



## Soil Degradation Mapping Using a GIS Based Multi-Criteria Decision-Analysis in Khoy County

Fateme Moghaddam Dizaj Herik<sup>1</sup> , Bakhtiar Feizizadeh<sup>2✉</sup> 

1. MSc. Department of Soil Science Engineering, Faculty of Agriculture, University of Urmia, Urmia, Iran. E-mail: [F23187987@gmail.com](mailto:F23187987@gmail.com)
2. Corresponding Author, Professor, Department of remote sensing and GIS, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: [Bakhtiar.feizizadeh@gmail.com](mailto:Bakhtiar.feizizadeh@gmail.com)

### Article Info

### ABSTRACT

#### Article type:

Research Article

#### Article history:

Received: 10 May 2025

Revised: 5 October 2025

Accepted: 29 December 2025

Published: 4 January 2026

#### Keywords:

Soil erosion,  
land degradation,  
multi-criteria analysis,  
Khoy County.

Nowadays, soil erosion is recognized as one of the greatest contemporary environmental and socio-economic problems because its significant agriculture, natural resources, the environment, and the social economy. The aim of this study is to zone the soil erosion risk in Khoy County. For this purpose, a land use map was first obtained using Landsat images and object-oriented classification techniques. In doing so, they were classified into respective classes including: agricultural lands, gardens and pastures, saline lands, residential lands, mountainous and barren lands, and weak vegetation cover. The next stage carried out, by identifying the factors affecting soil erosion in the region and preparing information of each factor in GIS environment. the standardization of the factors was carried out using the fuzzy membership function, the ranking method, and the weighting of the criteria using the ANP method using Super Decision software. the final modeling was done using the ANP multi-criteria analysis method. In the next step, the sensitivity analysis of the criteria was applied using training data. Then, by applying different stages of the model on the maps based on the GIS aggregation functions, the soil erosion sensitivity map of the area was developed in 4 classes with very high erosion to low erosion. The ANP analysis process method assigned the highest weight to the sixth criterion (distance from the watercourse) and the lowest weight to the second criterion (digital elevation model). According to the results and the erosion modeling map, the criteria of distance from the river, land use, and slope received the highest weight with weight values of 0.271, 0.25, and 0.197, respectively. It is observed that the largest area obtained from soil erosion modeling is related to the medium erosion class, which almost includes the classes of barren and mountains, pastures and some agricultural and garden lands. Considering the results obtained and the area of the very high and high erosion classes, it can be stated that, the Khoy County area has a very high potential in terms of environmental conditions in the region, including the abundance of waterways (the main river is the Qaturchay or Aland), as well as land uses in terms of erosion.

**Cite this article:** Moghaddam Dizaj Herik, F., & Feizizadeh, B. (2026). Soil Degradation Mapping Using a GIS Based Multi-Criteria Decision- Analysis in Khoy County. *Journal of Remote Sensing and GIS Applications in Environmental Sciences*, 6 (18), 58-77. <http://doi.org/10.22034/rsgi.2025.67208.1138>



© The Author(s).

DOI: <http://doi.org/10.22034/rsgi.2025.67208.1138>

Publisher: University of Tabriz.



## Introduction

Today, soil erosion is recognized as one of the greatest contemporary environmental and socio-economic problems because it affects agriculture, natural resources, the environment, and the social economy (Noori & Siadatmousavi & Mojaradi, 2016). Awareness of the risk of soil erosion in watersheds allows for the identification of critical areas and prioritization of management and protection programs.

## Materials and Methods

In this research, in order to investigate soil erosion in the study area of Khoy County, first, Landsat 8 satellite images, which is one of the most valuable satellite images in the world, were used. This satellite has 2 sensors, TIRS and OLS. This sensor has 2 thermal bands and a 15-meter panchromatic band. Its other bands have a resolution of 30 meters. USGS3 satellite data in TIFF Geo format were obtained from the site. In this research, ArcMap, eCognition, and Envi 5.3 software were used to process and prepare images, classify, and output final maps, respectively. Then, in order to prepare images, atmospheric corrections were made to the images using Envi 5.3 software. Then, in this research, classification was performed using the object-oriented method and the nearest neighbor algorithm using ENVI 5.3 software in 5 classes: residential lands, saline lands, agricultural and garden lands, Mountains and wastelands, and weak vegetation. Finally, the obtained layers were transferred to Arc GIS software to calculate the area of land uses, prepare an appropriate output map, and apply the land use criteria in the erosion risk mapping process.

## Results

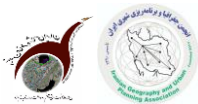
In order to calculate the weights of the criteria using the ANP analysis process method, a pairwise comparison matrix was calculated using SuperDecision software. The ANP analysis process method assigned the highest weight to the sixth criterion (distance from the waterway) and the lowest weight to the second criterion (digital elevation model). According to the results, the criteria of distance from the river, land use and slope received the highest weight with weight values of 0.271, 0.25 and 0.197, respectively. According to the decisions made in the Super Decision software, because in this region, due to soil erosion and washing of fields near the rivers due to the rise and flooding of the river and also to land uses that cause the loss of qualitative and quantitative properties of the soils of these areas. According to the erosion zoning map of the studied Area, which was classified into 4 classes using the MODEL BUILDER command (low, medium, high, and very high erosion). One class was also eliminated due to the given weights. It is observed that the largest area obtained from soil erosion modeling is related to the medium erosion class, which almost includes the barren and mountainous classes and part of agricultural lands. According to the results obtained and the area of the very high and high erosion classes, it can be stated that the Khoy Area has a very high potential in terms of erosion in terms of the environmental conditions in the region, including the presence (such as: young, unconsolidated floodplain alluvium, flood and river sediments, new river sands), loose and alluvial soils, high slope, mm) and the abundance of the waterway network (the main river is Qaturchay or Aland).

## Conclusion

The present study was conducted with the aim of investigating the effects of existing criteria on soil erodibility in the Khoy Area, using remote sensing techniques and multi-criteria analysis. One way to reduce and prevent possible soil erosion losses in agricultural fields and raise awareness among the people of the region is to recognize and zone the soil erosion map. According to the results of weighting, among the factors causing soil erosion, hydrological factors, distance from the river with a weight coefficient (0.271), land use with a weight coefficient (0.250) and slope with a weight coefficient (0.197) are the important factors in soil erosion in this region, respectively. According to the results, the soil conditions in the region are eroding and most of the lands are in the moderate erosion group (class 2), then the next group is high erosion (class 3), which are mainly agricultural soils and sloping lands.

## References

Noori, H. Siadatmousavi, S.M. and Mojaradi, B. (2016). Assessment of sediment yield using RS and GIS at two sub-basins of Dez Watershed, Iran. *International Soil and Water Conservation Research*, 4(3), 199-206.



## بررسی فرسایش خاک با استفاده از تحلیل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در GIS در منطقه شهرستان خوی

فاطمه مقدم دیزج هریک<sup>۱</sup>، بختیار فیضی‌زاده<sup>۲\*</sup>

۱. کارشناسی ارشد مهندسی علوم خاک گرایش پیدایش و رده‌بندی خاک، گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه:

F23187987@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، استاد، گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه:

Bakhtiar.feizizadeh@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
<p><b>نوع مقاله:</b> مقاله پژوهشی</p> <p><b>تاریخ دریافت:</b> ۱۴۰۴/۰۲/۲۰</p> <p><b>تاریخ بازنگری:</b> ۱۴۰۴/۰۷/۱۳</p> <p><b>تاریخ پذیرش:</b> ۱۴۰۴/۱۰/۰۸</p> <p><b>تاریخ انتشار:</b> ۱۴۰۴/۱۰/۱۴</p> <p><b>کلیدواژه‌ها:</b> فرسایش خاک، تخریب اراضی، تحلیل چند معیاره، شهرستان خوی.</p>	<p>امروزه فرسایش خاک به عنوان یکی از بزرگترین مشکلات زیست‌محیطی و اجتماعی-اقتصادی معاصر شناخته شده است؛ زیرا بر کشاورزی، منابع طبیعی، محیط زیست و اقتصاد اجتماعی تأثیر می‌گذارد. هدف تحقیق حاضر، پهنه‌بندی خطر فرسایش خاک محدوده شهرستان خوی می‌باشد. بدین منظور ابتدا با استفاده از تصاویر لندست و تکنیک طبقه‌بندی شی‌گرا، نقشه کاربری اراضی استخراج شد و به کلاس‌های (اراضی کشاورزی، باغی و مراتع، اراضی شوره زار، اراضی مسکونی، اراضی کوه‌ها و بایر و پوشش گیاهی ضعیف طبقه‌بندی شدند. در مرحله بعد، با شناسایی عوامل موثر در فرسایش خاک منطقه و تهیه لایه‌های اطلاعاتی هر معیار در GIS، استانداردسازی لایه‌ها با استفاده از تابع عضویت فازی، روش رتبه‌دهی و وزن‌دهی معیارها با استفاده از روش ANP با استفاده از نرم‌افزار سوپردسیژن صورت گرفت و مدل‌سازی نهایی با استفاده از روش تحلیل چندمعیاره ANP انجام شد. در مرحله بعدی تحلیل حساسیت معیارها با استفاده از داده‌های آموزشی انجام شد. سپس با اعمال مراحل مختلف مدل بر روی نقشه‌ها، نقشه پهنه‌بندی فرسایش خاک منطقه در ۴ طبقه با فرسایش بسیار زیاد تا فرسایش کم، استخراج گردید. روش فرایند تحلیل ANP بیشترین وزن را به معیار ششم (فاصله از آبراهه) و کمترین وزن را به معیار دوم (مدل رقومی ارتفاع) تخصیص داده است. با توجه به نتایج حاصله و نقشه مدل‌سازی فرسایش، معیارهای فاصله از رودخانه، کاربری اراضی و شیب، به ترتیب با مقادیر وزنی ۰/۲۷۱، ۰/۲۵ و ۰/۱۹۷، بیشترین مقدار وزنی رو دریافت کردند. مشاهده می‌گردد که بیشترین مساحت حاصله از مدل‌سازی فرسایش خاک مربوط به طبقه فرسایش متوسط بوده که تقریباً شامل کلاس‌های بایر و کوه‌ها، مراتع و بخشی از زمین‌های کشاورزی و باغی می‌باشد. با توجه به نتایج حاصله و مقدار مساحت طبقات فرسایش بسیار زیاد و زیاد، می‌توان بیان داشت، محدوده شهرستان خوی به لحاظ شرایط محیطی موجود در منطقه، اعم از وجود فراوانی شبکه آبراهه (رودخانه اصلی قطورچای یا الندا)، و همچنین کاربری‌ها از نظر فرسایش پذیری از پتانسیل بسیار بالایی برخوردار است.</p>

**استناد:** مقدم دیزج هریک، فاطمه و فیضی‌زاده، بختیار (۱۴۰۵). بررسی فرسایش خاک با استفاده از تحلیل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در GIS در منطقه شهرستان

خوی. کاربرد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در علوم محیطی، ۶ (۱۸)، ۷۷-۵۸.

<http://doi.org/10.22034/rsgi.2025.67208.1138>



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه تبریز.

## مقدمه

امروزه فرسایش خاک به عنوان یکی از بزرگترین مشکلات زیست‌محیطی و اجتماعی-اقتصادی معاصر شناخته شده است؛ زیرا بر کشاورزی، منابع طبیعی، محیط زیست و اقتصاد اجتماعی تأثیر می‌گذارد (نوری و مجردی، ۲۰۱۶). فرسایش خاک فرآیندی است که در آن ذرات خاک، سنگدانه‌ها و قطعات سنگی جدا شده و به وسیله آب انتقال یافته و سپس در مناطق جدید قرار می‌گیرند. (آنسای و ایلیاس و سورومسه، ۲۰۲۰). آگاهی از میزان خطر فرسایش خاک در حوضه‌های آبخیز، امکان شناسایی نواحی بحرانی و اولویت‌بندی برنامه‌های مدیریتی و حفاظتی را فراهم می‌سازد. به علت اینکه اطلاعات صحیح و قابل قبولی از میزان کمی فرسایش خاک در حوضه‌های آبخیز وجود ندارد، قبل از تهیه نقشه کمی فرسایش خاک، اغلب به برآورد حساسیت یا پتانسیل مناطق مختلف حوضه از نظر شدت فرسایش خاک نیاز است (نادری و همکاران، ۲۰۱۵).

