Assessment of water erosion risk in Zohrea & Jarhari basin using multi-spectral remote sensing data and GIS

Reza Zakerinejad [a,*], **Ali Akdavei** [b], **Yasmin Ghobishawi** [c]
[a] *Assistant Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Planning, University of Isfahan, Iran.*
[b] *M.Sc. Graduate Student, Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Planning, University of Isfahan, Iran.*
[c] *M.Sc. Graduate Student, Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Planning, University of Isfahan, Iran.*

Research Full Paper
Article History (Received: 2025/05/25 **Accepted:** 2025/12/23)

Extended abstract

1- Introduction

Water erosion is one of the main cause of land degradation and desertification in a large area in arid and semi-arid areas in the world. In Iran in result of poor vegetation and also the high amount of run off, causes the soil loss around 25 billion ton per year. Therefore, evaluation the intensity and amount of soil loss is very necessary for soil and water conservation. Many studies have been conducted in the field of evaluating the amount and intensity of water erosion as well as its risk classes in domestic and foreign studies, including a study that was conducted in the watershed upstream of the Letian Dam, which estimated the annual erosion and sediment production of this basin to be about estimated 20413 tons per year, in recent years' water erosion has led to a major phenomenon of land degradation and desertification. Water erosion is controlled by climatic features, topography, soil characteristics, vegetation and land management The aim of this research is to investigate the trend and intensity of water erosion during the period (1992-2021) using the ICONA model, remote sensing data and geographic information system (GIS) in the Zohra-Jarhari watershed in southwest of Iran .

3- Methodology

In this research, the evaluation of the risk of water erosion using remote sensing data and the ICONA model in the two time periods of 1992 and 2021 in the Zahreh-Jargi watershed in southwest Iran is discussed. The model used in this research is ICONA erosion model. The ICONA model is a model proposed and developed by the Spanish Institute of Nature Conservation, and it also takes its name from the same institute. This model is a model for estimating the degree of erosion risk in watersheds, based on which the degree of erosion risk can be estimated on a large scale. Figure 2 shows the stages of the ICONA model. In this research, first, the land use map and NDVI index related to 1992 and 2021 were prepared based on TM and ETM+ satellite images. After that, the water erosion risk zoning map of the study area in the mentioned years was prepared based on the ICONA erosion model. By comparing the amount of erosion changes during the past years in the study area, the impact of land use change on the erosion of the area.

3- Results

The risk layer of the used model is created by combining two layers of erodibility and soil protection. Further, according to the tables related to the ICONA model, the two layers of erodibility and soil protection related to the years 1992 and 2021 have been combined with each other (Figure 5). From the comparison of the erodibility risk layers in 1992 and 2021 and according to the diagram in Figure 6, it can be concluded that the extent of 4 erodibility risk classes (low, medium, high and very high) has been increased and the extent of the very low class has been reduced. The main difference between the erosion zones of the studied basin in the studied time period is related to the classes of high erosion risk, which increased by 20.30 in 2021 compared to 1992, and the "very high" erosion risk class, which increased by 6.6 in 2021 compared to 1992. 14% have increased in level, it is worth noting that with the increase in the size of the high and very high risk classes, the size of the very low and low risk classes has also decreased in 2022.

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

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.140]

4- Discussion & Conclusions

soil erosion process of the Zahra-Jarhari watershed, one of the large watersheds in the west of Iran, using the ICONA model and remote sensing data and using the geographic information system (GIS) in the two time periods of 1992 and 2021. . Therefore, for this purpose, the input layers to this model were first collected. The final results of the input indicators showed that the layer of high sensitivity areas in terms of the slope layer are located in the west and southwest of the studied watershed, which have a slope of less than 5%, and the high areas of the basin in the eastern parts of the basin and are located north of it, in fact, it can be said that the slope factor is one of the topographical indicators that are very influential on the sensitivity of the basin to soil loss. because with the increase in the slope, the amount of energy and erosive power of the waterway has also increased, which can lead to more harvesting and wastage of soil erosion. In terms of geological index, in the studied basin, the most sensitivity is related to the Quaternary alluvial formations, as well as Fars group formations, such as Mishan, Aghajari and Gachsaran formations. The alluvial formations of the present era are highly sensitive to erosion due to the looseness of the sediments, while limestone formations such as Asmari have a high resistance to soil erosion, and these formations are also a very suitable source of water resources due to the many seams and cracks.

Key Words: Water erosion, ICONA model, geographic information system (GIS), Zohra-Jarahi watershed.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.140]

Cite this article: Zakerinejad , R., Akdavei , A., & Ghobishawi , Y. (2026). Assessment of the water erosion risk in Zohrea & Jarhari basin using multi-spectral remote sensing data and GIS**.** *Journal of* Environmental *Erosion Research. 2026; 16 (1):140-159*. http//doi.org/10.61882/jeer.405.1.140

© The Author(s).
DOI: http//doi.org/10.61882/jeer.405.1.140
http://magazine.hormozgan.ac.ir
Published by Hormozgan University Press.
URL:

ارزیابی روند خطر فرسایش آبی حوضه آبریز زهره-جراحی با استفاده از داده‌های چند طیفی سنجش از دور و GIS

رضا ذاکری‌نژاد*: *استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه ریزی، دانشگاه اصفهان.*
علی عکداوی: *دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه ریزی، دانشگاه اصفهان.*
یاسمین غبیشاوی: *دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه ریزی، دانشگاه اصفهان.*

نوع مقاله: پژوهشی
تاریخچهٔ مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۰۲)
DOI: http//doi.org/10.61882/jeer.405.1.140

چکیده

در حال حاضر فرسایش خاک یکی از معضلات مهم زیست‌محیطی حوضه‌های آبخیز ایران به شمار می‌رود. فرسایش آبی یکی از عوامل اصلی بیابان زایی و تخریب اراضی در بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک است. لذا ارزیابی میزان و شدت این نوع هدر رفت خاک در مدیریت آب و خاک جهت برنامه ریزی‌های مناسب بسیار ضروری است. هدف این تحقیق بررسی روند و شدت فرسایش آبی در سال های ۱۹۹۲ و ۲۰۲۱ با استفاده از مدل ICONA *، داده های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرفیایی (GIS) در حوضه آبریز زهره-جراحی در جنوب غرب ایران می باشد. برای اجرای این مدل، ابتدا با تلفیق دو لایه شیب و زمین شناسی، لایه فرسایش پذیری خاک تهیه شد. سپس لایه حفاظت خاک نیز با رویهم‌گذاری لایه های کاربری زمین و پوشش گیاهی تهیه گردید. در نهایت با ادغام دو لایه فرسایش پذیری و حفاظت خاک نقشه خطر فرسایش آبی برای حوضه مورد مطالعه در سال های ۱۹۹۲ و تهیه گردید. نتایج این تحقیق نشان می دهد که کلاس خطر فرسایش خیلی‌زیاد در سال ۲۰۲۱ نسبت به ۱۹۹۲ به میزان ۱۴/۶ درصد افزایش سطح داشته‌اند. کلاس های خطر خیلی زیاد نشان از شدت بالای روند فرسایشی در منطقه‌ی مورد مطالعه داشته که این مناطق بیشتر در غرب و جنوب غرب حوضه زهره-جراحی می باشند. لذا نیاز ضروری است که مدیران و برنامه ریزان با در در نظر گرفتن اولویت گرفتن مناطق پر خطر با انجام اقدامات حفاظتی بیولوژیکی و مکانیکی از جمله درخت‌کاری و نهال‌کاری و همچنین عملیات آبخیزداری در جهت کنترل و جلوگیری از پیشروی مناطق حساس در جهت حفاظت خاک اقدام نمایند.

واژگان کلیدی: فرسایش آبی، مدل **ICONA**، سیستم اطلاعات جغرافیایی **(GIS)**، حوضه زهره-جراحی.

*. ICONA

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

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.61882/jeer.405.1.140]

