



## Zoning of gully erosion in North Ahvaz using statistical models

Alireza Taghian<sup>1✉</sup> | Mahshid Moavi<sup>2</sup>

1. Corresponding Author, Department of Natural Geography, Faculty of Geographical Sciences and Planning, Isfahan University, Isfahan, Iran. [a.taghian@geo.ui.ac.ir](mailto:a.taghian@geo.ui.ac.ir)

2. Department of Natural Geography, Faculty of Geographical Sciences and Planning, Isfahan University, Isfahan, Iran. [m.moari2018@gmail.com](mailto:m.moari2018@gmail.com)

### Article Information

#### Research Paper

**Vol:** 16  
**No:** 61  
**P:** 205-221  
**Received:** 2024-04-14  
**Revised:** 2024-05-31  
**Accepted:** 2024-06-26  
**Published:** 2025-11-01

#### Keywords:

- Gully erosion
- North of Ahvaz
- Frequency ratio
- Statistical index
- Shannon entropy

#### Cite this Article:

Taghian. Alireza, Moavi. Mahshid. (2025). Zoning of gully erosion in North Ahvaz using statistical models. *Journal of Arid Regions Geographic Studies* 16(61): 205-221.  
doi: 10.22034/jargs.2024.452501.1103

**Publisher:** Hakim Sabzevari University

Authors retain the copyright and full publishing rights



### Abstract

**Aim:** This research aims to determine the zoning of the Galli erosion event in the north of Ahvaz.

**Materials & Methods:** Digital layers of effective factors in Galli erosion, including height, slope, geological formations, land use, distance from the river, watercourse density, and distance from the road, were prepared in ArcGIS 10.8. In the following, the layers of the research were calculated with the methods of frequency ratio, statistical index, and Shannon entropy, and in the last stage, the accuracy of the research models was checked using the indexes of density ratio, quality summation, and accuracy.

**Finding:** The frequency ratio method results show that land use influences a large part of the ditch erosion in the studied area (4.10). Non-observance of the correct principles of cultivation and crop rotation in agricultural lands, land use change, and erosion of water flow have disrupted soil texture and structure, and made it sensitive to the erosion of the ditch in the north of Ahvaz.

**Conclusion:** Based on the findings of the research, it can be said that not having an all-round view of the studied area, cross-sectional changes in waterways, and inappropriate design in the outlets of the Karun basin cause the concentration of watersheds and the beginning of ditch erosion in the north of Ahvaz.

**Innovation:** A significant part of gully erosion in the studied area is caused by the influence of climatic factors, geology, and human interference; although many effective factors in creating and intensifying gully erosion have been identified, the diversity and change of the number and the degree of influence of different factors from one point to another and the different contribution of their participation in the formation and expansion of ditches depends on the geo-environmental conditions.

## **Extended Abstract**

### **1. Introduction**

Soil erosion has adverse economic, social, and environmental consequences on productivity, income distribution, and the environment, which may play a prominent role in national and transnational economies and sustainable development. Among water, wind, and glacial erosions, the erosion caused by water every year causes extensive damage all over the world. Water erosion is divided into four groups according to its importance and formation method, which include flood erosion, channel erosion, furrow erosion, and ditch erosion. Gully erosion is a common phenomenon in the climate of different regions, especially arid and semi-arid regions, and it affects large areas with different morphological, soil-geological, and climatic conditions. Among the environmental parameters that can affect the amount of gully erosion potential are hydrological, climatic, topographical, ecological, geological, and human. Trench erosion is the most visible form of soil erosion, leading to decreased soil production capacity and restrictions on land use. It can be a danger to roads, fences, and various structures and also causes significant soil losses and precipitation production. In order to control this phenomenon, it is important to know the effective factors and land zoning in relation to it.

### **2. Materials and Methods**

In this research, statistical models are used to zone the occurrence of gully erosion in the north of Ahvaz. First, the location of the gullies was identified through field surveys and aerial photos using Google Earth software, and 34 gully erosion points were identified. Moreover, recorded and then physiographic maps (height, slope, distance from the river, watercourse density) were prepared using DEM with a resolution of 12 meters in ArcGIS 10.8 software. The Natural Resources Department of Khuzestan Province prepared the land use map, and the Khuzestan Water and Electricity Organization prepared the geological formations map. All the maps were then converted into grid layers and classified. The frequency ratio, statistical index, and Shannon entropy methods were used to calculate the gully erosion of the studied area.

### **3. Results and Discussion**

In the land-use frequency ratio model, the barren land index (4.10) has the most significant role in ditch erosion in North Ahvaz. By changing the land use, farmers destroy the natural vegetation and plow the soil surface because the permeability of the soil is disrupted, the runoff volume increases, and the soil loses its strength. The excess runoff from agricultural land will cause the formation and expansion of gully erosion in the region, and the lowest parameter involved in gully erosion in the mentioned model is geological formations (0.07). In the statistical index method, in the order of land-use, barren lands index (12.93), geological formations (Quaternary valley deposits and terraces) (6.85) play the most important role in ditch erosion in the north of Ahvaz. In general, the depth and width of trench erosion are different in geological formations; the trenches in the north of Ahvaz are mainly on the level of fine-grained alluvial deposits of the Quaternary era, which are the result of the destruction and erosion of desert sediment formations (salt, chalk) and new alluvium (gravel, sand, clay, silt) are formed. This causes the erosion of ditches in this area. Due to its erodibility, the depth and width of trench erosion are greater than other formations in the study area, which is consistent with the findings of Oparaku and Lwar (2018). The parameters of height, slope, and distance from the river have the least effect on ditch erosion, respectively

### **4. Conclusions**

A large part of the ditch erosion in the studied area is influenced by the distance from the river (7.96), not having a comprehensive view of the studied area, sectional changes in waterways, and inappropriate design in The outlets of the Karun Basin have caused the concentration of Herzabs and the beginning of ditch erosion in the north of Ahvaz. Also, the influence of Quaternary valley deposits and terraces (6.85) is one of the essential factors in creating ditches. The erodibility of this formation, the failure to observe the correct principles of cultivation and crop rotation in agricultural lands, and the change of land use cause disruption of the texture and structure of the soil. Another critical parameter in creating ditch erosion north of Ahvaz is the distance from the road (4.35). The road construction operation causes the concentration of upstream runoff in the waterways under the roads and the creation of ditches downstream of the road. The erosion of the ditch in the north of Ahvaz has led to the sliding of the slopes of the Karun River bed and is emptying

the roads and coastal facilities. Due to the volume of road construction (road and bridge) and construction operations, the research area has intensified in recent years. Also, the evaluation results of the models using the qualitative summation method (Qs) showed that the statistical index model has the highest summation of quality (0.36). After that, the frequency ratio (0.24) and Shannon's entropy (0.22) models have the lowest index in terms of quality summation. The influence of climatic, geological, soil, and human interference factors on each other has caused severe gully erosion in the region. Taking into account the total of the above contents of the effective factors in the creation and spread of this type of erosion, we can conclude that although many factors are effective in the creation and intensification of ditch erosion, the variety and change in the number and extent of the influence of different factors from one point to another and the different contribution of their participation in the formation and expansion of ditches in accordance with the geo-environmental conditions requires more research to investigate and analyze the factors influencing the growth and expansion.

### **5. Acknowledgment & Funding**

The manuscript did not receive a grant from any organization

### **6. Conflicts of Interest**

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper. The authors declare no conflict of interest.

## پهنه‌بندی رخداد فرسایش خندقی شمال اهواز با استفاده از مدل‌های آماری

علیرضا تقیان<sup>۱</sup> , مهشید معاوی<sup>۲</sup>

۱- نویسنده مسئول، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران. [a.taghian@geo.ui.ac.ir](mailto:a.taghian@geo.ui.ac.ir)

۲- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران. [m.moari2018@gmail.com](mailto:m.moari2018@gmail.com)

### چکیده:

**هدف:** هدف این پژوهش پهنه‌بندی رخداد فرسایش خندقی منطقه شمال اهواز است. **روش و داده:** مهم‌ترین عوامل مؤثر در وقوع فرسایش خندقی چون ارتفاع، شیب، سازندهای زمین‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه، تراکم آبراهه‌ها انتخاب و سپس این لایه‌ها، در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.8 تهیه گردیدند. در ادامه، لایه‌های مذکور با مدل‌های نسبت فراوانی، شاخص آماری و آنتروپی شانون محاسبه و پهنه‌بندی گردیدند و در مرحله آخر اقدام به صحت‌سنجی مدل‌های پژوهش با استفاده از شاخص‌های نسبت تراکم، جمع کیفی گردید. **یافته‌ها:** روش نسبت فراوانی نشان می‌دهد بخش زیادی از فرسایش خندقی منطقه مورد مطالعه، تحت تأثیر کاربری اراضی (۴/۱۰)، در مدل شاخص آماری پارامتر کاربری اراضی (۱۲/۹۳)، نهشته‌ها و تراس دره‌ای کواترنری (۶/۸۵)، در روش آنتروپی شانون معیار فاصله از رودخانه (۷/۹۶)، فاصله از جاده (۴/۳۵) است. عدم رعایت اصول صحیح کشت و تناوب زراعی در اراضی کشاورزی، تغییر کاربری اراضی و فرسایش‌دهی جریان آب موجب برهم خوردن بافت و ساختمان خاک و حساس نمودن آن در برابر فرسایش خندقی شمال اهواز گردیده است. همچنین، نتایج ارزیابی مدل‌ها با استفاده از روش جمع کیفی (QS) نشان داد مدل شاخص آماری بالاترین میزان جمع کیفی (۰/۳۶) را به خود اختصاص داده است. بعد از آن مدل‌های نسبت فراوانی (۰/۲۴) و آنتروپی شانون (۰/۲۲) کم‌ترین شاخص را در میزان جمع کیفی دارند.