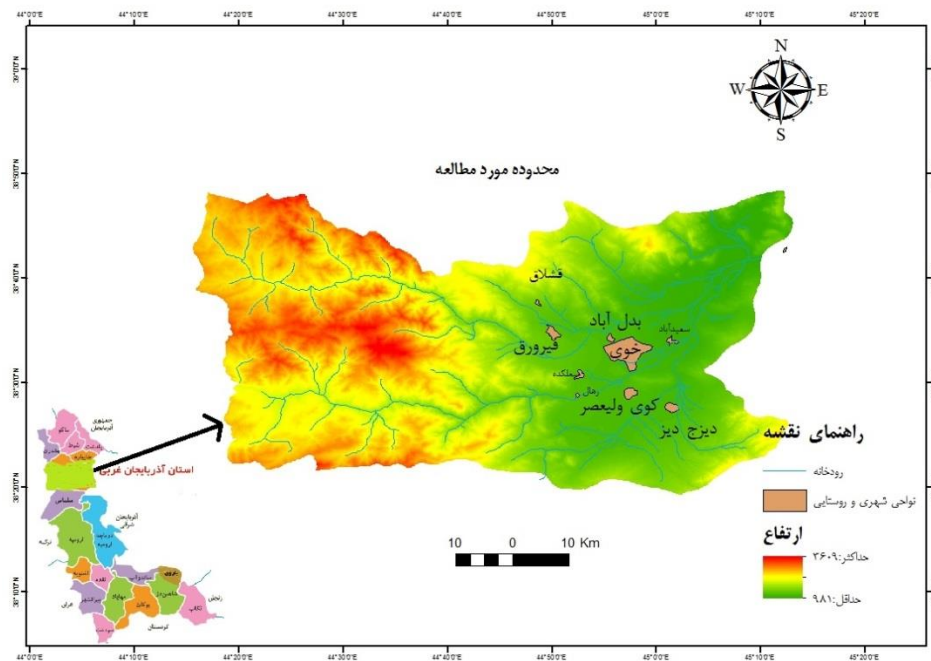
فرسایش خاک در مرحله اول با تخریب و حذف لایه سطحی خاک که عمدتاً غنی از مواد مغذی است، به طور قابل توجهی قدرت حاصلخیزی و باروری خاک را کاهش داده و باعث کاهش درآمد کشاورز و ناامنی غذایی می‌شود (مجیدی، ۲۰۲۱). از نظر اثرات خارج از محل تخریب، به علت ته‌نشین شدن رسوبات فرسایش یافته در مناطق آبی، زیرساخت‌ها و زمین‌های کشاورزی پایین‌دست، خسارات اجتماعی-اقتصادی و زیست‌محیطی مختلفی ایجاد می‌کند (چیناسمی و سود، ۲۰۲۰). به عنوان مثال، رسوب بیش از حد رسوبات در مناطق آبی باعث کاهش کیفیت آب و نابودی تنوع آبریان می‌شود. همچنین گنجایش ذخیره‌سازی آب را کاهش داده و در نتیجه منجر به کوتاه شدن طول عمر مفید سدها و افزایش هزینه‌های مدیریت آنها می‌شود (گیلگای و مینل، ۲۰۱۶). سازمان خواربار جهانی و کشاورزی و هیات فنی بین‌المللی خاک (۲۰۱۵) میزان فرسایش خاک در سطح جهان را بین ۲۰ تا ۳۰ میلیارد تن در هر سال گزارش کرده‌اند. به طور مثال، مقدار تخریب خاک در برخی از مناطق کوهستانی هیمالیا در آسیا ۲۰۰۰۰ تن در کیلومتر مربع در سال گزارش شده است (گلوکو و والینگ، ۲۰۱۹). نتایج پژوهش‌ها در ایران نیز نشان‌دهنده میزان بالای فرسایش خاک دارند، طوری که فقط میزان فرسایش آبی در کشور بین ۱ تا ۴ میلیارد تن در سال گزارش شده است (عرب خدری، ۲۰۲۱). با استفاده از فن‌های سنجش از دور (RS) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، امکان برآورد فرسایش خاک و توزیع مکانی فرسایش و رسوب، با هزینه و دقت قابل قبول در مناطق وسیع وجود دارد (وانگ و گرتر و فانگ و اندرسون، ۲۰۰۳). سامانه اطلاعات جغرافیایی، تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی را با سرعت بیشتر و به‌سادگی امکان‌پذیر کرده و ترکیب اطلاعات را ساده می‌کند. این امر موجب شده تا مطالعاتی در مقیاس قاره‌ای، ملی و منطقه‌ای برای برآورد فرسایش خاک انجام گیرد که برخی از آنها به شرح زیر هستند: کوچو و همکاران، (۲۰۲۰)، به بررسی تأثیر کاربری زمین بر فرسایش خاک در کنیا غربی، در سالهای ۱۹۹۵ و ۲۰۱۷ پرداختند. نتایج نشان داد که ۵۰ درصد از تلفات و فرسایش خاک در زمین‌های زراعی، به ویژه در مزارعی که در اثر پاکسازی و تخریب جنگل‌ها به وجود آمده، دیده می‌شود و مناطق دارای پوشش علفی/درختچه‌ای، در رتبه دوم قرار دارند. لی و همکاران (۲۰۲۱)، به بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر فرسایش رودخانه‌ای در شهرستان، Kedong واقع در شمال شرقی چین بین سال‌های ۱۹۶۵ تا ۲۰۱۵ پرداختند. نتایج نشان داده است، زمین‌های زیر کشت، در بازه زمانی مورد مطالعه به طور چشمگیری، افزایش یافته است و کشت زمین در دامنه‌ها، به ویژه در دامنه‌های بزرگتر از ۴ درجه، ممکن است، سرعت فرسایش رودخانه را تشدید کند. تینگ و همکارانش (۲۰۱۶) با هدف ارزیابی وضعیت فرسایش خاک کشور استرالیا از مدل RUSLE استفاده کردند با این تفاوت که آنها در تحقیق خود از فن‌های نوین سنجش از دور بهره جستند. در این پژوهش از تصاویر ماهواره ای MODIS و TRMM برای برآورد عوامل پوشش گیاهی و فرساینده‌گی باران با مقیاس مکانی یک کیلومتر استفاده شد. در نهایت نتایج پژوهش آنها نشان داد ۹۵ درصد از سطح کشور استرالیا مقدار متوسط فرسایش خاک ۱/۹ تن بر هکتار بر سال دارد. نتایج داوودی و همکاران (۲۰۲۴) در بررسی مکانی فرسایش و رسوب در محیط GIS با استفاده از مدل SEDD و RUSLE در حوضه آبخیز رود زرد استان خوزستان نشان داد که استفاده از مدل‌های شبیه‌ساز با ورودی‌های اندک و قابل دسترس مانند مدل RUSLE و SEDD می‌تواند کارایی قابل قبولی در تخمین میزان فرسایش و رسوب به ویژه در حوضه‌های بزرگ که با محدودیت و کمبود داده مواجه هستند، داشته باشد. در همین راستا، عامل پستی و بلندی مهمترین عامل

فرسایش و انتقال رسوب در حوضه آبخیز مورد مطالعه تشخیص داده شد، به طوری که بیشترین درصد فرسایش و رسوب در اراضی جنگلی با شیب بالای ۵۰ درصد بدست آمد و کمترین میزان فرسایش نیز مربوط به اراضی زراعی با شیب کم بوده است. لذا، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره توانایی تعیین میزان اهمیت همه معیارها و تلفیق آنها در یک شاخص ترکیبی را فراهم می‌کند تا تصمیم‌گیرندگان بتوانند بهترین گزینه را تعیین کنند (ژو و لی و لی و میداوس، ۲۰۲۱).

در محدوده شهرستان خوی، خاک‌های منطقه به دلیل قرار گرفتن در دامنه شمالی ارتفاعات کوه‌های آذربایجان و شرایط توپوگرافیکی و اکولوژیکی و از نظر جنبه‌های زیستگاهی، مستعد زیستگاه‌های مرتعی و منابع طبیعی با انواع متنوع گونه‌های گیاهی هستند. بنابراین، می‌توان بیان داشت، علاوه بر وجود شرایط اقلیمی، زمین‌شناسی و کوهستانی و شیبدار بودن برخی از نقاط منطقه، با گذشت زمان با فعالیت‌ها و اقدامات انسانی از جمله، تغییر کاربری اراضی و تخریب اراضی کشاورزی، میزان فرسایش خاک در سطح منطقه افزایش یافته است. لذا ارزیابی و بررسی تغییرات کاربری‌ها و تغییرات هیدرولوژی و توپوگرافی در طول زمان و نقش آن در فرسایش خاک در سطح منطقه، بسیار مهم می‌باشد. بدین منظور با توجه به تأکید بر اثربخشی و صحیح شمردن نتایج حاصل از بهره‌گیری داده‌های سنجش از دور، GIS و تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، در پژوهش حاضر؛ تغییرات توپوگرافی و عواملی همچون هیدرولوژی و نقش آنها در ایجاد فرسایش خاک مورد بررسی قرار گرفته است. انتظار می‌رود با توجه به نتایج پژوهش حاضر، با توجه به شناخت داشتن از روند تغییرات انواع پارامترها و با شناسایی مناطق اولویتی از نظر خطر فرسایش، بتوان اقدامات لازم را برای کنترل فرسایش این مناطق، برنامه‌ریزی و راهکارهای مدیریت پایدار انجام داد. به علاوه، قابل ذکر می‌باشد که، مطالعه فرسایش خاک با استفاده از مدلسازی مکانی در GIS در این مناطق به منظور مطالعه فرسایش خاک صورت نگرفته است. لذا استفاده از این روش در پژوهش حاضر دارای اهمیت بالایی می‌باشد و نتایج حاصل از این پژوهش، با روش تحلیل چند معیاره مدلسازی مکانی بر اساس روش ANP با استفاده از نرم‌افزار سوپردسیژن (محاسبه وزن-ها)، به منظور مطالعه خطر فرسایش خاک، در انتخاب روش مطالعه خطر فرسایش، می‌تواند بسیار مفید بوده و مورد توجه پژوهشگران، مسئولان و سیاستگذاران در راستای ارزیابی و پتانسیل‌سنجی حساسیت فرسایش خاک، قرار گیرد.

### منطقه مورد مطالعه

شهرستان خوی، به مساحت حدود ۳۲۵۹٫۹۱ کیلومترمربع، در مختصات با طول جغرافیایی ۴۴ درجه و ۵۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۳۳ دقیقه، در شمال استان آذربایجان غربی قرار گرفته است. منطقه شهرستان خوی بخشی از منطقه کوهزایی زاگرس است که کم و بیش شامل رسوبات اواخر کرتاسه تا میوسن است. بطور کلی تشکیلات زمین شناسی منطقه شامل ترکیبی از تشکیلات ماسه سنگ آهکی و شیل‌های قرمز تا سبز است که در طی کرتاسه تا میوسن اتفاق افتاده‌اند. این تشکیلات عموماً به وسیله رسوبات مربوط به آبرفتی کوتاه‌تر پوشیده شده‌اند. بنابراین خاک‌های این منطقه هم عموماً تحت تأثیر ویژگی‌های رسوبات دوره کوتاه‌تر می‌باشد (قائمیان، ۲۰۰۳). حداکثر ارتفاع محدوده، ۳۶۰۹ متر (کوه اورین) و حداقل ارتفاع آن ۹۸۱- متر (محدوده) از سطح دریا می‌باشد. شهرستان خوی بواسطه شرایط خاص جغرافیایی دارای چشمه‌های آب معدنی و یک منطقه کشاورزی مناسب است.



شکل ۱. نقشه موقعیت محدوده مورد مطالعه

Fig. 1. Location map of the study area

## روش پژوهش

در این پژوهش به منظور بررسی فرسایش خاک محدوده شهرستان خوی، ابتدا از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ که یکی از با ارزشترین تصاویر ماهواره ای دنیا می باشد، استفاده شد. این ماهواره دارای ۲ سنجنده TIRS و OLS می باشد. این سنجنده دارای ۲ باند حرارتی و یک باند پانکروماتیک ۱۵ متری سایر باندهای آن دارای توان تفکیک ۳۰ متری می باشد. برای سال ۲۰۲۴ از سایت زمین‌شناسی آمریکا اخذ شد (جدول ۱).

جدول ۱. خصوصیات تصویرسنجنده (TIRS و OLI) از ماهواره لندست (منبع: متادیتای تصاویر)

Table 1. Sensor image characteristics( TIRS and OLI) from landsat 8 satellite (source: Image metadata)

تصویر	تاریخ اخذ	ردیف/گذر	تعداد باند	قدرت تفکیک	زاویه آزیموت خورشید	زاویه ارتفاع خورشید
لندست OLI	۲۰۲۴/۱۰/۰۳	۱۶۷/۳۴	۹ باند	۳۰ متر	۱۲۲/۲۵	۶۵/۹۰
لندست TIRS	۲۰۲۴/۱۰/۰۳		۲ باند	۱۵ متر		

داده‌های USGS3 ماهواره‌ای به فرمت TIFF Geo از سایت تهیه شدند، در این تحقیق برای پردازش و آماده‌سازی تصاویر، طبقه‌بندی و خروجی گرفتن نقشه‌های نهایی به‌ترتیب از نرم‌افزارهای ArcMap، eCognition، Envi 5.3 استفاده گردید. سپس به منظور آماده‌سازی تصاویر، نسبت به تصحیحات اتمسفری بر روی تصاویر با استفاده از روش Flaash و نرم‌افزار Envi5.3 اقدام شد. در واقع اتمسفر همواره به عنوان یکی از عوامل تاثیرگذار در پردازش‌های تصاویر بوده است و به خاطر عملکرد آن ارزش عددی هر پیکسل در تصاویر، ثبت واقعی تابندگی پدیده‌های سطح زمین نیست. زیرا که بر اثر جذب، علامت‌ها تضعیف شده و یا اینکه بر اثر پراکنش مسیر آن تغییر می‌کند. در نتیجه خطاهای حاصل از اتمسفر در پردازش تصاویر باید تصحیح گردد. سپس در این تحقیق طبقه‌بندی با روش شی‌گرا و با الگوریتم نزدیکترین همسایگی توسط نرم‌افزار ENVI 5.3، در ۵ کلاس اراضی مسکونی شهری، اراضی کشاورزی و باغی و مراتع، اراضی شوره زار، اراضی کوه‌ها و بیرو اراضی پوشش گیاهی ضعیف انجام شد.

