تأثير التباين المناخي في العمليات الجيومورفولوجية

م.د. هند صباح عبد الجبار
كلية التربية ابن الرشد – جامعة بغداد

الكلمات المفتاحية: التباين المناخي، العمليات الجيومورفولوجية، التعرية

الملخص:

هدفت الدراسة إلى تحليل تأثير التباين المناخي في العمليات الجيومورفولوجية من خلال الجمع بين الإطار النظري والتطبيق العملي على وادي ديالى في العراق. اعتمد البحث بيانات مناخية وسلاسل زمنية لمؤشرات التعرية والانجراف، مع استخدام التحليل الإحصائي والتمثيل البياني لبيان العلاقات المتبادلة. أظهرت النتائج وجود علاقة طردية بين ارتفاع درجات الحرارة وزيادة التعرية، وعلاقة عكسية بين الأمطار واستقرار التربة، إضافة إلى تأثير واضح للرياح في النقل الرسوبي. وتؤكد الدراسة أن التباين المناخي يمثل عاملاً رئيساً في ديناميكية تطور الأشكال الأرضية في البيئات شبه الجافة..

المقدمة:

تُعد العمليات الجيومورفولوجية نتاجاً مباشراً للتفاعل المستمر بين العوامل الداخلية والخارجية المؤثرة في تشكيل سطح الأرض، إذ تتحدد خصائص التضاريس وتطورها عبر الزمن نتيجة التوازن الديناميكي بين البنية الجيولوجية من جهة، والعوامل المناخية والبيئية من جهة أخرى. ويأتي المناخ في مقدمة العوامل الخارجية التي تتحكم في ديناميكية العمليات السطحية، لما له من دور أساسي في تنظيم معدلات التجوية والتعرية والنقل والترسيب، وهي العمليات المسؤولة عن إعادة تشكيل المظاهر الأرضية وتطورها المستمر.

ويبرز تأثير المناخ بصورة أوضح في ظل ظاهرة **التباين المناخي**، التي تتمثل في التذبذب الزمني والمكاني لعناصر المناخ، ولا سيما درجات الحرارة وكميات التساقط المطري وشدة الرياح وتكرار الظواهر المناخية المتطرفة. إذ يؤدي هذا التباين إلى تغير واضح في شدة العمليات الجيومورفولوجية، حيث تزداد معدلات التجوية الميكانيكية نتيجة التغيرات الحرارية، في حين تؤثر عدم انتظام الأمطار في زيادة التعرية المائية والانجراف السطحي، مما ينعكس على استقرار المنحدرات وتطور الأودية والأنظمة الرسوبية.

ومع تصاعد مؤشرات التغير المناخي عالمياً خلال العقود الأخيرة، أصبحت البيئات الجافة وشبه الجافة أكثر حساسية للاستجابة الجيومورفولوجية مقارنة بغيرها من البيئات الطبيعية، نظراً لضعف الغطاء النباتي وارتفاع معدلات التبخر وقلة الرطوبة. ويُعد العراق من المناطق التي تتأثر بشكل واضح بالتباين المناخي، حيث شهدت السنوات الأخيرة ارتفاعاً ملحوظاً في درجات الحرارة

وتذبذباً في كميات الأمطار، الأمر الذي أسهم في تسارع بعض العمليات السطحية مثل انجراف التربة وزيادة النشاط الريحي وتغير خصائص المجاري المائية.

وانطلاقاً من ذلك، تبرز الحاجة إلى دراسة العلاقة بين التباين المناخي والعمليات الجيومورفولوجية بصورة تحليلية كمية، من أجل فهم آليات استجابة سطح الأرض للتغيرات المناخية، وتحديد مدى تأثيرها في تطور الأشكال الأرضية، بما يسهم في دعم الدراسات البيئية والتخطيطية المرتبطة بإدارة الموارد الطبيعية والحد من المخاطر الجيومورفولوجية.

مشكلة البحث

تتمثل مشكلة البحث في غياب التحليل التطبيقي الكمي الذي يربط بصورة واضحة بين التباين المناخي والعمليات الجيومورفولوجية، إذ إن معظم الدراسات تناولت عناصر المناخ أو العمليات الجيومورفولوجية بشكل منفصل، دون بناء نموذج تحليلي يوضح طبيعة العلاقة المتبادلة بينهما. ويؤدي هذا النقص المعرفي إلى محدودية فهم ديناميكية تطور السطح الأرضي، خاصة في البيئات الجافة وشبه الجافة التي تتسم بحساسية عالية تجاه التغيرات المناخية، مما يستدعي إجراء دراسة تحليلية تجمع بين الجانب النظري والتطبيق العملي للكشف عن حجم تأثير التباين المناخي في النشاط الجيومورفولوجي.

أهداف البحث

يسعى البحث إلى تحقيق مجموعة من الأهداف العلمية، تتمثل في:

1. توضيح الإطار المفاهيمي والنظري للتباين المناخي وخصائصه الجغرافية.
2. تحليل دور عناصر المناخ في التأثير في العمليات الجيومورفولوجية المختلفة.
3. قياس العلاقة الإحصائية بين المتغيرات المناخية ومعدلات التعرية والانجراف.
4. تطبيق نموذج تحليلي على منطقة دراسية في العراق لبيان أثر التباين المناخي في تطور العمليات الجيومورفولوجية.

فرضية البحث

ينطلق البحث من فرضية رئيسة مفادها أن التباين المناخي يسهم بصورة مباشرة وغير مباشرة في تنشيط العمليات الجيومورفولوجية في البيئات شبه الجافة، ولا سيما من خلال ارتفاع درجات الحرارة، وتذبذب كميات الأمطار، وزيادة سرعة الرياح، الأمر الذي يؤدي إلى زيادة معدلات التجوية والتعرية والانجراف والنقل الرسوبي في وادي ديالى.

وتتفرع عن هذه الفرضية الفرضيات الآتية:

1. توجد علاقة طردية بين ارتفاع درجات الحرارة وزيادة معدلات التجوية الفيزيائية والتعرية في منطقة الدراسة .
2. يؤدي تذبذب كميات الأمطار وعدم انتظامها إلى زيادة قابلية التربة للانجراف، خاصة عند حدوث أمطار قصيرة وشديدة بعد فترات جفاف .
3. توجد علاقة طردية بين زيادة سرعة الرياح وارتفاع معدلات النقل الرسوبي والتعرية الريحية .
4. يمثل التباين المناخي مؤشراً تفسيرياً مهماً لفهم تغير شدة العمليات الجيومورفولوجية في وادي ديالى خلال مدة الدراسة.

حدود الدراسة

تتحدد الدراسة بحدود زمانية ومكانية ومنهجية، وذلك على النحو الآتي:

1- الحدود الزمانية

تتمثل الحدود الزمانية للدراسة في المدة **(2023–2014)**، وهي المدة التي اعتمدت عليها الدراسة في تحليل عناصر المناخ المتمثلة بدرجات الحرارة وكميات الأمطار وسرعة الرياح، وكذلك في تتبع مؤشرات العمليات الجيومورفولوجية المتمثلة بانجراف التربة والنقل الرسوبي في منطقة الدراسة.

2- الحدود المكانية

تتمثل الحدود المكانية للدراسة في وادي ديالى في العراق، بوصفه أحد الأحواض النهرية المهمة التي تقع ضمن نطاق بيئي انتقالي يتسم بخصائص شبه جافة، ويظهر فيه تباين واضح في خصائص السطح والعناصر المناخية، الأمر الذي يجعله منطقة ملائمة لتحليل العلاقة بين التباين المناخي والعمليات الجيومورفولوجية. وقد اختيرت هذه المنطقة لكونها تمثل نموذجاً تطبيقياً مناسباً لرصد أثر التذبذب الحراري والمطري والريحي في معدلات التعرية والانجراف والنقل الرسوبي.

3-الحدود الموضوعية

تقتصر الدراسة موضوعياً على تحليل أثر التباين المناخي في بعض العمليات الجيومورفولوجية الرئيسة، ولا سيما التجوية، والتعرية، والانجراف، والنقل الرسوبي، من خلال الربط بين عناصر المناخ ومؤشرات الاستجابة الجيومورفولوجية في وادي ديالى.

المبحث الأول: التباين المناخي: المفهوم والأبعاد النظرية

المطلب الأول: مفهوم التباين المناخي ومؤشراته

يُقصد بالتباين المناخي مجموعة الاختلافات التي تطرأ على خصائص المناخ (حرارة، مطر، رياح، رطوبة...)، سواء ضمن فترات قصيرة (أيام/فصول) أو طويلة (سنوات/عقود)، وبما ينعكس على انتظام القيم حول متوسطاتها واتجاهاتها. ويختلف التباين المناخي عن "التغير المناخي" من حيث إنّ التغير يشير غالباً إلى تحوّل طويل الأمد في المتوسطات أو في تكرار القيم المتطرفة، بينما التباين يتعلّق بدرجة التذبذب حول المتوسط وبحدّة الانحرافات عن السلوك الاعتيادي للمناخ. وتكتسب دراسة التباين أهميتها في البيئات الجافة وشبه الجافة لأنَّ أي تغيّر طفيف في انتظام المطر أو في شدة الحرارة قد يرفع حساسية السطح الأرضي تجاه التجوية والتعرية، ويُحوِّل الاستجابة الجيومورفولوجية من "هادئة" إلى "نبضية" مرتبطة بالحوادث المناخية.[1]

ومن الناحية التحليلية، يظهر التباين في صورتين أساسيتين:

1. **التباين الزماني** :ويعني اختلاف قيم العنصر المناخي في الموقع نفسه عبر الزمن (مثلاً اختلاف أمطار موسم مطري عن آخر، أو تغير مدى الحرارة اليومية بين السنوات). وتُقاس مظاهره عبر المقارنة بين المعدلات الشهرية/الفصلية/السنوية، واختبارات الاتجاهات، وملاحظة الدورات المناخية وتعاقب الفترات الرطبة والجافة.[2]
2. **التباين المكاني** :ويعني اختلاف القيم بين المواقع ضمن الإقليم نفسه، وهو واضح في الأقاليم ذات التباين الطبوغرافي (جبال/سهول/صحارى)، حيث تتفاوت الأمطار والحرارة تبعاً

للارتفاع والانحدار والبعد عن مصادر الرطوبة. وقد بيّنت دراسات نمذجة أمطار العراق مكانياً أن التوزيع المطري غير متجانس ويرتبط مباشرة بالخصائص التضاريسية وبآليات الاستيفاء المكاني التي تكشف مناطق التركّز والانخفاض.[3]

ولقياس التباين بصورة كمية تُستخدم عدة مقاييس إحصائية، أبرزها:

- **الانحراف المعياري (σ)** بوصفه مقياساً لتشتت القيم حول المتوسط:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \mu)^2}{n}}$$

- **معامل الاختلاف/التباين (CV)** الذي يطبع الانحراف المعياري بالنسبة إلى المتوسط، وهو مفيد للمقارنة بين محطات أو فترات تختلف متوسطاتها:

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} \times 100$$

وتُستخدم هذه المقاييس في تحليل الأمطار بوصفها مؤشراً حسّاساً للتباين في العراق، كما يظهر في دراسات اعتمدت الانحراف المعياري والتذبذب السنوي لتحديد إشارات التغير/التذبذب في كميات المطر.

ومن المؤشرات التطبيقية الشائعة أيضاً ما يُعرف بـ مؤشرات التذبذب/اللانظام التي تصف درجة خروج السنة المطرية عن متوسط طويل الأمد (بالزيادة أو النقصان)، وتفيد في قراءة التحول من "انتظام نسبي" إلى "تذبذب حاد" بما ينعكس على الجريان السطحي والتعرية.[4]

كذلك تُستخدم مؤشرات الجفاف لتشخيص "التباين الهيدرومناخي" لأن الجفاف في جوهره حالة تذبذب سلبي مستمر في المطر (وقد يُضاف له أثر التبخر-النتح). ومن أبرزها SPIالذي يعتمد المطر وحده، و RDIالذي يُدخل التبخر/النتح إلى جانب المطر، مما يجعله أكثر حساسية لتغيرات الحرارة والرطوبة.[8]

أما **التطرفات المناخية (Climate Extremes)** فهي البعد الأوضح للتباين حين يتجسد في ارتفاع تكرار/شدة حالات نادرة نسبياً: موجات حر، أمطار شديدة، رياح قوية، عواصف غبارية... إلخ. وقد تناولت دراسات عراقية تحليل مؤشرات تطرفات درجات الحرارة اليومية بوصفها مدخلاً لفهم انتقال المناخ من "تذبذب طبيعي" إلى "تذبذب عالي الشدة" يرفع طاقة التجوية الحرارية ويغيّر خصائص التربة والغطاء النباتي.[6] وبالمنطق نفسه، يزداد أثر التباين حين تتحول الأمطار من قيم معتدلة إلى **شدات مطرية قصوى** (مطر خلال مدة قصيرة) لأن هذا النمط يزيد الجريان السطحي ويؤدي إلى نحت أخاديد وتعرية صفائحية وانجراف تربة أكثر من أمطار متساوية الكمية لكنها موزعة زمنياً.[5]

وفي البيئات الجافة، يتداخل التباين المناخي مع مؤشرات بيئية/سطحية تساعد في تفسير نتائجه، مثل مؤشرات الغطاء النباتي (NDVI) بوصفه وسيطاً بين المناخ وتثبيت التربة، أو مؤشرات التصحر التي تعكس تحولات طويلة في الرطوبة والغطاء وقدرة النظام البيئي على

مقاومة التعرية. ويظهر هذا بوضوح في دراسات ربطت تغيرات الخصائص المناخية بتفاقم التصحر أو بزيادة قابلية التعرية الريحية وارتفاع تكرار العواصف الغبارية.[6]

المطلب الثاني: عناصر المناخ المؤثرة جيومورفولوجياً

أولاً: الحرارة وتأثيرها في التجوية

تُعد الحرارة مُحرِّكاً رئيساً للعمليات الجيومورفولوجية لأنها تتحكم في نوع التجوية وسرعتها. ففي البيئات الجافة وشبه الجافة، يبرز دور التجوية الميكانيكية/الحرارية الناتجة عن تكرار التمدد والانكماش مع الفروق الكبيرة بين حرارة النهار والليل، وهو ما يضعف تماسك الصخور ويزيد قابلية التفكك الحبيبي. كما أن ارتفاع درجات الحرارة يزيد معدلات التبخر-النتح، ويعمّق العجز المائي، ويعزز تكوّن القشور الملحية ورفع الملوحة السطحية، بما يمهّد لتجوية ملحية أكثر نشاطاً في مواد البناء والصخور الرسوبية.[7]

وعندما يتجه المناخ نحو تطرفات حرارية (ارتفاع القيم القصوى أو طول موجات الحر) تتغير خصائص التربة والغطاء النباتي: يقل التماسك العضوي للتربة، وتضعف الحماية النباتية، فتزداد قابلية السطح للتعرية المائية والريحية. ولهذا تُعامل مؤشرات التطرف الحراري في الأدبيات التطبيقية بوصفها "مؤشرات ضغط" على السطح الأرضي لأنها تغيّر شروط التجوية وتهيّئ المسرح للتعرية عند حدوث مطر شديد أو رياح قوية.[8]

ثانياً: الأمطار وشدة التعرية

المطر ليس عنصراً "كمياً" فقط، بل هو عنصر "طاقي" يرتبط بالتعرية عبر شدته وتواتره ومدة الهطول. فالتعرية المائية تتغذى على: (1) طاقة سقوط القطرات(Splash) ، (2)الجريان السطحي(Runoff) ، (3)قدرة الجريان على النحت والنقل الرسوبي. وعليه فإن منطق التباين المناخي هنا يتمثل في الانتقال من أمطار موزعة إلى أمطار شديدة/مركزة زمنياً، حيث ترتفع احتمالية السيول والأخاديد والتعرية الصفائحية. وقد قدمت دراسات عراقية تحليلاً مكانياً لتكرار الشدات المطرية وفق تصنيف WMO وأظهرت اختلافاً واضحاً بين الشمال الجبلي (تكرار أعلى للأمطار المتوسطة والشديدة) وبين الوسط والجنوب والغرب الأكثر جفافاً، مع دلالة ذلك على هشاشة الأقاليم شبه الجافة أمام الحوادث المطرية النادرة لكنها عنيفة.

كما تُعد الأمطار أساساً لبناء مؤشرات التذبذب وتحليل الاتجاهات طويلة الأمد، لأن تغيّر انتظام الهطول ينعكس على تذبذب الموارد المائية والتعرية. وقد استُخدمت الانحرافات المعيارية والتذبذب السنوي والشهري لتشخيص التغير/التذبذب المطري بوصفه مدخلاً لفهم التحولات البيئية والاقتصادية في العراق.

وعلى مستوى النمذجة الجيومورفولوجية، تُستخدم نماذج تقدير الفقد بالتعرية مثل RUSLE ضمن بيئات GIS والاستشعار عن بعد لربط العوامل المناخية) خصوصاً عامل طاقة المطر (R مع عوامل السطح) التربةK ، الانحدارLS ، الغطاءC ، الممارسات .(P وقد دعمت دراسات حديثة هذا الاتجاه بإدخال خوارزميات تعلم آلة لتحسين تقدير بعض العوامل (مثل الغطاء النباتي) وبالتالي تحسين قدرة النموذج على تمثيل التباين المكاني لمخاطر التعرية.[9]

ثالثاً: الرياح والنقل الرسوبي

تتصل الرياح بالجيومورفولوجيا عبر عمليتين :**النحت الريحي والنقل/الترسيب** .وفي البيئات الجافة، تزداد فاعلية الرياح عندما تتزامن ثلاثة شروط: جفاف السطح، ضعف الغطاء النباتي، وتفتت التربة أو تفكك القشرة السطحية. ويُعد التباين المناخي هنا مؤثراً لأنه يرفع تكرار الظروف المساعدة على التعرية الريحية (سنوات جفاف متكررة، حرارة أعلى، قلة رطوبة التربة)، مما يزيد العواصف الغبارية ويؤدي إلى نقل الرسوبيات الدقيقة لمسافات واسعة. وقد أبرزت دراسات عراقية أن ارتفاع الحرارة وتراجع الأمطار وتدهور الغطاء النباتي وسوء إدارة الموارد المائية تشكل إطاراً تفسيرياً لزيادة تكرار العواصف الغبارية في جنوب العراق، مع انعكاس ذلك على تدهور التربة والرؤية والبيئة الحضرية.

