

RESEARCH ARTICLE

The Impact of Climatic Change on Erosion of The Tanjero Valley Basin using The Gavriolovic EPM model

Nadia Hatem Tuma Al-Atabi *

Department of Geography, College of Education for Humanities, University of Wasit, Iraq

ABSTRACT

This study aims to analyze the impact of climate change on water erosion in the Tanjero Valley basin, northeastern Iraq, by applying the Gavrilović Erosion Potential Method (EPM) and examining long-term climatic trends (1990–2023). Rainfall, temperature, slope coefficient, soil erodibility, vegetation protection, and erosion development factors were integrated to calculate the erosion intensity coefficient (Z) and annual soil loss volume (W).

The results indicate that the basin generally falls within a moderate erosion category, with higher values concentrated on steep mountainous slopes. A temporal comparison between two climatic periods (1995–2005) and (2006–2023) reveals an increase in mean annual rainfall from 244.57 mm to 359.01 mm, accompanied by a slight rise in mean annual temperature. Consequently, the annual erosion volume (W) increased from 328.1 to 484.7, representing a 47.8% rise. These findings demonstrate a high rainfall-driven responsiveness of the basin's morphodynamic system, highlighting precipitation variability as the dominant climatic driver of enhanced erosion processes during recent decades.

The study confirms that climate change effects in the basin are primarily manifested through intensified rainfall dynamics and increased runoff energy, suggesting greater erosion susceptibility in mountainous basins of northern Iraq under ongoing climatic trends.

Keywords: Climate change , Water erosion , Gavrilović model (EPM) , Annual soil loss (W) , Tanjero Basin.

مقالة بحثية

أثر التغير المناخي في تعرية حوض وادي تانجيرو باستخدام نموذج جافريولوفيك EPM

ناديه حاتم طعمه العتابي *

قسم الجغرافية ، كلية التربية للعلوم الإنسانية ، جامعة واسط ، العراق

الملخص:

يهدف البحث إلى تحليل أثر التغير المناخي في التعرية المائية لحوض وادي تانجيرو شمال شرق العراق من خلال تطبيق نموذج جافريولوفيك (EPM) وتحليل البعد الزمني للتغير الحراري والمطري للمدة (1990–2023). اعتمدت الدراسة على مؤشرات الأمطار ودرجة الحرارة ومعامل الانحدار وقابلية التربة للتعرية ومعامل الحماية النباتية ومعامل تطور التعرية، وتم حساب معامل شدة التعرية (Z) والحجم السنوي لفقد التربة (W) باستخدام التحليل الكمي والمكاني.

أظهرت النتائج أن الحوض يقع ضمن نطاق تعرية متوسطة إجمالاً، مع تركيز الفئات المرتفعة في السفوح الجبلية شديدة الانحدار. كما كشفت المقارنة بين الفترتين المناخيتين (1995–2005) و(2006–2023) عن ارتفاع المعدل السنوي للأمطار من (244.57 ملم) إلى (359.01 ملم)، ترافق مع زيادة طفيفة في المعدل الحراري السنوي، مما انعكس على ارتفاع قيمة حجم التعرية (W) من (328.1) إلى (484.7) بنسبة تغير بلغت (47.8%). وتشير هذه النتائج إلى أن النظام المورفوديناميكي للحوض يتمتع بقابلية استجابة مطرية مرتفعة، وأن التغير في نمط تساقط الأمطار يمثل العامل الحاسم في زيادة العمليات التعرية في السنوات الأخيرة.

الكلمات المفتاحية: التغير المناخي ، التعرية المائية ، نموذج جافريولوفيك (EPM) ، حوض وادي تانجيرو ، حجم فقد التربة (W) .

(1990-2023) وارتفاع حجم التعرية (W) ، في حين يكون تأثير التعرية الحراري محدوداً نسبياً ضمن نموذج EPM

أهداف البحث:

1. تحليل الاتجاه الزمني للحرارة والأمطار.
2. حساب معامل شدة التعرية (Z) باستخدام نموذج EPM .
3. تقدير الحجم السنوي لفقد التربة (W).
4. تحليل التوزيع المكاني لفئات شدة التعرية.
5. تحديد أثر التعرية المناخي.

أهمية البحث:

تكمن أهمية البحث في كونه يدمج بين التحليل الزمني للتعرية المناخي والنمذجة المكانية للتعرية، بما يتيح فهماً ديناميكياً لتطور النظام الرسوبي في الأحواض الجبلية. كما يقدم البحث تحليلاً كمياً لشدة التعرية في حوض جبلي شمال شرق العراق باستخدام نموذج معتمد دولياً، ويسهم في دعم دراسات الجغرافية المناخية التطبيقية وإدارة الموارد الطبيعية في الأقاليم الجبلية.

منهجية البحث والأساليب الكمية:

اعتمد البحث المنهج الوصفي التحليلي، والأسلوب الكمي المتمثل بتطبيق معادلات نموذج جافرولوفيك (EPM) [3، ص 39-64]. إذ يعد هذا النموذج منهجاً تجريبياً لتقدير شدة التعرية وإنتاج الرسوبيات، حيث تُحتسب قيمة معامل الشدة (Z) من خلال دمج معاملات قابلية التربة والحماية النباتية والانحدار ومرحلة تطور التعرية ضمن صيغة رياضية موحدة [30-23، pp 7]، وكما يأتي:

$$W = T \times h \times \pi \times \sqrt{z^3}$$

إذ أن:

$$W = \text{المعدل السنوي لكمية التعرية (م}^3\text{/كم}^2\text{/سنة)}$$

$$T = \text{معامل الحرارة}$$

ويتم حسابه من المعادلة الآتية:

$$T = \sqrt{c/10} + 0.1$$

إذ أن:

$$T = \text{المعدل السنوي لدرجة الحرارة}$$

$$H = \text{المعدل السنوي للأمطار/ملم}$$

شهدت العقود الأخيرة تزايد الاهتمام بدراسة أثر التعرية المناخي في الأنظمة الجيومورفولوجية، ولاسيما في الأحواض الجبلية التي تتسم بقابلية استجابة مورفومناخية مرتفعة للتقلبات المطرية. إذ يمثل التساقط المطري العامل الرئيس في تنشيط العمليات التعرية من خلال زيادة الجريان السطحي الأمر الذي يعمل على إعادة توزيع الرسوبيات.

يقع حوض وادي تانجيرو ضمن الإقليم الجبلي شمال شرق العراق، وهو نطاق شهد تذبذباً مطرياً ملحوظاً خلال المدة (1990-2023)، الأمر الذي يثير تساؤلاً حول مدى انعكاس هذه التحولات المناخية على حجم التعرية داخل الحوض.

تُعد التعرية المائية من أبرز مظاهر التفاعل بين المناخ والبنية السطحية، حيث تتحكم في شدتها منظومة متكاملة من العوامل المناخية والمورفومترية. وفي هذا الإطار يوفر نموذج جافرولوفيك (EPM) أداة كمية فعالة لقياس شدة التعرية وتقدير حجم فقد التربة من خلال دمج هذه العوامل ضمن صيغة رياضية متكاملة.

معظم الدراسات التي تناولت التعرية المائية في شمال العراق ركزت على التوزيع المكاني لشدة التعرية دون تسليط الضوء على البعد الزمني للتعرية المناخي وانعكاسه الكمي على حجم فقد التربة، وتشير تقارير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) إلى تزايد تكرار وشدة الحالات المطرية المتطرفة في مناطق الشرق الأوسط، وهو ما يعزز نشاط العمليات التعرية في البيئات الجبلية وشبه الجافة [8، pp 1536-1542] وهذا ما يسعى البحث إلى معالجته من خلال تحليل مرحلي لتقدير أثر التعرية المناخي باستخدام نموذج EPM .

