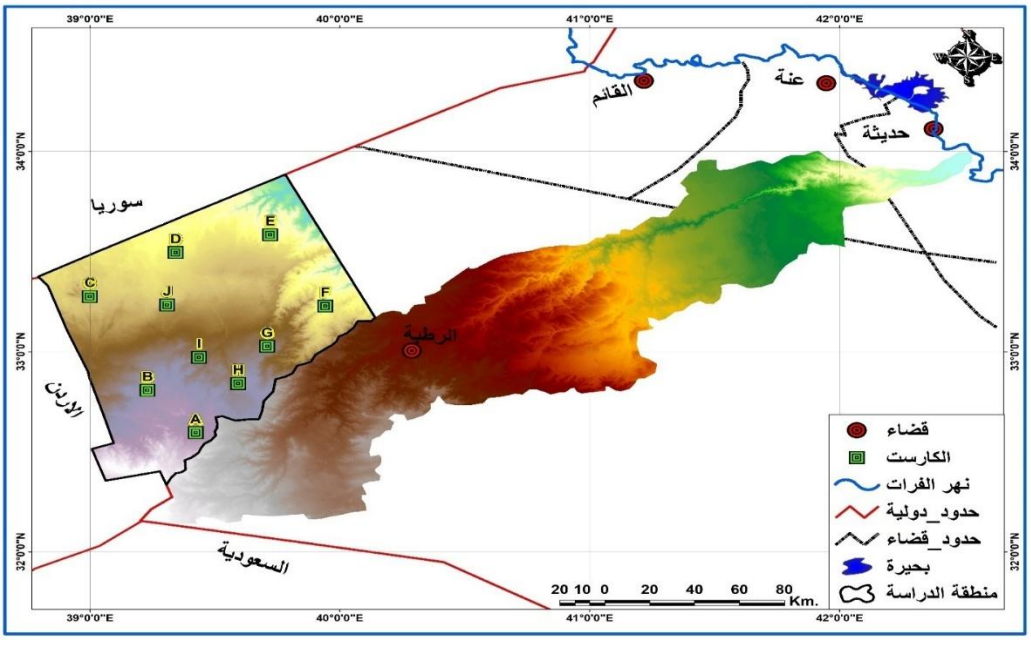
ثالثا:–التحليل الجيومورفولوجي للأشكال(A–C)

تُمثل أحواضًا مغلقة (Closed Basins) أو منخفضات داخل الصحراء، وهي من المظاهر الكارستية أو شبه الكارستية التي تتكون بفعل الإذابة أو الانحسار المائي في البيئات الجافة. كل شكل له خصائص مورفولوجية مميزة:

–الشكل(A)

يوصف بانه منخفض دائري الشكل تقريبًا، يتميز بوجود تضاريس حلقية متدرجة نحو الداخل (كما يظهر في الكونتور)، المركز أبيض اللون مما يشير إلى وجود رواسب ملحية أو بحيرة موسمية جافة، من خلال الشكل الدائري يوحي بأنه دولين كارستي كبير (Karstic Dolina) أو بحيرة ملحية في حوض إذابة، وجود التدرج الحلقي للارتفاعات يشير إلى أن المنطقة تعرضت لعملية إذابة داخلية فضلا عن انهيار بنيوي[٣]. اي انها منطقة تتجمع فيها مياه الأمطار وتتبخر سريعًا تاركةً وراءها أملاحًا، وهذا دليل على نشاط كارستي قوي مرتبط بالصخور الكلسية/الجبسية.

خريطة(٧)مواقع توزيع النماذج الكارستية المختارة



المصدر: باستخدام برنامج arc map

الجدول(٣) تُظهر الظواهر الكارستية (A–J) التي تتركز شمال غرب وادي حوران .

