Assessment of Soil Erosion Risk Using Morphometric Parameters and Remote Sensing Data (Case Study: Karkheh Basin)

Fatemeh Masoumi Ziaratgahi [a], Reza Zakerinejad*[b],

[b] *M.Sc. Graduate Student, Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Planning, University of Isfahan, Iran*

[a] *Assistant Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Planning, University of Isfahan, Iran*

Research Full Paper

Article History (Received: 2025/11/15 Accepted: 2026/06/28)

Extended abstract

1. Introduction

Soil erosion is regarded as one of the most serious threats to soil fertility and productive capacity, making it one of the most pressing environmental challenges facing developing countries. Reports indicate that soil erosion in Iran averages around 33 tons per hectare. The severity of erosion in a given region is shaped by the interaction of climatic, technical, managerial, and policy-related factors at both micro and macro levels (Hosseini et al., 2011), and its consequences have been considered so severe that some researchers attribute the rise and fall of ancient civilizations partly to this phenomenon (Shahrivar et al., 2017). Numerous prior studies have addressed this issue, including research on the role of lime in reducing the erodibility of calcareous soils (Khajoo et al., 2017), a comparison of SRTM and ASTER elevation models for gully erosion potential mapping (Zakerinejad, 2020), the identification of erosion-prone areas using morphometric parameters and the EPM model in India (Kadam et al., 2019), an assessment of soil erosion risk in China using the RUSLE model (Ji et al., 2019), and erosion and sedimentation risk zoning in Sri Lanka (Nimal et al., 2024). Despite this body of research, no study has specifically applied the WSA method combined with 15 morphometric indicators to prioritize erosion risk in the Karkheh watershed. Accordingly, the present study aims to identify and evaluate the key factors influencing soil erosion and to delineate high-risk zones within this watershed, offering a practical tool to support water and soil management planning.

2. Methodology

In the first step of this research, the necessary pre-processing (sink filling) was performed on the digital elevation model. In the next step, morphometric indicators (including bifurcation ratio, drainage density, drainage texture, infiltration coefficient, stream frequency, average channel slope, stream power index, elongation ratio, form factor, ruggedness number, topographic wetness index, shape factor, circularity ratio, density coefficient, and relief ratio.) were prepared using GIS software. In the third step, the Karkheh basin boundary, drainage network, and sub-basins were extracted. The WSA method was then used to zone soil erosion potential, based on the morphometric parameters and their effects on soil erosion.

3. Results

In this ranking, sub-basins with a rank of 1 have the lowest potential for soil erosion; as the rank increases, erosion potential increases accordingly, so that sub-basins with a rank of 5 have the highest potential for soil erosion. In elongated basins, form factor values are low. The shape factor parameter has a direct relationship with the rate of soil erosion, and high values indicate a high potential for flash floods. The stream frequency parameter is related to infiltration capacity high values indicate impermeable subsurface materials, high roughness, and low infiltration capacity. Drainage texture is a geomorphological concept reflecting lithological

* Corresponding Author: r.zakerinejad@geo.ui.ac.ir

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-20]

[DOI: 10.61882/jeer.16.2.4]

conditions, infiltration capacity, and topography. The drainage density parameter controls the amount of surface runoff. The compactness coefficient describes the relationship between a basin's shape and a perfect circle: a value of 1 indicates a circular basin, while values less than 1 indicate deviation from circularity; this parameter is directly related to the basin's infiltration rate.

4. Discussion & Conclusions

Overall, the results of this study indicate that topographic, slope, and roughness indices play a significant role in the occurrence of soil erosion in the Karkheh watershed. The soil erosion potential of the Karkheh sub-basins is influenced by their topographic conditions, with parameters related to basin shape and roughness having the greatest impact on erosion potential. Sub-basins located in the central areas of the basin also show high erosion potential; this is consistent with the findings of Bayat (2021), who used the EPM empirical model and found the highest soil erosion rate in the central sub-basins, with bifurcation ratio, drainage density, and ruggedness number showing the highest positive correlation coefficients among the morphometric parameters. Similarly, Jahani et al. (2024) found, using the SLEMSA model, that the highest soil erosion rate occurs in the central, eastern, and northeastern sub-basins, with an erosion rate of approximately 73.14 to 76.65 tons per hectare per year. Furthermore, by comparing historical soil erosion patterns with the results obtained from model-based studies (Parvin, 2023), it was determined that the WSA method offers better performance in soil erosion potential zoning due to its more precise calculation method. These basins rank highly on most roughness and shape parameters; consequently, under the WSA method, approximately 50% of the basin's area falls within zones of medium to high soil erosion potential, with topographic conditions, lithology, and geomorphology playing an important role by influencing the morphometric parameters. In sub-basins with very low and low soil erosion potential, roughness and shape parameters play the dominant role, with conservation-priority rankings ranging from 1 to 5.

Keywords: Soil erosion, Karkheh watershed, morphometric indicators

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-20]

[DOI: 10.61882/jeer.16.2.4]

Cite this article: Masoumi Ziaratgahi , F., Zakerinejad , R., (2026). Assessment of Soil Erosion Risk Using Morphometric Parameters and Remote Sensing Data (Case Study: Karkheh Basin). *Journal of* Environmental *Erosion Research. 2026; 16 (2) :115-130*. http//doi.org/10.61882/jeer.16.2.4

© The Author(s).
DOI: http//doi.org/10.61882/jeer.16.2.4
Published by Hormozgan University Press.
URL: http://magazine.hormozgan.ac.ir

ارزیابی خطر فرسایش خاک با استفاده از پارامترهای مورفومتریک و روش WSA (منطقه مورد مطالعه: حوضه آبریز کرخه)

فاطمه معصومی زیارتگاهی: *دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه ریزی، دانشگاه اصفهان.*
رضا ذاکری‌نژاد:** *استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه ریزی، دانشگاه اصفهان.*

نوع مقاله: پژوهشی
تاریخچهٔ مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۰۷)
DOI: http//doi.org/10.61882/jeer.16.2.4

چکیده

فرسایش خاک یکی از مهم‌ترین مسائل و مشکلات زیست‌محیطی است که امروزه با آن مواجه هستیم. این نوع از هدررفت خاک از معضلات بزرگ حوضه‌های آبریز، عرصه‌های کشاورزی و منابع طبیعی است که باعث تخریب اراضی و کاهش حاصلخیزی خاک‌ها می‌شود. هدف این پژوهش، ارزیابی خطر فرسایش خاک با استفاده از ۱۵ شاخص مورفومتریک شامل نسبت انشعاب، تراکم زهکشی، بافت زهکشی، ضریب نفوذ، فراوانی آبراهه، میانگین شیب، شاخص توان جریان، نسبت کشیدگی، ضریب فرم، عدد ناهمواری، شاخص رطوبت توپوگرافی، فاکتور شکل، نسبت دایره‌ای بودن، ضریب تراکم و نسبت ناهمواری است. این شاخص‌ها از مدل رقومی ارتفاعی SRTM با دقت مکانی ۳۰ متر، به‌منظور پهنه‌بندی پتانسیل خطر فرسایش خاک در حوضه آبریز کرخه و با استفاده از روش WSA تهیه شده‌اند. بدین منظور، ابتدا پیش‌پردازش‌های لازم شامل حذف خطاهای هیدرولوژیکی مدل رقومی ارتفاعی با استفاده از نرم‌افزار SAGA GIS انجام شد؛ سپس تمامی شاخص‌های ذکرشده برای زیرحوضه‌های منطقه مورد مطالعه تهیه گردید. بر اساس یافته‌های این پژوهش، حدود ۵۵ درصد از مساحت حوضه در کلاس‌های خطر متوسط تا زیاد فرسایش قرار دارد، حدود ۲۳ درصد در کلاس خطر کم و ۲۰ درصد در کلاس خطر خیلی کم قرار گرفته است. مناطق مرکزی حوضه آبریز مورد مطالعه در معرض خطر فرسایش خاک بیشتری قرار دارند؛ همچنین زیرحوضه‌های با پتانسیل فرسایش کم و خیلی کم، در محدوده‌های شمالی (ماهیدشت) و محدوده جنوبی (دشت آزادگان) این حوضه واقع شده‌اند. علاوه بر این، بر اساس نتایج پژوهش، شاخص‌های ارتفاع، شیب و ناهمواری نقش بسزایی در وقوع فرسایش خاک در حوضه آبریز کرخه دارند.

