



Demarcation modeling of erosional and depositional surfaces with soil characteristics and remote sensing (RS)

Mitra Yarahmadi ¹ | Ataallah Khademalrasoul ² | Hadi Amerikhah ³

1. Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: mitra_yarahmadi@yahoo.com

2. Corresponding Author, Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: a.khademalrasoul@scu.ac.ir; Ataalahsoil@gmail.com

3. Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: hadi.ameri@gmail.com

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: July. 30, 2024

Revised: Sep. 8, 2024

Accepted: Oct. 6, 2024

Published online: Jan. 2025

Keywords:

Demarcation Modeling,
Erosional and Depositional
Surfaces,
Remote Sensing Indicators,
Spectrometry,
Supervised Algorithms.

ABSTRACT

Nowadays demarcation and classification models based on remote sensing are widely used for classification processes and land changes. In this research, the efficiency of demarcation models to evaluate erosional and depositional regions investigated. The study area of Zahirieh in Khuzestan province, with an approximate area of 7100 hectares, was divided into erosional, depositional, and stable areas based on satellite images and field surveys. Then soil sampling was done from erosional and depositional surfaces. The physical and chemical parameters of the soil including soil texture components, bulk density, organic matter, phosphorus, lime, electrical conductivity, pH and soil gypsum were measured. In order to evaluate the reflective characteristics of erosional and depositional surfaces, bands and indices extracted from Landsat 8 images of 2022. Moreover, the efficiency of supervised algorithms was performed using Kappa coefficient and overall accuracy. The results of the average comparison test depicted that the percentage of soil clay with 9.37 for erosional surfaces and 14.74 for depositional surfaces and gypsum with mean of 14.68 for erosional and 6.2 for depositional surfaces has a significant difference (5%) between erosional and depositional surfaces therefore, they can be used as parameters to separate surfaces, but for other parameters, no significant difference was observed. The results showed that BI, SI and NDSI indices can be effectively used to distinguish eroded surfaces from depositional surfaces.

Cite this article: Yarahmadi, M., Khademalrasoul, A. & Amerikhah, H. (2025). Demarcation modeling of erosional and depositional surfaces with soil characteristics and remote sensing (RS), *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 55 (11), 2157-2172. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.380085.669769>

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.380085.669769>





EXTENDED ABSTRACT

Introduction:

Soil erosion is the most common form of soil degradation all over the world. Soil erosion including on-site and off-site effects; the off-site effect of soil erosion is soil deposition. In order to assess the effects of soil erosion it is necessary to apply different methods and techniques. In this regard demarcation modeling based on remote sensing is the applicable technique which is usable for soil classification, ultimately precise soil erosion control at different scales. Therefore this study was conducted to evaluate the applicability of demarcation modeling to diagnostic soil erosional and depositional surfaces using remote sensing indices.

Material and methods:

Regarding the importance of selection and implementation of conservational scenarios to manage the costs; necessarily has to concern on highlighting the erosional and depositional surfaces in the watersheds. Zahirieh area in Khuzestan Province with approximately 7100 ha and water erosion risks mainly gully and rill erosion types selected then using the filed survey and satellite images (Landsat 8 images from 2022) divided to erosional, depositional and stable areas. In this study 70 randomized sampling points using the Create Random Points tool in ArcGIS10.2 was created. Moreover, in the mentioned tool, the Constraining Feature Class for the polygon of the study area was set in order to limit the randomized points in the border of study area. Finally, 14 points as depositional and 12 points as erosional surfaces was highlighted and other randomized points was defined as Non-erosional surfaces. Based on soil erosional and depositional surfaces the soil sampling accomplished using the standard methods and soil samples as representative of whole area was analyzed. The physicochemical parameters of the soil consist of soil texture components (clay, silt and sand), bulk density, organic matter, phosphorus, lime, electrical conductivity, pH and soil gypsum were measured. Remote sensing indices including NDVI, SAVI, CI, BI, NDSI, NDMI and SI to assess the possibility of classification the erosional and depositional surfaces based on Landsat 8 images were calculated and mapped. In addition, supervised classification algorithms including Parallel levels, Mahalanobis distance, Maximum likelihood, Minimum distance, Neural network and Support vector machine (SVM) were used and evaluated using Kappa coefficient and overall accuracy. The statistical analyses with SPSS 26, supervised classification of remote sensing data in ENVI 4.7 and the separation of erosional and depositional surfaces in Google Earth Engine (GEE) were performed.

Results:

The results of the average comparison test showed the significant difference between erosional and depositional surfaces for clay content and gypsum therefore, they can be used as parameters to separate surfaces, but for other parameters, no significant difference was observed. Indeed in the erosional surfaces the amount of clay was lower and amount of gypsum was higher than depositional surfaces. Furthermore the results depicted that there was a significant relation ($R^2:0.75$) between elevation (m) and NDVI for depositional surfaces. The remote sensing (RS) indices including BI, SI and NDSI can be effectively applied to distinguish eroded surfaces from depositional surfaces in the study area.

Conclusion:

In general demarcation modeling is usable to separate the erosional and depositional surfaces in the watersheds therefore can be applied as a management tool to conserve the soils against erosive factors. Moreover, mapping the RS indices in the watersheds is a visual tool to recognize the critical areas.

Author Contributions

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

If the study did not report any data, you might add "Not applicable" here.

Acknowledgements

The authors would like to thank all participants of the present study.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

مدل‌سازی افرازی سطوح فرسایش و رسوب بر مبنای خصوصیات خاک سطحی با استفاده از داده‌های سنجش از دور (RS)

میترا یاراحمدی^۱ | عطاله خادم الرسول^۲ | هادی عامری‌خواه^۳

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: mitra_Yarahmadi@yahoo.com

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه:

a.khademalrasoul@scu.ac.ir; Ataalhsoil@gmail.com

۳. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران رایانامه: hadi.ameri@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	استفاده از مدل‌های افرازی‌سازی و طبقه‌بندی مبتنی بر سنجش از دور به شکل گسترده‌ای به منظور طبقه‌بندی و بررسی تغییرات وضعیت اراضی در حال افزایش است. در این پژوهش کارایی کاربرد و ایجاد مدل‌های افرازی و طبقه‌بندی اراضی در معرض فرسایش و رسوب مورد بررسی قرار گرفته است. در پژوهش حاضر منطقه‌ی مطالعاتی ظهیریه در استان خوزستان با وسعت تقریبی ۷۱۰۰ هکتار با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای و بررسی‌های میدانی به عرصه‌های فرسایشی، رسوبی و پایدار تقسیم شد و نمونه‌برداری خاک از سطوح فرسایشی و رسوبی صورت پذیرفت. پارامترهای فیزیکی‌شیمیایی خاک شامل اجزاء متشکله بافت خاک، جرم مخصوص ظاهری، ماده آلی، فسفر، آهنک، هدایت الکتریکی، pH و مقدار گچ خاک اندازه‌گیری شد. برای ارزیابی ویژگی‌های بازتابی سطوح فرسایش یافته و رسوبی در منطقه‌ی مطالعاتی از باندها و شاخص‌های مستخرج از تصاویر لندست ۸ سال ۲۰۲۲ استفاده شد. امکان تفکیک سطوح فرسایشی و رسوبی با بهره‌گیری از الگوریتم‌های طبقه‌بندی نظارت شده و ارزیابی کارایی آن‌ها توسط ضریب کاپا و صحت کلی انجام شد. نتایج آزمون مقایسه‌ی میانگین بر روی خصوصیات فیزیکی‌شیمیایی خاک در سطوح فرسایشی و رسوبی در بخش سطحی خاک (۲۰-۰ سانتی‌متر) نشان داد که درصد رس با میانگین ۹/۳۷ برای سطوح فرسایشی و ۱۴/۷۴ برای رسوبی و گچ با میانگین ۱۴/۶۸ برای سطوح فرسایشی و ۶/۲ برای رسوبی بین سطوح فرسایشی و رسوبی دارای اختلاف معنی‌دار (۵ درصد) هستند و می‌توانند به عنوان پارامترهایی برای تفکیک سطوح استفاده شوند ولیکن برای سایر پارامترها اختلاف معنی‌داری بین سطوح فرسایش یافته و رسوبی مشاهده نشد. نتایج بررسی‌ها نشان داد شاخص‌های SI، BI و NDSI به طور موثری می‌توانند برای تفکیک سطوح فرسایش یافته از سطوح رسوبی بکار گرفته شوند.
واژه‌های کلیدی: الگوریتم‌های نظارت‌شده، سطوح فرسایشی و رسوبی، شاخص‌های سنجش از دور، طیف‌سنجی، مدل‌سازی افرازی.	
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۵/۹	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۶/۱۸	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۷/۱۵	
تاریخ انتشار: بهمن ۱۴۰۳	

استناد: یاراحمدی، میترا، خادم الرسول، عطاله، عامری‌خواه، هادی، (۱۴۰۳) مدل‌سازی افرازی سطوح فرسایش و رسوب بر مبنای خصوصیات خاک سطحی با استفاده از داده‌های سنجش از دور (RS)، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۵ (۱۱)، ۲۱۵۷-۲۱۷۲. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.380085.669769>



© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.380085.669769>

مقدمه

فرسایش آبی خاک به عنوان یکی از بارزترین اشکال تخریب اراضی محسوب می‌شود (استرک و همکاران ۲۰۰۱) که با توجه به تاثیرات فرسایش خاک ضرورت دارد از روش‌ها، ابزارها و تکنیک‌های مختلف برای ارزیابی آن استفاده شود. با توجه به هزینه‌ها و محدودیت‌هایی که در اندازه‌گیری فرسایش و رسوب وجود دارد، سنجش از دور به عنوان یکی از روش‌های مقرون به صرفه و ضروری برای حذف محدودیت‌های شناسایی مناطق در خطر فرسایش استفاده می‌شود (شوشانی و همکاران، ۲۰۱۴؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۵). سنجش از دور داده‌های همگن را در سطح وسیع با قابلیت بازبینی منظم فراهم می‌کند پس بنابراین می‌تواند به ارزیابی فرسایش منطقه‌ای کمک زیادی نماید (وریلینگ، ۲۰۰۶). داده‌های سنجش از دور را می‌توان برای تشخیص مستقیم فرسایش و یا تشخیص پیامدهای ناشی از فرسایش خاک به کار برد. تشخیص مستقیم از طریق شناسایی ویژگی‌های فرسایش، تمایز مناطق فرسایش یافته و ارزیابی شدت فرسایش بر اساس روابط تجربی به دست می‌آید. سنجش از دور داده‌های همگن را در سطح وسیع با قابلیت بازبینی منظم فراهم می‌کند پس بنابراین می‌تواند به ارزیابی فرسایش منطقه‌ای کمک زیادی نماید (وریلینگ، ۲۰۰۶). داده‌های سنجش از دور را می‌توان برای تشخیص مستقیم فرسایش و یا تشخیص پیامدهای ناشی از فرسایش خاک به کار برد (زانگ و همکاران، ۲۰۱۴). در نواحی همگن آب و هوایی و دارای خاک یکنواخت شیب عاملی اساسی در ایجاد فرسایش خاک محسوب می‌شود. با افزایش شیب نسبت ذرات خاک فرسایش یافته و منتقل شده از اجزای سیلت، رس و شن تغییر می‌یابد و این به معنی تغییر بافت خاک رسوبات نسبت به خاک فرسایش یافته خواهد بود. واعظی و عبادی (۲۰۱۶) در مطالعه ای پیرامون توزیع اندازه ذرات منتقله در شدت‌های مختلف فرسایش در نواحی خشک و نیمه خشک غرب ایران دریافتند در شیب‌های بیش از ۲۰ درصد انتقال ذرات رس افزایش یافته و انتقال شن کاهش می‌یابد. وابسته بودن ماده آلی به جزو رس انتقالی (اکبری و واعظی، ۲۰۱۵) و کربنات کلسیم به عنوان اجزای سازنده ذرات خاک یا جزو پیوسته (واعظی و همکاران، ۲۰۰۸) سبب می‌شود تا محتوای ماده آلی و کربنات کلسیم رسوبات نیز با خاک فرسایش یافته متفاوت باشند. چنین تغییراتی در محتوای ذرات تشکیل دهنده، ماده آلی و آهک سبب تغییر بازتاب‌های خاک در حال فرسایش از رسوبات می‌گردد که می‌توان از آن برای بررسی از طریق سنجش از دور انعکاس‌های سطح خاک برای تفکیک اراضی پوشیده شده با رسوب از اراضی در حال فرسایش استفاده نمود.

پیشینه پژوهش

اثرات قابل تشخیص شامل آسیب‌های ناشی از فرسایش و رسوب‌گذاری است. با توجه به تاثیرگذاری فرسایش بر روی پوشش گیاهی و خصوصیات خاک سطحی و رابطه‌ی دو عامل فوق الذکر بر بازتاب‌های ثبت شده در فرایند سنجش از دور، روش‌های مختلف مبتنی بر سنجش از دور برای شناسایی ویژگی‌های مربوط به فرسایش خاک گسترش یافته‌اند؛ شاخص تفاضلی نرمال شده‌ی پوشش گیاهی (NDVI) و شاخص تفاضلی نرمال شده‌ی خاک (NDSI) در پژوهش‌های مختلفی برای برآورد روند فرسایش خاک مورد استفاده قرار گرفته‌اند (هادیل و همکاران، ۲۰۱۱؛ ژو و همکاران، ۲۰۱۳). همچنین این روش‌ها برای ارزیابی شدت در معرض فرسایش قرار گرفتن خاک (زانگ و همکاران، ۲۰۱۴)، بازتاب سنجی سطح خاک (سایوآ و همکاران، ۲۰۱۸)، ارزیابی وضعیت فعلی فرسایش خاک (زانگ و همکاران، ۲۰۱۴) و ارزیابی خصوصیات خاک و جزء برهنه خاک (گورسچمن و همکاران، ۲۰۱۵) و نیز تجزیه و تحلیل شی‌گرا به‌منظور کمک به طبقه‌بندی تصویر و شناسایی انواع فرسایش آبی از جمله خندق‌ها استفاده شده است (شروتی و همکاران، ۲۰۱۵). الگوریتم‌های مختلف مورد استفاده در طبقه‌بندی داده‌های حاصل از سنجش از دور و از جمله آن روش یادگیری ماشین بطور گسترده در بررسی روابط فرسایش- محیط مورد استفاده قرار گرفته است که از جمله آن می‌توان به مشخص نمودن روابط آماری بین فرسایش خندقی و عوامل کنترل آن (گاروسی و همکاران، ۲۰۱۸) و نیز شناسایی عوامل کلیدی برای تشخیص خطر فرسایش خاک (چنگ و همکاران، ۲۰۱۸) اشاره نمود. شهبازی و همکاران (۲۰۱۷) از تکنیک‌های سنجش از دور ب ارزیابی خصوصیات توپوگرافی و تاثیرات آن بر وضعیت فرسایش خندقی، آستانه فرسایش و عوامل موثر بر شدت فرسایش استفاده نمودند و کارایی این تکنیک را در تفکیک سطوح فرسایشی تایید نمودند. معمولاً در پژوهش‌های مرتبط با فرسایش خاک صرفاً به سطوح فرسایشی توجه می‌شود و اساساً در بسیاری از مقالات تمام سطح منطقه‌ی مطالعاتی سطوح در معرض فرسایش در نظر گرفته می‌شوند؛ در حالی که فرایندهای فرسایش و رسوب فرایندهای توامان هستند که منجر به کندن شدن و حمل خاک و رسوب‌گذاری آن در قسمت‌های گود پایین دست و یا خارج شدن از منطقه می‌گردند. در مناطقی که در معرض فرسایش‌های شدید خاک هستند و فرسایش گسترده منجر به ایجاد گالی‌های گسترده و منظره بدلند می‌شود، استقرار طبیعی پوشش‌های گیاهی و همچنین عملیات آبخیزداری و کنترل فرسایش در منطقه شامل ایجاد بندهای چپری موقت و بندهای دائمی در چنین مناطقی

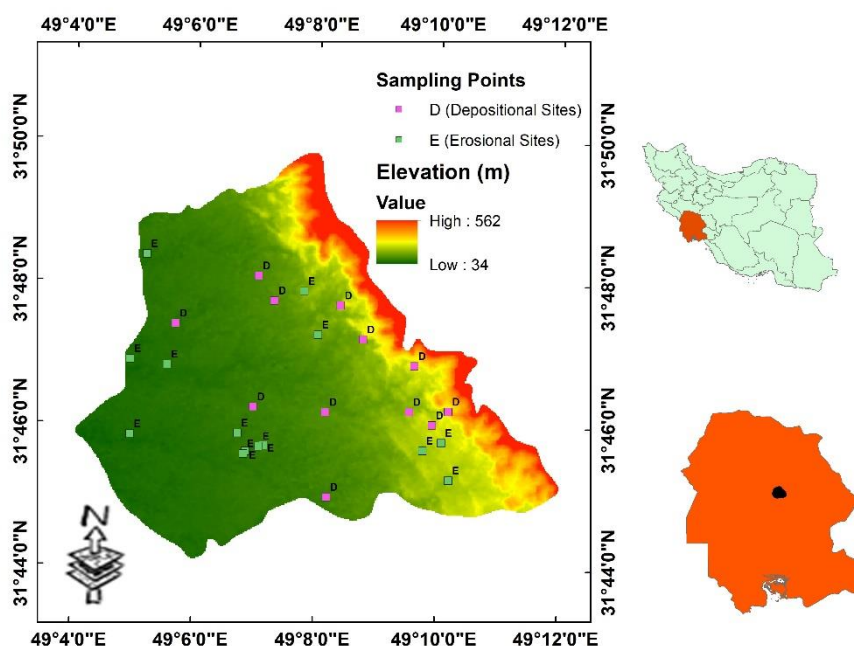
منجر به کاهش فرسایش و ایجاد مناطق رسوب‌گذاری در تله‌ها می‌گردد. بررسی تاثیر گذاری این عملیات و یا تغییرات نرخ فرسایش بدون در نظر گرفتن رسوبات باقی مانده در منطقه عملاً غیر ممکن است زیرا اساساً فرسایش به کنده شدن و حمل خاک به بیرون منطقه اطلاق می‌گردد. در این تحقیق سعی شده است در منطقه ای که با منظره بدلدن و گالی‌های گسترده مدیریت شده اثر رسوب گذاری در گالی‌های کنترل شده و حوضچه سدهای ایجاد شده؛ از اثر خالص فرسایش خاک کاسته شود و برای این کار امکان استفاده از سنجش از دور سنجیده شود. پیش از این مطالعات گسترده ای در ارتباط با کاربرد سنجش از دور در برآورد فرسایش و همچنین در بر آورد رسوب گذاری صورت گرفته است لیکن کاربرد همزمان آنها در یک منطقه تحت مدیریت مورد لحاظ قرار نگرفته است که سعی شده است در این تجربه به آن پرداخته شود و نتایج این بررسی تفاوت‌های جداسازی فرسایش از رسوب روی یک نوع خاک و مواد مادری از طریق داده‌های سنجش از دور و جنبه‌های بصری انعکاس از خاک را برای خواننده شرح می‌دهد.

بر این اساس پژوهش حاضر با هدف شناسایی و تفکیک سطوح فرسایشی و رسوبی بر مبنای داده‌های سنجش از دور و همچنین بررسی کارایی الگوریتم‌های طبقه‌بندی نظارت شده در شناسایی سطوح فرسایشی-رسوبی در عرصه‌های تحت ریسک فرسایش استان خوزستان طرح‌ریزی و اجرا شده است.