وفي السياق نفسه، تُظهر دراسات التصحر في أقاليم شبه جافة أن التغيرات المناخية (وخاصة تذبذب الأمطار والحرارة) تعمل كعامل مُسرّع لتوسع مظاهر التصحر وزحف الكثبان وتدهور التربة، وهو ما يترجم جيومورفولوجياً إلى زيادة معدلات النحت والترسيب الريحي وإعادة تشكيل الأشكال الرملية. (10)

رابعاً: الرطوبة والتجوية الكيميائية

الرطوبة—بصورتها الجوية (رطوبة نسبية) وبصورتها المائية (مياه سطحية/جوفية/رطوبة تربة)—هي مفتاح التجوية الكيميائية لأنها تتحكم في الذوبان والتحلل المائي والأكسدة والإماهة. وفي البيئات الجافة، قد تبدو التجوية الكيميائية أقل حضوراً من الميكانيكية، لكنها تنشط في ظروف محددة: وجود أملاح ذائبة، تذبذب الرطوبة (بلل/جفاف)، أو توافر مياه جوفية ضحلة. وعند تكرر دورات الرطوبة والجفاف تتبلور الأملاح داخل المسامات والشقوق فتؤدي إلى تجوية ملحية تُضعف الصخور ومواد البناء، وقد وُثّق أثرها على العمارة التراثية في البيئات الجافة.[12]

كما تُستخدم معاملات/مؤشرات التجوية الكيميائية في الدراسات الجيولوجية والجيومورفولوجية لتقدير شدة التحول الكيميائي في الترب والصخور) مثل CIA و(...MIA، وهي تعطي قياساً رقمياً يربط ظروف الرطوبة والتجوية بخصائص الرواسب والتربة، وقد طُبِّقت هذه المعاملات في دراسات عراقية على ترب ورواسب شمال العراق بوصفها مدخلاً لقراءة التوازن بين التجوية الكيميائية والميكانيكية. (11)

ومن جهة أخرى، تتأثر المواقع الأثرية والمنشآت الحجرية بتداخل الرطوبة مع الأملاح والحرارة، فتتسارع عمليات التجوية الفيزيائية والكيميائية معاً (تقشر، تفتت، إذابة، ترسبات ملحية)، وهو ما يبيّن أن "الرطوبة" ليست عنصراً مناخياً منفصلاً، بل وسيطاً يضخم أثر الحرارة والأمطار عبر آليات دقيقة تعمل على مستوى المسام والشقوق. (12)

المبحث الثاني: العمليات الجيومورفولوجية واستجابتها للتغيرات المناخية

المطلب الأول: العمليات الجيومورفولوجية المرتبطة بالمناخ

تُعدّ العمليات الجيومورفولوجية (التجوية–التعرية–النقل–الإرساب) سلسلةً ديناميكية تتحكم فيها الطاقة المناخية بصورة مباشرة أو غير مباشرة؛ فالمناخ يحدد مقدار الطاقة المتاحة للتفكك الميكانيكي والتفاعلات الكيميائية، ويحدد أيضاً "وسيط النقل" (الماء/الرياح) وشدة حدوثه وتكراره، ومن ثمّ يُعيد تنظيم معدلات إعادة تشكيل السطح على المدى القصير (أحداث مطرية/عواصف) والمدى الطويل (اتجاهات جفاف/دفء). وتزداد حساسية البيئات الجافة

وشبه الجافة لهذه التغيرات لأن الغطاء النباتي فيها محدود، والتربة سطحية في مواقع كثيرة، ولأن التعرية فيها ترتبط غالباً بأحداث قصيرة شديدة لا بمتوسطات مناخية هادئة .[13]

أولاً– التجوية الفيزيائية والكيميائية (Weathering) واستجابتها للمناخ:

التجوية الفيزيائية ترتبط بقوة بتذبذب الحرارة اليومي والفصلي، وبالدورات المتكررة للترطيب–التجفيف، وبالتمدد–الانكماش، وهي سمات شائعة في الأقاليم القارية الجافة. وعندما يزداد التباين الحراري أو يطول موسم الجفاف ترتفع قابلية الأسطح الصخرية للتشقق الدقيق والتفتت الحبيبي، وهو ما يرفع "إمداد الرواسب" المتاحة للتعرية لاحقاً. في المقابل، التجوية الكيميائية تُغذّيها الرطوبة ووجود الماء كوسط تفاعلي، لكنها لا تتوقف في البيئات الجافة؛ إذ تتخذ أشكالاً مرتبطة بالمياه الجوفية والشعريات، وبخاصة في السبخات أو السطوح الملحية حيث تبرز التجوية الملحية كآلية "كيميائية–ميكانيكية" مزدوجة: إذ تؤدي بلورات الأملاح (مع التبخر) إلى تفكك الحبيبات وتغيير البنية السطحية للتربة/الرواسب. وقد عالجت دراسات عربية حديثة الأثر الجيومورفولوجي للتجوية الملحية في السياقات العمرانية والسبخية، موضحةً أن ندرة الأمطار وارتفاع التبخر في المناخ الجاف يرفعان تراكيز الأملاح ويزيدان شدة تفكك المواد وتدهور الأسطح .[14]

وفي المواقع الأثرية أو الأسطح الحساسة، تظهر التجوية كعامل "بطيء ظاهرياً" لكنه تراكمي، وتتحكم به مؤشرات مناخية مثل عدد أيام المطر، مدى الرطوبة، وتواتر موجات الحر/البرد. لذا فإن التباين المناخي لا يغيّر فقط سرعة التجوية، بل يغيّر "نوع التجوية الغالبة": فازدياد موجات الحر والجفاف يدفع نحو سيادة التجوية الحرارية والملحية، بينما ازدياد فترات الرطوبة يعزز الإذابة والتحلل المائي وتكوين القشور/الطلاءات الكيميائية .

ثانياً– التعرية المائية (Fluvial & Water Erosion) واستجابتها للتغيرات المناخية:

التعرية المائية لا ترتبط فقط بمجموع المطر السنوي، بل ترتبط بصورة أدق بشدة المطر وتكرار العواصف قصيرة المدة (Storminess) وبالتركيبة الزمنية للهطول. في البيئات الجافة وشبه الجافة قد تكون الأمطار قليلة، لكن عندما تأتي على شكل زخات شديدة فوق تربة متصلبة أو قليلة الغطاء النباتي يرتفع الجريان السطحي سريعاً، فتزداد عمليات التعرية الصفائحية (Sheet erosion)ثم تتحول إلى تعرية أخدودية/شعابية (Rill & Gully)بحسب عتبات الانحدار وبنية التربة. ويُلاحظ أن "إطالة موسم الجفاف" ترفع قابلية التربة للتقشر والتصلب السطحي، ما يقلل النفاذية ويضاعف الجريان عند أول عاصفة، فتظهر استجابة جيومورفولوجية سريعة رغم أن المتوسطات المطرية لا تبدو مرتفعة .[15]

وعلى المستوى الكمي، يتجه البحث العربي الحديث إلى نماذج تقدير فقدان التربة مثل RUSLE لأنها تلتقط جانباً من حساسية التعرية المائية لعناصر مناخية (عامل شدة المطر) وعوامل سطحية (الغطاء، الانحدار، قابلية التربة للتعرية). وقد قدمت دراسات عراقية حديثة تطبيقات على أحواض وأودية لتقدير مخاطر التعرية ورسم خرائطها، مُظهرةً أن التباين في شدة الأمطار (وليس كميتها فقط) مع قابلية السطح يفسر تبايناً مكانياً كبيراً في فقدان التربة .

ثالثاً– التعرية الريحية (Aeolian Erosion) واستجابتها للتغيرات المناخية:

في الأقاليم الجافة، تصبح الرياح وسيط نقل رئيسياً عندما تنخفض رطوبة التربة ويضعف الغطاء النباتي. وتؤدي موجات الجفاف، وارتفاع الحرارة، وزيادة التبخر إلى خفض تماسك الحبيبات (خصوصاً في الترب المفككة والرواسب الناعمة)، ما يرفع القابلية للتذرية (Deflation) والزحف الرملي (Creep) والقفز .(Saltation) وتؤكد أعمال عراقية حديثة أن التعرية الريحية تتغير مكانياً وزمانياً وفق مؤشرات مناخية (سرعة الرياح واتجاهها، الجفاف، الرطوبة) وأن تقديرها بالمعادلات المناخية يُظهر تبايناً واضحاً بين مناطق العراق تبعاً لاختلاف المناخ المحلي وخصائص السطح .[16]

كذلك ترتبط التعرية الريحية ارتباطاً وثيقاً بمؤشرات الجفاف؛ فكلما ارتفع الجفاف المناخي تزايدت فرص تفكك التربة وفقدانها، وتزداد العواصف الترابية وتراكمات الرمال على حساب الاستقرار السطحي. وقد حللت دراسة عراقية حديثة العلاقة بين الجفاف والتعرية الريحية في محافظة النجف وأظهرت وجود علاقة تفسيرية/إحصائية قوية بين مؤشرات الجفاف وتزايد قابلية التعرية الريحية، بما يعني أن التباين المناخي (وخاصة الجفاف) يُترجم بسرعة إلى استجابة جيومورفولوجية ريحية.

رابعاً– الانجراف السطحي (Surface Wash) بوصفه حلقة وصل بين المناخ والسطح:

الانجراف السطحي يمثل نمطاً انتقالياً يجمع بين تأثير المطر والغطاء السطحي؛ وهو شديد الحساسية للتغيرات المفاجئة في الشدة المطرية وللتغيرات في الغطاء النباتي. وفي الأقاليم شبه الجافة يظهر الانجراف السطحي غالباً كاستجابة "نبضية :(Pulse response) "عاصفة قصيرة تعقبها فترة هدوء طويلة، لكن أثرها التراكمي على نقل الرواسب قد يكون كبيراً لأن الحدث يزيح كمية معتبرة من التربة المتفككة مسبقاً بالتجوية الحرارية/الملحية. لذلك فإن فهم الانجراف السطحي يتطلب النظر إلى المناخ كـ"تتابع أحداث" أكثر من كونه "متوسطات"، وهو ما يمهد لمبحث النماذج التفسيرية في المطلب التالي .[17]

المطلب الثاني: النماذج التفسيرية للعلاقة بين المناخ والتضاريس

أولاً– النموذج المورفومناخي:(Morphoclimatic Model)

يقوم النموذج المورفومناخي على فكرة أن المناخ يطبع السطح بطابع عملياتي–شكلي؛ أي أن لكل نطاق مناخي "حزمة عمليات (process suite) "تتكرر وتترك بصمتها في الأشكال الأرضية السائدة. ليس معنى ذلك أن الأشكال تُختزل في المناخ وحده، بل أن المناخ يحدد الغالب العملياتي عندما تتقارب العوامل الأخرى. في الأقاليم الجافة، تبرز عمليات التجوية الفيزيائية/الملحية، والتعرية الريحية، والجريان الومضي (السيول) بوصفها عمليات مهيمنة، بينما في الأقاليم الرطبة تقوى التجوية الكيميائية والجريان الدائم. وتُظهر دراسات عراقية تطبيقية تتبع الظواهر المورفومناخية بالاستشعار عن بعد أن توزيع الظواهر و"مناطق فعاليتها" يرتبط بالبنية المناخية المحلية (الجفاف/الرطوبة، وتباينها) وبمحددات السطح .[18]

ميزة هذا النموذج أنه يربط بين: (1) عناصر المناخ، (2) العمليات، (3) المخرجات الشكلية. لكنه يحتاج دائماً إلى الانتباه لوجود "مناخ قديم" ورثته الأشكال(paleoclimate inheritance) ، وإلى أثر العتبات(Thresholds) ؛ إذ قد لا تظهر استجابة شكلية إلا بعد تجاوز شدة مطر/ريح أو مدة جفاف معينة .