طبقه‌بندی شیء‌گرا فرایندی است که کلاس‌های پوشش اراضی را به اشیاء تصویری ارتباط می‌دهد. این نوع از طبقه‌بندی بر اساس منطق فازی متناسب با شرایطی است که مفسر برای هر کلاس تعیین می‌کند؛ این شرایط بوسیله توابعی که برای کلاس تعیین شود، بیان می‌گردد (فیضی‌زاده و همکاران، ۲۰۰۵). مبنای طبقه‌بندی شیء‌گرا فرایند قطعه‌بندی (سگمنت‌سازی) می‌باشد. در مرحله قطعه‌بندی، پیکسل‌های تصویر بر اساس تفاوت‌ها و شباهت‌های موجود میان آنها در زمینه ویژگی‌های طیفی و شکلی و با در نظر گرفتن درجه‌ای از ناهمگنی مجاز در هر قطعه، به گروه‌هایی تقسیم می‌شوند که این قطعه‌ها یا شیء‌های ساخته شده در گام بعدی به منظور شناسایی عوارض مورد نظر، کلاس‌بندی می‌شوند (اصغری سراسکانرود و ناصری، ۲۰۲۰). در فرآیند قطعه‌بندی مفسر می‌تواند با در نظر گرفتن پارامترهای شکل، بافت، ضریب فشردگی و معیار نرمی، فرایند قطعه‌بندی تصویر را انجام داده و بر اساس نسبت اهمیت هر یک از این عوامل در خصوصیات کلاس‌های مورد نظر برای استخراج از تصاویر ماهواره‌ای، نسبت اهمیت آنها را در فرایند قطعه‌بندی اعمال نماید (فیضی‌زاده و همکاران، ۲۰۱۵). در این پژوهش برای قطعه‌بندی از روش قطعه‌بندی چند مقیاسه استفاده شد. با توجه به اینکه هدف اصلی این پژوهش بررسی فرسایش خاک با استفاده از شش پارامتر اصلی نظیر کاربری اراضی، مدل رقومی ارتفاع، شیب و جهت شیب منطقه، نقشه تراکم رودخانه‌ها و فاصله از رودخانه‌ها است. بنابراین برای محاسبه وزن‌ها از نرم‌افزار SUPER DECISION 2.10.0 استفاده شد تا اهمیت معیارها با توجه به هدف پژوهش و مدل‌سازی مکانی کلاس‌ها مشخص شود. تغییرات در پوشش گیاهی ناشی از رویکردهای مدیریتی مختلف ممکن است منجر به تغییرات طولانی مدّت در خصوصیات خاک شود به‌طوری‌که خاک به شرایط اولیه خود برنگردد (آنسای و ایلپاس و سورومسه، ۲۰۲۰). بنابراین بر اساس هدف تحقیق، بالاترین وزن به پارامتر کاربری اراضی داده شد، به دلیل اینکه هدف عمده این تحقیق و فوکوس اصلی آن بر اهداف کشاورزی و مدیریت پایدار و حفاظت خاک می‌باشد. تا مدل ایجاد شده برای پیشبرد و استفاده از نتایج تحقیق برای کاربران و محققان کارآمد و موثر باشد. در نهایت لایه‌های به دست آمده برای محاسبه مساحت کاربری‌ها، تهیه نقشه خروجی مناسب و اعمال نمودن معیار کاربری در فرآیند نقشه‌بندی خطر فرسایش، به نرم‌افزار Arc GIS انتقال داده شدند.

### فرایند تحلیل ANP

فرایند تحلیل ANP (ساعتی، ۱۹۸۰) (ساعتی، ۱۹۴۹) محبوب‌ترین روش وزندهی است و در کاربردهای مختلف مورد استفاده قرار گرفته‌است. این روش بسیار شهودی بوده و ویژگی ارزشمند آن امکان استفاده از ترجیحات تصمیم‌گیر(ان) به منظور حل مسائل است (مونیر، ۲۰۱۱). رویکرد روش فرایند تحلیل ANP در حل مسائل پیچیده، تبدیل مسئله به سامانه‌ای از شبکه‌ها می‌باشد. این روش که رویکردی نیمه-کمی دارد (عبدی و همکاران، ۲۰۲۱). با استفاده از مقایسات زوجی انجام شده توسط تصمیم‌گیر(ان) به تعیین وزن معیارهای تصمیم‌گیری می‌پردازد (مونیر، ۲۰۱۱). هر چند این روش به دلیل سادگی و قدرتمندی در حل مسائل، یکی از پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد (فورمان و گاس، ۲۰۰۱) (وایدیا و کومار، ۲۰۰۶). ولی برخی معتقدند با وجود صحیح بودن مدل از نظر ریاضی، چون بر مفهوم تراگذری ریاضی استوار است، در واقعیت نمی‌تواند منطقی باشد (مونیر، ۲۰۱۱). در ادامه این روش به اختصار تشریح می‌گردد. در ابتدا مدل‌سازی مسئله یا ساختاربندی آن بوسیله تصمیم‌گیر(ان) یا متخصصان صورت می‌گیرد. در روش فرایند تحلیل ANP ساختارهای متفاوت به تولید رتبه‌بندی (وزن‌های متفاوت منجر می‌شود (بارزیلایی، ۱۹۹۸). در فرایند تحلیل بر خلاف روش‌هایی که از فاصله میان گزینه‌ها (معیارها) استفاده می‌کنند، از مقایسات زوجی جهت رتبه‌بندی استفاده می‌کند. در این گام معیارها دو به دو بر اساس اعداد ۱ تا ۹ مقایسه می‌شوند جدول (۲). پس از محاسبه ماتریس مقایسات زوجی، وزن معیارها با استفاده از روش ساعتی (ساعتی، ۱۹۸۰) محاسبه می‌گردد. فرایند ANP به دو قسمت تقسیم می‌شود: قسمت اول سطح کنترل سلسله مراتبی یا شبکه معیارها و زیر معیارها است که تراکنش‌ها را کنترل می‌کنند قسمت دوم شامل شبکه‌ای است که از عناصر و خوشه‌ها تاثیر می‌پذیرد. در ANP وابستگی داخلی یا خارجی بین خوشه‌ها و عناصر وجود دارد. عناصر موجود در یک گره (یا سطح) ممکن است همه یا قسمتی از عناصر سایر گره‌ها را تحت تاثیر قرار دهند. در یک شبکه ممکن است گره‌های مبدأ (اصلی) گره‌های میانی و گره‌های زیرین وجود داشته باشد. روابط درون یک شبکه با پیکان نشان داده شده است و جهت پیکان‌ها تعیین‌کننده جهت وابستگی می‌باشد. تکنیک‌های

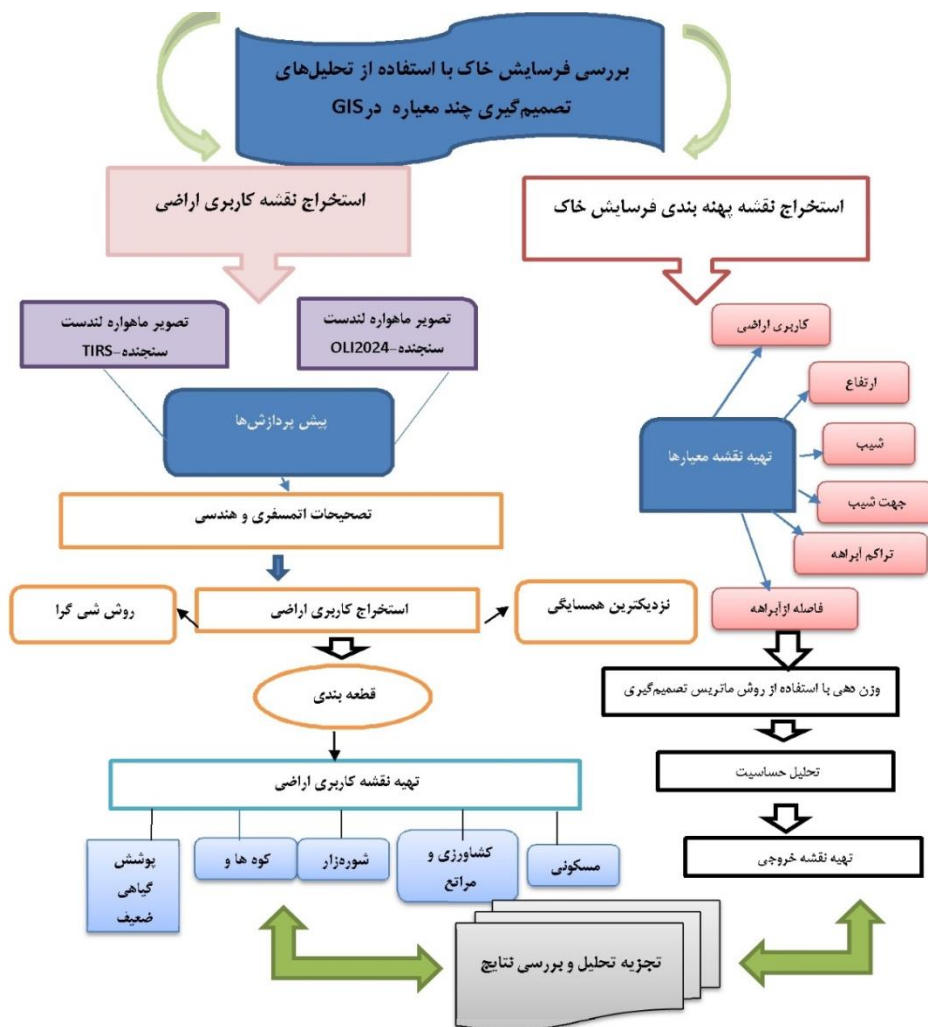
آنالیز چند معیاری MCDM، ابزارهای شناخته شده پشتیبان تصمیم‌گیری هستند که در ارتباط با تصمیم‌گیری در مسائل پیچیده، که جنبه‌های تکنولوژیکی، اقتصادی، محیطی و اجتماعی بایستی در نظر گرفته شوند، به کار گرفته می‌شوند. برای بهینه‌سازی طراحی کاربری‌های اراضی، این تکنیک‌ها به‌طور مکرر با GIS تلفیق شده‌اند. ANP به‌عنوان یک روش تصمیم‌گیری چند معیاری و چند هدفی، از مقایسه دو بدوی معیارها استفاده می‌کند تا به درجه‌بندی اولویت‌های مربوط به آلترناتیوها برسد (واگاس و ساعتی، ۱۹۹۱).

جدول ۲. اعداد متناظر با ترجیحات مقایسات زوجی

Table 2. Numbers corresponding to preferences of pairwise comparisons

۱	ترجیح یکسان (هر دو معیار به یک اندازه مهم یا ارجح هستند)
۳	کمی مرجح (یک معیار نسبتاً مهمتر از دیگری است ترجیح ضعیف)
۵	ترجیح قوی (یک معیار مهمتر از دیگری است)
۷	ترجیح خیلی قوی (یک معیار مهمتر از دیگری است)
۹	کاملاً مرجح (یک معیار بشدت مهمتر از دیگری است)
۲ و ۴ و ۶ و ۸	ترجیحات میانی

فلوچارت مربوط به فرآیند پژوهش، در شکل ۲، نمایش داده شده است.



شکل ۲. فلوچارت مراحل تحقیق

Fig. 2. Research steps flowcharts

بنابراین مراحل به ترتیب زیر می‌باشد:

### مراحل روش مارکوس

#### MARCOS (Measurement Alternatives and Ranking according to Compromise Solution)

اولین گام در این روش تعیین عوامل و پارامترهای پژوهش است. با بررسی پیشینه پژوهش و با توجه به شرایط طبیعی و انسانی منطقه؛ عوامل شیب، کاربری اراضی، فاصله از آبراهه و تغییرات ارتفاعی، به عنوان عوامل مؤثر در فرسایش خاک حوضه تعیین گردید. در مرحله بعد، لایه‌های اطلاعاتی مکانی مربوط به هر معیار، در محیط GIS تهیه شد. لایه شبکه رودخانه با استفاده از نقشه رودخانه‌های منطقه شهرستان، ترسیم شد. لایه شیب و لایه جهت شیب، در Arc map و با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی تهیه شد و لایه‌های فاصله از رودخانه و تراکم از رودخانه نیز، در محیط Arc map ترسیم شدند.