واژگان کلیدی: فرسایش خاک، حوضه آبریز کرخه، شاخص‌های مورفومتریک.

* **نویسندهٔ مسئول:** r.zakerinejad@geo.ui.ac.ir

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-20]
[DOI: 10.61882/jeer.16.2.4]

۱ـ مقدمه

فرسایش خاک به‌عنوان یکی از عوامل جدی تهدیدکنندهٔ حاصلخیزی خاک و در نتیجه توان تولیدی آن، از جمله مهم‌ترین مسائل زیست‌محیطی کشورهای در حال توسعه محسوب می‌شود؛ به‌گونه‌ای که گزارش‌ها در ایران حکایت از فرسایشی معادل ۳۳ تن در هکتار دارند. شدت فرسایش خاک در یک منطقه به‌واسطهٔ اثر متقابل عوامل مختلفی همچون خصوصیات اقلیمی و فنی آن منطقه، عوامل مدیریتی و نیز سیاست‌های دولت‌ها در سطوح خرد و کلان تعیین می‌شود (حسینی و همکاران، ۱۳۹۰). فرسایش خاک مشکلی جهانی است که به‌طور جدی منابع آب و خاک را تهدید می‌کند؛ به‌گونه‌ای که پیامدهای حاصل از آن توسط برخی پژوهشگران چنان خطرناک قلمداد شده که شکوفایی و نابودی تمدن‌های پیشین را نیز به این پدیده نسبت داده‌اند (شهریور و همکاران، ۱۳۹۶). در مطالعه‌ای که توسط خواجو و همکاران (۱۳۹۶) انجام شد، عوامل مؤثر بر فرسایش‌پذیری بر اساس معادلهٔ جهانی فرسایش خاک در خاک‌های آهکی بررسی شد. نتایج نشان داد که در خاک‌های آهکی موردبررسی، آهک به‌عنوان یکی از ویژگی‌های مهم خاک، در افزایش پایداری خاکدانه و نفوذپذیری و در نتیجه کاهش فرسایش‌پذیری، تأثیر قابل‌توجهی دارد. ذاکری‌نژاد (۱۳۹۹) به ارزیابی و مقایسهٔ دقت مدل‌های رقومی ارتفاعی SRTM و ASTER برای تهیهٔ نقشهٔ پتانسیل فرسایش خندقی با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی (مکسنت) در حوضهٔ آبریز سمیرم در استان اصفهان پرداخت. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل ارتفاعی SRTM نسبت به ASTER در پهنه‌بندی نقشهٔ خطر فرسایش خندقی از دقت بالاتری برخوردار است. همچنین شاخص‌های مورفومتری شامل قدرت فرسایندگی آبراهه، ارتفاع و شاخص همگرایی، بیشترین تأثیر را بر میزان فرسایش خندقی در منطقه داشتند.

در مطالعه‌ای دیگر در حوضهٔ شیوگانگای هندوستان، با استفاده از پارامترهای مورفومتریک و مدل EPM، به شناسایی مناطق مستعد فرسایش خاک پرداخته شد. نتایج این پژوهش نشان داد که ۴۱ درصد از مساحت حوضه، به‌دلیل ناهمواری بالا و شیب زیاد، در پهنهٔ با پتانسیل زیاد فرسایش خاک قرار دارد و نیازمند اقدامات حفاظتی است (Kadam et al., ۲۰۱۹). جی و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی پتانسیل خطر هدررفت خاک در چین، با استفاده از ادغام تصاویر ماهواره‌ای، نمونه‌های میدانی و مشاهدات زمینی و بر اساس معادلهٔ جهانی تلفات خاک (RUSLE)، پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که زمین‌های بایر بیشترین رتبهٔ فرسایش خاک را دارا هستند. نیمال و همکاران (۲۰۲۴) نیز به ارزیابی فرسایش و رسوب‌گذاری خاک در سریلانکا پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که شدت فرسایش به چهار کلاس خطر، شامل ناچیز، ضعیف، شدید و بحرانی، طبقه‌بندی شد و بر این اساس، مناطق بحرانی و پرخطر شناسایی شده و اقدامات فوری برای کنترل فرسایش خاک پیشنهاد شد.

با توجه به اینکه در بسیاری از حوضه‌های آبریز کشور، داده‌های کافی برای بررسی میزان فرسایش خاک وجود ندارد، استفاده از مدل‌هایی که بتوانند میزان فرسایش را با حداقل داده‌های ورودی و با کمترین هزینه و زمان برآورد کنند، ضروری به نظر می‌رسد. با وجود مطالعات پیشین در زمینهٔ فرسایش خاک در منطقهٔ موردمطالعه (حوضهٔ آبریز کرخه)، هیچ پژوهشی به‌طور خاص از تلفیق روش WSA با ۱۵ شاخص مورفومتریک برای اولویت‌بندی خطر فرسایش استفاده نکرده است؛ ازاین‌رو، این تحقیق می‌تواند به‌عنوان ابزاری مفید برای مدیریت آب و خاک این حوضه در اختیار برنامه‌ریزان قرار گیرد. از آنجا که فرسایش خاک برای زیرساخت‌های انسانی، خاک، زمین‌های کشاورزی و کاربری اراضی مخاطرات زیادی ایجاد می‌کند، در

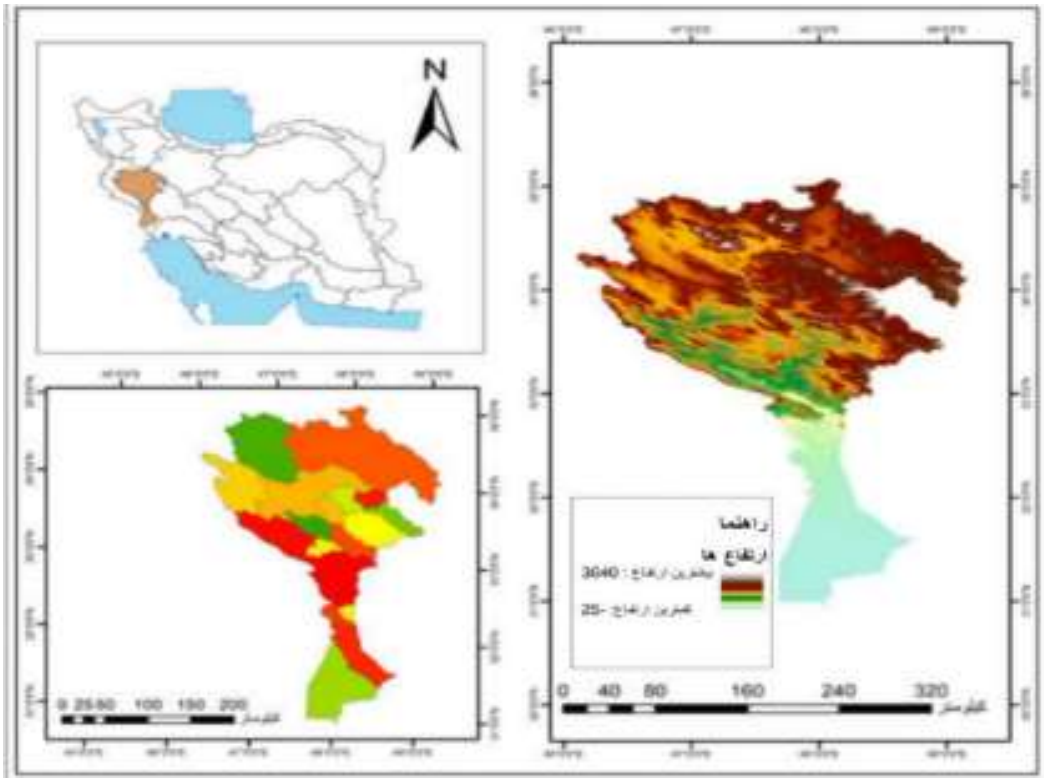
[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-20]

[DOI: 10.61882/jeer.16.2.4]

این پژوهش سعی شده است مهم‌ترین عوامل مؤثر بر فرسایش خاک تعیین و ارزیابی شوند و همچنین مناطق پرخطر فرسایش خاک در حوضهٔ آبریز موردمطالعه شناسایی گردند.