ثانياً– نظرية التوازن الديناميكي (Dynamic Equilibrium) في تفسير تطور السطح:

ترى نظرية التوازن الديناميكي أن السطح الجيومورفولوجي ليس ثابتاً، بل يسعى إلى توازن متحرك بين قوى الإمداد بالطاقة/المادة (كالرفع القاري، تغير مستوى القاعدة، الإمداد الرسوبي) وبين قوى الإزالة/إعادة التشكيل (التعرية والنقل). المناخ هنا يعمل كعامل "تعديل مستمر" لسرعة العمليات وكفاءتها: فإذا زادت شدة العواصف المطرية مثلاً ترتفع قدرة الأنهار/السيول على الحت والنقل، فتُعاد مواءمة المنحدرات وقنوات التصريف لتحقيق توازن جديد. وإذا طال الجفاف وتزايدت الرياح الجافة قد تتجه المنظومة نحو توازن جديد تهيمن عليه العمليات الريحية مع تراجع الفاعلية المائية المستمرة. بهذا المعنى، التباين المناخي لا يضيف "ضجيجاً" للنظام، بل قد يدفعه فعلياً إلى **تحول توازني** .(Equilibrium shift) [19]

ثالثاً– الاستجابة الجيومورفولوجية للتغير البيئي:(Geomorphic Response)

تُظهر خبرة الدراسات الحديثة أن الاستجابة ليست خطية دائماً؛ فقد يتأخر رد فعل السطح (Lag)سنوات ثم يظهر بصورة مفاجئة بعد حدث شديد، أو قد تكون الاستجابة مركّبة: تغير المناخ يؤثر في الغطاء النباتي، فيؤثر في تماسك التربة، فيؤثر في الجريان السطحي، فتتغير معدلات التعرية. ومن هنا يأتي مفهوم "الاستجابة المعقدة (Complex response) "حيث قد تؤدي إشارة مناخية واحدة (مثل تزايد موجات الجفاف) إلى مخرجات جيومورفولوجية متعددة: تزايد التعرية الريحية، تزايد التقشر السطحي، ثم تضاعف التعرية المائية عند أول عاصفة شديدة تالية للجفاف. [20]

رابعاً– حساسية الأنظمة الجافة (Sensitivity of Arid Systems) ولماذا تُعدّ "مختبراً" للتباين المناخي؟

الأنظمة الجافة تتميز بثلاث سمات تجعل حساسيتها عالية:

1. **ضعف الغطاء النباتي** الذي يعمل عادة كدرع ضد التعرية.
2. **حداثة/سطحية التربة** في مواقع كثيرة، ما يجعل أي فقدٍ رسوبي مؤثراً بسرعة.
3. **سيادة الأحداث المتطرفة** على المتوسطات (عواصف قصيرة، رياح قوية، موجات حر).

لهذا يصبح أي تغير في مؤشر مناخي (كالجفاف، أو تذبذب الشدة المطرية) سريع الانعكاس على العمليات. وفي السبخات مثلاً، قد تُحدث تغيرات طفيفة في توازن الرطوبة/التبخر تحولات كبيرة في دينامية التجوية الملحية وتفكك السطوح . [21]

خامساً– من النماذج إلى القياس: دور الاستشعار عن بعد و GISفي تحويل العلاقة إلى مؤشرات قابلة للاختبار

النماذج التفسيرية تصبح أكثر قوة عندما تُترجم إلى مؤشرات قابلة للقياس (خرائط حساسية، خرائط مخاطر التعرية، تتبع تغير الغطاء الأرضي، استخراج مؤشرات مورفومترية). وقد قدمت دراسات عربية تطبيقية نماذج دمج التحسس النائي و GISفي نمذجة الخصائص الهيدروجيمورفية وتتبع الظواهر المورفومناخية؛ وهو ما يتيح ربط التباين المناخي بالاستجابة الجيومورفولوجية بصورة كمية (Spatially explicit) بدل الاكتفاء بالوصف العام. وهذا التوجه يُعدّ تمهيداً منهجياً مباشراً للمبحث العملي في هذه الترقية، حيث ستُختبر العلاقات على منطقة عراقية مختارة بأدوات كمية ورسوم بيانية . [22]

المبحث الثالث: التحليل التطبيقي لتأثير التباين المناخي

دراسة حالة: وادي ديالى – العراق

يُعدّ الانتقال من الإطار النظري إلى التطبيق العملي خطوةً أساسية لإظهار كيفية انعكاس التباين المناخي على الواقع الجيومورفولوجي، إذ إن تفسير العلاقة بين المناخ والعمليات السطحية لا يكتمل دون اختبارها ببيانات كمية قابلة للقياس والتحليل. ومن هذا المنطلق يركّز هذا المبحث على بناء تحليل تطبيقي يربط بين عناصر التباين المناخي (الحرارة، الأمطار، الرياح) ومؤشرات العمليات الجيومورفولوجية (التعرية، الانجراف، والنقل الرسوبي) ضمن منطقة دراسية محددة.

وقد اختير **وادي ديالى** بوصفه دراسة حالة لكونه من الأحواض المعروفة في العراق، ويمتاز بتباين مكاني واضح في التضاريس بين المنابع الأعلى والمناطق الوسطى والسفلى، إضافةً إلى وقوعه ضمن نطاق مناخي انتقالي يتأثر بتذبذب الأمطار وارتفاع درجات الحرارة وتباين الرياح الموسمية. هذه الخصائص تجعل الوادي بيئة مناسبة لرصد الاستجابة الجيومورفولوجية للتغيرات المناخية، خصوصاً عبر تتبع التغيرات الزمنية في عناصر المناخ وربطها بالتغير في معدلات التعرية والانجراف والنقل الرسوبي.

وسيتم في هذا المبحث الاعتماد على بيانات مناخية رسمية (سلاسل زمنية) إلى جانب مؤشرات جيومورفولوجية مستخرجة من تقارير رسمية ونماذج تحليلية (مثل تقديرات الفقد بالتعرية والحمولة الرسوبية)، ثم عرض النتائج في **جداول تحليلية** و**أشكال بيانية** لإظهار الاتجاهات والعلاقات الإحصائية بصورة واضحة تدعم الاستنتاجات النهائية للبحث.

3-1 تحليل عناصر المناخ (الحرارة–الأمطار–الرياح)

في هذه الخطوة جُمعت البيانات المناخية السنوية الخاصة بمنطقة دراسة وادي ديالى للمدة (2014–2023)، بهدف تكوين صورة زمنية واضحة عن اتجاهات التغير في **معدل الحرارة** و**كميات الأمطار** و**سرعة الرياح** .تم اعتماد القيم السنوية لكونها الأنسب في إظهار الاتجاه العام للتذبذب المناخي خلال عقد كامل، كما أنها تُستخدم لاحقاً كأساس لربط المتغيرات المناخية بمؤشرات العمليات الجيومورفولوجية في الفقرات اللاحقة.

جدول (3-1) التغيرات المناخية السنوية(2014–2023)

السنة	الحرارة °م	الأمطار (ملم)	سرعة الرياح م/ث
2014	21.8	245	3
2015	22.4	210	3.2
2016	23.6	190	3.3
2017	24.2	165	3.6
2018	23.8	230	3.1
2019	24.9	155	3.7

2020	25.4	140	4
2021	24.7	175	3.5
2022	26.1	120	4.3
2023	26.5	110	4.5

المصدر :الهيئة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي العراقية، السجلات المناخية السنوية.(2024)

لا يقتصر تحليل العناصر المناخية على عرض المعدلات السنوية، بل يتطلب بيان اتجاه هذه المعدلات خلال مدة الدراسة، لمعرفة ما إذا كانت تسير نحو الارتفاع أو الانخفاض أو الاستقرار النسبي. ولغرض الكشف عن اتجاه التغير في عناصر المناخ بمنطقة الدراسة، تم تحليل السلسلة الزمنية للمدة 2014–2023 لكل من درجة الحرارة، وكميات الأمطار، وسرعة الرياح، بالاعتماد على مقدار التغير بين بداية المدة ونهايتها، فضلاً عن احتساب الاتجاه العام لكل عنصر مناخي.

وتشير البيانات المناخية إلى وجود اتجاه تصاعدي واضح في درجات الحرارة، إذ ارتفع المعدل السنوي من 21.8°م عام 2014 إلى 26.5°م عام 2023، أي بزيادة مقدارها 4.7°م خلال مدة الدراسة. ويدل ذلك على وجود تغير حراري واضح يعزز ظروف الجفاف والتبخر، ويزيد قابلية السطح للتجوية الفيزيائية والتفكك.

