

Investigating the Effect of Climatic and Land Factors to Determine the Areas Prone to Wind Erosion in the Secondary Watersheds of Iran (Sefidroud - Namak lake and Daranjir - Saghand)

Leila Biabani¹ | Hassan Khosravi^{1*} | Gholamreza Zehtabin¹ | Esmail Heydari Alamdarloo¹ | Behzad Raygani²

1. Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

2. Research Group of Environmental Assessment and Risks, Research Center of Environment and Sustainable Development (RCESD), Department of Environment, Tehran, Iran.

Email: hakhosravi@ut.ac.ir

Article Info

Abstract

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 03 May. 2024
Revised: 10 Jul. 2024
Accepted: 11 Jul. 2024
Published online: 01 Mar. 2025

Keywords:
Fuzzy membership,
ILSWE model,
Land sensitivity,
Land use,
Wind erosion.

Soil erosion modeling is becoming increasingly significant in the development and implementation of soil management and conservation policies. To better understand the geographical distribution of soil erosion, spatial-based models are required. Wind erosion is a major cause of land degradation and desertification, negatively impacting the economy, society, and environment, particularly in arid and semi-arid regions. To control and reduce the effects of wind erosion, the first step is to identify sensitive areas. The aim of this research is to identify areas susceptible to wind erosion using the ILSWE model in the watershed regions of the Dar Anjir-Saghand Desert, Namak Lake, and Sefidrud. This model has been developed by combining five erosion indices: climate erosivity, soil erodibility, surface crust, vegetation cover, and surface roughness. The model's results indicate that climatic factors such as precipitation, evaporation, and wind vary across these regions and play a significant role in determining areas susceptible to wind erosion. It should be noted that other factors, including differences in vegetation cover, soil characteristics, topographic conditions, and the extent of bare land, salt marshes, sand dunes, low-density pastures, and rainfed agricultural lands, have also influenced these results. In general, this study presents a new method for identifying wind erosion-sensitive areas in various climates. This method can help prioritize regions that require further research and corrective measures.

Cite this article: Biabani, L., Khosravi, H., Zehtabin, Gh., Heydari Alamdarloo, E., Raygani, B. (2025). Investigating the Effect of Climatic and Land Factors to Determine the Areas Prone to Wind Erosion in the Secondary Watersheds of Iran (Sefidroud - Namak lake and Daranjir - Saghand). *Journal of Range & Watershed Management*, 78 (1), 29-48. DOI: <http://doi.org/2024.375892.1761>



بررسی اثر عوامل اقلیمی و زمینی جهت تعیین مناطق مستعد فرسایش بادی در حوزه‌های آبخیز درجه‌دو ایران (سفیدرود - دریاچه نمک و درانجیر - ساغند)

لیلا بیابانی^۱ | حسن خسروی^{۱*} | غلامرضا زهتابیان^۱ | اسماعیل حیدری علمدارلو^۱ | بهزاد رایگانی^۲

۱. گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
 ۲. گروه پژوهشی ارزیابی و مخاطرات محیط زیست، پژوهشکده محیط زیست و توسعه پایدار، سازمان حفاظت محیط زیست، تهران، ایران
 رایانامه: hakhosravi@ut.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

مدل‌سازی فرسایش خاک در توسعه و اجرای سیاست‌های مدیریت و حفاظت خاک اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. برای درک بهتر توزیع جغرافیایی فرسایش خاک، مدل‌های مبتنی بر فضایی فرسایش خاک مورد نیاز است. فرسایش بادی از جمله مهم‌ترین جنبه‌های تخریب سرزمین و بیابان‌زایی به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود که اثرات منفی اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی ایجاد می‌نماید. جهت کنترل و کاهش اثرات سوء این پدیده همواره اولین گام، تعیین مناطق حساس به فرسایش بادی است. هدف از این پژوهش مشخص کردن مناطق مستعد فرسایش بادی با استفاده از مدل ILSWE در حوزه‌های آبریز درجه‌دو کویر درانجیر-ساغند، دریاچه نمک و سفیدرود با استفاده از عوامل اقلیمی و زمینی می‌باشد. این مدل با ترکیب پنج شاخص فرسایش اقلیمی، فرسایش‌پذیری خاک، سله خاک سطحی، پوشش گیاهی و زبری سطح محاسبه شده است. نتایج مدل نشان داد که عامل فرسایش اقلیمی شامل بارش، تبخیر و تعرق و باد در این حوزه‌ها متفاوت بوده و بیشترین اهمیت را در پیدایش مناطق حساس به فرسایش بادی داشته است. به عبارتی در حوزه‌ای که میزان بارش افزایش داشته و میزان تبخیر و تعرق و سرعت باد کاهش یابد، درصد مناطق حساس به فرسایش بادی، کاهش، یابد. البته لازم به ذکر است که سایر عوامل مدل، شامل اختلاف پوشش گیاهی، ویژگی‌های خاک، وضعیت توپوگرافی و وسعت اراضی بایر، شورزار، تپه‌های ماسه‌ای، مراتع کم‌تراکم و اراضی کشاورزی دیم در سه حوزه مذکور نیز به نتایج این مدل کمک کرده است. به‌طور کلی نتایج این مطالعه بینش جدیدی در مورد تعیین مناطق حساس به فرسایش بادی در اقالیم مختلف ارائه می‌کند که می‌تواند برای اولویت‌بندی مناطقی که تحقیقات بیشتری در آن‌ها مورد نیاز است و اقدامات اصلاحی باید اجرا شود، استفاده گردد.

