التحليل الكارتوغرافي للخصائص المورفومترية والهشاشة البيئية لحوض بادوش ـ باغال اعتمادا على نماذج الارتفاع الرقمي (DEM)

Cartographic Analysis of the Morphometric Characteristics and Environmental Vulnerability of the Badoush–Baghal Basin Using Digital Elevation Models (DEM)

أ.م.د. عبير عدنان خلفة الخزاعي: تدريسية في قسم الجغرافية، كلية الآداب، جامعة القادسية، العراق.

Dr. Abeer Adnan Khalfa Al-Khuzai: Assistant Professor in the Department of Geography, College of Arts, Al-Qadisiyah *University*, Iraq.

Email: abeer.alkhozai@qu.edu.iq

DOI https://doi.org/10.56989/benkj.v6i9.2072

تاريخ الاستلام: 2026-07-22 تاريخ القبول: 2026-08-15 تاريخ النشر 2026-09-01

الملخص:

تناولت هذه الدراسة التحليل الكارتوغرافي للدلالات الجيومورفية لحوض بادوش–باغال في شمال العراق باستخدام نموذج الارتفاع الرقمي (DEM). واعتمدت الدراسة على التحليل المورفومتري والهيدرولوجي للحوض باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية. وأظهرت النتائج تنوعًا واضحًا في الأنماط الجيومورفية، إذ تبين أن 37% من مساحة الحوض تقع ضمن فئة الهشاشة الجيومورفولوجية العالية، مع معدلات تعرية تتراوح بين 2.8 و3.5 طن/هكتار/سنة في المناطق الشمالية والشمالية الشرقية. وكشفت الدراسة عن وجود ارتباط قوي ($r = 0.78$) بين الخصائص الجيومورفية ونمط التصريف المائي، مما يؤكد تأثير شكل الحوض في سلوك الجريان السطحي. كما أظهرت النتائج أن الأنشطة البشرية، ولا سيما الزراعية منها، أدت إلى تغيير نمط الجريان السطحي وزيادة معدلات التعرية بنسبة 22% مقارنة بالمناطق غير المتأثرة بالنشاط البشري. وتوصي الدراسة بتطبيق منهجيات متكاملة للرصد الجيومورفي، وإنشاء شبكة مراقبة متكاملة، وتنفيذ مشاريع حصاد المياه، وتطبيق تقنيات الحفاظ على التربة في المناطق ذات المنحدرات الشديدة، وتطوير مخططات استخدامات الأراضي التي تراعي الخصائص الجيومورفية وتحمي المناطق الهشة بيئيًا.

الكلمات المفتاحية: التحليل الكارتوغرافي، الخصائص المورفومترية، الهشاشة البيئية، نماذج الارتفاع الرقمي (DEM)، حوض بادوش . باغال، الأحواض النهرية

Abstract:

This study examined the cartographic analysis of the geomorphological characteristics of the Badoush–Baghal Basin in northern Iraq using a Digital Elevation Model (DEM). The study employed morphometric and hydrological analyses of the basin using Geographic Information System (GIS) techniques. The results revealed clear variations in geomorphological patterns, indicating that 37% of the basin's area falls within the high geomorphological vulnerability category, with erosion rates ranging from 2.8 to 3.5 tons/ha/year in the northern and northeastern areas. The study also revealed a strong correlation (r = 0.78) between geomorphological characteristics and the drainage pattern, confirming the influence of basin shape on surface runoff behavior. Furthermore, the results showed that human activities, particularly agricultural activities, altered surface runoff patterns and increased erosion rates by 22% compared with areas unaffected by human activity. The study recommends implementing integrated geomorphological monitoring methodologies, establishing an integrated monitoring network, implementing water-harvesting projects, applying soil conservation techniques in areas with steep slopes, and developing land-use plans that take geomorphological characteristics into account and protect environmentally vulnerable areas.

Keywords: Cartographic Analysis, Morphometric Characteristics**,** Environmental Vulnerability**,** Digital Elevation Models (DEM)**,** Badush–Baghal Basin, Drainage Basins**.**

أولا: الإطار العام للدراسة

المقدمة:

تُشكّل الخرائطية الرقمية وتقنيات الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) ركيزةً محوريةً في تحوّل المنهج الجغرافي من الوصف الكيفي إلى النمذجة المكانية والتحليل الكمي للظواهر الطبيعية. وتمثّل نماذج الارتفاع الرقمي (DEM) مصدرًا أساسيًا لإعادة بناء التضاريس واستخلاص القياسات المورفومترية للأحواض المائية آليًا، بدءًا من تحديد خطوط تقسيم المياه وشبكات التصريف، وصولًا إلى الحساب الدقيق للمعاملات المساحية والشكلية والتضاريسية.

ولم يعد التحليل المورفومتري مجرد دراسة وصفية، بل أصبح أداةً تنبؤيةً لتقييم السلوك الهيدرولوجي، وتكميم الهشاشة البيئية، وتقدير مخاطر التعرية والانجراف المائي. وتهدف هذه الدراسة إلى تطبيق التحليل الكارتوغرافي باستخدام بيئة (ArcGIS) لاستخلاص المؤشرات المورفومترية لحوض بادوش–باغال شمالي العراق، والربط بينها وبين استجابة الحوض لمخاطر التعرية، بهدف بناء خريطة دقيقة للهشاشة البيئية تُسهم في دعم اتخاذ القرار والتخطيط البيئي المستدام.

مشكلة الدراسة:

تتمثل مشكلة الدراسة في قصور الدراسات والخرائط التقليدية السابقة عن تقديم نمذجة خرائطية كمية للخصائص المورفومترية لحوض بادوش–باغال، وغياب الخرائط الموضوعية (Thematic Maps) القائمة على نماذج الارتفاع الرقمي (DEM)، مما أدى إلى محدودية دقة التقدير المكاني، وعدم وضوح نطاقات الهشاشة البيئية ومخاطر الانجراف المائي بمستويات دقة مكانية عالية. ويترتب على ذلك صعوبة وضع استراتيجيات فعّالة للإدارة البيئية والصيانة الهيدرولوجية، تستند إلى أسس علمية وكارتوغرافية موثوقة.

فرضيات الدراسة:

أ. يُسهم التحليل الكارتوغرافي المعالَج في بيئة نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM)، في الكشف الدقيق عن الأنماط المورفومترية والتضاريسية لحوض بادوش–باغال، وإبراز خصائصه الهيدرولوجية.

ب. يوجد تباين مكاني ذو دلالة كارتوغرافية في توزيع مستويات الهشاشة البيئية ومعدلات الانجراف المائي في الحوض، يرتبط مباشرةً بالقيم المورفومترية الممثلة كارتوغرافيًا، مثل درجات الانحدار، والكثافة التصريفية، والتكامل الهيبسومتري.

أهداف الدراسة:

تسعى الدراسة إلى تحقيق الأهداف الكارتوغرافية والتطبيقية الآتية:

أ. استخدام بيانات نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) المعالجة في الاشتقاق الكارتوغرافي المباشر لشبكة التصريف والحدود المورفومترية للحوض.
ب. إجراء تحليل مكاني للعلاقات التبادلية بين المؤشرات المورفومترية (المساحية والشكلية والتضاريسية) واستجابة الحوض الهيدرولوجية.
ت. إنتاج منظومة من الخرائط الموضوعية عالية الدقة التي تُجسّد نطاقات الهشاشة البيئية ومعدلات فقدان التربة (الانجراف)، باستخدام النموذج الكارتوغرافي المتكامل (RUSLE/GIS).

أهمية الدراسة:

تتجسّد أهمية الدراسة أكاديميًا في تقديم نموذج تطبيقي يُبرز دور التحليل المورفومتري الرقمي بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) في التقييم البيئي المباشر، وتطبيقيًا في تزويد المؤسسات التخطيطية في محافظة نينوى بقواعد بيانات مكانية وخرائط موضوعية تُسهم في تحديد نطاقات الخطر، وتوجيه إدارة الموارد المائية، وصيانة التربة في حوض بادوش–باغال.