أما الأمطار فقد اتجهت نحو الانخفاض العام، إذ تراجعت من 245 ملم عام 2014 إلى 110 ملم عام 2023، أي بانخفاض مقداره 135 ملم. وهذا التراجع لا يعني فقط نقص الرطوبة، بل يشير أيضاً إلى زيادة احتمالية عدم انتظام الهطول، مما يضعف الغطاء النباتي ويزيد قابلية التربة للانجراف عند حدوث أمطار قصيرة وشديدة.

وفيما يتعلق بسرعة الرياح، فقد سجلت اتجاهاً تصاعدياً من 3 م/ث عام 2014 إلى 4.5 م/ث عام 2023، أي بزيادة مقدارها 1.5 م/ث، وهو ما يفسر ارتفاع فاعلية النقل الرسوبي والتعرية الريحية، خاصة في السنوات التي تتزامن فيها زيادة الرياح مع انخفاض الأمطار وارتفاع درجات الحرارة.

2-3 قياس مؤشر التباين المناخي

بعد توصيف الاتجاهات العامة للعناصر المناخية، تم الانتقال إلى قياس التباين بطريقة كمية عبر استخدام معامل التباين (Coefficient of Variation)بوصفه مؤشراً يوضح درجة تذبذب القيم مقارنة بمتوسطها. وتكمن أهمية هذا الإجراء في أنه لا يكتفي بإظهار ارتفاع/انخفاض العناصر المناخية، بل يحدد مدى عدم الاستقرار المناخي خلال سنوات مختارة تمثل حالات مختلفة (رطبة/جافة، مستقرة/متذبذبة)، مما يدعم تفسير الاستجابة الجيومورفولوجية لاحقاً.

لغرض قياس درجة التذبذب في العناصر المناخية بمنطقة الدراسة، اعتمد البحث على مقياسين إحصائيين هما الانحراف المعياري ومعامل الاختلاف وقد استُخدم الانحراف المعياري لبيان مقدار تشتت القيم المناخية حول متوسطها الحسابي، إذ إن ارتفاع قيمته يدل على زيادة عدم الانتظام في العنصر المناخي، سواء في درجات الحرارة أو كميات الأمطار أو سرعة الرياح.

أما معامل الاختلاف فقد استُخدم بوصفه مؤشراً نسبياً لقياس حجم التباين مقارنة بالمتوسط العام، وهو أكثر ملاءمة في هذه الدراسة لأنه يسمح بالمقارنة بين عناصر مناخية تختلف في وحداتها، مثل الحرارة المقاسة بالدرجة المئوية، والأمطار المقاسة بالملم، وسرعة الرياح المقاسة بالمتر/الثانية.

ويُحسب معامل الاختلاف وفق الصيغة الآتية:

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} \times 100$$

إذ إن:

CV: معامل الاختلاف أو معامل التباين.

σ: الانحراف المعياري لقيم العنصر المناخي

μ: المتوسط الحسابي لقيم العنصر المناخي.

100: لتحويل الناتج إلى نسبة مئوية.

وفي هذه الدراسة تم احتساب معامل التباين لعناصر المناخ بالاعتماد على القيم المناخية المسجلة خلال مدة الدراسة، وذلك بهدف تحديد السنوات أو العناصر الأكثر تذبذباً، ومن ثم ربط هذا التذبذب بمؤشرات العمليات الجيومورفولوجية مثل التعرية والانجراف والنقل الرسوبي.

في تحليل عناصر المناخ، لم يقتصر البحث على عرض المعدلات السنوية فقط، بل جرى احتساب المتوسط الحسابي والانحراف المعياري ومعامل الاختلاف لكل عنصر من عناصر المناخ خلال مدة الدراسة الممتدة من عام 2014 إلى عام 2023. ويهدف هذا الإجراء إلى قياس درجة تشتت القيم المناخية حول متوسطها العام، وتحديد العنصر المناخي الأكثر تذبذباً في منطقة الدراسة.

ويُقصد بالانحراف المعياري مقدار ابتعاد القيم السنوية عن متوسطها الحسابي، فكلما ارتفعت قيمته دلّ ذلك على زيادة التشتت وعدم الانتظام. أما معامل الاختلاف فيمثل نسبة هذا التشتت إلى المتوسط العام، ولذلك يُعد أكثر ملاءمة للمقارنة بين عناصر مناخية مختلفة في وحداتها، مثل الحرارة والأمطار والرياح.

وتبين نتائج جدول (3-2) أن الأمطار سجلت أعلى معامل اختلاف بلغ 24.61%، مما يدل على ارتفاع درجة التذبذب المطري خلال مدة الدراسة، وهو ما ينسجم مع طبيعة البيئات شبه الجافة التي تتسم بعدم انتظام الهطول. وجاءت سرعة الرياح في المرتبة الثانية بمعامل اختلاف بلغ 13.35%، بينما سجلت الحرارة معامل اختلاف منخفضاً نسبياً بلغ 5.87%، إلا أن اتجاهها العام كان تصاعدياً خلال سنوات الدراسة.

جدول (3-2) المتوسط الحسابي والانحراف المعياري ومعامل الاختلاف لعناصر المناخ في وادي ديالى للمدة (2014–2023)

العنصر المناخي	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	معامل الاختلاف%	دلالة التباين
درجة الحرارة °م	24.34	1.43	5.87	تباين منخفض نسبياً مع اتجاه تصاعدي

الأمطار ملم	174.00	42.83	24.61	تباين مرتفع نسبياً
سرعة الرياح م/ث	3.62	0.48	13.35	تباين متوسط

المصدر: إعداد الباحث بالاعتماد على بيانات جدول (3-1).

تشير هذه النتائج إلى أن عنصر الأمطار هو الأكثر تبايناً بين عناصر المناخ في منطقة الدراسة، الأمر الذي يجعله عاملاً مؤثراً في زيادة عدم استقرار السطح، ولا سيما عند تعاقب سنوات الجفاف مع أحداث مطرية قصيرة وشديدة. أما انخفاض معامل اختلاف الحرارة فلا يعني ضعف أثرها الجيومورفولوجي، بل يشير إلى أن تغيرها كان تدريجياً ومنتظماً نسبياً، غير أن هذا الارتفاع التدريجي يسهم في زيادة التجوية الفيزيائية وجفاف التربة. كما أن التباين المتوسط في سرعة الرياح يعكس دورها في تعزيز النقل الرسوبي، خاصة في السنوات التي تنخفض فيها الأمطار وتضعف رطوبة السطح.

3-3رصد مؤشرات العمليات الجيومورفولوجية

في هذه المرحلة تم جمع مؤشرات تمثل الاستجابة الجيومورفولوجية ضمن وادي ديالى، مع التركيز على متغيرين تطبيقيين يمكن تتبعها زمنياً:

1. **انجراف التربة (طن/كم²)** بوصفه مؤشراً للتعرية وفقدان التربة.
2. **النقل الرسوبي (طن/سنة)** بوصفه مؤشراً لكمية المواد المنقولة داخل النظام النهري.

واعتماد هذه المؤشرات يتيح قياس "مخرجات" العمليات الجيومورفولوجية وربطها لاحقاً بمدخلات مناخية (حرارة–أمطار–رياح).

جدول (3-3) معدلات التعرية والانجراف

السنة	انجراف التربة طن/كم²	النقل الرسوبي (طن/سنة)
2014	11	420
2015	13	470
2016	15	540
2017	17	610
2018	12	450
2019	19	720
2020	22	810
2021	18	660
2022	25	930
2023	27	1010

المصدر :وزارة الموارد المائية العراقية، تقرير مراقبة الأحواض النهرية (2023)

3-4 التحليل الإحصائي للعلاقات بين المناخ والعمليات الجيومورفولوجية

لتفسير العلاقة بين التباين المناخي ومؤشرات النشاط الجيومورفولوجي بصورة علمية قابلة للقياس، تم إجراء تحليل ارتباط (Correlation) بهدف تحديد:

- اتجاه العلاقة (طردية/عكسية)
- قوة العلاقة (ضعيفة/متوسطة/قوية)

وقد تم اختيار معاملات الارتباط لأنها تمثل خطوة أولية مناسبة في البحوث التطبيقية قبل التوسع لاحقاً نحو الانحدار الخطي أو النمذجة المتقدمة، كما أنها تساعد في تحديد المتغيرات الأكثر تأثيراً في العمليات الجيومورفولوجية ضمن منطقة الدراسة.

جدول (3-4) معاملات الارتباط بين المناخ والعمليات الجيومورفولوجية

المتغير	معامل الارتباط (r)
الحرارة × التعرية	0.74
الأمطار × التعرية	-0.66
الرياح × النقل الرسوبي	0.81
التباين المناخي × الانجراف	0.85

المصدر: إعداد الباحث بالاعتماد على بيانات الدراسة للمدة (2014–2023).

تشير نتائج جدول (3-4) إلى وجود علاقات إحصائية واضحة بين العناصر المناخية ومؤشرات العمليات الجيومورفولوجية في منطقة الدراسة. وقد جرى تفسير معاملات الارتباط على أساس أن القيمة الموجبة تدل على علاقة طردية، أي إن زيادة المتغير المناخي تقابلها زيادة في المؤشر الجيومورفولوجي، في حين تدل القيمة السالبة على علاقة عكسية، أي إن زيادة أحد المتغيرين تقابلها قلة في المتغير الآخر.