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۱۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۴/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۲۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۲/۱۱

کلیدواژه‌ها:

حساسیت اراضی،
 فرسایش بادی،
 کاربری اراضی،
 عضویت فازی،
 مدل ILSWE

استناد: بیابانی، لیلا، خسروی، حسن، زهتابیان، غلامرضا، حیدری علمدارلو، اسماعیل، رایگانی، بهزاد (۱۴۰۴). بررسی اثر عوامل اقلیمی و زمینی جهت تعیین مناطق مستعد فرسایش بادی در حوزه‌های آبخیز درجه‌دو ایران (سفیدرود - دریاچه نمک و درانجیر - ساغند). *نشریه مرتع و آبخیزداری*، ۷۸ (۱)، ۴۸-۲۹.

DOI: <http://doi.org/2024.375892.1761>



© نویسندگان.

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران.

۱. مقدمه

خاک یکی از عوامل اصلی و ارکان مهم در توسعه پایدار و تولید محسوب می‌شود (موسوی و همکاران، ۲۰۲۰). از نیمه دوم قرن نوزدهم عامل فرسایش خاک به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مشکلات گسترده محیط‌زیستی در اقلیم مختلف ایجاد شده است که فعالیت‌های انسانی در آن نیز فشار زیادی به اکوسیستم‌ها وارد می‌نماید (بکر^۱ و همکاران، ۲۰۰۷). در مقیاس جهانی اهمیت و خطر فرسایش بادی کمتر از فرسایش آبی است ولی گاهی ابعاد و عظمت آن از فرسایش آبی بیشتر است (رفاهی، ۲۰۰۹) به‌طوری که دینامیک باد موجب حمل ذرات خاک یا رسوب گردیده است که بر اساس شدت فرسایشی یا رسوب‌گذاری، منجر به ایجاد و تکامل اشکال مختلف ناهمواری‌های بیابانی و ایجاد پدیده گردوغبار شده است (مشهدی و احمدی، ۲۰۱۱). بنابراین روش‌های متعدد سیاست، مدیریت اکوسیستم، اقتصاد و ظرفیت‌سازی جهت شناسایی مناطق مستعد به فرسایش بادی نخستین گام‌های مدیریتی و کنترل این پدیده می‌باشند.

فرسایش بادی یک فرایند ژئومورفولوژیکی پیچیده‌ای است که عموماً تحت تأثیر عوامل مختلف قرار دارد، لذا مدل کردن تمام عوامل مؤثر جهت ارزیابی این پدیده در سطح منطقه‌ای و بزرگ‌تر، بسیار دشوار می‌باشد (فونک و روتر^۲، ۲۰۰۶). بنابراین باید مدلی با داده‌های در دسترس و قابل‌اندازه‌گیری در این سطح و مقیاس جهت حفظ عوامل کلیدی مؤثر بر فرسایش بادی انجام گیرد (بورلی و همکاران^۳، ۲۰۱۶). نحوه جمع‌آوری داده‌های هر یک از این عوامل در مقیاس‌های منطقه‌ای و وسیع به‌صورت سنتی و با استفاده از مطالعات میدانی به دلیل پوشش زمانی و مکانی محدود، نمی‌تواند مفید باشد (حجتی و همکاران، ۲۰۲۳). لذا برای حصول نتیجه مناسب می‌توان با استفاده از سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی مدل‌سازی عوامل مؤثر در فرسایش بادی را انجام داد. یکی از مدل‌های منطقه‌ای که می‌توان در مقیاس بزرگ از آن استفاده کرد، شاخص حساسیت زمین در برابر فرسایش بادی (ILSWE^۴) می‌باشد که توسط مرکز داده‌های خاک اروپا (ESDAC^۵) انجام گردیده است.