۱ـ مقدمه

فرسایش خاک نه تنها سبب فقیر شدن خاک و متروک شدن مزارع می‌شود، بلکه می‌تواند با رسوب گذاری در آبراهه‌ها، مخازن سدها و بنادر، ظرفیت آبگیری آنها را کاهش دهد (Ansari Lari & Ansari, 2016). فرسایش خاک یک مشکلی جهانی محسوب می‌شود، که به طور جدی منابع آب و خاک را تهدید می‌کند و پیامدهای حاصل از آن توسط برخی از پژوهشگران به حدی خطرناک قلمداد شده است که شکوفایی و نابودی تمدن‌های پیشین را به این پدیده نسبت داده‌اند (Noahgar & Kazemi, 2013). حوضه‌های آبخیز ایران از نظر عوامل فیزیوگرافی، اقلیمی و انسانی مؤثر بر فرسایش بسیار متفاوت هستند. با توجه به روند رو به افزایش فرسایش خاک، لزوم برنامه‌ریزی صحیح و متناسب با شرایط حوضه‌های آبخیز کشور در جهت حفاظت از منابع آب و خاک ضروری است. طبق بسیاری از گزارشات در زمینه مطالعات خاک، سالانه حدود ۳۵ میلیون هکتار از اراضی کشور ایران تحت تأثیر فرسایش آبی قرار دارند (Zakerinejad & Maerker 2015; Zakerinejad et al., 2021). کشور ایران نیز به دلیل نبود و یا کمبود پوشش گیاهی، همراه با افزایش رواناب موجب از بین رفتن ۲/۵ میلیارد تن خاک در سال می‌شود (Ahmadi,1999). در سال‌های اخیر فرسایش آبی به عنوان یکی از انواع فرسایش به یک پدیده اصلی تخریب سرزمین و بیابان زایی منجر شده است. فرسایش آبی توسط ویژگی‌های اقلیمی، توپوگرافی، ویژگی های خاک، پوشش گیاهی و مدیریت زمین کنترل می‌شود(Erfanian et al., 2014). اندازه‌گیری مستقیم میزان فرسایش و رسوب حوضه‌های آبخیز پرهزینه و وقت‌گیر است و تعمیم نتایج آن به حوضه‌های بزرگتر نیز مشکل است (Salavati et al., 2010; Zakerinejad et al., 2015). بر اساس مرکز اطلاعات بین‌المللی سازمان ملل متحد ۱۰۰ میلیون هکتار از اراضی ایران به دلیل فرسایش آبی ناپایداراند که با توجه به جنبه‌های مختلف فرسایش خندقی و پیامدهای رو به گسترش زیست محیطی آن، پژوهش پیرامون ابعاد مختلف فرسایش خندقی یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر است (Hadley et al., 1985). ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی فرسایش خاک بوسیله‌ی مدل‌های کمی و کیفی جهت برنامه‌ریزی برای حفاظت خاک، احیای مناطق تخریب شده و همچنین کاهش سرعت تخریب اکوسیستم‌ها یکی از نیازهای اساسی برنامه‌ریزان محسوب می‌شود (Masoudi and Zakerinejad 2011; Erfanian et al., 2013;Cerdà et al., 2020; Keesstra et al., 2018; Tóth et al., 2018). فرسایش آبی در اشکال مختلفی چون فرسایش پاشمانی، شیاری، بین شیاری، خندقی، تونلی، کنار رودخانه‌ای و ساحلی رخ می دهد. که از میان این اشکال فرسایش خندقی به دلیل حجم بالای رسوب موجب تخریب شدیدتر خاک می‌شود (Zakerinejad & Märker, 2014).

مطالعات فراوانی در زمینه ارزیابی میزان و شدت فرسایش آبی و همچنین کلاس های خطر آن صورت گرفته است. از جمله مطالعه ی که در حوضه آبخیز کند در بالادست سد لتیان صورت گرفت که میزان فرسایش و تولید رسوب سالیانه این حوضه را حدود ۲۰۴۱۳ تن در سال تخمین زدند (Mohammadkhan et al., 2019). عامل‌های پوشش گیاهی، بارندگی، فیزیوگرافی، کاربری اراضی در بسیاری از مدل‌های فرسایشی مورد تاکید قرار گرفته هست (Pyne et al., 2025; Attoubounou et al., 2025). از جمله در پژوهشی دیگر به پهنه‌بندی نقشه خطر فرسایش آبی از نوع آبکندی با استفاده از شاخص‌های فیزیوگرافی و مدل حداکثر آنتروپی (مکسنت) در حوضه سمیرم در جنوب استان اصفهان پرداخت شد، که نتایج این تحقیق نشان از قابلیت بالای این مدل و برتری مدل رقومی ارتفاعی SRTM نسبت به مدل رقومی ASTER در پهنه بندی مناطق مساعد فرسایشی است(Zakerinejad, 2020). مدل جهانی فرسایش خاک (RUSLE)، یکی از مدل‌های فرسایش آبی که در بسیاری از مطالعات فرسایشی مورد استفاده محققین قرار گرفته است، که از قابلیت‌های خوبی برای کمی سازی میزان

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.140]

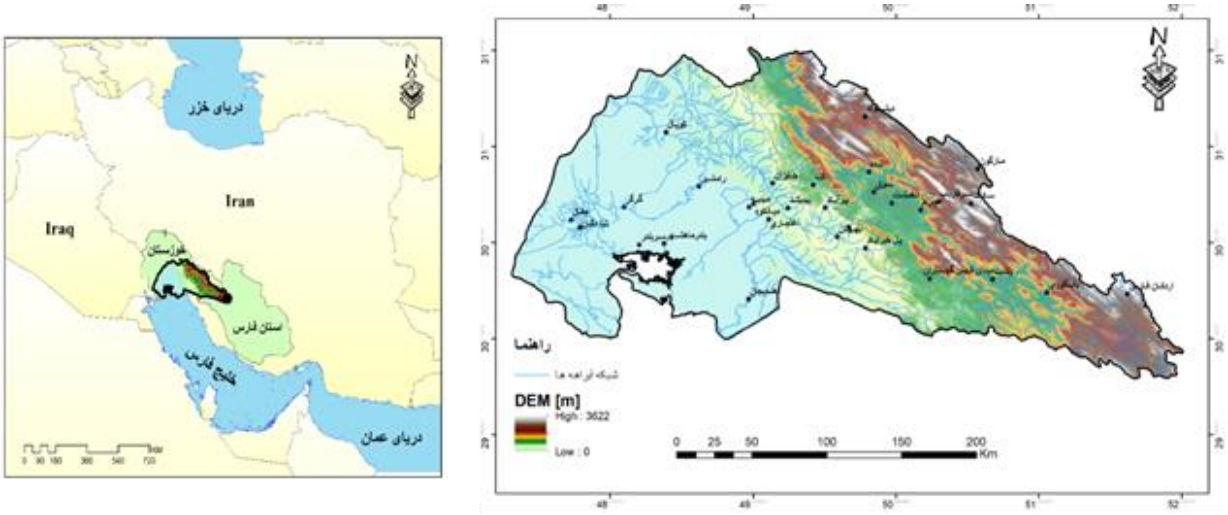
نرخ فرسایش آبی در مناطق با اشکال فرسایش ورقه‌ای و شیاری است. از جمله در مطالعه‌ای که در حوضه آبخیز سیکان با استفاده از مذکور صورت گرفت، از لایه‌های فرسایندگی بارندگی، فرسایش‌پذیری، توپوگرافی، حفاظت خاک، پوشش گیاهی و کاربری اراضی استفاده شد. نتایج این تحقیق نیز نشان داد که کل فرسایش در حوضه برابر با ۱۲۸۱۱۰۰۴ تن در سال است. که از شاخص‌های مورد استفاده در این مدل عامل توپوگرافی مهم ترین پارمتر موثر در فرسایش خاک منطقه محسوب شد(Mezbani et al., 2021). از دیگر مدل‌های ارزیابی فرسایش می‌توان به EPM و BLM اشاره نمود، که در مطالعه‌ای در حوضه آبخیز رزن در شمال شرقی استان همدان صورت گرفت، که نتایج این مطالعه نشان داد که مدل EPM با داده‌های برداشت شده در مطالعه میدانی مطابقت بیشتری دارد که نشان‌دهنده‌ی دقت این مدل در بررسی فرسایش در منطقه مورد مطالعه است (Abedini et al., 2022). در یک پژوهش دیگر نیز به بررسی تغییر کاربری زمین در باتلاق های هاریک در ایالت پنجاب هند پرداخته شد، که نتایج این تحقیق نشان داد که در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۸ اثرات منفی عوامل انسانی از جمله کشاورزی بی رویه و عدم رعایت حق آبه مورد نیاز تالاب‌ها باعث کاهش سطح فرسایش خاک با آب شده است (Singh et al., 2020)، با توجه به این مسائل هدف این پژوهش بررسی تغییرات کلاس فرسایش آبی با استفاده از مدل ICONA در دوره زمانی ۱۹۹۱-۲۰۲۲ در کلان حوضه آبریز زهره-جراحی در جنوب غرب کشور که به عنوان یکی از کلان حوضه‌های کشور محسوب می‌گردد که در سال‌های اخیر به دلایل مختلف اقلیمی و انسانی تحت تاثیر شدید تخریب اراضی قرار گرفته است با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سامانه اطلاعات جغرافیایی است. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای رایگان و در دسترس و همچنین داده‌های موجود برای ارزیابی شدت فرسایش آبی یکی از قابلیت های مهم این تحقیق برای مناطق با دسترسی محدود به داده می‌باشد.

۲ـ منطقهٔ مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه‌های جراحی-زهره در دامنه‌های جنوبی زاگرس میانی واقع شده است. این حوضه از دو زیر حوضه مستقل و جدا از یکدیگر و در مجاورت هم تشکیل شده است که به دلیل شباهت‌هایی که به هم دارند در قالب یک واحد دیده شده است. این حوضه یکی از حوضه‌های آبخیز درجه دو سی گانه کشور را تشکیل می‌دهد که قسمت غربی حوضه در استان خوزستان قسمت میانی در استان‌های خوزستان و کهکیلویه وبویر احمد و قسمت شرقی در استان فارس واقع شده است. در تقسیم بندی‌های دفتر مطالعات پایه منابع آب حوضه آبخیز جراحی زهره چهارمین حوضه ازحوضه دوم مطالعاتی (خلیج فارس) بوده و با کد ۲۴ مشخص است. مجموع مساحت این حوضه ۴۰۷۸۸ کیلومتر مربع است که۱۸۶۴۴ کیلومتر مربع آن یا معادل ۴۵/۷ درصد آن را مناطق کوهستانی و ۲۲۱۴۴ کیلومتر مربع معادل ۳ /۵۴ درصد آن را دشت و کوهپایه تشکیل می‌دهد. شهرهای بهبهان، شادگان، رامشیر، رامهرمز، هفتگل، باغ ملک، اردکان فارس، نور آباد ممسنی، دوگنبدان هندیجان ودهدشت در این حوضه قرار دارند (شکل ۱).