منطقهٔ مورد مطالعه

حوضهٔ آبریز کرخه در محدودهٔ جغرافیایی ۳۳ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۵۴ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۷ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۱۱ دقیقه طول شرقی قرار دارد (شکل ۱). وسعت این حوضهٔ آبریز ۴٬۲۶۲٬۰۰۰ هکتار است و بخش‌هایی از استان‌های خوزستان، ایلام، همدان، لرستان، مرکزی، کردستان و کرمانشاه را در برمی‌گیرد. این حوضه در منطقه‌ای کوهستانی با شیب متوسط ۶/۲۲ درصد واقع شده و از نظر اقلیمی، نمایندهٔ متوسط اقلیم زاگرس محسوب می‌شود؛ به‌طوری‌که جنوبی‌ترین نقطهٔ حوضه دارای میانگین بارندگی ۳۰۰ میلی‌متر و نقاط شمالی حوضه دارای میانگین بارندگی ۱۰۰۰ میلی‌متر در سال هستند. بدین‌ترتیب، این حوضه با وجود دارا بودن حدود ۱۲ درصد از مساحت زاگرس، حدود ۶۵ درصد از آب‌های جاری این منطقه را در خود جای می‌دهد (شاهرضا و همکاران، ۱۳۹۶).



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-20]

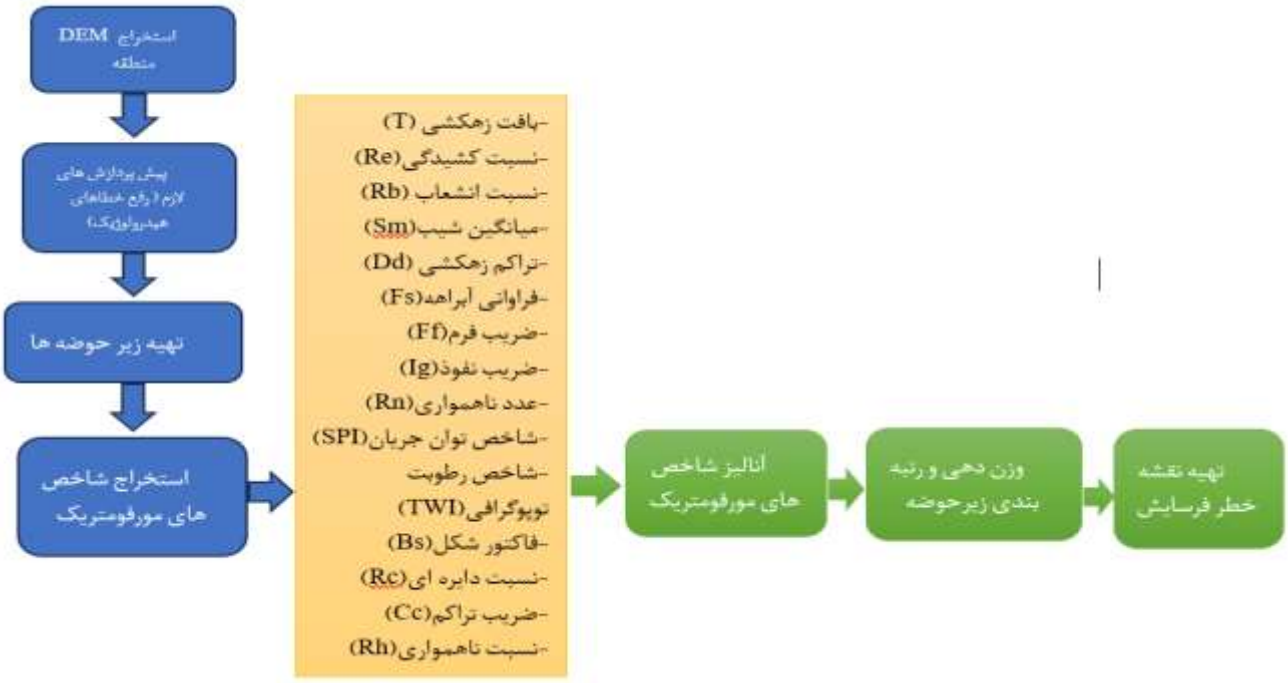
[DOI: 10.61882/jeer.16.2.4]

روش تحقیق

روش تحقیق حاضر از نوع کاربردی–توسعه‌ای است؛ بدین معنا که هدف آن، علاوه بر توسعهٔ دانش نظری در حوزهٔ فرسایش خاک، ارائهٔ چارچوبی عملی، دقیق و قابل‌پیاده‌سازی برای مدیریت آب و خاک در مناطق متأثر از بحران فرسایش آبی است.

در گام نخست این تحقیق، ابتدا پیش‌پردازش‌های لازم بر روی مدل رقومی ارتفاعی SRTM در نرم‌افزار SAGA-GIS انجام شد. بدین منظور، خطاهای هیدرولوژیکی (خطای Sink) با استفاده از الگوریتم Planchon & Darboux و از طریق ابزار Fill Sink اصلاح گردید (Planchon & Darboux, ۲۰۰۱). این خطا موجب ایجاد فرورفتگی‌ها و چاله‌های مصنوعی در مدل رقومی ارتفاعی می‌شود که لازم است پیش از پردازش، اصلاح گردد.

در گام بعدی، با استفاده از نرم‌افزارهای GIS[1]، شاخص‌های مورفومتری تهیه شد. در گام سوم، محدودهٔ حوضهٔ کرخه، شبکهٔ زهکشی و زیرحوضه‌های آن استخراج گردید. برای پهنه‌بندی پتانسیل فرسایش خاک از روش WSA استفاده شد؛ بر این اساس، پارامترهای مورفومتریک و تأثیر آن‌ها بر فرسایش خاک مورد سنجش قرار گرفت. مراحل روش تحقیق در فلوچارت شکل ۲ ارائه شده است.



شکل ۲: مراحل انجام پژوهش

روش WSA[2]

روش جمع وزنی (WSA) مبتنی بر اولویت‌بندی زیرحوضه‌های مختلف بر اساس شرایط هیدروژئومورفولوژیک است؛ به این صورت که اولویت‌بندی مقدماتی (Pr) زیرحوضه‌ها نیز بر اساس مقادیر پارامترهای مورفومتری انجام می‌شود. سپس مقادیر پارامترهای مورفومتری برای هر یک از زیرحوضه‌ها محاسبه شده و برای رتبه‌بندی آن‌ها، ماتریس همبستگی بین پارامترهای مورفومتری تشکیل می‌گردد. ضریب همبستگی دو متغیر عددی بین ۱- تا ۱+ است و هر چه این ضریب به ۱ نزدیک‌تر باشد،

[1] Geographic Information System

2 . Weighted Sum Approach

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-20]

[DOI: 10.61882/jeer.16.2.4]

بیانگر ارتباط خطی قوی‌تر بین دو متغیر است؛ برعکس، هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهندهٔ ضعف ارتباط خطی بین آن دو متغیر است. مثبت بودن ضریب همبستگی بیانگر ارتباط مستقیم و منفی بودن آن بیانگر ارتباط معکوس بین دو متغیر است (تاکار[۲] و همکاران، ۲۰۰۷).

در ادامه، مجموع همبستگی (SC) برای هر ستون محاسبه می‌شود و مجموع کل (ST) از جمع تمامی ستون‌ها به دست می‌آید. وزن (W) هر پارامتر مورفومتریک از تقسیم مجموع همبستگی بر مجموع کل، طبق رابطهٔ زیر محاسبه می‌گردد:

رابطهٔ ۱: $$W = SC/ST$$

برای رتبه‌بندی زیرحوضه‌ها، شاخص ترکیب پارامتر (CPI) برای هر یک از آن‌ها طبق رابطهٔ (۲) محاسبه می‌شود. در این رابطه، Pr رتبهٔ پارامترهای مورفومتریک است. زیرحوضه‌هایی که بیشترین مقدار شاخص ترکیب پارامتر را دارند، بالاترین رتبه را به خود اختصاص می‌دهند و در نتیجه، بیشترین پتانسیل فرسایش خاک را دارا هستند.(Thakkar, 2019)

رابطهٔ ۲: $$CPI = \Sigma(Pr \times W)$$

مقادیر به‌دست‌آمده از شاخص ترکیب پارامتر برای هر یک از زیرحوضه‌های مورد مطالعه، بر مبنای روش شکستگی‌های طبیعی[۳] طبقه‌بندی می‌شوند. در این روش، طبقه‌بندی بر اساس گروه‌بندی‌های طبیعی موجود در درون داده‌ها انجام می‌گیرد؛ به‌طوری‌که نقاط شکست بین دسته‌ها به‌گونه‌ای تعیین می‌شوند که مقادیر مشابه در یک گروه قرار گیرند و تفاوت میان کلاس‌ها بیشینه شود. در نهایت، عوارض در کلاس‌هایی جای می‌گیرند که مرز آن‌ها بر اساس بزرگ‌ترین تغییرات نسبی در مقادیر داده‌ها تعیین شده است. در این پژوهش، کلاس‌ها در چهار پهنهٔ فرسایشی با پتانسیل خیلی کم، کم، متوسط و زیاد طبقه‌بندی می‌شوند(Jenks, 1971) .