در سال‌های اخیر مطالعات متعددی با استفاده از این مدل جهت تعیین مناطق حساس به فرسایش بادی و کانون‌های گردوغبار انجام شده است. بورلی^۶ و همکاران (۲۰۱۵) جهت ارزیابی مناطق مستعد فرسایش بادی در ۳۶ کشور اروپایی با استفاده از روش مذکور مشخص نمود که نواحی حساس به فرسایش بادی در مناطق متعددی در سراسر دریای مدیترانه در حال گسترش می‌باشد. سچمیدت^۷ و همکاران (۲۰۱۷) در غرب ساکسونی، آلمان بر اساس مدل ILSWE نشان داد که شدت فرسایش بادی منطقه در کلاس بسیار خفیف، متوسط و زیاد به ترتیب ۱/۰، ۲۵/۲، ۴۱/۵ و ۳۲/۳ درصد قرار دارد. بومگرتال^۸ و همکاران (۲۰۱۹) در بخش‌های شمالی صربستان با استفاده از مدل‌سازی نقاط از دست‌رفته خاک توسط فرسایش بادی تعیین نمودند که حدود ۶۰/۴۱ درصد از منطقه مورد مطالعه در معرض خطر بسیار شدید فرسایش بادی قرار دارد که کاهش پوشش گیاهی در اراضی کشاورزی در زمان آیش از مهم‌ترین عوامل فرسایش در این منطقه بوده است. فنتا^۹ و همکاران (۲۰۲۰) در ارزیابی حساسیت اراضی به فرسایش آبی و بادی در شرق آفریقا به این نتیجه رسیدند نتایج این مدل با فرکانس طوفان‌های گردوغبار و مناطق مستعد فرسایش بادی مطابقت دارد و دقت کلی این شاخص حدود ۷۰ درصد مشخص کردند. حجتی و همکاران (۲۰۲۲) در ارزیابی حساسیت اراضی جهت تعیین مناطق مستعد تولید گردوغبار در استان البرز به این نتیجه رسیدند حدود ۷/۸ درصد از منطقه در کلاس حساسیت خیلی زیاد به فرسایش بادی قرار دارد. این مناطق که عموماً اراضی بایر بخش‌های جنوبی استان بوده است به‌عنوان کانون‌های گردوغبار منطقه شناسایی گردید. جبال‌بارزی و همکاران (۲۰۲۳) در حوزه تالاب

1 Bakker

2 Funk & Reuter

3 Borrelli

4 Index of Land Susceptibility to Wind Erosion

5 European Soil Data Centre

6 Borrelli

7 Schmidt

8 Baumgertel

9 Fenta

جازموریان جهت تعیین مناطق تولید گردوغبار به این نتیجه رسیدند که بخش‌های جنوبی، غربی و شرقی به دلیل وجود اراضی بایر، شوره‌زار و شن‌های روان مناطق مستعد تولید گردوغبار و فرسایش بادی می‌باشند و همچنین مشخص نمودند که عامل پوشش گیاهی در عدم تولید گردوغبار در منطقه از اهمیت بالایی برخوردار است. کستل^۱ و همکاران (۲۰۲۳) در نتایج تنوع مکانی و زمانی خطر بالقوه فرسایش بادی در آفریقای جنوبی، طی دوره زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۹ نشان دادند که حدود ۸/۳ درصد از منطقه مورد مطالعه در معرض خطر فرسایش بادی متوسط تا بالا قرار دارند و عمدتاً مناطق بیابانی و اراضی خشک غرب کشور بیشترین حساسیت به فرسایش بادی را داشته است. چوبین و همکاران (۲۰۲۳) منابع بالقوه گردوغبار شور را با استفاده از تصاویر MODIS و مطالعات میدانی شناسایی نمودند و سپس با استفاده از مدل جنگل تصادفی زیر فضای وزنی (WSRF) در مقایسه با سه مدل معیار - مدل خطی عمومی (GLM)، درخت رگرسیون تقویت‌شده (BRT) و ماشین بردار پشتیبان (SVM) به پیش‌بینی حساسیت زمین به انتشار گردوغبار و تعیین اهمیت عوامل گردوغبار پرداختند. نتایج نشان داد که فراوانی بیشتر رویدادهای گردوغبار نمکی در حاشیه دریاچه ارومیه (عمدتاً در بخش‌های شرقی و جنوبی) بوده است. همچنین با توجه به نقشه حساسیت اراضی به انتشار گردوغبار تولیدشده با مدل WSRF، به ترتیب حدود ۴/۵، ۲/۸، ۱/۸، ۰/۸ و ۰/۲ درصد از اراضی شور، مرتع، کشاورزی، دیم و بایر به ترتیب دارای حساسیت زیاد و بسیار زیاد به انتشار گردوغبار بوده است. با توجه به مطالب فوق و اهمیت مدل منطقه‌ای ILSWE در شناسایی مناطق مستعد فرسایش بادی و کانون‌های گردوغبار در جهان و ایران، از اهداف اصلی این تحقیق بررسی مدل مذکور در حوزه‌های مختلف درجه‌دو ایران که هرکدام ویژگی‌های متفاوتی از نظر عوامل فیزیکی به‌ویژه شرایط اقلیمی دارند، بررسی گردید. در این تحقیق عوامل محیطی مؤثر در این مدل از طریق الگوریتم منطق فازی بررسی و در نهایت کلاس‌بندی مناطق حساس به فرسایش بادی در حوزه‌های مورد مطالعه مشخص گردید. نتایج این تحقیق می‌تواند در تعیین حدود مناطق حساس به فرسایش بادی جهت انجام عملیات میدانی و تصمیم‌گیری در سطح منطقه‌ای همراه با تدوین و اجرای برنامه‌هایی باهدف کاهش اثرات فرسایش بادی مورد استفاده قرار گیرد.