روش‌شناسی پژوهش

موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی

منطقه‌ی مطالعاتی در این پژوهش حوضه‌ی ظهیریه با وسعت تقریبی ۷۱۰۰ هکتار در محور اهواز-مسجدسلیمان، حدود ۴۰ کیلومتری شهرستان اهواز و واقع در موقعیت جغرافیایی ۳۱° ۷۰' تا ۳۱° ۸۳' شمالی و ۷۹° ۰۷' تا ۴۹° ۱۷' شرقی می‌باشد. منطقه‌ی مطالعاتی دارای آب و هوای گرم و خشک می‌باشد و در تقسیم بندی اقلیمی به روش آمبرژه این منطقه جزو اقلیم بیابانی گرم می‌باشد. متوسط بارندگی آن ۲۱۸/۶ میلی‌متر، حداکثر مطلق درجه حرارت ۵۴ درجه سانتی‌گراد و حداقل آن ۷ درجه سانتی‌گراد است. لازم به ذکر است که وجود تک‌رخدادهای بارشی و بارش‌های با شدت بالا و طول مدت بارش کم در منطقه منجر به وقوع فرسایش‌های آبی قابل توجهی می‌شود.

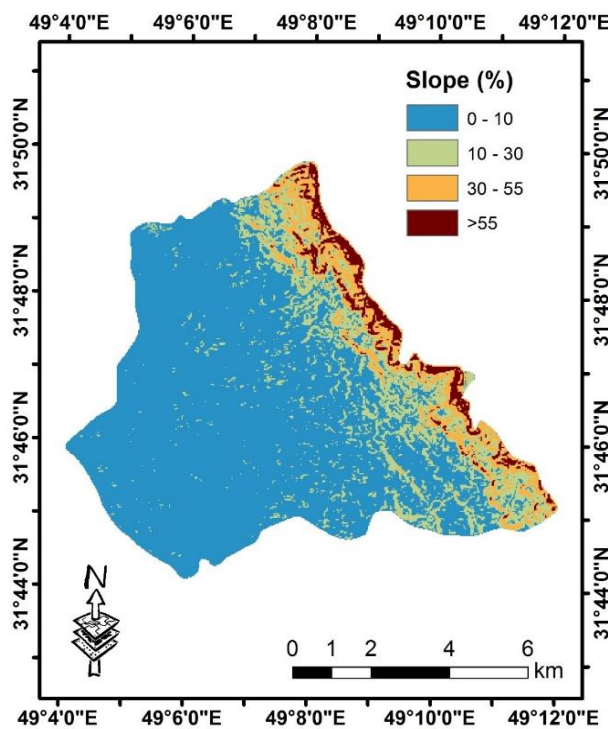


شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و سطوح فرسایشی (E) و رسوبی (D) در منطقه‌ی مطالعاتی

وجود بافت خاک سبک تا متوسط و غلبه‌ی سیلت و شن؛ تشکیل عرصه‌های فرسایش از نوع خندقی متراکم را در منطقه سبب شده است. خاک‌های منطقه‌ی مورد مطالعه عموماً در رده انتی‌سول قرار می‌گیرند. ارتفاع منطقه از ۳۰ تا ۵۶۴ متر از سطح دریای آزاد متغیر

می‌باشد. پراکنش نقاط مطالعاتی بر روی نقشه توزیع ارتفاع از سطح دریا در شکل ۱ آورده شده است. منطقه مورد مطالعه از لحاظ ژئومورفولوژیکی زیر مجموعه‌ی تراس‌ها و مخروط افکنه‌های کم ارتفاع تشکیل شده بر روی سازندهای مارنی آغاچاری بوده و بجز یک سوم غربی منطقه که از پوشش گیاهی گراس‌های با تراکم حدود ۱۰ درصد پوشیده شده است، عمدتاً اراضی منطقه برهنه بوده و دارای تراکم زیاد خندق‌هاست. خاک‌های منطقه‌ی مطالعاتی در نواحی رسوب‌گذاری و پایین دست شور است.

با توجه به خصوصیات زمین‌شناسی و خاک منطقه‌ی مطالعاتی؛ منطقه مستعد انواع رخدادهای فرسایش آبی بالاخص از نوع خندقی است که با نتایج بررسی‌های پژوهشگران مبتنی بر وضعیت فرسایش آبی از نوع فرسایش خندقی در خاک‌های توسعه یافته بر مارن‌های سازند آغاچاری (سیمین مکی و همکاران ۱۳۹۵) منطبق است. بدین ترتیب در منطقه‌ی مطالعاتی سطوحی وجود دارند که در آنها فرسایش آبی رخ داده است که به عنوان سطوح فرسایش یافته^۱ محسوب می‌شوند و از طرفی درون خندق‌ها نیز عمل رسوبگذاری صورت می‌گیرد که به عنوان نماینده‌ای از سطوح رسوبی^۲ هستند. نقشه‌ی تغییرات شیب منطقه نشان می‌دهد که بخش عمده‌ی منطقه‌ی مطالعاتی در محدوده شیب‌های زیر ۱۰ درصد است (شکل ۲).



شکل ۲- نقشه‌ی پراکنش مکانی درجه شیب (%) در منطقه‌ی مطالعاتی

نمونه‌برداری سطوح فرسایشی و رسوبی

در این پژوهش تعداد ۷۰ نقطه نمونه‌برداری تصادفی با استفاده از ابزار ایجاد کننده نقاط تصادفی^۳ در نرم‌افزار ArcGIS 10.2 ایجاد شدند. ضمناً در جعبه ابزار مذکور گزینه‌ی کلاس ویژگی محدود کننده^۴ برای فایل پلی‌گون منطقه‌ی مطالعاتی تنظیم شد که هدف از این کار محدود کردن نقاط تصادفی درون مرزهای منطقه‌ی مطالعاتی بوده است. ضرورت دارد که جمع‌آوری نقاط و داده‌های زمین مرجع تا حد امکان نزدیک به زمان دریافت تصویر باشد (ینسن، ۲۰۰۵؛ کمپیل و وینی، ۲۰۱۱)؛ بر این اساس، تصاویر اخیر Landsat8/OLI (۲۰۲۱) و تصویر گوگل ارث (۲۰۲۱) برای صحت‌سنجی داده‌های زمینی استفاده شدند. در مجموع تعداد کل نقاط مشتمل بر ۱۴ سطح رسوبی و ۱۲ سطح فرسایشی مشخص شده‌اند و مابقی نقاط تصادفی به عنوان بخش غیرفرسایشی^۵ در نظر گرفته شدند.

شاخص‌های سنجش از دور شامل NDVI، SAVI، CI، BI، NDSI، NDMI و SI برای بررسی امکان طبقه‌بندی اراضی فرسایشی

1 Erosional surfaces
2 Depositional surfaces
3 Create Random Points
4 Constraining Feature Class
5 Non-erosional surfaces

و رسوبی بر پایه بازتاب‌های ثبت شده ماهواره لندست ۸ محاسبه گردیده و نقشه‌های آنها استخراج شد. روابط مورد استفاده برای محاسبه این شاخص‌ها در جدول شماره ۱ آورده شده است. برای ارزیابی امکان تفکیک سطوح فرسایشی و رسوبی از الگوریتم‌های طبقه‌بندی نظارت شده شامل سطوح موازی، فاصله ماهالانوبی، حداکثر احتمال، حداقل فاصله از میانگین، شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان استفاده شد و ارزیابی کارایی آنها توسط ضریب کاپا و صحت کلی صورت پذیرفت (جدول ۲). مطابق جدول ۲ میزان ضریب کاپا نشان دهنده صحت طبقه‌بندی و قدرت آن خواهد بود. ضمناً تحلیل‌های آماری و مقایسات میانگین با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS 26 انجام شد. طبقه‌بندی نظارت شده داده‌های سنجنش از دور در محیط نرم افزار ENVI 4.7 انجام شد. جداسازی سطوح کنترل فرسایشی و رسوبی به صورت چشمی در محیط نرم افزار گوگل ارث و همچنین تصویر FCC باندهای ۵۴۳ ماهواره لندست ۸ در محیط نرم افزار آرک مپ نسخه ۱۰.۴ صورت گرفت.

جدول ۱- روابط محاسباتی و نماد متغیرهای کمکی محیطی (شاخص‌های سنجنش از دور)

منبع	فرمول محاسباتی	نماد متغیر	متغیرهای کمکی محیطی
Footy et al., 2001	$\frac{(NIR - Green)}{(NIR + Green)}$	NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	شاخص تفاضلی پوشش گیاهی نرمال شده
Huete, 1988	$\frac{((NIR - Red))}{(NIR + Red + L))} \times (1 + L)$	SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index)	شاخص گیاهی تعدیل شده اثر خاک
Wilson et al., 2002	$\frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)}$	NDMI (Normalized Difference Moisture Index)	شاخص تفاضلی رطوبت نرمال شده
Khan et al., 2005	$\sqrt{(Red \times Red) + (NIR \times NIR)}$	BI (Brightness Index)	شاخص روشنایی
Douaoui et al., 2006	$\sqrt{(Green \times Red)}$	SI (Salinity Index)	شاخص شوری
Gopinathan et al., 2020	$\frac{SWIR1}{SWIR2}$	CI (Clay Index)	شاخص رس

$$Overall\ accuracy = \frac{\sum_{a=1}^U C_{aa}}{Q} \times 100$$

$$k = \frac{p_{agree} - p_{chance}}{1 - p_{chance}}$$

جدول ۲- رابطه‌ی درجه موافقت با ضریب کاپا (رجکی و همکاران، ۲۰۲۱)

ضریب کاپا	درجه موافقت
< ۰/۴	ضعیف
۰/۴-۰/۶	مناسب
۰/۶۱-۰/۷۵	خوب
> ۰/۷۵	عالی

یافته‌های پژوهش و بحث

همانگونه که نتایج مندرج در جدول ۳ نشان می‌دهد مقدار رس خاک بین حداقل ۱ درصد تا حداکثر ۲۵ درصد و میانگین ۱۱/۸۵ درصد متغیر است. همچنین درصد سیلت خاک بین حداقل ۱۰/۵۰ تا حداکثر ۷۴ درصد و با میانگین ۳۸/۹۶ درصد در خاک‌های منطقه موجود می‌باشد. درصد شن خاک‌ها نیز بین ۱۲/۵۰ درصد تا ۸۲/۰۰ درصد و با میانگین ۴۹/۱۹ درصد متغیر است. مقدار ماده‌ی آلی در خاک‌های منطقه‌ی مطالعاتی در حد پایین است و حداکثر آن ۰/۷۶ می‌باشد (جدول ۳). وجود ماده‌ی آلی کم زمینه‌ساز افزایش پتانسیل فرسایش پذیری در خاک‌های منطقه است. مقدار کربنات کلسیم خاک‌ها در منطقه‌ی مطالعاتی در حدود ۲۴ درصد می‌باشد. همچنین بین مقادیر رس و گچ خاک در سطوح فرسایش یافته و رسوبی اختلاف معنی‌دار (سطح ۵ درصد) وجود دارد که حاکی از امکان استفاده از این پارامترها برای تفکیک سطوح فرسایش یافته و رسوبی از یکدیگر است.