الموقع	نوع الظاهرة الكارستية	العوامل المسببة	المظاهر المتوقعة
A	دولين (Dolines)	صخور كلسية جافة +سيول شتوية +انحدار قوي	حفر غائرة سطحية
B	دولين	انكسارات صغيرة +تربة كلسية ضعيفة	منخفضات دائرية
C	انهيارأرضي (Sinkhole)	توسع الفواصل المذابة +حركة المياه الجوفية	انخساف مفاجئ
D	دولين +بداية كهف	صخور كلسية مع انكسارات	منخفضات سطحية مع تجاويف أولية
E	أنهار جوفية	موقع على المنحدرات الشرقية +ذوبان كلسي نشط	قنوات مائية تحت سطحية
F	أنهار جوفية +كهوف	سيول موسمية +صدوع	شبكة جوفية مائية

G	كهوف	ذوبان عميق في الصخور الكلسية	كهوف صغيرة إلى متوسطة الحجم
H	كهوف +دولين	تسرب مائي عبر الانكسارات	كهوف تحت السطح ودولين سطحي
I	كهوف	ذوبان مركز عند تقاطع صدوع	تجاويف واسعة
J	انهيارات أرضية	إذابة سريعة +صدوع عرضية	Sinkholesوانخسافات

المصدر :- خريطة(٧)

-الشكل(B)

يوصف بانه منخفض طولي ممدود باتجاه شمالي غربي–جنوبي شرقي، ويظهر فيه مركز أبيض ممتد وهو مؤشر على رواسب ملحية/جبسية، الشكل الطولي يشير إلى أن الحوض مرتبط بصدوع أو فواصل رئيسية وجهت عملية الإذابة والانهيار، قد يكون وادي قديم مغلق تطور إلى حوض كارستي بفعل تراكم الإذابة، وهو بيئة نشطة لتكوين بحيرات موسمية، واحتمالية وجود أنهار جوفية مرتبطة بالصدوع المغذية.

-الشكل(C)

يوصف بكونه منخفض معقد الشكل غير منتظم الحواف، ذو عدة أذرع أو فروع، يملؤه حالياً غطاء أبيض (رواسب ملحية أو بحيرات متبخرة)، يتميز بالتعرجات الكثيرة التي تدل على تطور الحوض بفعل الإذابة الكارستية المتعددة الاتجاهات، يشبه (Polje)وهو منخفض كارستي واسع غير منتظم يتجمع فيه الماء. [٤] وتعد بيئة ملائمة لتجمع المياه والسيول، ثم تجف لتترك طبقات ملحية، وهومؤشر على تطور كارست متقدم مع انهيارات متعددة.

ونستنتج من اعلاه ما يلي:

A– دولين كارستي ضخم دائري الشكل (مغلق) – بحيرة ملحية موسمية.

B– منخفض كارستي طولي مرتبط بالصدوع – بحيرة ملحية ممدودة.

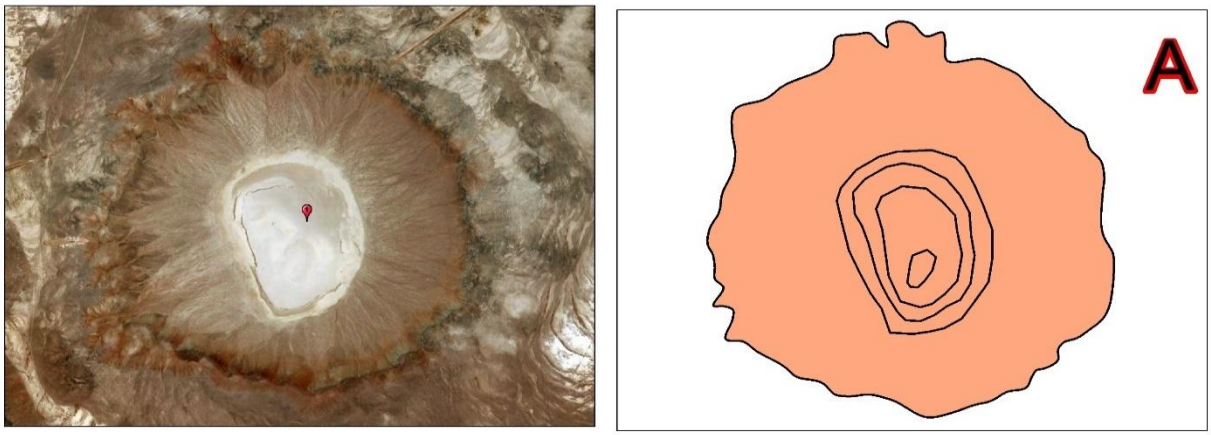
C– بولية (Polje) كارستية واسعة ومعقدة – منخفض غير منتظم متعدد الفروع.