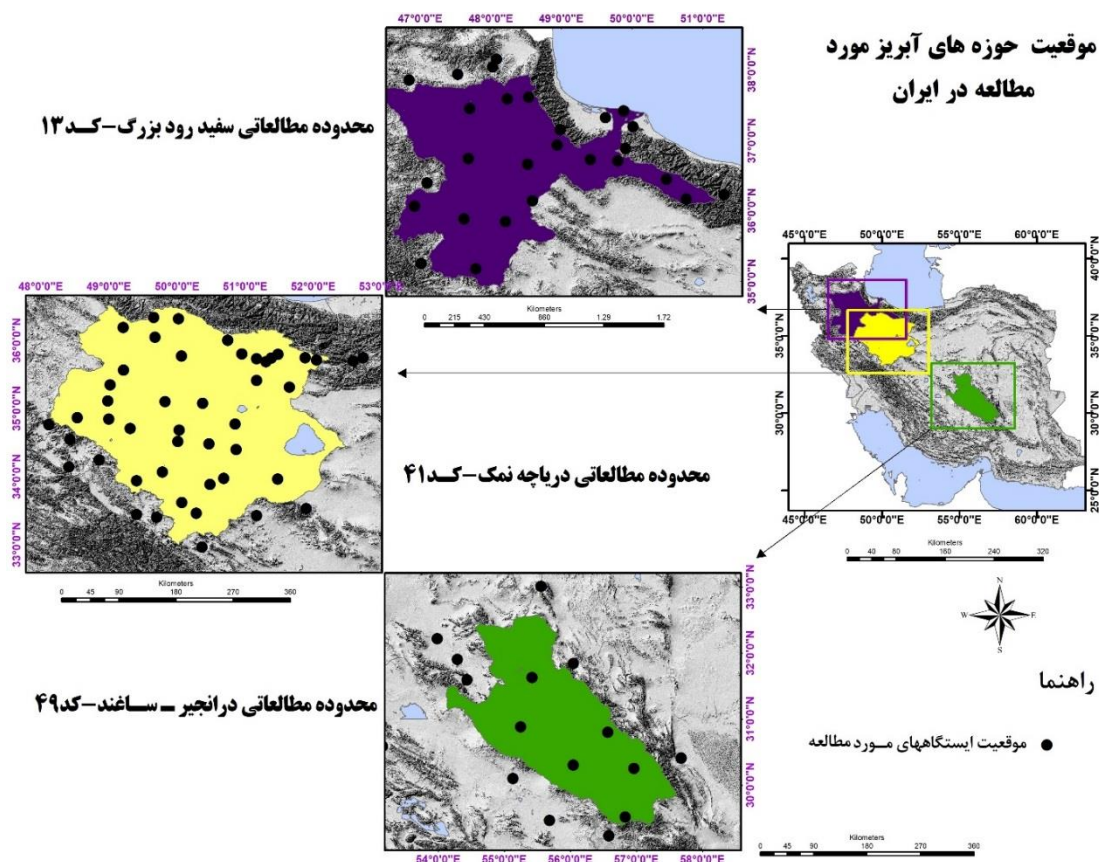
۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

جهت بررسی مدل فرسایش بادی سه حوزه آبخیز درجه‌دو ایران که هرکدام دارای ویژگی‌های فیزیکی متفاوت می‌باشند، انتخاب گردیده است. مشخصات جغرافیایی حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین موقعیت جغرافیایی هر یک از آن‌ها نیز در شکل ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی حوزه‌های مورد مطالعه