المبحث الأول: الإطار النظري والمقومات الجغرافية لمنطقة الدراسة:

المطلب الأول: الإطار النظري والمفاهيمي

أولا: مفهوم الجيمورفولوجيا وأهميتها:

تُعدّ الجيومورفولوجيا فرعًا جوهريًا من فروع الجغرافيا، يُعنى بدراسة الأشكال السطحية للأرض والعمليات الديناميكية المسؤولة عن تشكيلها والتأثير فيها، كالتعرية والترسيب والانهيارات الأرضية. وتتجاوز أهميتها مجرد التوصيف المورفولوجي لتشكّل أداةً تحليليةً محوريةً في النمذجة المكانية؛ إذ تُسهم في فهم التوزيع الجغرافي للموارد الطبيعية، وتوجيه التخطيط العمراني والزراعي نحو تحقيق الاستدامة. كما يوفر التحليل الجيومورفولوجي إطارًا علميًا لتفسير العلاقات المعقدة بين العوامل المناخية والهيدرولوجية والتضاريسية، مما يتيح التنبؤ بالمخاطر الطبيعية، كالفيضانات والانجرافات المائية. وتبرز قيمتها التطبيقية الحديثة من خلال التكامل مع نماذج الارتفاع الرقمي

(DEM) لتقييم الهشاشة البيئية، وتحديد نطاقات الخطر، ودعم استراتيجيات إدارة الأراضي والمياه[1].

ثانيا: نماذج الارتفاع الرقمي (DEM) (المفهوم، طرق الإنشاء، والتطبيقات الجغرافية)

تُعدّ نماذج الارتفاع الرقمي (DEM) تمثيلًا شبكيًا رقميًا لسطح الأرض ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، حيث تُخزّن البيانات الارتفاعية (Z) مقترنةً بالإحداثيات المكانية (X, Y) لكل خلية، مما يوفر قاعدة بيانات طبوغرافية موضوعية تعكس الخصائص الجيومورفولوجية، كالانحدارات والارتفاعات[2].

تتعدد طرق إنتاج هذه النماذج باختلاف تقنيات الجيوماتكس المتاحة، وتتراوح بين معالجة مرئيات الاستشعار عن بُعد وبيانات الرادارات الفضائية، والمسح الجوي الفوتوغرافي باستخدام الطائرات المسيّرة (UAV)، وصولًا إلى تقنية المسح بالليزر (LiDAR) فائقة الدقة، التي تتميز بقدرتها على اختراق الغطاء النباتي وتحديد تفاصيل سطح الأرض[3].

وتتعدد تطبيقاتها الجغرافية لتشمل محاكاة العمليات الديناميكية، كالتعرية والترسيب، والاستخلاص الآلي لشبكات التصريف والمعاملات المورفومترية للأحواض المائية. وفي حوض بادوش–باغال، تُشكّل هذه النماذج ركيزةً أساسيةً لتقييم المخاطر الهيدرولوجية، كالفيضانات والانهيارات الأرضية، وتحديد نطاقات الهشاشة البيئية، بما يدعم اتخاذ القرار والتخطيط المستدام[4].

المطلب الثاني: المقومات الجغرافية والخصائص الطبيعية لحوض بادوش – باغال .

تقع منطقة الدراسة، التي تبلغ مساحتها 329.95 كم²، في الأجزاء الغربية من محافظة نينوى. وتمثل المنطقة مناطق تقسيم المياه لكل من تركيب علان المحدب، الذي يشكّل حدودها الشمالية، وتركيب عطشان المحدب، الذي يشكّل حدودها الجنوبية الشرقية، وتركيب شيخ إبراهيم المحدب، الذي يشكّل حدودها الجنوبية الغربية.

1) Pengindonesian istilah mikromorfologi tanah yang digunakan dalam 'Handbook for soil thin section description [Bullock et al., 1985]'. (2009). pp. 33–36.

2)Mokhtar, E. S., Pradhan, B., Ghazali, A. H., & Mohd Shafri, H. Z. (2017). Assessing vertical accuracy and the impact of water surface elevation from different DEM datasets. In Proceedings of the Global Civil Engineering Conference (GCEC 2017) (pp. 849–862). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8016-6_81

3 https://www.usgs.gov/faqs/what-difference-between-lidar-data-and-digital-elevation-model-dem

4 https://www.usgs.gov/faqs/what-difference-between-lidar-data-and-digital-elevation-model-dem

وتنحصر منطقة الدراسة فلكيًا بين قوسي طول (42° 37′ 45″ – 42° 58′ 02″ شرقًا)، ودائرتي عرض (36° 18′ 57″ – 36° 28′ 09″ شمالًا). ويصب الوادي في نهر دجلة، وتتكوّن شبكة التصريف المائي في الحوض من ست مراتب، ويقع مخرج الحوض عند الإحداثيات (42° 58′ 03″ شرقًا، 36° 25′ 23″ شمالًا).

وتلتقي الأودية الرئيسة وتفرعاتها بالقرب من قرية بادوش لتصب في نهر دجلة ضمن الحدود الشرقية لمنطقة الدراسة، كما يتضح من الخريطة (1).

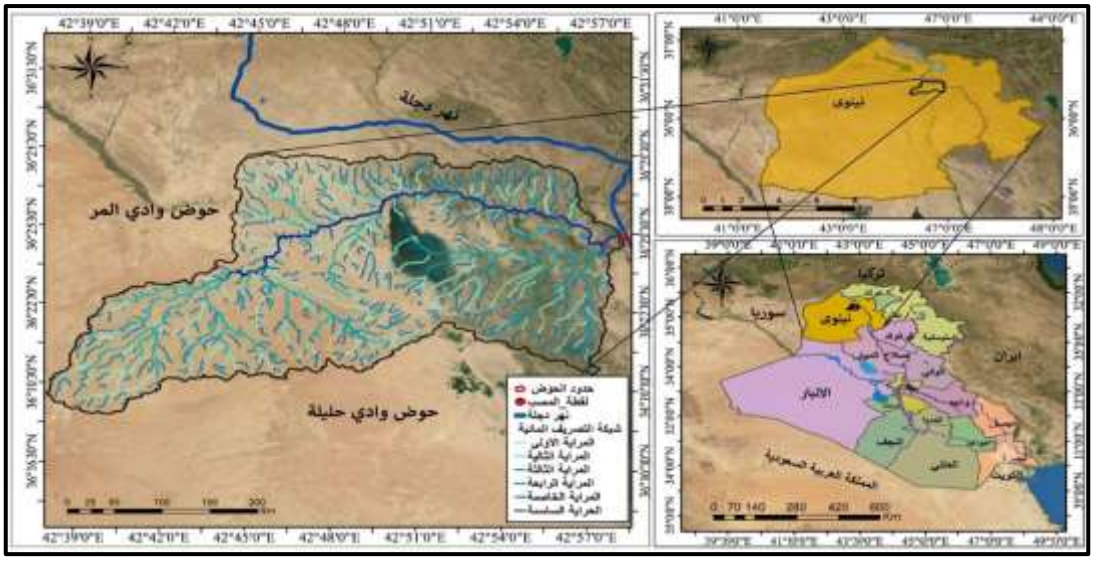
يُعدّ حوض بادوش–باغال من المناطق الجغرافية المهمة في العراق، إذ يشغل موقعًا استراتيجيًا في شمال البلاد، بالقرب من مدينة الموصل. ويتميز الحوض بتنوع جغرافي يمنحه خصائص جيومورفولوجية مميزة؛ إذ تمتد تضاريسه بين السهول المنبسطة والتلال المرتفعة، مما يعكس تأثير العوامل الطبيعية في تشكيل ملامح المنطقة.

كما يقع حوض بادوش–باغال ضمن نطاق الحوض المائي لنهر الزاب الكبير، الذي يسهم في تشكيل نظام بيئي ديناميكي يتميز بتنوع حيوي. ويسهم هذا الموقع الجغرافي في تأثر الحوض بمجموعة من العوامل الخارجية، كما يتيح دراسة التغيرات المورفولوجية التي طرأت عليه عبر الزمن.

لذلك، يُعدّ هذا الحوض ذا أهمية خاصة في الدراسات الجيومورفولوجية، لما يتميز به من تنوع مكاني وزماني. وتوفر السمات الجغرافية والمعايير المناخية قاعدةً مناسبةً لدراسة النظم البيئية وتحليل تأثير التغيرات المناخية ودرجات الحرارة على سطح الأرض. فضلًا عن ذلك، يبرز دور النظام المائي في تشكيل خصائص الحوض، مما يجعل حوض بادوش–باغال نموذجًا مناسبًا لدراسة الروابط المعقدة بين الجغرافيا والمناخ.