مشكلة البحث:

تتمثل مشكلة البحث في تحديد ما إذا كان التعرية المناخي خلال العقود الأخيرة قد أسهم فعلياً في زيادة شدة وحجم التعرية المائية في حوض وادي تانجيرو، ومدى انعكاس التغيرات المطرية والحرارية على قيم (Z) و (W) وفق نموذج جافرولوفيك (EPM).

فرضية البحث:

يفترض البحث وجود علاقة طردية بين التعرية المطري خلال المدة

اما الحدود الزمنية للبحث فهي تمتد للمدة (2023-1990) وموضوعياً شملت الدراسة تحديد شدة التعرية المائية في الحوض. أولاً: التغير الحراري في حوض تانجيرو للمدة (1990-2023)

يظهر من جدول (1) وشكل (1) أن الاتجاه الزمني لدرجات الحرارة السنوية في محطة الدراسة يتباين بوضوح بين الفترتين المدروستين. إذ اتسمت الفترة الأولى (1990-2005) باتجاه تصاعدي طفيف بلغ نحو (+0.0428م/سنة)، وهو اتجاه ضعيف وغير معنوي إحصائياً، مما يعكس حالة من التذبذب الحراري السنوي دون وجود تغير منتظم وواضح. ويشير ذلك إلى أن النظام الحراري خلال هذه المرحلة كان خاضعاً لتقلبات دورية قصيرة الأمد، ولا سيما تذبذب تموضع المرتفع شبه المداري وتأثير الكتل الهوائية القارية والبحرية المتعاقبة على المنطقة.

أما الفترة الثانية (2006-2023) فقد أظهرت ميلاً تصاعدياً أكثر وضوحاً، بلغ نحو (+0.0522م/سنة)، مع زيادة كلية بمقدار درجة مئوية واحدة تقريباً خلال مدة الدراسة. ورغم أن الاتجاه لم يصل إلى مستوى المعنوية الإحصائية القوية، إلا أن قيمة معامل التحديد (0.204) الأعلى نسبياً مقارنة بالفترة الأولى (1990-2005) تعكس انتظاماً زمنياً أكبر. ويحمل هذا التحول دلالة مناخية ديناميكية مهمة، إذ يشير إلى بداية نمط أكثر استقراراً في مسار الاحترار، يتوافق مع النمط العام لتسارع الارتفاع الحراري المسجل في العقود الأخيرة على المستوى الإقليمي والعالمي.

من منظور مناخي تطبيقي، لا يُعد المعدل السنوي لدرجة الحرارة وحده المؤشر الكافي لفهم الأثر البيئي، بل إن تزايد القيم القصوى وامتداد موجات الحر وطول الموسم الحراري الفعال تمثل عناصر أكثر استجابة في تفسير الانعكاسات المناخية. فارتفاع المعدل الحراري وإن كان تدريجياً يؤدي إلى زيادة معدلات التبخر-نتح، ويعمق العجز المائي، ويزيد من إجهاد الغطاء النباتي والتربة، خصوصاً في البيئات شبه الجافة.

وبناءً على ذلك، يمكن تفسير الفترة الأولى على أنها مرحلة اتسمت باحترار محدود التأثير نسبياً ضمن إطار تذبذب طبيعي، في حين تعكس الفترة الثانية انتقالاً تدريجياً نحو نمط احترار أكثر ثباتاً وانتظاماً. ولا يُفسَّر هذا التحول على أنه مجرد زيادة كمية في

π = قيمة ثابتة 3.1415

Z = معامل التعرية المحتملة. coefficient erosion ويحسب بالمعادلة الاتية [4, ص32]:

$$Z = Y \times Xa \times (\varphi + \sqrt{Ja})$$

إذ أن:

Y = معامل قابلية التربة للتعرية.

Xa = معامل حماية التربة

φ (PHI) = معامل تطور التعرية وشبكة التصريف

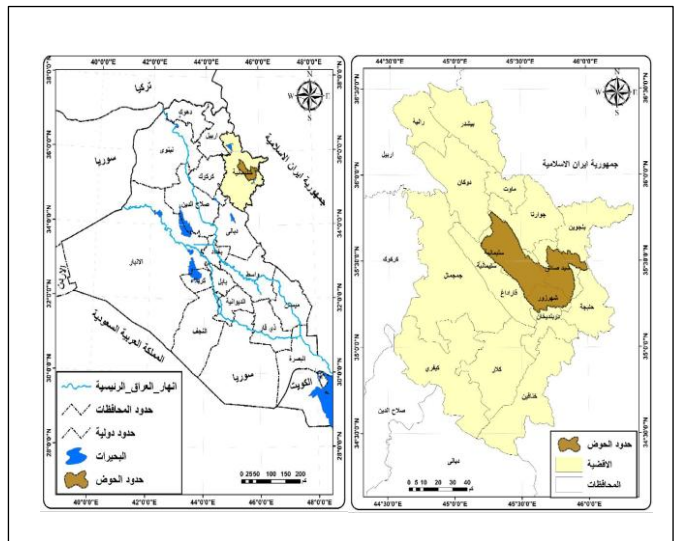
Ja = معدل الانحدار

ووفقاً لما تقدم تم استخدام البيانات المكانية المستخرجة من الخرائط الرقمية للحوض، وتحليل الفئات المساحية لكل متغير، ثم حساب معاملات الشدة وتصنيفها وفق حدود النموذج القياسية.

حدود البحث:

تشمل الحدود المكانية للبحث حوض تانجيرو الواقع شمال شرق العراق ضمن الإقليم الجبلي في محافظة السليمانية يستمر بالامتداد حتى يصب في نهر سيروان في ديالى، البالغ مساحته حوالي (1849.009 كم²). فلكياً يكون بين دائرتي عرض 35°30' - 36°00' شمالاً وخطي طول 46°00' - 45°15' شرقاً، يتسم بتباين تضاريسي ومطري واضح، مما يجعله منطقة هامة لدراسة الجيومورفولوجيا المناخية والجغرافيا الطبيعية. ينظر الخريطة(1).

الخريطة (1) موقع منطقة الدراسة من العراق



ملحوظ بلغ نحو (-3.55 ملم/سنة)، مسجلاً نقصاناً كلياً مقداره (-56.8 ملم) خلال مدة (16 سنة). ورغم أن هذا الاتجاه لم يصل إلى مستوى المعنوية الإحصائية ($P = 0.495$) مع معامل تحديد منخفض ($R^2 = 0.034$)، إلا أنه يعكس حالة من التذبذب المطري السنوي دون وجود تغير منتظم وثابت. ويشير ذلك إلى خضوع النظام المطري خلال هذه المرحلة لتقلبات دورية قصيرة الأمد، مرتبطة بتباين نشاط المنخفضات المتوسطة ومساراتها، فضلاً عن تغير شدة اندفاعات الهواء البارد وتفاعلها مع الكتل الهوائية الرطبة القادمة من شرق البحر المتوسط.

أما الفترة الثانية (2006-2023) فقد أظهرت تحولاً نحو ميل تصاعدي أكثر وضوحاً، بلغ نحو (+7.31 ملم/سنة)، مع زيادة كلية مقدارها (+131.6 ملم) خلال (18 سنة). وعلى الرغم من أن الاتجاه لم يبلغ مستوى المعنوية الإحصائية الصارمة ($P = 0.145$)، إلا أن ارتفاع معامل التحديد نسبياً ($R^2 = 0.128$) مقارنة بالفترة الأولى يشير إلى انتظام زمني أكبر في مسار التغير. ويحمل هذا التحول دلالة مناخية ديناميكية مهمة، إذ يعكس انتقال النظام المطري من طور تراجعي ضعيف إلى طور تصاعدي نسبي، يتوافق مع أنماط التغير المناخي في الأقاليم شبه الجافة، حيث تميل الأمطار إلى التركيز في فترات أقصر زمناً وأكثر شدة.