نام حوزه اصلی	نام محدوده مطالعاتی	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	نوع اقلیم	مساحت (هکتار)
دریای مازندران	حوزه سفیدرود کد ۱۳	۵۱° ۱۱' ۰۳" تا ۴۶° ۲۶' ۲۷"	۳۷° ۵۲' ۱۷" تا ۳۴° ۵۳' ۳۵"	خشک و نیمه مرطوب	۵۹۲۷۰۷۷
فلات مرکزی	حوزه دریاچه نمک کد ۴۱	۵۲° ۲۹' ۳۰" تا ۴۸° ۰۷' ۳۵"	۳۲° ۵۷' ۱۵" تا ۲۶° ۳۱' ۲۵"	خشک و نیمه‌خشک	۹۲۷۴۹۳۹
	حوزه درانجیر- ساغند کد ۴۹	۵۷° ۳۶' ۴۵" تا ۵۴° ۰۶' ۳۸"	۳۲° ۳۴' ۴۵" تا ۲۹° ۲۱' ۲۰"	فراخشک	۵۰۶۷۵۷۲



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوزه های آبریز مورد مطالعه

۲-۲. روش تحقیق

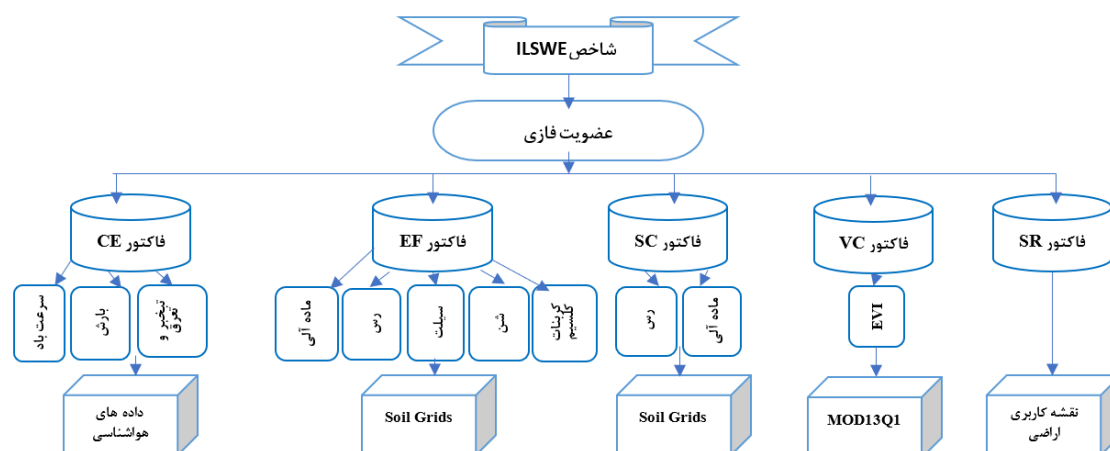
در این تحقیق با استفاده از شاخص ILSWE جهت تعیین مناطق حساس به فرسایش بادی باهدف کاهش پیچیدگی های مدل سازی فرسایش بادی در مقیاس منطقه ای ارائه شده است (بورلی و همکاران، ۲۰۱۶). مفهوم شاخص مذکور این است که با استفاده از پنج عامل فرساینده اقلیم (CE^1)، فرسایش پذیری خاک (SE^2)، سله خاک (SC^3)، پوشش گیاهی (VC^4) و زبری سطح (SR^5) بتوان حساسیت اراضی به فرسایش بادی را تعیین نمود. روش کلی مراحل انجام تحقیق در شکل ۲ ارائه شده است.

۲-۲-۱. عامل فرساینده اقلیم (CE)

برای محاسبه عامل فرسایش دهندگی اقلیم از رابطه ۱ که توسط فائو^۶ در سال ۱۹۷۹ ارائه داده است، استفاده گردید.

$$CE = \frac{1}{100} \times \sum_{i=1}^{i=12} u_i^3 \times \left(\frac{PET_i - P_i}{PET_i} \right) \times d_i \quad \text{رابطه (۱)}$$

- 1 Climatic erosivity
- 2 Soil erodibility
- 3 Soil crust
- 4 Vegetation cover
- 5 Surface roughness
- 6 FAO



شکل ۲. روش کلی مراحل انجام تحقیق

در این رابطه u_i سرعت متوسط باد ماهانه (متر بر ثانیه) در ارتفاع دو متری ماه i ام، PET_i تبخیر و تعرق پتانسیل ماه i ام و P مقدار بارش ماه i ام و d تعداد روزهای ماه i ام می‌باشد. برای محاسبه این عامل ابتدا داده‌های ماهانه میانگین سرعت باد، دما و بارش ایستگاه‌های سینوپتیک موجود در حوزه‌های مورد مطالعه و نواحی اطراف آن (تعداد ۸۷ ایستگاه سینوپتیک) در دوره زمانی ۲۰ ساله (۲۰۰۲-۲۰۲۱) جمع‌آوری گردید. سپس در مرحله بعد با استفاده از روش تورنت وایت و داده‌های دما، تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه هر ایستگاه محاسبه شد (رابطه ۲).