**نتیجه‌گیری:** بر مبنای یافته‌های تحقیق می‌توان عنوان کرد نداشتن نگاه همه جانبه به محدوده مورد مطالعه تغییرات مقطعی در آبراهه‌ها و طراحی نامناسب در خروجی‌های حوضه کارون باعث تمرکز هزرابها و شروع فرسایش خندقی در شمال اهواز می‌شود. همچنین، عملیات جاده‌سازی موجب تمرکز هزراب‌های بالادست در آبراهه‌های زیر جاده‌ها و ایجاد خندق‌ها در پایین‌دست جاده می‌شود.

**نوآوری، کاربرد نتایج:** بخش قابل توجهی از فرسایش خندقی در محدوده‌ی مورد مطالعه از تأثیرپذیری عوامل اقلیمی، زمین‌شناسی و دخالت‌های انسانی ایجاد شده است هر چند تا حدود زیادی عوامل مؤثر در ایجاد و تشدید فرسایش خندقی مشخص شده است؛ اما تنوع و تغییر تعداد و میزان تأثیر عوامل مختلف از نقطه‌ای به نقطه دیگر و متفاوت بودن سهم مشارکت آن‌ها در شکل‌گیری و گسترش خندق‌ها در تابع از شرایط زمین‌محیطی است.

### اطلاعات مقاله

#### مقاله پژوهشی

شماره:	۱۶
دوره:	۶۱
صفحه:	۲۰۵-۲۲۱
تاریخ دریافت:	۱۴۰۳/۰۱/۲۶
تاریخ ویرایش:	۱۴۰۳/۰۳/۱۱
تاریخ پذیرش:	۱۴۰۳/۰۴/۰۶
تاریخ انتشار:	۱۴۰۴/۰۸/۱۰

#### کلیدواژه‌ها:

- فرسایش خندقی
- شمال اهواز
- نسبت فراوانی
- شاخص آمار
- آنتروپی شانون

#### نحوه ارجاع به این مقاله:

تقیان، علیرضا، معاوی، مهشید. (۱۴۰۴). پهنه‌بندی رخداد فرسایش خندقی شمال اهواز با استفاده از مدل‌های آماری. *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۱۶(۶۱): ۲۰۵-۲۲۱.

doi: 10.22034/jargs.2024.452501.1103.

ناشر: دانشگاه حکیم سبزواری



نویسندگان حق نشر و حقوق انتشار کامل را حفظ می‌کنند.

## ۱ - مقدمه

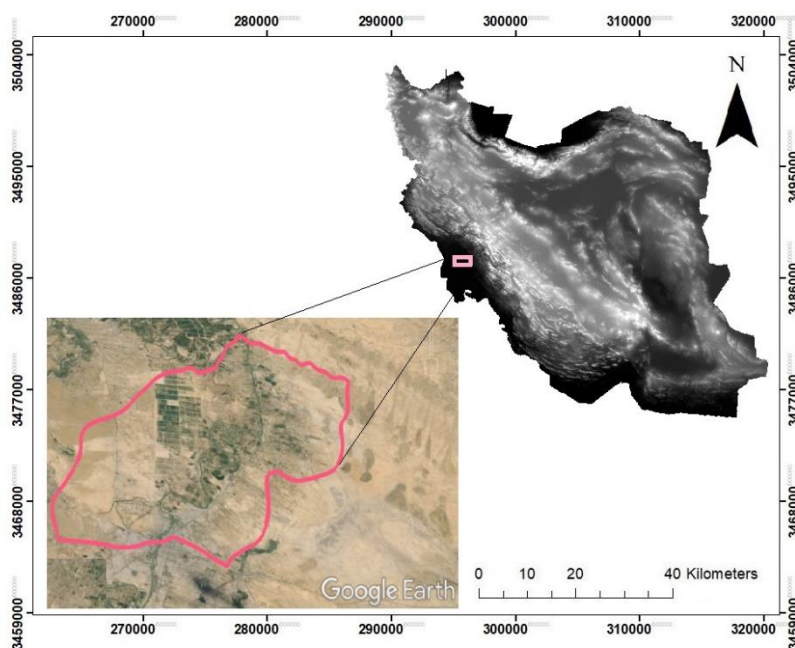
خاک به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اجزای منابع طبیعی، نقش بسیار عمده‌ای در زندگی انسان دارد (Mohammad Ebrahimi., 2016). فرسایش خاک پیامدهای اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی نامطلوبی در بهره‌وری، توزیع درآمد و محیط‌زیست دارد که ممکن است در اقتصاد ملی، فراملی و توسعه پایدار نقش برجسته‌ای داشته باشد. از میان فرسایش‌های آبی، بادی و یخچالی، فرسایش ناشی از آب هر ساله خسارات گسترده‌ای را در سراسر جهان وارد می‌کند. فرسایش آبی با توجه به اهمیت و نحوی شکل‌گیری به چهار گروه شامل فرسایش پاشماني، آبراهه‌ای، شیاری و خندقی تقسیم می‌شود. فرسایش خندقی پدیده‌ای معمول در آب‌وهوای مناطق مختلف خصوصاً نواحی خشک و نیمه خشک است که مناطق وسیعی با شرایط مورفولوژیکی، خاک‌شناسی و آب‌وهوایی متفاوتی را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (Gholami et al., 2017). در واقع این نوع فرسایش هر چند مساحت کمتری نسبت به سایر اشکال فرسایش آبی را دربرمی‌گیرد ولی به‌دلیل تولید رسوب بیشتر و از دست رفتن خاک که موجب خسارات فراوانی به اراضی، راه‌ها، سازه‌های عمرانی و... شده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Zakiri Nezhad & Alvandi., 2023). از جمله پارامترهای محیطی که می‌توانند بر میزان پتانسیل فرسایش خندقی تأثیر بگذارند از قبیل هیدرولوژیکی اقلیمی، توپوگرافی، اکولوژیکی، زمین‌شناسی و انسانی است (Madadi et al., 2022). فرسایش خندقی مشهودترین شکل فرسایش خاک است که منجر به کاهش توان تولید خاک و ایجاد محدودیت در کاربری اراضی می‌گردد و می‌تواند خطر جدی برای راه‌ها، حصارها و سازه‌های مختلف باشد و همچنین سبب تلفات قابل ملاحظه خاک و تولید مقادیر فراوان رسوب می‌شود. جهت کنترل این پدیده، شناخت عوامل مؤثر و پهنه‌بندی اراضی نسبت به آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (hoseinzadeh et al., 2012). پژوهشگران زیادی در زمینه فرسایش خندقی مطالعاتی انجام داده‌اند از جمله: رینکس و همکاران نشان دادند فرسایش خندقی بیشتر در خاک‌هایی که درصد سدیم تبادلی و نسبت جذب سدیم بیشتر است (Rienks et al., 2002). لیسچن و همکاران با مطالعاتی در جهت شناخت فرسایش خندقی مناطق نیمه خشک در جنوبی شرقی اسپانیا نشان دادند که علت تشکیل فرسایش خندقی ایجاد رواناب در لایه سطحی زمین و کاهش ظرفیت نگهداری سطحی است (Lesschen et al., 2007). رلیسا و همکاران در مطالعه‌ای در استرالیا فاکتورهای مؤثر بر فرسایش خندقی را عوامل انسانی بیان نمود (Roblesa 2010). ولکر با بررسی مناطق بدلندی و خندقی در زمین‌های با جنس مارن نشان داد علت ایجاد مناطق بدلندی زمین‌های مارن و با آب و هوای مدیترانه‌ای و عدم نفوذپذیری توسط کانی‌های رسی است (Volker., 2011). سلیمان و اوموگبو با ارزیابی فاکتورهای مؤثر بر توسعه خندق در دانشگاه بنین، زهکش‌های نامناسب انتهایی (که سبب افزایش درصد رطوبت اشباع خاک می‌شود) را عامل مؤثر ایجاد فرسایش خندقی در منطقه مورد مطالعه نشان دادند (Solomon & Omougbo., 2013). مقیمی و قدوسی با بررسی فرسایش در حوضه‌ی آبخیز رودخانه شور فدماي با استفاده از مدل آنتروپی نشان دادند شیب بیشتر از ۱۵ درصد و با فرسایش زیاد با ضریب آنتروپی ۰/۸۵ دارای توزیع متعادلی در آبخیز بوده در نتیجه فرسایش زیادی در قسمت‌های مختلف آبخیز تحت‌تأثیر شیب ایجاد می‌شود (Moghimi & Ghodsi., 2014). جوکار سرهنگی و مرتضایی با ارزیابی مدل‌ها با استفاده از رابطه‌ی احتمال تجربی حوضه جاجرود نشان دادند که مدل‌های نسبت فراوانی و عامل اطمینان به‌ترتیب با احتمال تجربی ۰/۹۳ و ۰/۹۹ برای پهنه‌بندی فرسایش بدلدن در منطقه مناسب هستند (Jokar Sarhangi and Mortezaei., 2015). ذاکری‌نژاد نشان داد شاخص‌های قدرت فرساینده‌ی جریان آب با ۲۷/۱ درصد، بافت خاک با ۲۲/۹ درصد و لیتولوژی با ۲۲/۱ درصد دارای بیشترین تأثیر در پهنه‌بندی نقشه فرسایش خندقی جنوب شهرستان سمیرم را دارند (Zakiri Nezhad., 2017). گرنامی و شادفر با مطالعه واکاوی داده‌ها و مدل‌سازی روش فرایند تحلیل شبکه (ANP) نشان دادند معیارهای فاصله از جاده، سنگ‌شناسی، کاربری زمین و بارش، مهم‌ترین عامل‌های تأثیرگذار بر فرسایش خندقی هستند. نتایج اعتبارسنجی نقشه‌ی پهنه‌بندی فرسایش خندقی با مقدار سطح زیرمنحنی معادل ۰/۶۸۴ محاسبه گردید (Gornami & Shadfar., 2018). پورنادر و همکاران، ۲۰۱۸ به ارزیابی پایداری برآوردهای مدل بیشینه آنتروپی برای مدل‌سازی فرسایش شیاری پرداختند. یافته‌ها نشان داد مدل حداکثر آنتروپی (MaxEnt) قادر به تولید نقشه حساسیت‌پذیری فرسایش شیاری است. از سوی دیگر، بر مبنای آنالیز حساسیت، مشخص شد که مهم‌ترین اجزا در مدل‌سازی حساسیت‌پذیری فرسایش شیاری سنگ‌شناسی و فاصله از آبراهه است (Pournader et al., 2018). مددی و همکاران به تهیه نقشه‌پهنه‌بندی حساسیت به فرسایش خندقی با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی پرداختند. بافت خاک، تراکم زهکشی، زمین‌شناسی، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه بیشترین تأثیر را در فرسایش خندقی داشتند. بر اساس این مدل بیش از ۱۵ درصد حوضه دارای