جدول ۱: پارامتر های مورفومتریک مورد استفاده در این پژوهش

شماره	پارامترهای مورفومتریک	مخفف	فرمول	رفرنس
۱	Bifurcation ratio (نسبت انشعاب)	(Rb)	$R=Nu/Nu+1$ Nu:تعداد آبراهه یک رده و Nu+1: تعداد آبراهه یک رده بالاتر	Sharma et al. ۲۰۰۸
۲	Drainage density (تراکم زهکشی)	(Dd)	$Dd=Lu/A$, A=مساحت حوضه Lu=مجموع طول آبراهه	Sharma et al. ۲۰۰۸
۳	Drainage texture (بافت زهکشی)	(T)	$T=Nu/P$, P=محیط حوضه Nu= تعداد کل آبراهه های حوضه	Horton ۱۹۴۵
۴	Infiltration factor (ضریب نفوذ)	(Ig)	$Lg=a*D^2$	Zavoiance ۱۹۸۵
۵	Stream frequency (فراوانی آبراهه)	(Fs)	$Fs=Nu/A$	Sharma et al. ۲۰۰۸
۶	Average of slope (میانگین شیب)	(Sm)	-	Sharma et al. ۲۰۰۸
۷	Stream Power Index (شاخص توان جریان)	(SPI)	$SPI=A*\tan(B)$, B=زاویه شیب زمین	Moore, Wilson ۱۹۹۲
۸	Elongated ratio(نسبت کشیدگی)	(Re)	$Re=2/Lb*(A/3.14)$	Kadam ۲۰۱۹
۹	Form factor (ضریب فرم)	(Ff)	$Ff=A/Lb^2$	Sharma et al. ۲۰۰۸
۱۰	Ruggeness number (عدد ناهمواری)	(Rn)	$Rn=H/L_b$, H=ناهمواری حوضه	Moore et al. ۱۹۹۱

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-20]

[DOI: 10.61882/jeer.16.2.4]

۱۱	Topographic Wetness Index (شاخص رطوبت توپوگرافی)	(TWI)	TWI=ln(A/tan(B)	Olaya, Conrad ۲۰۰۸
۱۲	Basin shape index (فاکتور شکل)	(Bs)	Bs=Lb2/A Lb= طول حوضه کیلومتر	Kadam ۲۰۱۹
۱۳	Circular ratio (نسبت دایره ای)	(Rc)	$Rc=۱۲,۵۶(A/P)^{۲}$	Kadam ۲۰۱۹
۱۴	Compression Coefflcient (ضریب تراکم)	(Cc)	$Cc = 0.282*L_{b/A}^{0.5}$	Kadam ۲۰۱۹
۱۵	Relief ratio (نسبت ناهمواری)	(Rh)	Rh=H/Lb H= ناهمواری حوضه	Moore, Wilson ۱۹۹۱