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

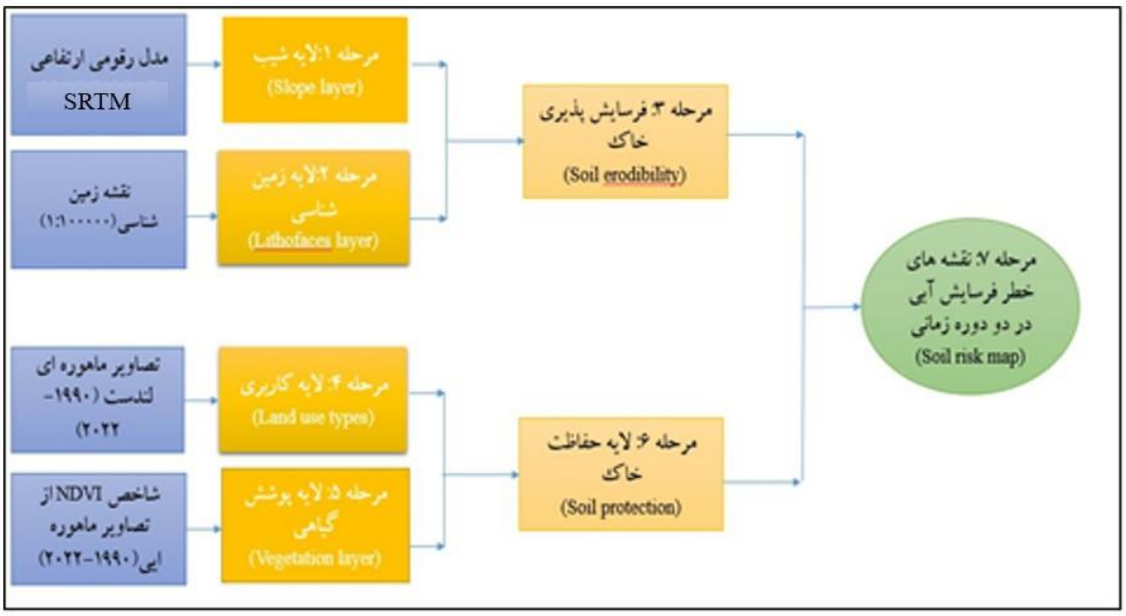
[DOI: 10.61882/jeer.405.1.140]



شکل ۱: موقعییت منطقه پژوهش

۳ـ مواد و روش

در این تحقیق به ارزیابی روند خطر فرسایش آبی با استفاده از داده‌های سنجش دور و مدل ICONA در دو دوره زمانی ۱۹۹۲ و ۲۰۲۱ در حوضه آبریز زهره - جراحی در جنوب غرب ایران پرداخته شد. مدل ICONA توسط موسسه‌ی حفاظت طبیعی اسپانیا پیشنهاد و تکامل یافته است و نام خود را نیز از همین موسسه گرفته است (DENGİZ et al., 2014; Esmaeili et al., 2022). این مدل برای تخمین درجه‌ی ریسک فرسایش در حوضه‌های آبخیز ارائه شده است. در این پژوهش، ابتدا نقشه‌ی کاربری اراضی و شاخص NDVI مربوط به سال ۱۹۹۲ و ۲۰۲۱ بر اساس تصاویر ماهواره‌ای سنجنده‌ی TM و +ETM صورت گرفت. پس از آن، نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر فرسایش آبی منطقه‌ی مورد مطالعه در سال‌های ذکر شده براساس مدل فرسایشی ICONA تهیه گردید. در نهایت با مقایسه‌ی میزان تغییرات فرسایش در طی سال‌های گذشته در منطقه‌ی مورد مطالعه، میزان تاثیر تغییرکاربری بر روی فرسایش منطقه مشخص گردید (شکل ۲).



شکل۲. فلوچارت روش پژوهش

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.61882/jeer.405.1.140]

مدل ICONA شامل هفت مرحله به شرح ذیل است:

مرحله ۱: تهیه لایه شیب منطقه: در این مرحله ابتدا لایه شیب حوضه مورد مطالعه را با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی SRTM[1] با دقت مکانی ۳۰ متر و از سایت سازمان زمین شناسی آمریکا (USGS) و با استفاده از تابع Slope در محیط ArcMap 10.8 برای دو دوره ی زمانی مورد نظر تهیه گردید، شایان ذکر هست قبل از تهیه نقشه شیب، با استفاده از نرم افزار SAGA-GIS خطای هیدرولوژیکی مدل رقومی ارتفاع با استفاده از الگوریتم Darbox-planchon رفع گردید. در نهایت کلاس بندی شیب بر اساس جدول زیر برای مدل مورد استفاده صورت گرفت (جدول ۱). با توجه به اینکه تغییرات توپوگرافی حوضه مورد مطالعه در دور دوره ی زمانی مورد بررسی یکسان می باشد، لذا لایه شیب در دو دوره زمانی مورد بررسی یکسان در نظر گرفته می شود.

جدول ۱: کلاس‌های شیب براساس مدل ICONA

عنوان	دامنه شیب (درصد)	کلاس
شیب خیلی کم	۵-۰	۱
شیب کم	۱۵-۵	۲
شیب متوسط	۲۵-۱۵	۳
شیب تند	۴۰-۲۵	۴
شیب خیلی تند	>۴۰	۵

مرحله ۲: تهیه لایه زمین شناسی (سطوح سنگی): در این مرحله جهت تهیه لایه سطوح سنگی از نقشه زمین شناسی رقومی شده سازمان زمین شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ استفاد گردید. امتیاز دهی به سنگ‌ها بر اساس جدول ۲ می باشند که بر اساس این جدول سازندها از نظر مقاومت به هوازدگی به ۵ کلاس تقسیم بندی می شوند. در واقع می توان بیان داشت که نقشه سطوح سنگی بیانگر نوع سنگ، مواد مادری یا رسوب سطحی یا خاک با تاکید بر مقاومت نسبت به فرسایش شیمیایی و مکانیکی است.

جدول ۲: طبقه‌بندی رخساره‌های سنگی مدل ICONA

کلاس	نوع مواد و جنس خاک براساس مقاومت به هوادیدگی (رخساره‌های سنگی)
1a	سنگ‌های بدون هوازدگی، کنگلومراهای با سیمان محکم یا خاک‌های متراکم و لایه‌های غیرقابل نفوذ (سنگ آهک فشرده، ماسه‌سنگ‌های قوی، سنگ‌های آذرین)
2b	سنگ‌ها یا خاک‌های چسبنده با هوادیدگی متوسط ترک‌دار
3c	سنگ‌ها یا خاک‌های رسوبی کم تا متوسط متراکم شده مانند اسلیت، شیست، مارل‌های متراکم و خاک‌های نیمه متراکم و غیره
4d	سنگ‌های نرم، کم مقاومت و سنگ‌های با هوازدگی عمیق (مارن، ژیپس، اسلیت‌های رسی و غیره) یا خاک‌های نرم
5e	لس‌ها، رسوبات ناپیوسته، خاک‌ها و مواد فرسایشی بسیار سست

مرحله ۳: تهیه لایه فرسایش پذیری خاک: برای مشخص کردن نقشه فرسایش‌پذیری خاک، لایه شیب و سطوح سنگی همپوشانی می‌شوند و نقشهٔ پتانسیل خطر فرسایش و سطح فرسایش پذیری از ترکیب این دو به دست می‌آید. این نقشه به نام

1. Shuttle Radar Topography Mission

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.140]

فرسایش‌پذیری[1] شناخته می‌شود و در واقع بیان‌گر پتانسیل (ریسک) فرسایش[2] حوضه می‌باشد. به طور کلی، تلفیق و روی هم‌اندازی دو نقشه‌ی شیب و زمین‌شناسی، با توجه به ویژگی کلاس‌های هر یک از نقشه‌ها، ماتریکس ۵×۵ را تشکیل می‌دهند که در مجموع در ۵ کلاس خیلی‌کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی‌زیاد قابل تقسیم می‌باشند. نحوه‌ی تلفیق لایه‌های شیب و سطوح سنگی برای تولید لایه‌ی پتانسیل فرسایش‌پذیری در جدول ۳ و کلاس‌های فرسایش‌پذیری در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۳: نحوه‌ی تلفیق لایه‌ی شیب و سطوح سنگی جهت تولید لایه‌ی فرسایش‌پذیری مدل ICONA