$$ETP = 16.2 \left(\frac{10 T_i}{I} \right)^\alpha \quad \text{رابطه ۲}$$

در این رابطه، T_i دمای متوسط ماهانه، α ضریبی است که بر مبنای T_i به دست می‌آید و I شماره ماه می‌باشد. در مرحله‌ی بعد با توجه به عرض جغرافیایی ایستگاه‌ها، متوسط ساعات آفتابی محاسبه و سپس با ضرب آن در نسبت تعداد روز هر ماه در تعداد کل سال، ضریب اصلاحی به دست آمد و با استفاده از آن، $ETPC$ (اصلاح‌شده) محاسبه شد. در نهایت با استفاده از رابطه ۱ و با بهره‌گیری از روش میانبنایی وزن دهی معکوس فاصله (IDW^1) در نرم‌افزار GIS عامل CE محاسبه گردید.

۲-۲-۲. عامل فرسایش‌پذیری خاک (EF)

این عامل با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شده است. در این رابطه رگرسیون چندگانه بر اساس بافت خاک و خصوصیات شیمیایی ارائه شده است (فرایر^۲ و همکاران، ۱۹۹۴)

$$EF = \frac{29.09 + (0.31 \times SA) + (0.17 \times SI) + (0.33 \times \frac{SA}{CL}) - (2.59 \times OM) - (0.95 \times CaCO_3)}{100} \quad \text{رابطه ۳}$$

در این رابطه، SA درصد شن، SI درصد سیلت، CL درصد رس، OM درصد ماده آلی و $CaCO_3$ درصد کربنات کلسیم خاک است. برای محاسبه درصد شن، سیلت، رس، درصد کربنات کلسیم خاک و ماده آلی خاک سطحی (۵-۰ سانتی‌متری) حوزه‌های مورد مطالعه از

1 Inverse Distance Weighting

2. Fryrear

داده‌های پایگاه ISRIC SoilGrids با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر (هنگل^۱ و همکاران، ۲۰۱۷) استفاده شد. درصد شن، سیلت و رس در این پایگاه داده وجود دارد، اما درصد کربنات کلسیم خاک و ماده آلی خاک به ترتیب با استفاده از pH و کربن آلی خاک پایگاه ISRIC SoilGrids با استفاده از روابط ۴ و ۵ محاسبه شد.

$$CaCO_3 = \left(\frac{pH - 2.378}{4.576} \right)^{11.0023} \quad \text{رابطه ۴}$$

این رابطه بر مبنای تحقیقات (لیو^۲ و همکاران، ۲۰۰۲) تهیه شده که در آن مقدار کربنات کلسیم بر حسب درصد به دست آمده است.

$$OM = OC \times 1.724 \quad \text{رابطه ۵}$$

مقدار OC و OM به ترتیب درصد کربن آلی خاک و درصد ماده آلی خاک است (میرزا شاهی، ۲۰۱۶). در نهایت با استفاده از رابطه ۳ عامل فرسایش‌پذیری خاک (EF) محاسبه شد.

۲-۲-۳. عامل سله خاک (SC)

این عامل برای تخمین تأثیر سله خاک بر فرسایش‌پذیری خاک استفاده شده است (بورلی و همکاران، ۲۰۱۴) که نقش مهمی در حفاظت از خاک ایفا می‌کند (ژانگ^۳ و همکاران، ۲۰۰۴). در مناطق خشک و نیمه‌خشک که فرسایش بادی غالب‌تر از فرسایش آبی است حساسیت این لایه نسبت به لایه‌های خاک زیرین کمتر است (فرایر و همکاران، ۲۰۰۰). در این پژوهش، این پارامتر با استفاده از رابطه ۶ محاسبه گردید (فرایر و همکاران، ۱۹۹۸).

$$SC = \frac{1}{1 + (0.006 \times CL^2) + (0.21 \times OM^2)} \quad \text{رابطه ۶}$$

در این رابطه CL درصد رس و OM درصد ماده آلی خاک است که از داده‌های پایگاه ISRIC Soil Grids با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر تهیه گردید.

۲-۲-۴. عامل پوشش گیاهی (VC)

در پژوهش حاضر جهت بررسی این عامل از مؤلفه کسری پوشش گیاهی^۴ (F_{cover}) که از شاخص پوشش گیاهی EVI از محصول MOD13Q1 سنجنده MODIS استفاده شده است. ابتدا نقشه ماکزیمم سالانه شاخص EVI با استفاده از داده‌های سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۱ برای حوزه‌های مورد مطالعه محاسبه شد. سپس با استفاده از رابطه ۷ میزان F_{cover} محاسبه شد.

$$F_{cover} = \frac{EVI - EVI_S}{EVI_V - EVI_S} \quad \text{رابطه ۷}$$

در این رابطه EVI نقشه ماکزیمم سالانه به دست آمده از مرحله قبل، EVI_S مقدار شاخص در خاک بایر و EVI_V مقدار شاخص در پوشش گیاهی متراکم، است. بعد از محاسبه F_{cover} عامل VC از معکوس کردن F_{cover} به دست آمد. دلیل، این است که هر جا پوشش گیاهی بیشتر باشد، حساسیت به فرسایش بادی کمتر است.