جدول ۳- توصیف آماری پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک سطحی (۲۰-۰ سانتیمتر) در منطقه مطالعاتی

پارامتر	رس	سیلت	شن	ماده آلی	فسفر	کربنات کلسیم	pH	EC	گچ
واحد	درصد	درصد	درصد	درصد	ppm	درصد	-	dS/m	me/l
تعداد	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶
حداقل	۱/۰۰	۱۰/۵۰	۱۲/۵۰	۰/۰۰	۲/۶۰	۲۴/۶۲	۷/۰۹	۱/۵۰	۰/۷۵
حداکثر	۲۵/۰۰	۷۴/۰۰	۸۲/۰۰	۰/۷۶	۱۰/۷۵	۲۴/۹۵	۷/۹۶	۲۹/۸۶	۲۸/۷۵
میانگین	۱۱/۸۵*	۳۸/۹۶	۴۹/۱۹	-۰/۳۳	۵/۱۶	۲۴/۷۸	۷/۵۵	۱۳/۶۵	۱۰/۷۷*
انحراف معیار	۶/۱۷	۱۶/۴۰	۱۶/۵۱	-۰/۲۱	۲/۰۰	۰/۸۵	۰/۲۳	۶/۷۱	۹/۵۶

* وجود اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد (t- Test)

شاخص‌های آماری پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک سطحی در سطوح فرسایشی و رسوبی در جدول ۴ ارائه گردیده است. همانگونه که نتایج مقایسه بین مقادیر پارامترها نشان می‌دهد اختلافی بین آنالیزهای خاک سطحی سطوح فرسایشی و رسوبی مشاهده نشد و فقط بین مقادیر درصد رس و مقدار گچ خاک‌ها اختلاف وجود دارد که موید امکان استفاده از این پارامترها به منظور تفکیک سطوح از یکدیگر است.

جدول ۴- مقایسات شاخص‌های آماری پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک سطحی (۲۰-۰ سانتیمتر) در سطوح فرسایشی و رسوبی

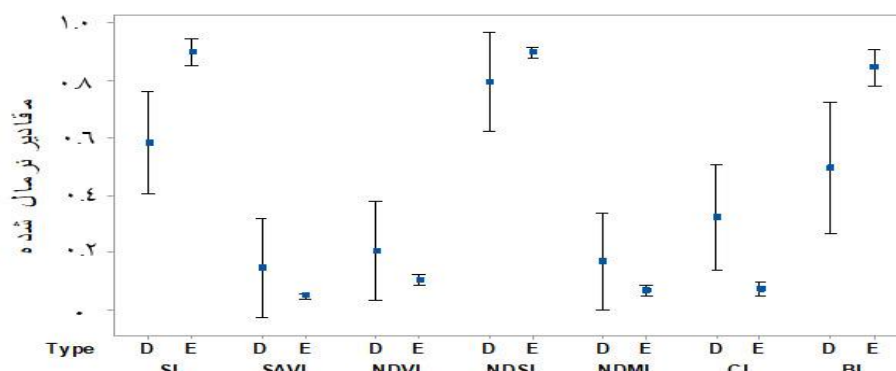
پارامتر	رس	سیلت	شن	ماده آلی	فسفر	کربنات کلسیم	pH	EC	گچ
واحد	درصد	درصد	درصد	درصد	ppm	درصد	-	dS/m	me/l
میانگین	۹/۳۷*	۴۵/۴۳	۴۵/۲۰	-۰/۳۴	۵/۱۳	۲۴/۸۰	۷/۵۷	۱۳/۴۰	۱۴/۶۸*
دامنه	۱۶/۵۰	۴۹/۵۰	۶۰/۰۰	-۰/۷۶	۶/۵۹	۰/۲۰	۰/۸۷	۲۸/۳۶	۲۸/۰۰
چولگی	۰/۰۱۶	-۰/۳۱۷	-۰/۳۴۱	-۰/۳۳	۰/۸۵۶	-۰/۳۴۲	-۰/۴۵۲	-۰/۱۷۶	۰/۰۳۰
میانگین	۱۴/۷۴*	۳۱/۴۲	۵۳/۸۴	-۰/۳۱	۵/۲۰	۲۴/۷۵	۷/۵۵	۱۳/۹۵	۶/۲۰*
دامنه	۲۱/۵۰	۳۸/۰۰	۴۳/۵۰	-۰/۵۴	۸/۰۶	۰/۳۳	۰/۳۵	۱۵/۷۷	۱۷/۷۵
چولگی	-۰/۴۴۰	-۰/۵۴۷	۱/۳۰	-۰/۲۷	۱/۵۱	-۰/۳۳۵	-۰/۱۵۶	-۰/۱۳۱	۱/۱۴۵

نمودار تغییرات مقادیر شاخص‌های نرمال شده سنجش از دور مشتمل بر NDVI, BI, CI, SI, SAVI, NDMI و NDSI برای سطوح فرسایشی و رسوبی نمایش داده شده است (شکل ۳). همانگونه که شکل ۳ نشان می‌دهد شاخص‌های SI, CI و BI دارای اختلاف معنی داری هستند و می‌توانند به عنوان شاخص‌هایی برای تفکیک سطوح فرسایشی و رسوبی استفاده شوند. شایان ذکر است که بازتاب‌های خاک رسوبی و فرسایشی منجر به اختلاف در شاخص‌های SI, CI و BI شده است. شاخص SI به عنوان شاخص شوری است که به شکل کاملاً مشخصی در سطوح فرسایش یافته و رسوبی اختلاف آن بر اساس مقادیر نرمال شده مشهود است. برای سطوح رسوبی (D) بر اساس مقادیر نرمال شده در دامنه‌ی ۰/۴ تا ۰/۷۵ می‌باشد ولیکن در سطوح فرسایشی (E) به شکل کاملاً مجزایی از حدود ۰/۸۲ تا ۰/۹۷ می‌باشد. بدین ترتیب شاخص شوری به عنوان یکی از شاخص‌های سنجش از دور است که برای تفکیک سطوح توصیه می‌گردد. مولفه‌های بازتاب‌سنجی سنجش از دور نرمال‌سازی شده‌اند. شاخص CI شاخص رس است که این شاخص نیز می‌تواند به عنوان شاخصی برای شناسایی و تفکیک سطوح فرسایش یافته و رسوبی مورد استفاده قرار گیرد در این ارتباط پارامتر رس هم به عنوان یکی از اجزاء متشکله‌ی بافت خاک در سطوح فرسایشی و رسوبی دارای اختلاف معنی دار است (جدول ۳ و ۴).

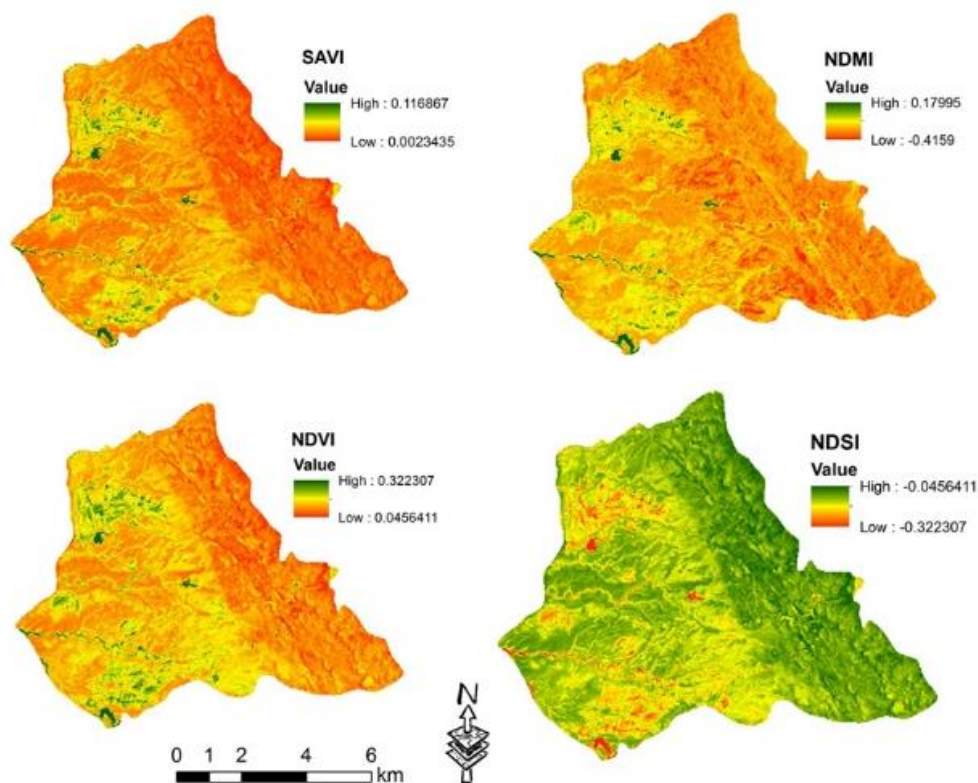
تمامی مقادیر مولفه‌ها بر اساس شاخص نرمال سازی (کریسیزگ، ۱۹۷۹) به نمرات نرمال تبدیل شدند. مقدار پراکندگی حول شاخص تمرکز نمرات نرمال در نمودار آورده شده است.