گام دوم - تشکیل ماتریس تصمیم: ماتریس تصمیم در این روش نیز به صورت معیار-گزینه است. یعنی یک ماتریسی که ستون‌های آن را معیارهای مسأله و سطرها را گزینه‌ها تشکیل می‌دهند و هر سلول نیز در واقع امتیاز هر گزینه نسبت به هر معیار است. مرحله سوم تعیین ایده آل و ضد ایده آل: در این بخش بر اساس روابط ۱ و ۲، مقادیر ایده آل (AI) و ضد ایده آل (AAI) مشخص می‌شود. در روابط زیر، عبارت B (Benefit) به معنی معیارهایی که جنبه سود و عبارت C (Cost) به معنی معیارهایی که جنبه هزینه دارند (مددی و همکاران، ۲۰۲۴). با توجه به هدف پژوهش حاضر، جنبه سود و هزینه در رابطه با نقش معیارها، در ایجاد خطر فرسایش خاک می‌باشد.

$$AI = \max x_{ij} \text{ if } j \in B \text{ and } \min x_{ij} \text{ if } j \in C \quad \text{رابطه ۱}$$

$$AAI = \min x_{ij} \text{ if } j \in B \text{ and } \max x_{ij} \text{ if } j \in C \quad \text{رابطه ۲}$$

وزن‌دار کردن ماتریس نرمال: به منظور حل هر تکنیک چند معیاره باید وزن معیارها از پیش تعیین شده باشد. در این پژوهش، جهت وزندهی عوامل از روش ANP، استفاده شده است. در این روش، وزندهی باتوجه به نقشه‌های معیار و میزان همبستگی، تضاد و انحراف معیار بین لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده، تعیین می‌گردد و نظر کارشناس دخیل نمی‌باشد (علینژاد و خلیلی، ۲۰۱۹). لذا، استفاده از روش ANP، در وزندهی معیارها در این تحقیق می‌تواند گامی در جهت حل معضل استقلال صفات از یکدیگر باشد که به هنگام مقایسه زوجی در چهارچوب روش فرایند تحلیل ANP و فرایند تحلیل شبکه‌ای، عینیت می‌یابد.

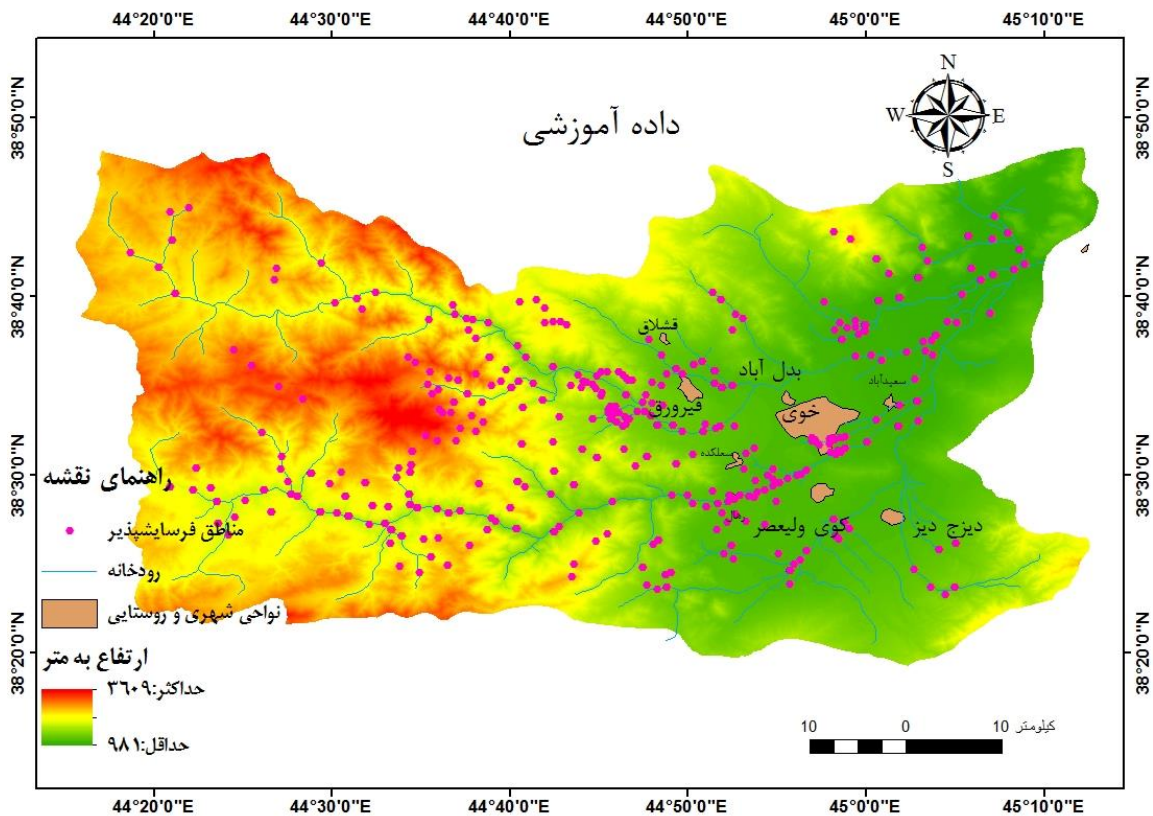
مرحله چهارم - استاندارد سازی: با نظر به این موضوع که در فرایند ارزیابی معیارها در واحدهای اندازه‌گیری متفاوتی مورد سنجش قرار گیرند (مانند درصد در اندازه‌گیری شیب و متر در اندازه‌گیری فاصله از رودخانه)، نمی‌توان عملیات ریاضی همچون جمع و تفریق را بر روی آنها به انجام رسانید (مددی و همکاران، ۲۰۲۴).

سپس تمام معیارها برای به دست آوردن مدلسازی مکانی فرسایش خاک به روش رتبه‌ای استانداردسازی شدند. بعد از اتمام استانداردسازی، با استفاده از نرم‌افزار سوپردسیژن کلاسترهای مختلف تشکیل شد. در مرحله بعد یکسری معیارهای اصلی به همراه زیرمعیارها خوشه بندی شدند. بعد از برقراری کانوکشن، وزندهی این‌ها انجام شد. و نسبت اهمیت هر کانوکشن نسبت به یکدیگر بیان شد.

### نتایج و بحث

#### تحلیل حساسیت وزن‌های معیارها

به منظور ارزیابی نتایج حاصل از روش مورد استفاده در این پژوهش تعداد ۵۴۸ نقطه در بررسی‌های میدانی و مشورت با افراد بومی بر اساس تجربه آنها از فرسایش خاک ۱۴۰۳ انتخاب شده است. شکل (۳) نقاط انتخاب شده و موقعیت آنها در تحقیق حاضر را نشان می‌دهد.



شکل ۳. نقاط حقیقی انتخاب شده جهت ارزیابی نتایج مدل مورد استفاده در پژوهش بر روی مدل فرآیند تحلیل ANP

Fig. 3. Selected real points to evaluate the results of the model used in the research on the analysis process model ANP

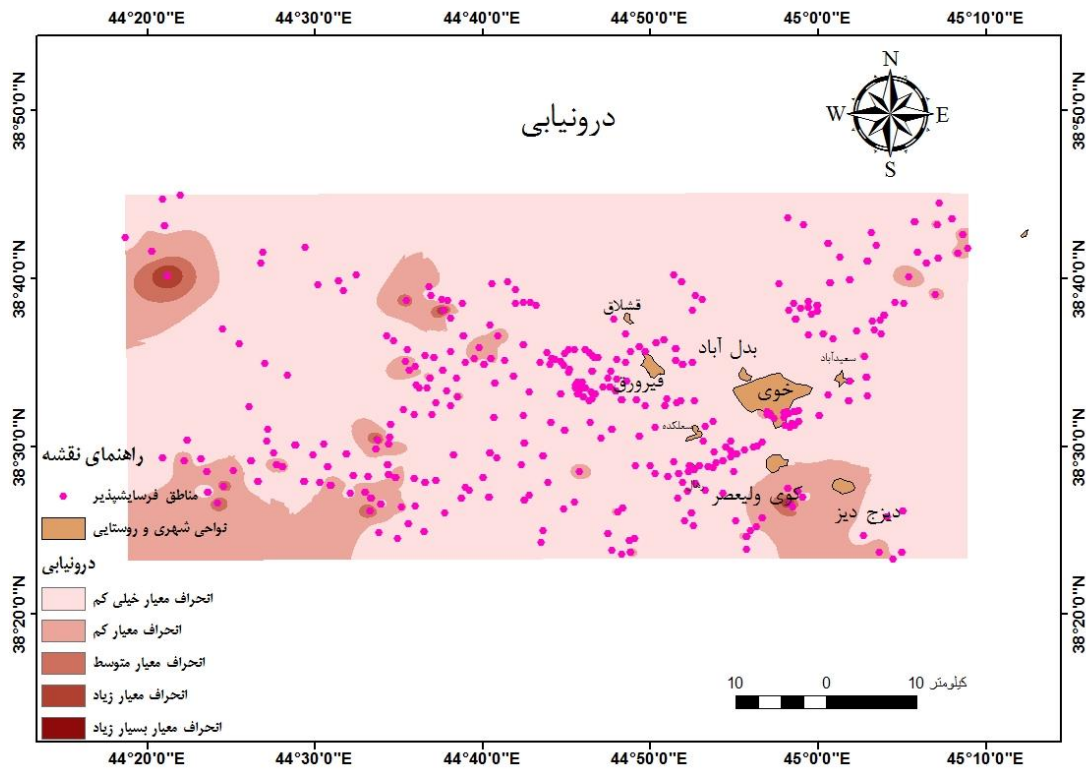
به منظور ارزیابی مدل مورد استفاده در پژوهش، نقاطی که حساسیت خیلی کم داشته باشند، نقاط بدون فرسایش و نقاطی که حساسیت زیاد یا خیلی زیاد داشته باشند، نقاط فرسایش پذیر در نظر گرفته شده‌اند. هدف از این کار دانستن ارزش هر داده هر یک از معیارهای ما در داده‌های آموزشی به چه شکلی می‌باشد. سپس معیارها به صورت خطی و فازی استاندارد سازی شدند. برخی از معیارها، Benefit (کاربری اراضی، جهت شیب، شیب، تراکم آبراهه) و برخی دیگر Cost (مدل رقومی ارتفاع و فاصله از آبراهه) بودند و اینها هم در ارزیابی مدل لحاظ شدند. در مرحله بعد، وزن‌های مینیوم (وزن‌های استخراج شده از نرم‌افزار سوپردسیژن) و وزن‌های ماکسیمم با اضافه نمودن یک مقدار درصدی به هریک از وزن‌ها، رنک‌ها (Rank) محاسبه شدند. در جدول زیر، نمایی از این کار نشان داده شده است.

جدول ۳. نمایشی از Rank و معیارهای استاندارد شده

Table 2. View of Ranks and standardized criteria

معیار استاندارد شده کاربری اراضی	معیار استاندارد شده مدل رقومی ارتفاع	معیار استاندارد شده جهت شیب	معیار استاندارد شده تراکم ابراهه	معیار استاندارد شده شیب	معیار استاندارد شده فاصله از ابراهه	متوسط	متوسط Rank	مینیموم Rank	ماکسیموم Rank	انحراف معیار استاندارد Rank
۱	۱	۱	۰/۴	۰/۳۳	۱	۰/۸۳	۲۸	۲۸	۲۸	۰
۱	۱	۱	۰/۴	۰/۳۳	۱	۰/۸۳	۲۷	۲۵	۲۷	۰
۱	۱	۱	۰/۴	۰/۳۳	۱	۰/۸۳	۲۶	۲۴	۲۶	۰
۱	۱	۱	۰/۴	۰/۳۳	۱	۰/۸۳	۲۵	۲۳	۲۵	۰
۱	۱	۱	۰/۴	۰/۳۳	۱	۰/۸۳	۲۴	۲۲	۲۴	۰
۱	۱	۱	۰/۴	۰/۳۳	۱	۰/۸۳	۲۳	۲۱	۲۳	۰
۱	۱	۱	۰/۴	۰/۳۳	۱	۰/۸۳	۲۲	۲۰	۲۲	۰
۱	۰/۵	۱	۰/۲	۰/۳۳	۱	۰/۶۴	۴۳۱	۴۲۷	۴۳۲	۱
۰/۸	۰/۵	۱	۰/۲	۰/۳۳	۰/۵	۰/۵۸	۴۶۰	۴۶۰	۴۶۰	۰
۰/۸	۰/۳۳	۱	۰/۴	۰/۳۳	۰/۵	۰/۷۲	۲۸۱	۲۶۲	۲۸۸	۴
۰/۸	۰/۳۳	۱	۰/۲	۰/۳۳	۱	۰/۸۵	۸	۵	۱۰	۱
۰/۸	۰/۲۵	۱	۰/۴	۰/۳۳	۱	۰/۶۷	۴۲۹	۴۲۴	۴۳۲	۲
۰/۸	۰/۳۳	۱	۱	۰/۳۳	۰/۵	۰/۷۴	۲۰۸	۱۶۷	۲۲۸	۱۴
۰/۸	۰/۳۳	۱	۱	۰/۳۳	۱	۰/۷۴	۲۰۷	۱۶۶	۲۲۷	۱۴
۰/۸	۰/۲۵	۱	۰/۲	۱	۱	۰/۵۶	۴۶۹	۴۶۹	۴۶۹	۰
۰/۸	۰/۲۵	۱	۰/۲	۰/۶	۰/۵	۰/۵۱	۵۱۸	۵۱۸	۵۲۲	۱
۰/۸	۰/۳۳	۱	۰/۲	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۵۲	۴۸۶	۴۶۶	۴۶۷	۰
۱	۱	۱	۰/۴	۰/۳۳	۰/۵	۰/۵۷	۲۱	۱۹	۲۱	۰
۱	۱	۱	۰/۶	۰/۳۳	۱	۰/۸۳	۱۶	۱۶	۱۸	۰
۱	۱	۱	۰/۶	۰/۳۳	۱	۰/۸۴	۱۵	۱۵	۱۷	۰
۱	۱	۱	۰/۴	۰/۳۳	۱	۰/۸۳	۲۰	۱۸	۲۰	۰
۱	۱	۱	۰/۶	۰/۳۳	۱	۰/۸۴	۱۴	۱۴	۱۶	۰
۱	۱	۱	۰/۶	۰/۳۳	۱	۰/۸۴	۱۳	۱۳	۱۵	۰
۱	۰/۳۳	۱	۰/۲	۰/۳۳	۱	۰/۷۷	۱۳۴	۹۶	۱۵۳	۱۸

