



<https://gep.ui.ac.ir/?lang=fa>

Geography and Environmental Planning

E-ISSN: 2252- 0910

Document Type: Research Paper

Vol. 36, Issue 2, No.98, 2025, pp. 27- 56

Received: 06/09/2024 Accepted: 07/07/2025

Analysis of the Relationship between Erodibility and Horton-Strahler Morphometric Parameters in the Komeh Basin

Farkhondeh Ahmadi Beni 

Ph.D. student, Department of Physical Geography, Faculty of Geographical Sciences and Planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran

farkhondeh.ahmadi@geo.ui.ac.ir

Mojgan Entezari  *

Associate professor of Geomorphology, Department of Physical Geography, Faculty of Geographical Sciences and Planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran

m.entezari@geo.ui.ac.ir

Marzieh Ahmadi

Ph.D. student, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

marzieh.ahmadi0513@gmail.com

Mohammad Mahdi Salehi

Ph.D. student, Department of Physical Geography, Faculty of Geographical Sciences and Planning, Islamic Azad University, Najaf-Abad, Iran

m.salehi2657@gmail.com

Abstract

Morphometric analysis is a vital scientific approach for watershed management, soil erosion assessment, and natural resource management. It offers essential strategies for soil conservation, flood control, and prevention of ecological imbalances. In the context of Iran's arid climate and limited soil formation rates, assessing erosion susceptibility in watersheds—such as the Komeh Basin in Semirom County (southern Isfahan Province)—is critically important. This study examined linear, areal, and relief parameters using the methods of Strahler and Horton to prioritize sub-basins and predict erosion risk. The findings revealed that Sub-basin 9 was the most vulnerable area to erosion.

Keywords: Morphometrics, Horton, Strahler, Komeh Watershed, Erodibility.

*Corresponding Author

Ahmadi Beni, F. , Entezari, M. , Ahmadi, M. and Salehi, M. M. (2025). Analysis of the relationship between erodibility and horton-strahler morphometric parameters in the Komeh basin . *Geography and Environmental Planning*, 36 (2), 27 - 56 .



2252-0910 © University of Isfahan

This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>).



10.22108/gep.2025.142552.1667

Introduction

The foundational research conducted by Horton (1945) and Strahler (1964) established the basis for modern geomorphology through the development of frameworks for analyzing landforms and drainage systems. This knowledge is essential for identifying geomorphological hazards, such as soil erosion, floods, and landslides, and conducting effective watershed management. Morphometric analyses, which utilize quantitative parameters (linear, areal, and relief), enable the prediction of natural hazards and assessment of watershed vulnerability. In arid regions like Iran characterized by low soil formation rates and high erosion susceptibility, these analyses are crucial for maintaining ecological balance and managing water resources. The Komeh Watershed in southern Isfahan Province, notable for its complex geological topography, climatic conditions, and human activities, is particularly prone to erosion. This study aimed to prioritize soil erosion susceptibility across the Komeh Basin and its nine sub-basins by analyzing morphometric indices and generating an erosion susceptibility map to identify high-risk zones.

Literature Review

Domestic Studies:

Manbari et al. (2023) demonstrated the effectiveness of factor analysis in grouping morphometric parameters in the watersheds of Kurdistan Province, highlighting its utility for hydrological modeling. Negahban (2021) identified 91% of the Dinor Basin as comprising sub-basins with high tectonic activity. Zali et al. (2022) linked elongated basin shapes and gentle slopes to a reduced risk of flooding in the Nekaroud Basin.

International Studies:

Benzougagh et al. (2022) prioritized 48 sub-basins in Morocco using morphometric parameters and GIS, confirming the method's effectiveness in natural resource management. Kadam et al. (2019) emphasized the sensitivity of semi-arid watersheds to land degradation and the critical role of morphometric analysis.

Study Area

The Komeh Watershed spans approximately 165,015 hectares in southern Isfahan Province, which is bordered by the provinces of Fars and Kohgiluyeh-Boyer Ahmad. Situated between latitudes 30°42' and 31°11' north and longitudes 51°21' and 51°56' east, it is part of Semirom County. Elevations within the watershed range from 1,783 m in the northwest to 4,000 m in the southwest, featuring an average slope of 28%. This rugged and complex topography is significantly influenced by the Dena Mountain Range, the highest fold of the Zagros Mountains.

The basin experiences a cold climate with an average annual rainfall of 650 mm. Heavy precipitation and resultant runoff are major contributors to soil erosion in the area. Geologically, the basin is characterized by diverse rock formations dating from the Triassic to Quaternary periods, with Cretaceous rocks (limestone, marl, shale) predominating, especially in the southern regions. Its geomorphological features include mountainous karst landforms (such as caves and sinkholes), floodplains, alluvial terraces, and colluvial hills. Fragile lithology, steep slopes, human activities, and high-intensity rainfall—particularly in central areas receiving 640–690 mm of precipitation—combine with calcareous lithology and slopes to render this region highly susceptible to erosion. Annual precipitation data indicate a volume of 946.1 million cubic meters, which plays a critical role in generating runoff and facilitating erosion processes.

The interaction of these natural factors with human interventions, such as changes in land use, has increased the erosion potential in the Komeh Basin. By precisely identifying vulnerable areas through the integration of spatial data layers—including rainfall zones, lithology, and slope—targeted management strategies can be developed to mitigate erosion-related damages and enhance the effective utilization of water and soil resources. This approach is not only relevant to the Komeh Basin, but also serves as a replicable model for other regions in Iran with similar climatic and geological conditions.

Materials & Methods

This study employed a 30-meter resolution Digital Elevation Model (DEM) from ASTER as the primary dataset for analysis. The drainage network of the Komeh Basin was delineated by using Global Mapper software and applying Strahler's stream ordering method and was subsequently divided into 9 sub-basins. Selection of these sub-basins was based on stream orders of greater than 2 and their direct connectivity to the main river channel. 13 morphometric parameters were calculated and categorized into 3 groups: linear (e.g., area, perimeter, stream length, drainage density), areal (e.g., form factor, elongation ratio, circularity ratio), and relief (e.g., ruggedness index). Standardized formulas were utilized for these calculations, drawing on methodologies from Horton (1945), Strahler (1964), Miller (1953), and Kadam (2019).

Parameters, such as bifurcation ratio (Rb) and drainage density (Dd) were processed using spatial data in GIS Pro and integrated with Excel. A composite parameter (Cp) was created for each sub-basin by combining linear and areal parameters, allowing for prioritization based on the lowest Cp values. This analysis indicated that Sub-basin 9 with the lowest Cp exhibited the highest susceptibility to erosion. Key factors contributing to this vulnerability included a high drainage density (due to extensive stream length) and an elongated form factor, which suggests a rapid hydrological response to rainfall.

The hydrographic network revealed two dominant patterns: rectangular (with streams of orders 1–3 running perpendicular to orders 4–6) and parallel, featuring irregular tributaries, particularly in the northern sector, which intensified the complexity of erosion dynamics. The integration of classical methods (e.g., Horton and Strahler) with GIS technology facilitated the identification of critical zones, enabling the development of management strategies, such as flood control structures and erosion-resistant vegetation planting. This methodology provides a replicable framework for similar basins in arid and semi-arid regions of Iran that are facing comparable soil erosion challenges.

Basin Parameters

The linear parameters of the Komeh Basin—including stream order (U), stream number (Nu), stream length (Lu), stream length ratio (RL), bifurcation ratio (Rb), drainage density (Dd), drainage texture (Dt), stream frequency (Fs), form factor (Ff), circularity ratio (Rc), elongation ratio (Re), overland flow length (Lg), and compactness coefficient (Cc)—were calculated based on the methodologies of Horton (1945) and Strahler (1964). These parameters were directly correlated with the erodibility of the basin.

Stream order (U) was classified up to the 6th order, reflecting a complex drainage system shaped by regional tectonics. The stream number (Nu) decreased with higher orders, peaking in 1st-order streams (ranging from 85 to 220), which underscored the influence of topography, lithology, and soil permeability. Stream length (Lu) reached its maximum in 1st-order streams (between 97,254 and 290,281 m), declining in higher orders due to gentle to moderate slopes and lithological factors.

The bifurcation ratio (Rb) ranged from 0.94 to 1.0 indicating structural control with Sub-basin 4 (Rb = 1.0) demonstrating the highest vulnerability. Drainage density (Dd), which ranged from 754 to 941 m/km², indicated a rapid hydrological response and erosion potential in Sub-basins 4 and 5 linked to impermeable lithology (such as marls and limestone) and steep slopes. Drainage texture (Dt) values ranged from 0.48 to 1.63, identifying Sub-basins 9 (Dt = 1.63) and 4 (Dt = 1.34) as particularly prone to erosion.

Stream frequency (Fs) ranged from 0.57 to 0.80, peaking in Sub-basin 2 (Fs = 0.80) due to its high relief and low permeability. The form factor (Ff) ranging from 0.25 to 0.49 confirmed basin elongation, with Sub-basin 3 (Ff = 0.49) being the most susceptible to flooding. The circularity ratio (Rc), which ranged from 0.17 to 0.32, along with the elongation ratio (Re) (0.56 to 0.79), further validated the elongated shapes of the basins. Overland flow length (Lg) was measured between 0.0021 and 0.0026 km, indicating rapid drainage. Sub-basin 4 (Cc = 0.57) exhibited the highest erosion risk according to the compactness coefficient (Cc), which ranged from 0.40 to 0.57.

Research Findings

Sub-basin 9 demonstrated the highest erosion susceptibility (Cp = 3.2–4.6) attributed to extreme relief, high annual rainfall (~650 mm), and fragile lithology. In contrast, Sub-basin 3 (Cp < 1) exhibited the lowest erosion risk due to its gentle slopes and permeable soils.

Key Drivers:

- **Linear Parameters:** Metrics, such as drainage density (Dd = 941 m/km²) and bifurcation ratio (Rb = 1.0), showed a direct correlation with erosion susceptibility.
- **Areal Parameters:** Values like the circularity ratio (Rc = 0.17) and form factor (Ff = 0.49) indicated a rapid hydrological response.

Soil Analysis:

Silty loam soils found in the western and northwestern sectors displayed the highest erodibility, aligning with RUSLE maps that emphasized rainfall erosivity (R) and slope (LS).

Management Strategies:

- **Urgent Measures:** Implementing sediment traps and planting *Astragalus* in Sub-basins 9, 6, and 4

- **Conservation Agriculture:** Promoting practices in moderate-risk zones, particularly Sub-basins 7 and 1
- **Land-Use Monitoring:** Maintaining oversight in low-risk areas, such as Sub-basins 3 and 8

Technology Integration:

The use of GIS and remote sensing significantly enhanced precision in data analysis, providing a transferable model applicable to arid and mountainous basins.

Discussion of Results & Conclusion

Morphometric and RUSLE analyses identified Sub-basins 9 and 6 as high-risk zones characterized by dense drainage (940 m/km²), steep slopes of 28%, and fragile lithology. RUSLE highlighted the eastern silty loam soils as erosion hotspots. Divergences between the methods arose from Horton-Strahler's emphasis on drainage structure compared to RUSLE's focus on climate and soil factors; however, both approaches concurred on the risks present in the central and northern regions. Key factors contributing to erosion included the path of the main river, extreme relief (up to 4,000 m), and loss of vegetation. In contrast, low-risk Sub-basins 3 and 8 exhibited gentle slopes and permeable soils.

Recommendations:

- Implementing sediment traps and plant erosion-resistant vegetation, such as *Astragalus*
- Encouraging reduced tillage and contour farming practices
- Utilizing satellite-based land-use regulation for better management.

Integrating morphometric analyses, RUSLE, and local knowledge can optimize management strategies. This comprehensive approach supports decision-making in data-scarce regions, helping to mitigate soil degradation and promote ecological balance.

مقاله پژوهشی

تحلیل ارتباط فرسایش پذیری و پارامترهای مورفومتری هورتون- استرال در حوضه کمه

فرخنده احمدی بنی^{ID}، دانشجوی دکتری دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

farkhondeh.ahmadi@geo.ui.ac.ir

مژگان انتظاری^{ID*}، دانشیار دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

m.entezari@geo.ui.ac.ir

مرضیه احمدی، دانشجوی دکتری دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

marzieh.ahmadi0513@gmail.com

محمد مهدی صالحی، دانشجوی دکتری دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

m.salehi2657@gmail.com

چکیده

تحلیل مورفومتریک، رویکرد علمی مناسب برای مدیریت حوضه‌های آبریز، بررسی وضعیت فرسایش حوضه‌ها و مدیریت منابع طبیعی است که راهبردهایی برای حفاظت از خاک، مدیریت سیل و جلوگیری از فرسایش و به هم خوردن تعادل اکولوژیک منطقه ارائه می‌کند. فرسایش خاک و تخریب زمین از مهم‌ترین مسائل در علوم زمین است که سنجش پیامدهای زیست محیطی آن به داده‌های کمی نیاز دارد. با در نظر گرفتن آب‌وهوای خشک حاکم بر گستره عظیمی از ایران و نرخ خاک‌زایی کم، بررسی فرسایش‌پذیری حوزه‌های آبریز ایران از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هدف از این پژوهش بررسی ویژگی‌های مورفومتری و پیش‌بینی میزان فرسایش از طریق پارامترهای خطی و مساحتی و در نهایت تهیه نقشه فرسایش‌پذیری در حوضه کمه واقع در شهرستان سمیرم در جنوب استان اصفهان و درک‌های پایانه‌های شرقی کوهستان دنا است. برای رسیدن به هدف مزبور، این منطقه با استفاده از روش استرال (1964) به ۹ زیرحوضه تقسیم شده و سپس با محاسبه پارامترهای مورفومتریک توسط روش هورتون، ۱۳ پارامتر اصلی از مقادیر ترکیبی (Cp) در سه گروه متغیرهای خطی، مساحتی و ناهمواری و با استفاده از داده‌های مکانی سیستم اطلاعات جغرافیایی اولویت‌بندی شد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که ادغام و تجزیه و تحلیل پارامترهای مورفولوژیک با نرم‌افزار GIS Pro می‌تواند ابزاری درخور توجه برای درک ویژگی‌های زیرحوضه‌های آبریز به‌ویژه فرسایش خاک فراهم کند و در نهایت با تهیه نقشه فرسایش‌پذیری، زیرحوضه ۹ به‌عنوان آسیب‌پذیرترین منطقه در برابر خطر فرسایش شناسایی شد.