حساسیت زیاد و خیلی زیاد به فرسایش خندقی است (Madadi wt al., 2022). تیموری و همکاران به تهیه نقشه‌ی احتمال رخداد فرسایش خندقی با مدل یادگیری ماشینی پیشینه‌ی آنتروپی در استان فارس پرداختند. عمق خاک، درصد قطعه‌های درشت‌دانه، پی‌اچ در محلول کلرید پتاسیم، بیش‌ترین تأثیر را در مدل‌سازی فرسایش خندقی داشت. بر پایه‌ی یافته‌ها بیش‌ترین حساسیت به فرسایش خندقی در جنوب استان فارس است (Teimurian et al., 2022). از اهداف این تحقیق شناسایی عوامل مؤثر در شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی محدوده مورد مطالعه است که با مقایسه روش‌های نسبت فراوانی، شاخص آماری و آنتروپی شانون به تحلیل عوامل مؤثر در شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی حوضه اهواز شمالی می‌پردازد.

## ۲- مواد و روش

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

شمال اهواز از نظر موقیت ریاضی بین  $31^{\circ}$  تا  $25'31^{\circ}$  عرض شمالی و بین  $30^{\circ}$  تا  $48'30^{\circ}$  و  $48^{\circ}$  تا  $50'$  طول شرقی قرار دارد. محدوده مورد مطالعه در منطقه‌ای جلگه‌ای واقع شده است. از نظر آب و هوا، در زمستان دما تا پنج درجه سانتی‌گراد کاهش و در تابستان تا پنجاه درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. در اغلب روزهای سال، رطوبت هوا در اهواز کم است و بیشتر در حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد است. با این حال، در فصل بهار و زمستان، احتمال بارش و افزایش رطوبت هوا افزایش می‌یابد. همچنین، نوسانات دما و رطوبت در فصل بارش در اهواز بیشتر از فصول دیگر است. بارش در اهواز در فصل زمستان و بهار بیشتر است؛ اما در فصول گرم و خشک سال، در این منطقه مشاهده نمی‌شود. میانگین بارش سالانه اهواز حدود ۱۵۰ میلی‌متر است. از نظر زمین‌شناسی، سازند آغاچاری از نوع رسوبات مردابی و دریاچه‌ای بوده و وجود مارن‌های ژپیس‌دار، این سازند را حساس به فرسایش نموده است. آب رودخانه کارون در بستر خود، ارتباط این سازند را در دو طرف رودخانه از بین برده و لایه‌های ماسه سنگی آن در امتداد پل هفتم و زیر پل‌های معلق و پل سیاه رودخانه کارون تجمع یافته‌اند. سازند بختیاری در نزدیکی منطقه در بخش قاعده شامل کنگلومرای سست و مقاوم همراه با ماسه‌سنگ است و در قسمت‌های میانی و بالایی به صورت توده‌ای در بعضی مناطق لایه نازک است. شمال اهواز از رسوبات آبرفتی جدید پوشیده شده و در آن تشکیلات قدیمی دیده نمی‌شود. زیرلایه‌های رسوبی را ماسه‌های بادی و رسوبات کوبیری (نمک، گچ، آهک و شیل) و آبرفت جدید (شن، ماسه، رس، سیلت، کنگلومرا) تشکیل می‌دهند، بخش‌هایی از ویس، ورامین و باوی (ملائانی) آبرفت‌های دوران کواترنر رودخانه کارون، روی سطح فرسایشی رسوبات جوان ترشیاری بر جای نهاده شده و زمین‌های حاصلخیز را تشکیل داده است (Gharbaian & Murshidi., 2011) (شکل ۱).



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه

## ۲-۲- روش پژوهش

بررسی میزان فرسایش در هر منطقه، نیازمند شناسایی متغیرهای تأثیرگذار بر فرسایش در آن منطقه است. در این پژوهش، به‌منظور پهنه‌بندی رخداد فرسایش خندقی شمال اهواز با استفاده از مدل‌های آماری ابتدا موقعیت خندق‌ها از طریق بررسی‌های میدانی و عکس‌های هوایی با استفاده از نرم‌افزار Google Earth ۳۴ نقطه فرسایش خندقی شناسایی و ثبت گردید و سپس نقشه‌های فیزیوگرافی (ارتفاع، شیب، فاصله از رودخانه، تراکم آبراهه) با استفاده از مدل رقومی ارتفاع<sup>۱</sup> (DEM) با قدرت تفکیک ۱۲ متری در نرم‌افزار ArcGIS10.8 تهیه شدند. نقشه کاربری اراضی از اداره منابع طبیعی استان خوزستان و نقشه سازندهای زمین‌شناسی از سازمان آب و برق خوزستان تهیه گردیدند و سپس تمام نقشه‌ها تبدیل به لایه‌های رستری و کلاس‌بندی شده‌اند (شکل ۲). جدول ۱ جهت محاسبه فرسایش خندقی محدوده مورد مطالعه از روش‌های نسبت فراوانی، شاخص آماری و آنتروپی شانون استفاده گردید.

جدول ۱. داده‌های مورد استفاده به‌منظور پهنه‌بندی رخداد فرسایش خندقی شمال اهواز

روش تهیه	داده
تصاویر ماهواره ای Terra سنجنده Aster با قدرت تفکیک ۱۲ متری	مدل رقومی ارتفاع (DEM)
استفاده از نقشه Dem و تابع Slope <sup>۲</sup> در نرم‌افزار ArcGIS10.8	شیب
استفاده از نقشه توپوگرافی، نقشه DEM استفاده از تابع Euclidean distance <sup>۳</sup> در نرم‌افزار ArcGIS10.8	فاصله از رودخانه و فاصله از جاده
استفاده از نقشه DEM و تابع Line Density <sup>۴</sup> در نرم‌افزار ArcGIS10.8	تراکم آبراهه
اداره منابع طبیعی استان خوزستان	کاربری اراضی
سازمان آب و برق خوزستان	سازندهای زمین‌شناسی



شکل ۲. فرسایش خندقی شمال اهواز (منبع، نگارندگان).

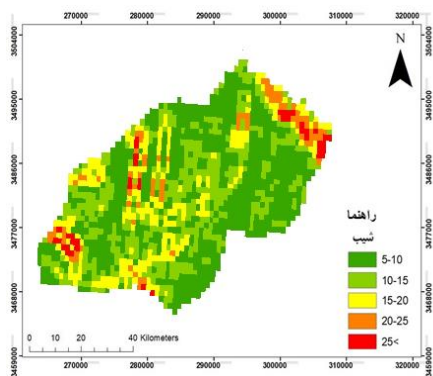
## 1. Digital Elevation Model

۲. شیب

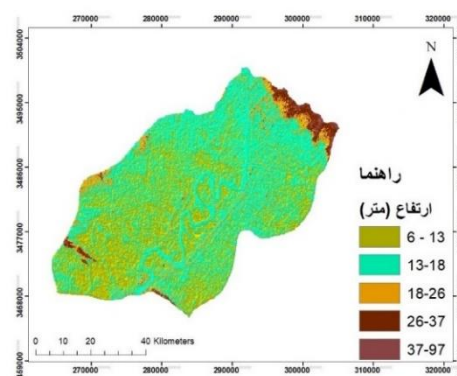
۳. فاصله اقلیدسی (یک فضای متریک است، یعنی فضایی که در آن مفهوم فاصله بین دو نقطه و ویژگی‌های آن به‌طور بدیهی تعریف شده و قابل اندازه‌گیری است).

۴. تراکم خطوط (محاسبه میزان تراکم در همسایگی هر پیکسل نقشه رستری خروجی را اجرا می‌کند).