1 Hengl

2 Liu

3. Zhang

4 Fraction of vegetation cover

۲-۲-۵. عامل زبری سطح (SR)

زبری سطح زمین باعث تقویت اصطکاک آن می‌شود و در نتیجه انرژی باد را نزدیک به سطح زمین کاهش می‌دهد (وور^۱، ۲۰۱۳). برای تعیین عامل زبری سطح در مواردی که اطلاعات زبری سطح زمین در دسترس نباشد می‌توان از کلاس‌های کاربری اراضی حوزه‌های مورد مطالعه برای تخمین طول زبری سطح که بسیار مفید است، استفاده نمود (هنسن^۲، ۱۹۹۳). در این تحقیق جهت تعیین ضریب کاربری اراضی مختلف حوزه‌های مورد مطالعه از جدول ۲ استفاده شده است.

جدول ۲. میانگین طول زبری در کلاس‌های کاربری و پوشش اراضی (فلور و همکاران^۳، ۲۰۱۸ و تالوفت^۴، ۲۰۰۲)

ردیف	کاربری و پوشش اراضی	Z ₀
۱	اراضی بایر، تپه‌های ماسه‌ای، تالاب‌های فصلی، اراضی شور، هور و تالاب‌ها	۰/۰۱
۲	مراتع و چمنزار طبیعی فقیر، باتلاق‌های نمکی، عرصه آبخوان	۰/۰۲
۳	معدن، زمین‌های زراعی دیم، تالاب‌های ساحلی، اراضی آیش، نيزار	۰/۰۵
۴	مناطق شهری سبز، تاکستان‌ها، اراضی زراعی آبی، مراتع متوسط تا خوب، علفزارهای توأم با درخت، بیشه‌زار و بوته‌زار	۰/۲
۵	باغات، درختچه‌های جنگلی، مراتع با تاج پوشش خیلی خوب	۰/۵
۶	جنگل با تاج پوشش کم، جنگل دست کاشت	۰/۴
۷	رخنمون سنگی	۰/۶
۸	استخر پرورش ماهی، دریاچه نمک، دریاچه و مخزن سد و آب	۰
۹	مناطق شهری ناپیوسته، شهرک صنعتی یا تجاری، جنگل‌های مخروطی (سوزنی‌برگ‌ها)	۱
۱۰	جنگل‌های پهن‌برگ و جنگل‌های مخلوط	۱/۵
۱۱	مناطق شهری یکپارچه	۲

جهت تهیه نقشه کاربری اراضی و پوشش اراضی حوزه‌های مورد مطالعه از نقشه کاربری اراضی ایران که توسط سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور در سال ۱۳۹۹ تهیه شده است، استخراج و با استفاده از نرم‌افزار Google Earth Pro بازبینی و مورد اصلاح قرار گرفت.

۲-۲-۶. محاسبه شاخص ILSWE

بعد از محاسبه پنج عامل مربوط به شاخص ILSWE ابتدا تابع عضویت فازی عامل‌ها محاسبه شد. با این کار عامل‌ها بین صفر (حداقل حساسیت) و یک (حداکثر حساسیت) قرار گرفتند. مطابق با تحقیق (فنتا^۵ و همکاران، ۲۰۲۰) برای عامل‌های فرسایش‌پذیری خاک (CE)، فرسایش‌پذیری خاک (SE) و سله خاک (SC) روش خطی، برای عامل پوشش گیاهی (VC) روش نمایی و برای عامل زبری سطح (SR) روش لگاریتمی برای محاسبه تابع عضویت فازی استفاده شد. سپس با استفاده از رابطه ۸ شاخص ILSWE محاسبه شد.

$$ILSWE = CE \times EF \times SC \times VC \times SR \quad (\text{رابطه ۸})$$

در نهایت در نرم‌افزار Arc-GIS با استفاده از روش شکست طبیعی، حوزه‌های مورد مطالعه از نظر حساسیت به فرسایش بادی به ۵ کلاس حساسیت خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی گردید.