نقشه‌ی شاخص‌های سنجش از دور مشتمل بر NDMI, SAVI, BI, CI, SI, NDSI و NDVI مستخرج از نرم‌افزار ENVI برای منطقه‌ی مطالعاتی نمایش داده شده است (شکل ۴). نمودار تغییرات مقادیر شاخص‌های نرمال شده سنجش از دور به تفکیک سطوح فرسایش و رسوب (شکل ۳) نشان می‌دهد که در برخی از این شاخص‌ها مانند SI, CI و BI تفاوت اساسی میان مقادیر محاسبه شده از روی بازتاب‌های سطح خاک برای سطوح فرسایشی و رسوبی وجود دارد. در این نمودار با توجه به تفاوت دامنه شاخص‌های مختلف برای ارایه همزمان در یک نمودار تمام مقادیر شاخص‌های با روش ZSQUARE در دامنه صفر تا یک آورده شده‌اند و مقادیر حداقل، حداکثر

، دامنه و میانگین بر روی نمودار نمایش داده شده است. بطور مثال در ارتباط با شاخص شوری می‌توان مشاهده نمود که در سطوح رسوبی شاخص شوری مقادیر کمتری را نشان می‌دهد و مقدار آن از $0/4$ تا $0/75$ تغییر می‌نماید و میانگین آن نیز $0/58$ می‌باشد این در حالی است که شاخص‌های شوری محاسبه شده از روی انعکاس‌های سطح خاک مناطق فرسایش یافته به میزان قابل توجهی بالاتر بوده و دارای دامنه تغییرات کمتری می‌باشد. میانگین شاخص شوری سطوح فرسایش یافته $0/95$ می‌باشد. این نمودار به میزان زیادی به درک اینکه کدام شاخص‌ها برای تفکیک سطوح فرسایش و رسوب بهتر هستند کمک نموده و نیز اطلاعاتی در ارتباط با خاک‌ها در اختیار قرار می‌دهد. بررسی شاخص شوری نشان می‌دهد که خاک‌های مناطق فرسایش شورت‌تر بوده و درصد بالاتری از املاح نسبت به خاک‌های شسته شده انتقال یافته به پایین دست دارند. همچنین نمودار تغییرات نشان می‌دهد که شاخص رس برای سطوح رسوبی بیشتر از سطوح فرسایشی است که دلیل آن رخدادهای فرسایش خاک و انتقال ذرات رس به نواحی دیگر است. نمودار نشان می‌دهد که شاخص BI برای سطوح فرسایشی بیشتر از سطوح رسوبی است که حاکی از روشن بودن سطوح فرسایش یافته در اثر کنده شدن و حمل لایه‌ی سطحی و تیره‌ی خاک می‌باشد. بدین ترتیب با بهره‌گیری از این شاخص‌ها امکان تفکیک سطوح فرسایشی و رسوبی وجود دارد.

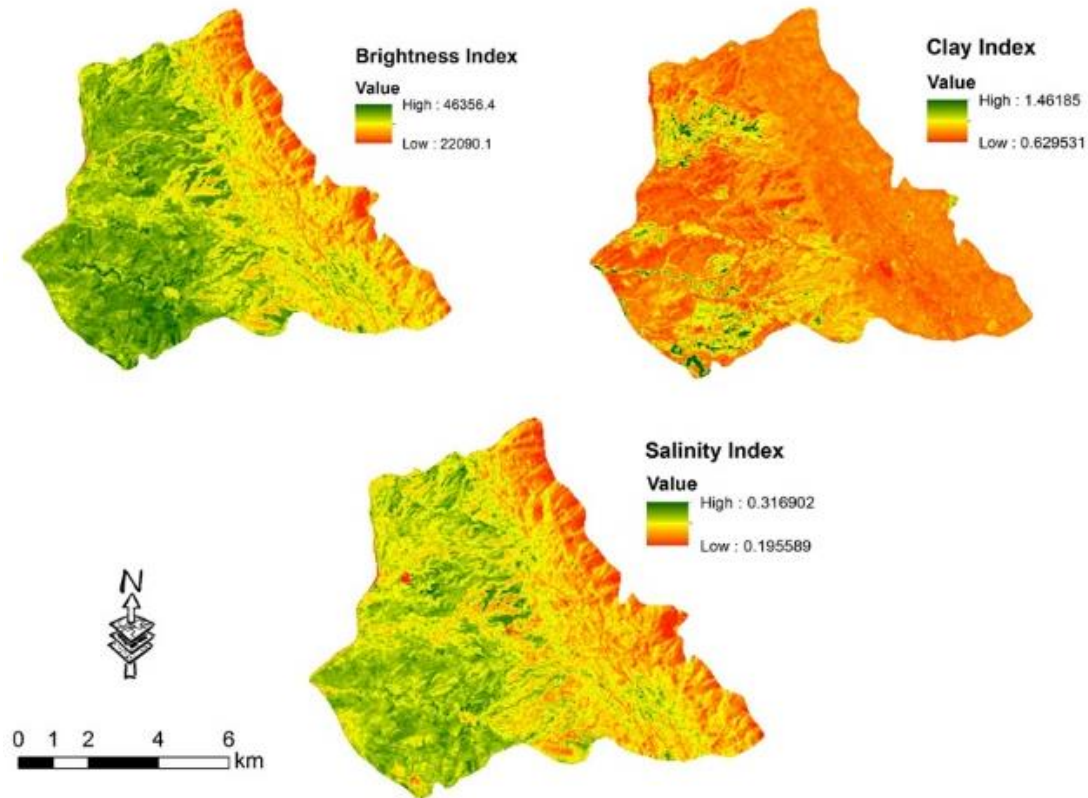


شکل ۳- نمودار تغییرات مقادیر شاخص‌های نرمال شده سنجش از دور برای سطوح فرسایشی و رسوبی



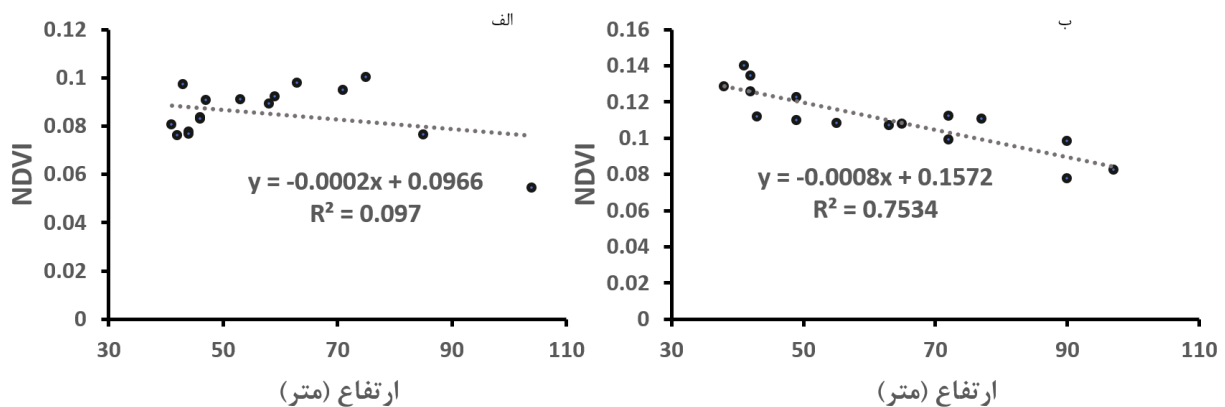
شکل ۴- نقشه‌ی توزیع مکانی شاخص‌های NDVI و NDSI، SAVI، SI، BI، CI، NDMI در منطقه‌ی مطالعاتی

بر اساس نمودار تغییرات مقادیر شاخص‌های نرمال شده‌ی سنجش از دور ارایه شده (شکل ۳) و وجود اختلاف معنی‌دار در شاخص‌های CI، BI و SI می‌توان بیان نمود که نقشه‌های ارایه شده از شاخص‌های مذکور می‌تواند برای شناسایی و تفکیک سطوح فرسایشی و رسوبی در منطقه‌ی مطالعاتی مورد استفاده قرار بگیرد. دامنه‌ی تغییرات و توزیع مکانی شاخص‌های BI، CI و SI در شکل ۵ نمایش داده شده است.



شکل ۵- نقشه‌ی توزیع مکانی شاخص‌های BI، CI و SI در منطقه‌ی مطالعاتی

همچنین ارتباط بین ارتفاع و شاخص تفاضلی پوشش گیاهی برای سایت‌های فرسایشی و سایت‌های رسوبی ارائه گردیده است (شکل ۶). همانگونه که شاخصه‌های موجود در شکل ۶ نشان می‌دهد برای سایت‌های فرسایشی (الف) ارتباط معنی‌داری وجود ندارد ولیکن برای سایت‌های رسوبی (شکل ۶ ب) ارتباط معنی‌داری ($R^2: 0.75$) بین شاخص NDVI و ارتفاع وجود دارد.



شکل ۶- ارتباط بین ارتفاع و شاخص تفاضلی پوشش گیاهی (الف) سایت‌های فرسایشی، (ب) سایت‌های رسوبی

برای جداسازی سطوح فرسایشی و رسوبی از روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده استفاده شده و مقادیر ضریب کاپا و صحت کلی برای الگوریتم‌های نظارت شده یعنی سطوح موازی، فاصله ماهالانوبی، حداکثر احتمال، حداقل فاصله از میانگین، شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان ارائه شده است (جدول ۵). بر اساس نتایج مندرج در جدول ۵، الگوریتم حداکثر احتمال دارای بالاترین ضریب کاپا و بیشترین صحت کلی (۸۶/۶۱ درصد) و در مقابل الگوریتم سطوح موازی دارای پایین‌ترین ضریب کاپا (۰/۵۶۰) و کمترین صحت کلی (۷۵/۲۰) می‌باشد.