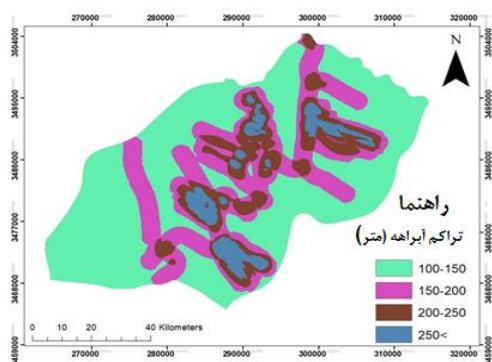
لایه زمین‌شناسی، بر اساس سازندها و جنس آن‌ها وزن‌دهی شده است و در سه طبقه تقسیم شده است. در رابطه با طبقه‌بندی و مشخص کردن وزن‌دهی سازندهای زمین‌شناسی با توجه میزان مقاومت سازندها در منطقه مورد مطالعه این طبقه‌بندی انجام شده است، به طوری که سازندهای کواترنری که دارای سستی زیادی بوده بیشترین فرسایش را داشته و سازند بختیاری مقاوم‌ترین سازند است. فرسایش خندقی معمولاً در شیب‌های کم‌تر از ۲۰ درصد ایجاد می‌شوند. بر این اساس، شیب‌های کم بیشترین وزن را دارند. تراکم زهکشی به جنس بستر و مقدار جریان در طول آبراهه بستگی دارد. تراکم آبراهه‌ها می‌تواند به‌عنوان یک شاخص مهم برای ارزیابی وضعیت فرسایش در منطقه باشد که در چهار طبقه تقسیم گردید. همچنین، فاصله از رودخانه و جاده که به‌عنوان شاخص‌های مهم برای ارزیابی وضعیت فرسایش در منطقه هستند در چهار طبقه با فاصله نزدیک (به متر) بیشترین وزن و دورترین فاصله (به متر) کم‌ترین وزن طبقه‌بندی شده‌اند. معیار کاربری اراضی با توجه به نوع کاربری در شمال اهواز طبقه‌بندی شد، به طوری که زمین‌های بایر دارای بیشترین فرسایش را داشته و پارامتر مناطق مسکونی کمترین وزن را به خود گرفت (شکل ۳).



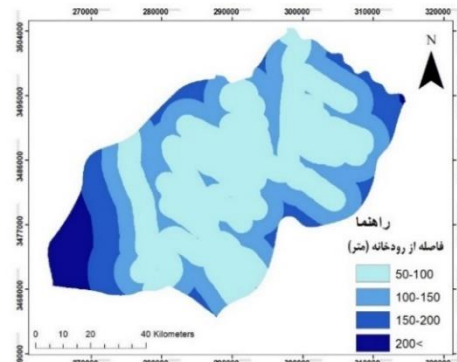
ب



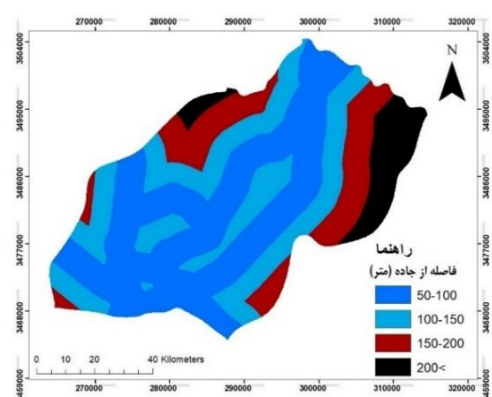
الف



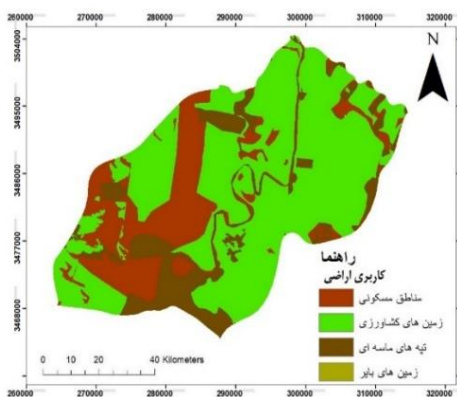
د



ج



ر



ه



ز

شکل ۳. الف: ارتفاع، ب: شیب، ج: فاصله از آبراهه، د: تراکم آبراهه، ه: کاربری اراضی، ر: فاصله از جاده، ز: زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه

#### • روش نسبت فراوانی

برای محاسبه نسبت فراوانی هر یک از عوامل مؤثر بر وقوع فرسایش با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی، نقشه هر متغیر با نقشه فهرست فرسایش جهت محاسبه درصد پیکسل‌های فرسایش و فاقد فرسایش منطقه مورد مطالعه استفاده می‌گردد (Naemi tabar et al., 2021).

$$FR = \frac{NPix(SXi) / \sum_{i=1}^m SXi}{NPix(Xj) / \sum_{j=1}^n NPix(Xj)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه،  $NPix(SXi)$  تعداد پیکسل‌هایی با فرسایش در کلاس  $i$  از معیار  $X$  است.  $NPix(Xj)$  تعداد پیکسل‌های واقع در معیار  $X_j$ ،  $m$  تعداد کلاس‌های واقع در معیار  $X_j$ ،  $n$  تعداد معیارها در منطقه مورد مطالعه است. مدل آماری نسبت فراوانی در بعضی منابع به عنوان مدل احتمالاتی منطقه‌ای و روش ارزش اطلاعات شناخته می‌شود. این مدل بیانگر احتمال وقوع خطر مورد نظر برای طبقه‌های عامل مؤثر بر آن خطر وقوع فرسایش است (Naemi tabar et al., 2021).

#### • روش شاخص آماری

روش شاخص آماری یک روش آماری دومتغیره است که توسط Westen برای تهیه نقشه حساسیت فرسایش ارائه شد روش شاخص آماری معیاری جهت تعیین تراکم فرسایش است (van Westen, 1993) و بر اساس لگاریتم طبیعی (ln) تراکم فرسایش در هر کلاس به تراکم فرسایش کل نقشه می‌پردازد.

$$LnWi = Ln \left( \frac{DensClass DensMap}{DensClass map} \right) = Ln \left[ \frac{pix((Si) / \sum Npix((Ni))}{\sum Npix((Si) / \sum Npix((Ni))} \right] \quad \text{رابطه (۲)}$$

$Wi$ : وزن هر یک از کلاس‌ها در نقشه؛  $Densclass$ : تراکم فرسایش در هر یک از کلاس‌ها؛  $Densmap$ : تراکم فرسایش در کل نقشه؛  $Npix(Ni)$ : تعداد کل پیکسل‌ها در یک کلاس مشخص؛  $SNpix(Si)$ : تعداد کل پیکسل‌های فرسایش نقشه؛  $SNpix(Ni)$ : تعداد کل پیکسل‌های نقشه (Gilanipour & Mutoli., 2014).

#### • روش آنتروپی شانون

روش آنتروپی بیانگر آن است که چگونه از بین عوامل مؤثر یک هدف، می‌توان مهم‌ترین عوامل را تخمین زد و یا به عبارتی متغیرهایی که بیشترین تأثیر را در رخداد یک واقعه دارند برای ما مشخص می‌نماید. بنابراین تئوری مذکور می‌تواند به عنوان یک رویکرد مدیریتی تأثیر به‌سزایی در شناسایی عوامل مؤثر و میزان تأثیرگذاری آن‌ها داشته باشد (Mehraban., 2018).

$$Eij = \frac{FR}{\sum_{j=1}^m FR} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$H_j = \sum_{i=1}^s (E_{ij}) \log_2 (E_{ij}), j=1,2,\dots,n \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$H_{jmax} = \log_2 M_j \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$I_j = \frac{H_{jmax} - H_j}{H_{jmax}} \quad I=(0,1), j=1,2,\dots,n \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$W_j = I_j \times FR \quad \text{رابطه (۷)}$$

FR: نسبت فراوانی،  $E_{ij}$ : احتمال تراکم،  $H_j$  و  $H_{jmax}$ : مقادیر آنتروپی و ماکزیمم آنتروپی،  $I_j$ : ضریب اطلاعات و  $M_j$ : تعداد طبقه‌ها،  $W_j$ : وزن نهایی هر معیار است. از مزایای روش آنتروپی در نظر گرفتن رابطه بین متغیرهای شرکت کننده در تهیه نقشه خطر فرسایش است (Mehraban., 2018).