کلاس شیب	کلاس رخساره‌های سنگی				
	(a) ۱	(b) ۲	(c) ۳	(d) ۴	(e) ۵
۱	(EN) ۱	(EN) ۱	(EN) ۱	(EN) ۱	(EB) ۲
۲	(EN) ۱	(EN) ۱	(EB) ۲	(EM) ۳	(EM) ۳
۳	(EB) ۲	(EB) ۲	(EM) ۳	(EA) ۴	(EA) ۴
۴	(EM) ۳	(EM) ۳	(EA) ۴	(EX) ۵	(EX) ۵
۵	(EA) ۴	(EA) ۴	(EX) ۵	(EX) ۵	(EX) ۵

جدول ۴: کلاس‌های فرسایش‌پذیری مدل ICONA

کلاس	برچسب	فرسایش‌پذیری
۱	EN	خیلی‌کم
۲	EB	کم
۳	EM	متوسط
۴	EA	زیاد
۵	EX	خیلی‌زیاد

مرحله ۴: تهیه لایه تعیین کاربری: برای تهیه نقشه کاربری اراضی برای دو دوره زمانی مورد مطالعه سال‌های ۱۹۹۲ و ۲۰۲۱ از تصاویر ماهواره‌ای لندست (۱۹۹۲) و نقشه کاربری اراضی ۲۰۲۱ ماهواره‌ی سنتیل-۲ استفاده گردید. با توجه به اینکه در این تحقیق از داده های سری لندست ۷ و ۸ استفاده شده است که هر دو سری دارای قدرت تفکیک ۳۰ متر برای باندهای غیر حرارتی می باشند و از لحاظ قدرت تفکیک رادیومتریک نیز هر دو سنجنده سری ۷ و ۸ دارای حسگرهای جاروب‌گردی[3] هستند که قادر به دریافت داده‌های ۱۲ بیتی با نسبت سیگنال به نویز (SNR) عالی می باشند (Mishra et al., 2014; Padró et al., 2017). شایان ذکر هست که این تصاویر قبل از پردازش از لحاظ خطای اتمسفری، رادیومتریک و هندسی مورد بررسی قرار گرفتند. با توجه به اینکه از محصولات کالکشن ۲ سطح دو محصولات ماهواره لندست استفاده شد که این تصاویر تصحیحات اتمسفریک و رادیومتریک بر روی آن ها اعمال شده است (Pons et al., 2025) و تصحیحات هندسی نیز با استفاده روشهای غیر پارامتری و نقاط کنترل زمینی در محیط نرم افزار ENVI انجام پذیرفت. برای تطابق هندسی تصاویر موردنظر از نقشه های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی استفاده شد. تصاویر به روش استفاده از نقاط کنترل زمینی با خطای هندسی نیم پیکسل تطابق هندسی شد. قابل ذکر هست که، با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه در دو سین از تصاویر ماهواره لندست قرار داشت این تصاویر با استفاده از نرم افزار ArcGIS 10.8 موزاییک شدند. جهت تهیه نقشه‌ی کاربری با استفاده از روش کلاس‌بندی

1. Soil Erodibility
2. Potential Erosion Risk Map
3 . Push-broom

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.61882/jeer.405.1.140]

نظارت شده (Supervised classification) بعد از stack کردن لایه‌ها در محیط نرم افزار ArcGIS10.8 با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال (Maximum Likelihood Classification) و با استفاده از نقاط تعلیمی که با استفاده از تصاویر گوگل ارث، عکس‌های هوایی و تعدادی از داده های موجود میدانی اقدام به تهیه این نقشه گردید. تعداد کلاس‌های این روش بر اساس مدل ICONA انتخاب گردید و در نهایت صحت نقشه ها با داده های واقعیت زمینی مقایسه گردید. امتیازدهی نوع کاربری اراضی برای دو دوره زمانی بر اساس جدول ۵ صورت گرفت. ارزیابی دقت و صحت نقشه های طبقه بندی شده به روشهای مختلف، با ماتریس خطا و با استفاده از نرم افزار ENVI محاسبه شد. برای این کار، از ضرایب صحت کلی۱، ضریب کاپا۲، دقت تولیدکننده۳ و دقت کاربر۴ استفاده شد (رستمی زاده و همکاران۱۴۰۱ ؛ ذاکری‌نژاد و همکاران، ۱۴۰۱) که نتایج تمامی این شاخص ها دلالت بر دقت قابل قبول نقشه تولیدی می باشند.

جدول ۵: طبقات کاربری اراضی

نوع کاربری	کلاس
کشت دیم	۱
کشت آبی	۲
جنگل (باغ)	۳
مرتع	۴
صخره	۵

مرحله ۵: تهیه لایه تعیین پوشش گیاهی: برای تهیه این نقشه از شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) مربوط به ماه‌های آوریل سال‌های ۱۹۹۲ و ۲۰۲۱ و با استفاده از باندهای مادون قرمز نزدیک و باند قرمز سنجنده TM و +ETM و با استفاده از رابطه ۱ تهیه گردید. شایان ذکر هست با توجه به وسعت زیاد حوضه آبریز مورد مطالعه، و تغییرات زیاد پوشش گیاهی در ماه های مختلف آن، ماه آوریل (اوایل فصل بهار)، به دلیل اینکه در این ماه پوشش گیاهی به حداکثر مقدار در اکثر منطقه مورد مطالعه می باشد، انتخاب گردید.

$$NDVI = (NIR - RED)/(NIR + RED)$$ **رابطهٔ ۱**

محدوده‌ی این شاخص بین ۱+ و ۱- است که مناطق فاقد پوشش گیاهی و یا با پوشش گیاهی کم (خاک‌های لخت، اراضی مسکونی) مقدار ارزش عددی صفر یا منفی را نشان می‌دهند و مناطق دارای پوشش گیاهی متراکم دارای ارزش عددی بیشتر از ۰/۳۶ است. جهت تعیین فاکتور درصد پوشش گیاهی که در مدل ICONA مورد استفاده قرار می‌گیرد با استفاده از فرمول ارائه شده توسط وان درنیف و همکاران (۱۹۹۹) که در آن β و α پارامترهای بدون واحد هستند و مقادیر آن‌ها به ترتیب ۲ و ۱ می‌باشند.

1 . Overall Accuracy
2 . Kappa coefficient
3 . Producer Accuracy
4 . Producer Accuracy

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.140]

$$C = \exp\left(-\alpha \frac{NDVI}{\beta} - NDVI\right)$$ رابطهٔ ۲

جدول۶: کلاس‌های پوشش گیاهی براساس مدل ICONA

کلاس	میزان پوشش گیاهی (٪)
۱	کم‌تر از ۲۵ درصد
۲	بین ۲۵ تا ۵۰ درصد
۳	بین ۵۰ تا ۷۵ درصد
۴	بیشتر از ۷۵ درصد

مرحله ۶: تهیه لایه تعیین وضعیت حفاظت خاک: در مطالعات فرسایش آبی یکی از پارامترهای اصلی که باید بررسی و در نظر گرفته شود، شرایط حفاظت خاک است. شرایط حفاظت خاک در هر زمانی متغیر است و با توجه به پوشش محافظ خاک و نوع کاربری همان زمان مورد نظر بیان می‌شود. در این مطالعه برای به دست آوردن نقشه‌ی حفاظت خاک در دو بازه‌ی زمانی ذکر شده، لایه‌ی پوشش گیاهی و لایه‌ی کاربری در محیط GIS تلفیق می‌شوند. کلاس وضعیت حفاظت خاک با توجه به نوع کاربری و میزان پوشش گیاهی در جداول ۷ و ۸ ارائه شده است.

جدول ۷: نحوه‌ی تلفیق لایه‌های کاربری و پوشش گیاهی جهت تولید لایه‌ی حفاظت خاک بر اساس مدل ICONA

کلاس	درصد پوشش گیاهی			
	۰-۲۵	۲۵-۵۰	۵۰-۷۵	>۷۵
۱	(MB) ۵	(MB) ۵	(B) ۴	(B) ۴
۲	(MB) ۵	(MB) ۵	(B) ۴	(M) ۳
۳	(M) ۳	(A) ۲	(MA) ۱	(MA) ۱
۴	(B) ۴	(M) ۳	(A) ۲	(MA) ۱
۵	(MA) ۵	(MA) ۴	(MA)۳	(MA) ۲

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.140]

جدول ۸: کلاس‌های حفاظت خاک براساس مدل ICONA

کلاس	برچسب	حفاظت خاک
۱	MA	خیلی خوب
۲	A	خوب
۳	M	متوسط
۴	B	ضعیف
۵	MB	خیلی ضعیف

مرحلهٔ ۷: نقشهٔ خطر فرسایش خاکICONA : در آخرین مرحله مدل ICONA، برای به وجود آوردن نقشه‌ی خطر فرسایش خاک، نقشه‌ی حفاظت خاک و نقشه‌ی فرسایش‌پذیری خاک برای به وجود آوردن نقشه‌ی خطر فرسایش ICONA در محیط GIS تلفیق و هم‌پوشانی می‌شوند. یکی از اهداف مهم این تحقیق ارزیابی و تهیه‌ی نقشه‌ی مکانی از پهنه‌های خطر فرسایش بر اساس درجه‌ی کیفی یا سطح خطر می‌باشد. در این مرحله که به عنوان آخرین مرحله‌ی مدل ICONA شناخته می‌باشد، نقشه‌ی خطر فرسایش بدست می‌آید. جداول ۹ و ۱۰ به ترتیب طبقات و کلاس فرسایش خاک را ارائه می‌دهند.