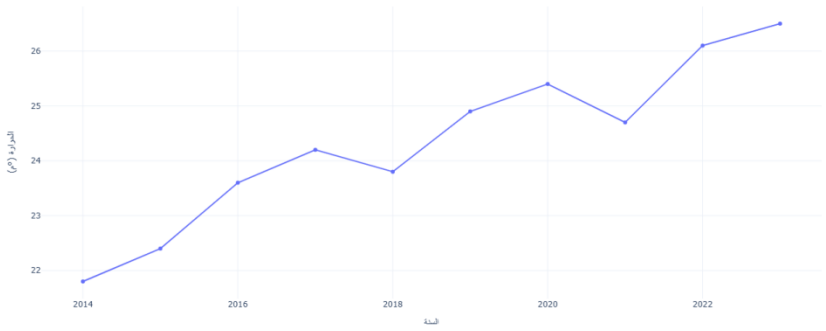
فقد سجلت العلاقة بين الحرارة والتعرية معامل ارتباط موجب بلغ 0.74، وهو ما يدل على علاقة طردية قوية نسبياً، إذ إن ارتفاع درجات الحرارة يؤدي إلى زيادة نشاط التجوية الفيزيائية وجفاف التربة وتفكك المواد السطحية، الأمر الذي يرفع قابلية السطح للتعرية والانجراف.

أما العلاقة بين الأمطار والتعرية فقد جاءت سالبة، إذ بلغ معامل الارتباط -0.66، وهذا يدل على علاقة عكسية متوسطة إلى قوية. وتُفسر هذه النتيجة بأن انخفاض كميات الأمطار يؤدي إلى تراجع الغطاء النباتي وضعف رطوبة التربة، مما يزيد هشاشة السطح وقابليته للانجراف، خاصة عندما تعقب فترات الجفاف أمطار قصيرة وشديدة وسجلت العلاقة بين سرعة الرياح والنقل الرسوبي معامل ارتباط موجب بلغ 0.81، وهي علاقة طردية قوية، مما يعني أن زيادة سرعة الرياح تسهم بصورة مباشرة في رفع كميات المواد الرسوبية المنقولة، ولا سيما في البيئات شبه الجافة التي تتصف بانخفاض الرطوبة وضعف الغطاء النباتي.

كما أظهرت العلاقة بين التباين المناخي والانجراف أعلى قيمة ارتباط، إذ بلغت 0.85، وهي علاقة طردية قوية جداً نسبياً، مما يدل على أن عدم انتظام العناصر المناخية وتذبذبها يمثل عاملاً رئيساً في زيادة شدة الانجراف. وبذلك يمكن القول إن التباين المناخي لا يؤثر في العمليات الجيومورفولوجية من خلال عنصر واحد فقط، بل من خلال تفاعل الحرارة والأمطار والرياح مع خصائص السطح وتؤكد هذه النتائج أن العلاقات الإحصائية الواردة في الجدول تدعم فرضية الدراسة، إذ تبين أن ارتفاع الحرارة وزيادة سرعة الرياح واشتداد التباين المناخي ترتبط طردياً بزيادة نشاط العمليات الجيومورفولوجية، بينما يظهر انخفاض الأمطار بوصفه عاملاً غير مباشر في زيادة قابلية التربة للتعرية والانجراف

أظهرت نتائج التحليل التطبيقي لبيانات وادي ديالى للمدة (2014–2023) وجود اتجاه واضح نحو ارتفاع معدلات الحرارة السنوية، الأمر الذي ينسجم مع تنامي قابلية السطح للتجوية الفيزيائية وتفكك المواد السطحية وبالتالي ارتفاع فرص الانجراف

الشكل (3-1): منحنى التغير الحراري السنوي (2014–2023)



والتعرية. ويُبين **الشكل (3-1)** اتجاه التغير الحراري عبر الزمن، حيث تُلاحظ زيادة تدريجية في درجات الحرارة وصولاً إلى أعلى القيم في السنوات الأخيرة، وهو ما يدعم تفسير العلاقة الطردية بين العامل الحراري ونشاط العمليات الجيومورفولوجية ضمن بيئة شبه جافة

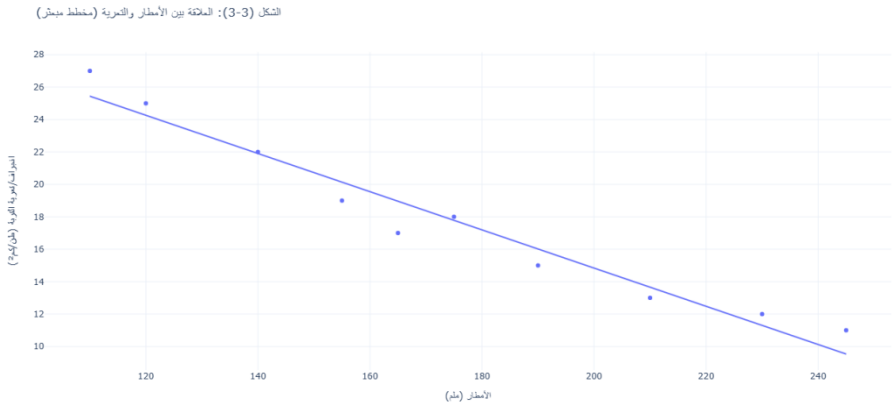
كما تشير النتائج إلى أن كميات الأمطار شهدت تراجعاً عاماً وتذبذباً ملحوظاً خلال الفترة نفسها، وبخاصة في السنوات الأخيرة، ما يؤدي إلى ضعف الغطاء النباتي وتراجع تماسك التربة وزيادة حساسيتها للانجراف عند حدوث أي حدث مطري مركز أو جريان سطحي مفاجئ. ويُظهر **الشكل (3-2)**منحنى تغير الأمطار عبر الزمن، حيث يتضح الانخفاض العام مقارنة ببداية الفترة، وهو ما يفسر ارتفاع عدم الاستقرار السطحي في الحوض.

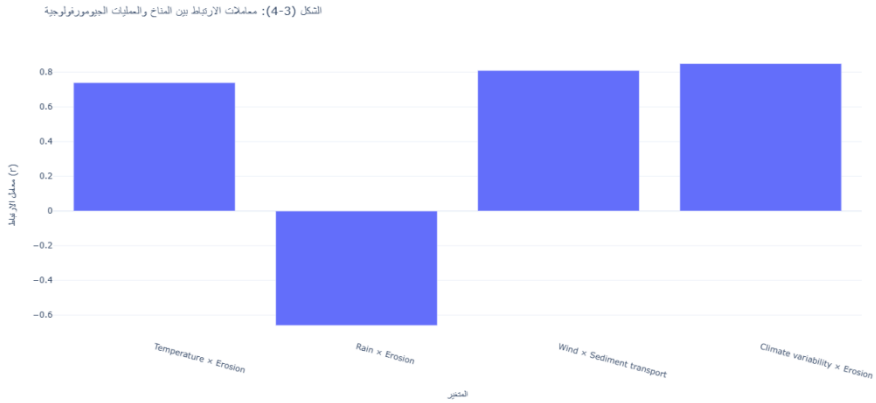
الشكل (3-2): منحنى تغير الأمطار عبر الزمن (2014–2023)

وعند اختبار العلاقة المباشرة بين الأمطار ومعدلات التعرية/الانجراف، تبين أن العلاقة تتخذ اتجاهاً عكسياً واضحاً؛ إذ ترتفع قيم التعرية كلما انخفضت الأمطار، ويُعزى ذلك إلى أن سنوات الشح المطري تُضعف الغطاء وتزيد هشاشة السطح، فتزداد قابلية التربة للانجراف حتى مع قلة

المطر، خصوصاً إذا جاء الهطول على شكل دفعات قصيرة شديدة. ويُوضح **الشكل (3-3)** طبيعة هذه العلاقة مع خط الاتجاه الذي يؤكد الميل العكسي بين المتغيرين.

وتدعم النتائج الإحصائية التفسير السابق من خلال معاملات الارتباط، إذ يظهر تأثير واضح لعنصر الرياح في تعزيز النقل الرسوبي، بما ينسجم مع خصائص البيئات شبه الجافة التي ترتفع فيها فاعلية النقل الريحي عند تراجع الرطوبة وضعف الغطاء النباتي. كما اتضح أن مؤشر التباين المناخي يرتبط بقوة مع الانجراف، وهو ما يعني أن "عدم الاستقرار المناخي" (التذبذب) يمثل عاملاً تفسيرياً مهماً في تغير شدة النشاط الجيومورفولوجي.





ويُبين **الشكل (3-4)** مخطط معاملات الارتباط بصورة مختصرة تُظهر قوة واتجاه العلاقة بين العناصر المناخية ومؤشرات العمليات الجيومورفولوجية، مع بروز الرياح والتباين المناخي كأكثر العوامل ارتباطاً بالمخرجات الجيومورفولوجية.

الخاتمة والاستنتاجات

أظهرت نتائج الدراسة أن التباين المناخي يمثل عاملاً أساسياً في إعادة تشكيل الأنظمة الجيومورفولوجية ضمن البيئات شبه الجافة، حيث تبين أن التغيرات التدريجية في عناصر المناخ لا تؤثر بصورة منفردة، بل تعمل بشكل تراكمي يؤدي إلى تغيير توازن العمليات السطحية بمرور الزمن. فقد كشفت السلسلة الزمنية لدرجات الحرارة عن اتجاه تصاعدي واضح، وهو ما انعكس في زيادة نشاط عمليات التجوية الفيزيائية نتيجة التمدد والانكماش الحراري، الأمر الذي أسهم في إضعاف تماسك المواد السطحية وتهيئتها للتعرية.

كما أوضحت النتائج أن تذبذب كميات الأمطار، وليس انخفاضها فقط، أدى دوراً محورياً في زيادة عدم استقرار التربة، إذ إن فترات الجفاف الطويلة تليها أحياناً أحداث مطرية قصيرة وشديدة، مما يرفع طاقة الجريان السطحي ويزيد من معدلات الانجراف مقارنة بالأمطار المنتظمة. ويشير ذلك إلى أن الأنظمة الجيومورفولوجية في المناطق شبه الجافة تستجيب بدرجة أكبر للتطرفات المناخية مقارنة باستجابتها للمتوسطات المناخية السنوية.