واژه‌های کلیدی: مورفومتریک، هورتون، استرال، حوضه آبخیز کمه، فرسایش‌پذیری

*نویسنده مسئول

احمدی بنی، فرخنده، انتظاری، مژگان، احمدی، مرضیه و صالحی، محمد مهدی. (۱۴۰۴). تحلیل ارتباط فرسایش‌پذیری و پارامترهای مورفومتری هورتون - استرال در حوضه کمه، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۳۶ (۲)، ۵۶-۲۷.



مقدمه

به دنبال پژوهش‌های هورتون و استرالر (Horton, 1945; Strahler, 1964)، ژئومورفولوژیست‌ها چارچوب کاملاً متفاوتی را از دانش توسعه دادند که در آن می‌توان دانش مطالعه و بررسی دربارهٔ لندفرم‌ها را قرار دارد (ثروتی و منصوری، ۱۳۹۲). یکی از وظایف حائز اهمیت دانش ژئومورفولوژی، تجزیه و تحلیل مکان‌هایی با مخاطرات ژئومورفولوژیکی و ریسک خطرپذیری بالا است. حوضه‌های آبخیز و زیرحوضه‌های آنها، محیط‌هایی کاربردی و سودمند برای مدیریت منابع آب و شناخت آن‌ها سبب کاهش تأثیر بلایای طبیعی از جمله سیل و فرسایش می‌شود. برنامه‌ریزی برای مدیریت حوضه‌های آبخیز مانند تکنیک‌های مدیریت فرسایش رودخانه در زیرحوضه‌های آبخیز برای ارزیابی خطرات و تهدیدات طبیعی (فرسایش خاک، سیل، لغزش و غیره) نیز انجام می‌شود. رایج‌ترین نوع تخریب زمین فرسایش خاک است که ناشی از تأثیر کاربری سطح زمین، تأثیر ذرات قطرات باران و رواناب‌ها است که به جدا شدن، جابه‌جایی و رسوب خاک منجر می‌شود (Das et al., 2021)؛ به بیان دیگر می‌توان گفت فرسایش خاک به وسیلهٔ آب به عنوان یکی از دلایل اصلی از بین رفتن زمین در سراسر جهان شناخته شده است.

در سال‌های اخیر تحلیل‌های کمی و ریاضی برای تجزیه و تحلیل ساختار سطح زمین و اجزای تشکیل‌دهندهٔ آن از جمله تحلیل‌های ویژگی‌های مورفومتریک توانسته است کمک شایانی به اهداف متعدد مانند فرسایش خاک و خطر سیلاب کند (منبری و همکاران، ۱۴۰۲)؛ به بیان دیگر می‌توان اذعان داشت که شاخص‌های مورفومتریک نقش تعیین‌کننده‌ای در پاسخ‌های هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز دارند. تجزیه و تحلیل مورفومتری زهکش‌ها با فرایندهایی مانند خیزش، فرسایش خاک، رسوب‌گذاری رودخانه، خشک‌شدگی‌هایی که باعث تغییر مسیر رودخانه و انشعاب می‌شوند، با ویژگی‌های آبراهه حوضه آبخیز و تکمیل و پایداری سدهای آن و مخزن‌های موجود مرتبط است (Al-Assadi, 2020). رودخانه و آبراهه‌های آن و همچنین نوع انشعابات رودخانه‌ها از مقدار و شدت آب تأثیر می‌گیرد. برای درک رفتار ژئوهیدرولوژیکی حوضه آبخیز و شبکه آبراهه‌های موجود در آن بهتر است که مورفومتریک آبراهه‌های حوضه، اقلیم غالب و زمین‌شناسی حوضه مطالعه شود.

باتوجه به اهمیت موضوع مطالعاتی در داخل و خارج از ایران صورت گرفته است؛ برای نمونه با مروری بر ادبیات می‌توان چندین رویکرد توسعه‌یافته را برای تحلیل مورفومتریک و پیش‌بینی فرسایش خاک مشاهده کرد که در ادامه تعدادی از آنها آورده شده است.

منبری و همکاران (۱۴۰۲) در تحقیقی که با هدف بررسی اهمیت پارامترهای مورفومتریک در سیل‌خیزی حوضه‌های آبریز استان کردستان با استفاده از روش تحلیل عاملی انجام داده‌اند، نتایج حاصل از تحقیق آن‌ها نشان داد که تجزیه و تحلیل عاملی ابزار مهمی برای گروه‌بندی پارامترهای مورفومتری حوضه است که پارامترهای اندازه‌گیری‌شده را به چند شاخص برای کارهای بعدی مانند مدل‌سازی هیدرولوژیکی و رواناب در یک حوضه آبخیز کاهش می‌دهد. نگهبان (۱۴۰۰) با استفاده از تحلیل ۱۵ پارامتر مورفومتریک و ارزیابی تکنیک فعال حوضه دینور (غرب ایران) نشان داد که زیرحوضه‌هایی با فعالیت تکتونیک خیلی زیاد و زیاد، ۹۱ درصد مساحت حوضه دینور را دربر گرفته‌اند. زالی و همکاران (۱۴۰۱) در تحلیل مورفومتری حوضه نکارود نشان دادند که این آبخیز دارای یک

سیستم زهکشی با ۶ مرتبه است که حساسیت بسیار بالایی به سیلاب دارد. بررسی‌های انجام شده در این حوضه حاکی از آن است که دلیل پایین بودن خطر طغیان در بخشی از زیرحوضه، به شکل حوضه و میزان شیب آن مربوط می‌شود. این ناحیه دارای شکل کشیده و توپوگرافی تقریباً مسطح است که موجب کاهش خطر سیلاب می‌شود. در خارج از کشور بنزوقا و همکاران شناسایی مناطق در معرض خطر فرسایش و اولویت بندی ۴۸ زیرحوضه حوضه ایناوتن را با استفاده از پارامترهای مورفومتریک و داده‌های مکانی سیستم اطلاعات جغرافیایی حوزه آبخیز انجام داده‌اند. نتایج نشان داد که تحلیل‌های مورفومتریک به عنوان یک تخمینگر وضعیت فرسایش حوزه آبخیز برای اولویت بندی طرح‌های حفاظت از زمین و آب و مدیریت منابع طبیعی است (Benzougagh et al., 2022) که طبق گفته کادام و همکاران حوزه‌های آبخیز مناطق نیمه خشک به فرایندهای تخریب اراضی حساس هستند که در آن بررسی مورفومتریک جنبه مهمی برای بازکردن مناطق مستعد است (Kadam et al., 2019).

حوضه آبخیز کمه در جنوب استان اصفهان به دلیل توپوگرافی زمین شناسی، لیتولوژی اقلیمی و انسانی خود به عنوان یکی از مناطق مستعد فرسایش پذیری است. از آنجایی که هدف این پژوهش تهیه اولیت بندی فرسایش خاک حوضه است، پس عوامل مختلف و در نهایت ارائه نقشه فرسایش پذیری حوضه کمه و ۹ زیرحوضه آن، به منظور شناسایی مناطق دارای حساسیت بالا با استفاده از شاخص‌های مورفومتریک و آنالیز آنها در محیط نرم افزار Global Mapper و GIS Pro بررسی شده است. برنامه ریزان می‌توانند از نتایج حاصل به منظور ارائه راهکارهای مدیریتی مناسب در خصوص مقابله با بحران ناشی از فرسایش خاک، کاهش خسارات و بهبود وضعیت زیست محیطی حوضه مطالعاتی استفاده کنند. ضرورت انجام این تحقیق شناسایی مناطق مستعد فرسایش خاک بر اثر عوامل محیطی و فیزیوگرافی در حوضه آبخیز کمه در استان اصفهان است؛ در نتیجه، اولویت بندی برای درک بهتر ویژگی‌های رودخانه‌ای و مورفولوژیکی حوضه‌های آبخیز و زیرحوضه‌های فرعی آن و همچنین افزایش بهره‌وری بهتر، به منظور حفظ خاک زیرحوضه‌ها در برابر فرسایش و در نهایت جمع آوری هرچه بهتر آب‌های روان بر روی یک حوضه ثمربخش است؛ از این رو مطالعه حاضر با هدف تحلیل پارامترهای مورفومتریک (خطی، ناهمواری و مساحتی) با تکنیک‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای تعیین مناطق بحرانی مستعد فرسایش خاک برای اولویت بندی حوضه آبخیز کمه و تأثیر آنها با فرسایش پذیری منطقه در جهت مطالعه فرسایش صورت گرفته است.

مبانی نظری پژوهش

منطقه مطالعه شده

حوضه آبخیز کمه با مساحتی در حدود ۱۶۵۰۱۵ هکتار در مختصات ۳۰ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۱۱ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۶ دقیقه طول شرقی در جنوب اصفهان و در مرز با استان‌های فارس و کهگیلویه و بویراحمد قرار دارد که از نظر تقسیمات سیاسی بخشی از شهرستان سمیرم در استان اصفهان است (جدول ۱، شکل ۱). حوضه آبخیز مطالعه شده با میانگین ارتفاع ۲۵۰۰ متر از سطح دریا و شیب متوسط ۲۸ درصد، در دامنه‌های شرقی رشته کوه دنا واقع شده است و از جمله مناطق سردسیر محسوب می‌شود (ذاکری نژاد و کهرانی،

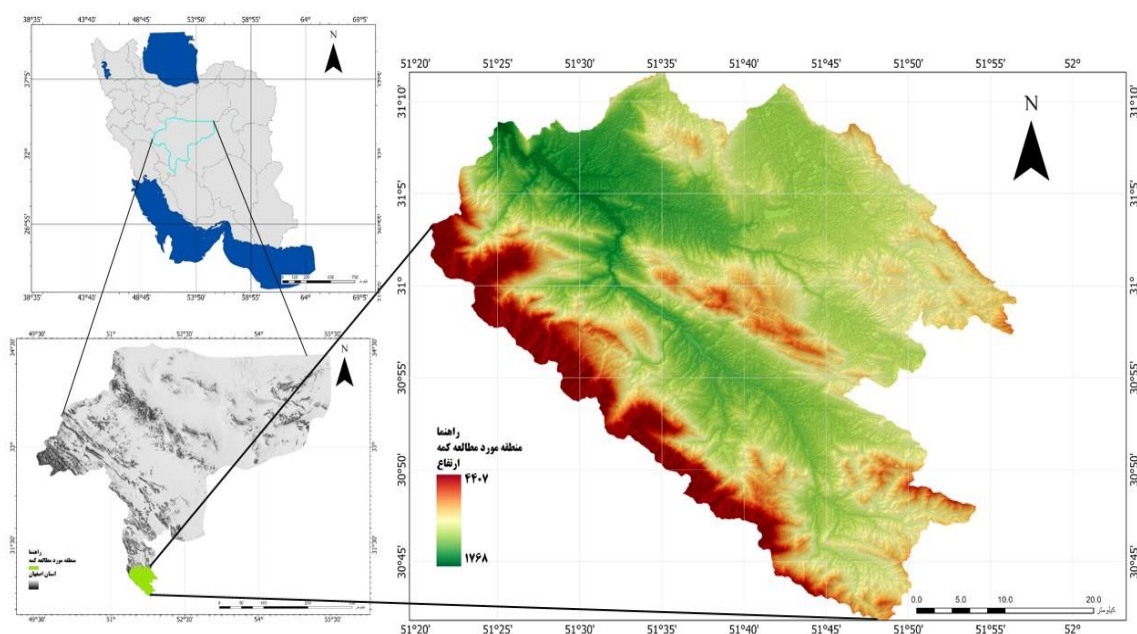
۱۴۰۲). منطقه مطالعاتی در این پژوهش، براساس نام‌گذاری جاماب در واحد هیدرولوژیک ۲۳۱۴ (جدول ۱) حوضه کمه درکوهپایه‌های شرقی کوهستان دنا با آب‌وهوای سرد قرار گرفته است (نوجوان و همکاران، ۱۳۹۸).

جدول ۱: دستورالعمل ضوابط و کدگذاری حوضه آبریز و محدوده مطالعاتی در سطح کشور (منبع: مدیریت منابع آب، ۱۳۹۱)

Table 1 Guidelines for Watershed and Study Area Coding System at the National Level (Source: [Water Resources Management, 2012](#))

حوضه آبریز درجه ۱	نام حوضه آبریز درجه ۲	حوضه آبریز درجه ۳	کد حوضه آبریز	نام محدوده مطالعاتی	کد محدوده مطالعاتی	مساحت کیلومتر مربع
حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان	حوضه آبریز کارون بزرگ	رودخانه کمه	۲۳۲۳۲۲	کمه	۲۳۱۴	۱۶۸۱

حوضه آبخیز کمه به‌عنوان بیست و پنجمین زیرحوضه از حوضه درجه دو آبریز رودخانه کارون بزرگ و حوضه آبریز درجه یک خلیج فارس و دریای عمان است. قله دنا یا رشته‌کوه دنا بلندترین و بزرگ‌ترین چین‌خوردگی رشته‌کوه بزرگ زاگرس محسوب می‌شود و دارای خط الرأسی به طول تقریبی ۹۰ کیلومتر است. کمترین ارتفاع حوضه کمه ۱۷۸۳ متر در بخش شمال غرب و بیشترین ارتفاع آن ۴۰۰۰ متر در مناطق جنوب غربی حوضه قرار دارد. این حوضه با پیچیدگی توپوگرافی گسترده و زمین‌شناسی توصیف می‌شود (ذاکری‌نژاد و کهرانی، ۱۴۰۲).