جدول ۹: طبقات حفاظت خاک و فرسایش‌پذیری بر اساس مدل ICONA

خطر فرسایش		درصد پوشش گیاهی				
		(EN) ۱	(EB) ۲	(EM) ۳	(EA) ۴	(EX) ۵
سطح حفاظت خاک	(MA) ۱	۱	۱	۱	۲	۲
	(A) ۲	۱	۱	۲	۳	۴
	(M) ۳	۱	۲	۳	۴	۴
	(B) ۴	۲	۳	۳	۵	۵
	(MB) ۵	۲	۳	۴	۵	۵

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.140]

جدول ۱۰: کلاس‌های خطر فرسایش بر اساس مدل ICONA

کلاس	خطر فرسایش
۱	خیلی‌کم
۲	کم
۳	متوسط
۴	زیاد
۵	خیلی‌زیاد

۴-یافته‌ها

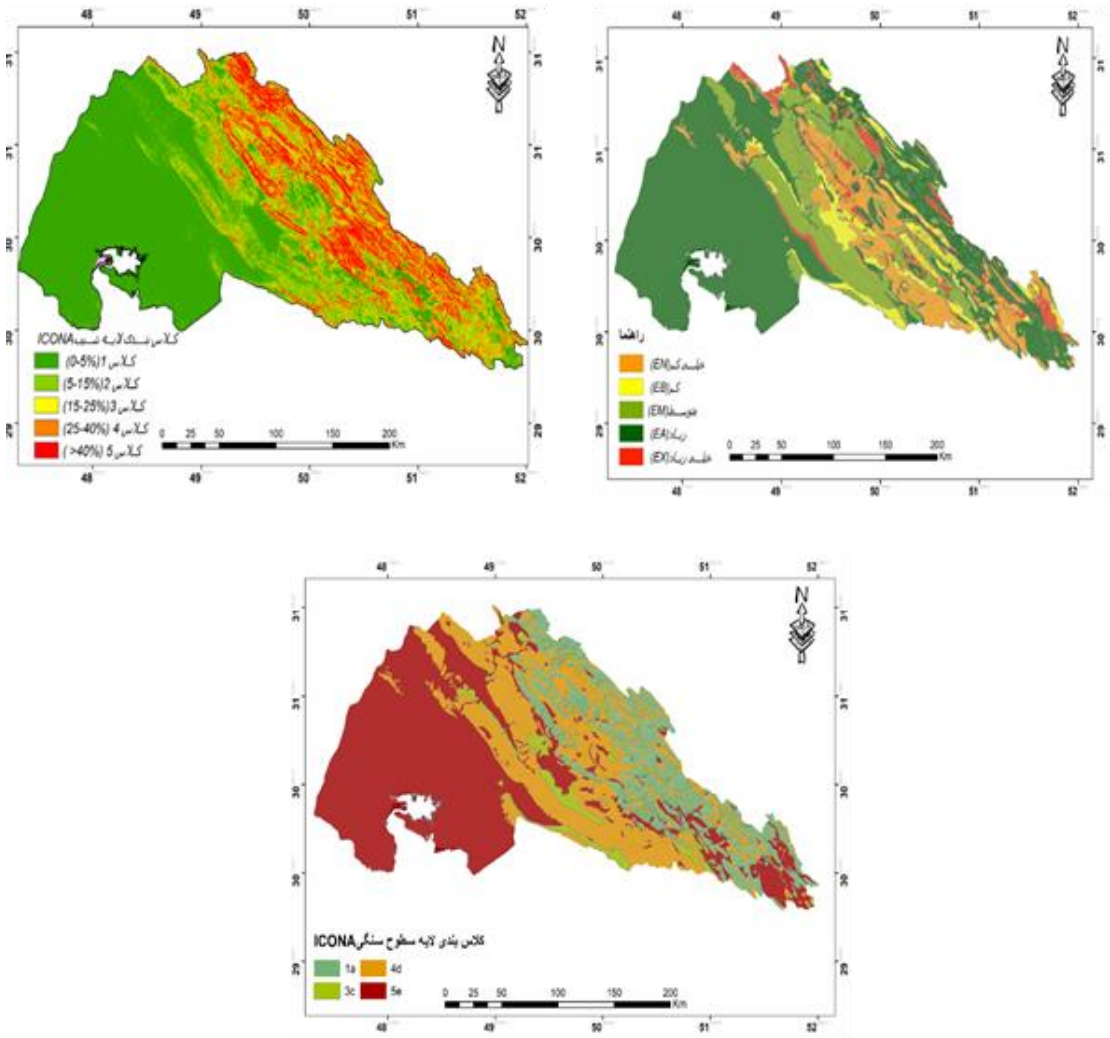
در این قسمت به ارائه نتایج حاصل از تلفیق نقشه شاخص‌ها و در نهایت نقشه نهایی خطر فرسایش آبی در حوضه آبریز زهره-جراحی پرداخته می‌شود.

الف) نقشه فرسایش‌پذیری خاک: همانطور که در قسمت روش تحقیق ذکر شد، جهت اجرای مدل ICONA درابتدا از هم‌پوشانی دو لایه شیب و سنگ‌شناسی، نقشه فرسایش‌پذیری خاک به دست آمد. این نقشه از تلفیق و روی همگذاری دو لایه‌ی سطوح سنگی و شیب بر اساس جدول فرسایش‌پذیری خاک مدل ICONA تهیه می‌شود، که به نام فرسایش‌پذیری شناخته می‌شود، که در واقع بیانگر پتانسیل فرسایش حوضه می‌باشد. به طور کلی، تلفیق و روی‌هم‌اندازی دو نقشه-ی شیب و زمین‌شناسی، با توجه به ویژگی کلاس‌های هر یک از نقشه‌ها، ماتریکس ۵ × ۵ را تشکیل می‌دهند، که در مجموع در ۵ کلاس خیلی‌کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قابل تقسیم می باشند. با توجه به نقشه شیب، نواحی با شیب کمتر از ۱۵ درصد بیشتر در غرب و جنوب غرب حوضه واقع شده اند (شکل ۳-الف)، که در این مناطق رواناب های دریافتی به دلیل تجمع جریان ها بیشتر از مناطق مرتفع و پرشیب می باشند. بعبارتی دیگر می توان گفت، در نواحی غرب و جنوب غرب حوضه مورد مطالعه دارای خطر پتانسیل سیل خیزی و فرسایش پذیری بیشتری نسبت به سایر نواحی منطقه مورد مطالعه می باشند. در مورد شاخص سنگ شناسی حوضه مورد مطالعه نیز می توان بیان کرد، سازندهای آبرفتی که عموما در نواحی کم ارتفاع و در جنوب و غرب منطقه قرار دارند دارای حساسیت بالاتری نسبت به فرسایش آبی می باشند در حالی که سازندهای دارای کربنات مانند آسماری که در قسمت های شمالی و مرکزی حوضه آبریز موزد مطالعه هستند دارای مقاومت بالاتری در مقابل فرسایش آبی هستند. در نقشه نهایی فرسایش‌پذیری خاک مشاهده می‌گردد، مناطق غرب و جنوب غرب حوضه آبخیز مورد مطالعه در کلاس فرسایش‌پذیری زیاد قرار گرفته‌اند، که بیشتر به دلیل سازندهای کوارترنری و رسوبات آبرفتی است، زیرا که دارای حساسیت بالایی نسبت به فرسایش آبی می باشند. کلاس‌های خیلی شدید فرسایشی بصورت پراکنده بیشتر در شرق و نواحی مرتفع و پرشیب حوضه پراکنده می‌باشند (شکل ۳). با توجه به جدول ۱۱، کلاس‌های خیلی کم و متوسط در حوضه آبخیز زهره-جراحی

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.140]

حدود ۲۵ درصد کل حوضه را شامل می‌شود، در حالی که بیش از ۷۰ درصد از کل حوضه دارای کلاس فرسایش‌پذیری خیلی‌زیاد است.