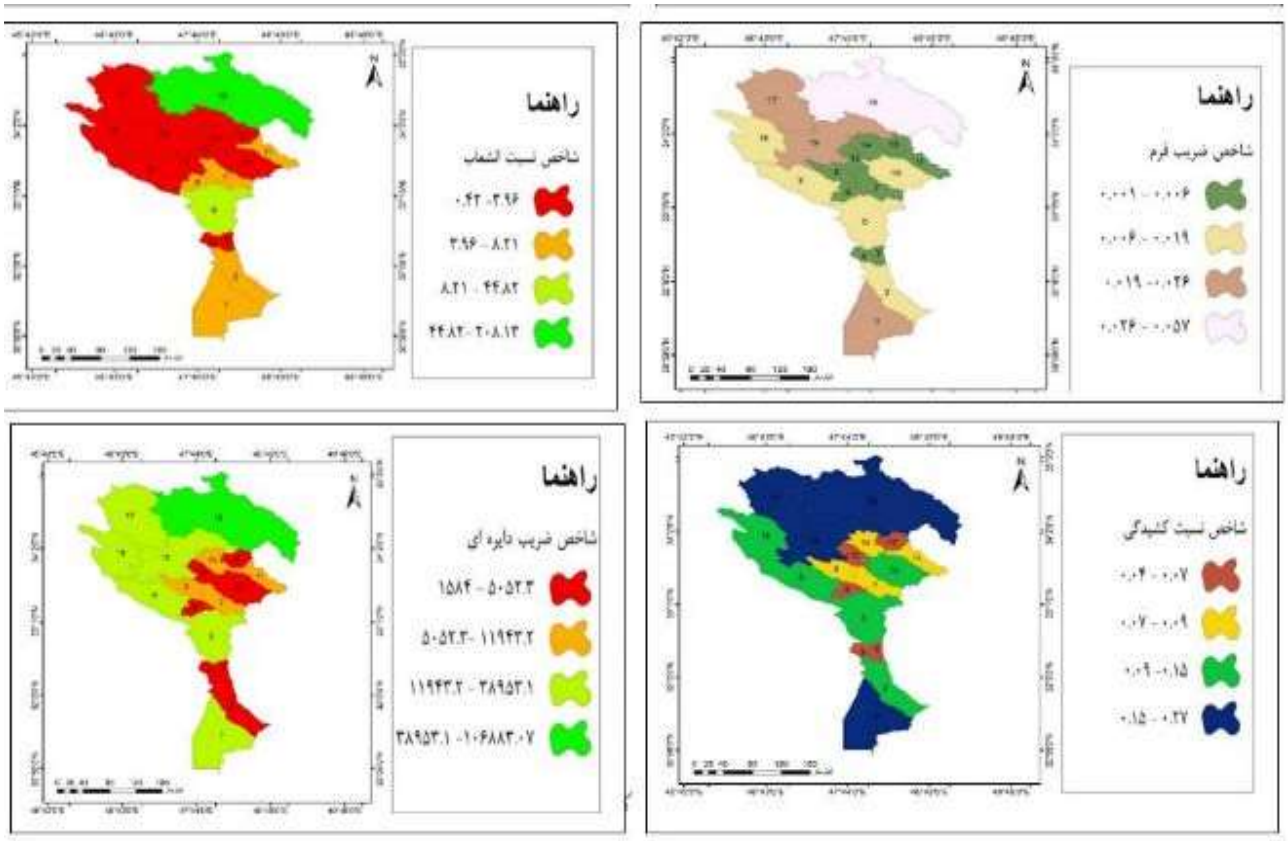
نتایج تحقیق

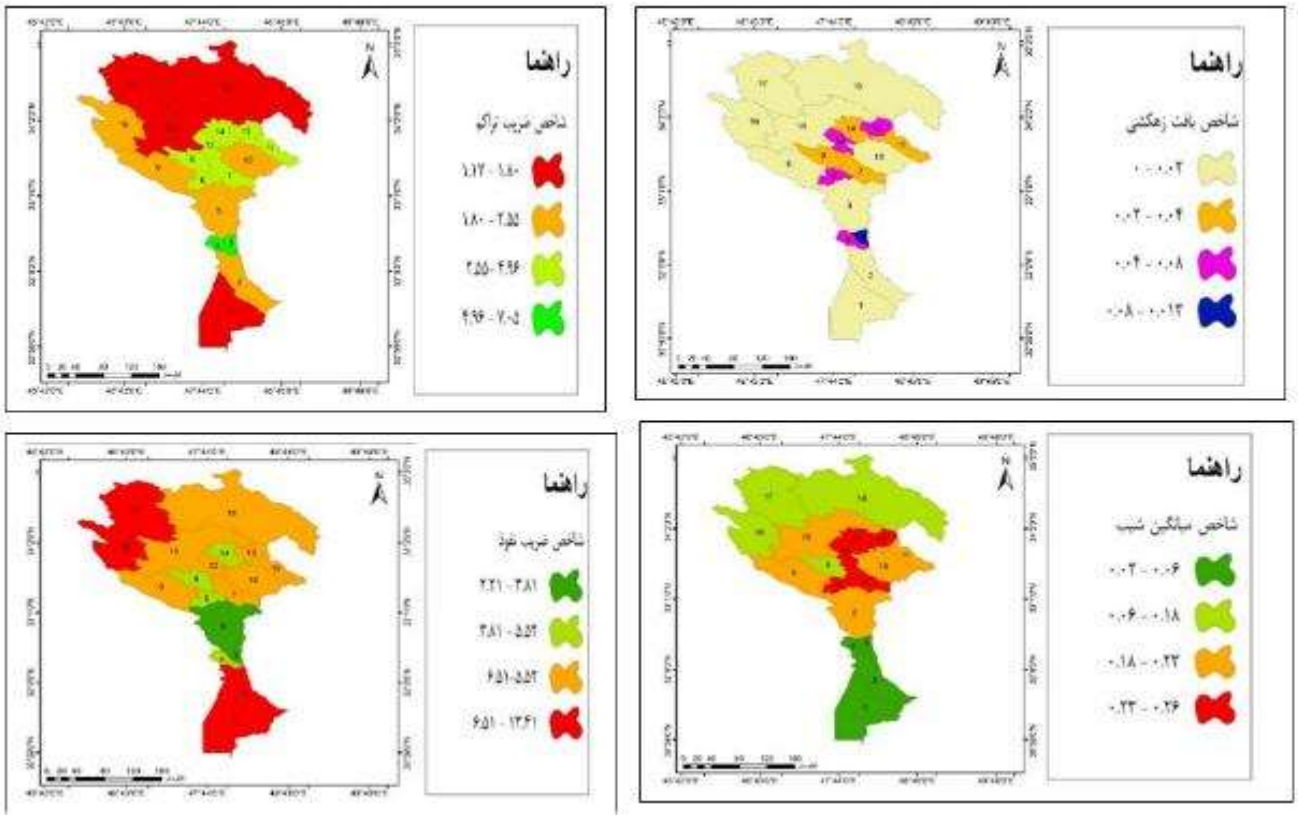
در این پژوهش، نقشه تهیه شده ۱۵ شاخص مورفومتری حوضه آبریز کرخه در شکل ۷ آورده شده است. بر اساس این در این پژوهش، نقشه‌های تهیه‌شده از ۱۵ شاخص مورفومتری حوضه‌ی آبریز کرخه در شکل ۷ آورده شده است. بر اساس این نقشه‌ها، هر زیرحوضه بر اساس شاخص تهیه‌شده دارای ارزش عددی متفاوتی است که در نهایت با استفاده از روش WSA، رتبه‌بندی برای ۱۵ شاخص در هر زیرحوضه در نقشه‌ی نهایی در شکل شماره‌ی ۸ آورده شده است. در این رتبه‌بندی، زیرحوضه‌های با رتبه‌ی ۱ کمترین پتانسیل را برای فرسایش خاک داشته و با افزایش رتبه‌ی زیرحوضه‌ها، پتانسیل فرسایش آن‌ها افزایش می‌یابد. بنابراین، زیرحوضه‌های با رتبه‌ی ۵ بیشترین پتانسیل فرسایش خاک را دارا هستند (Schumm, ۱۹۵۶). پارامتر فاکتور شکل رابطه‌ی مستقیمی با میزان فرسایش خاک دارد و مقادیر بالای آن نشان‌دهنده‌ی پتانسیل زیاد وقوع جریان‌های سیلابی کوتاه‌مدت است (Reddy, ۲۰۰۱) و این پارامتر در حوضه‌های کشیده عدد کمتری دارد (Magesh & Chandrasekar, ۲۰۱۴). شاخص فراوانی آبراهه با ظرفیت نفوذ در ارتباط است (Efiong & Eze, ۲۰۱۰) و مقادیر بالای آن حاکی از نفوذناپذیری مواد زیرسطحی، ناهمواری بالا و کم‌بودن ظرفیت نفوذ است. شاخص بافت زهکشی یک مفهوم ژئومورفولوژیک است و نشان‌دهنده‌ی شرایط لیتولوژیک، ظرفیت نفوذ و توپوگرافی است (Rai, ۲۰۱۸). پارامتر تراکم زهکشی، میزان رواناب سطحی را کنترل می‌کند (Pallard, ۲۰۰۹). ضریب فشردگی، رابطه‌ی شکل یک حوضه را با یک دایره‌ی کامل در نظر می‌گیرد؛ مقدار Cc=۱ نشان‌دهنده‌ی حالت دایره‌ای حوضه و مقادیر کمتر از ۱ نشان‌دهنده‌ی انحراف از حالت دایره است، و این پارامتر مستقیماً با میزان نفوذ در حوضه در ارتباط است. محاسبه‌ی مقادیر پارامترهای مورفومتری در زیرحوضه‌ی مورد مطالعه، رتبه‌بندی آن‌ها بر اساس مقادیر به‌دست‌آمده و بررسی رابطه‌ی آن‌ها با پتانسیل فرسایش خاک انجام می‌شود. در ادامه، ماتریس ضریب همبستگی بین مقادیر پارامترهای مورفومتری تشکیل می‌شود (جدول ۲).

جدول Error! No text of specified style in document. :۲ مقادیر شاخص ترکیب پارامتر و رتبه بندی پتانسیل فرسایش زیرحوضه های کرخه

زیرحوضه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
CPI	۲,۸۳	۳,۵۴	۱۴,۰۶	۱۱,۷۵	۱۰,۷۷	۱۹,۹۶	۹,۹۶	۱۲,۵۱	۶,۱۲	۶,۳۶	۱۲,۴۹	۹,۷۳	۱۱,۳۸	۱۲,۹۳	۷,۴۷	۳,۵۲	۱,۹۵	۸,۵۵
رتبه	۲	۴	۱۷	۱۳	۱۱	۱۸	۱۰	۱۵	۵	۶	۱۴	۹	۱۲	۱۶	۷	۳	۱	۸
پتانسیل فرسایش	خیلی کم	کم	زیاد	زیاد	متوسط	زیاد	متوسط	زیاد	کم	کم	زیاد	متوسط	زیاد	زیاد	متوسط	کم	خیلی کم	متوسط