شکل ۱: موقعیت منطقه مطالعه‌شده (حوضه آبخیز کمه – شهرستان سمیرم – استان اصفهان (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳)

Figure 1 Location of the Study Area (Komeh Watershed – Semirom County – Isfahan Province (Source: Authors, 2024)

حوضه کمه از سه واحد ژئومورفولوژیکی کوهستان، دشت و تپه ماهور تشکیل شده است. در واحد دشت لندفرم‌های فرسایشی، دشت آبرفتی، بستر روخانه‌های اصلی و فرعی، دشت‌های سیلابی و در نهایت پادگانه‌های آبرفتی شکل گرفته و در ارتفاعات به علت وجود شرایط کارست‌زائی مناسب، ژئومورفولوژی توسعه یافته کارست و لندفرم‌هایی همچون غارهای نهان و پیدا، فروچاله و غیره شکل گرفته‌اند. ارتفاعات شمالی حوضه کمه از دره‌ها، اشکال فرسایش آبی، واریزه و قطعات ریزشی نهشته‌ها تشکیل شده است (ذاکری‌نژاد و کهرانی، ۱۴۰۲).

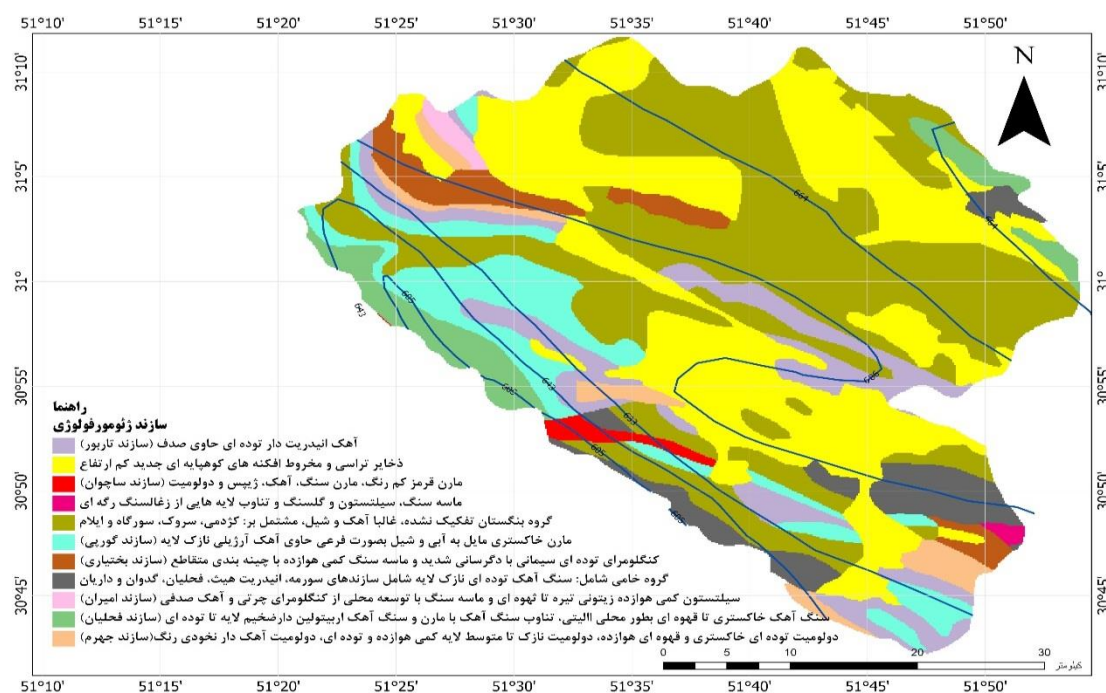
از نقطه نظر زمین‌شناسی، حوضه بسیار ناهمگن و متفاوت است و شامل سازندهای مختلف از تریاس (شروع مزوزوئیک) تا کواترنر (پایان سنوزوئیک) است. رخنمون سنگ‌های کرتاسه تقریباً در سراسر ناحیه یافت می‌شود، ولی در قسمت‌های جنوبی گسترش بیشتری دارند. این سنگ‌های رسوبی در قاعده با یک کنگلومرا و ماسه سنگ قرمز رنگ شروع می‌شود که به وسیله آهک، مارن و شیل دنبال شده است. سن‌رسوب‌ها از بarmین تا ماستریشیتین است. رسوبات کرتاسه در مناطق شمال غرب، غرب، جنوب و جنوب غرب اصفهان رخنمون دارد. ناهمواری‌های جنوبی به‌طور ناخواسته حوضه آبخیز در کرانه چپ را کنترل می‌کند که با غلبه سازندهای مارن مشخص می‌شود (درگاه ملی کاتالوگ و مجموعه داده‌های باز و کاربردی، ۱۳۹۹). این حوضه در منطقه‌ای با آب‌وهوای سرد با میزان بارندگی بالا قرار دارد که میانگین بارندگی سالانه در این منطقه تقریباً ۶۵۰ میلی‌متر است (جدول ۲). بارش و پس‌از آن رواناب‌ها نقش کلیدی در ایجاد فرسایش دارند. تهاجمی‌بودن باران موجب تخریب خاک و در پی آن فرسایش می‌شود؛ این فرسایش با محاسبه شاخص تهاجمی اقلیمی تعیین می‌شود که اثر تأثیر قطرات باران (اثر پاشش) و پتانسیل رواناب را مشخص می‌کند که هر دو متأثر از بارش باران هستند (مدیریت منابع آب، ۱۳۹۱).

جدول ۱: متوسط حجم بارندگی و حجم بارش محدوده مطالعاتی کمه (ذاکری، ۱۳۹۶)

Table 2: Average Rainfall Volume and Precipitation Data for the Komeh Study Area (Source: Zakeri, 2017)

نام محدوده مطالعاتی	متوسط بارندگی سالانه (میلی‌متر)			حجم بارش (میلیون مترمکعب)		
	کوه	دشت	کل	کوه	دشت	کل
کمّه	۵۹۱/۷	۵۳۲/۸	۵۷۴/۴	۷۷۹	۱۸۵/۱	۹۶۶/۱

می‌توان با تلفیق لایه‌های اطلاعاتی شامل پهنه‌های بارندگی، واحدهای ژئومورفولوژیکی و سایر عوامل مؤثر مانند ویژگی‌های سنگ‌شناسی، شرایط توپوگرافی، وضعیت پوشش گیاهی و فعالیت‌های انسانی، مناطق مستعد فرسایش را شناسایی و میزان آسیب‌پذیری خاک را تعیین و ارزیابی دقیق کرد. (شکل ۲)



شکل ۲: ساختار ژئومورفولوژی و بارش (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳)

Figure 2 Geomorphological Structure and Precipitation Patterns in the Komeh Watershed (Source: Authors, 2024)

شکل ۲ محدوده‌هایی با ویژگی‌های زیر را نمایش می‌دهد:

میزان بارندگی بالا در محدوده ۶۶۰ تا ۶۹۰ میلی‌متر، جنس لیتولوژی عمدتاً آهکی و دارای ساختار شکننده وجود مخروط‌افکنه‌ها، شیب‌های تند و شدید این مناطق به‌عنوان حساس‌ترین نواحی در مقابل فرسایش خاک شناسایی شده‌اند که کانون اصلی آن در بخش مرکزی حوضه آبخیز واقع شده است.

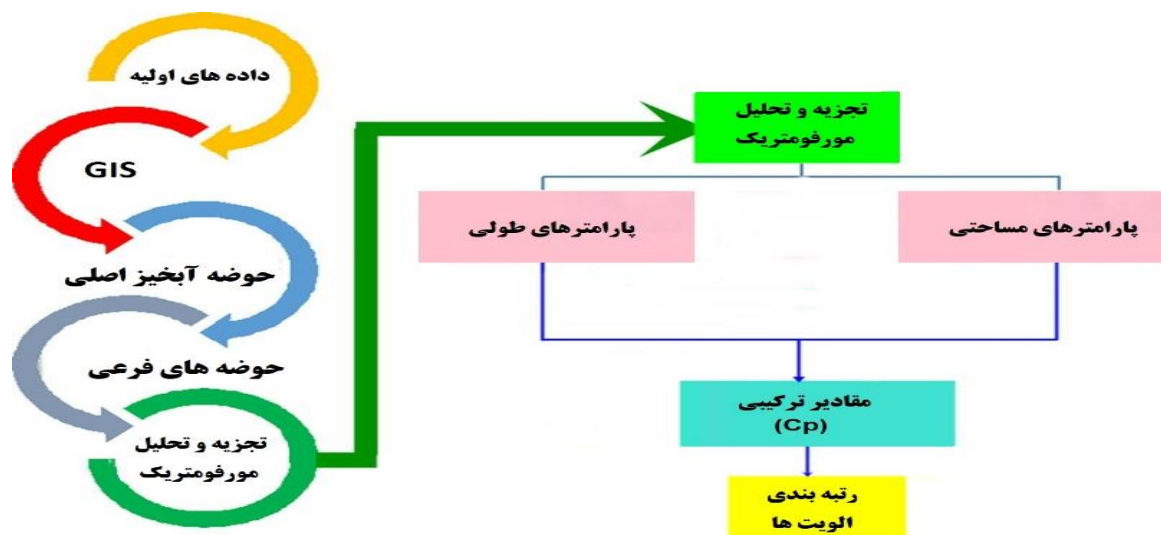
روش‌شناسی پژوهش

داده‌ها و روش‌شناسی

باتوجه به گستردگی محدوده مطالعه‌شده و نیز ماهیت پژوهش و افزایش دقت مطالعاتی، ترکیبی از داده‌ها و مواد همراه با روش‌های تحقیق استفاده شده‌اند؛ به این صورت که در فرایند تحقیق و با هدف عملیاتی‌کردن پژوهش، نقشه‌های توپوگرافی محدوده با مدل ارتفاعی رقومی (ASTER)^۱ با وضوح ۳۰ متری استفاده شده است. سپس از مدل رقومی ارتفاع (DEM) به‌عنوان پایه تحلیلی استفاده شد. شبکه زهکشی حوضه براساس ویژگی‌های توپوگرافی و هیدرولوژی سطحی و با به‌کارگیری روش رتبه‌بندی آبراهه‌های استرالر در نرم‌افزار Global Mapper ترسیم شد؛ براین‌اساس، حوضه کمه به ۹ زیرحوضه فرعی تقسیم شد تا شاخص‌های مورفومتریکی برای هریک از آنها محاسبه شود. این رویکرد امکان تحلیل دقیق‌تر ویژگی‌های مورفولوژیکی هر زیرحوضه را فراهم آورد. در حوضه آبریز رودخانه کمه،

¹ <https://search.earthdata.nasa.gov>

پس از رتبه‌بندی آبراهه‌ها تمامی شاخه‌های فرعی که رتبه بیشتر از ۲ داشتند و مستقیماً به رودخانه اصلی وارد می‌شدند، به‌عنوان حوضه‌های کوچک‌تر (زیرحوضه) انتخاب شدند. برای ترسیم نقشه‌های رستری نرم‌افزارهای GIS Pro و Excel به‌منظور تسهیل محاسبات و استخراج داده‌ها و برای طبقه‌بندی و تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شده‌اند. با استفاده از برنامه GIS Pro پارامترهای ترکیبی مانند تعداد و طول آبراهه‌ها، مساحت حوضه و عرض و محیط کلی حوضه محاسبه شده‌اند. چنین پارامترهایی با استفاده از نرخ زهکشی، تراکم زهکشی، ضریب شکل، ضریب کشیدگی و ضریب‌های دایره‌ای برای تمام ۹ زیرحوضه از حوضه آبخیز کمه تعیین شده‌اند. درنهایت، نمودار روش پژوهش و نحوه محاسبه شاخص‌های مورفومتریک به همراه محققینی که برای اولین بار از آن‌ها استفاده کرده‌اند در **شکل ۳** و **جدول ۳** نشان داده شده است.



شکل ۳. نمودار جریان روش‌شناسی کار (منبع: Benzougagh et al., 2022)

Figure 3: Methodological Workflow Diagram (Source: Benzougagh et al., 2022)

پارامترهای مورفومتریک (**جدول ۳**) به‌عنوان معیارهای ارزیابی ریسک فرسایش و با اهمیت برای حوضه‌ها و زیرحوضه‌ها شناخته می‌شوند (منبری و همکاران، ۱۴۰۲). براساس تحقیقات Nookaratnam et al. (2005) پارامترهای خطی با فرسایش‌پذیری رابطه مستقیم دارد. همچنین نوع ناهمگونی بافت زهکشی حوضه و زیرحوضه رابطه معکوس با فرسایش‌پذیری دارد. پس از رتبه‌بندی براساس هر پارامتر، مقادیر رتبه‌بندی برای هر زیرحوضه برای دستیابی به مقدار ترکیبی (Cp)^۱ برای تمام پارامترهای خطی و شکلی هر زیرحوضه اعمال می‌شود (Benzougagh et al., 2022)؛ باین وجود، بیشترین اولویت به زیرحوضه با کمترین مقدار پارامتر ترکیبی تعلق گرفته و سپس به‌صورت نزولی اولویت‌بندی شده است. در حوضه‌های فرعی، بالاترین اولویت نشان‌دهنده افزایش میزان فرسایش خاک است.