ويسهم فهم هذه الروابط في إدراك العمليات الطبيعية المؤثرة في تكوين المظاهر الأرضية، وكيف يمكن أن تتأثر هذه المظاهر بدورها بالتغيرات البيئية والمتغيرات البشرية مستقبلًا.

خريطة (1): موقع حوض منطقة الدراسة وشبكة التصريف المائي



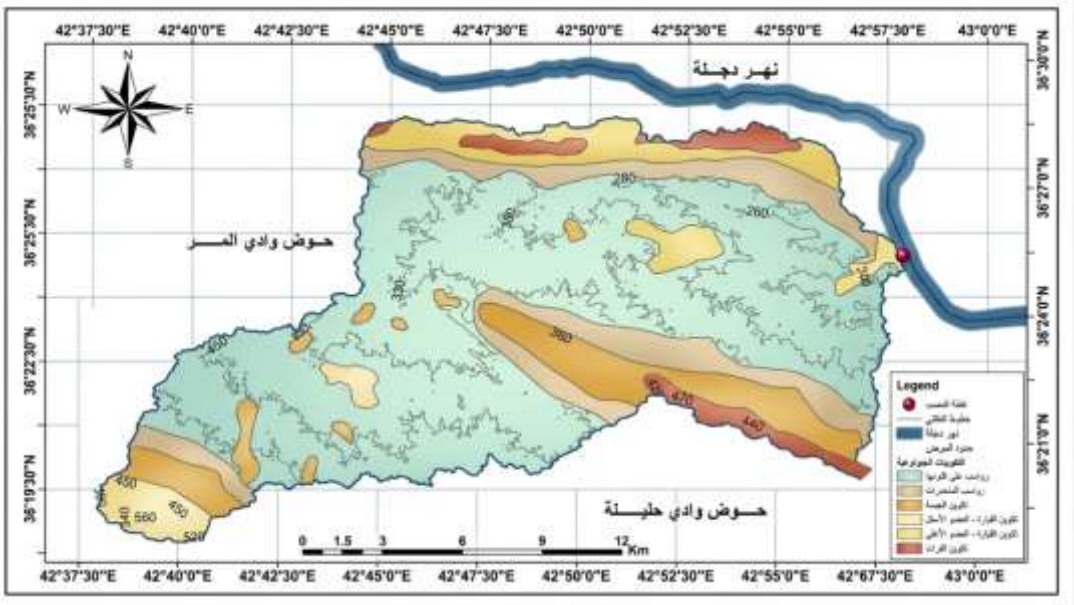
المصدر: الباحثة، بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) والخرائط الإدارية للعراق ومحافظة نينوى بمقياس رسم (1:1,000,000)، ومعالجتها باستخدام برنامج .ArcGIS Pro (v3.2)

ثانيًا: التكوينات الجيولوجية والخصائص الصخرية

تتسم الخصائص الطبيعية لحوض بادوش–باغال بتنوعها الكبير، الذي يعكس تأثير العوامل الجيولوجية والهيدرولوجية والمكانية في تكوين التضاريس. ويتألف الحوض من تشكيلات صخرية متعددة، تشمل تكوين الفرات، وتكوين الفتحة، وتكوين إنجانة، فضلًا عن ترسبات العصر الرباعي (الخريطة 2).

وتسهم هذه التكوينات الصخرية والرسوبية في تحديد طبيعة الخصائص الجيومورفولوجية، وتوزيع التربة، وقابليتها للانجراف.

خريطة (2): توضح التكوينات الجيولوجية لحوض وادي بادوش



المصدر: بالاعتماد على لوحة الموصل الجيولوجية – الهيئة العامة للتحري المعدني والمسح الجيولوجي بمقياس 1:250,000 باستخدام ArcGIS Pro 3.2

ثالثًا: الخصائص المناخية (التساقط المطري ودرجات الحرارة)

يمتاز مناخ حوض بادوش بأنه شبه جاف إلى شبه رطب، ويتسم بصيف حار وجاف وشتاء بارد ورطب. ويبلغ معدل التساقط المطري السنوي في الحوض نحو 315.67 ملم (الجدول 1 والشكل 2). وتمتد فترة هطول الأمطار من شهر تشرين الثاني (نوفمبر) حتى شهر أيار (مايو)، مع تسجيل ذروة الهطول خلال شهري كانون الثاني وآذار.

هذه التكوينات الصخرية والرسوبية في تحديد طبيعة الخصائص الجيومورفولوجية، وتوزيع التربة، وقابليتها للانجراف.

جدول (1): يوضح التساقط المطري السنوي (ملم) لمحطتي الموصل وتلعفر للفترة (1989–2020)

المحطة	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	المجموع
الموصل (ملم)	0.64	12	40.67	52.27	57.2	48.64	51.7	35.18	14.1	1.13	0.2	0.02	313.75

تلعفر (ملم)	معدل المحطتين (ملم)
1.3	0.97
12.2	12.1
37.9	39.28
52.6	52.43
64.4	60.8
47.5	48.07
53.5	52.6
33.2	34.19
13.9	14
0.9	1.01
0.2	0.2
0	0.01
317.6	315.67

المصدر: جمهورية العراق، وزارة النقل، سجلات غير منشورة، بغداد، 2020، وبيانات محطة تلعفر بالاعتماد على البيانات الفضائية لمنطقة الدراسة من NASA POWER | Data Access Viewer (DAV).

أما درجات الحرارة، فيبلغ متوسطها السنوي 20.59°م، وتصل درجة الحرارة العظمى صيفًا إلى نحو 43°م في شهر تموز، بينما تنخفض درجة الحرارة الصغرى شتاءً إلى نحو 1.9°م في شهر كانون الثاني (الجدول 2 والشكل 1).

جدول (2) يوضح المعدلات الشهرية لدرجات الحرارة لمحطتي الموصل وتلعفر (1989–2020م)

المحطة	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	المعدل السنوي
الحرارة العظمى (محطة الموصل)	12.93	15.3	19.83	25.95	33.23	39.7	43.38	43.24	38.28	31.02	21.55	14.88	28.27
الحرارة الصغرى (محطة الموصل)	2.35	3.58	7.36	11.49	16.56	21.63	25.4	24.8	20.1	14.67	7.91	3.94	13.32
الحرارة المتوسطة (محطة الموصل)	7.64	9.44	13.59	18.72	24.89	30.66	34.39	34.02	29.19	22.84	14.73	9.41	20.79

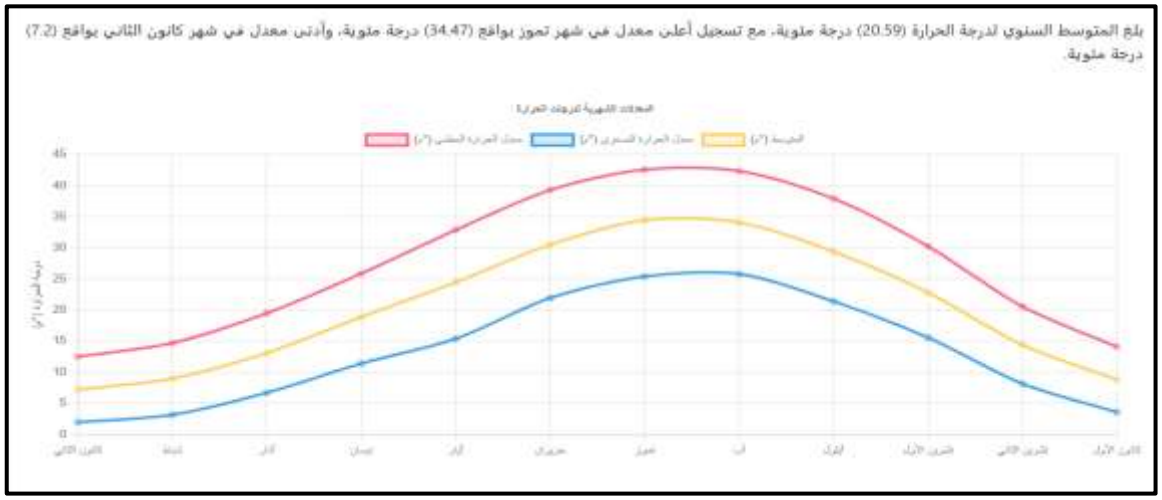
معدل الحرارة المتوسطة (محطتي الموصل وتلعفر)	معدل الحرارة الصغرى (محطتي الموصل وتلعفر)	معدل الحرارة العظمى (محطتي الموصل وتلعفر)	المدى (محطة تلعفر)	الحرارة المتوسطة (محطة تلعفر)	الحرارة الصغرى (محطة تلعفر)	الحرارة العظمى (محطة تلعفر)	المدى (محطة الموصل)
7.22	1.92	12.51	10.8	6.8	1.5	12.1	10.58
8.92	3.14	14.7	12.2	8.4	2.7	14.1	11.27
13.12	6.73	19.51	13.2	12.65	6.1	19.2	12.47
18.66	11.49	25.82	14.7	18.6	11.5	25.7	14.49
24.62	16.38	32.86	15.2	24.35	16.2	32.5	16.67
30.63	21.96	39.3	16.3	30.6	22.3	38.9	18.07
34.42	25.9	42.94	16.1	34.45	26.4	42.5	17.98
34.08	25.8	42.37	15.6	34.15	26.8	41.5	18.44
29.29	21.1	37.49	15.5	29.4	22.1	36.7	18.18
22.92	15.58	30.26	12.7	23	16.5	29.5	16.35
14.39	8.155	20.62	11.5	14.05	8.4	19.7	13.64
8.80	3.57	14.04	9.9	8.2	3.2	13.2	0.94
20.59	13.48	27.70	13.64	20.38	13.64	27.13	14.95