سپس در جدول توصیفی داده‌های آموزشی، بعد از محاسبه رنک‌ها، تغییرپذیری مکانی محاسبه شد. در نهایت، بعد از درون‌یابی به روش توان مجذور معکوس فاصله، نقشه خروجی حاصل بر اساس انحراف معیار استاندارد به ۵ کلاس طبقه‌بندی شد. در این نقشه، قسمت‌های که انحراف معیار بالایی (کلاس ۵ و ۴) داشتند، نشان دهنده تغییرپذیری رنک‌ها هستند. به این معنی که معیارهای تحقیق، همبستگی خوبی را با داده‌های آموزشی نشان ندادند. یعنی در کلاس ۴ و ۵ نتایج از دقت خوبی برخوردار نیست. به عبارت دیگر، هرچقدر در نقشه STD کمتری داشته باشند، نشان دهنده دقت بالایی انتخاب وزن معیارهاست. در مدل ایجاد شده این پژوهش، اکثر مناطق STD پایینی دارند فقط بخش‌های کوچکی احتمالاً به دلیل وجود داده پرت (که محدوده خیلی کوچکی دارند) بنابراین در نظر گرفته نشدند. به عبارت دیگر خطای کمتری وجود دارد. در شکل (۴) نقشه انحراف معیار استاندارد نشان داده شده است.



شکل ۴. نقشه خروجی (تحلیل حساسیت) انحراف معیار استاندارد حاصل به روش درون یابی مجذور توان معکوس فاصله

Fig. 4. Output map (sensitivity analysis) Standard deviation obtained by inverse power square interpolation method of distance

قدم بعدی، محاسبه اولویت معیارها نسبت به یکدیگر می باشد. جدول های مربوط به بیشترین مشارکت هر کدام از داده ها در زیر نشان داده شده است.

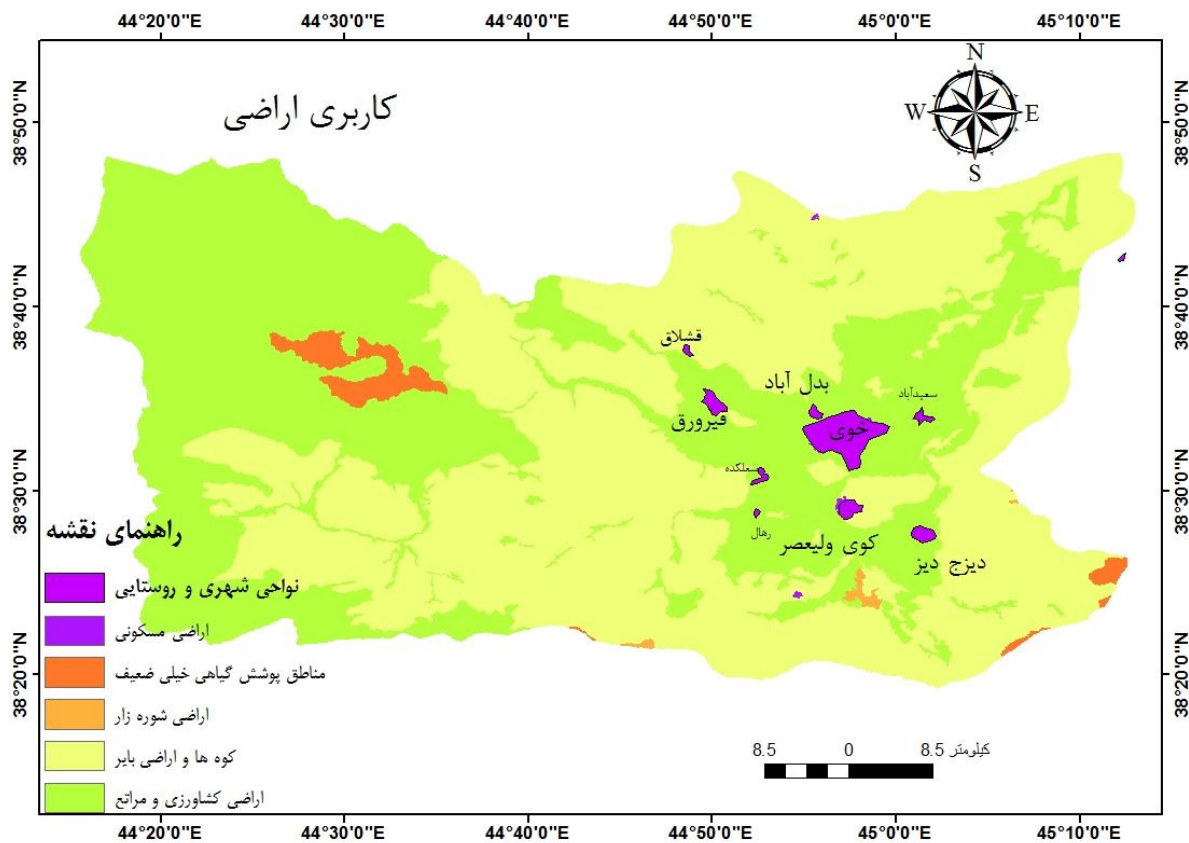
جدول ۴. متوسط شیفت در رنکها

Table 4. Average shift in ranks

معیار	S	ST
کاربری اراضی	۰/۱۱۲	۰/۰۳۴
مدل رقمی ارتفاع	-۰/۰۵۸	۰/۰۸۸
جهت شیب	۰/۱۲۶	-۰/۱۲۴
تراکم آبراهه	۰/۹۷۱	-۰/۸۸۸
شیب	۰/۰۰۶	-۰/۰۱۴
فاصله از آبراهه	-۰/۰۰۹	-۰/۰۰۱
معیار	S%	ST%
کاربری اراضی	۱۱/۲	۰/۳
مدل رقمی ارتفاع	-۵/۸	۷/۷
جهت شیب	۱۲/۶	۱۰/۸
تراکم آبراهه	۹۷/۱	۷۷/۲
شیب	۰/۶	۱/۲
فاصله از آبراهه	-۰/۹	۰/۱

با توجه به نتیجه حاصله، (به دلیل منفی بودن) معیارهای فاصله از آبراهه و مدل رقومی ارتفاع با داده‌های آموزشی ارتباط خوبی برقرار نکردند. می‌توان این‌ها را حذف کرد. اما چون در این پژوهش از شش معیار برای مدلسازی مکانی فرسایش خاک استفاده شده است، در نتیجه هیچکدام از معیارها حذف نشدند. البته حذف کردن معیارهایی که همبستگی خوبی با داده‌های آموزشی ندارند، در جایی می‌توان این کار را انجام داد که حداقل تعداد بالاتر از ۱۰ معیار وجود داشته باشد. اما در بحث‌های دیگر می‌توان وزن برخی از معیارها را کم کرد. این کار، واقعیت‌های موجود در منطقه را از طریق تحلیل همبستگی بین داده‌های آموزشی به داخل مدل می‌آورد.

بعد از انجام مراحل طبقه‌بندی شیگرا؛ نواحی اراضی مسکونی، کشاورزی و باغی و مراتع، اراضی کوه‌ها و بایر، اراضی شوره زار و در نهایت کلاس پوشش گیاهی خیلی ضعیف به عنوان طبقات کاربری اراضی منطقه شناسایی گردید. که بیشترین مساحت کاربری مربوط به کلاس طبقه‌بندی بایر و ارتفاعات است (۵). فرسایش خاک، به تقلیل میزان ظرفیت رطوبتی، کم شدن عمق و از بین رفتن مواد آلی و در نهایت پایین آمدن پتانسیل باروری خاک منجر می‌شود (پرویزی و همکاران، ۱۳۹۹).



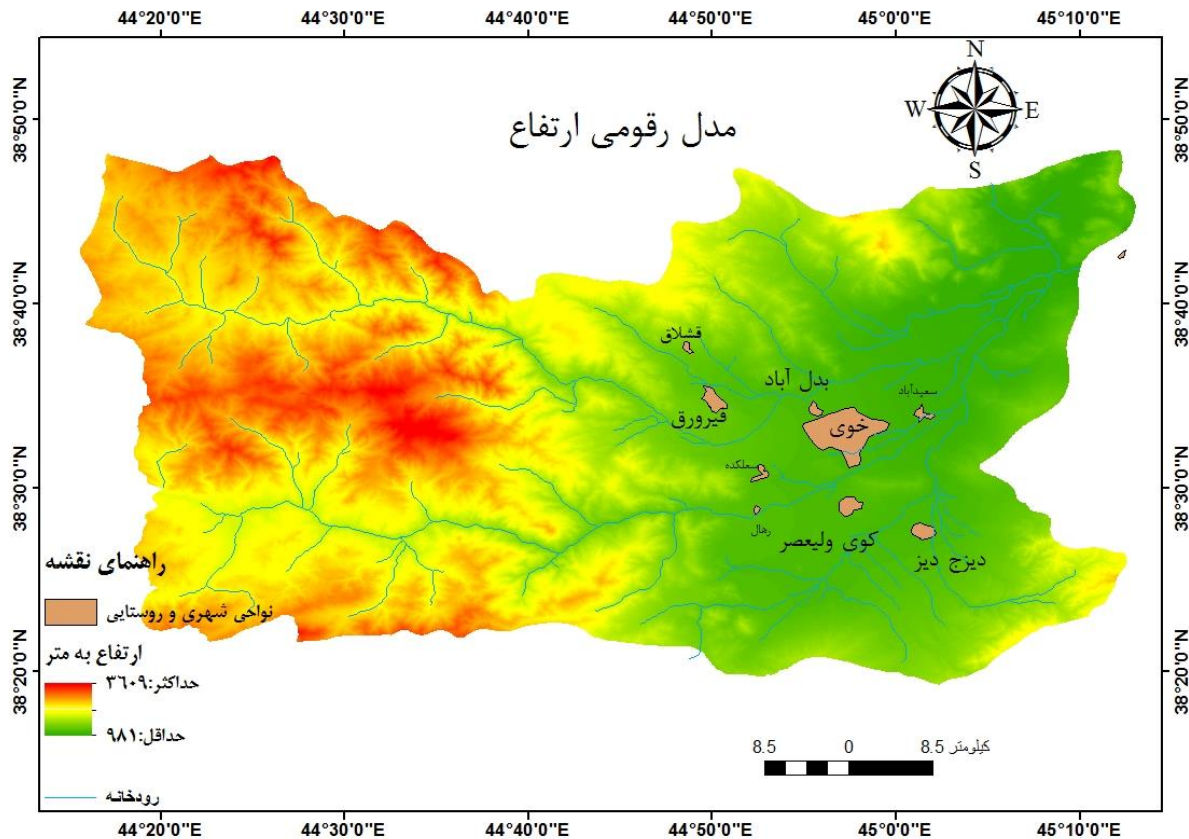
شکل ۵. نقشه کاربری اراضی

Fig. 5. Land use map

نقشه کاربری اراضی: مدیریت نامناسب خاک، همراه با تغییرات گسترده کاربری زمین، می‌تواند خاک را در معرض فرسایش قرار دهد و در نهایت پیامدهای مختلفی را به دنبال داشته باشد (کاستا و همکاران، ۲۰۲۰). بنابراین معیار کاربری اراضی یکی از عوامل بسیار مهم در گسترش فرسایش خاک می‌باشد. در اثر تغییر کاربری اراضی و تخریب پوشش گیاهی، قسمت اعظم نزولات تبدیل به رواناب شده، که علاوه بر هدررفت خاک و تولید رسوب باعث خسارات مالی و جانی فراوان ناشی از سیلاب نیز می‌شود (غلامی و همکاران، ۲۰۲۴).