شکل۳. نقشه لایه‌های شیب (الف)، سنگ‌شناسی (ب) و فرسایش‌پذیری (ج) خاک حوضه مورد مطالعه

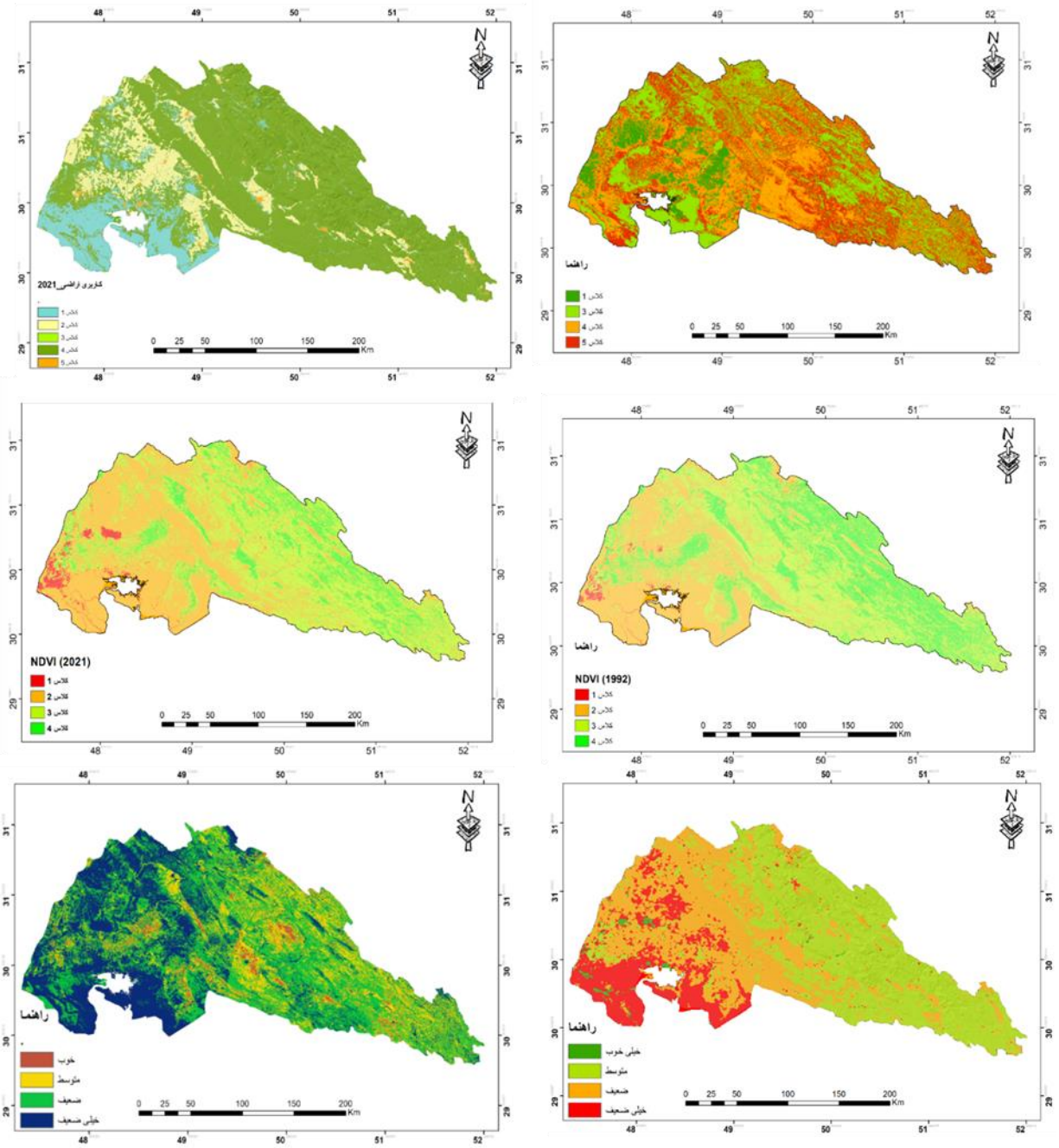
جدول ۱۱. کلاس‌های خطر فرسایش بر اساس مدل ICONA

کلاس	مساحت	درصد
خیلی کم (EN)	۵۲۰۰۴۴	۱۵/۲۹
کم(EB)	۳۴۸۰۴۳	۱۰/۲۳
متوسط(EM)	۷۱۰۷	۰/۲۰
زیاد(EA)	۲۳۱۳۸۶۵	۶۸/۰۳
خیلی‌زیاد(EX)	۲۱۱۶۹۶	۶/۲۲

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.140]

ب) تهیه لایه تعیین وضعیت حفاظت خاک: لایه‌ی خطر مدل مورد استفاده از تلفیق دو لایه‌ی فرسایش‌پذیری و حفاظت خاک ایجاد می‌شود. در ادامه، با توجه به جداول مربوط به مدل ICONA، دو لایه‌ی فرسایش‌پذیری و حفاظت خاک مربوط به سال‌های ۱۹۹۲ و ۲۰۲۱ با یکدیگر تلفیق گردیده‌اند (شکل ۴). با بررسی لایه کاربری اراضی در دو دوره‌ی مورد بررسی می‌توان بیان کرد که در سال ۲۰۲۱ ار وسعت اراضی مرتعی و جنگلی به طور قابل توجهی کاهش یافته و بر وسعت اراضی کشاورزی و بایر اضافه شده است که این امر خود می تواند پتانسیل فرسایش پذیری خاک را افزایش دهد.

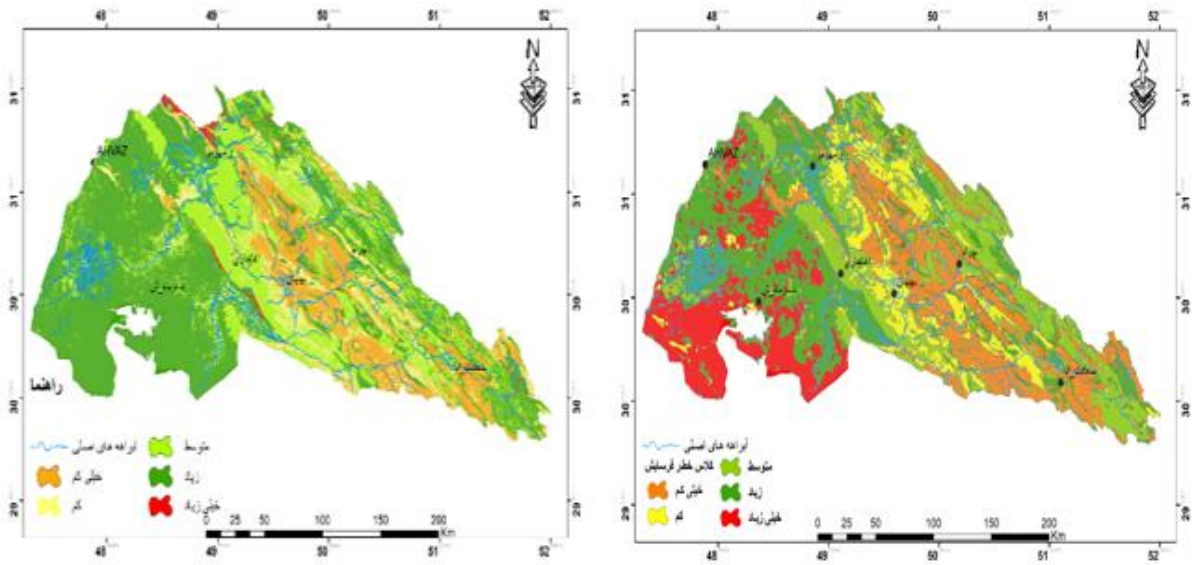


شکل ۴. لایه وضعیت حفاظت خاک (سال های ۱۹۹۲ و ۲۰۲۱)

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.61882/jeer.405.1.140]

شاخص NDVI نیز در طی دو دوره ی مورد بررسی نیز دارای تغییرات قابل ملاحضه ای می باشد. این شاخص به عنوان یکی از محبوب ترین شاخص های پوشش گیاهی و یک راه ارزشمند برای درک تغییرات تراکم پوشش گیاهی با استفاده از سنجش زمین از راه دور است. تغییرات این شاخص می توانند به دلیل تغییر اقلیم و درنتیجه افزایش دمای سطح زمین و همچنین بهره‌برداری بیش از حد از پوشش گیاهی منطقه باشد. با مقایسه این شاخص در دو دوره ی زمانی میتوان دریافت که کلاس پر خطر در سال ۲۰۲۱ نسبت به سال ۱۹۹۱ در نواحی غرب و جنوبی حوضه افزایش داشته است که می تواند ناشی از خشکسالی های اخیر و همچنین تغییر کاربری باشد. از مقایسه‌ی لایه‌های خطر فرسایش‌پذیری در سال‌های۱۹۹۲ و ۲۰۲۱ می‌توان نتیجه گرفت، به وسعت ۴ کلاس خطر فرسایش‌پذیری (کم، متوسط، زیاد و خیلی‌زیاد)، افزوده و از وسعت کلاس خیلی‌کم، کاسته شده است.

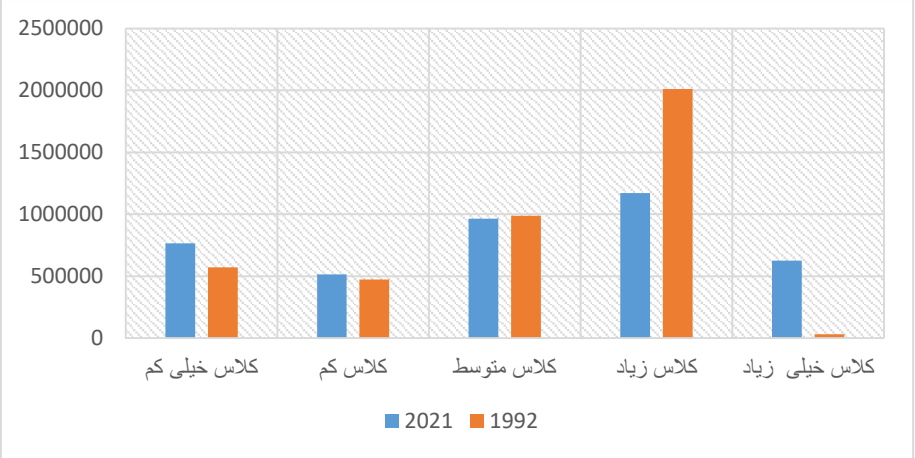
ج) نتایج لایه‌ی خطر فرسایش پذیری: لایه‌ی خطر مدل مورد استفاده از تلفیق دو لایه‌ی فرسایش‌پذیری و حفاظت خاک ایجاد می‌شود. در ادامه، با توجه به جداول مربوط به مدل ICONA، دو لایه‌ی فرسایش‌پذیری و حفاظت خاک مربوط به سال‌های ۱۹۹۲ و ۲۰۲۱ با یکدیگر تلفیق گردیده‌اند (شکل ۵). با مقایسه‌ی لایه‌های خطر فرسایش‌پذیری در سال‌های۱۹۹۲ و ۲۰۲۱ و با توجه به نمودار شکل ۶ می‌توان نتیجه گرفت، کلاس‌های خطر خیلی کم، کم و خیلی زیاد در طی بازه ی زمانی مورد مطالعه افزایش یافته هست، در حالی که کلاس متوسط تغییر قابل توجه‌ای نداشته در حالی که کلاس خطر زیاد کاهش قابل توجه ای داشته است. کلاس خطر فرسایش خیلی زیاد در سال ۲۰۲۱ نسبت به ۱۹۹۲ به میزان ۱۴/۶ درصد افزایش سطح داشته است (شکل ۶).