### • اعتبارسنجی مدل‌ها

در زمینه اعتبارسنجی مدل‌ها، استفاده از شاخص‌های نسبت تراکمی (DR) به منظور مقایسه بین پهنه‌های خطر وقوع فرسایش در هر روش و شاخص‌های مجموع کیفیت (Qs) و دقت (P) برای مقایسه روش‌ها نسبت به هم کاربرد دارند، برای تعیین مجموع کیفیت (Qs) ابتدا نسبت تراکم محاسبه می‌گردد که طبق رابطه ۸ محاسبه می‌شود (Naemi tabar et al., 2021):

$$DR = \frac{S_i/A_i}{\sum_{i=1}^n S_i / \sum_{i=1}^n A_i} \quad \text{رابطه (۸)}$$

مجموع مساحت فرسایش واقع در هر رده خطر وقوع فرسایش،  $A_i$  مساحت رده خطر در یک نقشه پهنه‌بندی،  $n$  تعداد رده‌های خطر است. هرچه تفکیک بین رده‌های خطر توسط شاخص نسبت تراکم بهتر صورت گرفته باشد، روش از دقت بالاتری برخوردار است. مقدار مجموع کیفیت (qs) نشان‌دهنده درستی یا مطلوبیت عملکرد روش در پیش‌بینی وقوع فرسایش در منطقه است. معمولاً مقدار این شاخص در روش‌های مختلف در گستره صفر و هفت قرار می‌گیرد. در ارزیابی روش‌ها هر چه مقدار مجموع کیفیت (Qs) بیشتر باشد، روش از درستی و مطلوبیت بیشتری در تفکیک برخوردار است. مقدار مجموعه کیفیت از رابطه ۹ به دست می‌آید: (Naemi tabar et al., 2021).

$$Qs = \sum_{i=1}^n ((Dr - 1)2 \times S) \quad \text{رابطه (۹)}$$

مجموع کیفیت،  $Dr$  نسبت تراکم،  $S$  نسبت مساحت هر رده خطر وقوع فرسایش نسبت به مساحت کل منطقه،  $n$  تعداد کلاس خطر. دقت روش (P) عبارت است از مساحت سطح فرسایش‌یافته در پهنه‌های خطر زیاد و خیلی زیاد به مساحت آن پهنه‌ها که از رابطه (۱۰) به دست می‌آید (Arab Ameri et al., 2017).

$$P = KS/S \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

$P$  دقت روش در پهنه‌بندی خطر زیاد و خیلی زیاد،  $KS$  مساحت سطح فرسایش‌یافته در پهنه‌های خطر زیاد و خیلی زیاد،  $S$  مساحت پهنه‌های خطر مربوطه (Arab Ameri et al., 2017).

### ۳- یافته‌ها

به منظور پهنه‌بندی رخدادهای فرسایش خندقی شمال اهواز، از مدل‌های نسبت فراوانی، شاخص آماری و آنتروپی شانون استفاده شده است. در مدل نسبت فراوانی کاربری اراضی شاخص زمین‌های بایر (۴/۱۰) بیشترین نقش را در فرسایش خندقی شمال اهواز دارد. کشاورزان با تغییر کاربری، پوشش گیاهی طبیعی را از بین می‌برند و سطح خاک را شخم می‌زنند، به دلیل این که نفوذپذیری خاک به هم می‌خورد و عملاً حجم رواناب افزایش پیدا می‌کند و خاک استحکام خود را از دست داده است، رواناب اضافی خروجی از زمین کشاورزی باعث تشکیل و گسترش فرسایش خندقی در منطقه خواهد شد و کمترین پارامتر دخیل در فرسایش خندقی در مدل مذکور،

سازندهای زمین‌شناسی (۰/۰۷) است. در روش شاخص آماری به‌ترتیب کاربری اراضی شاخص زمین‌های بایر (۱۲/۹۳)، سازندهای زمین‌شناسی (نهشته‌ها و تراس دره‌ای کواترنری)، (۶/۸۵) بیشترین نقش را در فرسایش خندقی شمال اهواز دارند. به‌طور کلی، عمق و عرض فرسایش خندقی در سازندهای زمین‌شناسی متفاوت است، خندق‌های شمال اهواز عمدتاً در سطح نهشته‌های آبرفتی ریزدانه دوران کواترنری که حاصل تخریب و فرسایش سازندهای رسوبات کویری (نمک، گچ) و آبرفت جدید (شن، ماسه، رس، سیلت) شکل گرفته‌اند. که این امر باعث تشدید فرسایش خندقی در این منطقه است. به‌گونه‌ای که در این سازندها به‌علت فرسایش‌پذیری، عمق و عرض فرسایش خندقی بیشتر از سایر سازندهای منطقه مورد مطالعه است که با یافته‌های اپاراکو و لور همخوانی دارد (Oparaku & Lwar, 2018). کمترین تأثیر در فرسایش خندقی به‌ترتیب، پارامتر ارتفاع، شیب و فاصله از رودخانه دارا هستند (جدول ۲).

جدول ۲. محاسبه نسبت فراوانی، شاخص آماری شمال اهواز

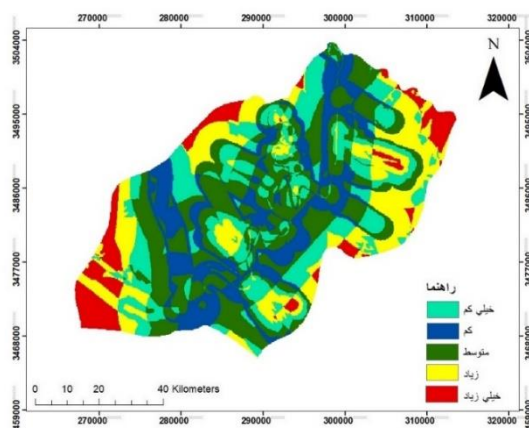
معیار	طبقه	مساحت پیکسل هر طبقه	درصد مساحت پیکسل هر طبقه	تعداد نقاط فرسایشی	درصد نقاط فرسایشی	نسبت فراوانی FR	شاخص آماری LnWi
ارتفاع	۱۳-۶	۶۷۶۴۱۷	۴۸/۱۵	۰	۰	۰	۰
	۱۸-۱۳	۴۱۶۴۶۵	۲۳/۷۰	۰	۰	۰	۰
	۲۶-۱۸	۱۶۶۷۶۱	۱۲/۴۸	۰	۰	۰	۰
	۳۷-۲۶	۱۰۰۰۰۰	۱۰	۴	۱۱/۷۶	۰/۲۰	۰/۳
شیب	۹۷-۳۷	۷۵۵۳۵	۵/۶۵	۳۰	۸۸/۲۴	۲	۰/۷۳
	۱۰-۵	۶۷۶۴۰۰	۴۵/۲۰	۰	۰	۰	۰
	۱۵-۱۰	۴۱۶۴۸۲	۲۴/۶۵	۰	۰	۰	۰
	۲۰-۱۵	۱۶۶۷۶۱	۱۲/۴۵	۰	۰	۰	۰
تراکم آبراهه	۲۵-۱۵	۱۱۰۰۳۵	۱۱/۵۳	۶	۱۵/۵۰	۰/۴۱	۰/۵
	>۲۵	۶۵۵۰۰	۶/۱۰	۲۸	۸۴/۵۰	۱/۹۵	۰/۷۰
	۱۵-۱۰۰	۷۷۶۴۲۸	۵۸/۱۵	۰	۰	۰	۰
	۱۵۰-۱۰۰	۳۱۶۴۵۴	۲۳/۷۰	۲۶	۷۶/۴۷	۱/۳۱	۱/۱۷
کاربری اراضی	۲۰۰-۱۵۰	۱۶۶۷۶۱	۱۲/۴۸	۴	۱۱/۷۶	۰/۲۰	۰/۰۵
	>۲۰۰	۷۵۵۳۵	۵/۶۵	۴	۱۱/۷۶	۰/۲۰	۰/۷۳
	مناطق مسکونی	۳۰۳۱۸۶	۸/۵۸	۱۲	۱۴/۷۰	۱/۷۱	۰/۵۳
	زمین‌های کشاورزی	۸۳۵۶۷۳	۸۵/۸۴	۷	۲۰/۵۸	۲/۳۹	۰/۱۴
فاصله از جاده	تپه‌های ماسه‌ای	۱۹۶۴۰۳	۵/۵۶	۱۰	۲۹/۴۱	۳/۴۲	۱/۶۵
	زمین‌های بایر	۳	۸/۴۹	۱۲	۳۵/۲۹	۴/۱۰	۱۲/۹۳
	۱۰۰-۵۰	۵۹۱۲۱۲	۴۴/۲۷	۳۱	۹۱/۱۷	۲/۰۵	۰/۷۲
	۱۵۰-۱۰۰	۴۰۲۱۳۶	۳۰/۱۱	۳	۸/۸۳	۰/۱۹	۰/۲۲
فاصله از رودخانه	۲۰۰-۱۵۰	۲۱۹۹۵۷	۱۶/۴۷	۰	۰	۰	۰
	>۲۰۰	۱۲۱۸۷۳	۹/۱۲	۰	۰	۰	۰
	۱۰۰-۵۰	۷۲۶۸۵۴	۵۴/۴۳	۳۳	۹۷/۰۵	۱/۷۱	۰/۵۷
	۱۵۰-۱۰۰	۳۸۲۵۳۸	۲۸/۶۵	۱	۲/۹	۰/۰۵	۰/۲۷
سازندهای زمین‌شناسی	۲۰۰-۱۵۰	۱۵۶۱۱۹	۱۱/۶۹	۰	۰	۰	۰
	>۲۰۰	۶۹۶۶۷	۵/۲۱	۰	۰	۰	۰
	بختیاری	۱۴۱۰	۰/۱۰	۰	۰	۰	۰
نهشته‌ها و تراس دره‌ای کواترنری	نهشته‌ها و تراس دره‌ای کواترنری	۱۲۹۴۹۵۳	۹۶/۹۸	۳۴	۱۰۰	۰/۰۷	۶/۸۵
	آغاچاری	۳۸۹۰۲	۲/۹۱	۰	۰	۰	۰

با توجه به ضریب آنتروپی محاسبه شده در مورد پارامترهای مورد مطالعه، به ترتیب مشخص می‌شود که فاصله از رودخانه (۷/۹۶) و فاصله از جاده (۴/۳۵) بیشترین ضریب را از بین پارامترها در این روش دارند. این بدین معناست شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی تحت تأثیر فاصله از رودخانه است. کمترین ضریب (۱/۲) متعلق به سازندهای زمین‌شناسی است. به گونه‌ای که مدل آنتروپی شانون نشان می‌دهد سازندهای زمین تأثیری در فرسایش خندقی تأثیر کمی دارند. ارتفاع (۰/۳۹) و شیب (۰/۲۷)، چندان تأثیری در شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی در محدوده مورد مطالعه ندارند (جدول ۳).