## پهنه‌بندی فرسایش خاک در محدوده شهرستان خوی

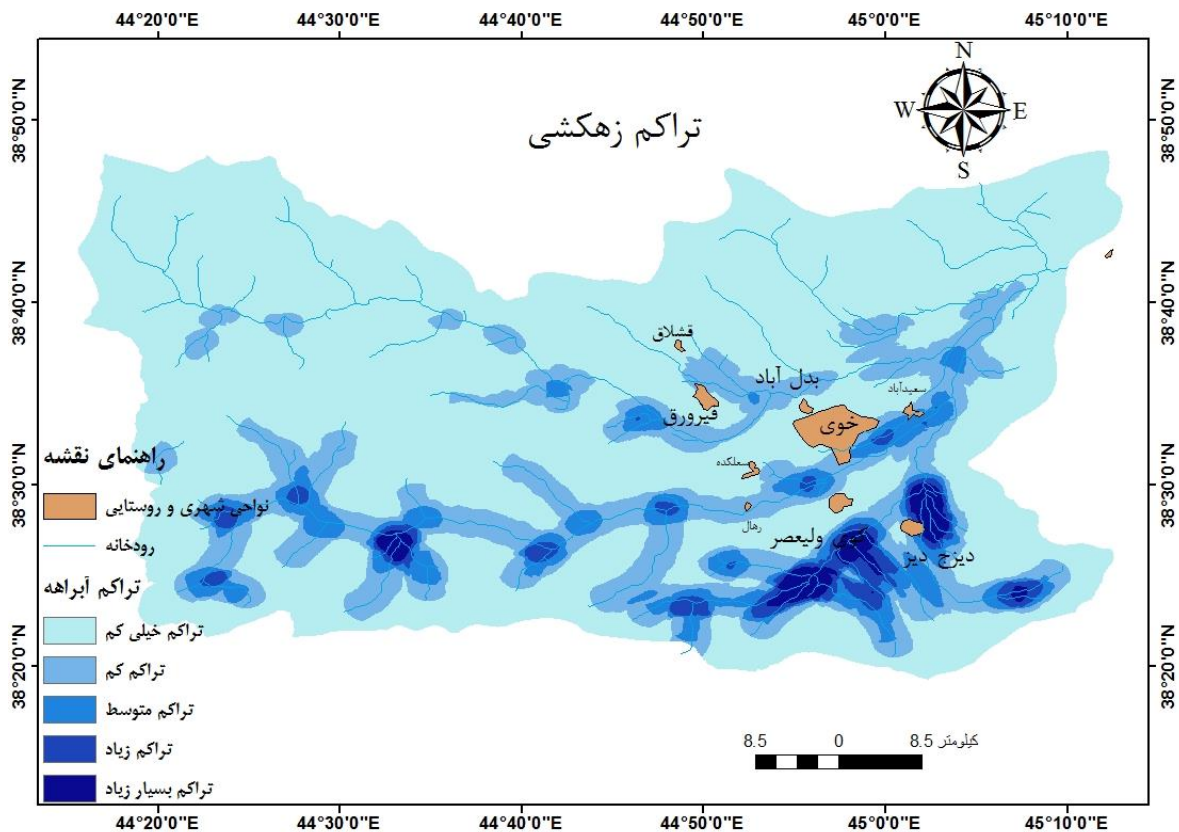
جهت پهنه‌بندی فرسایش با توجه به نقشه کاربری و نقشه سایر معیارهای طرح شده شکل‌های (۵ و ۶ و ۷ و ۸ و ۹ و ۱۰) ابتدا وزندهی معیارها انجام گردید. در جدول (۵)، مفروض پایه‌ای (ماتریس همبستگی، میزان اطلاعات) وزن نهایی حاصل از روش وزندهی ANP در بین معیارهای مطرح در پهنه‌بندی و مدل‌سازی فرسایش خاک منطقه، نمایش داده شده است. سپس با اعمال مراحل مختلف مدل بر روی نقشه‌ها، نقشه پهنه‌بندی فرسایش خاک منطقه در ۴ طبقه با فرسایش بسیار زیاد تا فرسایش کم، استخراج گردید.



شکل ۶. نقشه معیار مدل رقومی ارتفاع در پهنه‌بندی فرسایش خاک منطقه خوی

Fig. 6. Digital elevation model benchmark map in soil erosion zoning of the Khoy region

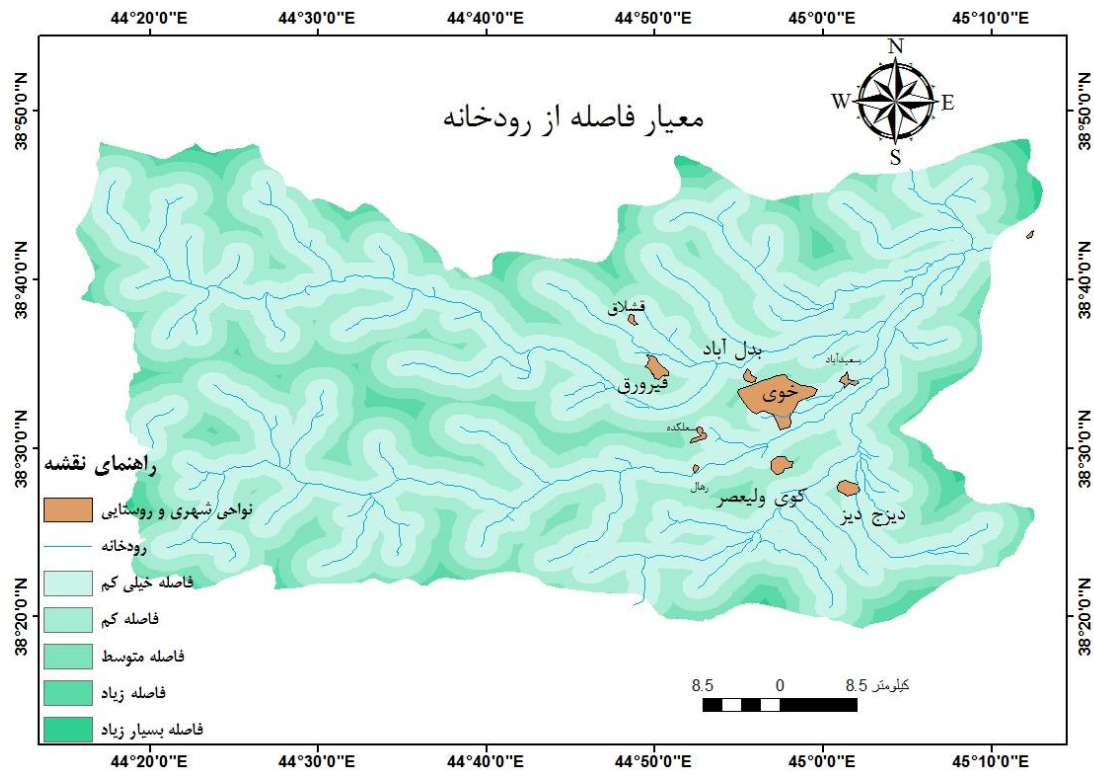
عامل درصد شیب که تابعی از درجه شیب است، منعکس کننده اثر درجه شیب بر میزان فرسایش خاک است (گاناسری و راماش، ۲۰۱۶). به طوری که در نقشه مدل‌سازی مکانی مشاهده شد، فاکتور شیب عامل موثری در فرسایش (کلاس فرسایش ۳) می‌باشد. این نتایج با یافته‌های پژوهش داوودی و همکاران (۲۰۲۴) مطابقت دارد، ایشان اشاره کردند که عامل پستی و بلندی مهمترین عامل فرسایش و انتقال رسوب در حوضه آبخیز مورد مطالعه تشخیص داده شد، به طوری که بیشترین نرخ فرسایش و رسوب در اراضی جنگلی با شیب بالای ۵۰ درصد بدست آمد و کمترین میزان فرسایش نیز مربوط به اراضی زراعی با شیب کم بوده است.



شکل ۷. نقشه معیار تراکم شبکه آبراهه در پهنه‌بندی فرسایش خاک منطقه خوی

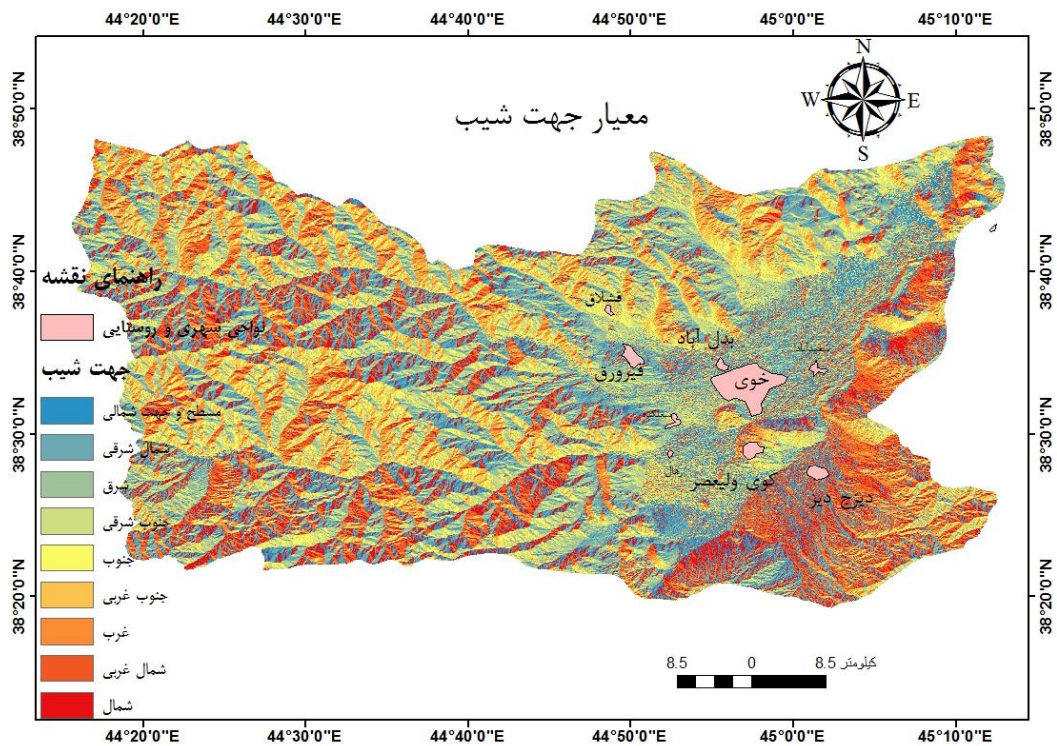
Fig. 7. Map of the density criteria of the watercourse network in the soil erosion zoning of the Khoy region

در بررسی نتایج مدل ایجاد شده، مناطق نزدیک رودخانه‌ها و با تراکم زهکشی بالا هستند، بیشتر مستعد فرسایش خاک می‌باشند (کلاس ۳). در بین اشکال مختلف فرسایش خاک، فرسایش آبی بالاترین سهم را در تخریب اراضی (گیلگای و مینل، ۲۰۱۶) دارد. به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که تحت سلطه آب و هوای موسمی استوایی (مجیدی و شاو و مالیک، ۲۰۲۱). رسوب بیش از حد همچنین باعث پر شدگی بستر آبراهه و انسداد جریان در رودخانه‌ها و در نتیجه بالا آمدن بستر رودخانه و افزایش احتمال خطر سیلاب می‌شود (کافلا و خانل و داهال، ۲۰۱۷).