¹ The compound parameter

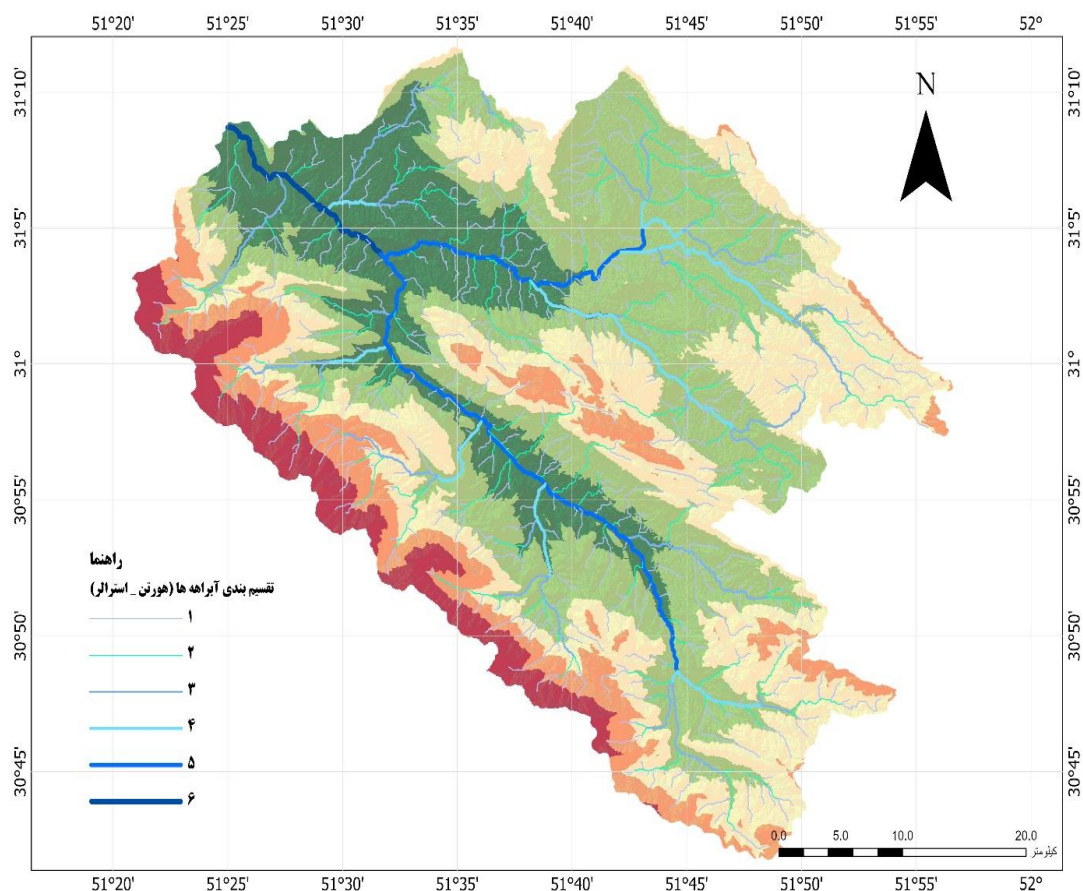
جدول ۲: روش محاسبه پارامترهای مورفومتریک (منبع: پروین، ۱۴۰۱)

Table 3: Methods for Calculating Morphometric Parameters of Watersheds (Source: Parvin, 2022)

پارامترهای مورفومتریک	فرمول و تعریف	مراجع
پارامترهای خطی		
مساحت حوضه (A)	مساحت کلی حوضه (کیلومترمربع)	Horton, 1945
محیط حوضه (P)	محیط حوضه (کیلومتر)	Horton, 1945
ترتیب آبراهه (U)	براساس نظم سلسله‌مراتبی	Strahler, 1964
شماره آبراهه (Nu)	$Nu = \text{تعداد کل بخش‌های آبراهه و آبراهه‌هایی از رده } u$	Strahler, 1964
طول آبراهه (LU)	طول آبراهه	Horton, 1945
میانگین طول آبراهه (Lsm)	$Lsm = Lu / Nu$ Lu = میانگین طول آبراهه یک رده معین (کیلومتر)، Nu = تعداد آبراهه‌ها	Horton, 1945
ضریب طول آبراهه (RL)	$RL = Lu / Lu1 - (u)$ Lu = طول آبراهه کل رده (u)، Lu1 = طول کل جریان یک رده پایین‌تر	Horton, 1945
ضریب انشعاب (Rb)	$Rb = Nu / Nu + 1$ Nu = تعداد آبراهه‌های موجود + ۱ = تعداد آبراهه‌های یک رده بالاتر	Schumn, 1956
طول جریان سطحی (Lg)	$Lg = 1 / 2Dd$ که در آن Dd = تراکم زهکشی	Horton, 1945
پارامترهای مساحتی Horton 1945		
فراوانی آبراهه (Fs)	$Fs = N\mu / A$ L = تعداد کل آبراهه‌ها A = مساحت حوضه	Horton, 1945
ضریب بافت (Dt)	$Dt = N\mu / P$ $N\mu$ = تعداد کل آبراهه‌های حوضه P = محیط حوضه	Horton, 1945
فاکتور فرم (Ff)	$Ff = A / L2b^2$ A = مساحت حوضه کیلومترمربع L2b = طول حوضه کیلومتر	Miller, 1953
ضریب دایره‌ای (Rc)	$Rc = 4\pi A / P^2$ $Rc = 12.56(A / P^2)$ که در آن A = مساحت حوضه $3.14 = \pi$ P = محیط حوضه	Schumn, 1956
ضریب کشیدگی (Re)	$Re = (2 / Lb) * (A / \pi)^{0.5}$ که در آن A = مساحت حوضه $3.14 = \pi$ Lb = طول حوضه	Horton, 1945
ضریب تراکم (Cc)	$Cc = 0.2821 (P / A)^{0.5}$ که در آن P = محیط حوضه، A = مساحت حوضه	Gravelius, 1914
تراکم زهکشی	$Dd = L\mu / A$ Lμ = مجموع طول آبراهه A = مساحت حوضه	Horton, 1945
پارامترهای ناهمواری		
ضریب ناهمواری	$Rr = H / Lb$ H = ناهمواری حوضه Lb = طول حوضه	Kadam, 2019

در تجزیه و تحلیل مورفومتریک حوضه آبخیز، نام گذاری ترتیب آبراهه اولین گام است؛ با این حال، براساس رتبه بندی پیشنهاد شده توسط **Strahler (1964)** در مطالعه فعلی حوضه کمه به ۹ زیرحوضه تقسیم شده است و پارامترهای اساسی از زیرحوضه ها از جمله مساحت، محیط، عرض آبراهه، تعداد آبراهه ها و اندازه حوضه به دست آمده است (**شکل ۴**). در این مطالعه، شرح توصیفی به عنوان مبنایی برای تجزیه و تحلیل شبکه هیدروگرافی استفاده می شود. در تمام حوضه به ویژه شمال آن، انشعاب نامنظم شاخه های آبراهه ها که در بسیاری از جهات روان بوده اند به یک آبراهه اصلی می پیوندند (**شکل ۴**). بررسی ویژگی های هیدروگرافی این حوضه نشان می دهد که به دلیل وجود ناهمواری های متنوع و گسترده، دو الگوی متمایز از شبکه زهکشی در منطقه شکل گرفته است: نخست، شبکه ای با الگوی مستطیلی متشکل از آبراهه های رتبه ۱ تا ۳ که عمدتاً به صورت عمود بر آبراهه های رتبه ۴ تا ۶ قرار گرفته اند. این الگو همراه با تغییرات ناگهانی در مسیر زهکش ها مشاهده می شود؛ دوم، شبکه ای با الگوی موازی که از آرایش منظم آبراهه ها تشکیل شده است. (**شکل ۴**)

تجزیه و تحلیل مورفومتریک با اندازه گیری آبراهه ها و پارامترهای مساحتی انجام می شود.



شکل ۴: حوضه های فرعی حوضه کمه و شبکه هیدروگرافی آنها به روش **Strahler** (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳)

Figure 4 Sub-basins of the Komeh Watershed and Their Hydrographic Networks Strahler Method (Source: Authors, 2024)

پارامترهای خطی حوضه کمه

همان‌طور که در **جدول ۱** نشان داده شده است، شاخص‌های خطی از آبراهه‌های یک حوضه است؛ مانند مسیر یک ترتیب آبراهه (U)، طول آبراهه (Lu) شماره آبراهه (Nu)، میانگین طول آبراهه (Lsm) و ضریب طول آبراهه (RL).

ترتیب آبراهه (U)^۱

مبانی نظری رتبه‌بندی آبراهه‌ها را نخستین بار هورتون در سال ۱۹۵۴ ارائه کرد که بعدها استرالر در سال ۱۹۶۴ اصلاح و تکمیل کرد. در این سیستم طبقه‌بندی، مرحله اولیه تحلیل کمی حوضه‌های آبریز مبتنی بر تعیین رتبه آبراهه‌هاست. این روش بر پایه روابط سلسله‌مراتبی بین بخش‌های مختلف شبکه زهکشی استوار است. براساس دستورالعمل هورتون، آبراهه‌های رتبه ۱ به‌عنوان مسیرهای فاقد هرگونه انشعاب تعریف می‌شوند. هنگامی که دو آبراهه رتبه ۱ به یکدیگر می‌پیوندند، یک آبراهه رتبه ۲ تشکیل می‌شود؛ به همین ترتیب، اتصال دو آبراهه رتبه ۲ به ایجاد آبراهه رتبه ۳ منجر می‌شود و این روند به‌صورت تصاعدی ادامه می‌یابد (Strahler, 1964). مطالعات انجام‌شده بر روی مدل زهکشی حوضه آبخیز کمه نشان می‌دهد که الگوی جریان‌های سطحی در این منطقه متأثر از ساختارهای تکتونیکی بوده است. بررسی‌ها حاکی از آن است که شبکه زهکشی این حوضه در ۶ رتبه مختلف تفکیک و تحلیل می‌شود.

شماره آبراهه (Nu)^۲

براساس Horton (1945) و Strahler (1964)، شماره آبراهه (Nu) به تعداد کل بخش‌های آبراهه قسمت u یعنی ترتیب آبراهه اشاره دارد. در این تحلیل، تعداد شماره آبراهه‌ها با افزایش ترتیب در همه زیرحوضه‌ها کاهش یافت. شماره آبراهه‌ها در منطقه مطالعه‌شده براساس کاهش آبراهه‌ها در رتبه پایین است. تغییر در اندازه و بزرگی زیرحوضه به دلیل شرایط توپوگرافی، فیزیوگرافی، ژئومورفولوژی و ساختار منطقه و همچنین ظرفیت‌های نفوذی است (Benzougagh et al., 2022). بالا بودن حجم آب آبراهه‌های رتبه یک به این معنی است که احتمال وجود رسوبات ناخواسته پس از بارندگی شدید در جریان‌های پایین دست وجود دارد.

طول آبراهه (Lu)^۳

طول آبراهه (Lu) با محاسبه طول کلی بخش‌های آبراهه در هریک از مرتبه‌ها و با شمارش تعداد بخش‌های آبراهه با ترتیب متفاوت محاسبه می‌شوند. بیشترین جریان و طول امتداد آبراهه‌ها به‌طور معمول در آبراهه‌های رتبه یک است که با افزایش رتبه آبراهه‌ها کاهش می‌یابد. طول تجمعی بخش‌های آبراهه در آبراهه‌های رتبه اول با همه زیرمجموعه‌ها بیان می‌شود و با افزایش مرتبه فعلی کاهش می‌یابد؛ درنهایت آبراهه در زمین‌هایی با شیب ملایم یا شیب‌های نسبتاً تند

¹ Stream order (U)

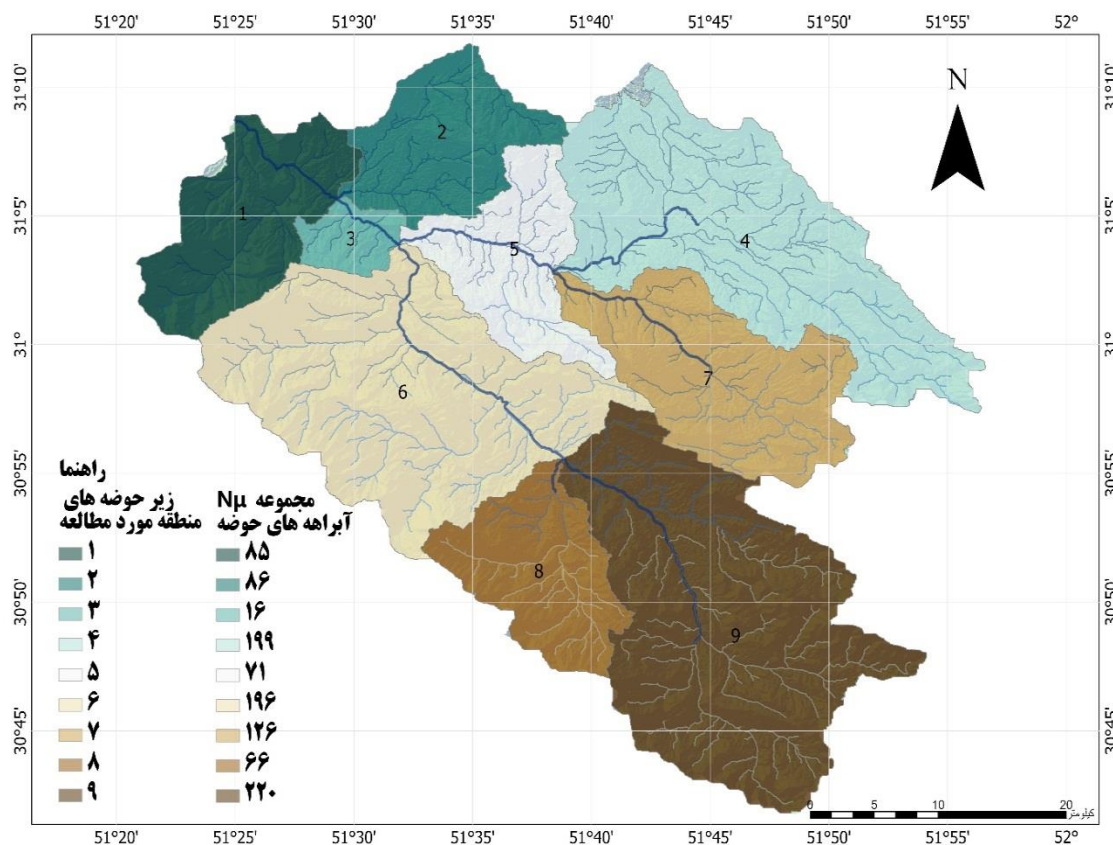
² Stream number (Nu)

³ Stream length (Lu)

جریان می یابد که حاصل زمین شناسی و سنگ شناسی های خاص منطقه کمه است. طول کل مقاطع آبراهه در تمامی آبراهه ها از رتبه ۱ تا ۶ در منطقه مطالعه شده مشهود بود.