ومن منظور مناخي-جيومورفولوجي تطبيقي، لا يُعد المعدل السنوي للأمطار وحده مؤشراً كافياً لتفسير التأثيرات البيئية، بل إن خصائص الهطول من حيث الشدة والتوزيع الزمني تمثل عناصر أكثر تأثيراً في تحديد أثره التعرّوي. فحتى في ظل زيادة تدريجية في المعدل السنوي، قد يؤدي تركيز الأمطار في أحداث قصيرة وعالية الغزارة إلى تضاعف طاقة الجريان السطحي وتعزيز العمليات التعرّوية، لا سيما في المناطق ذات الغطاء النباتي الضعيف والانحدارات المتوسطة إلى الشديدة.

وبناءً على ذلك، اتسمت الفترة الأولى بكونها مرحلة ذات انخفاض نسبي في الشدة المطرية الفعالة ضمن إطار تذبذب طبيعي، في حين تعكس الفترة الثانية انتقالاً تدريجياً نحو نمط مطري أكثر فاعلية ديناميكياً. ولا يُفسّر هذا التحول من ميل تنازلي (-3.55 ملم/سنة) إلى ميل تصاعدي (+7.31 ملم/سنة) على أنه مجرد تغير كمي في

المعدل الحراري، بل كتغير في السلوك الديناميكي للنظام الحراري ذاته، بما يحمله من انعكاسات محتملة على العمليات البيئية والمورفومناخية، خاصة ما يتعلق بتزايد الجفاف وزيادة تدهور المنحدرات والتراب تحت تأثير الإجهاد الحراري المتصاعد.

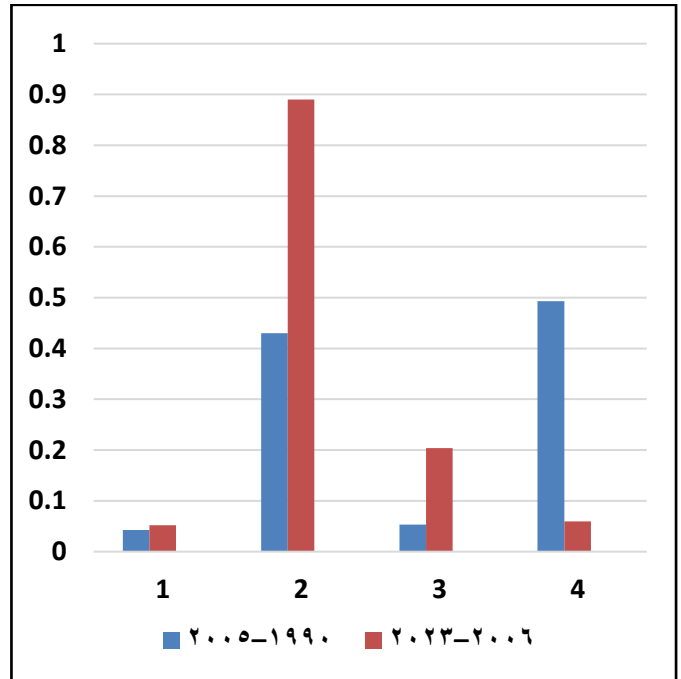
الجدول (1) معاملات التغير الحراري في حوض تانجيرو للمدة (1990-2023)

الفترة الزمنية	1990-2005	2006-2023
عدد السنوات	16	18
معامل الاتجاه (م/سنة)	0.0428	0.0522
مقدار التغير الكلي (م°)	0.43	0.89
معامل التحديد (R^2)	0.053	0.204
قيمة P	0.493	0.0598

المصدر: [1].

الشكل (1)

معاملات التغير الحراري في حوض تانجيرو للمدة (1990-2023)



المصدر: الجدول (1)

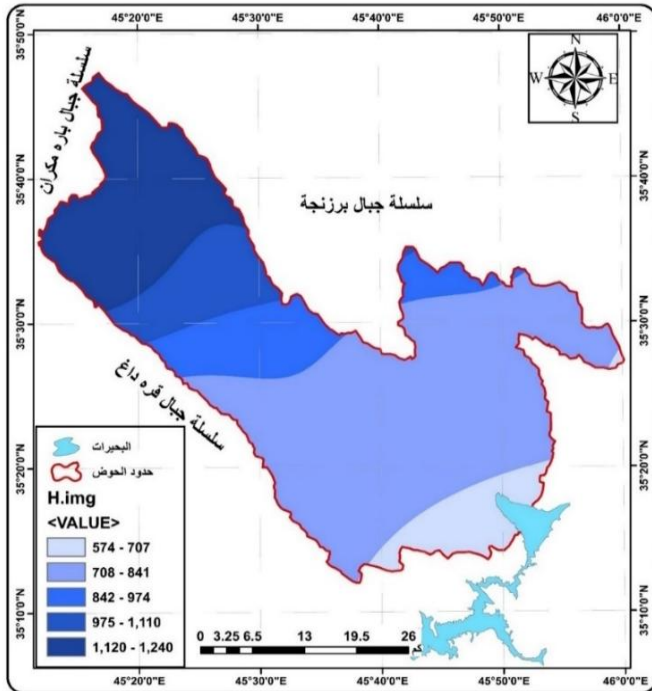
ثانياً: التغير المطري في حوض تانجيرو للمدة (1990-2023)

يظهر من جدول (2) وشكل (2) أن الاتجاه الزمني للأمطار السنوية في منطقة الدراسة يتباين بوضوح بين الفترتين المدروستين من حيث قيمة الميل، مقدار التغير الكلي، ومستوى الدلالة الإحصائية. إذ اتسمت الفترة الأولى (1990-2005) باتجاه تنازلي

(21.09%) من مساحة الحوض، وهي نسبة مرتفعة تعكس تركيز فاعلية الامطار في الأجزاء الجبلية. وبما أن المطر يدخل مباشرة في معادلة حساب حجم فقد التربة (W)، فإن زيادة قيمته تؤدي إلى زيادة طردية في حجم التعرية، خاصة في المناطق التي تتوافر فيها انحدارات مرتفعة. ويُستدل من ذلك أن الحوض يقع ضمن نطاق التعرية المتوسطة إلى المرتفعة، وذلك نتيجة اجتماع الأمطار الغزيرة مع الانحدارات الجبلية التي تزيد من سرعة الجريان السطحي والطاقة الحركية لقطرات المطر، مما يعزز عمليات التفكيك والنقل الرسوبي وعليه يمكن القول إن الطاقة المطرية في الحوض تُعد عاملاً موجهاً لشدة التعرية، لكنها لا تعمل بمعزل عن الخصائص المورفومترية. وقد أوضحت الدراسات التطبيقية أن معدلات التعرية تستجيب بصورة شبه خطية للزيادة في شدة التساقط المطري، إذ يؤدي تضاعف مجموع الامطار إلى ارتفاع واضح في فقدان التربة السنوي [4, pp. 45-47] وعليه فإن التوزيع المطري يضع الحوض ضمن نطاق طاقة تعرية متوسطة إلى مرتفعة، وبهئ الشروط الأساسية لحدوث الجريان السطحي.

الخريطة (2)

مؤشر الامطار في حوض تانجيرو



المصدر: [5].

الهطول، بل كتغير محتمل في سلوك النظام المطري ذاته، بما يحمله من انعكاسات مباشرة على شدة العمليات التعرية ضمن نموذج (EPM).