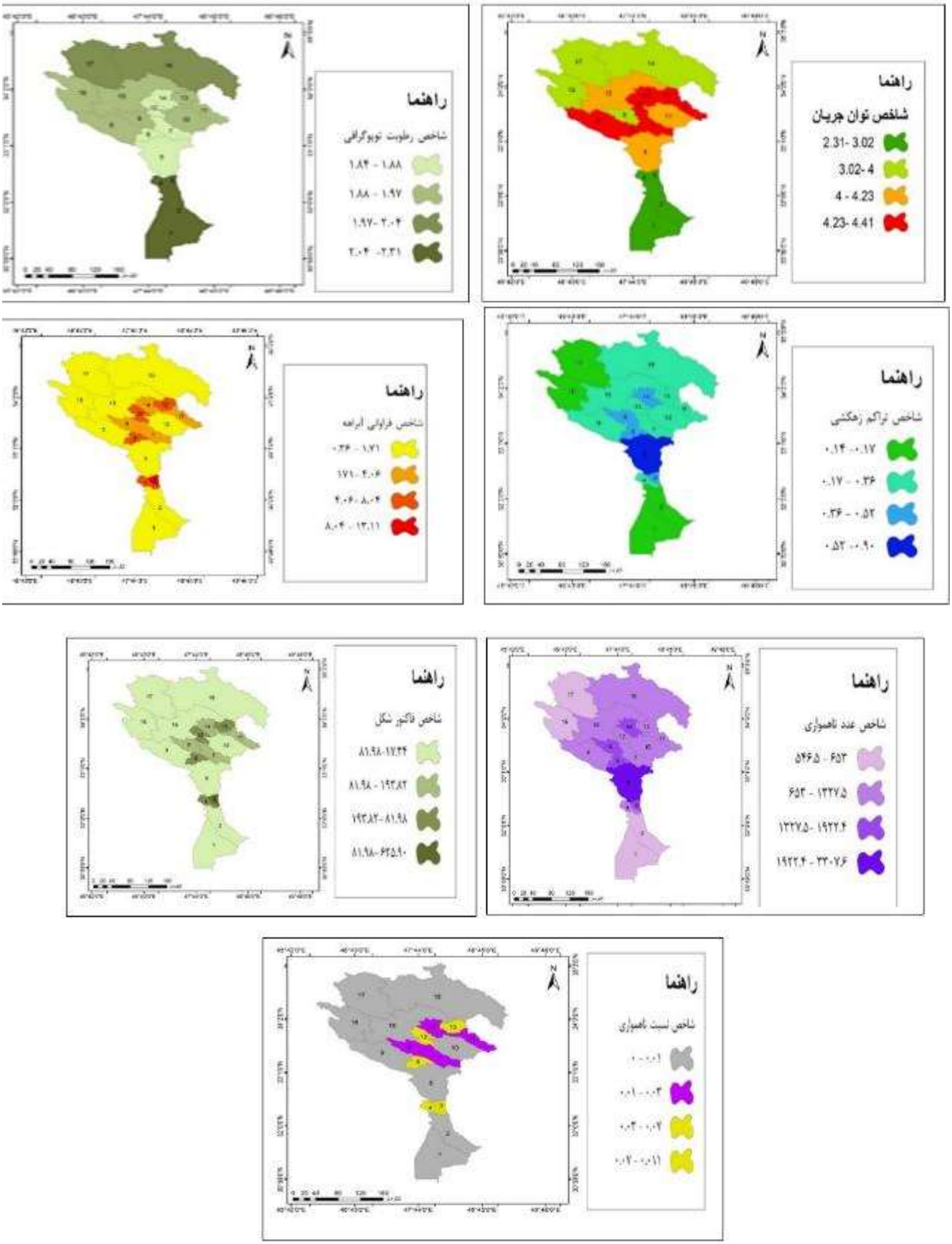
[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-20]
[DOI: 10.61882/jeer.16.2.4]





[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-20]

[DOI: 10.61882/jeer.16.2.4]

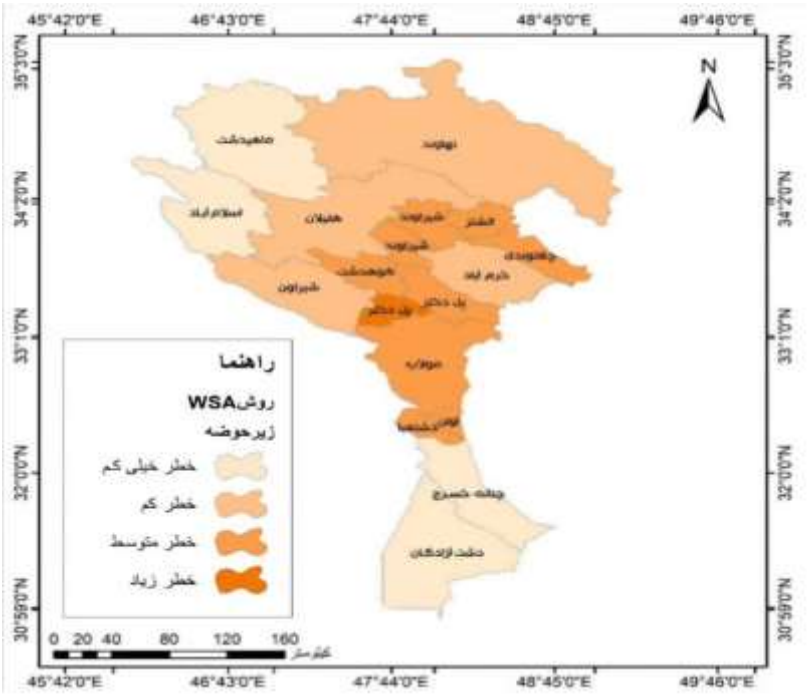


شکل ۷: نقشه شاخص های مورفومتریک

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-20]

[DOI: 10.61882/jeer.16.2.4]

بر اساس نقشه‌ی نهایی اولویت‌بندی خطر فرسایش زیرحوضه‌های کلان‌حوضه‌ی آبریز کرخه با استفاده از روش WSA (شکل ۸)، زیرحوضه‌های مرکزی، یعنی زیرحوضه‌ی پل‌دختر، بیشترین پتانسیل فرسایش خاک را دارند؛ در حالی که زیرحوضه‌های جنوبی (دشت آزادگان و چنانه‌خسرج) و شمال‌شرقی (اسلام‌آباد و ماهیدشت) در کلاس خطر خیلی کم قرار دارند. بر اساس نتایج نقشه‌ی کلاس‌بندی خطر فرسایش خاک در حوضه‌ی مورد مطالعه، درصد مساحت زیرحوضه‌های با خطر زیاد، متوسط، کم و خیلی کم، به ترتیب شامل ۱۰،۵۹ درصد، ۴۵،۳۸ درصد، ۲۳،۱۹ درصد و ۲۰،۳۴ درصد از کل حوضه‌ی آبریز کرخه می‌باشد.



شکل ۸: نقشهٔ اولویت بندی زیرحوضه های کرخه بر اساس روش WSA

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-20]

[DOI: 10.61882/jeer.16.2.4]

جدول ۳: رتبه بندی پتانسیل خطر فرسایش خاک در زیر حوضه ها

زیرحوضه	نام زیر حوضه	مساحت(K^2)	مساحت به درصد	رتبه بندی خطرفرسایش، روش WSA
۱	دشت آزادگان	۴۹۶۴,۶۴۶	۹,۶۷	رتبه (۱)
۲	چنانه- خسرج	۲۶۳۸,۲۹۷	۵,۱۴	رتبه(۱)
۳	آوان	۳۲۵,۶۷۵	۰,۶۳	رتبه(۳)
۴	دشت عباس	۵۳۰,۷۳۰	۱,۰۳	رتبه(۳)
۵	مولاب	۳۹۵۵,۸۷۵	۷,۷۱	رتبه(۳)
۶	پل دختر	۶۵۸,۵۱۸	۱,۲۸	رتبه (۴)
۷	پل دختر	۱۳۶۷,۷۳۹	۲,۶۶	رتبه(۳)
۸	کوهدشت	۱۱۲۸,۰۲۸۱	۲,۱۹	رتبه(۳)
۹	شیروان	۳۲۲۵,۴۱۷	۶,۲۸	رتبه(۲)
۱۰	خرم آباد	۲۴۸۶,۳۳۶	۴,۸۴	رتبه(۲)
۱۱	چغلوندی	۱۱۷۱,۳۰۰	۲,۲۸	رتبه(۳)
۱۲	شیراوند	۷۸۸,۳۷۶	۱,۵۳	رتبه(۳)
۱۳	الشتر	۷۹۲,۹۳۱	۱,۵۴	رتبه(۳)
۱۴	شیراوند	۱۰۵۱,۶۸۸	۲,۰۴	رتبه(۳)
۱۵	هلیلان	۵۴۳۳,۳۲۹	۱۰,۵۸	رتبه(۲)
۱۶	اسلام آباد	۳۵۵۶,۸۷۸	۶,۹۳	رتبه(۱)
۱۷	ماهیدشت	۵۴۷۹,۴۱۹	۱۰,۶۷	رتبه(۱)
۱۸	نهاوند	۱۱۷۵۲,۰۳۲۲	۲۲,۹۰	رتبه(۲)

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی نقشه‌ی پتانسیل فرسایش خاک با استفاده از ۱۵ شاخص مورفومتری و با استفاده از روش متوسط وزن‌دهی در حوضه‌ی آبریز کرخه در غرب کشور ایران پرداخته شد؛ زیرا شاخص‌های مورفومتری به دلیل نقش بسیار بالایی که در میزان شدت فرسایش خاک دارند، می‌توانند جهت تخمین کلی کلاس شدت فرسایش خاک مورد استفاده قرار گیرند. نقشه‌ی نهایی پتانسیل شدت فرسایش خاک برای ۱۸ زیرحوضه‌ی این کلان‌حوضه‌ی آبریز، در رتبه‌های ۱ تا ۴ تقسیم‌بندی گردید؛ به‌طوری‌که مناطق با رتبه‌ی بالا دارای شدت بالایی از نظر میزان فرسایش آبی می‌باشند.