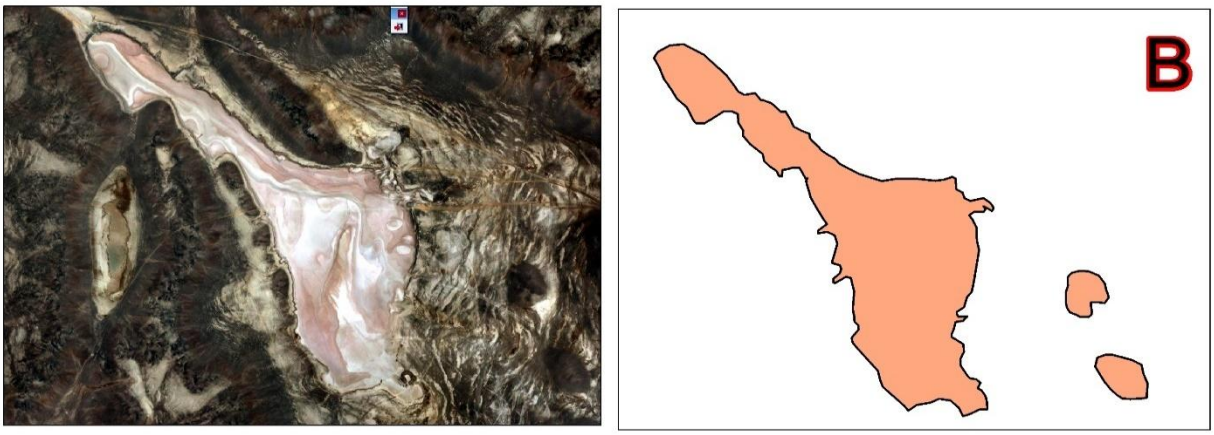
وبهذا نستنتج ان جميع الأشكال تمثل مراحل مختلفة من تطور الأحواض الكارستية في بيئة جافة، تبدأ بالدولين الدائري (A)، ثم الحوض الطولي المرتبط بالصدوع (B)، وأخيرًا البولية الواسعة المعقدة (C).