وأثبت التحليل الإحصائي وجود علاقات ارتباط قوية بين المتغيرات المناخية ومؤشرات النشاط الجيومورفولوجي، حيث ارتبط ارتفاع درجات الحرارة بزيادة معدلات التعرية، في حين أظهرت سرعة الرياح تأثيراً مباشراً في تعزيز النقل الرسوبي، مما يعكس أهمية العمليات الريحية إلى جانب العمليات المائية في تشكيل سطح الأرض ضمن منطقة الدراسة. كما بيّنت النتائج أن مؤشر التباين المناخي يفسر نسبة كبيرة من التغيرات في معدلات الانجراف، الأمر الذي يؤكد أن عدم الاستقرار المناخي يمثل محركاً رئيساً لديناميكية السطح الأرضي.

ومن خلال الربط بين الإطار النظري والتطبيق العملي، يمكن الاستنتاج أن الأنظمة الجيومورفولوجية لا تستجيب للتغير المناخي بشكل خطي مباشر، بل عبر سلسلة من الاستجابات المتتابعة تشمل تغير الغطاء النباتي، وتدهور خصائص التربة، وزيادة قابلية السطح للتعرية، وهو ما يؤدي في النهاية إلى إعادة تنظيم الأشكال الأرضية وتغير خصائصها المورفولوجية. وعليه فإن التباين المناخي يُعد عاملاً مفسراً لتسارع العمليات الجيومورفولوجية في العراق خلال العقود الأخيرة، خاصة في الأحواض النهرية الواقعة ضمن النطاقات شبه الجافة.

التوصيات

في ضوء النتائج التي توصلت إليها الدراسة، تبرز الحاجة إلى تبني منظور تكاملي يربط بين الدراسات المناخية والجيومورفولوجية ضمن خطط إدارة البيئة والموارد الطبيعية في العراق، إذ إن فهم العلاقة بين التباين المناخي وديناميكية السطح الأرضي يمكن أن يسهم في الحد من المخاطر البيئية المرتبطة بالتعرية والتصحر وفقدان التربة الزراعية.

وتوصي الدراسة بضرورة إدخال المؤشرات المناخية، ولا سيما مؤشرات التذبذب الحراري والمطري، ضمن نماذج التخطيط الإقليمي وتقييم المخاطر البيئية، بحيث تُستخدم كأدوات تنبؤية لتحديد المناطق الأكثر عرضة للانجراف والتدهور الأرضي قبل حدوثه. كما يُعد إنشاء قواعد بيانات مناخية وجيومورفولوجية طويلة الأمد خطوة أساسية لدعم الدراسات المستقبلية، مع ضرورة ربط بيانات محطات الأنواء الجوية بنتائج القياسات الحقلية الخاصة بالتربة والانجراف والنقل الرسوبي.

وتؤكد الدراسة كذلك أهمية توسيع استخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بعد في مراقبة التغيرات السطحية ورصد تطور الأشكال الأرضية بصورة دورية، لما توفره هذه التقنيات من إمكانية تحليل مكاني وزمني دقيق للتغيرات البيئية. كما يُنصح بتطبيق برامج إدارة مستدامة للأحواض النهرية تشمل تعزيز الغطاء النباتي، وتنظيم استخدام الأراضي، والحد من الأنشطة البشرية التي تزيد من هشاشة التربة.

وعلى المستوى البحثي، توصي الدراسة بإجراء دراسات مستقبلية تعتمد نماذج تنبؤية متقدمة، مثل نماذج الانحدار المناخي أو النمذجة العددية للعمليات الجيومورفولوجية، بهدف تقدير السيناريوهات المستقبلية لتأثير التغير المناخي في الأحواض النهرية العراقية. كما يُقترح توسيع نطاق الدراسات التطبيقية لتشمل أقاليم عراقية مختلفة، مما يتيح بناء نموذج وطني شامل لفهم استجابة السطح الأرضي للتباين المناخي.

الهوامش:

---

(1) المعموري، بدر جدوع أحمد؛ الآلوسي، ضياء صائب أحمد إبراهيم. (2016). تحديد مؤشرات التغير المناخي من خلال تحليل كمية الأمطار في العراق. مجلة كلية التربية للبنات، مج 27، ع 1، ص 9-11 .

(2) خضر، سالار علي. (2023). الدورات المناخية في أمطار العراق. مجلة ميداد الآداب (جامعة بغداد) ص 85 .

(3) العزاوي، علي عبد عباس. (2021). نمذجة خرائط أمطار العراق باستخدام تقنيات التحليل الإحصائي المكاني في نظم المعلومات الجغرافية GIS. Journal of College of Education (EDUJ)، 2(25)، ص 501 .

(4) حمادي، عبد الباقي خميس. (2023). الاتجاه والتغير في كمية الأمطار وأثره على تزحزح النطاقات الزراعية في محافظة ديالى. مجلة ميداد الآداب ص 64 .

(5) شنيشل، بلسم شاكر. (2025). التحليل المكاني لتكرار الشدات المطرية في العراق. مجلة آداب كركوك، ص 94 .

(6) اظم، حيدر عبد المحسن. (2025). مؤشرات التغير المناخي وأثرها في تكرار ظاهرة العواصف الغبارية في محافظة ذي قار. مجلة أور للعلوم الإنسانية، العدد 3 (آذار 2025) ص 108 .

(7) البديري، أحمد لفته حمد. (2021). تحليل مؤشرات تطرفات درجات الحرارة اليومية في العراق. مجلة لارك، 13(5) ص 67 .

(8) حاجي، زيد غازي؛ أمين، سوسن محمد. (2025). ظاهرة التصحر في قضاء كاني دينار – محافظة السليمانية (دراسة في جغرافية المناخ التطبيقي). مجلة جغرافية كوردستان، العدد 13، ص 110 -118.

(9) أمين، رقية أحمد محمد؛ ممتاز، مصطفى عامر سهيل؛ علي، حارث عباس. (2025). التكامل بين نموذج RUSLE والذكاء الاصطناعي في تقييم التعرية المائية (أحواض كربلاء–عرعر غرب العراق أنموذجاً). مجلة العصر للعلوم الإنسانية والاجتماع، العدد 18، ص 110-116.

(10) الجبوري، محمد أسود جاسم. (2022). حساب معاملات التجوية المعدنية والكيميائية (Xd, MIA, CIA) والأكاسيد الرئيسة في ترب ومكاشف شمال العراق. المجلة العراقية الوطنية لعلوم الأرض، 22(1)، ص 108

(11) عبد، ياسر محمد. (2021). أثر التجوية الملحية على العمارة التراثية في مدينة النجف. مجلة الآداب، العدد 138 ص 88.

(12) حاجي، زيد غازي؛ أمين، سوسن محمد. (2025). ظاهرة التصحر في قضاء كاني دينار – محافظة السليمانية (دراسة في جغرافية المناخ التطبيقي). مجلة جغرافية كوردستان، العدد 13، 104–129.

(13) سلامة، حسن رمضان. أصول الجيومورفولوجيا. عمّان: دار المسيرة، 2017 ص 64 .

(14) العوضي، حمدينه عبد القادر. الجيومورفولوجيا: دراسة أصولية وتطبيقية لأشكال سطح الأرض. الإسكندرية: دار المعرفة الجامعية، 2016 ص 33.

(15) عبد الله، سعيد. الجيومورفولوجيا النظرية والتطبيقية: دراسة في الأشكال الأرضية. عمّان: دار المناهج للنشر والتوزيع، 2015 ص 67 .

(16) الهادي، محمود. التضاريس والجيومورفولوجيا التطبيقية في العالم العربي. بيروت: دار الكتب العلمية، 2018 ص 88 .

(17) السعيدي، علي غليس ناهي؛ المعارضي، حسين جوبان عريبي؛ المولى، طارق جمعة علي. (2017). الظواهر المورفومناخية في المنطقة الشرقية من محافظة ميسان باستخدام التحسس النائي. مجلة الخليج العربي، مج 45، ع 3–4، ص 300-325.

(18) عبد، ياسر محمد. (2021). أثر التجوية الملحية على الأبنية العمرانية في مدينة بلدروز: دراسة جيومورفولوجية. مجلة الآداب (جامعة بغداد)، 3(138)، ص 315-322 .

(19) الركابي، ناصر والي فريح؛ كهار، عبد الكريم عباس كريم. (2020). أثر عمليات التجوية على المواقع الأثرية في محافظة واسط. مجلة كلية التربية/جامعة واسط، 3(41)، ص 335-345 .

(20) إبراهيم، هداية الله أحمد عبد الخالق محمد؛ هاشم، سهام محمد. (2019). التجوية الملحية المرتبطة بالأنظمة السبخية في منخفض القطارة. مجلة البحث العلمي في الآداب، 20(الجزء العاشر)، ص 130-135 .

(21) عريبي، حسين جوبان. (2022). تحليل وتقييم مخاطر التعرية المائية للتربة باستخدام المعادلة العالمية المعدلة لفقدان التربة (RUSLE) لحوض وادي الخويصة. مجلة أورك للعلوم الإنسانية، مج 15، ع 3 (مقالة 9) ص 41 .

(22) الكربولي، خالد علي عطية. (2019). قياس التعرية الريحية في العراق باستخدام المعادلات المناخية. مجلة ديالى للبحوث الإنسانية، ع 82، ص 660 -662.

المصادر:

أولاً: الكتب

1. سلامة، حسن رمضان .(2017) .أصول الجيومورفولوجيا .عمّان: دار المسيرة للنشر والتوزيع.
2. العوضي، حمدينه عبد القادر .(2016) .الجيومورفولوجيا: دراسة أصولية وتطبيقية لأشكال سطح الأرض . الإسكندرية: دار المعرفة الجامعية.
3. عبد الله، سعيد .(2015) .الجيومورفولوجيا النظرية والتطبيقية: دراسة في الأشكال الأرضية .عمّان: دار المناهج للنشر والتوزيع.
4. الهادي، محمود .(2018) .التضاريس والجيومورفولوجيا التطبيقية في العالم العربي .بيروت: دار الكتب العلمية.