شکل ۵. لایه‌ی خطر فرسایش پذیری خاک مربوط به سال ۱۹۹۲ و ۲۰۲۱ (به ترتیب از چپ به راست)

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.140]



شکل ۶: کلاس‌های نقشه‌ی خطر فرسایش خاک خطر فرسایش در ۱۹۹۲ و ۲۰۲۴(هکتار)

۵- بحث و نتیجه‌گیری

این مطالعه به ارزیابی روند فرسایش خاک حوضه آبخیز زهره-جراحی یکی از کلان‌های آبریز در غرب ایران با استفاده از مدل ICONA و داده‌های سنجش از دور و بکارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در دو دوره‌ی زمانی ۱۹۹۲ و ۲۰۲۱ پرداخته است. لذا جهت این امر ابتدا اقدام به جمع‌آوری لایه‌های ورودی به این مدل گردید. نتایج نهایی شاخص‌های ورودی نشان داد، که مناطق با حساسیت بالا از لحاظ شاخص شیب، بیشتر در غرب و جنوب غرب حوضه مورد مطالعه واقع شده‌اند (دارای شیب کمتر از ۵ درصد) و نواحی مرتفع حوضه در قسمت‌های شرقی حوضه و شمال آن واقع شده‌اند، در واقع می‌توان بیان داشت که عامل شیب یکی از شاخص‌های توپوگرافی بسیار تاثیرگذار بر میزان حساسیت حوضه نسبت به هدر رفت خاک می‌باشند، زیرا که با افزایش میزان شیب میزان انرژی و قدرت فرسایندگی آبراهه نیز افزایش یافته که می‌تواند منجر به برداشت و هدر رفت بیشتر فرسایش خاک گردد. لذا با توجه به نقش شیب حوضه مناطق مرتفع و پرشیب دارای پتانسیل بالقوه بیشتری در برابر فرسایش پذیری می باشند که این موضوع در مطالعات فراوانی نیز اشاره شده است (Zakerinejad & Maerker 2014; Xinyu et al., 2025; He et al., 2025; Xia et al., 2025). از لحاظ شاخص زمین‌شناسی نیز در حوضه مورد مطالعه بیشترین حساسیت مرتبط به سازندهای آبرفتی کوارترنری و همچنین سازندهای گروه فارس از جمله سازند میشان، آغاجاری و گچساران می باشند. سازندهای آبرفتی عصر حاضر به دلیل سست بودن رسوبات حساسیت بالایی در مقابل فرسایش دارند، در حالی که سازندهای آهکی از جمله آسماری مقاومت بالایی در مقابل فرسایش خاک داشته و این سازندها همچنین به دلیل درز و شکاف فراوان منبع بسیار مناسبی از جهت منابع آبی می‌باشند. لذا می‌توان نتیجه گیری کرد که مناطقی از حوضه که دارای رسوبات آبرفتی و کم عمق می باشند حساسیت بالاتری را نسبت به فرسایش پذیری در مقابل نیروی رواناب و شدت بارندگی می باشند که با مطالعات سایر محققین نیز مطابقت دارد (Zakerinejad et al., 2015; Shimin et al., 2025; Xinyu et al., 2025). از لحاظ شاخص کاربری اراضی و پوشش گیاهی که در نهایت لایه حفاظت خاک را شامل می‌شوند، در منطقه مورد مطالعه در دوره زمانی مورد بررسی، از میزان کلاس کاربری مرتعی و جنگلی کاسته و به سطوح کشاورزی (آبی و دیم) و اراضی بایر افزوده شده است. تراکم پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه، با استفاده از شاخص NDVI نیز نشان از کاهش مساحت

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.61882/jeer.405.1.140]

کلاس‌های پرتراکم پوشش گیاهی (کلاس‌های ۳ و ۴) دارد که این امر می‌تواند به دلایل مختلف از جمله تغییرات کاربری، شرایط خشکسالی در دهه‌های اخیر وهمچنین افزایش تراکم جمعیت باشند. تهیه شاخص های تراکم پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای می توانند تخمینی دقیقی از وضعیت پوشش گیاهی را نشان دهد. این شاخص ها که عموما بین ۱- و ۱+ می باشند، که مقادیر مثبت بالاتر از ۰,۶ نشان‌دهنده پوشش گیاهی سالم و متراکم است و مقادیر مقادیر کمتر از ۰,۲ یا نزدیک به صفر نشان‌دهنده خاک برهنه یا پوشش گیاهی کم است (Singh et al., 2004; Ayalew et al., 2020; Wang et al., 2025). هر چند بهتر هست که در مطالعات آتی در این حوضه از سال های بیشتری برای بررسی روند تغییرات این شاخص استفاده شود، ولی به طور کلی می توان نتیجه گرفت که در دوره ی مورد بررسی متوسط این شاخص کاهش قابل ملاحضه ای به دلیل تغییرات اقلیمی و بهرهبردای بیش از حد از پوشش گیاهی را داشته است. در طی دو دوره زمانی مورد بررسی کلاس‌های پر خطر و متوسط فرسایشی به ترتیب بیش از ۱۳ و ۲ درصد روند افزایش را داشته که این امر موید توجه بیشتر به این حوضه در جهت کنترل عوامل و شاخص‌های تاثیرگذار است. قابل ذکر است که کاهش کلاس زیاد خطر فرسایش آبی می‌تواند به دلایل تغییر نوع کاربری ارضی و عملیات مانند جنگلکاری و همچنین تغییرات میزان بارندگی در این نواحی باشد. نتایج این پژوهش با نتایج سایر محققین از جمله استنچی[1] و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد زیرا ایشان با استفاده از نقشه‌های خطرپذیری فرسایش پی برد که خطر فرسایش آبی در مناطق پرشیب و مرتفع با فعالیت کشاورزی محدود بیشتر می‌باشد. هم‌چنین با نتایج تحقیقات صدیقی[2] (۱۳۹۰) و کریم و امین[3] (۱۳۹۱) نیز از جهت افزایش فرسایش با کاهش میزان پوشش گیاهی مطابقت دارد. در هر حال با توجه به وضعیت کلاس‌های خطر زیاد و خیلی زیاد که بیش از ۴۰ درصد حوضه آبخیز مورد مطالعه را شامل می‌شوند می‌توان نتیجه گرفت که این حوضه پتانسیل بالایی از لحاظ شدت تخریب خاک و بیابان‌زایی دارد. لذا نیاز ضروری به برنامه ریزی مناسب در جهت اجرای عملیات حفاظت خاک و آبخیزداری در جهت جلوگیری از پیش‌روی سریعتر شدت فرسایش خاک است.