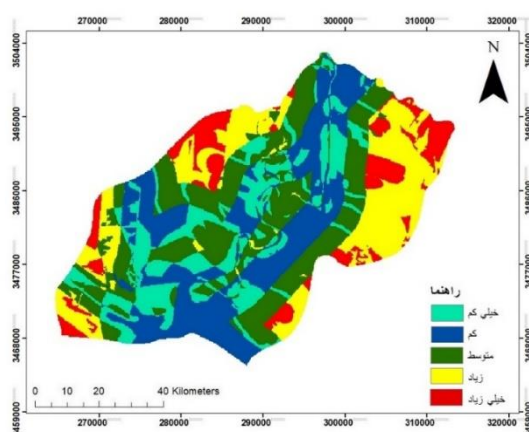
جدول ۳. محاسبه روش آنتروپی شانون شمال اهواز

vj	Average fr	Ij	Hjmax	Hj	Eij* Log Eij	Log Eij	Eij	طبقه	معیار
۰/۳۹	۰/۳۹	۰/۸۸	۰/۲۰	۰/۵۸	۰	۰	۰	۱۳-۶	ارتفاع
					۰	۰	۰	۱۸-۱۳	
					۰	۰	۰	۲۶-۱۸	
					-۰/۱۴	-۰/۱۱	-۰/۱۲	۳۷-۲۶	
					-۰/۱۹	-۰/۱۵	-۰/۱۸	۹۷-۳۷	
۰/۲۷	۰/۲۹	۰/۵۶	۱۸	۰/۵۴	۰	۰	۰	۱۰-۵	شیب
					۰	۰	۰	۱۵-۱۰	
					۰	۰	۰	۲۰-۱۵	
					-۰/۰۸	-۰/۰۸	۰/۹	۲۵-۱۵	
					-۱/۰	۰/۹۲	-۰/۱۱	>۲۵	
۱/۳۹	۰/۴۲	۳/۲۴	۱/۲۰	۰/۳۰	۰	۰	۰	۱۵۰-۱۰۰	تراکم آبراهه‌ها
					-۰/۰۸	-۰/۱۱	۱/۱۷	۱۵۰-۱۰۰	
					-۰/۱۰	-۰/۹۲	-۰/۱۱	۲۰۰-۱۵۰	
					-۱/۰	۰/۹۲	-۰/۱۱	>۲۰۰	
۴/۳۰	۲/۹۱	۱/۷۲	۱/۲۰	۰/۵۷	-۰/۱۲	-۰/۸۳	-۰/۱۴	مناطق مسکونی	کاربری اراضی
					-۰/۱۴	-۰/۶۸	-۰/۲۰	زمین‌های کشاورزی	
					-۰/۱۵	-۰/۵۳	۰/۳۹	تپه‌های ماسه‌ای	
					-۰/۱۶	-۰/۴۵	۰/۳۵	زمین‌های بایر	
۴/۳۵	۰/۵۶	۷/۷۱	۱/۲۰	۰/۱۲	-۰/۰۴	-۰/۰۴	۰/۹۱	۱۰۰-۵۰	فاصله از جاده
					۰/۰۹	-۱/۰۵	-۰/۰۸	۱۵۰-۱۰۰	
					۰	۰	۰	۲۰۰-۱۵۰	
					۰	۰	۰	>۲۰۰	
۷/۹۶	۰/۴۵	۱۷/۳۵	۱/۲۰	۰/۰۵	-۰/۰۱	۰	-۰/۹۷	۱۰۰-۵۰	فاصله از رودخانه
					-۰/۰۴	-۰/۰۱	-۰/۰۲	۱۵۰-۱۰۰	
					۰	-۱/۵۳	۰	۲۰۰-۱۵۰	
					۰	۰	۰	>۲۰۰	
۱/۲	۰/۰۲	۰	۰/۹۵	۰	۰	۰	۰	بختیاری	سازندهای زمین‌شناسی
					۰	۰	۱	نهبشته‌ها و تراس دره‌ای کواترنری	
					۰	۰	۰	آغاچاری	

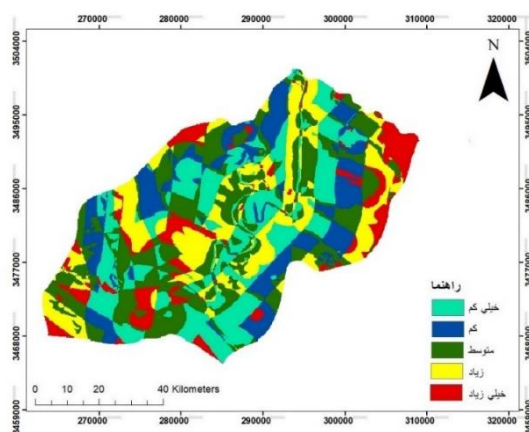
فرسایش خندقی منطقه در پی فرآیند مستمر عوامل فیزیکی و هیدرولیکی صورت می‌گیرد و باید توجه داشت که درجه و شدت این فرسایش به شدت اثرات عوامل فرسایش‌دهنده بستگی دارد. محدوده مورد مطالعه با کاهش شیب در خاک‌های دشت و پست آبرفتی، در سازندهای حساس میزان انحلال و نفوذ آب بیشتر شده و موجب فرسایش خندقی گردیده، همچنین افزایش و کاهش بارندگی در سال‌های اخیر، خشکسالی، فرسایش جریانی آب باعث ایجاد و گسترش فرسایش خندقی در محدوده مورد مطالعه شده است (شکل ۴). در ادامه، در محیط ArcGIS روش‌های نسبت فراوانی، شاخص آماری، آنتروپی شانون در پنج کلاس (از خیلی کم تا خیلی زیاد) پهنه‌بندی شده‌اند (شکل ۴ تا ۶).



شکل ۴. پهنه‌بندی فرسایش خندقی به روش نسبت فراوانی



شکل ۵. پهنه‌بندی فرسایش خندقی به روش شاخص آماری



شکل ۶. پهنه‌بندی فرسایش خندقی به روش آنتروپی شانون

پس از تهیه نقشه‌های پهنبندی فرسایش خندقی، اقدام به صحت‌سنجی مدل‌ها گردید. در جدول (۴) شاخص‌های نسبت تراکم، جمع کیفی و دقت روش در هر سه مدل مورد استفاده نشان داده شده است. شاخص نسبت تراکم در روش نسبت فراوانی کلاس فرسایش کم (۰/۴۳)، در روش شاخص آماری کلاس فرسایش متوسط (۰/۴۵) و در روش آنتروپی شانون در کلاس فرسایش کم (۰/۴۰) بیشترین امتیاز را دارند. در روش مقدار مجموع کیفیت (QS) نشان‌دهنده درستی یا مطلوبیت عملکرد روش در پیش‌بینی وقوع فرسایش در منطقه است. معمولاً مقدار این شاخص در روش‌های مختلف در گستره صفر و هفت قرار می‌گیرد. در این پژوهش مجموع کیفیت (QS) در روش شاخص آماری (۰/۳۶) با دقت (۰/۷۶) بالاترین میزان را دارد و روش نسبت فراوانی با دقت (۰/۱۶) و روش آنتروپی شانون با مجموع کیفیت (۰/۲۲) کمترین مقادیر در ارزیابی مدل دارند.

جدول ۴. محاسبات شاخص نسبت تراکم، مجموع کیفیت و دقت روش‌های مورد استفاده در پژوهش

روش پهنبندی	کلاس فرسایش	مساحت فرسایش (%)	مساحت (%)	نسبت تراکم (Dr)	مجموع کیفیت (Qs)	دقت (P)
نسبت فراوانی	خیلی کم	۳۳/۲۴	۳۵/۵۰	۰/۴۲	۰/۲۴	۰/۱۶
	کم	۳۳/۶۸	۳۵	۰/۴۳		
	متوسط	۲۰/۸۸	۱۵/۵۰	۰/۱۲		
	زیاد	۱۰/۱۰	۱۰	۰/۸		
	خیلی زیاد	۲/۱۰	۴	۰/۶		
شاخص آماری	خیلی کم	۲۵/۳۰	۲۶	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۷۶
	کم	۳۱/۲۶	۲۸	۰/۳۸		
	متوسط	۳۳/۱۴	۳۶	۰/۴۵		
	زیاد	۳/۱۱	۳/۱۵	۰/۷		
	خیلی زیاد	۷/۱۹	۶/۸۵	۰/۱۰		
آنتروپی شانون	خیلی کم	۳۳/۳۳	۳۰/۵	۰/۳۹	۰/۲۲	۰/۱۴
	کم	۳۴/۲۳	۳۰/۴۵	۰/۴۰		
	متوسط	۲۶/۱۴	۲۵/۵۰	۰/۳۵		
	زیاد	۴/۱۸	۹/۵۰	۰/۷		
	خیلی زیاد	۲/۱۲	۳/۵۰	۰/۵		