به‌طور کلی، نتایج این پژوهش بیانگر این است که شاخص‌های توپوگرافی، شیب و ناهمواری در وقوع رخداد فرسایش خاک در حوضه‌ی آبریز کرخه نقش بسزایی دارند. در نهایت، می‌توان گفت که میزان پتانسیل فرسایش خاک در زیرحوضه‌های حوضه‌ی آبریز کرخه، متأثر از شرایط توپوگرافی زیرحوضه‌هاست و پارامترهای مرتبط با شکل و ناهمواری حوضه بیشترین تأثیر را در زمینه‌ی پتانسیل فرسایش خاک دارند. زیرحوضه‌های واقع در نواحی مرکزی این حوضه نیز پتانسیل زیاد فرسایش خاک را دارا هستند. همچنین طبق نتایج مطالعات پیشین که با استفاده از مدل تجربی EPM انجام شده، بیشترین میزان فرسایش خاک در زیرحوضه‌های مرکزی بوده که پارامترهای نسبت انشعاب، تراکم زهکشی و عدد ناهمواری بیشترین ضریب همبستگی مثبت را با سایر پارامترهای مورفومتریک دارند که با نتایج این تحقیق نیز همخوانی دارد (بیات، ۱۴۰۰). همچنین با مقایسه‌ی

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-20]

[DOI: 10.61882/jeer.16.2.4]

نتایج نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر فرسایش خاک به‌دست‌آمده از روش WSA (نقشه‌ی شماره‌ی ۸)، زیرحوضه‌های مرکزی، یعنی زیرحوضه‌ی پل‌دختر، بیشترین پتانسیل فرسایش خاک را دارند.

طبق مطالعات جهانی و همکاران (۱۳۹۳)، در حوضه‌ی آبریز کرخه با استفاده از مدل SLEMSA نیز مشخص گردید که بیشترین میزان فرسایش خاک در زیرحوضه‌های مرکزی و شرق و شمال شرق است که میزان فرسایش در حدود ۷۳/۱۴ تا ۷۶/۶۵ تن در هکتار در سال را به خود اختصاص داده است. در واقع می‌توان بیان کرد که طبق مطالعات پیشین در این حوضه، نقشه‌ی پتانسیل فرسایش تهیه‌شده با استفاده از روش WSA همخوانی نزدیکی دارد. لذا می‌توان نتیجه گرفت که روش WSA به علت نحوه‌ی محاسبه‌ی دقیق، کارایی بهتری در مطالعات پهنه‌بندی پتانسیل فرسایش خاک دارد (پروین، ۱۴۰۲). بررسی‌ها نشان می‌دهد که پارامترهای تراکم زهکشی–عدد ناهمواری (۰،۹۹) و فراوانی آبراهه–فاکتور شکل (۰،۹۹) همبستگی مثبت قوی دارند و پارامترهای رطوبت توپوگرافی–میانگین شیب (۰،۹۴-) و رطوبت توپوگرافی–توان جریان (۰،۹۶-) دارای همبستگی منفی قوی هستند. مقادیر مجموع همبستگی پارامترهای مورفومتریک پانزده‌گانه بین ۲،۲۳- تا ۲،۳۳ و مجموع کل برای تمامی پارامترها ۱۱،۸۹ است. زیرحوضه‌های با پتانسیل فرسایش کم و خیلی کم (حوضه‌های ماهیدشت، اسلام‌آباد، نهاوند، هلیلان، شیراوند، چنانه‌خسرج، دشت آزادگان) در محدوده‌های شمالی و جنوبی این حوضه واقع شده‌اند. محدوده‌ی جنوب حوضه از نظر توپوگرافی از دشت‌های آبرفتی فرسایشی و ارتفاعات با ضریب ناهمواری کم تشکیل شده است. از نظر لیتولوژی، این محدوده عمدتاً از رسوبات نفوذپذیر کواترنر و سنگ‌های دگرگونی و آتشفشانی تشکیل شده است. در مناطق شمالی حوضه‌ی کرخه نیز، حوضه‌های با پتانسیل کم و خیلی کم فرسایش خاک، منطبق بر سطح دشت آبرفتی بیستون و یک دره‌ی آهکی U شکل در ارتفاعات است. در مناطق شمالی و جنوبی این حوضه (ماهیدشت و اسلام‌آباد، چنانه‌خسرج، دشت آزادگان)، شیب کم توپوگرافی و رخنمون سازندهای نفوذپذیر به کاهش پتانسیل فرسایش خاک منجر می‌شود. زیرحوضه‌های آوان (شماره‌ی ۳)، دشت عباس (شماره‌ی ۴) و پل‌دختر (شماره‌های ۶ و ۷) در پارامترهای مرتبط با شکل حوضه (نسبت کشیدگی و فاکتور فرم) دارای کمترین مقادیرند و این امر به کاهش مسیر طی‌شده توسط رواناب، تخلیه‌ی سریع‌تر آن و کاهش میزان فرسایش خاک منجر می‌شود. زیرحوضه‌ی دشت آزادگان (شماره‌ی ۱) در پارامترهای تراکم زهکشی و میانگین شیب رتبه‌ی پایینی دارد که این امر به افزایش نفوذ و کاهش رواناب و در نتیجه کاهش پتانسیل فرسایش خاک منجر می‌شود. زیرحوضه‌های الشتر (شماره‌ی ۱۳) و شیراوند (شماره‌های ۱۲ و ۱۴) از نظر ژئومورفولوژی منطبق بر واحد کوهستان با توپوگرافی بسیار ناهموار و شیب زیاد هستند. زیرحوضه‌ی پل‌دختر که دارای رتبه‌ی بالایی از فرسایش خاک است، به دلیل بالا بودن پارامترهای نسبت انشعاب، ضریب نفوذ، فراوانی آبراهه و ناهمواری در این زیرحوضه چنین رتبه‌ای دارد. این حوضه‌ها دارای رتبه‌ی بالا در بیشتر پارامترهای ناهمواری و اکثر پارامترهای شکلی هستند. در نتیجه، کلاس‌های پتانسیل متوسط و زیاد فرسایش خاک بر اساس روش WSA حدود ۵۰ درصد مساحت این حوضه را شامل می‌شوند.

شرایط توپوگرافی، لیتولوژی و ژئومورفولوژی با تأثیر بر پارامترهای مورفومتری، نقش مهمی در پتانسیل فرسایش خاک در زیرحوضه‌های مورد مطالعه دارند. در زیرحوضه‌های با پتانسیل فرسایش خاک خیلی کم و کم، پارامترهای مورفومتری ناهمواری و شکل حوضه بیشترین نقش را دارند و از نظر رتبه‌بندی برای اقدامات حفاظتی دارای رتبه‌های ۱ تا ۵ هستند. زیرحوضه‌های پل‌دختر، کوهدشت، شیراوند و مولاب، به ترتیب با بیشترین رتبه‌ی پتانسیل فرسایش، باید در اولویت اقدامات حفاظتی و مدیریتی

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-20]

[DOI: 10.61882/jeer.16.2.4]

قرار گیرند. البته شایان ذکر است که یکی از مشکلات عمده در اکثر حوضه‌های آبریز کشور، عدم وجود داده‌های معتبر میدانی ایستگاه‌های هیدرومتری برای اعتبارسنجی مدل‌های فرسایش خاک است. لذا پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی، صحت نقشه‌های تولیدی با استفاده از شاخص‌های مورفومتری با کمک داده‌های میدانی و مدل‌های تجربی بررسی شود.

.

منابع:

Bennett, HH. (1939). Soil conservation, McGraw-Hill, New York.

Bharath, A. Kumar, K. K. Maddamsetty, R., Manjunatha, M., Tangadagi, R. B., & S. Preethi. (2021). Drainage morphometry based sub -watershed prioritization of Kalinadi Basin using geospatial technology , Environmental Challenges, 5, 100277.

Bouramtane, T., Hilal, H., Rezende-Filho, A.T., Bouramtane, K., Barbiero, L, Abraham, S., Valles, V., Kacimi, I, Sanhaji, H, Torres-Rondon, L, de Castro, D.D, Da Cunha Vieira Santos, J, Ouardi, J, El Beqqali, Omar., Kassou, N., Morarech, M. (2022). Mapping Gully Erosion Variability and Susceptibility Using Remote Sensing, Multivariate Statistical Analysis, and Machine Learning in South Mato Grosso, Brazil. Geosciences, 12, 235.