منابع:

1. Abedini, M., Abolfathi, D., Raisi, M. (2022). Zoning of erosion in Razan watershed using fuzzy logic models, EPM and BLM in GIS environment. Geography and Development, No. 68, 62-86. 10.22111/gdij10.22111.2022.7002. (in persian)
2. Ahmadi, H. (1999). Applied Geomorphology, Volume 1, Water Erosion, Tehran University Press, 634 pp.
3. Ansari Lari, A., Ansari, M. (2016). Investigating the use of GIS for estimating soil erosion and sediment load using the RUSLE model of the Qaleh Chay watershed. Journal of Geography and Regional Development, Year 14, Issue 5, pp. 55-173. https://doi.org/10.22067/geography.v14i2.54607. (in persian)
4. Arkhi, S., Nazari, R. (2008). Zoning of erosion intensity and sediment production using modified PSIAK model in GIS environment, case study: Ilam watershed). Iranian Journal of Research, Volume 2, Issue 2 - Serial Issue 3, 77-81. (in persian)

1 . Stanchi
2 . Sedighi
3 . Karimi & Amin

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.140]

5. Attoubounou, R.A.; Diawara, H.; Ludwig, R.; Adounkpe, J. (2025). Quantification of Soil–Water Erosion Using the RUSLE Method in the Mékrou Watershed (Middle Niger River). ISPRS Int. J. Geo-Inf. 14, 28. https://doi.org/10.3390/ijgi14010028
6. Ayalew, D. A., Deumlich, D., Šarapatka, B., & Doktor, D. (2020). Quantifying the Sensitivity of NDVI-Based C Factor Estimation and Potential Soil Erosion Prediction using Spaceborne Earth Observation Data. Remote Sensing, 12(7), 1136. https://doi.org/10.3390/rs12071136
7. Basudeb, P., Sushobhan, M., Jaidul, I., Edris, A., Md Kamrul, I.(2025). Analyzing soil erosion trends and future predictions using the RUSLE model: A case study of the Dwarakeswar River Basin, West Bengal, International Soil and Water Conservation Research, ISSN 2095-6339,https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2025.08.011.
8. Cerdà A., Rodrigo-Comino J., Yakupoğlu T., Dindaroğlu T., Terol E., Mora-Navarro G., et al. (2020). Tillage versus no-tillage. Soil properties and hydrology in an organic persimmon farm in Eastern Iberian Peninsula. Water, 12(6), 1539. https://doi.org/10.3390/ w12061539.
9. Dengiz, O. (2014). et al. Soil erosion risk assessment using Icona modelling for Inebolu watershed. Anadolu J. Agric. Sci. 29, 136
10. Singh, D., Herlin, I., Berroir, J. P., Silva, E. F., & Meirelles, M. S. (2004). An approach to correlate NDVI with soil colour for erosion process using NOAA/AVHRR data. *Advances in Space Research*, *33*(3), 328-332.
11. Esmaeili Gholzom, H., Ahmadi, H., Moeini, A. & Motamedvaziri, B. (2022). Soil erosion risk assessment in the natural and planted forests using ICONA model and GIS technique. Int. J. Environ. Sci. Technol. 19, 3947–3962.
12. Hadley R. F., Lal R., Onstad C.A., Walling D.E., Yair A. (1985). Recent Developments in Erosion and Sedement Yield Studies. Technical Documents in Hydrology. UNESCO. Paris.
13. He, Z., Yuan, G., Hao, S., Tong, H., & Zhang, R. (2025). Mechanism Analysis of the Effects of Rainfall Intensity, Grass Coverage, and Slope on Slope Erosion Processes. Water, 17(8), 1194. https://doi.org/10.3390/w17081194
14. Karimi, L., Amin, S. (2012). Erosion risk zoning of Sivand Dam basin in ICONA model using RS technique, 16th Conference of the Geological Society of Iran, Shiraz, https://civilica.com/doc/181626. (in persian)
15. Keesstra S., Mol G., De Leeuw J., Okx J., Molenaar C., De Cleen M., & Visser S. (2018). Soil-related sustainable development goals: Four concepts to make land degradation neutrality and restoration work. Land, 7(4), 133. https://doi.org/10.3390/land7 040133.
16. Pons, X., Cea, C., González-Guerrero, O., Cristóbal, J. (2025). Landsat Collection 2: key information and recommendations for data users and product developers. Revista de Teledetección, 66, e23510. https://doi.org/10.4995/raet.2025.23510
17. Masoudi M., Zakerinejad R. (2011). A new model for assessment of erosion using desertification model of IMDPA in Mazayjan plain, Fars province, Iran. Ecol Environ Conserv 17(3):489–594.
18. Mezbani, M., Rezaei Moghadam, M., H. Hejazi, A. (2021). Soil erosion risk assessment in land uses using the modified global soil erosion equation (case study: Sikan watershed). Geography and Environmental Hazards, 10(1), 41-63. doi: 10.22067/geoeh.2021.67238.0. (in persian)
19. Mishra, N., Haque, M. O., Leigh, L., Aaron, D., Helder, D., & Markham, B. (2014). Radiometric cross calibration of Landsat 8 operational land imager (OLI) and Landsat 7 enhanced thematic mapper plus (ETM+). *Remote sensing*, *6*(12), 12619-12638. https://doi.org/10.3390/rs61212619.
20. Mohammadkhan, Sh., Pirani, P., Riahi, S., Garavand, F. (2019). Evaluating the efficiency of the entropy model in zoning erosion rates with a geomorphological approach. Case study: Kand watershed upstream of Latyan Dam. Journal of Geographical Spatial Planning, 9(34), 85-98. doi: 10.30488/gps.2019.100315. (in persian)

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.140]

21. Nohegar A., Kazemi M. (2013). Assessment Water Erosion Using ICONA Model (case study: Tang Bostanak Basin). Journal of Geographical Research. 28(4): 1 -14.
22. Padró, J. C., Pons, X., Aragonés, D., Díaz-Delgado, R., García, D., Bustamante, J. & Lange, M. (2017). Radiometric correction of simultaneously acquired Landsat-7/Landsat-8 and Sentinel-2A imagery using pseudoinvariant areas (PIA): Contributing to the Landsat time series legacy. *Remote Sensing*, *9*(12), 1319. https://doi.org/10.3390/rs9121319.
23. Rostamizad G, khanbabaei Z, Tahmoreth M. (2022) Assessing the Accuracy of Supervised Classification Algorithms for Land ulUse Map Extraction (Study Area: Taham Watershed). E.E.R. 12 (4) :141-157
24. Salavati B., Sadeghi, S. H. R., & A. R. Telvar. (2010). Runoff Generation Modeling for Kurdistan Province Watersheds by using Physiographic and Climatic Variables, Journal of Water and Soil, 24 (1), 84-96.
25. Sedighi, M.R. (2011). Master's thesis ICONA based on RS&GIS technologies, case study of Tang Sorkh watershed, Shiraz, Tehran University of Science and Research, 120 pages.
26. Ni, S., Zhou, Y., Cai, C., Wang, J., & Wang, D. (2025). Insights into linkage between water erosion and Benggang formation: Trajectory tracing from slope to gully. Catena, 254, 109001. https://doi.org/10.1016/j.catena.2025.109001.
27. Singh, S., Bhardwaj, A., & Verma, V. K. (2020). Remote sensing and GIS based analysis of temporal land-use/land-cover and water quality changes in Harike wetland ecosystem, Punjab, India. Environmental Management, 262, 110355.
28. Stanchi, S., Freppaz, M., Godone, D., and Zanini, E. (2013). Assessing the susceptibility of alpine soils to erosion using soil physical and site indicators. Soil Use Manag, v. 29, p. 586-596. https://doi.org/10.1111/sum.12063.
29. Tóth G., Hermann T., da Silva M. R., & Montanarella, L. (2018). Monitoring soil for sustainable development and land degradation neutrality. Environmental Monitoring and Assessment, 190(2), 1–4. https://doi.org/10.1007/s10661-017-6415-3.
30. Wang, J., Yang, J., Li, Z., Ke, L., Li, Q., Fan, J., & Wang, X. (2025). Research on Soil Erosion Based on Remote Sensing Technology: A Review. Agriculture, 15(1), 18. https://doi.org/10.3390/agriculture15010018
31. Xia, C., & Luo, J. (2025). Evolution Mechanisms and Mitigation of Soil Erosion. Water, 17(3), 449. https://doi.org/10.3390/w17030449
32. Zhang, X., Zhang, S., Zhang, F., Li, H., Shi, J., & Chen, J. (2025). Quantifying the effects of the soil erosion factors on water-eroded slopes. *Catena*, *249*, 108678. https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.108678.
33. Zakerinejad R, vosooghy S, Entezari M. (2022) Comparison of Accuracy of Difference Supervised Classification Methods for Land Use Mapping (Case Study: Alamarvdasht Watershed). E.E.R. 12 (2) :138-153. (in persian).
34. Zakerinejad, R. (2020). Evaluation of of DEMs to the modeling of the potential of gully erosion using Maxent model (Case study: Semirom catchment in the south of Isfahan province, iran). Journal of rs and gis for natural resources (journal of applied rs and gis techniques in natural resource science), 11(3 (40), 21-22. Sid. https://sid.ir/paper/359585/en. (in persian).
35. Zakerinejad R., Alvandi P. (2023). Prediction of Gully Erosion Using TanDEM-X data and Maximum Entropy Model (A case study: Khasoyeh watershed, in Southeast of Fars Province). Quarterly journal of Environmental Erosion Research. 48(13:1). (in persian).
36. Zakerinejad, R., Christian, S., Volker, H., Michael, M. (2021). Spatial Distribution of Water Erosion Using Stochastic Modeling in The Southern Isfahan Province, Iran, Geogr FIS DIN QUAT 44 (2): 203–216.
37. Zakerinejad R., Maerker M. (2015). An integrated assessment of soil erosion dynamicswith special emphasis on gully erosion in the Mazayjan basin, southwestern Iran.Nat. Hazards 79 (1), 25–50. https://doi.org/10.1007/s11069-015-1700-3

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.140]

38. Zakerinejad R., & Märker M. (2014). Prediction of Gully erosion susceptibilities using detailed terrain analysis and maximum entropy modeling: a case study in the Mazayejan Plain, Southwest Iran. Geogr Fis Din Quat, 37(1), 67-76
39. Zakerinejad R., Omran A., Maerker M., Hochschild V. (2015). Using ASTER remote sensing data set for geological mapping and application of Maxent model to predicting of gully erosion in southwest of Zagros Mountain in Iran. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria 44(2):183.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.140]