#### ۴- بحث و نتیجه‌گیری

فرسایش خندقی از جمله انواع فرسایش آبی و تشدید شونده است که رخداد و گسترش آن موجب تغییرات بارز در منظر زمین و پسرقت اراضی و تخریب محیط زیست می‌شود. با توجه به تنوع و میزان تأثیر عوامل مختلف در شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی که از نقطه‌ای به نقطه دیگر، نوع و میزان تأثیر آن تغییر می‌کند. فرسایش خندقی یکی از فرایندهای فرساینده و حالت‌دهنده شکل سطح زمین است. توسعه فرسایش خندقی باعث از بین رفتن بخش زیادی از خاک شده و می‌تواند به‌عنوان یکی از عوامل اصلی تخریب زیست‌محیطی شمال اهواز باشد. با توجه به نتایج به دست آمده، بخش زیادی از فرسایش خندقی منطقه مورد مطالعه، تحت تأثیر فاصله از رودخانه (۷/۹۶) است، نداشتن نگاه همه‌جانبه به محدوده مورد مطالعه تغییرات مقطعی در آبراهه‌ها و طراحی نامناسب در خروجی‌های حوضه کارون باعث تمرکز هرزاب‌ها و شروع فرسایش خندقی در شمال اهواز شده است. همچنین، تأثیر نهشته‌ها و تراس دره‌ای کواترنری، (۶/۸۵) یکی از عوامل مهم در ایجاد خندق‌ها است. فرسایش‌پذیری این سازند و عدم رعایت اصول صحیح کشت و تناوب زراعی در اراضی کشاورزی و تغییر کاربری اراضی موجب برهم خوردن بافت و ساختمان خاک می‌شود. از پارامتر مهم دیگر در ایجاد فرسایش خندقی شمال اهواز، فاصله از جاده (۴/۳۵) است. عملیات جاده‌سازی موجب تمرکز هرزاب‌های بالادست در آبراهه‌های زیر جاده‌ها و ایجاد خندق‌ها در پایین‌دست جاده می‌شود. فرسایش خندقی شمال اهواز منجر به لغزش دامنه‌های بستر رودخانه کارون شده و زیر جاده‌ها و تأسیسات ساحلی را خالی می‌کند. با توجه به حجم عملیات راه‌سازی (جاده و پل) و عمرانی، در سال‌های اخیر در منطقه مورد پژوهش شدت گرفته است. همچنین، نتایج ارزیابی مدل‌ها با استفاده از روش جمع کیفی (QS) نشان داد مدل شاخص آماری بالاترین میزان جمع کیفی (۰/۳۶) را به‌خود اختصاص داده است. بعد از آن مدل‌های نسبت فراوانی (۰/۲۴) و آنتروپی شانون (۰/۲۲) کم‌ترین شاخص را در میزان جمع کیفی دارند. تأثیرپذیری عوامل اقلیمی، زمین‌شناختی،

خاک و دخالت‌های انسانی از یکدیگر، موجب بروز فرسایش شدید خندقی در منطقه شده است. می‌توان گفت بخش قابل توجهی از فرسایش خندقی در محدوده‌ی مورد مطالعه از این طریق ایجاد شده است. با در نظر گرفتن مجموع مطالب فوق عوامل مؤثر در ایجاد و گسترش این نوع فرسایش می‌توان نتیجه گرفت که هر چند تا حدود زیادی عوامل مؤثر در ایجاد و تشدید فرسایش خندقی مشخص شده است؛ اما تنوع و تغییر تعداد و میزان تأثیر عوامل مختلف از نقطه‌ای به نقطه دیگر و متفاوت بودن سهم مشارکت آن‌ها در شکل‌گیری و گسترش خندق‌ها در تبعیت از شرایط زمین‌محیطی ایجاب می‌کند که تحقیقات بیشتری جهت بررسی و تجزیه و تحلیل عوامل تأثیرگذار بر ایجاد رشد و گسترش فرسایش خندقی جهت دستیابی به راه‌حل‌های راهبردی جهت کنترل و کاهش میزان توسعه این پدیده در منطقه مورد مطالعه شود.

## ۵- سپاس‌گزاری

نویسندگان از حمایت‌های مادی و معنوی دانشگاه اصفهان در انجام این پژوهش تشکر می‌نمایند.

## ۵- فهرست منابع

- اصغری سراسکانرود صیاد (۱۳۹۶)، تحلیل عوامل مؤثر در شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی. فضای جغرافیایی. ۱۷؛ ۱۳۹۶: (۵۸): ۲۸۵-۳۰۱.
- بوستانی، مریم و دانشپور، عبدالهادی و کافی، محسن، (۱۳۹۲)، اهمیت مطالعه‌ی محیطی منظر رودخانه‌های درون شهری مطالعه موردی رودخانه‌های کارون، اهواز خوزستان، کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و توسعه پایدار شهری، تبریز.
- تیموریان، تیمور، نظری سامانی، علی اکبر، فیض‌نیا، سادات، احمدآلی، خالد، سلیمان پور، سید مسعود. (۱۴۰۱). شناخت توزیع مکانی احتمال رخداد فرسایش خندقی با مدل بیشینه‌ی آنتروپی. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۵(۲)، ۲-۱۵.
- پورنادر، مریم، فیض‌نیا، سادات، احمدی، حسن، کریمی، حاجی، و پیروان، حمیدرضا. (۱۳۹۸). ارزیابی پایداری برآوردهای مدل بیشینه آنتروپی برای مدل‌سازی فرسایش شیاری. حفاظت منابع آب و خاک، ۹(۲)، ۱۲۳-۱۳۹.
- حسین‌زاده محمدمهدی. برآورد ارتفاع و دبی اوج رواناب در وقوع فرسایش آبراهه‌ای در منطقه کجور نوشهر- البرز شمالی. پژوهش‌های فرسایش محیطی. ۱۳۹۱؛ ۲ (۳): ۱-۱۵.
- سلیمان‌پور، سید مسعود، صوفی، مجید، کشاورزی، حجت‌اله. (۱۴۰۱). ارزیابی تأثیر ساخت بند خاکی بر مهار فرسایش خندقی از دیدگاه آبخیزنشینان در آبخیز مزیجان استان فارس. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۵(۴)، ۹۰-۱۰۳.
- شادفر، صمد، داودی‌راد، علی‌اکبر، پیروان، حمیدرضا. (۱۳۹۱). بررسی و مقایسه ویژگی‌های فرسایش خندقی در کاربری‌های کشاورزی و مرتعی، مطالعه موردی: حوزه آبخیز رباط ترک، مهندسی و مدیریت آبخیز (۴)، صص: ۲۲۲-۲۱۵.
- رحیمی، داریوش، و هاشمی‌نسب، سادات. (۱۳۹۷). تحلیل واکنش هیدرولوژی حوضه‌ی کارون شمالی به افزایش دمای کمینه. پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی (پژوهش‌های جغرافیایی)، ۵۰(۱)، ۱-۱۷.
- ذاکری‌نژاد، رضا، ۱۳۹۷، پهنه‌بندی فرسایش خندقی با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی و سیستم اطلاعات جغرافیایی؛ مطالعه موردی جنوب شهرستان سمیرم، سومین همایش ملی کاربرد مدل‌های پیشرفته تحلیل فضایی (سنجش از دور و GIS) در آمایش سرزمین، یزد.
- ذاکری‌نژاد رضا، الوندی پروش. پیش‌بینی فرسایش خندقی با استفاده از داده‌های TanDEM-X و مدل حداکثر آنتروپی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز خسویه). پژوهش‌های فرسایش محیطی. ۱۴۰۲؛ ۱۳ (۱): ۹۶-۱۱۳.
- عرب‌عامری، علیرضا، رضایی، خلیل، شیرانی، کوروش، (۱۳۹۷)، پهنه‌بندی و ارزیابی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های عامل اطمینان، تراکم سطح و تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: حوضه ونک، استان اصفهان)، فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی، سال هجدهم، شماره ۶۲، صص ۹۳-۱۱۶.
- علیمیرزایی، زینب، زارع‌بیدکی، رفعت، زمانی، رسول، و محمودی، احمد. (۱۳۹۷). پایش خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی حوضه‌ی آبخیز کارون شمالی. هیدروژئومورفولوژی، ۴(۱۵)، ۱۱۵-۱۳۳.
- قربانی، سمیرا، رحمتی امید، نورمحمدی فرهاد (۱۳۹۶). مدل‌سازی پتانسیل رخداد فرسایش‌های آبکندی در منطقه‌ی سمیرم با استفاده از مدل‌های آنتروپی‌شانون و شاخص آماری پژوهش‌های فرسایش محیطی. ۱۳۹۶؛ ۷ (۱): ۶۹-۸۹.