الجدول (2)

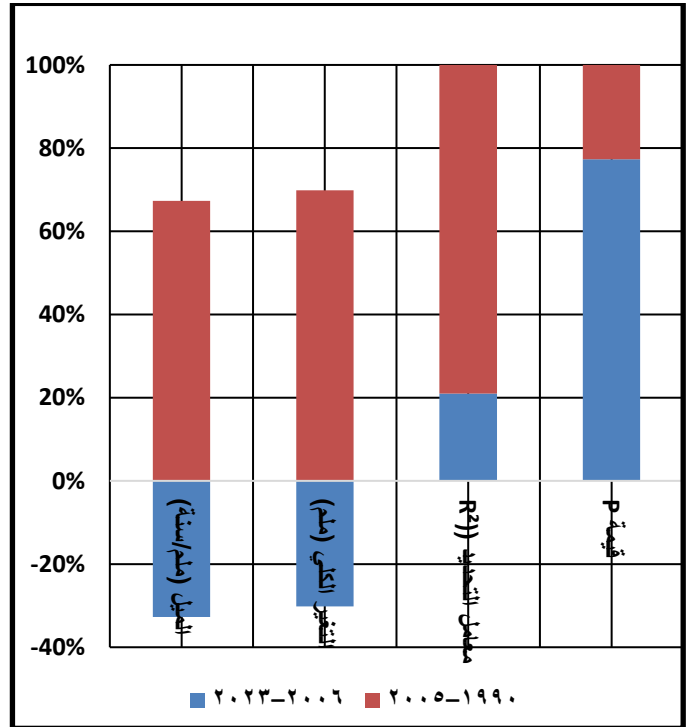
معاملات التغير المطري في حوض تانجيرو للمدة (1990-2023)

الفترة الزمنية	2006-2023	1990-2005
عدد السنوات	18	16
الميل (ملم/سنة)	-3.55	7.31
التغير الكلي (ملم)	-56.8	131.6
معامل التحديد (R^2)	0.034	0.128
قيمة P	0.495	0.145

المصدر: [1].

الشكل (2)

معاملات التغير المطري في حوض تانجيرو للمدة (1990-2023)



المصدر: الجدول (2).

ثالثاً: التوزيع المطري وأثره في حجم التعرية

يظهر من خريطة (2) وجدول (3) ان النسبة الأكبر من مساحة الحوض والبالغة (87.6%) تستلم ما يزيد عن (708 ملم) سنوياً، وهي كمية مطرية كافية لحدوث جريان سطحي فعال في المناطق الجبلية. إذ جاءت نسبة الفئة الاعلى (1240-1120 ملم) نحو

الجدول (3)

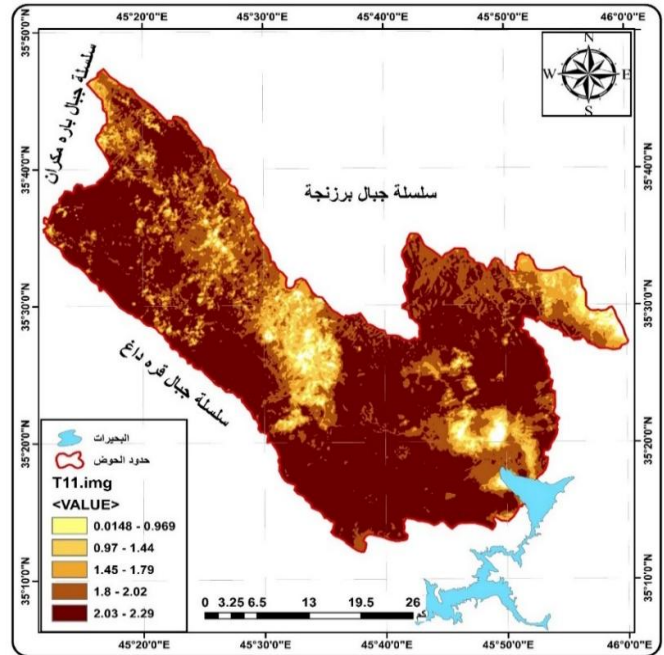
مؤشر الامطار في حوض تانجيرو

النسبة%	المساحة كم2	الفئات المطرية(مم)
12.39	229.18	574 - 707
44.12	815.7119	708 - 841
12.98	240.0111	842 - 974
9.41	174.0534	975 - 1,110
21.09	390.0531	1,120 - 1,240
100	1849.009	المجموع الكلي

المصدر: الخريطة(2).

الخريطة (3)

مؤشر درجة الحرارة T في حوض تانجيرو



المصدر: [5].

الجدول (4)

مؤشر درجة الحرارة T في حوض تانجيرو

النسبة%	المساحة كم2	الفئات الحرارية °م
2.20	40.74505	0.0148 – 0.969
5.14	95.221476	0.97 – 1.44
9.57	176.906115	1.45 – 1.79
25.42	470.032121	1.8 – 2.02
57.65	1066.104724	2.03 – 2.29
100	1849.009486	المجموع

المصدر: خريطة(3)

رابعاً: درجات الحرارة ودورها في تعزيز القابلية للتعرية

يظهر من خريطة (3) وجدول (4) أن فئات درجات الحرارة العالية تمثل (57.65%) من مساحة الحوض، مقابل (42.33%) للفئات المعتدلة. مما يعني سيادة ظروف حرارية تسهم في تنشيط عمليات التجوية الفيزيائية. يدخل معامل الحرارة (T) في معادلة حساب (W)، بمعنى ان ارتفاع درجة الحرارة يرفع درجة فقد التربة. كما أن ارتفاع درجة الحرارة يسهم في زيادة تفتت التربة وتقليل تماسكها الامر الذي يرفع استجابتها للجريان السطحي. مما يستدل به ان درجات الحرارة تمثل عاملاً مساعداً في زيادة استجابة التربة للتعرية، وتؤدي دوراً مكماً للأمطار.

خامساً: تحليل الانحدار |A وعلاقته بشدة التعرية

أوضحت خريطة (4) وجدول (5) أن البنية التضاريسية لحوض وادي تانجيرو تتسم بدرجة واضحة من التباين المورفومتري، إذ تهيمن الانحدارات الضعيفة إلى المتوسطة متمثلة بالفئة (0-8.6°) بنسبة (53.03%) من مساحة الحوض، أي أكثر من نصف مساحة المنطقة وهي مناطق غالباً تمثل سطوح الأودية السفلى والسهول المروحية وأجزاء من السفوح المعتدلة. وعلى الرغم من أن هذه الانحدارات لا تولد طاقة جريان عالية، إلا أنها تمثل نطاقات استقبال وترسيب نسبي للرواسب المنقولة من المناطق الأعلى. في المقابل تشكل الانحدارات التي تزيد على (21°) نحو (27.9%) من مساحة الحوض، وهي نسبة مهمة تعكس انتشار السفوح الجبلية الشديدة الانحدار المرتبطة بالتراكيب البنيوية لسلاسل جبال زاكروس. وتمثل هذه السفوح مناطق إنتاج رئيسة للرسوبيات، إذ تؤدي زيادة درجة الانحدار إلى تسريع حركة المياه على السطح وتقليل زمن التغلغل في التربة، الأمر الذي يرفع من كفاءة الجريان السطحي وقدرته على نقل المواد المفككة.