ضریب طول آبراهه (RL)^۱

ضریب طول آبراهه طبق قانون Horton (1945) ضریب طول آبراهه کل رده (Lu) به طول کل جریان یک رده پایین تر (Lu-1) است. ضریب طول جریان رتبه های مختلف در منطقه مطالعه شده نشان دهنده تغییرات در حوضه است. این تغییر به دلیل تنوع در توپوگرافی و شیب است که نشان دهنده اواخر توسعه ژئومورفیک یا زاگرس رورانده و زون سنندج سیرجان در منطقه مطالعه شده است. تفاوت در هر زیرحوضه را می توان در ضریب طول آبراهه بین آبراهه های رتبه های مختلف حوضه های کمه یافت. برای زیرحوضه ها، مقادیر RL بین ۰,۰۲ و ۵,۶۷ متفاوت است. این تغییر به دلیل تغییرات در توپوگرافی و شیب است که نشان دهنده میزان زهکشی منطقه مطالعه شده است و ضریب بیشتر طول آبراهه نشان دهنده فعالیت بالای فرسایش است.



شکل ۵: تعداد هر آبراهه در هر مرتبه از حوضه آبخیز کمه (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳)

Figure 5 Stream Count per Strahler Order in the Komeh Watershed (Source: Authors, 2024)

¹ Stream length ratio (RL)

ضریب انشعاب^۱ (Rb)

ضریب انشعاب (Rb) حاصل تقسیم شماره آبراهه به بالاترین مرتبه بعدی به عنوان تعدادی جریان تعریف می‌شود. Schumm (1956) با فرمول زیر، ضریب انشعاب را بیان کرد:

که در آن

$$R_b = \frac{N_u}{N_{u+1}}$$

ضریب انشعاب یک پارامتر مهم است که نشان‌دهنده درجه انشعاب و شدت تأثیر سیستم زهکشی است. Horton (1945) ضریب انشعاب را به عنوان مقیاس ناهمواری و پستی و بلندی منطقه در نظر گرفته است. Strahler (1964) نشان داده است که ضریب انشعاب فقط یک تغییر جزئی سطح زمین است، نه متأثر از ساختار زمین‌شناسی آن. ضریب انشعاب برای یک میزان تراکم زهکشی یا فرسایش‌پذیری معین به‌طور گسترده توسط ناهمواری‌های یک حوضه تعیین می‌شود و کوچک‌ترین تغییر (از ۳ تا ۵) را هرچند ساختار زمین‌شناسی آن ثابت باشد، از یک منطقه به منطقه دیگر نشان می‌دهد (Chorley, 1995). وقتی تعداد انشعابات آبراهه‌ها بیشتر از ویژگی‌های فرسایش‌پذیری حوضه باشد، بدین منظور است که حوضه از نظر ساختاری آسیب کمتری دیده است. میزان ضریب انشعاب بالاتر نشان‌دهنده ناهمواری بالا در این مطالعه است، درحالی‌که مقادیر ضریب انشعاب پایین نشان می‌دهد که متأثر از ناهمواری قرار نگرفته‌اند (SBV2-Rb=0.94).

پارامترهای خطی حوضه آبخیز کمه بررسی شد. برای جریان‌های مرتبه ششم در تمام زیرحوضه‌ها، جریان‌های آب متصل به شبکه زهکشی منشعب هستند. پارامترهای خطی کلیدی طول آبراهه و ضریب انشعاب (Rb) هستند. تغییرات در ضریب طول جریان برای تغییرات توپوگرافی و شیب کافی است. مقادیر کمتر نشان می‌دهد که تغییرات ساختاری تحت تأثیر قرار نمی‌گیرند، درحالی‌که مقادیر Rb بیشتر نشان می‌دهد که الگوهای زهکشی به‌شدت ساختار مرتبی دارند.

بنابراین، ضریب انشعاب با ماهیت ساختاری زمین همبستگی ملموسی دارد که این خود عامل اصلی را در ایجاد روابط مستقیم بین پارامترهای خطی و فرسایش‌پذیری فراهم می‌کند. انشعاب جریان‌های آبراهه‌ای تأثیر مستقیمی از زهکش‌پذیری بستر مسیر از جهت زمین‌شناسی، ساختار و ناهمواری می‌گیرد؛ بنابراین، هرچه میزان فرسایش‌پذیری بیشتر باشد، ارزش کمتری دارد.

مساحت منطقه‌ای حوضه زهکشی یک مشخصه مورفومتریک مهم است؛ زیرا با توزیع فضایی طیفی از ویژگی‌های مهم از جمله تراکم زهکشی، سرعت جریان آبراهه، ضریب زهکشی، ضریب دایره‌ای و کشیدگی، طول آبراهه بر روی زمین، تراکم فشردگی، حفظ مسیر آبراهه و تعداد نفوذ مرتبط است. همه این پارامترها جامع و مهم هستند.

¹ Bifurcation ratio

تراکم زهکشی (Dd)^۱

مجموع طول آبراهه در مقایسه با مساحت حوضه است که با یک محاسبه کمی می توان در فرمول زیر یافت:

(Chorley, 1969; Horton, 1932)

$$Dd = L\mu / A$$

$$L\mu = \text{مجموع طول آبراهه}$$

$$A = \text{مساحت حوضه}$$

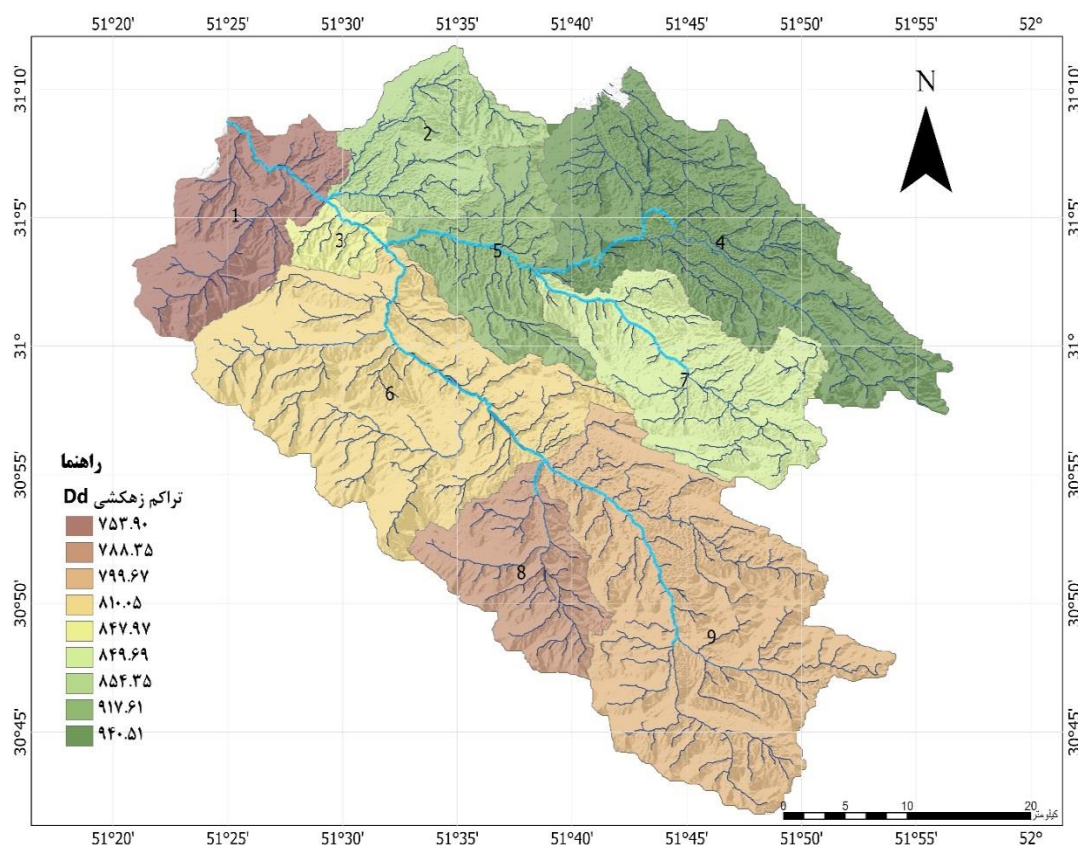
در تحقیق حاضر به طور گسترده رابطه بین متغیرهای مختلف محیطی و تراکم زهکشی بررسی شده است و یافته ها نشان می دهد که سرعت گسترش سیل به تعدادی از متغیرها از جمله آب و هوا (عمدتاً بارندگی)، توپوگرافی (شیب)، سنگ شناسی، خاک، زمین شناسی، فرسایش حوضه، پوشش گیاهی آن، نفوذپذیری بالقوه بستر آبراهه و نفوذ آب بستگی دارد.

تحقیقات زیادی نشان می دهد که تعداد زیاد آبراهه ها در یک منطقه به دو دلیل اصلی، شیب و عدم نفوذپذیری منطقه از لحاظ زمین شناسی (جنس، و بافت رسوبات و خاک) ایجاد می شود، در حالی که تراکم کم در حوضه ها نشان دهنده سطحی با شیب کم و نفوذپذیری بالا است (Strahler, 1964). در ضمن، تراکم کم در خروجی حوضه ها نشان دهنده بافت درشت و تراکم زیاد در ورودی حوضه نشان دهنده بافتی ریز و کوچک برای زهکشی است. در واقع تراکم زهکشی به معنای پاسخ ضعیف هیدروژئولوژیکی به یک حوضه با زهکشی ضعیف است.

ناحیه ای با بستری از خاک های نفوذپذیر معمولاً به تراکم کم زهکشی منجر می شود [۰-۱،۷۵]. خاک سطحی کم و نفوذناپذیر، پوشش گیاهی پراکنده و ناهمواری کوهستانی عامل تراکم زهکشی بالا هستند ($Dd > 3.50$)؛ بنابراین، این حوضه واکنش های هیدروژئولوژیکی نسبتاً سریع به بارش را نشان می دهد.

تراکم زهکشی متوسط [1.75-3.50] نشان دهنده نفوذپذیری بسیار بالای سطح و عمق خاک بستر است. طبق نتایج به دست آمده در حوضه کمه تراکم زهکشی ۷۵۳ الی ۹۴۰ نشان دهنده تراکم زهکشی زیاد تا بسیار زیاد در این مطالعه است (شکل ۶).

¹ Drainage density



شکل ۶: تراکم زهکشی زیرحوضه‌های کمه (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳)

Figure 6 Drainage Density (Dd) of Komeh Sub-basins (Source: Authors, 2024)

بافت زهکشی (Dt)^۱

بافت زهکشی توسط Horton (1945) به عنوان تعداد کل مجموع آبراهه در هر حوضه و زیرحوضه منطقه تعریف شده است که بر مبنای تعدادی از عوامل طبیعی مانند بارش، آب و هوا، خاک و نوع سنگ، نفوذ، پوشش گیاهی و توالی حساب می شود (جدول ۴).

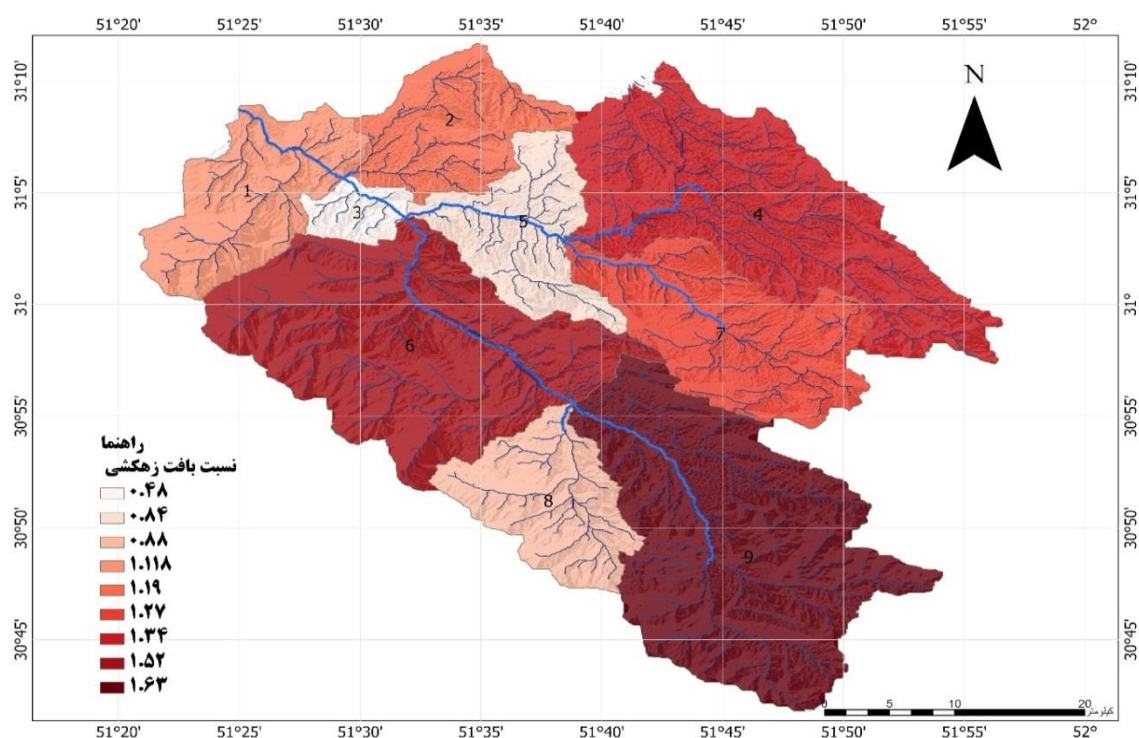
بر اساس جدول ۳ که Horton (1945) ارائه کرده است، بافت زهکشی حوضه‌های آبریز در پنج طبقه اصلی دسته‌بندی شده است. نتایج حاصل از بررسی‌های انجام‌شده در این پژوهش نشان می‌دهد که مقادیر بافت زهکشی در حوضه مطالعه‌شده در محدوده ۰٫۴ (زیرحوضه SBV2 با بافت خیلی درشت) تا ۱٫۶ (زیرحوضه SBV8 با بافت درشت) در نوسان است (شکل ۷).