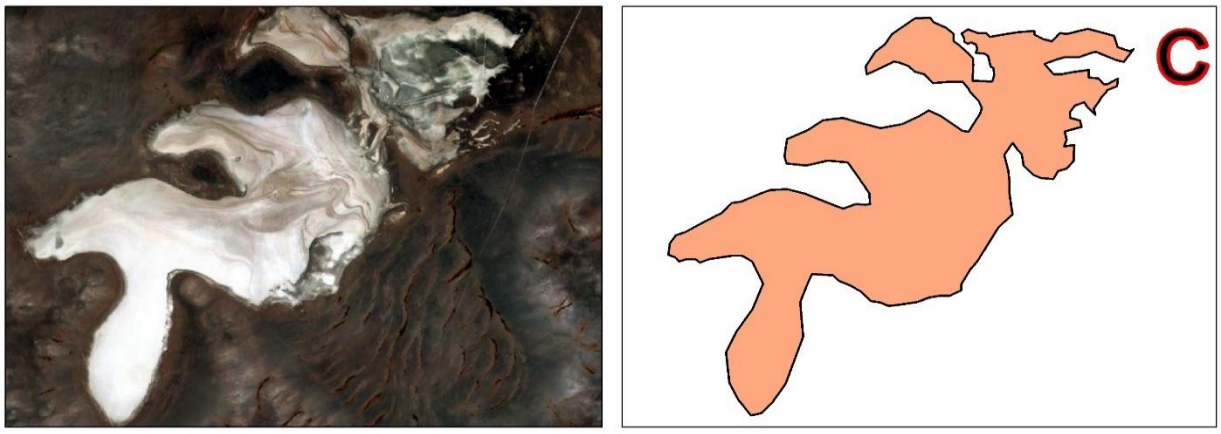
جدول(٤) الخصائص المورفولوجية للكارست

الموقع	الخصائص المورفولوجية	نوع المظهر الكارستي	التفسير الجيومورفولوجي
A	منخفض دائري الشكل، ذو حواف متدرجة)كونتورية (ومركز أبيض ملحي	دولين كارستي ضخم/ بحيرة ملحية موسمية	تشكل بفعل إذابة داخلية وانهيار بنيوي، تجمّع مياه وأملاح متبخرة
B	منخفض طولي ممدود NW–SE، مركز أبيض ملحي	حوض كارستي طولي مرتبط بالصدوع	توجّه بفعل الفواصل والصدوع، بيئة لبحيرات موسمية وأنهار جوفية
C	منخفض غير منتظم، ذو عدة فروع وأذرع، يغطيه رواسب ملحية	بولية (Polje)كارستية واسعة	ناتج عن إذابة متعددة الاتجاهات وانهيارات متكررة، يمثل مرحلة متقدمة من الكارست