وتكتسب هذه الانحدارات أهمية إضافية ضمن إطار نموذج جافريلوفيك (EPM)، إذ يدخل معامل الانحدار (A) في معادلة شدة التعرية بصيغة الجذر التربيعي، مما يعني أن تأثيره يتزايد تدريجياً مع ارتفاع قيمه، خاصة عندما يقترن بعوامل أخرى مثل الشدات المطرية وضعف الغطاء النباتي. لذلك فإن المناطق التي تجمع بين انحدارات مرتفعة ومجاميع مطرية كبيرة تعد الأكثر

سادساً: قابلية التربة للتعرية (Y)

يعد معامل قابلية التربة للتعرية (Y) أحد المكونات الأساسية التي تسهم في تحديد معامل شدة التعرية (Z) ومن ثم تقدير حجم التعرية السنوي (W) فكلما ارتفعت قيم معامل (Y) دل ذلك على انخفاض تماسك التربة وزيادة قابليتها للتفكك تحت تأثير طاقة المطر والجريان السطحي، الأمر الذي يؤدي إلى ارتفاع محتمل في قيم شدة التعرية. وفي المقابل فإن الترب الأكثر تماسكاً أو الغنية بالمواد الخشنة تبدي مقاومة أكبر نسبياً لعمليات الانجراف [2].

ص 216-218

يتضح من خريطة (5) وجدول (6) أن التربة الكستنائية تشغل النسبة الأكبر من مساحة الحوض بلغت (61.9%)، وهي تربة متوسطة القابلية للتعرية نتيجة لخصائصها الغرينية والطينية مع محتوى معتدل من المواد العضوية (الدبال) في طبقاتها العليا، مما يمنحها درجة متوسطة من التماسك. ولذلك فإن تأثيرها في عمليات التعرية لا يظهر بصورة حادة إلا عند اقترانها بعوامل مساعدة مثل انحدار مرتفع أو شدات مطرية. وهذا ما يفسر سيادة الفئات المتوسطة لشدة التعرية في أجزاء واسعة من الحوض، إذ تسهم هذه الترب في تشكيل استجابة سطحية معتدلة لعمليات الجريان السطحي.

أما الترب الجبلية المشتقة صخرياً التي تشغل نحو (31.54%) من مساحة الحوض، فتنشر غالباً في المناطق الجبلية ذات الانحدارات المرتفعة، وتندسم بضخالة سمكها واحتوائها على نسبة كبيرة من الفتات الصخري. وعلى الرغم من أن هذه الخصائص قد تقلل نسبياً من قابليتها المباشرة للانجراف السطحي مقارنة بالترب الدقيقة القوام، إلا أنها في الوقت نفسه تمثل مصدراً مهماً للمواد المفككة التي يمكن أن تنقلها مياه الجريان السطحي نحو الأجزاء السفلى من الحوض، خاصة خلال العواصف المطرية الشديدة.

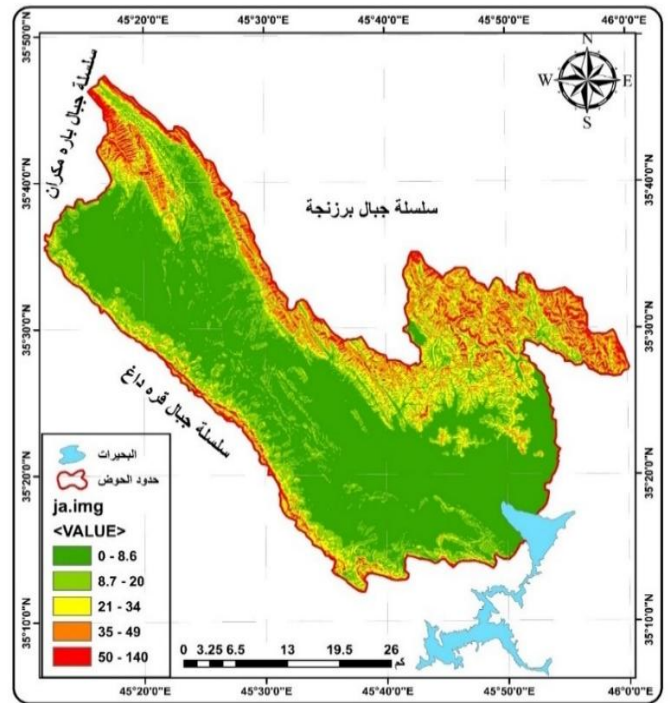
في حين تمثل التربة الكستنائية الحمراء نسبة محدودة بلغت (6.53%) من مساحة الحوض، وهي تتميز بارتفاع محتواها من أكاسيد الحديد وبنية أكثر تماسكاً نسبياً، الأمر الذي يمنحها قدرة أكبر على مقاومة التفكك تحت تأثير قطرات المطر. إلا أن وجودها في بعض السفوح المتوسطة الانحدار قد يجعلها عرضة للتعرية

عرضة لتفعيل العمليات المورفوديناميكية النشطة، كالتعرية الأخرودية والانجرافات السطحية.

وعلى هذا الأساس، يمكن تفسير تركيز فئات شدة التعرية المرتفعة في الأجزاء الجبلية من الحوض، حيث يتفاعل عامل الانحدار مع العوامل المناخية والغطاء الأرضي ليشكل بيئة مورفوديناميكية فعالة في إنتاج الرسوبيات. كما يشير هذا التوزيع إلى أن الانحدار يمثل أحد المتغيرات المورفومترية الحاسمة التي تتحكم في القابلية الجيومورفولوجية للتعرية داخل الحوض.

الخريطة (4)

معامل انحدار التضاريس JA في حوض تانجيرو



المصدر: [5].

الجدول (5)

معامل انحدار التضاريس JA في حوض تانجيرو

النسبة %	المساحة كم2	فئات الانحدار
53.03	980.5737	0 - 8.6
19.05	352.2041	8.7 - 20
13.78	254.9373	21 - 34
10.25	189.6614	35 - 49
3.87	71.63305	50 - 140
100	1849.009	المجموع

المصدر: خريطة (4)

الجدول (6)

معامل قابلية التربة للتعرية (γ) في حوض تانجيرو

النسبة %	المساحة كم ²	γ	الاسم
31.54	583.2347	0.09	ترب جبلية مشتقة صخرية
61.9	1145.091	0.95	تربة كستنائية
6.53	120.7053	0.75	تربة كستنائية حمراء
	100	1849.031	المجموع

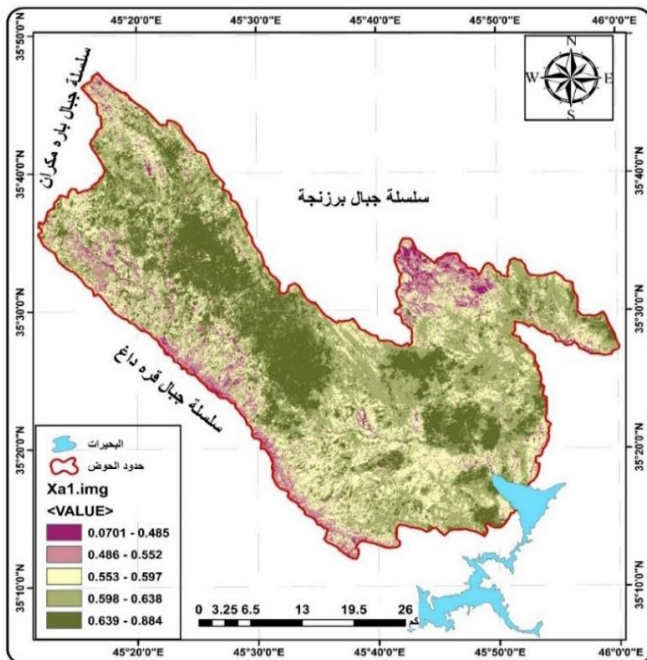
المصدر: خريطة (5)

سابعاً: مؤشر حماية التربة (Xa) في حوض تانجيرو

يساعد مؤشر (Xa) على تحديد نوع وشدة التعرية في الحوض، إذ يتبين من خريطة (6) وجدول (7) ان نتائج معامل حماية التربة (Xa) تشير إلى أن الفئتين الوسطيتين (0.553–0.638) شكلتا معاً (63.94%) من مساحة الحوض، مما يدل على سيادة حماية نباتية متوسطة إلى جيدة. في المقابل بلغت نسبة الفئات ذات الحماية الضعيفة (0.0701–0.552) نحو (12.42%) فقط، وهي تتركز في مناطق السفوح المكشوفة. إذ يدخل معامل (Xa) كمضاعف لشدة التعرية بشكل مباشر، وعليه فإن أي انخفاض في الغطاء النباتي سبباً مباشراً في ارتفاع الشدة.