مجلة ابن خلدون للدراسات والأبحاث || المجلد 6 || العدد 09 || 01-09-2026
E-ISSN: 2789-3359 || P-ISSN: 2789-7834 || AIF: 0.93 || isi 2024: 1.223

معدل المدى (محطتي الموصل وتلعفر)	10.69	11.73	12.83	14.59	15.93	17.18	17.04	17.02	16.84	14.52	12.57	5.42	14.29

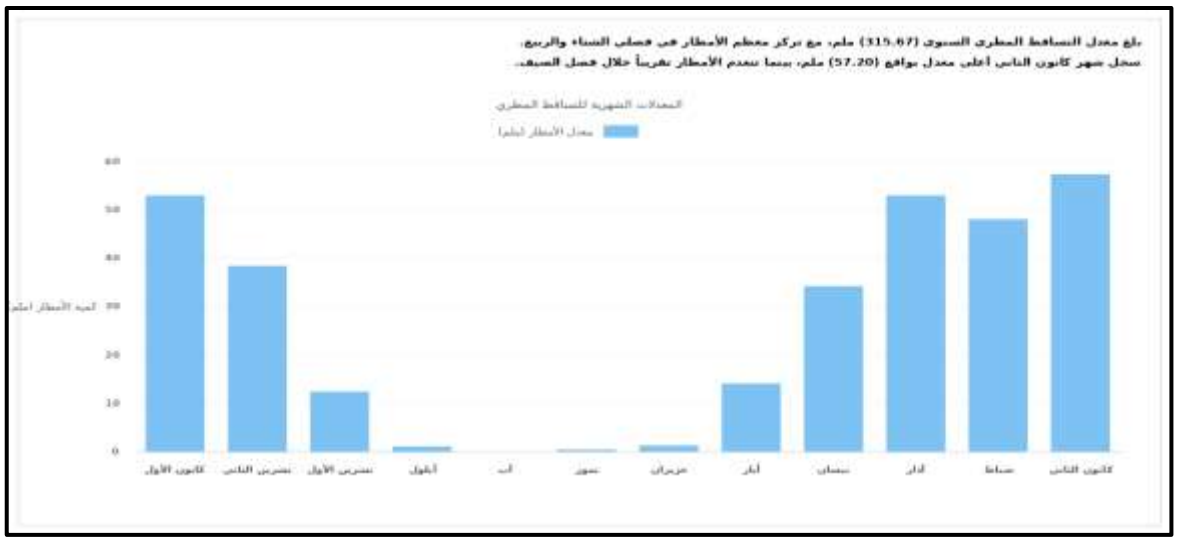
المصدر: جمهورية العراق، وزارة النقل، سجلات غير منشورة، بغداد، 2020، وبيانات محطة تلعفر بالاعتماد على البيانات الفضائية لمنطقة الدراسة من NASA POWER | Data Access Viewer (DAV).

شكل (1): يوضح المعدلات الشهرية لدرجات الحرارة في حوض وادي بادوش



المصدر: باعتماد برنامج ARC GIS pro3.2 وبرنامج excel

شكل (2): يوضح المعدلات الشهرية للتساقط المطري في حوض وادي بادوش



المصدر: باعتماد برنامج ARC GIS pro3.2وبرنامج excel

المبحث الثاني: التحليل الكارتوغرافي والمورفومتري والهيدرولوجي للحوض

المطلب الأول: التحليل الطبوغرافي وفئات الانحدار

يكشف التحليل الطبوغرافي باستخدام نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) لحوض بادوش–باغال عن تباينات مكانية ملحوظة في مستويات التضرس المورفومتري، تعكس تعقيد التفاعلات بين البنية الجيولوجية والعمليات التكتونية والمناخية. وباعتماد تصنيف **(Zink)** للانحدارات، أمكن تقسيم أرضية الحوض إلى مستويات طبوغرافية متدرجة، تتراوح من الأراضي المستوية والمتموجة قليلًا إلى المناطق شديدة الانحدار (الخريطة 3).

ويسهم التوزيع المكاني لفئات الارتفاع والانحدار في توصيف الأنماط الجيومورفولوجية المميزة للحوض، كالوديان والسهول والمرتفعات، وتحديد ديناميكيات الجريان المائي السطحي. وتتجلى الأهمية التطبيقية لهذا التحليل في فهم العلاقة المتبادلة بين درجات الانحدار وكفاءة التصريف الهيدرولوجي، مما يوفر قاعدةً كارتوغرافيةً موثوقةً لإدارة مخاطر الفيضانات، وتوجيه التخطيط الإقليمي، وتنفيذ المشاريع الهندسية والبيئية.

خريطة (3): توضح أصناف الانحدارات ومستويات التضرّس الأرضي حسب تصنيف (Zink) لحوض منطقة الدراسة



المصدر: بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM)، ومعالجته باستخدام برنامج ArcGIS Pro 3.2.

المطلب الثاني: التحليل المورفومتري لحوض بادوش – باغال

أولًا: الخصائص المساحية والشكلية (المساحة، والمحيط، وطول الحوض، ومعامل الاستدارة، ومعامل الاستطالة، ومعامل الشكل، ومعامل الاندماج).

تم الاعتماد على البرمجيات المكانية في حساب المعاملات المورفومترية المباشرة للحوض، وفق المعادلات الرياضية المعتمدة الآتية:

يتناول التحليل الهيدرولوجي لحوض بادوش–باغال دراسة دقيقة للعناصر المائية والمظاهر الهيدرولوجية المميزة للمنطقة، وذلك باستخدام نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) أداةً رئيسةً في التحليل. وتتضمن الدراسة تحليل شبكة التصريف المائي والتوزيع المكاني للجريان السطحي، إذ يُعدّ فهم هذه المظاهر أمرًا أساسيًا لتطوير استراتيجيات إدارة الموارد المائية وحماية البيئة. واستنادًا إلى البيانات الناتجة عن نمذجة الهيدرولوجيا، يمكن تقييم تأثير العوامل المناخية والمورفولوجية في أنماط الجريان السطحي، مما يسهم في تحديد المناطق الأكثر عرضةً لخطر الفيضانات.

ويُظهر التحليل الهيدرولوجي لحوض بادوش–باغال، بالتركيز على العناصر المائية والمظاهر الهيدرولوجية باستخدام نموذج الارتفاع الرقمي(DEM) ، أن الخصائص التضاريسية المستمدة من النموذج تؤثر تأثيرًا كبيرًا في الجريان السطحي وتشكيل شبكات التصريف المائي. وقد تم حساب الكثافة التصريفية الطولية والعددية باستخدام برنامج ArcGIS 10.8(الشكلان 3 و4)، مما أظهر قيمًا متباينة لخصائص بقاء المجرى وانعطاف الأودية، وهو ما يشير إلى مرحلة متقدمة من التطور الهيدرومورفولوجي.

وتشير النتائج إلى أن طبيعة التكوينات الجيولوجية والخصائص التضاريسية تؤدي دورًا مهمًا في تشكيل المجاري المائية وتحديد توزيع الجريان السطحي، مما يسهم في تحديد المناطق المعرضة لخطر الفيضانات، وتوجيه استراتيجيات إدارة الموارد المائية بصورة مستدامة.