- قربائیان، جبرئیل و مرشدی، جعفر، (۱۳۹۰)، امکان‌سنجی نقشه‌های ژئومورفولوژی در آمایش ناحیه‌ای با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) مورد مطالعه: شهر اهواز. فصلنامه علمی پژوهشی جغرافیای انسانی، سال سوم، شماره دوم، صص ۷۴-۵۹.
- گرنامی، رضا، و شادفر، صمد. (۱۳۹۷). کاربرد GIS در تعیین مناطق مستعد فرسایش خندقی با روش فرایند تحلیل شبکه. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۱(۴)، ۵۸-۶۸.
- گیلانی‌پور، علی، و متولی، صدرالدین. (۱۳۹۴). پهنه‌بندی خطر زمین لغزش‌های کم‌عمق با استفاده از روش‌های آماری دو متغیره و GIS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز گلندرود). اکوسیستم‌های طبیعی ایران، ۶(۱-۲)، ۵۷-۷۷.
- ناعمی‌تبار، مهناز، زنگنه‌اسدی، محمد علی، کرمی، مختار (۱۴۰۰) پهنه‌بندی و ارزیابی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل‌های عامل اطمینان، تراکم سطح و هیبریدی قضیه بیز (مطالعه موردی: حوضه بقیع، نیشابور). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، 10(1)، ۱۱۲-۱۲۹.
- محمدابراهیمی، مریم. (۱۳۹۶). شناسایی علل وقوع فرسایش خندقی با تأکید بر خصوصیات خاک (مطالعه موردی: حوضه آبخیز آق امام). حفاظت منابع آب و خاک، ۷(۲)، ۱-۱۳.
- مددی، عقیل، اصغری سراسکانرود، صیاد، نگهبان، سعید، مرحمت، مهری. (۱۴۰۱). ارزیابی حساسیت فرسایش خندقی با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی در حوضه آبخیز رودخانه شور (شهرستان مهر). جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۱(۳)، ۱۲۳-۱۴۵.
- مقیم، ابراهیم، و قدسی، مرضیه. (۱۳۹۳). بررسی عوامل محیطی درونی مؤثر بر شکل‌گیری و گسترش خندق. پژوهش‌های آبخیزداری، ۲۷(۲)، ۱۱۳-۱۲۲.
- مهربان، مریم، گل‌گاری، علی، خسروی، خهبات، (۱۳۹۸)، ارزیابی حساسیت به فرسایش خندقی با استفاده از مدل ماکزیمم آنتروپی - مطالعه موردی: منطقه شورلوق استان خراسان رضوی، سومین کنفرانس ملی حفاظت خاک و آبخیزداری.

## References

- Asghari Saraskanroud Sayad (2016), analysis of effective factors in the formation and expansion of gully erosion. Geographical space. 1396;17(58):285-301. [In Persian].
- Alimirzaei, Zainab, Zare Bidaki, Rifat, Zamani, Rasoul, and Mahmoudi, Ahmed. (2017). Meteorological and hydrological drought monitoring of North Karun watershed. Hydrogeomorphology, 4(15), 115-133. [In Persian].
- Arab Ameri, Alireza, Rezaei, Khalil, Shirani, Korosh, (2017), Landslide Risk Zoning and Assessment Using Confidence Factor Models, Surface Density and Hierarchical Analysis (Case Study: Vanak Basin, Isfahan Province), Quarterly Scientific-Research of Geographical Space, 18th year, No. 62, pp. 116-93. [In Persian].
- Bostani, Maryam and Daneshpour, Abdulhadi and Kafi, Mohsen, (2012), The importance of landscape study of urban rivers, a case study of Karun rivers, Ahvaz, Khuzestan, International Conference on Civil Engineering, Architecture and Sustainable Urban Development, Tabriz. [In Persian].
- hoseinzadeh M M. (2012). Estimated height and peak runoff rate in a stream erosion in Koojor region Nowshahr – North Alborz . E.E.R. 2012; 2 (3) :1-15. [In Persian].
- Lesschen, J.P., K. Kok, P.H. Verburg, L.H. Cammeraa. 2007. Identification of vulnerable areas for gully erosion under different scenarios of land abandonment in Southeast Spain. Catena 71:110-121.
- Gornami, R., & Shadfar, S. (2018). Application of the GIS in the Determination of Susceptible Areas to Gully Erosion Using the Analytic Network Process (ANP). Watershed Management Research Journal, 31(4), 58-68. doi: 10.22092/wmej.2018.121633.1112. [In Persian].
- Gharbaian, Jabreil and Murshidi, Jafar, (2011), Feasibility of geomorphological maps in a regional study using Geographical Information System (GIS) studied: Ahvaz city. Scientific research quarterly of human geography, third year, second issue, pp. 59-74. [In Persian].
- Ghorbani, Samira, Rahmati Omid, Noormohammadi Farhad (2017), Modeling the Potential of Gully Erosion Occurrence Applying Shannon Entropy and Statistical Index Models in Seymareh Region. E.E.R. 2017; 7 (1) :69-89. [In Persian].
- Gilanipour, Ali, and Mutoli, Sadruddin. (2014). Risk zoning of shallow landslides using bivariate statistical methods and GIS (case study: Glendrood watershed). Natural Ecosystems of Iran, 6(1-2), 57-77. [In Persian].
- Moghimi, E., & Ghodsi, M. (2014). Study the Inter Put Environmental Parameters Affecting on Gully Formation and development. Watershed Management Research Journal, 27(2), 113-122. doi: 10.22092/wmej.2014.106262. [In Persian].

- Mohammad Ebrahimi, Maryam. (2016). Identifying the causes of ditch erosion with emphasis on soil characteristics (case study: Aq Imam watershed). *Protection of water and soil resources*, 7(2), 1-13. **[In Persian]**.
- Madadi, A., Asghari Saraskanroud, S., Negahban, S., & Marhamat, M. (2022). Evaluation of Gully Erosion Sensitivity using Maximum Entropy Model in Shoor River Watershed (Mohr Township). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 11(3), 123-145. doi: 10.22067/geoeh.2022.76707.1228. **[In Persian]**.
- Mehraban, Maryam, Golgari, Ali, Khosravi, Khe Bat, (2018), Evaluating gully erosion sensitivity using the maximum entropy model - case study: Shorluk region of Razavi Khorasan province, 3rd National Conference on Soil Conservation and Watershed Management. **[In Persian]**.
- Naemi tabar, M., Zangane Asadi, M. A., & karami, M. (2021). Zoning and landslide risk assessment using reliability, surface density and hybrid models of Bayesian theorem (Case study: Baqi basin, Neishabour). *Quantitative Geomorphological Research*, 10(1), 112-129. doi: 10.22034/gmpj.2021.251394.1215. **[In Persian]**.
- Pournader, Maryam, Faiz Nia, Sadat, Ahmadi, Hassan, Karimi, Haji, and Pirovan, Hamidreza. (2018). Assessing the stability of maximum entropy model estimates for furrow erosion modeling. *Protection of water and soil resources*, 9(2), 123-139. **[In Persian]**.
- Oparaku, L. A., Iwar, R. T. (2018). Relationships between average gully depths and widths on geological sediments underlying the Idah-Ankpa Plateau of the North Central Nigeria. *International Soil and Water Conservation Research*, 6(1), PP 43-50. doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.12.003
- Rienks S.M, Botha G.A and Hughes, J.C. 2002. Some physical and chemical properties of sediments exposed in a gully in Northern KwaZulu-Natal, South Africa and their relationship to the erodibility of the colluvial layers. *Catena* 39:11-31.
- Roblesa, C. M., 2010. Factors related to gully erosion in woody encroachment in south-eastern Australia ,*CATENA* ,Volume83 ,Issues 2-3, November-December 2010
- Solomon O and Omougbo U. N. 2013. Evaluating factors responsible for gully Development at the University of Bennis. *Journal of emerging trend in engineering and applied Science* 4:707-713 .
- Sundquist B. 2000. Top soil loss- Causes effects and implication. *Science*, 63:70-71.
- Rahimi, Dariush, and Hashemi Nasab, Sadat. (2017). Analysis of the response of the hydrology of the North Karun basin to the increase in minimum temperature. *Natural Geography Researchers (Geographical Researches)*, 50(1), 1-17. doi: 10.22059/jphgr.2018.229600.1007021. **[In Persian]**.
- Soleimanpour, S. M., Soufi, M., & Keshavarzi, H. (2022). Evaluation of the Effect of Earth Dam Construction on Gully Erosion Control from the Perspective of Watershed Residents in Mazayjan Watershed of Fars Province. *Watershed Management Research Journal*, 35(4), 90-103. doi: 10.22092/wmrj.2022.358296.1466. **[In Persian]**.
- Shadfar, S., davoodirad, A. A., & Peyrowan, H. R. (2013). Investigation and comparing gully erosion characteristics in agriculture and rangeland land uses, case study: Robot Tork watershed. *Watershed Engineering and Management*, 4(4), 217-222. doi: 10.22092/ijwmse.2013.101746. **[In Persian]**.
- Teimurian, T., Nazari Samani, A., Feiznia, S., Ahmadaali, K., & Soleimanpour, S. M. (2022). Determining the Spatial Distribution of Gully Erosion Probability Using the MaxEnt Model. *Watershed Management Research Journal*, 35(2), 2-15. doi: 10.22092/wmrj.2021.354647.1415. **[In Persian]**.
- Zakiri Nezhad Reza, (2017), Zoning of gully erosion using maximum entropy model and geographic information system; A case study of the south of Semiram city, the third national conference on the application of advanced spatial analysis models (remote sensing and GIS) in land management, Yazd. **[In Persian]**.
- Zakiri Nezhad Reza, and Alvandi, Parevash. (2023). Spatial Prediction of Gully Erosion Using TanDEM-X data and Maximum Entropy Model (A case study: Khasoyeh watershed, in Southeast of Fars Province). *E.E.R.* 2023; 13 (1) :96-113. . **[In Persian]**.
- Volker, P., 2011. Soil erosion in the Swiss midlands: Results of a 10-year field survey. *Geomorphology*, 124(1): 32-4.