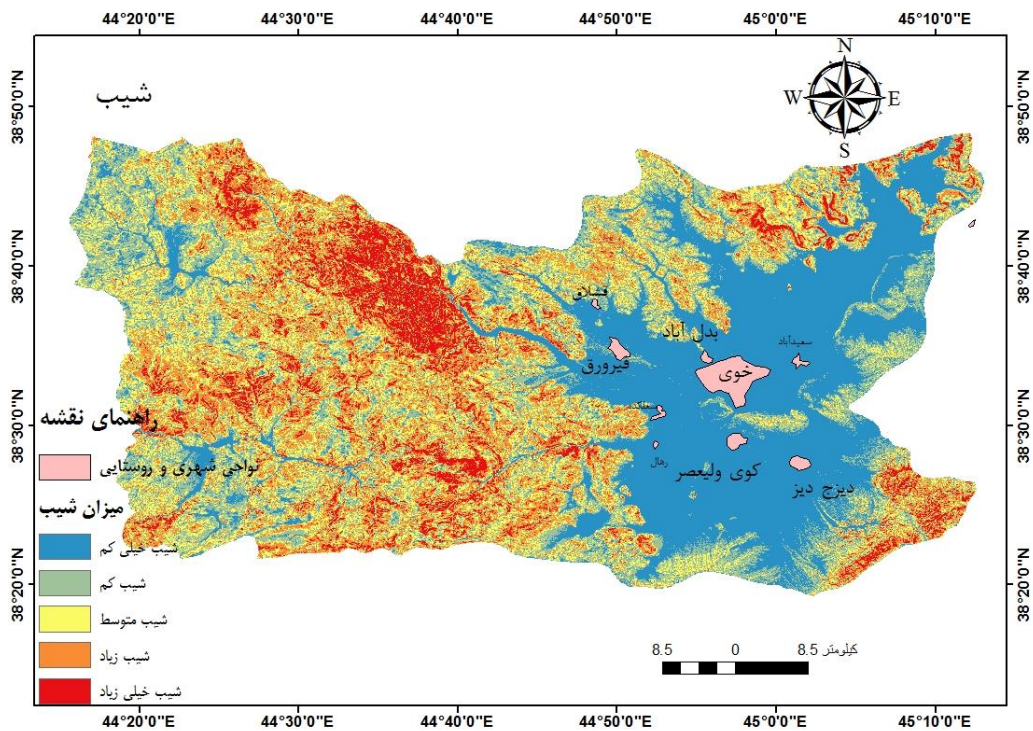
شکل ۸. نقشه معیار فاصله از رودخانه در پهنه‌بندی فرسایش خاک منطقه خوی

Fig. 8. Map of the distance criteria of the watercourse network in the soil erosion zoning of the Khoy region



شکل ۹. نقشه جهت شیب در پهنه‌بندی فرسایش خاک منطقه خوی

Fig. 9. Slope direction map in the soil erosion zoning of the Khoy region



شکل ۱۰. نقشه شیب در پهنه‌بندی فرسایش خاک محدوده شهرستان خوی

Fig. 10. Slope map in the soil erosion zoning of the Area of Khoy city

**وزندهی به روش فرایند تحلیل (ANP)**

به منظور محاسبه وزن معیارها با استفاده از روش فرایند تحلیل ANP، (فرایند تحلیل شبکه‌ای) ماتریس مقایسات زوجی، با استفاده از نرم‌افزار SuperDecision محاسبه شده است. وزن‌های بدست آمده از روش فرایند تحلیل ANP در جدول (۵) نشان داده شده است. همانگونه که در جدول (۶) مشاهده می‌گردد، روش فرایند تحلیل ANP بیشترین وزن را به معیار ششم (فاصله از آبراهه) و کمترین وزن را به معیار دوم (مدل رقومی ارتفاع) تخصیص داده است.

جدول ۵- ماتریس مقایسات زوجی نهایی

Table 5. Final pairwise comparison matrix

سطوح خوشه بندی		هیدرولوژی		کاربری اراضی	توپوگرافی		
		تراکم آبراهه	فاصله از آبراهه	کاربری اراضی	جهت شیب	ارتفاع	شیب
هیدرولوژی	تراکم آبراهه	۰/۰۰	۰/۶۷	۰/۱۰	۰/۰۶۷	۰/۰۵۶	۰/۲۵
	فاصله از آبراهه	۰/۳۳	۰/۲۷	۰/۴۰	۰/۲۷	۰/۲۸	۰/۸۳
کاربری اراضی		۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۰۰	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳
توپوگرافی	جهت شیب	۰/۰۸	۰/۸۲	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۰۷	۰/۲۵
	ارتفاع	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۱۵	۰/۰۸۳	۰/۰۴	۰/۰۸
	شیب	۰/۲۲	۰/۲۱	۰/۳۰	۰/۲۵	۰/۲۳	۰/۰۰

جدول ۶- وزن‌های به دست آمده از نرم‌افزار سوپر دسیژن

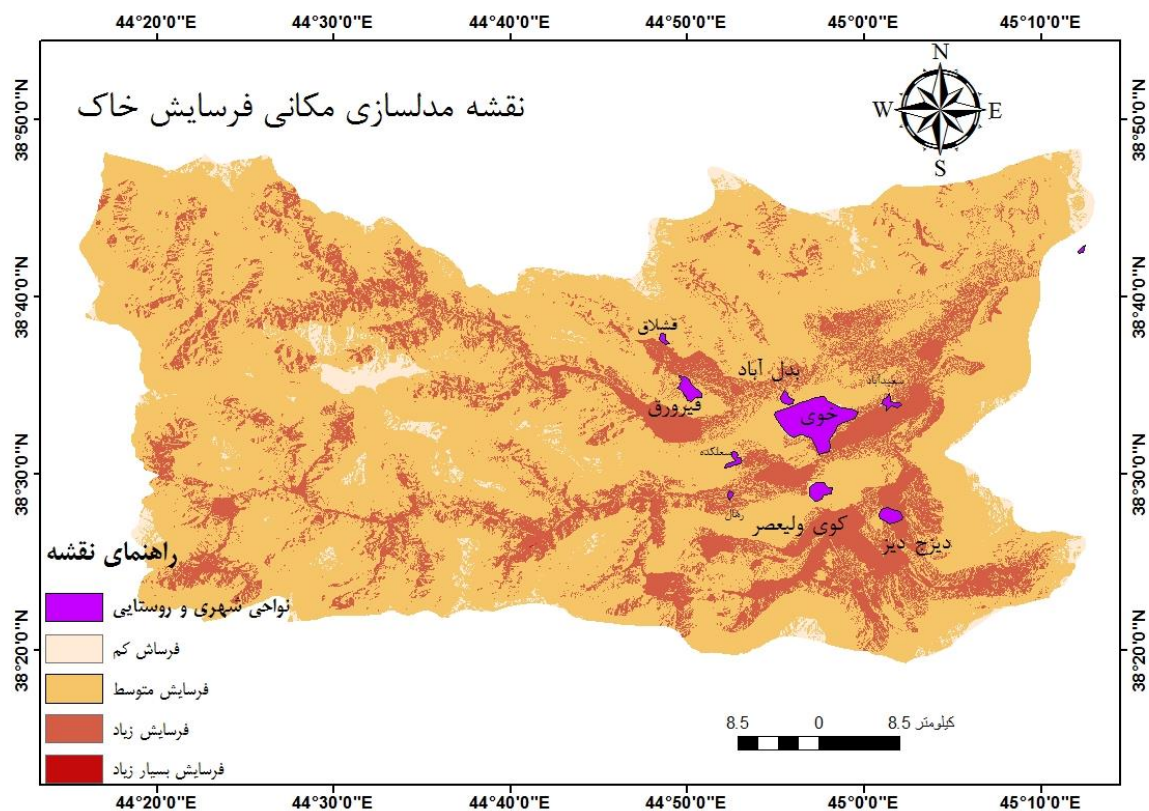
Table 6. Weights obtained from super decision Software

معیار	شیب	جهت شیب	ارتفاع	کاربری اراضی	فاصله از رودخانه	تراکم رودخانه
وزن محاسبه شده	۰/۲	۰/۰۹۸	۰/۰۷۹	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۰۱

با توجه به نتایج حاصله، معیارهای فاصله از رودخانه، کاربری اراضی و شیب، به ترتیب با مقادیر وزنی ۰/۲۷۱، ۰/۲۵ و ۰/۱۹۷، بیشترین مقدار وزنی رو دریافت کردند. با توجه به تصمیم‌گیری‌هایی که در نرم‌افزار سوپردسیژن، گرفته شد به دلیل اینکه در این منطقه با توجه به فرسایش خاک و شستشوی مزارع نزدیک به رودخانه‌ها در اثر بالا آمدن و طغیان رودخانه و همچنین به کاربری‌های اراضی که سبب از دست رفتن خواص کیفی و کمی خاک‌های این مناطق می‌شوند و با توجه به هدف پژوهش حاضر، که مطالعه اصلی بر روی فرسایش خاک در مناطق کشاورزی می‌باشد، در نتیجه این وزن‌ها کاملاً متناسب با این مناطق و هدف این تحقیق می‌باشد. تغییرات کاربری اراضی برای کشت‌های بلندمدت و مستمر همراه با عملیات کشاورزی نامناسب می‌تواند شاخص‌های کیفیت خاک اعم از فیزیکی، شیمیایی، مینرالوژیکی و فرایندهای خاکسازی را تحت تاثیر قرار دهد (رضاپور و صمدی، ۲۰۱۲).

### مدلسازی مکانی و تهیه نقشه حساسیت فرسایش خاک

پس از محاسبه وزن معیارهای تصمیم‌گیری از روش (روش تصمیم‌گیری چند شاخصه) ANP<sup>۱</sup>، میزان حساسیت فرسایش خاک هر سلول مکانی در محیط GIS با ادغام لایه معیارهای تصمیم‌گیری محاسبه شده‌است. با محاسبه شاخص حساسیت فرسایش خاک برای تمام سلولهای مکانی منطقه مورد مطالعه، نقشه نهایی حساسیت فرسایش خاک تهیه شد. سپس نقشه نهایی حساسیت فرسایش خاک در محیط GIS در ۴ کلاس با میزان حساسیت کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شده‌است.



شکل ۱۱. نقشه پهنه‌بندی فرسایش خاک محدوده شهرستان خوی

Fig. 11. map in the soil erosion zoning of the Area of Khoy city

<sup>۱</sup>. Analytic Network Process

با توجه به نقشه پهنه‌بندی فرسایش محدوده مورد مطالعه، مشاهده می‌گردد که بیشترین مساحت حاصله از مدلسازی فرسایش خاک مربوط به طبقه فرسایش متوسط بوده که تقریباً شامل کلاس‌های بایر و کوه‌ها و بخشی از زمین‌های کشاورزی می‌باشد. با توجه به نتایج حاصله و مقدار مساحت طبقات فرسایش بسیار زیاد و زیاد، می‌توان بیان داشت، محدوده شهرستان خوی از لحاظ شرایط منطقه‌ای، اعم از وجود (آبرفت‌های تحکیم نشده دشت سیلابی، رسوبات سیلابی و رودخانه‌ای، شن و ماسه‌های آبراهه‌ای جدید)، خاک‌های سست و آبرفتی، شیب زیاد) و فراوانی شبکه آبراهه (رودخانه اصلی قطورچای یا الندا)، از نظر فرسایش پذیری حائز پتانسیل بسیار بالایی است. به طوریکه در طی پیمایش‌های میدانی به عمل آمده، انواع فرم‌های فرسایشی (ورقه‌ای یا سطحی، توده‌ای، شیاری و کنار رودخانه‌ای) در سطح منطقه مشاهده می‌گردد. و در مناطق با تراکم بالا و مزارع حاشیه رودخانه‌ها فرسایش در کلاس فرسایش زیاد قرار گرفته است. در اطراف رودخانه‌های جاری در مراتع بالادست واقع در قسمت‌های شمالی و پرشیب محدوده و همچنین در کل مسیر رودخانه از تا خروجی (به ویژه در منطقه فیرورق و بدلان و جاده مرزی قطور و بخش‌های جنوبی این منطقه)، فرسایش جانبی یا کناری رخ داده است. بخصوص در منطقه فیرورق که اغلب زمین‌های کشاورزی باغی هستند در مناطق تخریب شده، اراضی زراعی موجود بر روی شیب‌های تند و دیپ‌زارهای منطقه، فرسایش شیاری قابل مشاهده می‌باشد. علاوه بر این، اکثراً در مراتع واقع در مناطق مرتفع و پرشیب (مناطق با ارتفاع بالای ۱۷۵۰ متر و با شیب بیش از ۴۰ درصد)، نیز فرسایش نواحی اطراف رودخانه و شیاری دیده می‌شود. با توجه به وجود چرای بیش از حد دام، در مراتع مناطقی همچون؛ قطور، فیرورق بیلاکات و مراتع فرسایش سطحی مشاهده می‌گردد. با توجه به اینکه، بخش زیادی از اراضی شهرستان خوی تحت کشت محصولات زراعی می‌باشد و در باغات هم عمدتاً درختان گیلاس و آلبالو کاشت می‌شوند، کاشت این محصولات در زمین‌های شیبدار، به فرسایش و لغزش خاک، کاهش میزان تغذیه آب‌های زیرزمینی منجر خواهد شد و کیفیت فیزیکی و شیمیایی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بدین صورت که با کشت و زراعت در جهت شیب به تدریج، مواد مفید مغذی داخل خاک شسته شده و قدرت حاصلخیزی خاک پس از چندین سال از بین رفته و احتمال فرسایش بیشتر می‌شود. همچنین با توجه به نتایج به دلیل وجود زمین‌های مرتعی بیشتر و روستاهای بیشتر این مناطق عمدتاً تحت تأثیر چرای دام‌ها قرار می‌گیرند بنابراین، چرای بیرویه دام، عدم توجه به ظرفیت چرا و غافل بودن از اثرات چرای سنگین بر این اراضی، علاوه بر تخریب پوشش گیاهی منطقه، به‌طور ثانویه سبب فزونی سایر مخاطرات محیطی عمدتاً فرسایش خاک می‌گردد.