¹ Drainage texture

جدول ۳: طبقه‌بندی بافت زهکشی (منابع: Horton, 1932; Chorley, 1969)

Table 4 Classification of Drainage Texture (T) (Sources: Chorley, 1969; Horton, 1932)

بافت	بافت زهکشی	طبقه‌بندی
خیلی درشت	< 2	۱
درشت	$[2-4]$	۲
متوسط	$[4-6]$	۳
خوب	$[6-8]$	۴
خیلی خوب	> 8	۵



شکل ۷: نسبت بافت زهکشی ۹ زیرحوضه کمه (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳)

Figure 7 Drainage Texture Ratio of the 9 Sub-basins in Komeh Watershed (Authors :Source, 2024)

فراوانی آبراهه (Fs)^۱

Horton (1932) فراوانی آبراهه حوضه (Fs) را به عنوان تعداد کلی قطعات جریان در واحد سطح برای همه آبراهه‌ها مشخص کرده است. فراوانی آبراهه را سطح زهکشی نیز می‌گویند. فرمول محاسبه فراوانی پخش شدگی آبراهه‌ها توسط Horton (1945) در زیر آمده است:

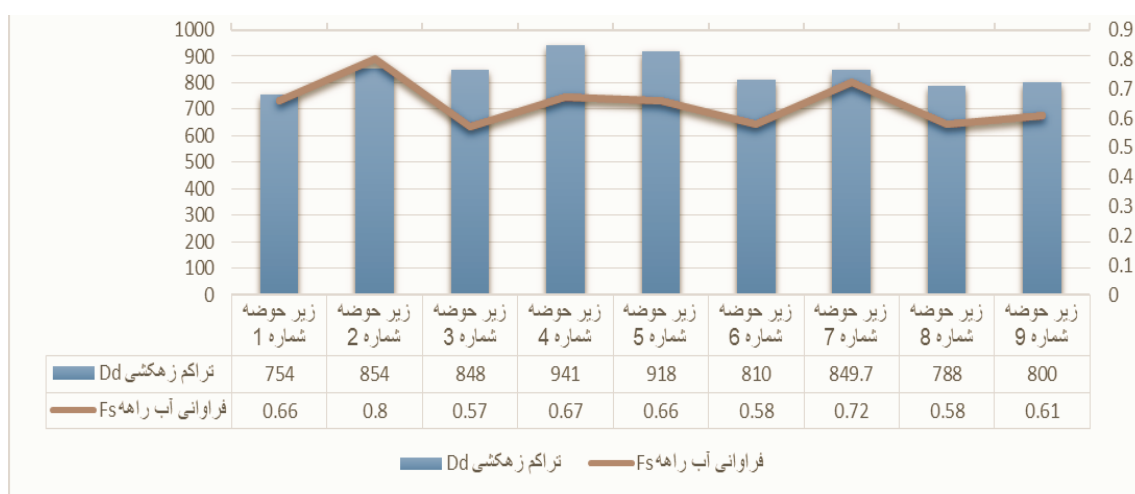
$$Fs = Nu/A$$

که در آن Fs = فراوانی آبراهه، Nu = تعداد کل شماره آبراهه‌ها از مرتبه U، A = مساحت حوضه است.

¹ Stream frequency

تراکم آبراهه‌ها در درجه اول به لیتولوژی حوضه بستگی دارد و بافت سیستم زهکشی را نشان می‌دهد که این نمونه‌ای متفاوت از مرحله انتقال رسوب از حوضه است. فراوانی آبراهه با نفوذپذیری (ساختار سنگ)، شیب، ناهمواری، نوع بارندگی و مجموع آبراهه‌ها و گنجایش در مقابل نفوذ آب در مواد زیرسطحی مرتبط است. آنها دریافتند که فراوانی آبراهه هم‌راستا با افزایش تعداد آبراهه کاهش می‌یابد و به‌طور مثبت با مقادیر تراکم حوضه مرتبط است (شکل ۸).

مقاله حاضر، فراوانی آبراهه بالای ۰٫۸ در زیرحوضه شماره ۲ را به دلیل سطح بالای نفوذ و ناهمواری نشان می‌دهد و تراکم تعداد آبراهه در حوضه را افزایش می‌دهد.



شکل ۸: نمودار رابطه بین تراکم زهکشی (Dd) و فراوانی آبراهه 9 (Fs) زیرحوضه کومه (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳)

Figure 8 Relationship Between Drainage Density (Dd) and Stream Frequency (Fs) in the 9 Sub-basins of Komeh Watershed (Source: Authors, 2024)

فاکتور فرم (F_f)^۱

به‌منظور محاسبه شار یک حوضه در یک منطقه تعریف‌شده، Horton (1932, 1945) این متغیر را پیشنهاد کرد. در F_f ، نسبت بین مساحت حوضه و مربع طول حوضه مشخص شده است. فاکتور فرم رابطه طول و عرض بین حوضه را نشان می‌دهد و با فرمول Horton (1932) تعیین می‌شود، همان‌طور که در زیر نشان داده شده است:

$$F_f = A / L_b^2$$

که در آن A = مساحت حوضه (km^2)، L_b = مربع طول حوضه است.

فاکتور فرم (F_f) همیشه زیر ۰٫۷۸۵۴ است؛ زیرا شکل حوضه‌ها کاملاً دایره‌ای نیست. فاکتور فرم در این تحلیل از ۲۵ تا ۰٫۴۹ برای تمامی حوضه‌های آبخیز متغیر است. مقدار کم بودن فاکتور فرم به این معنی است که حوضه بزرگ‌تر است. اوج نرخ فاکتور فرم در مدت زمان کوتاه اتفاق می‌افتد. حوضه‌های فرعی مرتفع و کم‌فرم، سطح اوج کمتری در مقایسه با مدت زمان اوج نرخ دارند. آبراهه چنین حوضه‌های کشیده را می‌توان راحت‌تر از حوضه دایره‌ای شکل هدایت کرد (Benzougagh et al., 2022).

¹ Form factor

ضریب دایره‌ای (Rc)^۱

به گفته Miller (1953) ضریب دایره‌ای نسبت ناحیه حوضه در یک محیط فرضی دایره‌ای است که فاصله آن با محیط حوضه آبخیز برابر است. در معادله Miller (1953) ضریب به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$R_c = A/AC \text{ or } R_c = 4\pi (A/P^2)$$

جایی که Rc ضریب دایره‌ای، A مساحت حوضه (km²) است.

مقادیر پایین، متوسط و زیاد ضریب دایره‌ای نشان‌دهنده مرحله جوان، متوسط و قدیمی چرخه تشکیل شاخه‌های آبراهه‌ها هستند. این بر شرایط آب‌وهوایی، طول و شدت آبراهه، سیستم‌های زمین‌شناسی، چشم‌انداز و کاربری زمین، ناهمواری‌های بستر رودخانه و شیب حاکم است. مقادیر Rc برای همه حوضه‌های آبخیز در این منطقه نشان می‌دهد که بیشتر زیرحوضه‌ها تقریباً کشیده هستند. تنوع شرایط ساختاری، ناهمواری و زمین در حوضه‌ها باعث این ناهنجاری می‌شود.

ضریب کشیدگی (Re)^۲

ضریب کشیدگی (Re) شکل حوضه رودخانه را منعکس می‌کند. ضریب کشیدگی به عنوان نسبت بین قطر دایره از همان ناحیه حوضه زهکشی و طول کل حوضه شناخته می‌شود. معادله به صورت زیر است:

$$R_e = (2/L_b) * (A/\pi)^{0.5}$$

که در آن A مساحت حوضه (km²)، $\pi = 3.14$ ، و L_b (km) طول حوضه موازی با خط اصلی زهکشی است.

مقادیر ضریب کشیدگی به پنج دسته تقسیم می‌شود. برای حوضه‌های کشیده تا ۱.۰ و همچنین برای حوضه دایره‌ای از ۰.۶ تا ۱.۰ متغیر است که معمولاً براساس انواع مختلف آب‌وهوا و زمین‌شناسی متغیر است. برای مناطق با ناهمواری بسیار کم، مقادیر تقریبی ۱.۰ است. مقادیر در محدوده ۰.۶ تا ۰.۸ معمولاً مربوط به ناهمواری‌هایی با شیب تند است (Strahler, 1964) ضریب کشیدگی در حوضه‌های آبخیز دایره‌ای بیشتر از یک حوضه آبخیز کشیده است (جدول ۵).

جدول ۵: طبقه‌بندی ضریب کشیدگی (منابع: Chorley, 1969; Horton, 1945)

Table 5: Classification of Elongation Ratio (Re) (Sources: Chorley, 1969; Horton, 1945)

رده	ضریب کشیدگی	طبقه‌بندی
گرد	>0.9	۱
بیضی	[0.8-0.9]	۲
کشیدگی کم	[0.7-0.8]	۳
کشیده	[0.5-0.7]	۴
کشیدگی زیاد	<0.5	۵

¹ Circularity ratio

² Elongation ratio

در نتایج به دست آمده Re برای حوضه‌های آبخیز ۰,۵۶-۰,۷۹ است. بیشترین Re از حوضه‌های آبخیز منطقه مطالعه شده (۷۹,۱۷٪) با فرم کشیده [۰,۷-۰,۵] هم‌تراز هستند و ناهمواری کمتر و شیب تند را نشان می‌دهند. شکل کمتر کشیده ۲۰,۸۳ درصد حوضه‌ها نشان داده شده است.

طول جریان سطحی (L_g)

طبق گفته Horton (1945) جریان سطحی (L_g)، قبل از اینکه در یک مجرای آبراهه مشخص متمرکز شود، آب بر روی سطح خاک جریان دارد. تراکم زهکشی برابر با نصف تراکم زهکشی، $L_g = 1/2 D_d$ است. طول جریان سطحی به‌طور معکوس با شیب متوسط کانال ارتباط دارد. همچنین از نظر فیزیکی، توپوگرافی و هیدرولیکی بر گسترش حوضه آبخیز تأثیر زیادی دارد. به دلیل زمین‌هایی با شیب متوسط و رو به مسطح بودن، عامل اصلی جریان سطحی کم در زمین‌های تپه‌ای است که این بستگی به نوع سنگ، آب‌وهوا، نفوذپذیری، پستی و بلندی و پوشش گیاهی و همچنین مدت فرسایش دارد. مقدار L_g بالاتر معمولاً نشان‌دهنده ناهمواری کم است و در نتیجه روند رواناب کندتر است و در نواحی کم‌ارتفاعی یافت می‌شود که فرسایش در آنها قوی نیست که معمولاً به مرحله گسترش حوضه مرتبط است. طول جریان سطحی بین ۰,۰۲۱ تا ۰,۰۲۶ برای هر حوضه از حوضه آبخیز کمه متغیر است. همچنین، این میزان کم L_g ناهمواری بالا، زهکشی بیشتر و سکون کمتر را نشان می‌دهد.

ضریب تراکم (C_c)^۱

ضریب تراکم یک حوضه، محیط حوضه به محیط دایره‌ای است که مساحت آن برابر با حوضه زهکشی، مطابق با فرمول Gravelius^۲ (1914) است:

$$C_c = 0.2821 (P/A)^{0.5}$$

ضریب تراکم (C_c) برای توصیف ارتباط بین یک حوضه آبخیز هیدرولوژیکی با حوضه مدور همان منطقه است که این نسبت به‌طور مستقیم برای ارزیابی ریسک فرسایش استفاده شده است؛ به این معنی که مقادیر کمتر عوامل ریسک فرسایش نشان‌دهنده آسیب‌پذیری کمترین هستند، در حالی که مقادیر بالاتر نشان‌دهنده کشیدگی کمتر حوضه و فرسایش‌پذیری بیشتر است؛ پس نیاز به حفاظت از مناطق در معرض فرسایش، بیشتر احساس می‌شود. بالاترین مقدار موجود در زیرحوضه شماره ۴ (۰,۵۷) است، در حالی که کمترین مقدار برای زیرحوضه شماره ۳ (۰,۴) است. و در نهایت نتایج حاصل از تحلیل و بررسی پارامترهای ترکیبی برای هریک از ۹ زیرحوضه کمه به دست آمده است (جدول ۶).

^۱ Compactness coefcien

^۲ شاخصی که بیشتر به آن اشاره می‌شود، ضریب فشردگی است که توسط Gravelius (1914) پیشنهاد شده است.