Chegnizadeh, A., Rabieifar, H., Ebrahimi, H., & Zakeri Nayeri, M. (2023). The Effect of Mid-term Changes in Climate and Land use on Flow Reduction in Karkheh Catchment. journal of water and soil resources conservation, 12 (2 (46)), 13-29.

Eze , B. E ., & J. Efiong. (2010). Morphometric parameters of the Calabar River basin: implication for hydrologic processes. J Geogr Geol. 2, 18 -26 .

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.

HoSini, S. S., Mohammad Ghorbani Mohammad Tarshizi (2011). Policymaking in the field of soil erosion in Iran Quarterly Journal of Sciences Environmenta

Jafarzadeh Estalkhkouhi, Alireza, Parviz Rezaei (2017). Estimating soil erosion in the Sefidrood basin with emphasis on the role of landforms. Applied Research in Geographical Sciences Geographical Sciences (17 (22) 201-221 SID https://sid.ir/paper/102133.

Jahani, M, Taleghani, S., Akbari, M. (2024). Quantitative evaluation of soil erodibility potential using SLEMSA model (Case study: Karkheh watershed, Lorestan province, Iran). E.E.R. 14 (2) :161-179.

Jenks, GF, Caspall FC. (1971). Error on choroplethic maps: definition, measurement, reduction. Ann Assoc Am Geogr. 61 (2):217 –244 .

Kadam, A. K ., Jaweed, T. H., Umrikar, B. N., Hussain, K., & R. N. Sankhua, (2019). Morphometric prioritization of semi -arid watershed for plant growth potential using GIS technique , Modeling Earth Systems and Environment, 3(4): 1663 -1673.

Khajeh Nasir, J., Ghodousi, R Esmaeili (2017). Investigating the effect of geo-environmental factors on the formation and spread of gully erosion using a geographic information system in the immediate vicinity of Golestan Province. Watershed Management Research Journal: 80 (15) 213.

Magesh, NS,, Chandrasekar, N. (2014). GIS model -based morphometric evaluation of Tamiraparani subbasin, Tirunelveli district, Tamil Nadu, India. Arab J Geosci. 7(1):131 – 141.

Maghfouri Moghadam, Iraj Amir Pazuki, Reza Zarei (2005) Geology of Iran, Lorestan University Publications.

Mahmoudi, Baitollah M, Hamidi Far Nematollah Khorasani (2007). Investigation of land use changes in the Karkheh River Basin and evaluation of its role in the physical and chemical quality of the Karkheh River. National Conference on Watershed Science and Engineering with a Focus on Basin Management. /fa819299SID https://sid.ir/paper.

Moore, I. D., Grayson, R. B., Ladson, A. R. (1991). digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications. hydrological processes 5(1), 3–30,

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-20]

[DOI: 10.61882/jeer.16.2.4]

NimalShantha Abeysingha , Tusita Amarasekara , RamLakhan Ray , Dinithi Kusalani Samarathunga .(2024). Department of Agriculture Engineering and Soil Science, Faculty of Agriculture, Rajarata University of Sri Lanka, Puliyankulama, Anuradhapura, Sri Lanka.

R.G., R.G. Clark, K. (2001). Getting Started with ESRI (Earth System Research Incorporated, USA

Research trends and hotspots in soil erosion from 1932 to 2013: a literature review(2015)Yanhua Zhuang, Chao Du, Liang Zhang, Yun Du, Sisi Li

Reddy, G. P. O.; Maji, A. K.; & K. S. Gajbhiye. (2004). Drainage morphometry and its influence on landform characteristics in a basaltic terrain, Central India –a remote sensing and GIS approach , International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 6(1), 1 -16.

Rai, P. K., Chandel, R. S., Mishra, V. N., Singh, P. (2018). Hydrological inferences through morphometric analysis of lower Kosi river basin of India for water resource management based on remote sensing data. Applied Water Science, 8(1), 15.

Parvin, M (2013). Zoning of areas prone to soil erosion using the modified morphometric parameters analysis method and sediment production rate (case study of the Meyanrahan basin) Environmental Erosion Research 2013 13 (1) 190-208.

Parvin, M (2014). Investigating the relationship between basin morphometric conditions and groundwater resources, a case study of the Kamyaran basin, Quantitative Geomorphology Research (48) 18-33 /fa379984SID https://sid.ir/paper/

Planchon, O. & Darboux, F. (2001) A Fast, Simple and Versatile Algorithm to Fill the Depressions of Digital Elevation Models. Catena, 46, 159-176. http://dx.doi.org/10.1016/S0341-8162(01)00164-3.

Saeediyan, H., & MORADI, M.R.. (2021). Estimation of Runoff and Erosion Simultaneous Threshold Using Erosion Different Components. Iranian journal of irrigation and drainage, 15(4), 817-827. SID. https://sid.ir/paper/1054377.

Schumm SA .(1956) . Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Ambos, New Jersey. Geol Soc Am Bull 67:597 –646.

Shahbazi A, Vakili tajareh F, Alvandi E, Bayat A, Asadi nalivan O. (2021). Assessment of Artificial Neural Network Models and Maximum Entropy in Zoning of Gully Erosion Sensitivity of Golestan Dam Basin. jwmseir 15 (52) :12-23.

Sharma, S., Tignath, S., Mishra S. (2008): morphometric analysis of drainage basin using GIS approach. J.N.K.V.V. Research Journal 42(1), 91–95.

Shahreza, Farzaneh Ali, Moridi Seyyed Saeed Mousavi Nadoshni (2017). Estimation of static water discharge time series for water resources planning at the watershed level (case study of Karkheh watershed) (Technical Note of Iranian Water Resources Research, 13(4), 168-173.

Shahrivar, A. Samad, Shadfar Majid Khazaei Behzad Adeli (2017). Water Resources Zoning Methods of Gully Erosion in the Watershed of Abagundi Ecohydrology: 20(1) 119-132.

Shahriari, A., Mohammadi S.M., Fatemi, E., Akram Galovi, G. (2025). Investigation of spatial distribution of soil wind erodibility indices using geostatistical methods in the Sistan Plain Natural Environment Hazards, Volume 14, No. 43.

Thakkar, J., Deshmukh, G., Gupta, A., and Shankar, R. (2007). Development of a balanced scorecard An integrated approach of Interpretive Structural Modeling (ISM) and Analytic Network Process, International Journal of Productivity and Performance Management , 56(1), 25-59

Xinyu Z. , Shouhong Z. , Fan Z., Hualin L., Jingyi, S., Jingqiu C. (2025).Quantifying the effects of the soil erosion factors on water-eroded slopes CATENA, Volume 249, 2025, Article 108674.

Zakerinejad, R. (2019). Evaluation of gully erosion using the Stream Power Index (SPI) (Study area: Semirom watershed, 6th International Congress of Geographers of the Islamic World Tehran)

Zakerinejad, R. (2013). Preparing a map of erosion and sedimentation rates in the Khasuyeh watershed using the USPED model and Geographic Information System (GIS) and comparing it with water erosion facies Environmental Erosion Research, 3:13, 239-25.

Zakirejad, R., Alvandi, P. (2019). Prediction of gully erosion using TanDEM-X data and the maximum entropy model (Case study of Khoobh catchment cluster) Environmental Erosion Research, 1:13, 113-96.

Zakerinejad, R., Christian, S., Volker, H., Michael, M. (2021) , Spatial Disterbution Of Water Erosion Using Stochastic Modeling In The Southern Isfahan Province, Iran, Geogr FIS DIN QUAT 44 (2): 203–216.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-20]

[DOI: 10.61882/jeer.16.2.4]

Zakerinejad, R, Märker, M. (2015). Prediction of Gully erosion susceptibilities using detailed terRain analysis andmaximum entropy modeling: a case study in the Mazayejan Plain, Southwest Iran, Geogr FIS DIN QUAT 37 (1): 67–76.

Zhang, H. Y, Shi, Z. H., Fang, N. F. & M. H. Guo. (2015). Linking watershed geomorphic characteristics to sediment yield: Evidence from the Loess Plateau of China, Geomorphology, 234, 19 -2

Zavoiance, I. (1985). Morphometry of drainage basins (Developments in water science). Elsevier, Amsterdam

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-20]

[DOI: 10.61882/jeer.16.2.4]