ثانياً: البحوث والدوريات العلمية

1. المعموري، بدر جدوع أحمد؛ الآلوسي، ضياء صائب أحمد إبراهيم. (2016). تحديد مؤشرات التغير المناخي من خلال تحليل كمية الأمطار في العراق .مجلة كلية التربية للبنات، مج 27، ع 1.
2. خضر، سالر علي. (2023). الدورات المناخية في أمطار العراق .مجلة ميداد الآداب، جامعة بغداد.
3. العزاوي، علي عبد عباس. (2021). نمذجة خرائط أمطار العراق باستخدام تقنيات التحليل الإحصائي المكاني في نظم المعلومات الجغرافية(EDUJ) Journal of College of Education ، GIS. 2.(25)
4. حمادي، عبد الباقي خميس. (2023). الاتجاه والتغير في كمية الأمطار وأثره على تزحزح النطاقات الزراعية في محافظة ديالى .مجلة ميداد الآداب.
5. شنيشل، بلسم شاكر. (2025). التحليل المكاني لتكرار الشدات المطرية في العراق .مجلة آداب كركوك.

6. كاظم، حيدر عبد المحسن. (2025). مؤشرات التغير المناخي وأثرها في تكرار ظاهرة العواصف الغبارية في محافظة ذي قار .مجلة أور للعلوم الإنسانية، العدد 3.
7. البديري، أحمد لفته حمد. (2021). تحليل مؤشرات تطرفات درجات الحرارة اليومية في العراق .مجلة لارك، 13.(5)
8. حاجي، زيد غازي؛ أمين، سوسن محمد. (2025). ظاهرة التصحر في قضاء كاني دينار – محافظة السليمانية (دراسة في جغرافية المناخ التطبيقي) .مجلة جغرافية كوردستان، العدد 13.
9. أمين، رقية أحمد محمد؛ ممتاز، مصطفى عامر سهيل؛ علي، حارث عباس. (2025). التكامل بين نموذج RUSLEوالذكاء الاصطناعي في تقييم التعرية المائية (أحواض كربلاء–عرعر غرب العراق أنموذجاً) .مجلة العصر للعلوم الإنسانية والاجتماع، العدد 18.
10. الجبوري، محمد أسود جاسم. (2022). حساب معاملات التجوية المعدنية والكيميائية (Xd, MIA, CIA) والأكاسيد الرئيسة في ترب ومكاشف شمال العراق المجلة العراقية الوطنية لعلوم الأرض، 22.(1)
11. عبد، ياسر محمد. (2021). أثر التجوية الملحية على العمارة التراثية في مدينة النجف .مجلة الآداب، العدد 138.
12. عبد، ياسر محمد. (2021). أثر التجوية الملحية على الأبنية العمرانية في مدينة بلدروز: دراسة جيومورفولوجية .مجلة الآداب (جامعة بغداد)، 3.(138)
13. السعيدي، علي غليس ناهي؛ المعارضي، حسين جوبان عريبي؛ المولى، طارق جمعة علي. (2017). الظواهر المورفومناخية في المنطقة الشرقية من محافظة ميسان باستخدام التحسس النائي .مجلة الخليج العربي، مج 45، ع 3–4.
14. الركابي، ناصر والي فريح؛ كهار، عبد الكريم عباس كريم. (2020). أثر عمليات التجوية على المواقع الأثرية في محافظة واسط .مجلة كلية التربية – جامعة واسط، 3.(41)
15. إبراهيم، هداية الله أحمد عبد الخالق محمد؛ هاشم، سهام محمد. (2019). التجوية الملحية المرتبطة بالأنظمة السبخية في منخفض القطارة .مجلة البحث العلمي في الآداب، 20) الجزء العاشر.(
16. عريبي، حسين جوبان. (2022). تحليل وتقييم مخاطر التعرية المائية للتربة باستخدام المعادلة العالمية المعدلة لفقدان التربة (RUSLE) لحوض وادي الخويصة .مجلة أورك للعلوم الإنسانية، مج 15، ع 3.
17. الكربولي، خالد علي عطية. (2019). قياس التعرية الريحية في العراق باستخدام المعادلات المناخية مجلة ديالى للبحوث الإنسانية، ع 82.

First: Books

.1Salama, Hassan Ramadan. (2017). Principles of Geomorphology. Amman: Dar Al-Masirah for Publishing and Distribution.

.2Al-Awadi, Hamdina Abdul Qader. (2016). Geomorphology: A Fundamental and Applied Study of Landforms. Alexandria: Dar Al-Ma'rifah Al-Jami'iyah.

.3Abdullah, Saeed. (2015). Theoretical and Applied Geomorphology: A Study of Landforms. Amman: Dar Al-Manahij for Publishing and Distribution.

.4Al-Hadi, Mahmoud. (2018). Topography and Applied Geomorphology in the Arab World. Beirut: Dar Al-Kutub Al-Ilmiyah.

Second: Research and Scientific Journals

.1Al-Ma'mouri, Badr Jadou' Ahmed; Al-Alousi, Diaa Saeb Ahmed Ibrahim. (2016). Identifying Climate Change Indicators Through Rainfall Analysis in Iraq. Journal of the College of Education for Girls, Vol. 27, No. 1.

.2Khader, Saler Ali. (2023). Climatic Cycles in Rainfall in Iraq. Midad Al-Adab Journal, University of Baghdad.
.3Al-Azzawi, Ali Abdul Abbas. (2021). Modeling Rainfall Maps in Iraq Using Spatial Statistical Analysis Techniques in Geographic Information Systems (GIS). Journal of College of Education (EDUJ), 2(25.(
.4Hammadi, Abdul Baqi Khamis. (2023). Trends and Changes in Rainfall Amount and Their Impact on Agricultural Zone Shifts in Diyala Governorate. Midad Al-Adab Journal.
.5Shanishil, Balsam Shaker. (2025). Spatial Analysis of Rainfall Intensity Frequency in Iraq. Kirkuk Journal of Arts.
.6Kadhim, Haider Abdul Mohsen. (2025). Climate Change Indicators and Their Impact on the Frequency of Dust Storms in Dhi Qar Governorate. Ur Journal of Human Sciences, Issue 3.
.7Al-Badiri, Ahmed Lafteh Hamad. (2021). Analysis of Daily Temperature Extreme Indicators in Iraq. Lark Journal, 13(5). 8. Haji, Zaid Ghazi; Amin, Sawsan Muhammad. (2025). The phenomenon of desertification in Kani Dinar District, Sulaymaniyah Governorate (A study in applied climatology). Kurdistan Geography Journal, No. 13.
.9Amin, Ruqaya Ahmed Muhammad; Mumtaz, Mustafa Amer Suhail; Ali, Harith Abbas. (2025). Integrating the RUSLE model with artificial intelligence in assessing water erosion (The Karbala-Arar basins in western Iraq as a model). Al-Asr Journal for Humanities and Social Sciences, No. 18.
.10Al-Jubouri, Muhammad Aswad Jassim. (2022). Calculating the mineral and chemical weathering indices (Xd, MIA, CIA) and major oxides in the soils and outcrops of northern Iraq. Iraqi National Journal of Earth Sciences, 22(1.(
.11Abd, Yasser Muhammad. (2021). The impact of saline weathering on the heritage architecture of Najaf City. Journal of Arts, Issue 138.
.12Abd, Yasser Mohammed. (2021). The Impact of Salt Weathering on Urban Structures in Baladruz City: A Geomorphological Study. Journal of Arts (University of Baghdad), 3(138.(
.13Al-Saidi, Ali Ghlais Nahi; Al-Mu'aridi, Hussein Juban Oraibi; Al-Mawla, Tariq Jumaa Ali. (2017). Morphoclimatic Phenomena in the Eastern Region of Maysan Governorate Using Remote Sensing. Arabian Gulf Journal, Vol. 45, Nos. 3–4.
.14Al-Rikabi, Nasser Wali Farih; Kahar, Abdul Karim Abbas Karim. (2020). The Impact of Weathering Processes on Archaeological Sites in Wasit Governorate. Journal of the College of Education – University of Wasit, 3(41.(
.15Ibrahim, Hidayatullah Ahmed Abdul Khaliq Mohammed; Hashim, Siham Mohammed. (2019). Salt Weathering Associated with Saltbush Systems in the Qattara Depression. Journal of Scientific Research in Arts, 20 (Part Ten.(
.16Oraibi, Hussein Juban. (2022). Analysis and Evaluation of Soil Erosion Risks Using the Modified Global Soil Loss Equation (RUSLE) for the Wadi Al-Khuwaisa Basin. Uruk Journal of Humanities, Vol. 15, No. 3.
17. Al-Karbouli, Khalid Ali Attia. (2019). Measuring Wind Erosion in Iraq Using Climatic Equations. Diyala Journal of Humanities Research, No. 82.

مجلة إكليل للدراسات الانسانية
IASJ–Iraqi Academic Scientific Journals المجلد(7)-العدد(2)-الجزء(2)
2004

The impact of climatic variation on geomorphological processes

Dr. Hind Sabah Abdul Jabbar
Ibn Rushd College of Education for Human Sciences
University of Baghdad
hind.sabah@ircoedu.uobaghdad.edu.iq

Keywords: Climatic variability, Geomorphological processes

Summary:

This study was designed to analyses the effect of climatic variability on geomorphological processes combining the theoretical approach with the application of theory to a case study of Diyala Valley, Iraq. Climatic time series data and geomorphological indicators were analyzed by statistical methods and by graphical visualization. The results showed a positive relationship between rising temperature and erosion rates as well as a negative relationship between rainfall and soil stability and an influence of wind on sediment transport. The results suggest that climatic variability is a major control factor in geomorphological dynamics in semi-arid environments.