جدول ۵: نتایج حاصل از محاسبه مقادیر ترکیبی برای هریک از ۹ زیرحوضه (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳)

Table 6: Composite Parameter (Cp) Results for the 9 Sub-basins of Komeh Watershed (Source: Authors, 2024)

LAYER	زیر حوضه شماره	زیر حوضه شماره	زیر حوضه شماره	زیر حوضه شماره	زیر حوضه شماره	زیر حوضه شماره	زیر حوضه شماره	زیر حوضه شماره
STREAM_ID	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
مساحت حوضه AreA	۱۲۹	۱۰۸	۲۸	۲۹۹	۱۰۷	۳۳۷	۱۷۵	۱۱۴
محیط حوضه primeter	۷۶	۷۲	۳۳	۱۴۸	۸۷	۱۲۹	۹۹	۷۵
ضریب دایره ای Rc	۰٫۲۸	۰٫۳۶	۰٫۳۲	۰٫۱۷	۰٫۱۹	۰٫۲۵	۰٫۲۲	۰٫۲۵
مجموعه ابراهه های Np	۸۵	۸۶	۱۶	۱۹۹	۱۸	۱۹۶	۱۶۱	۶۶
فراوانی آب راهه Fs	۰٫۳۶	۰٫۸۰	۰٫۵۷	۰٫۶۷	۰٫۳۶	۰٫۵۷	۰٫۷۰	۰٫۵۰
طول حوضه Lb	۱۹٫۱	۱۶٫۱۸	۷٫۵۷	۳۴٫۷	۱۷٫۸۴	۳۱٫۳۲	۲۳٫۵	۱۵٫۶۴
ضریب انشعاب Rb	۰٫۹۸۸	۰٫۹۷۹	۰٫۹۴۱	۱٫۰	۰٫۹۷۹	۰٫۹۹۵	۰٫۹۹۲	۰٫۹۷۹
فاکتور فرم Rf	۰٫۳۵	۰٫۴۱	۰٫۴۹	۰٫۲۵	۰٫۳۴	۰٫۳۴	۰٫۳۰	۰٫۴۰
فاکتور شکل Bs	۲٫۸۳	۲٫۴۲	۲٫۰۵	۴٫۰۳	۲٫۹۷	۲٫۹۱	۳٫۱۶	۲٫۱۵
مجموع طول آبراهه Lp	۹۷۶۵۴٫۲	۹۲۲۷۰٫۳	۲۳۷۴۳٫۲	۲۸۱۲۱۵٫۱	۹۸۱۷۱۷۴٫۴	۲۷۲۹۸۷٫۶	۴۴۶۷۹۸٫۳	۷۹۷۸۷۲٫۴
تراکم زهکشی Dd	۷۵۴	۸۵۴	۸۴۸	۹۴۱	۹۱۸	۸۱۰	۸۴۹٫۷	۷۸۸
ضریب بافت زهکشی Dt	۱٫۱۱۸	۱٫۱۹	۰٫۴۸	۱٫۳۴	۰٫۷۴	۱٫۵۲	۱٫۵۱	۷۷۰
طول جریان سطحی	۰٫۰۰۲۶۵	۰٫۰۰۲۳۴	۰٫۰۰۲۳۶	۰٫۰۰۲۱۳	۰٫۰۰۲۱۸	۰٫۰۰۲۴۷	۰٫۰۰۲۳۵	۰٫۰۰۲۵۴
ضریب کشیدگی	۰٫۶۷	۰٫۷۲	۰٫۷۹	۰٫۵۶	۰٫۶۵	۰٫۶۶	۰٫۶۰	۰٫۷۰
ضریب تراکم	۰٫۴۷	۰٫۴۴	۰٫۴۰	۰٫۵۷	۰٫۴۹	۰٫۴۸	۰٫۵۰	۰٫۴۰
ضریب ناهمواری	۲۰٫۲	۱۵٫۰۳	۳۸٫۶	۶٫۷	۱۴٫۷	۱۲٫۵	۱۱٫۷	۲۵٫۹
۹٫۸	۲۰٫۲	۱۵٫۰۳	۳۸٫۶	۶٫۷	۱۴٫۷	۱۲٫۵	۱۱٫۷	۲۵٫۹

یافته‌های پژوهش و تجزیه و تحلیل آن‌ها

اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز

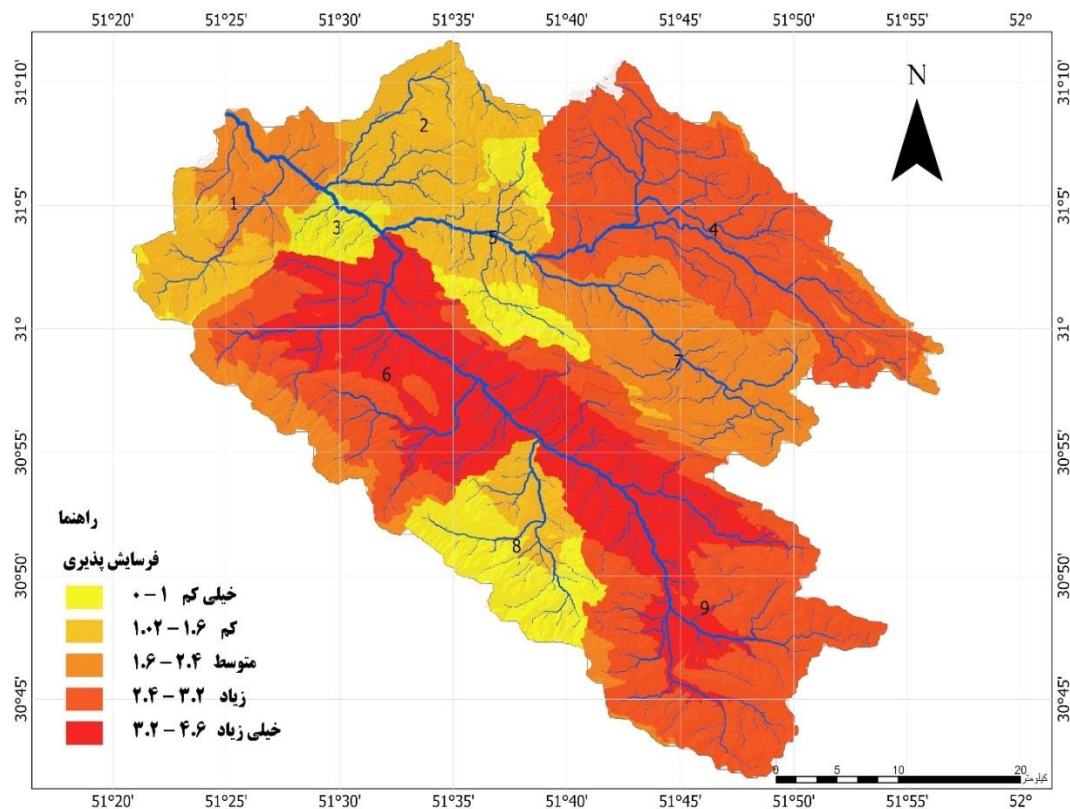
حوضه آبخیز کمه در ارتفاع متوسط ۲۸۰۰ متری از سطح دریا و شیب متوسط ۲۸ درصدی در کوهپایه‌های شرقی کوهستان دنا قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که خواص مورفومتریکی متمایز هریک از زیرحوضه‌ها، نشان‌دهنده اثرپذیری از واکنش‌های هیدرولوژیکی منطقه است. توجه به اولویت‌بندی براساس تجزیه و تحلیل مورفومتریکی می‌تواند کمک شایانی در جهت ارزیابی ریسک مخاطرات داشته باشد؛ زیرا پارامترهای مورفومتریکی به‌عنوان پارامترهای ارزیابی خطر شناخته می‌شود، به‌ویژه برای مخاطراتی مانند فرسایش و سیل. فرسایش پارامترهای مورفومتریکی مختلف هر زیرحوضه براساس حساسیت آن‌ها به خطر فرسایش خاک رتبه‌بندی شدند. فرسایش‌پذیری خاک رابطه مستقیمی با پارامترهای خطی دارد؛ بنابراین، بیشترین مقدار برای پارامترهای خطی یک در نظر گرفته شد و دومین اولویت به‌عنوان دو و به همین ترتیب تا پایان، زیرحوضه‌ها طبقه‌بندی شدند؛ ولی فرسایش‌پذیری خاک با پارامترهای مساحتی به‌صورت معکوس مرتبط است (Benzougagh et al., 2022). هرچقدر فرسایش‌پذیری کمتر باشد، رتبه‌ای پایین‌تر دارد. در اولویت‌بندی پارامترهای مساحتی کمترین ارزش در اولین رتبه و آخرین رتبه بالاترین ارزش را دارد؛ بنابراین، رتبه‌بندی فرسایش‌پذیری زیرحوضه‌ها با اولویت در پارامترهای خطی براساس بیشترین ارزش و کمترین ارزش محاسبه شد.

بنابراین، مقادیر طبقه‌بندی برای هریک از ۹ زیرحوضه برای دستیابی به یک مقدار تجمعی برای تمام پارامترهای خطی و مساحتی اعمال شد. پس از آن زیرحوضه‌ها براساس پارامترهای ترکیبی (خطی_مساحتی) به پنج دسته طبقه‌بندی شدند که دارای اولویت بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد هستند (جدول ۷، شکل ۹).

جدول ۶: طبقه‌بندی زیرحوضه‌های آبریز کمه براساس فرسایش‌پذیری (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳)

Table 7 Erosion Susceptibility Classification of Komeh Sub-watersheds (Source: Authors, 2024)

اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها	زیرحوضه‌ها براساس بالاترین میزان فرسایش‌پذیری	مقدار فرسایش‌پذیری
اول	زیرحوضه شماره ۹	خیلی زیاد ۳٫۲ الی ۴٫۶
دوم	زیرحوضه شماره ۶	
سوم	زیرحوضه شماره ۴	زیاد ۲٫۴ الی ۳٫۲
چهارم	زیرحوضه شماره ۷	متوسط ۱٫۶ الی ۲٫۴
پنجم	زیرحوضه شماره ۱	
ششم	زیرحوضه شماره ۲	کم ۱٫۰۲ الی ۱٫۶
هفتم	زیرحوضه شماره ۵	
هشتم	زیرحوضه شماره ۸	خیلی کم ۰ الی ۱
نهم	زیرحوضه شماره ۳	



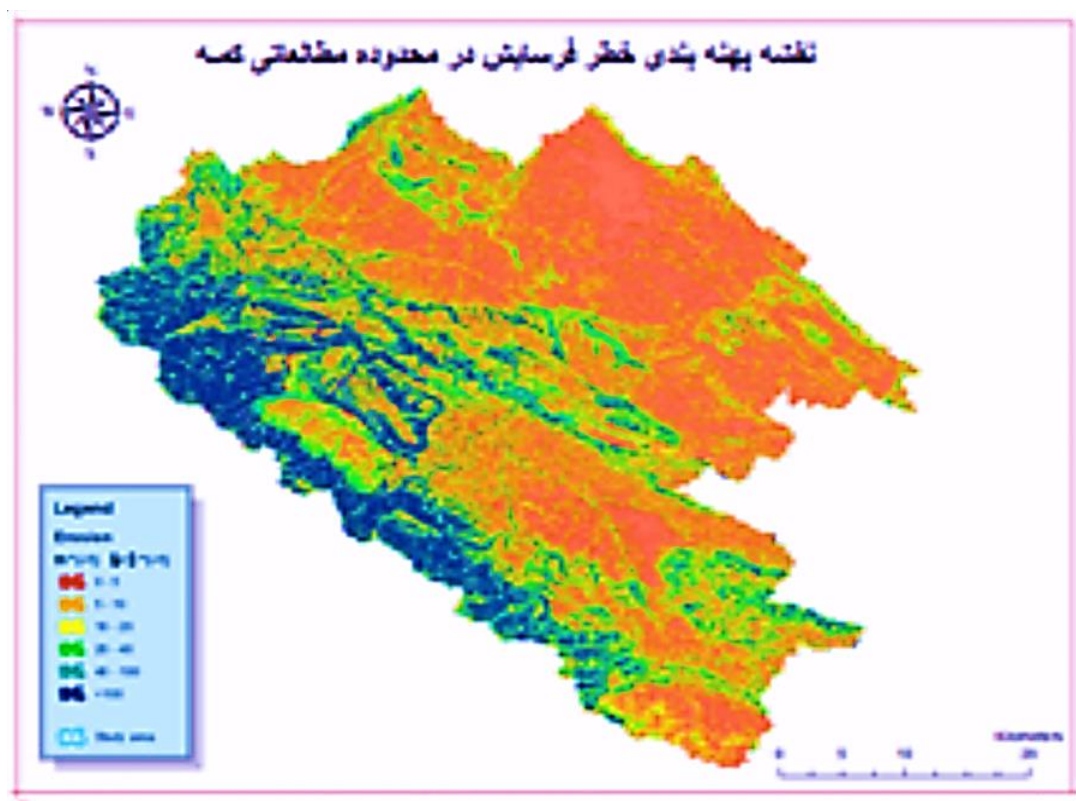
شکل ۹: فرسایش پذیری حوضه کمه و ۹ زیرحوضه آن (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳)

Figure 9 Erosion Susceptibility of Komeh Watershed and Its 9 Sub-basins (Authors :Source, 2024)

حوضه آبخیز کمه در ارتفاع متوسط ۲۸۰۰ متری از سطح دریا و شیب متوسط ۲۸ درصدی در کوهپایه‌های شرقی کوهستان دنا قرار گرفته است. مطالعه حاضر کاربرد پارامترهای مورفومتریک با سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) را برای تحلیل مورفومتریک زیرحوضه‌های حوضه آبخیز کمه است که نتایج آن نشان می‌دهد که خواص مورفومتریک متمایز هر یک از زیرحوضه‌ها، نشان‌دهنده اثرپذیری از واکنش‌های هیدرولوژیکی منطقه است. پارامترهای مورفومتریک مختلف هر زیرحوضه براساس حساسیت آنها به خطر فرسایش خاک رتبه‌بندی شد. روش‌های اولویت‌بندی مبتنی بر پارامترهای ترکیبی (Cp) با کمک تکنیک‌های GIS، تمامی ۹ زیرحوضه فرعی را به عنوان آسیب‌پذیرترین مناطق در برابر خطر فرسایش شناسایی می‌کنند؛ اما در اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها زیرحوضه شماره ۹ با بالاترین میزان ناهمواری و بارش دارای بیشترین میزان فرسایش‌پذیری و زیرحوضه شماره ۳ دارای کمترین میزان فرسایش‌پذیری است. این میزان فرسایش مستلزم ایجاد راهبردهای اصلاحی فوری و قابل‌دوام برای حفاظت از خاک، مدیریت سیل و جلوگیری از فرسایش است. مطالعه حاضر بیشتر کاربرد تکنیک‌های سنجش از دور و GIS را در اولویت‌بندی حوضه‌های آبخیز نشان می‌دهد که ممکن است برای اجرای اقدامات در حفاظت از خاک و آب مفید باشد (شکل ۹).

بر طبق تحقیقات ذاکری (۱۳۹۶) با استفاده از تحلیل عوامل با مدل RUSLE چند عامل علاوه بر عوامل بالا ارزیابی شده‌اند؛ از جمله: عامل R یا فرساینده‌گی باران، عامل K یا جدایش ذرات خاک بر اثر نیروی بارش و رواناب، عامل C

کاربری اراضی، عامل LS تغییرات ارتفاعی و شیب منطقه و عامل P با عدد تعیین شده ۱، سپس نقشه فرسایش‌پذیری منطقه را به دست آورده‌اند: براساس پژوهش‌های انجام‌شده، بالاترین فرسایش‌پذیری خاک در خاک‌های لوم سیلتی و پایین‌ترین فرسایش‌پذیری در خاک‌های شن لومی و شنی دیده می‌شود. فرسایش‌پذیری خاک رابطه معناداری با تولید رواناب در خاک‌ها دارد و مهم‌ترین عامل مؤثر بر رواناب و فرسایش‌پذیری خاک، رخداد بارندگی است (شکل ۱۰).