جدول ۵- مقایسه‌ی مقادیر ضریب کاپا و صحت کلی محاسبه شده برای الگوریتم‌های طبقه‌بندی نظارت شده

الگوریتم طبقه‌بندی نظارت شده	ضریب کاپا (Kappa)	صحت کلی (Overall accuracy)/درصد
سطوح موازی	۰/۵۶۰	۷۵/۲۰
فاصله ماهالانوبی	۰/۶۲۷	۸۱/۵۰
حداکثر احتمال	۰/۷۲۱	۸۶/۶۱
حداقل فاصله از میانگین	۰/۶۵۸	۸۳/۰۷
شبکه عصبی	۰/۶۳۰	۸۳/۸۶
ماشین بردار پشتیبان	۰/۷۰۶	۸۵/۳۱

مضافاً بر ارزیابی کارایی الگوریتم‌های طبقه‌بندی نظارت شده با استفاده از شاخص‌های ضریب کاپا و صحت کلی؛ ماتریس درصد کارایی هر الگوریتم نیز بر اساس درصد ایجاد و درصد کاربردی محاسبه شد (جدول ۶). همانگونه که نتایج مندرج در جدول ۶ نشان می‌دهد؛ درصد ایجاد و درصد کاربردی بر اساس فرایندهای سطح خاک اعم از فرسایش و رسوب و برای الگوریتم‌های مختلف ارائه شده است. برای فرایند فرسایش الگوریتم سطوح موازی دارای بالاترین درصد ایجاد (۹۵/۷۴) و برای فرایند رسوب الگوریتم شبکه عصبی با مقدار عددی ۹۶/۲۵ دارای بیشترین میزان می‌باشد. علاوه بر درصد ایجاد؛ درصد کاربردی الگوریتم‌ها نیز برای سطوح فرسایش و رسوب نشان داد که الگوریتم شبکه عصبی برای فرایند فرسایش دارای بالاترین مقدار کاربردی می‌باشد (۹۰/۷۷) ولیکن در مقابل برای فرایند رسوب الگوریتم سطوح موازی با مقدار ۹۷/۱۲ دارای بیشترین درصد کاربردی است. فرناندز و همکاران طی پژوهشی از الگوریتم‌هایی برای ارزیابی ایجاد و گسترش فرسایش خندقی و گالی‌ها مرتبط با مواد مادری و نوع سنگ‌های تشکیل دهنده منطقه در شمال اسپانیا استفاده نمودند (۲۰۰۸) و نشان دادند که الگوریتم فاصله ماهالانوبی روشی مناسب برای تشخیص گالی و فرورفتگی‌ها می‌باشد.

جدول ۶- ماتریس درصد کارایی هر الگوریتم برای تفکیک سطوح فرسایشی و رسوبی

الگوریتم	فرایند سطح خاک	درصد ایجاد	درصد کاربردی
سطوح موازی	فرسایش	۹۵/۷۴	۷۳/۷۷
	رسوب	۶۳/۱۳	۹۷/۱۲
فاصله ماهالانوبی	فرسایش	۹۰/۴۳	۶۹/۱۱
	رسوب	۷۶/۲۵	۹۳/۱۳
حداکثر احتمال	فرسایش	۸۹/۳۶	۷۷/۷۸
	رسوب	۸۵/۰۰	۹۳/۱۵
حداقل فاصله از میانگین	فرسایش	۹۲/۵۵	۷۰/۷۳
	رسوب	۷۷/۵۰	۹۴/۶۶
شبکه عصبی	فرسایش	۶۲/۷۷	۹۰/۷۷
	رسوب	۹۶/۲۵	۸۱/۴۸
ماشین بردار پشتیبان	فرسایش	۸۷/۱۳	۸۳/۰۲
	رسوب	۸۳/۶۴	۸۷/۶۲

لازم به ذکر است که کارایی روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده برای جداسازی اراضی در معرض فرسایش تایید شده است (کی و همکاران، ۲۰۲۴). پژوهش‌های کرمی و همکاران (۲۰۱۵) موید این مطلب است که روش‌های سنجش از دور مبتنی بر پیکسل‌ها توانایی بیشتری برای جداسازی اراضی فرسایش یافته خصوصاً اراضی در معرض فرسایش خندقی دارند. همچنین مقادیر ضریب کاپا و صحت کلی محاسبه شده برای اثرات تلفیقی شاخص‌های سنجش از دور و الگوریتم‌های طبقه‌بندی



نظارت شده (جدول ۷) و ماتریس درصد کارایی بر مبنای تلفیق شاخص‌های سنجش از دور و الگوریتم‌های طبقه‌بندی شده هر الگوریتم برای تفکیک سطوح فرسایشی و رسوبی (جدول ۸) ارائه شده است.

جدول ۷- مقادیر ضریب کاپا و صحت کلی محاسبه شده برای اثر تلفیقی شاخص‌های سنجش از دور و الگوریتم‌های طبقه‌بندی نظارت شده

الگوریتم طبقه‌بندی نظارت شده	ضریب کاپا (Kappa)	صحت کلی (Overall accuracy)/درصد
سطوح موازی	۰/۳۴۷	۵۹/۴۵
فاصله ماهالانوبی	۰/۶۶۳	۸۳/۰۷
حداکثر احتمال	۰/۷۴۰	۸۷/۸۰
حداقل فاصله از میانگین	۰/۵۷۵	۷۸/۷۴
شبکه عصبی	۰/۵۷۲	۷۹/۹۲
ماشین بردار پشتیبان	۰/۷۹۵	۹۰/۱۶

جدول ۸- ماتریس درصد کارایی (تلفیق شاخص‌های سنجش از دور و الگوریتم‌های طبقه‌بندی) هر الگوریتم برای تفکیک سطوح فرسایشی و رسوبی

الگوریتم	رسوبی	
	درصد ایجاد	درصد کاربردی
سطوح موازی	فرسایش	۵۸/۹۷
	رسوب	۹۶/۷۲
فاصله ماهالانوبی	فرسایش	۶۹/۷۷
	رسوب	۹۶/۸۰
حداکثر احتمال	فرسایش	۸۲/۴۷
	رسوب	۹۱/۰۸
حداقل فاصله از میانگین	فرسایش	۶۵/۶۳
	رسوب	۹۲/۰۶
شبکه عصبی	فرسایش	۷۲/۱۶
	رسوب	۸۴/۷۱
ماشین بردار پشتیبان	فرسایش	۸۲/۲۴
	رسوب	۹۵/۹۲

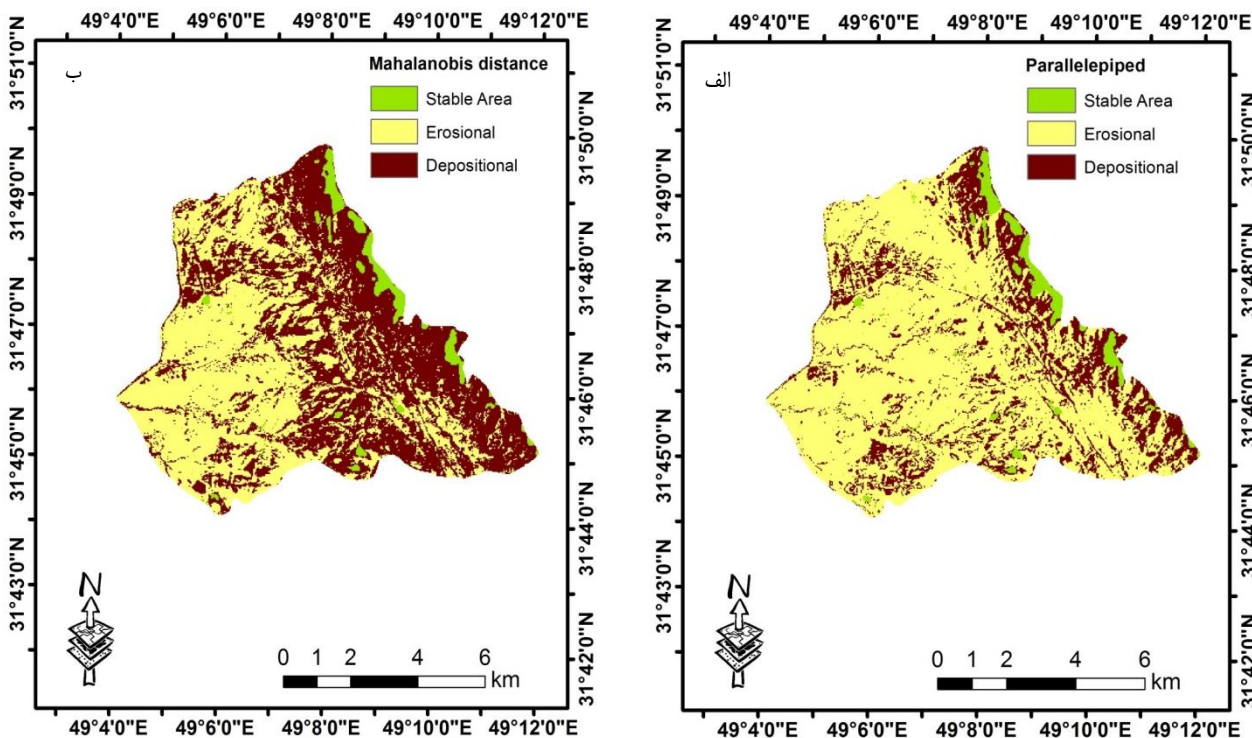
میانگین سطوح فرسایشی و رسوبی با استفاده از شاخص‌های سنجش از دور و روش تلفیقی برای الگوریتم‌های نظارتی مختلف ارائه شده است (جدول ۹). لازم به ذکر است که ۱/۷۱ درصد از منطقه‌ی مطالعاتی را فلات‌های فوقانی و سنگ تشکیل داده اند که در خط الراس‌ها هستند و عملاً در آنها فرسایش و یا رسوبی رخ نداده است و به عنوان سطوح پایدار تعریف شده‌اند. همانگونه که نتایج مندرج در جدول ۹ نشان می‌دهد سطوح فرسایشی و رسوبی محاسبه شده توسط الگوریتم‌های مختلف با هم دارای تفاوت‌هایی می‌باشد.