تم استخدام عدد من المعادلات الرياضية في التحليل المورفومتري، من بينها:

- معامل الاستدارة (Rc): $$Rc = \frac{4\pi A}{P^2}$$
- معامل الاستطالة (Re): $$Re = \frac{1.128\sqrt{A}}{L_B}$$
- الكثافة التصريفية (Drainage Density): $$D_d = \frac{L}{A}$$

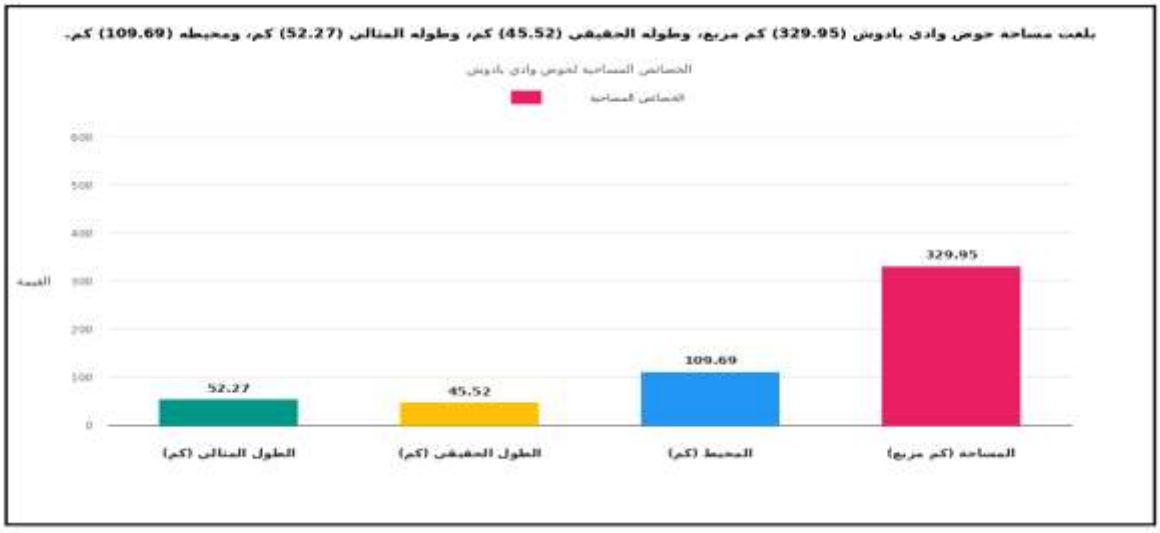
حيث إن:

- A = مساحة الحوض (كم²).
- P = محيط الحوض (كم).

- L = مجموع أطوال المجاري المائية (كم).
- L^B = طول الحوض (كم).

وبلغت مساحة الحوض 329.95 كم²، ومحيطه 109.69 كم، وطوله الحقيقي 45.52 كم، في حين بلغ الطول المثالي 52.27 كم.

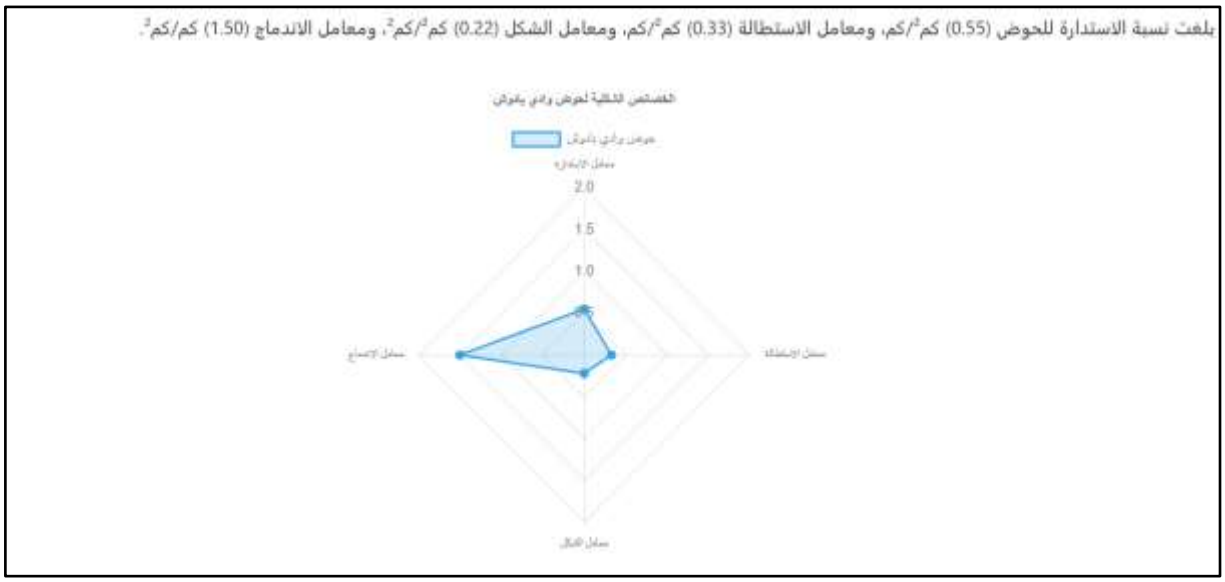
شكل (3): يوضح الخصائص المساحية لحوض وادي بادوش



المصدر: بالاعتماد على برنامج ArcGIS Pro 3.2 وبرنامج Excel.

وقد بلغت القيم المورفومترية ما يأتي: معامل الاستدارة: 0.55، ومعامل الاستطالة: 0.33، ومعامل الشكل: 0.22، ومعامل الاندماج: 1.50

الشكل (4): يوضح الخصائص الشكلية لوادي حوض بادوش



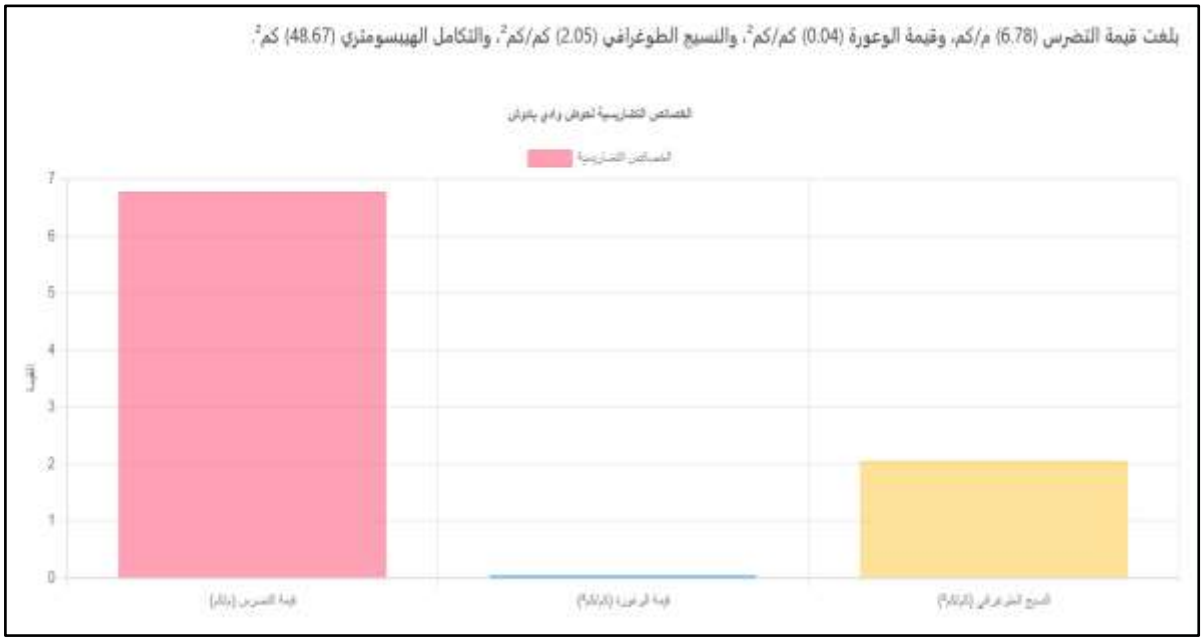
المصدر: بالاعتماد على برنامج ArcGIS Pro 3.2 وبرنامج Excel.