الخريطة (6)

مؤشر حماية التربة (Xa) في حوض تانجيرو



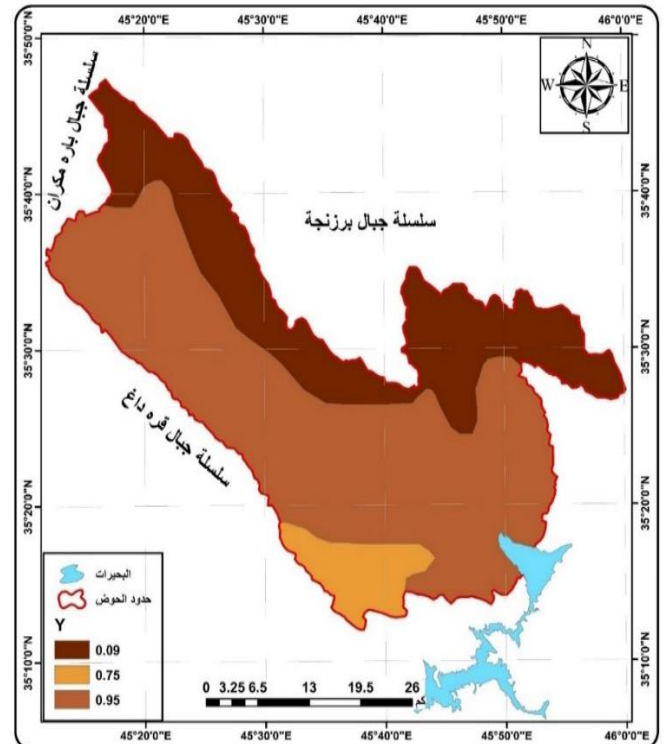
المصدر: [5].

الأخدودية عندما تزايد طاقة الجريان السطحي.

تعمل التربة كعنصر وسيط يحدد درجة استجابة السطح الأرضي لقوى التعرية المطرية. وتؤكد الدراسات أن خصائص التربة الفيزيائية والكيميائية تعد من أهم العوامل المؤثرة في قابلية التعرية، إذ تتحكم خصائص القوام والبنية و المادة العضوية في درجة مقاومة التربة لتأثير المطر والجريان السطحي [9, p. 83]. كما أوضحت دراسات تطبيقية أن الأحواض التي تسود فيها الترب ذات القابلية المتوسطة للتعرية تكون غالباً أكثر استجابة للتغيرات المناخية، ولا سيما التغيرات في كميات وشدة الامطار. [6, p. 37] وبناءً على ذلك يمكن القول إن سيادة الترب ذات القابلية المتوسطة للتعرية في حوض تانجيرو تعني أن التربة بحد ذاتها ليست العامل الحاسم في تحديد شدة التعرية، بل إن تأثيرها يتعاظم عند تفاعلها مع الانحدارات المرتفعة والمجاميع المطرية الكبيرة، الأمر الذي يفسر تركيز الفئات الأعلى لشدة التعرية في الأجزاء الجبلية من الحوض.

الخريطة (5)

معامل قابلية التربة للتعرية في حوض تانجيرو



المصدر: [5].

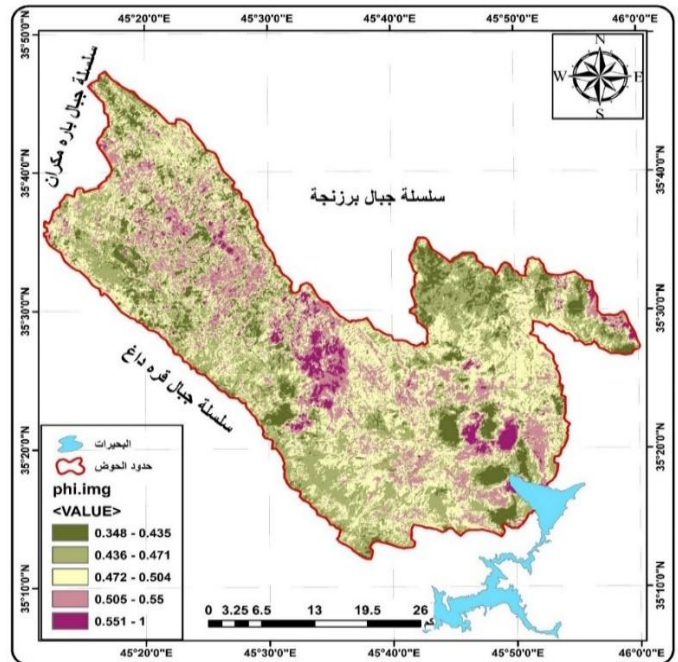
الجدول (7)

مؤشر حماية التربة (Xa) في حوض تانجيرو

النسبة%	المساحة كم ²	Xa
2.04	37.790117	0.0701 - 0.485
10.38	192.013212	0.486 - 0.552
26.40	488.21249	0.553 - 0.597
37.55	694.277074	0.598 - 0.638
23.62	436.716593	0.639 - 0.884
100	1849.009486	المجموع

المصدر: خريطة (6)

الخريطة (7)

معامل تطور التعرية PHI في حوض تانجيرو

المصدر: [5].

الجدول (8)

معامل تطور التعرية phi في حوض تانجيرو

النسبة%	المساحة كم ²	phi
10.26	189.7633	0.348 - 0.435
31.30	578.8062	0.436 - 0.471
37.07	685.4537	0.472 - 0.504
18.17	336.0053	0.505 - 0.55
3.19	58.98102	0.551 - 1
100	1849.009	المجموع

المصدر: الخريطة (7)

ثامناً: معامل تطور التعرية (PHI) في حوض تانجيرو

يتبين من خريطة (7) وجدول (8) أن الفئة (0.504–0.472) شكلت (37%) من مساحة الحوض، وهذا يدل على سيادة مظاهر تعرية متوسطة التطور. كما بلغت نسبة الفئات التي تتجاوز (0.505) نحو (21%)، تركزت في السفوح الجبلية ذات الانحدار المرتفع، في حين لم تتجاوز الفئة العليا (0.551 - 1) نسبة (3.18%)، مما يشير إلى محدودية مناطق التعرية الشديدة التطور. ويعكس ذلك أن الحوض يقع ضمن مرحلة مورفوديناميكية انتقالية بين الاستقرار النسبي والنشاط التعريوي المتقدم. يعكس معامل PHI المرحلة التعرية للنظام، وارتفاعه في 3% فقط يعني أن الحوض لم يصل إلى مرحلة تفكك شامل، لكن وجود 20% بقيم متوسطة-مرتفعة يدل على استجابة مستقبلية للتعرية.