شکل ۱۰: نقشه پهنه‌بندی فرسایش (منبع: ذاکری، ۱۳۹۶)

Figure 10 Erosion zoning map (Source: Zakeri, 2017)

بخش اعظم خاک‌های نمونه‌برداری‌شده در محدوده دارای بافت رسی لومی است. غرب و شمال غرب حوضه که دارای بیشترین بارش و مقدار R را به خود اختصاص داده، بافت خاک بیشتر از نوع سیلتی لومی رسی است که انتظار می‌رود که نرخ فرسایش در این بخش بیش از سایر بخش‌های حوضه باشد. پراکندگی میزان ماسه، رس و سیلت در خاک‌های محدوده کمه و نقشه بافت خاک منطقه قابل مشاهده است.

نتیجه‌گیری

در مطالعات فرسایش‌پذیری خاک در حوضه آبریز کمه، باتوجه‌به نبود ایستگاه‌های رسوب سنج و اهمیت مطالعه رسوب در این حوضه، به تقسیم حوضه به چند زیرحوضه و به‌کارگیری روش‌های مورفومتری اقدام شد، تا نتایج دقیق‌تری حاصل شود. شاخص‌های مورفومتری نشان داد که در زیرحوضه‌هایی که مقدار شاخص‌های خطی و

توپوگرافی بالا و شاخص‌های مساحتی پایین است، مقدار حساسیت به فرسایش نیز بیشتر است. حوضه کمه در جنوب استان اصفهان به علت تنوع لیتولوژیکی، ناهمواری و آبراهه‌های متعدد در معرض فرسایش خاک قرار دارد. به علت وجود شرایط گوناگون عوامل محیطی مؤثر در فرسایش خاک در زیرحوضه‌های آن، توانایی ایجاد فرسایش خاک یکسان است. به کارگیری پارامترهای مورفومتری در اولویت‌بندی فرسایش خاک زیرحوضه‌های حوضه کمه به علت نبود داده‌های مشاهداتی در تمامی آنها، یک روش مناسب و کارآمد است. نتایج حاصل نشان‌دهنده فرسایش شدید آبی در تمامی حوضه کمه است، اما با تقسیم‌بندی حوضه کمه به ۹ زیرحوضه می‌توان پرخطرترین مناطق در حوضه اصلی را به دست آورد. این زیرحوضه با استفاده از پارامترهای مختلف از جمله بارش، ناهمواری، تراکم بالای آبراهه، مساحت بزرگ‌تر و غیره با خطر فرسایش پذیری خیلی زیاد مواجه است که در قسمت جنوبی تا مرکز حوضه کمه واقع شده است و پس از آن زیرحوضه شماره ۶ از غرب تا مرکز حوضه کمه در رتبه دوم است. سپس زیرحوضه شماره ۴ در شمال شرق حوضه با خطر فرسایش پذیری زیاد، زیرحوضه شماره ۷ در شرق و زیرحوضه شماره ۱ در شمال با خطر فرسایش پذیری متوسط، زیرحوضه‌های ۲ و ۵ با خطر فرسایش پذیری کم در شمال و زیرحوضه‌های ۸ و ۳ با خطر فرسایش پذیری خیلی کم است. علت اصلی فرسایش پذیری این زیرحوضه‌ها علاوه بر پارامترهای مورفومتریک محاسبه شده، عبور رودخانه اصلی از مرکز حوضه (حوضه‌های ۹ و ۶) است که موجب تشدید فرسایش در این منطقه شده است؛ اما در مدل RUSLE پرخطرترین مناطق فرسایشی در شرق حوضه واقع شده است که می‌توان علت اصلی آن را کم بودن پارامترهای سنجش دانست؛ زیرا در روش هورتون - استرالر تعداد پارامترهای تعیین‌کننده بیشتر و حیاتی‌تر و در نتیجه تأثیرگذاری آن‌ها مشخص‌تر است؛ اما در دید کلی با استفاده از هر دو روش مرسوم یعنی بررسی خصوصیات مورفومتری حوضه براساس سیستم هورتن - استرالر و تحلیل عوامل با مدل RUSLE نشان داد که در شمال و مرکز حوضه بیشترین فرسایش پذیری مشاهده می‌شود.

منابع

- پروین، منصور (۱۴۰۱). شناسایی مناطق مستعد فرسایش خاک با استفاده از روش اولویت‌بندی مورفومتریک اصلاح شده و میزان تولید رسوب (مطالعه موردی حوضه کامیاران). *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۲ (۶۴)، ۴۷۸-۴۶۱
<http://jgs.khu.ac.ir/article-1-3522-fa.html>
- ثروتی، محمدرضا، و منصوری، رضا (۱۳۹۲). روش‌های پژوهش در ژئومورفولوژی. *فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر»*، ۲۲ (۸۸)، ۸۱-۹۱
https://www.sepehr.org/article_25654.html
- درگاه ملی کاتالوگ و مجموعه داده‌های باز و کاربردی (۱۳۹۹). گزارش نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سمیرم. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
<https://data.gov.ir/dataset/7ec166bc7f90de8e1903c982b7985ebcf81ed5e9>
- ذاکری، گیلا (۱۳۹۶). *ارزیابی مناطق حساس به فرسایش آبی با استفاده از GIS و RS در محدوده مطالعاتی کمه* [پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان]. گنج.
<https://ganj.irandoc.ac.ir/#/articles/a3580fe4f9b1bacd39a48f708aac86b3>

ذاکری‌نژاد، رضا، و کهرانی، عباس (۱۴۰۲). ارزیابی و مقایسه مدل‌های CART و TreeNet جهت تهیه نقشه ای حساسیت زمین لغزش با استفاده نرم‌افزار SPM و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، (مطالعه موردی حوضه آبخیز کمه، جنوب استان اصفهان). *مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۲ (۳۷)، ۱۷-۳۸.

<https://www.doi.org/10.22111/jneh.2023.42304.1904>

زالی، مهرباب، سلیمانی، کریم، حبیب‌نژاد روشن، محمود، و میریعقوب‌زاده، میرحسن (۱۴۰۱). مقایسه و اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌های نکارود با استفاده از روش مورفومتریک در سامانه اطلاعات جغرافیایی. *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، ۱۳ (۲)، ۲۰-۴۰.

<https://doi.org/10.30495/girs.2022.684312>

منبری، فاطمه، ملکی، امجد، و نیری، هادی (۱۴۰۲). تحلیل عاملی پارامترهای مورفومتریک و مدل‌سازی سیلاب (مطالعه موردی حوضه‌های آبریز استان کردستان). *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۱۲ (۱)، ۲۲۴-۲۴۰.

https://www.geomorphologyjournal.ir/article_168773.html?lang=fa

نگهبان، سعید (۱۴۰۰). ارزیابی تکتونیک فعال حوضه دینور (غرب ایران) با استفاده از تحلیل پارامترهای مورفومتریک. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۳ (۲)، ۲۸۷-۳۰۴.

<https://doi.org/10.22059/jphgr.2021.308020.1007548>

نوجوان، محمدرضا، شاهزیدی، سمیه‌سادات، داودی، محمود، و امین‌رغایا، هاجر (۱۳۹۸). پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از تلفیق دو مدل فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و فازی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کمه، استان اصفهان). *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۷ (۴)، ۱۴۲-۱۵۹.

https://www.geomorphologyjournal.ir/article_88316.html

مدیریت منابع آب (۲۹ مهر ۱۳۹۱). *دستورالعمل و ضوابط تقسیم‌بندی و کدگذاری حوضه‌های آبریز و محدوده‌های مطالعاتی در سطح کشور*. دفتر توسعه نظام‌های فنی، بهره‌برداری و دیسپاچینگ برقابی، طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور. <https://waterstandard.wrm.ir/cs/WRMResearch/278/10>

References

- Al-Assadi, K. H. F. (2020). Analyzing the morphometric characteristics of Wadi Mezal basin using geographical information systems. *Groundwater for Sustainable Development*, 11, 100436. <https://doi.org/10.1016/J.GSD.2020.100436>
- Benzougagh, B., Meshram, S. G., Dridri, A., Boudad, L., Baamar, B., Sadkaoui, D., & Khedher, K. M. (2022). Identification of critical watershed at risk of soil erosion using morphometric and geographic information system analysis. *Applied Water Science*, 12(1), 1-20. <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01532-z>
- Chorley, R. J. (1969). The elevation of the Lower Greensand ridge, south-east England. *Geological Magazine*, 106(3), 231-248. <https://doi.org/10.1017/S0016756800057940>
- Chorley, R. (1995). Horton, R.E. 1945: Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bulletin of the Geological Society of America* 56, 2 75-370. *Progress in Physical Geography*, 19(4), 533-554. <https://doi.org/10.1177/030913339501900406>
- Das, B., Singh, S., Jain, S. K., & Thakur, P. K. (2021). Prioritization of sub-basins of Gomti river for soil and water conservation through morphometric and LULC analysis using remote sensing and GIS. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 49(10), 2503-2522. <https://doi.org/10.1007/S12524-021-01410-W>

- Gravelius, H. (1914). *Flusskunde*. Goschen'sche Verlagshandlung.
<https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2254231>
- Horton, R. E. (1932). Drainage-basin characteristics. *Transactions, American Geophysical Union*, 13(1), 350-361. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1932TrAGU..13..350H/abstract>
- Horton, R. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins, hydrophysical approach to quantitative morphology. *GSA Bulletin*, 56(3), 275-370.
[https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1945\)56\[275:EDOSAT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2)
- Kadam, A. K., Jaweed, T. H., Kale, S. S., Umrikar, B. N., & Sankhua, R. N. (2019). Identification of erosion-prone areas using modified morphometric prioritization method and sediment production rate: A remote sensing and GIS approach. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 10(1), 986-1006.
<https://doi.org/10.1080/19475705.2018.1555189>
- Menbari, F., Maleki, A., & Nairi, H. (2023). Factor Analysis of the morphometric indices and Flood modeling: A Case Study of Watersheds in Kurdistan Province. *Quantitative Geomorphological Research*, 12(1), 224-240. https://www.geomorphologyjournal.ir/article_168773.html?lang=fa [In Persian]
- Miller, V. (1953). *A Quantitative Geomorphic Study of Drainage Basin Characteristics in the Clinch Mountain Area Virginia and Tennessee*. Project NR 389-402, Technical Report 3, Columbia University, Department of Geology, ONR, New York.
<https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2029748>
- National Portal of Open and Applied Datasets and Catalogs (2019). *Report on the 1:100,000 Geological Map of Semrom*. Geological and Mineral Exploration Organization of the Country.
<https://data.gov.ir/dataset/7ec166bc7f90de8e1903c982b7985ebcf81ed5e9> [In Persian]
- Negahban, S. (2021). Active tectonics evaluation from morphometric indices for the Dinevar Basin in northern Zagros, western Iran. *Physical Geography Research*, 53(2), 287-304.
<https://doi.org/10.22059/jphgr.2021.308020.1007548> [In Persian]
- Nooka Ratnam, K., Srivastava, Y. K., Venkateswara Rao, V., Amminedu, E. K. S. R., & Murthy, K. S. R. (2005). Check dam positioning by prioritization of micro-watersheds using SYI model and morphometric analysis—remote sensing and GIS perspective. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 33(1), 25-38. <https://doi.org/10.1007/BF02989988>
- Nojavan, M. R., Shahzeidi, S. S., Davoudi, M., & Aminroaya, H. (2019). onation of landslide risk using Fuzzy and AHP Model (Case study: Komeh Basin, Isfahan Province). *Quantitative Geomorphological Research*, 7(4), 142-159.
https://www.geomorphologyjournal.ir/article_88316.html [In Persian]
- Parvin, M. (2022). Identification of areas prone to soil erosion using modified morphometric prioritization method and sediment production rate (Case study of Kamyaran Basin). *Applied Research in Geographical Sciences*, 22(64), 461-478. <https://doi.org/10.52547/JGS.22.64.478> [In Persian]
- Schumm, S. A. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *GSA Bulletin*, 67(5), 597-646.
[https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1956\)67\[597:EODSAS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67[597:EODSAS]2.0.CO;2)
- Servati, M. R., & Mansouri, R. (2014). Research methods in geomorphology. *Quarterly Scientific-Research Journal of Geographic Information "Sepehr"*, 22(88), 81-91.
https://www.sepehr.org/article_25654.html [In Persian]
- Strahler, A. (1964). Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In V. Chow (Ed.), *Handbook of Applied Hydrology* (PP. 439-476). McGraw Hill.
<https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1451624>
- Water Resources Management. (October 19, 2012). *Guidelines and criteria for dividing and coding watersheds and study areas at the national level*. Office for the Development of Technical Systems, Operation and Dispatching of Hydropower, Plan for the Preparation of Technical Criteria and Standards for the National Water Industry. <https://waterstandard.wrm.ir/cs/WRMResearch/278/10> [In Persian]

- Zakeri, G., & Entezari, M. (2017). *Evaluation of Water Erosion Sensitive Areas Using GIS and RS in the Kameh Study Area* [Master's thesis, University of Isfahan]. Ganj. <https://ganj.irandoc.ac.ir/#/articles/a3580fe4f9b1bacd39a48f708aae86b3> [In Persian]
- Zakerinejad, R., & Kahrani, A. (2023). Assessment and Comparison of CART and TreeNet models to Landslide Susceptibility Mapping using SPM Software and Geographic Information System (GIS), (Case study: Kameh Watershed, Southern of Isfahan Province). *Journal of Natural Environmental Hazards*, 12(37), 17-38. <https://doi.org/10.22111/jneh.2023.42304.1904> [In Persian]
- Zali, M., Soleimani, K., Habibnejad Roshan, M., & Miriaghoub Zadeh, M. (2022). Comparison and prioritization of flood in Nekarud sub-basins using morphometric method in geographic information system. *Remote Sensing and Geographic Information System in Natural Resources*, 13(2), 20-40. <https://doi.org/10.30495/girs.2022.684312> [In Persian]