وقد بلغت القيم التضاريسية ما يأتي: قيمة التضرس: 6.78 م/كم، والوعورة: 0.04، والنسيج الطبوغرافي: 2.05، والتكامل الهيبسومتري: 48.67%.

ثانيًا: الخصائص التضاريسية

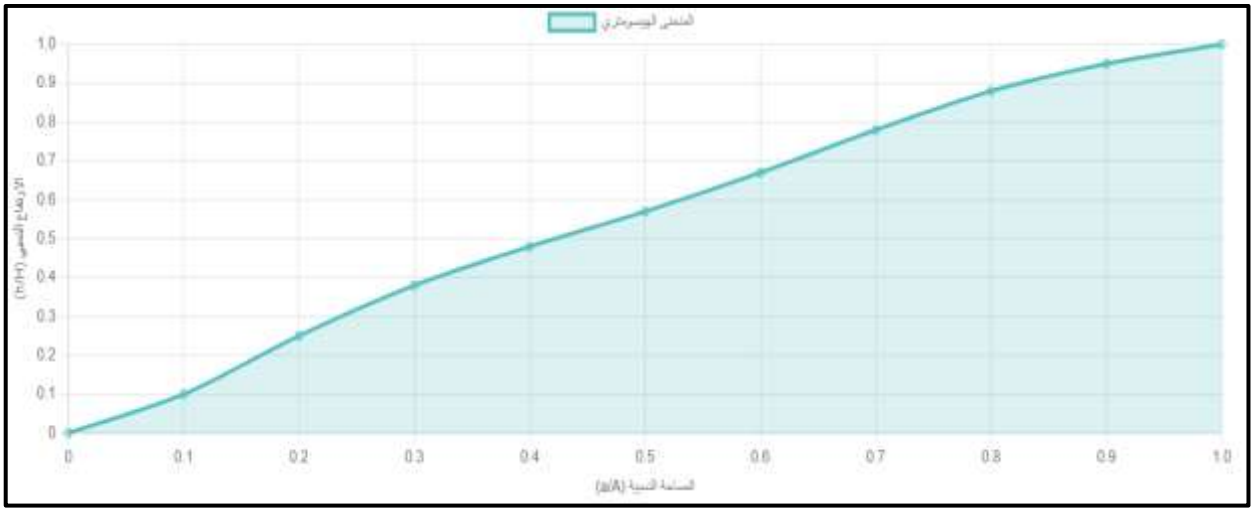
(قيمة التضرس، والوعورة، والنسيج الطبوغرافي، والمنحنى الهيبسومتري، والتكامل الهيبسومتري).

الشكل (5): يوضح الخصائص التضاريسية لوادي حوض بادوش.



المصدر: باعتماد برنامج ARC GIS pro3.2 وبرنامج excel

شكل (6): يوضح المنحنى الهبسومتري لوادي حوض بادوش



المصدر: باعتماد برنامج ARC GIS pro3.2وبرنامج excel

المطلب الثالث: الخصائص الهيدرولوجية والشبكة التصريفية:

أولا: مراتب الشبكة التصريفية وأعداد المجاري المائية وأطوالها.

يتكون حوض وادي بادوش من ست رتب نهرية، بلغ مجموع عدد المجاري المائية **(734)** مجرى بطول إجمالي (711.06) كم.

ثانيا: الكثافة التصريفية (الطولية والعددية) وسلوك الجريان السطحي.

بلغت الكثافة التصريفية الطولية (2.13) كم/كم²، والكثافة التصريفية العددية (2.22) كم/كم ².

وتوضح المعطيات في الجدول (3) تفاصيل الخصائص العديدة والطولية لكل مرتبة

الجدول (3): يوضح خصائص الشبكة التصريفية لوادي حوض بادوش

المجاري	أعدادها	النسبة	أطوالها	النسبة
المرتبة الأولى	545	**74.25%**	150	21.10%
المرتبة	142	**19.35%**	186.02	26.16%
المرتبة	38	5.18%	229.01	32.20%
المرتبة الرابعة	6	**0.82%**	80	11.25%
المرتبة الخامسة	2	**0.27%**	65	9.14%
المرتبة السادسة	1	**0.14%**	1.03	0.14%
المجموع	**734**	**100%**	**711.06**	**100%**

المصدر: بالاعتماد على معالجة بيانات نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) وبرنامج ArcGIS Pro 3.2.

المبحث الثالث: التقييم الجيومورفولوجي ونمذجة الهشاشة البيئية والتعرية المائية

المطلب الأول: الوحدات والتغيرات الجيومورفولوجية:

أولا: الخصائص والدلالات الجيومورفية الرئيسية

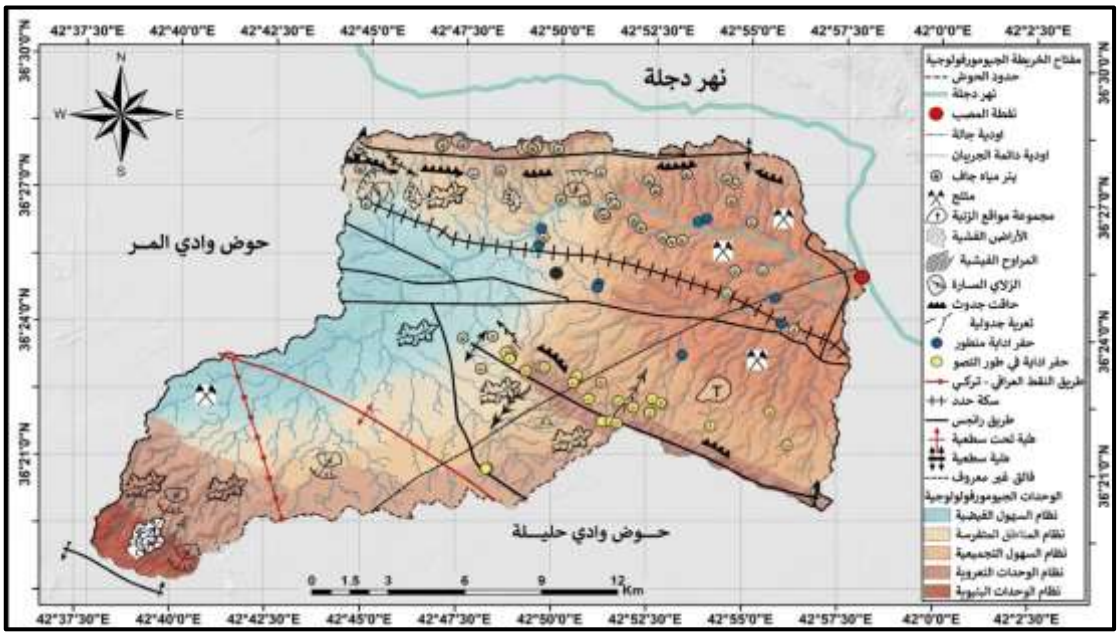
تُعدّ الخصائص الجيومورفولوجية لحوض بادوش–باغال نتاجًا للتفاعل الديناميكي بين العوامل الجيولوجية والهيدرولوجية. ويتأثر الحوض بالتركيب الصخري لتكوينات الفرات والفتحة وإنجانة والترسبات الرباعية، التي تتباين في صلابتها ومقاومتها لعوامل التعرية، مما أسهم في نشوء وحدات تضاريسية متنوعة، كالمنحدرات الوعرة، والأودية العميقة، والسهول الفيضية. ويوفر نموذج

الارتفاع الرقمي (DEM) أداةً دقيقةً لنمذجة هذه الأشكال وتحليل الجريان المائي وحركة التربة، بما يدعم التخطيط البيئي وإدارة الموارد[1].

ثانيًا: التغيرات الجيومورفولوجية عبر الزمن والتأثيرات البشرية

تعكس التضاريس تحولات ديناميكية عبر الزمن، استجابةً للتغيرات المناخية والنشاط التكتوني. وتوضح الخريطة (4) التوزيع المكاني للأنظمة الجيومورفولوجية والوحدات السطحية الناجمة عن عمليات التعرية والجريان الهيدرولوجي. ويتيح تحليل الصور الجوية ونماذج الارتفاع الرقمي (DEM) تتبّع التغيرات في المجاري المائية والنشاط الرسوبي، بينما تُسهم الأنشطة البشرية، كالتوسع العمراني وأعمال الحفر، في تسريع هذه التغيرات وتفاقم الهشاشة البيئية، مما يستوجب وضع استراتيجيات للتكيف وتحقيق التنمية المستدامة.