جدول ۹- میانگین سطوح فرسایشی و رسوبی بر مبنای شاخص‌های سنجش از دور و روش تلفیقی برای الگوریتم‌های مختلف نظارتی

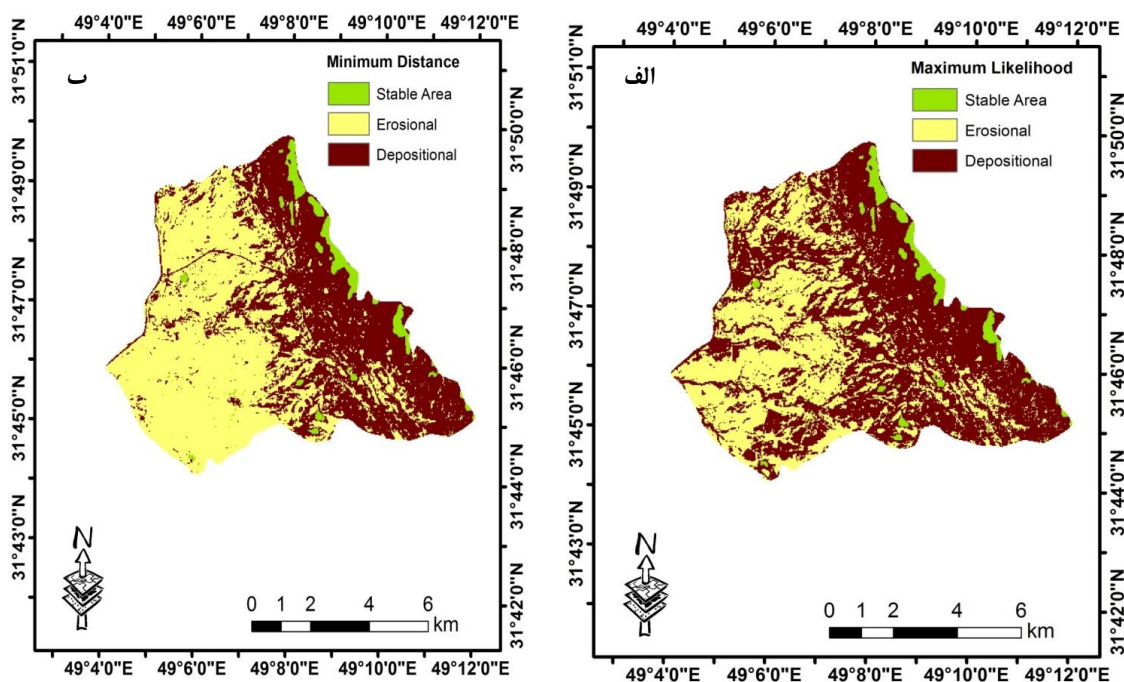
وضعیت سطوح	نوع الگوریتم نظارتی				ماتریس سنجش از دور	میانگین روش تلفیقی
	ماهالانوبی	حداکثر احتمال	حداقل فاصله از میانگین	سطوح موازی		
رسوبی	۴۵/۵۰	۵۴/۴۴	۴۴/۲۲	۳۸/۰۵	۵۴/۲۹	۵۴/۹۹
فرسایشی	۵۱/۱۹	۴۳/۸۵	۵۴/۰۷	۶۰/۲۴	۴۲/۰۰	۴۳/۳۰
رسوبی	۴۸/۸۴	۳۷/۹۷	۴۴/۰۰	۲۷/۲۲	۵۵/۹۱	۵۵/۰۶
فرسایشی	۴۹/۴۵	۶۰/۳۲	۵۴/۲۹	۷۱/۰۷	۴۲/۳۸	۴۳/۲۳

نتایج نشان می‌دهد که هم در روش سنجش از دور و هم تلفیقی؛ الگوریتم نظارتی سطوح موازی با مقدار ۶۰/۲۴ درصد سطوح فرسایشی در روش سنجش از دور و مقدار ۷۱/۰۷ درصد در روش تلفیقی بیشترین میزان سطوح فرسایشی را در منطقه‌ی مطالعاتی برآورد

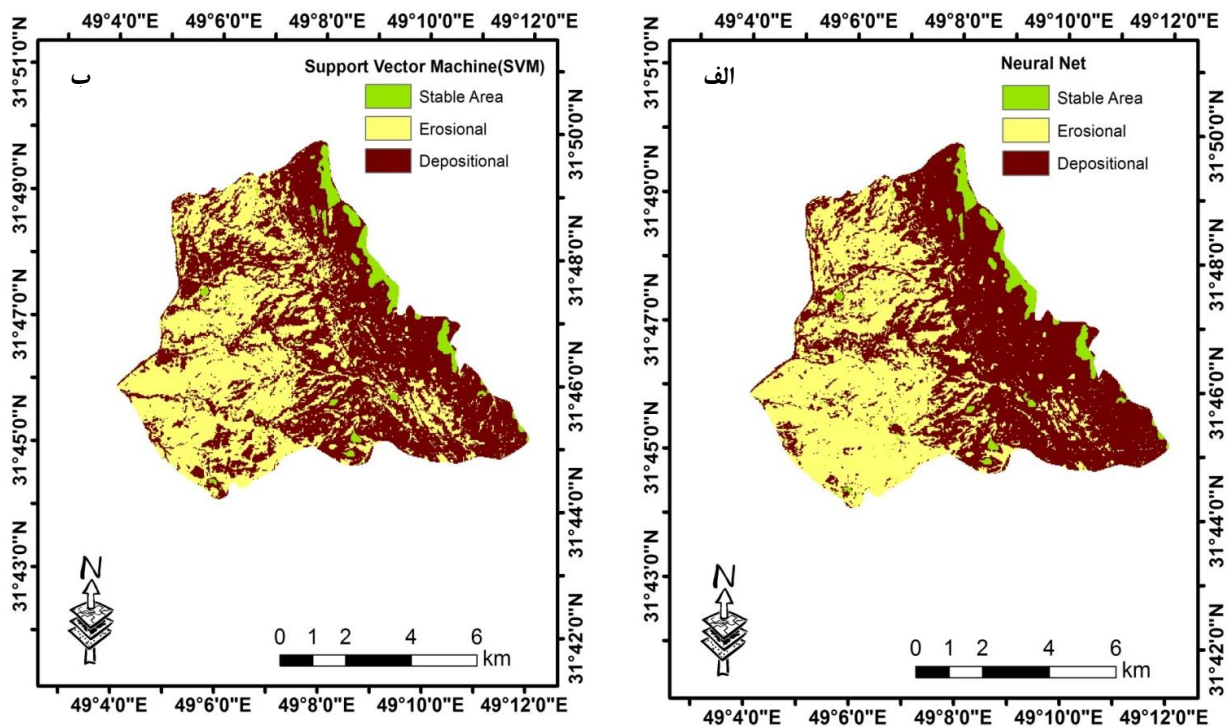
نموده است. بدین ترتیب به همان نسبت کمترین سطوح هم در روش سنجش از دور و هم روش تلفیقی مربوط به سطوح رسوبی در این الگوریتم یعنی الگوریتم نظارتی سطوح موازی می‌باشد. سطوح پایدار در منطقه‌ی مطالعاتی که مشتمل بر فلات‌های فوقانی و سطوح پوشیده شده توسط سنگ می‌باشند؛ در نقشه‌های تفکیک سطوح (اشکال ۷، ۸ و ۹) به صورت سطوح سبزرنگ نمایش داده شده است. در تمامی نقشه‌های ارائه شده در ارتباط با وضعیت توزیع مکانی سطوح؛ سطوح فرسایشی با رنگ زرد و سطوح رسوبی به رنگ قهوه‌ای نشان داده شده‌اند.



شکل ۷ - نقشه‌ی تفکیک سطوح فرسایشی و رسوبی با استفاده از الگوریتم‌های سطوح موازی (الف) و فاصله ماھالانوبی (ب) در تلفیق با شاخص‌های سنجش از دور



شکل ۸ - نقشه‌ی تفکیک سطوح فرسایشی و رسوبی با استفاده از الگوریتم‌های حداکثر احتمال (الف) و حداقل فاصله (ب) در تلفیق با شاخص‌های سنجش از دور



شکل ۹- نقشه‌ی تفکیک سطوح فرسایشی و رسوبی با استفاده از الگوریتم‌های شبکه عصبی (الف) و ماشین بردار پشتیبان (ب) در تلفیق با شاخص‌های سنجش از دور