شكل(٣)الابعاد المورفومترية للانطمة الكارستية ضمن منطقة الدراسة

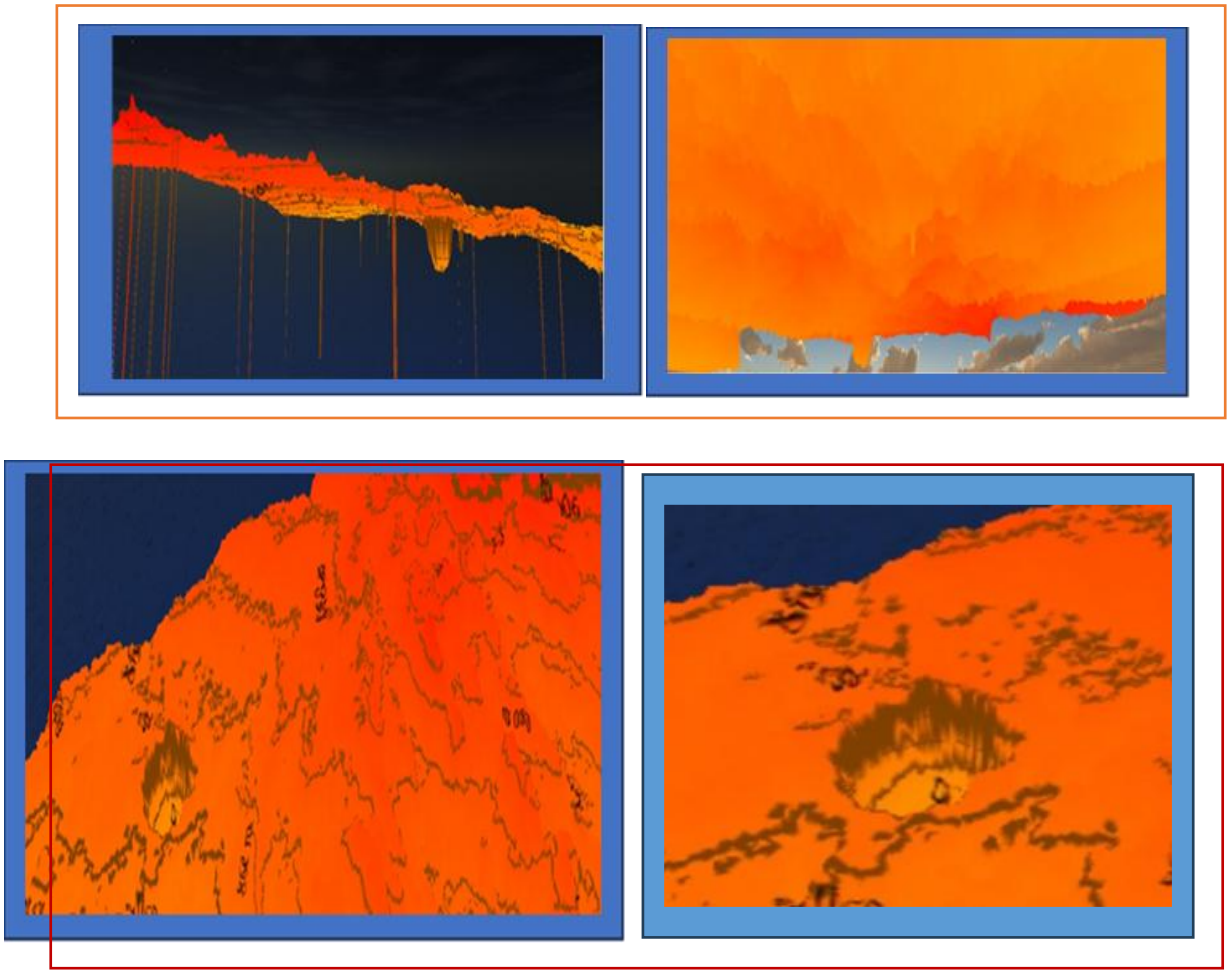






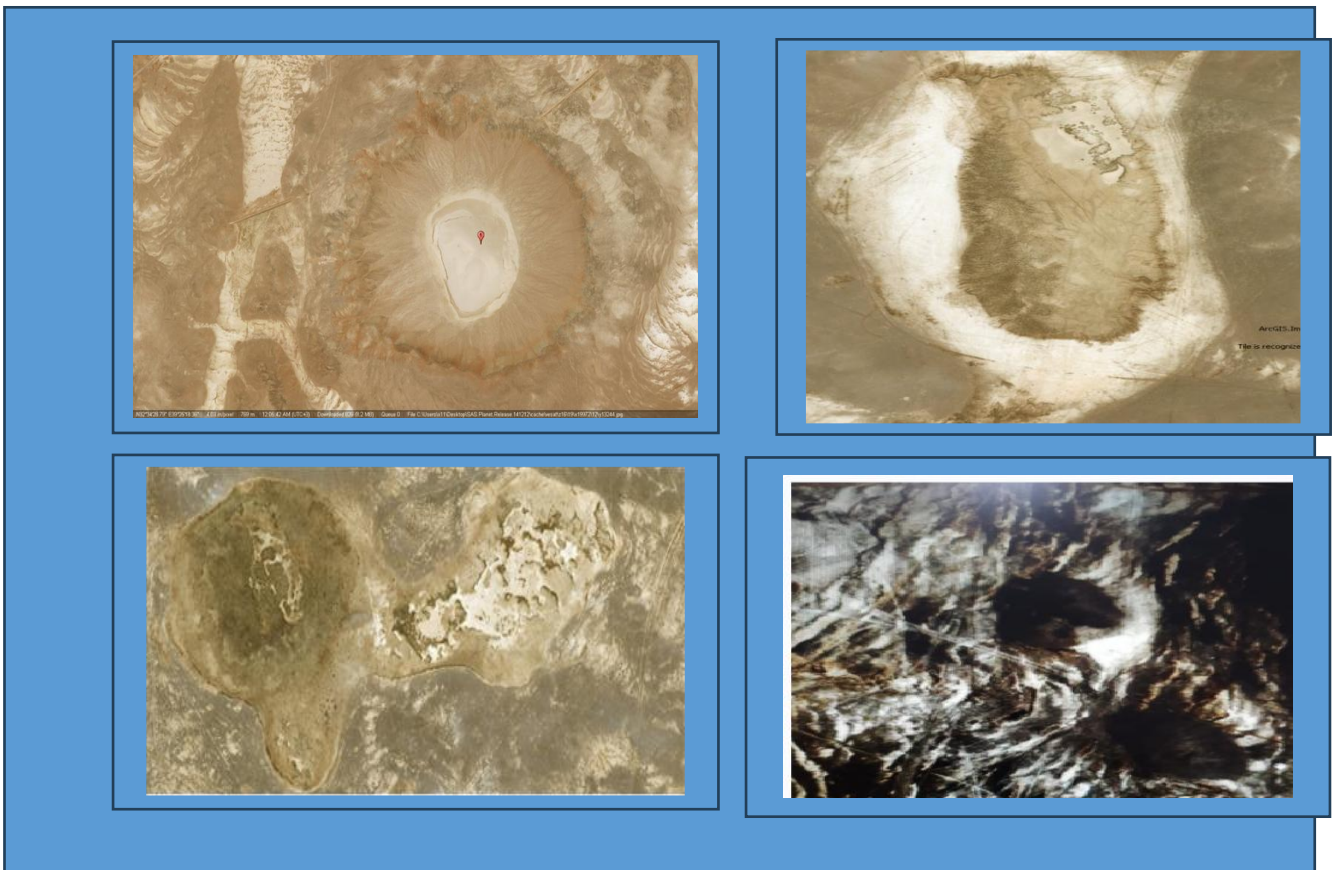
يتضح من الشكل(٥) ان اللون الأحمر والبرتقالي، يمثل المرتفعات (الهضاب والتلال)اما اللون الأصفر/الأخضر الفاتح، يمثل المناطق المنخفضة نسبياً، في حين نلاحظ وجود فجوة أو منخفض عميق في الوسط (يشبه الدولين أو الحوض الكارستي)، اما الامتداد العمودي للأسفل (الخطوط العمودية) يمثل تعبيرًا عن العمق أو مستوى القطع تحت السطح، وغالبًا لبيان الانخساف أو الفوالق المرتبطة، إذن الشكل يُظهر سطح كلسي تعرض لعمليات إذابة وانهيار، مما أدى لتشكّل منخفض كارستي كبير (ربما بولية أو دولين عميق).

شكل(٥)الاشكال الطبوغرافية للانظمة الكارستية ضمن منطقة الدراسة



المصدر :- باستخدام برنامج(global mapper)

شكل(٦) اشكال كارستية ضمن منطقة الدراسة



1- Al-Haidari, F. A. (1983). "Stratigraphy and Tectonics of Miocene Formations in Western Iraq," Iraqi Geological Journal.
2- Ford, D. C., & Williams, P. W. (2007). Karst Hydrogeology and Geomorphology. John Wiley & Sons.
3- Goldscheider, N., & Drew, D. (Eds.). (2007). Methods in Karst Hydrogeology. International Association of Hydrogeologists (IAH).
4- Gutiérrez, F., Parise, M., De Waele, J., & Jourde, H. (2014). A review on natural and human-induced geohazards and impacts in karst. Earth-Science Reviews, 138*, 61-88
5- Klimchouk, A., Ford, D. C., Palmer, A. N., & Dreybrodt, W. (Eds.). (2000). Speleogenesis: Evolution of Karst Aquifers. National Speleological Society.
6- Sissakian, V. K. (2019). Petroleum Geology of Iraq. This book provides detailed descriptions of stratigraphy, including Miocene and other formations.
7- Sissakian, V. K., et al. (2020). "Geological and Hydrogeological Aspects of Pliocene and Quaternary in Iraq," GeoArabia.
8- White, W. B. (1988). Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains. Oxford University Press.