الخريطة (4): الخريطة الجيومورفولوجية لحوض بادوش–باغال.



المصدر: اعتمادا على نماذج الارتفاع الرقمية DEM والتحليل الميداني والمكتبي باستعمال ArcGIS Pro 3.2

المطلب الثاني: نمذجة التعرية المائية وحساب تقديرات فقدان التربة(RUSLE)

أولًا: معادلات نموذج التعرية المدمج(RUSLE/GIS)

لتقييم الهشاشة البيئية وتقدير معدلات التعرية المائية في منطقة الدراسة، تم الاعتماد على التقييم الكمي لفقدان التربة باستخدام المعادلة العالمية المعدلة لفقدان التربة (Revised

1) Jassim, S. Z., & Goff, J. C. (2006). Geology of Iraq. Dolin, Prague.

Universal Soil Loss Equation – RUSLE)، والمدمجة ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، إذ تُحسب كمية فقدان التربة وفق النموذج الرياضي الآتي[1]:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

حيث تمثل متغيرات النموذج ما يأتي:

A: كمية التربة المفقودة سنويًا، وتُقاس بـ (طن/هكتار/سنة).

R: معامل تعرية الأمطار وقوة زخات المطر (Rainfall–Runoff Erosivity Factor).

K: معامل قابلية التربة للانجراف والتعرية (Soil Erodibility Factor).

LS: المعامل الطبوغرافي المزدوج، الذي يجمع بين طول المنحدر ودرجة انحداره (Topographic Factor).

C: معامل الغطاء النباتي ونمط استخدامات الأراضي (Cover Management Factor).

P: معامل ممارسات حفظ التربة والحماية البيئية (Support Practice Factor).

ثانيًا: التوزيع المكاني لمعدلات فقدان التربة ونطاقات الهشاشة البيئية

وبناءً على معالجة الطبقات الكارتوغرافية للمتغيرات السابقة ودمجها في بيئة نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، أظهرت النتائج أن معدلات التعرية المائية في منطقة الدراسة تتراوح بين 2.8 و3.5 طن/هكتار/سنة.

المطلب الثالث: مناقشة النتائج والتفسير المورفومتري المقارن

أولا: المناقشة التحليلية للنتائج الكمية والنوعية:

كشفت المعالجة المكانية والتحليل المورفومتري باستخدام نماذج الارتفاع الرقمي (DEM) لحوض بادوش–باغال عن تباينات طبوغرافية ملحوظة؛ إذ يتراوح المدى الارتفاعي بين 500 متر في المناطق المنخفضة و900 متر عند القمم الجبلية. وأظهرت القياسات أن متوسط الانحدار يقارب 12% (الخريطة 3)، مع وجود منحدرات شديدة تعزز طاقة الجريان المائي وتُسرّع عمليات التعرية. كما عكس معامل تعرّج الأودية الرئيسة تباينًا في السلوك الهيدرولوجي ودرجات التجوية وعمق التربة، مما يدل على نشاط العمليات الجيومورفولوجية وتطور شبكة التصريف المائي[2].

1Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K., & Yoder, D. C. (1997). Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Agriculture Handbook No. 703. Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture (USDA), Washington, DC.

2) التحليل المكاني للبيانات الارتفاعية والخرائط المورفومترية المشتقة من DEM.

ويستند هذا التحليل إلى البيانات الارتفاعية والخرائط المورفومترية المشتقة من نموذج الارتفاع الرقمي (DEM).

وفي السياق النوعي، أظهرت المعاينة الكارتوغرافية تشكيلة متكاملة من المظاهر الأرضية، كالوديان العميقة، والمنحدرات التكتونية، والسهول الفيضية. كما تكشف التكوينات الرسوبية والأنماط التضاريسية غير المنتظمة عن التأثير المتبادل بين الحركات التكتونية التاريخية والتقلبات المناخية، حيث أسهمت عمليات التجوية والنحت والتعرية المائية في إعادة تشكيل المشهد الجيومورفولوجي للحوض، وترسيب طبقات متعاقبة تُجسّد التطور البيئي للمنطقة[1].

وتتكامل هذه النتائج الكمية والنوعية لتأطير الاستجابة الهيدرولوجية والجيومورفولوجية للحوض تجاه العوامل الطبيعية والأنشطة البشرية، كالتحضر وأعمال الحفر. وتُشكّل هذه التقييمات قاعدةً معرفيةً لحماية البيئة واستدامة الموارد المائية، إذ تتيح لصنّاع القرار نمذجة الهشاشة البيئية، وتقدير مخاطر انجراف التربة والفيضانات، وتوجيه استراتيجيات التخطيط العمراني والإقليمي بما يتوافق مع التغيرات المناخية المعاصرة[2].

ثانيًا: التفسير الجيومورفومتري المقارن مع الدراسات السابقة

اعتمدت الدراسة على تحليل بيانات نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) باستخدام برنامج ArcGIS Pro 3.2 لتحديد الخصائص المورفومترية لحوض بادوش–باغال؛ إذ تم تطبيق معامل الاستدارة وفق معادلة ميلر (Miller) [3]، ومعامل الاستطالة وفق معادلة شوم (Schumm) [4]، والكثافة التصريفية وفق معادلة هورتون (Horton) [5].

أظهرت مقارنة النتائج توافقًا مع الدراسات السابقة[6] في الأنماط الجيومورفولوجية العامة، مع رصد تباينات ملحوظة في المناطق الخاضعة للأنشطة البشرية والتغيرات البيئية الحديثة. فقد بيّن

1) الدراسة الميدانية والتفسير الجيومورفولوجي للتكاوين الرسوبية.

2) التطبيقات البيئية والتخطيطية لبيانات الجيوماتكس ونظم المعلومات الجغرافية

3)Miller, V. C. (1953). A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee (Technical Report No. 3). Department of Geology, Columbia University. (p. 47).

4)Schumm, S. A. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. Geological Society of America Bulletin, 67(5), 597–646. (p. 612).

5) Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology. Geological Society of America Bulletin, 56(3), 275–370. (p. 283).

6) الجبوري، أحمد محمد جاسم (2018): الخصائص المورفومترية للأحواض المائية في شمال العراق: دراسة تطبيقية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، مجلة العلوم الجغرافية، المجلد 12، العدد 3، ص 68–85.

الجبوري (2018) أن التباين في قيم الكثافة التصريفية (Dd) بين شمال الحوض وجنوبه يعكس اختلاف التكوينات الجيولوجية والظروف المناخية[1]. كما اتفقت النتائج مع دراسة العبيدي (2020) بشأن دور الاستخدامات البشرية في تغيير الأنماط الهيدرولوجية[2]، حيث تُسهم القيم المرتفعة لمعامل الاستدارة (Rc) في تركيز الجريان السطحي وزيادة مخاطر الفيضانات المفاجئة[3].

وفيما يتعلق بتقدير التعرية، كشف التحليل المكاني أن المنحدرات الشمالية الشرقية هي الأكثر عرضة للانجراف، بمعدل بلغ 3.2 طن/هكتار/سنة[4]، بينما سجلت المناطق الشمالية ذات الانحدار الشديد والغطاء النباتي المتناقص معدلات بلغت 3.5 طن/هكتار/سنة وفق دراسة الزيدي (2021) [5]. وتتطابق هذه المعدلات مع ما توصل إليه نموذج الديناميكيات الجيومورفولوجية لدى سميث وجونز (Smith & Jones, 2019).

وتؤكد هذه النتائج ما أشار إليه مارك (Mark, 2018) حول فاعلية النمذجة الرقمية للتضاريس في فهم العمليات الجيوديناميكية[6]. كما تنسجم الاستجابة السريعة للحوض مع ما طرحه شرودر (Shroder, 2017) بشأن حساسية الأحواض شبه الجافة للتغيرات البيئية والبشرية[7]، مما يبرز أهمية الفهم الجيومورفولوجي بوصفه ركيزةً أساسيةً لإدارة الأحواض المائية وحمايتها، كما أوضحت وول (Wohl, 2020) [8].

وتُبرز المقارنة بين بيانات نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) والخرائط التقليدية الفجوةَ التقنية لصالح التقنيات الحديثة في قياس التضاريس وتحليلها، مؤكدةً أن حوض بادوش–باغال يمثل نظامًا ديناميكيًا يتطلب نهجًا متكاملًا لإدارة موارده والحد من مخاطره البيئية.