تاسعاً: معامل شدة التعرية (Z) في حوض تانجيرو

تحدد قيمة (Z) الفئة التصنيفية لشدة التعرية، مما يجعله الأساس المنهجي لاحتساب حجم فقد التربة السنوي (W) إذ يعكس المستوى التركيبي للنشاط التعريوي داخل الحوض من خلال دمج خصائص التربة والغطاء النباتي والانحدار ودرجة تطور التعرية ضمن صيغة كمية موحدة. فهو الركيزة الأساسية في نموذج جافريولوفيك (EPM)،

يظهر من خريطة (8) وجدول (9) أن التعرية المنخفضة والتعرية بين المنخفضة والمتوسطة أي الفئتين الأولى والثانية (0.4–0.023) شغلت ما نسبته (59%) من مساحة الحوض، في حين بلغت الفئة المتوسطة (0.8–0.4001) نحو (23.43%). أما الفئات العالية والعالية جداً (6.067–0.8001) فقد شغلت (17.55%) من المساحة، تركزت الفئات العالية في المناطق الجبلية التي تجمع بين مجموع امطار يزيد على (975 ملم) وانحدار يتجاوز (21°) وحماية نباتية متوسطة، مما يؤكد أن شدة التعرية ناتجة عن تفاعل المتغيرات جميعها وليس عنصر منفرد. كما يستدل إلى وجود قطاعات مورفوديناميكية نشطة رغم سيادة الطابع المتوسط العام. الامر الذي يعكس تفاعلاً متكاملًا بين الامطار والخصائص المورفومترية في رفع قيمة (Z).

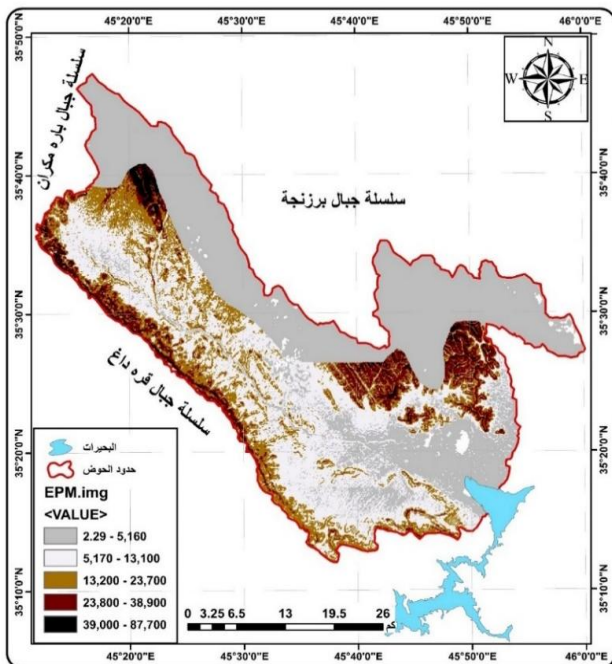
عاشراً: حجم التعرية السنوي (W) وفق نموذج EPM في حوض تانجيرو

اظهرت خريطة (9) وجدول (10) أن الفئات المنخفضة (2.29 - 5,160) مساحة حوض تانجيرو، مما يدل على سيادة نمط تعرية معتدل نسبياً على المستوى العام. في حين شغلت الفئات المرتفعة في السفوح الجبلية الشمالية والشمالية الشرقية ذات الانحدارات العالية والحماية النباتية الضعيفة. وتشير نسبة (2.2%) ضمن الفئة العالية جداً (39,000 - 87,700) إلى وجود بؤر تعرية حرجة تسهم بشكل غير متناسب في إنتاج الرواسب السنوية، مما يعكس حساسية مورفوديناميكية موضعية رغم الاستقرار النسبي العام للحوض.

مما يجدر الإشارة إليه أن معامل شدة التعرية (Z) يمثل المؤشر التركيبي الناتج عن تفاعل معاملات الانحدار والتربة والحماية وتطور التعرية، في حين يمثل (W) الحجم السنوي الفعلي لفقد التربة.

الخريطة (9)

حجم التعرية السنوي (W) في حوض تانجيرو

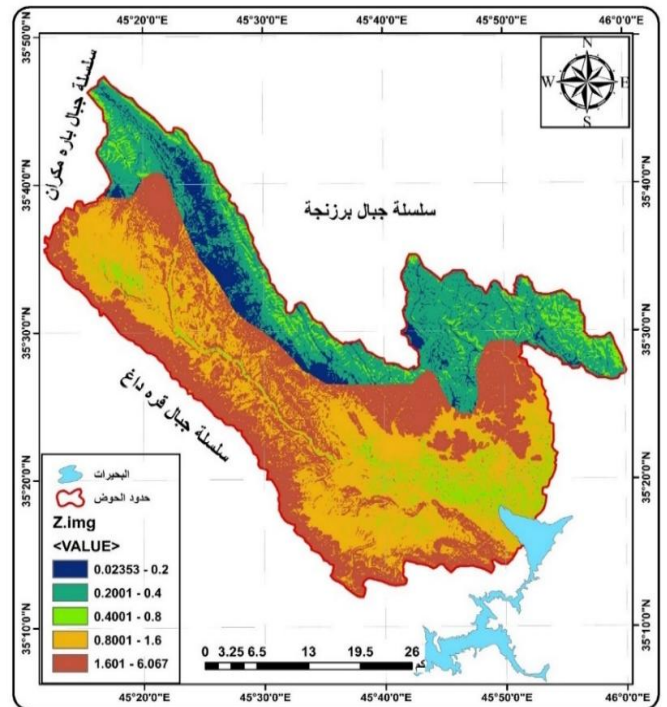


المصدر: [5].

كما يشير إلى أن أي زيادة في الامطار ضمن سياق التغير المناخي من شأنها إعادة تنشيط هذه القطاعات ذات القابلية العالية للتعرية وتحويلها إلى بؤر إنتاج رسوبي أكثر فاعلية. وعليه فإن التباين المكاني في قيم (Z) لا يمثل توزيعاً ثابتاً، بل يعكس نظاماً مورفوديناميكياً قابلاً لإعادة التفعيل تبعاً للتغيرات المناخية.

الخريطة (8)

شدة التعرية (Z) في حوض تانجيرو



المصدر: [5].

الجدول (9)

شدة التعرية (Z) في حوض تانجيرو

النسبة %	المساحة كم ²	الفئات
32.90601	608.435255	0.02353 – 0.2
26.10023	482.595666	0.2001 – 0.4
23.43038	433.229879	0.4001 – 0.8
11.30843	209.093904	0.8001 – 1.6
6.254959	115.654781	1.601 – 6.067
100	1849.009485	المجموع

المصدر: خريطة (8)

جدول (10)

حجم التعرية السنوي (W) في حوض تانجيرو

النسبة%	المساحة كم ²	حجم التعرية EPM
44.7	827.817025	2.29 - 5,160
30.1	556.481687	5,170 - 13,100
15.6	288.485665	13,200 - 23,700
7.4	136.444006	23,800 - 38,900
2.2	39.781103	39,000 - 87,700
100	1849.009486	المجموع

المصدر: خريطة (9)

احدى عشر: أثر التغير المناخي في حجم التعرية (W) بين الفترتين (1995-2005) و(2006-2023)

لغرض بيان اثر البعد الزمني للتغير المناخي في تقدير حجم التعرية. تم اعادة احتساب قيمة (W) لفترتين مناخيتين تمثلان مرحلتين مختلفتين من السلسلة الزمنية، الأولى (1995-2005) وتمثل مرحلة الاستقرار النسبي، والثانية (2006-2023) وتمثل مرحلة التغير المناخي المتسارع، وذلك بهدف الكشف عن مقدار الاستجابة المورفوديناميكية للحوض تجاه التغيرات المطرية والحرارية.

يوضح جدول (11) وشكل (3) وجود تباين مناخي واضح بين الفترتين المدروستين، إذ ارتفع المعدل السنوي للأمطار من (244.57 ملم) إلى (359.01 ملم)، بزيادة مقدارها (114.44 ملم)، في حين سجل المعدل الحراري السنوي ارتفاعاً طفيفاً من (16.92°م) إلى (17.23°م)، بلغ (0.31°م) فقط. وقد انعكس هذا التحول المناخي بصورة مباشرة على قيمة حجم التعرية (W) التي ارتفعت من (328.1) إلى (484.7)، مسجلة زيادة مقدارها (156.6) ونسبة تغير بلغت (47.8%).