## نتیجه‌گیری

آگاهی از وضعیت فرسایش خاک در حوضه‌های اصلی کشور نقش مهمی در مدیریت هرچه بهتر آنها دارد. با این حال، به دلیل فقدان داده‌های مناسب و کافی، تعیین مقدار فرسایش خاک و پیامدهای ناشی از آن به ویژه در حوضه‌های بزرگ با محدودیت‌هایی همراه است. پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیرات معیارهای موجود بر فرسایش پذیری خاک در منطقه شهرستان خوی، با استفاده از تکنیک‌های دورسنجی و تحلیل چندمعیاره ANP انجام شده است. یکی از راه‌های کاهش و جلوگیری از خسارت‌های احتمالی فرسایش خاک مزارع کشاورزی و بالا بردن آگاهی‌های اهالی منطقه، شناخت و پهنه‌بندی نقشه فرسایش خاک می‌باشد. در این پژوهش تلاش بر این بود که براساس فنون سنسجش از دور RS و با استفاده از نرم‌افزار GIS که به عنوان یکی از فنون برجسته تحلیل چند معیاری محسوب می‌شود تأثیر فاکتورهای دخیل در شکل‌گیری پتانسیل فرسایش خاک مورد توجه قرار گیرد. بنابر نتایج حاصل از وزن‌دهی از بین عوامل ایجاد فرسایش خاک عوامل هیدرولوژی فاصله از رودخانه با ضریب وزنی (۰٫۲۷۱)، کاربری اراضی با ضریب وزنی (۰٫۲۵۰) و شیب با ضریب وزنی (۰٫۱۹۷) به ترتیب عوامل مهم در فرسایش خاک در این منطقه هستند. با توجه به نتایج حاصله؛ وضعیت خاک‌های منطقه رو به فرسایش هستند و عمدتاً بیشتر اراضی شامل گروه فرسایش متوسط (کلاس ۲) هستند سپس گروه بعدی فرسایش زیاد (کلاس ۳) ک عمدتاً خاک‌های کشاورزی اطراف رودخانه‌ها و زمین‌های شیبدار می‌باشند. و لذا در این راستا باید اقدامات حفاظتی و مدیریت پایدار خاک انجام شود و با توجه به تأثیرات گسترده فرسایش خاک بر جنبه‌های مختلف زندگی انسان، مطالعه و ارزیابی دایمی آن می‌تواند به اتخاذ تصمیمات درست برای مقابله با این بحران کمک کننده باشد. اولویت‌بندی حوضه‌های آبریز از لحاظ تعیین مناطق بحرانی تحقق فرسایش، با هدف

اقدامات پیشگیرانه در مدیریت آبریز و کاهش اثرات زاینبار ناشی از فرسایش خاک، بسیار پر اهمیت است (مانیخاندان و رانگاراجان، ۲۰۲۳). بنابراین پیشنهاد می‌شود از عملیات حفاظت خاک و آب به‌ویژه در مناطق شیب‌دار (ایجاد بندهای حفاظتی) و همچنین مناطق بالادست محدوده استفاده شود (بخصوص در مناطق باغی حاشیه رودخانه‌ها). بنابراین، اطلاع از روند فرسایش در بازه‌های زمانی مختلف می‌تواند در تعیین الگوی پراکنش فرسایش و اثرات آن در گذر زمان کمک کند تا تصمیم‌گیران ضمن پایش و ارزیابی اقدامات انجام شده در زمینه حفاظت خاک و آب، تصمیمات مقتضی را برای شرایط فعلی و آینده حوضه‌های آبخیز بگیرند. همچنین باید با توجه به تغییر کاربری اراضی در این منطقه اقداماتی برای حفاظت خاک و آب در مناطق با پتانسیل فرسایشی بالا انجام شود. همچنین به نظر می‌رسد تصویب قوانین مناسب برای جلوگیری از تغییر کاربری اراضی می‌تواند به کاهش فرسایش خاک کمک کند.

### محدودیت‌ها و پیشنهادات

در ارتباط با محدودیت‌های اجرای تحقیق، با انجام این تحقیق، مشخص شد که کیفیت داده‌ها و دسترسی به داده‌ها با دقت مکانی بالا یکی از چالش‌های اصلی مطالعات خاک می‌باشد. چرا که به جهت محدودیت داده‌های خاک و فقدان این داده‌ها برای بسیاری از دشت‌های کشور، تهیه داده‌های دقیق خصوصا در ارتباط با نوع خاک از چالش‌های اصلی اجرای چنین تحقیقاتی است که پیشنهاد می‌شود، تحقیقات آتی چنین مواردی را مد نظر قرار دهند. در این خصوص خاطر نشان می‌سازد که هرچند تهیه این اطلاعات امروز از تصاویر ماهواره ای با دقت قابل قبولی امکانپذیر است، اما لزوم مطالعات گسترده میدانی برای چنین امری اجتناب ناپذیر است که داده‌های مکفی برای آموزش مدل‌ها و ارزیابی نتایج بایستی تهیه شود که در تحقیقاتی آتی بایستی مد نظر قرار گیرد.

### References

- Abdi, A., Bouamrane, A., Karech, T., Dahri, N. and Kaouachi, A. (2021). "Landslide Susceptibility Mapping Using GIS based Fuzzy Logic and the Analytical Hierarchical Processes Approach: A Case Study in Constantine (North-East Algeria)," *Geotechnical and Geological Engineering*, 39(8), 5675-5691.
- Alinezhad, A., & Khalili, J. (2019). *New Methods and Applications in Multiple Attribute Decision Making (MADM)*. International Series in Operations Research & Management Science, 277, Springer, Cham.
- Aneseyee, A.B., Elias, E., Soromessa, T., & Feyisa, G.L. (2020). Land use/land cover change effect on soil erosion and sediment delivery in the Winike watershed, *Omo Gibe Basin, Ethiopia*. *Sci. Total Environ.*, 728, 138776, 1-28.
- Arabkhedri, M. (2021). Water erosion and sediment production status in Iran: statistical and comparative analyses. *Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 6(2), 139-156. Available from: <https://sid.ir/paper/1055048/>
- Asghari, S., & Naseri, A. (2020). Extraction of the land use map of Sosangard city using pixel-based and object-oriented algorithms, *Geographical space*, 20(69), 77-95. (In Persian).
- Barzilai, J. (1998). On the decomposition of value functions, *Operations Research Letters*, 22(4-5), 159-170.
- Chinnasamy, P. and Sood A. (2020). Estimation of sediment load for Hima- layan Rivers: case study of Kaligandaki in Nepal. *ournal of Earth System Science*. 129(1), 181.
- Costea, A., Bilasco, S., Irimus, I.-A., Rosca, S., Vescan, I., Fodorean, I., & Sestras, P. (2022). Evaluation of the Risk Induced by Soil Erosion on Land Use. Case Study: Guruslău Depression.

*Sustainability*, 14 (1), 1- 19.

- Davoudi, Sh., Ghafari, H., and Farrokhian Firouzi, A. (2024). *Spatial Estimation of Soil Erosion and Sediment Yield in GIS Environment Using SEDD and RUSLE Models: A Case Study Roudzard Watershed in Khuzestan Province*. Iran-Watershed Management Science & Engineering. Vol. 18, No. 66, Full.
- Davoudi1, SH., Ghafari, H., and Farrokhian Firouzi, A. (2024). *Spatial Estimation of Soil Erosion and Sediment Yield in GIS Environment Using SEDD and RUSLE Models: A Case Study Roudzard Watershed in Khuzestan Province*. Iran-Watershed Management Science & Engineering. Vol. 18, No. 66. (In Persian)
- FAO and ITPS. (2015). *Status of the World's Soil Resources (SWSR)—main report*. Food and agriculture organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils. Rome, Italy.
- Feizizadeh, B., Jafari, F., & Nazmfar, H. (2008). The application of remote sensing data in detecting changes in urban land use (a case study of the green space of Tabriz city), *Fine Arts*, 34, 17-24. (In Persian).
- Wang G, Gertner G, Fang S, Anderson AB. (2003). Mapping multiple variables for predicting soil loss by geostatistical methods with TM images and a slope map. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing.*; 69(8), 889-98.
- Feizizadeh, B., Pirnazar, M., Zand karimi, A., & Abedi Gheshlaghi, H. (2015). Assessing the Use of fuzzy Algorithms in increasing the Accuracy of Land Use Maps by object-oriented Processing Methods. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 24(94), 107-117. (In Persian).
- Forman, E. H. and Gass, S. I. (2001), "The analytic hierarchy process—an exposition," *Operations research*, 49(4), 469-486.
- Ganasri, BP. and Ramesh, H. (2016). Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS: A case study of Nethravathi Basin. *Geoscience Frontiers*. 7(6), 953-961.
- Gelagay, H.S. and Minale, A.S. (2016). Soil loss estimation using GIS and Remote sensing techniques: A case of Koga watershed, Northwestern Ethiopia. *International Soil and Water Conservation Research*. 4(2), 126-136.
- Ghaemian N. (2003). *Review of soil semi studies and soil classification of Khoy region*. Soil and Water Research Institute of West Azarbaijan. (in Persian with English abstract).
- Teng H, Rossel RA, Shi Z, Behrens T, Chappell A, Bui E. (2016). Assimilating satellite imagery and visible–near infrared spectroscopy to model and map soil loss by water erosion in Australia. *Environmental Modelling & Software*. 77:156-67.
- Gholami L., Khaledi Darvishan A, Derakhti S, Kiani Harchegani M., (2024). Effects Evaluation of land use change on soil erosion using the RUSLE model in the Chardavol watershed, Ilam. *jwmseir*; 18 (65):1
- Golosoov, V.N. and Walling D.E. (2019). *Erosion and sediment problems: global hotspots*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris, France.
- Kinnell PI (2000). AGNPS-UM: applying the USLE-M within the agricultural non-point source pollution model. *Environmental Modelling & Software*, 15(3), 331-41. Software. 2000; 15(3):331-41.
- Kogo, B.K., Kumar, L., & Koech, R. (2020). Impact of Land Use/Cover Changes on Soil Erosion in Western Kenya. *Sustainability*, 12, 9740, 1-17.
- Li, M., Li, T., Zhu, L., Meadows, ME., Zhu, W., & Zhang, S. (2021). Effect of Land Use Change on

- Gully Erosion Density in the Black Soil Region of Northeast China from 1965 to 2015: A Case Study of the Kedong County. *Front. Environ. Sci*, 9, 652-933.
- Madadi A, Asghari Saraskanrood S, Hajatpour Ghaleeroodkhani H., (2024). Investigating land use changes with an emphasis on forest cover and its effects on soil erosion using object-oriented Case study: Ghaleeroodkhan Fuman watershed classification and the MARCOS multi-criteria technique. Vol. 11, No. 39, Summer
- Majhi, A. Shaw, R. Mallick, K. and Patel, P.P. (2021). Towards improved USLE-based soil erosion modelling in India: A review of prevalent pitfalls and implementation of exemplar methods, *Earth Science Reviews*. 221, 103786.
- Kafle, K.R. Khanal, S.N. and Dahal, R.K. (2017). Consequences of Koshi flood 2008 in terms of sedimentation characteristics and agri- cultural practices. *Geoenvironmental Disasters*. 4, 1-13.
- Manikandan, K., & Rangarajan, S. (2023). Predicting Erosion Potential Zones using CA-ANN and MultiCriteria Analysis for the Bhavani Watershed, India. *J Geol Soc India*, 99, 607–620.
- Munier, N. (2011), “A strategy for using multicriteria analysis in decision-making: a guide for simple and complex environmental projects,” Springer Science and Business Media.
- Naderi F, Karimi H, Naseri B (2010). Soil erosion potential zoning in Aseman Abad watershed by erosion index. *Journal of Watershed Management Researches*. 89: 44-51 (In Persian).
- Noori, H. Siadatmousavi, S.M. and Mojaradi, B. (2016). Assessment of sediment yield using RS and GIS at two sub-basins of Dez Watershed, Iran. *International Soil and Water Conservation Research*, 4(3), 199-206.
- Parvizi Y, Bayat R, arabkhedri M. (2020). Determination of Main Agents Affecting Soil Erosion in Rainfed Land of Kermanshah Province Using Rainfall Simulator. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 14 (49), 70-82. (In Persian).
- Rezapour S.,and Samadi A. (2012). Effect of Long-term wastewater irrigation on spatial variability of soil properties in a calcareous landscape of Iran. *Environ Monit Assess*, 184:1311–1323.
- Saaty, T. L. (1980), “*The AHP: Planning, Priority Setting*,” Resource Allocation, McGraw-Hill, New York.
- Saaty, T. L. (1994), “*Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process*,” RWS publications.
- Saaty, T.L., Vargas, L.G., (1991): *Prediction, Projection and Forecasting*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 251pp.
- Sadeghi SHR., (2017). Soil erosion in Iran: state of the art, tendency and solutions. *Transcultural Studies.*, 63(3).
- Vaidya, O. S. and Kumar, S. (2006), “Analytic hierarchy process: An overview of applications,” *European Journal of operational research*, 169(1), 1-29.