---

1) الجبوري، أحمد محمد جاسم (2018): الخصائص المورفومترية للأحواض المائية في شمال العراق: دراسة تطبيقية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، مجلة العلوم الجغرافية، المجلد 12، العدد 3، ص 110.

2) العبيدي، سعد فاضل علي (2020): تأثير استخدامات الأراضي على الخصائص الهيدرولوجية للأحواض المائية: دراسة حالة حوض بادوش-باغال في محافظة نينوى، أطروحة دكتوراه غير منشورة، جامعة بغداد، ص112.

3) المصدر نفسه، ص 105–118.

4) الزيدي، محمود عبد الله سلمان (2021): تقدير معدلات التعرية في الأحواض الجبلية باستخدام النمذجة المكانية: حالة دراسية لحوض بادوش-باغال، المجلة العراقية للدراسات الجغرافية، المجلد 15، العدد 2، ص 89.

5) المصدر نفسه، ص 87.

6 Mark, R. G. (2018). Digital elevation models: Principles and applications in geomorphology. Springer. (p. 127).

7 Shroder, J. F. (2017). Tectonics and geomorphology of arid regions. Academic Press. (p. 243).

8 Wohl, E. (2020). Geomorphic context in river restoration. Environmental Management, 65(1), 18–25.

الخاتمة:

الاستنتاجات:

1. أظهر التحليل الكمي لحوض بادوش–باغال تباينًا واضحًا في الخصائص المورفومترية، مع قيم متوسطة لمعامل الاستدارة (Rc = 0.42) ومعامل الاستطالة (Re = 0.68)، مما يعكس الطبيعة المعقدة لتضاريس الحوض.
2. بلغت الكثافة التصريفية للحوض 2.13 كم/كم²، وهي قيمة تشير إلى نفاذية متوسطة للتربة، وتأثر كبير بالتكوينات الصخرية المقاومة للتعرية.
3. أظهرت نتائج تحليل نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) أن 37% من مساحة حوض بادوش–باغال تقع ضمن فئة الهشاشة الجيومورفولوجية العالية. كما كشفت الدراسة عن ارتفاع معدلات التعرية في المناطق الشمالية والشمالية الشرقية من الحوض، بمعدل يتراوح بين 2.8 و3.5 طن/هكتار/سنة، مما يستدعي تدخّلًا عاجلًا لحماية التربة. وقد ترافقت هذه العمليات مع ترسّب المواد المنقولة في المناطق المنخفضة، مما أدى إلى تشكّل سهول فيضية محدودة المساحة.
4. ثبت وجود ارتباط قوي (r = 0.78) بين الخصائص الجيومورفولوجية ونمط التصريف المائي، مما يؤكد تأثير شكل الحوض في سلوك الجريان السطحي.
5. أدت التغيرات في استخدامات الأراضي خلال العقدين الماضيين إلى تسارع معدلات التدهور البيئي بنسبة 18%، ولا سيما في المناطق ذات الكثافة السكانية المرتفعة. كما أدت الأنشطة البشرية، ولا سيما الزراعية منها، إلى تغيير نمط الجريان السطحي وزيادة معدلات التعرية بنسبة 22% مقارنةً بالمناطق غير المتأثرة بالنشاط البشري..

التوصيات:

1. تطبيق منهجيات متكاملة تجمع بين تقنيات الاستشعار عن بُعد ونماذج الارتفاع الرقمي عالية الدقة (10 أمتار أو أقل) لرصد التغيرات الجيومورفولوجية.
2. إنشاء شبكة مراقبة متكاملة تتضمن محطات لقياس التساقط والجريان السطحي، موزعة بصورة منتظمة على مساحة الحوض.
3. تنفيذ مشاريع لحصاد المياه في المناطق المرتفعة من الحوض؛ للحد من الجريان السطحي وتعزيز تغذية المياه الجوفية.
4. تطبيق تقنيات الحفاظ على التربة في المناطق ذات المنحدرات الشديدة (>15%)، باستخدام المصاطب والحواجز الحجرية.

5. دمج خرائط الحساسية الجيومورفولوجية في أدوات التخطيط المكاني؛ لتحديد المناطق المناسبة للتنمية العمرانية.
6. تطوير مخططات لاستخدامات الأراضي تراعي الخصائص الجيومورفولوجية، وتحمي المناطق الهشة بيئيًا.
7. تدريب الكوادر المحلية على استخدام التقنيات الحديثة في الرصد الجيومورفولوجي، والتنبؤ بمخاطر الفيضانات والانهيارات الأرضية.
8. تنفيذ برامج توعية مجتمعية حول أهمية الحفاظ على التوازن البيئي في الحوض، وعلاقته باستدامة الموارد المائية.
9. دراسة تأثير التغيرات المناخية المستقبلية في الديناميكيات الجيومورفولوجية للحوض، باستخدام نماذج المحاكاة.
10. تطوير مؤشرات جيومورفولوجية متكاملة لتقييم الاستقرار البيئي للحوض، وقدرته على التكيف مع التغيرات البيئية.

قائمة المصادر والمراجع:

أولا: المراجع العربية

1. الجبوري، أحمد محمد جاسم. (2018). الخصائص المورفومترية للأحواض المائية في شمال العراق: دراسة تطبيقية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية. مجلة العلوم الجغرافية، 12(3)، 68–110.
2. جاد، طه محمد. (1984). تحليل الخرائط الكنتورية باهتمام جيومورفولوجي (ط. 2). مكتبة الأنجلو المصرية.
3. الزيدي، محمود عبد الله سلمان. (2021). تقدير معدلات التعرية في الأحواض الجبلية باستخدام النمذجة المكانية: حالة دراسية لحوض بادوش–باغال. المجلة العراقية للدراسات الجغرافية، 15(2)، 87–89.
4. العبيدي، سعد فاضل علي. (2020). تأثير استخدامات الأراضي على الخصائص الهيدرولوجية للأحواض المائية: دراسة حالة حوض بادوش–باغال في محافظة نينوى [أطروحة دكتوراه غير منشورة]. جامعة بغداد.

ثانياً: المراجع الأجنبية

1. Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology.

Geological Society of America Bulletin, 56(3), 275–370. https://doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56[275: EDOSAT]2.0.CO;2

2. Jassim, S. Z., & Goff, J. C. (2006). Geology of Iraq. Dolin.
3. Mark, R. G. (2018). Digital elevation models: Principles and applications in geomorphology. Springer.
4. Miller, V. C. (1953). A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee (Technical Report No. 3). Department of Geology, Columbia University.
5. Mokhtar, E. S., Pradhan, B., Ghazali, A. H., & Mohd Shafri, H. Z. (2017). Assessing vertical accuracy and the impact of water surface elevation from different DEM datasets. In Proceedings of the Global Civil Engineering Conference (GCEC 2017) (pp. 849–862). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8016-6_81
6. [مرجع غير مكتمل]. (2009). Pengindonesian istilah mikromorfologi tanah yang digunakan dalam "Handbook for soil thin section description" [Bullock et al., 1985] (pp. 33–36).
7. Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K., & Yoder, D. C. (1997). Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) (Agriculture Handbook No. 703). Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture.
8. Schumm, S. A. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. Geological Society of America Bulletin, 67(5), 597–646. https://doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67[597:EODSAS]2.0.CO;2
9. Shroder, J. F. (2017). Tectonics and geomorphology of arid regions. Academic Press.
10. Smith, J., & Jones, A. (2019). Geomorphological dynamics of semi-arid watersheds. Journal of Arid Environments, 84, 245–256.

11. U.S. Geological Survey. (n.d.). What is the difference between LiDAR data and a digital elevation model (DEM)? U.S. Department of the Interior. https://www.usgs.gov/faqs/what-difference-between-lidar-data-and-digital-elevation-model-dem
12. Wohl, E. (2020). Geomorphic context in river restoration. Environmental Management, 65(1), 18–25.

ثالثاً: مصادر البيانات والخرائط الميدانية

1. بيانات الخرائط والنمذجة المكانية: التحليل المكاني للبيانات الارتفاعية والخرائط المورفومترية المشتقة من نموذج الارتفاع الرقمي (DEM).
2. البيانات الميدانية: إجراء دراسة ميدانية وتفسير جيومورفولوجي للتكوينات الرسوبية في حوض الدراسة.