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

فرسایش آبی خاک یکی از مهم‌ترین جنبه‌های تخریب اراضی و هدررفت منابع تولید زراعی است. این تفکر که تمامی سطوح در معرض ریسک فرسایش در یک حوضه‌ی آبریز؛ در معرض فرسایش قرار می‌گیرند منجر به اشتباه در توزیع منابع مدیریتی می‌گردد. جداسازی و افزایش سطوح تحت تاثیر فرسایش از سطوح خاک پایدار و سطوح تحت تاثیر فرسایش رسوب‌گذاری منجر به تسریع مدیریت برای کنترل فرسایش در سطوح در معرض می‌شود. در این پژوهش از مدل‌سازی افزایش مبتنی بر خصوصیات خاک سطحی و داده‌های سنجش از دور به منظور جداسازی عرصه‌های فرسایش و رسوب استفاده شده است. نتیجه این بررسی که در منطقه‌ای تحت تاثیر شدید فرسایش و رسوبگذاری آبی در خاک‌های مرکز خوزستان به انجام رسیده است؛ نشان داد که منطقه مستعد انواع رخداد‌های فرسایش آبی بالاخص از نوع خندقی است که در نتیجه‌ی وجود شیب و مارن‌های سازند آغاچاری حساس به فرسایش؛ منطقه‌ی مطالعاتی دارای تراکم بالایی از خندق‌های عمیق یو شکل (U) می‌باشد. نتایج بررسی نشان داد که از میان پارامترهای فیزیکوشیمیایی خاک؛ درصد رس و مقدار گچ خاک به طور معنی‌داری در سطوح فرسایشی و رسوبی متفاوت هستند. مقدار رس در سطوح فرسایشی کمتر و مقدار گچ بیشتر است. از میان شاخص‌های سنجش از دور برآورد شده در منطقه شاخص‌های شوری، شاخص رس و شاخص درخشندگی در مناطق فرسایشی و رسوبی مقادیر متفاوتی را نشان می‌دهند و می‌توانند برای برآورد عرصه‌های فرسایش و رسوب بکار گرفته شوند. طبقه‌بندی افزایشی مبتنی بر شاخص‌های سنجش از دور به طور موثری قادر به تفکیک عرصه فرسایش از عرصه‌های رسوبگذاری می‌باشد. رابطه خوب میان شاخص تفاضل پوشش گیاهی و ارتفاع در سایت‌های رسوبی در منطقه وجود دارد که امکان جداسازی موثر سطوح رسوبی را با استفاده از روش‌های سنجش از دور را فراهم می‌نماید. در میان روش‌های طبقه‌بندی بکار گرفته شده روش ماشین بردار پشتیبان و روش حداکثر احتمال از روش‌های دیگر موثرتر عمل نموده‌اند. بطور کلی روش‌های بکار رفته درصد دقت بالاتری را در جداسازی عرصه‌های رسوبگذاری نسبت به عرصه‌های فرسایشی نشان می‌دهند و درصد کاربندی جداسازی حدود ۲۱ درصد برای سطوح رسوبی بیشتر است. بکارگیری شاخص‌های رس، درخشندگی و شوری به جای داده خام باندهای ماهواره‌ای منجر به افزایش دقت و صحت روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده برای جداسازی سطوح فرسایش و رسوب می‌شود. علاوه بر شاخص‌های کارایی با بررسی چشمی نیز می‌توان دریافت نقشه‌های طبقه‌بندی نظارت شده با واقعیت منطقه همخوانی دارد. در قسمت شرق و شمال منطقه که در مرز جبهه کوهستانی و منطقه بسط مخروط افکنه‌های کم ارتفاع است رسوبگذاری و عرصه‌های سنگی پایدار قرار دارند و آب جاری شده از این قسمت در قسمت‌های پایین دست به حرکت در

کانال‌های تجمعی به علت فرسایش پذیر بودن خاک منطقه منظره گسترده‌ای از خندق‌های متراکم را سبب می‌شود.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

سپاس‌گزاری

بدین‌وسیله از حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز به جهت تامین هزینه مورد نیاز این تحقیق که قسمتی از قرارداد پژوهانه به شماره SCU.AS1403.364 می‌باشد، تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

مکی، سیمین، رضائی، پیمان، پیروان، حمیدرضا (۱۳۹۵). بررسی عوامل مؤثر بر فرسایش آبی در رسوبات مارنی سازندهای میشان و آغاچاری در باختر بندرعباس. پژوهش‌های فرسایش محیطی ۲۱ (۱): ۳۰-۵۱.

REFERENCES

- Akbari S., & Vaezi A.R. (2015). Investigating aggregates stability against raindrops impact in some soils of a semi -arid region, North West of Zanjan. 2015. *Water and Soil Science*, 25 (2): 65-77. (in Persian).
- Cheng, Z., Lu, D., Li, G., Huang, J., Sinha, N., Zhi, J., & Li, S. (2018). A random forest-based approach to map soil erosion risk distribution in Hickory Plantations in western Zhejiang Province, China. *Remote Sensing*, 10(12), 1899.
- Douaoui, E., Nicolas, H., & Walter, C. (2006). Detecting salinity hazards within a semiarid context by means of combining soil and remote-sensing data. *Geoderma*, 134(1-2), 217-230.
- Eswaran, H., Lal, R., & Reich, P.F. (2001). Land degradation: an overview. In: Bridges, E.M., Hannam, I.D., Oldeman, L.R., Penning de Vries, W.T., Scherr, S.J., Sombatpanit, S. (Eds.), *Response to Land Degradation*. Science Publishers Inc, Enfield, NH, USA, pp. 20-35.
- Fernández, S., Marquín, J., & Menéndez-Duarte, R. (2008). A sapping erosion susceptibility model for the southern Cantabrian Range, North Spain. *Geomorphology*, 95(3-4), 145-157.
- Foody, G. M. (2001). Monitoring the magnitude of land-cover change around the southern limits of the Sahara. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 67(7), 841-848.
- Garosi, Y., Shekhabadi, M., Pourghasemi, H. R., Besalatpour, A. A., Conoscenti, C., & Van Oost, K. (2018). Comparison of differences in resolution and sources of controlling factors for gully erosion susceptibility mapping. *Geoderma*, 330, 65-78.
- Garosi, Y., Shekhabadi, M., Pourghasemi, H. R., Besalatpour, A. A., Conoscenti, C., & Van Oost, K. (2018). Comparison of differences in resolution and sources of controlling factors for gully erosion susceptibility mapping. *Geoderma*, 330, 65-78.
- Gopinath, K. P., Nagarajan, V. M., Krishnan, A., & Malolan, R. (2020). A critical review on the influence of energy, environmental and economic factors on various processes used to handle and recycle plastic wastes: Development of a comprehensive index. *Journal of Cleaner Production*, 274, 123031.
- Guerschman, J. P., Scarth, P. F., McVicar, T. R., Renzullo, L. J., Malthus, T. J., Stewart, J. B., ... & Trevithick, R. (2015). Assessing the effects of site heterogeneity and soil properties when unmixing photosynthetic vegetation, non-photosynthetic vegetation and bare soil fractions from Landsat and MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, 161, 12-26.
- Hadeel, A., Jabbar, M., & Chen, X. (2011). Remote sensing and GIS application in the detection of environmental degradation indicators. *Geo-spatial Information Science*, 14(1), 39-47.
- Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote sensing of environment*, 25(3), 295-309.
- Karami, A., Khorani, A., Noohegar, A., Shamsi, S. R. F., & Moosavi, V. (2015). Gully erosion mapping using object-based and pixel-based image classification methods. *Environmental & Engineering Geoscience*, 21(2), 101-110.
- Khan, N. M., Rastoskuev, V. V., Sato, Y., & Shiozawa, S. (2005). Assessment of hydrosaline land degradation by using a simple approach of remote sensing indicators. *Agricultural Water Management*, 77(1-3), 96-109.
- Kreyszig, E. (2015). Sanjeev Ahuja. *Applied Mathematics-I*, Wiley India Publication, Reprint.
- Qi, L., Zhou, Y., Van Oost, K., Ma, J., van Wesemael, B., & Shi, P. (2024). High-resolution soil erosion



- mapping in croplands via Sentinel-2 bare soil imaging and a two-step classification approach. *Geoderma*, 446, 116905.
- Rejeki, S., Meidina, R., Hapsari, M., Setyaningsih, R. & Azura, R. (2021). Context-based tasks in mathematics textbooks for vocational high school students. *Journal of Physics: Conference Series*. 1776. 012030. 10.1088/1742-6596/1776/1/012030.
- Sayão, V. M., Demattê, J. A., Bedin, L. G., Nanni, M. R., & Rizzo, R. (2018). Satellite land surface temperature and reflectance related with soil attributes. *Geoderma*, 325, 125-140.
- Shahbazi, K., Salajagheh, A., Jafari, M., Ahmadi, H., Nazarisamani, A., & Khosrowshahi, M. (2017). Comparative Assessment of Gully Erosion and Sediment Yield in Different Rangelands and Agricultural Areas in Ghasr-e-Shirin, Kermanshah, Iran. *Journal of Rangeland Science*, 7(3), 296-306.
- Shoshany, M., Goldshleger, N., & Chudnovsky, A. (2013). Monitoring of agricultural soil degradation by remote-sensing methods: A review. *International Journal of Remote Sensing*, 34(17), 6152-6181.
- Shruthi, R. B., Kerle, N., Jetten, V., Abdellah, L., & Machmach, I. (2015). Quantifying temporal changes in gully erosion areas with object oriented analysis. *Catena*, 128, 262-277.
- Sterk, G., Riksen, M. J. P. M., & Goossens, D. (2001). Dryland degradation by wind erosion and its control. *Annals of arid Zone*, 40(3), 351-368.
- Vaezi A.L., Bahrami H., Sadeghi H., & Mahdian M. (2008). Modeling the USLE K-factor for calcareous soils in northwestern Iran. *Geomorphology* 97 (3): 414-423.
- Vaezi A.R., & Ebadi, M. (2016). Particle Size Distribution of Surface-Eroded Soil in Different Rainfall Intensities and Slope Gradients. *Journal of Water and Soil*. Vol. 31, No. 1, Mar.-Apr. 2017, p. 216-229.
- Vrieling, A. (2006). Satellite remote sensing for water erosion assessment: A review. , 65(1), 0-18. doi:10.1016/j.catena.2005.10.005.
- Vrieling, A., Sterk, G., & Vigiak, O. (2006). Spatial evaluation of soil erosion risk in the West Usambara Mountains, Tanzania. *Land Degradation & Development*, 17(3), 301-319.
- Wang, J., Zhen, J., Hu, W., Chen, S., Lizaga, I., Zeraatpisheh, M., & Yang, X. (2023). Remote sensing of soil degradation: Progress and perspective. *International Soil and Water Conservation Research*, 11(3), 429-454.
- Wilson, E. H., & Sader, S. A. (2002). Detection of forest harvest type using multiple dates of Landsat TM imagery. *Remote Sensing of Environment*, 80(3), 385-396.
- Xu, H., Hu, X., Guan, H., Zhang, B., Wang, M., Chen, S., & Chen, M. (2019). A remote sensing based method to detect soil erosion in forests. *Remote Sensing*, 11(5), 513.
- Zhang, H., Yu, D., Dong, L., Shi, X., Warner, E., Gu, Z., & Sun, J. (2014). Regional soil erosion assessment from remote sensing data in rehabilitated high density canopy forests of southern China. *Catena*, 123, 106-112.