تشير المقارنة إلى أن التأثير المطري كان العامل الحاسم في ارتفاع قيمة W، نظراً للوزن النسبي الأكبر للهطول في اشتقاق معامل التعرية المناخي ضمن نموذج جافريولوفيك (EPM)، في حين كان أثر الارتفاع الحراري محدوداً نسبياً بسبب طبيعته الخطية في النموذج. وتؤكد هذه النتائج أن استجابة حوض تانجيرو للتغير

المناخي خلال العقود الأخيرة كانت استجابة مطرية بالدرجة الأساس، الأمر الذي يفسر التصاعد الملحوظ في شدة العمليات التعرية.

وتعكس هذه النتائج ما يمكن توصيفه بمفهوم زيادة القابلية المناخية للتعرية، أي درجة استجابة النظام الجيومورفولوجي للتغيرات المناخية الطفيفة نسبياً. فعلى الرغم من أن الارتفاع الحراري المسجل بين الفترتين لم يتجاوز (0.31°م)، إلا أن الزيادة المطرية البالغة (114.44 ملم) أدت إلى ارتفاع قيمة حجم التعرية بنسبة (47.8%)، وهو معدل تغير يفوق نسبياً مقدار التغير المناخي ذاته. ويشير ذلك إلى أن حوض وادي تانجيرو يتمتع بقابلية مطرية مرتفعة، إذ أي زيادة في الامطار تؤدي إلى تنشيط واضح للجريان السطحي، ومن ثم تتضاعف قدرة نقل المواد المفككة. وتدل هذه العلاقة على أن استجابة الحوض ليست خطية بالكامل، بل تتسم بطابع شبه متسارع، وهو ما يعزز حقيقة أن الأحواض الجبلية شبه الرطبة في شمال العراق أكثر عرضة لتعزيز التأثيرات المطرية ضمن سياق التغير المناخي المعاصر. وعليه فإن ارتفاع قيمة (W) لا يمثل مجرد تغير عددي، بل يعد مؤشراً على ارتفاع القابلية المناخية للنظام المورفوديناميكي في الحوض.

جدول (11)

تباين حجم التعرية (W) وعلاقته في التغير المناخي في حوض تانجيرو بين الفترتين (1995-2005) و(2006-2023)

المدة المناخية	1995-2005	2006-2023
المعدل السنوي للأمطار (ملم)	244.57	359.01
المعدل الحراري السنوي (°م)	16.92	17.23
قيمة W	328.1	484.7
مقدار التغير	—	156.6
نسبة التغير %	—	47.80%

المصدر: [5].

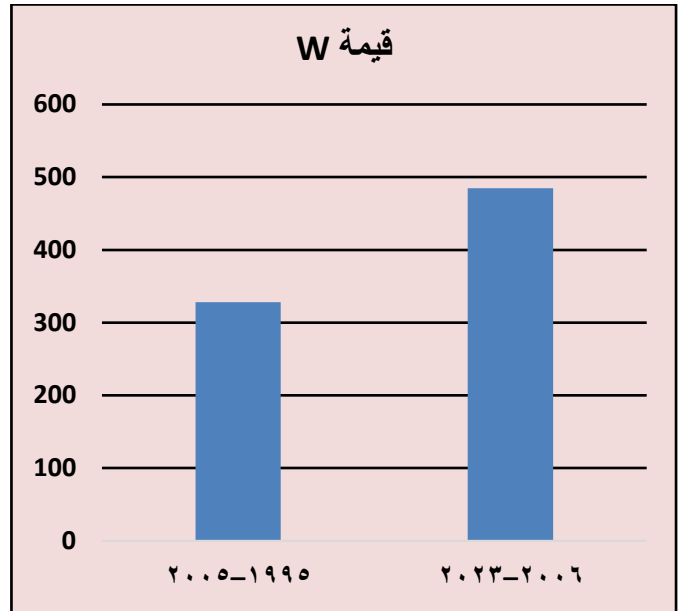
شكل (3)

التغير في حجم التعرية W في حوض تانجيرو بين الفترتين (1995-2005) و(2006-2023)

- المناطق ذات الانحدارات العالية والتعرية المرتفعة .
3. ضرورة إدماج تأثيرات التغير المناخي ضمن خطط إدارة الأحواض المائية والتنمية البيئية في شمال العراق .
4. التوسع في الدراسات المستقبلية باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد والنماذج المناخية الحديثة لرصد تطور التعرية المائية بدقة أكبر.

المصادر

- 1- جمهورية العراق، وزارة النقل، الهيئة العامة للمناخ والرصد الزلزالي، قسم المناخ، بيانات غير منشورة.
- 2- الدباغ، محمد عبد الرحمن، جغرافية التربة، دار المسيرة، عمان، (2007).
- 3- العاني، رقية أحمد محمد أمين إسماعيل جمعة كريم المشهداني، التقييم الكمي للتعرية المائية لحوض وادي زراوة باستخدام نموذج (EPM) GAVRILOVC، مجلة ديالى للبحوث الانسانية، 1، (86)، (2020).
- 4- الغامدي، سعد أبو راس، تطبيق نموذج جافريلوفيك لتقدير مخاطر التعرية المائية في حوض وادي نعمان بوسائل تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، المجلة المصرية للتغير البيئي، (1)، 2009.
- 5- المرئية الفضائية Quick bird 2 والمرئية الفضائية Landsat 8 ونموذج DEM وبرنامج Gis Arc10.8
- 6- Blinkov, I., & Kostadinov, S. "Applicability of Various Erosion Risk Assessment Methods." International Conference on Erosion Control. (2010).
- 7- Gavrilović, S. Engineering Method for Estimating Erosion and Sediment Yield. (1972)
- 8- IPCC. Climate Change: The Physical Science Basis. Chapter 11 (2021).
- 9- Nearing, M. A., et al... Expected climate change impacts on soil erosion rates. Journal of Soil and Water Conservation, 59(1), 2004.



المصدر: جدول (11).

الاستنتاجات:

1. أظهر معامل شدة التعرية (Z) أن التعرية المنخفضة إلى المتوسطة شغلت الحيز الأكبر من مساحة الحوض، في حين تركزت القيم المرتفعة له في السفوح الجبلية شديدة الانحدار.
2. ارتفع حجم التعرية السنوي (W) من (328.1) إلى (484.7)، بنسبة تغير بلغت (47.8%) بين الفترتين المناخيتين، مما يعكس استجابة النظام المورفوديناميكي للتغيرات المناخية.
3. ارتفع المعدل السنوي للأمطار من (244.57 ملم) إلى (359.01 ملم)، وكان لهذا التغير المطري أثر أوضح في زيادة قيمة (W) مقارنة بالتغير الحراري الطفيف.
4. أظهرت نتائج الدراسة ارتفاع قابلية الحوض للاستجابة تجاه أي زيادة مستقبلية في كميات الأمطار، ولا سيما في المناطق الجبلية ذات الانحدارات العالية.
5. بيّنت الدراسة أن التغير المناخي أدى دورًا فاعلاً في إعادة تشكيل التوازن التعريوي داخل الحوض عبر تنشيط طاقة الأمطار وزيادة الجريان السطحي خلال السنوات الأخيرة.

التوصيات:

1. تعزيز برامج التشجير وحماية الغطاء النباتي في السفوح الجبلية للحد من شدة التعرية المائية وفقدان التربة.
2. اعتماد تقنيات الحصاد المائي وإدارة الجريان السطحي في