برای ارزیابی دقت شاخص ILSWE در تعیین کانون‌های فرسایش بادی از نقشه تهیه شده کانون‌های بحرانی فرسایش بادی

1 Wever

2 Hansen

3 Floors

4 TA LUFT

5 Fenta

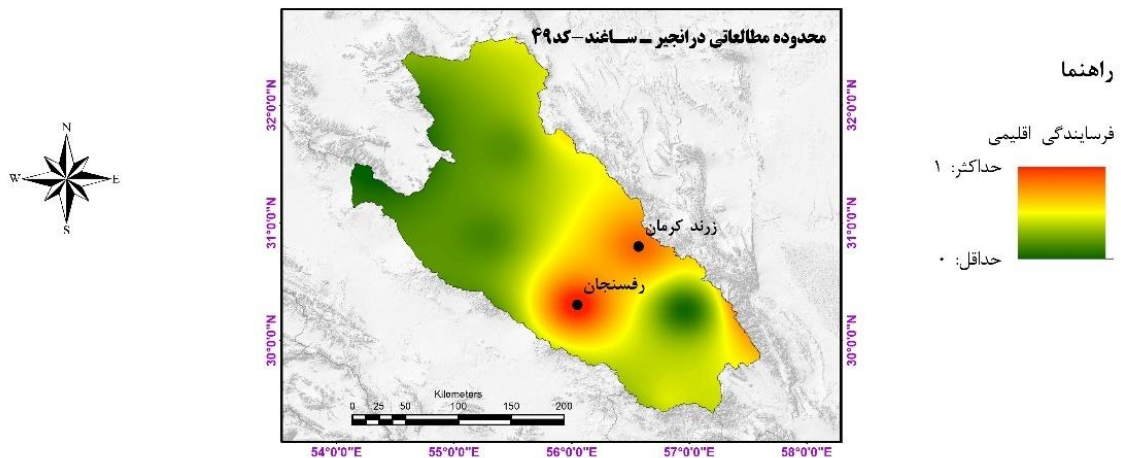
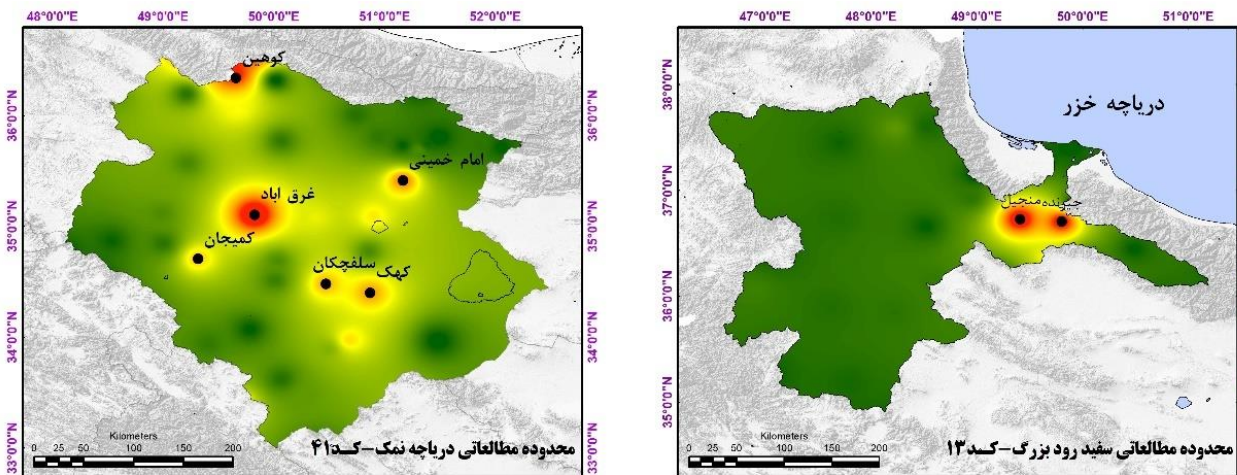
مهندسين مشاور آبخوان، ۲۰۱۹) استفاده گرديد. ابتدا مناطقی که در اولویت زیاد و خیلی زیاد به فرسایش بادی بوده است را به عنوان واقعیت زمینی کانون‌های بحرانی فرسایش بادی در نظر گرفته شد. از طرف دیگر دو کلاس زیاد و خیلی زیاد در نقشه طبقه‌بندی شاخص ILSWE نیز به عنوان کانون‌های فرسایش بادی حاصل از این شاخص در نظر گرفته شد. برای محاسبه دقت نقشه به دست آمده، ابتدا تعداد ۱۰۰۰۰ نقطه به صورت تصادفی ایجاد گردید. سپس ماتریس خطا تهیه و با استفاده از رابطه ۹ دقت کلی محاسبه شد.

$$OA = \frac{\sum P_{ij}}{N} \quad \text{رابطه ۹}$$

در رابطه بالا OA دقت کلی، N تعداد کل نمونه‌ها، $\sum P_{ij}$ مجموع قطر اصلی ماتریس خطا می‌باشد.

۳. یافته‌های پژوهش

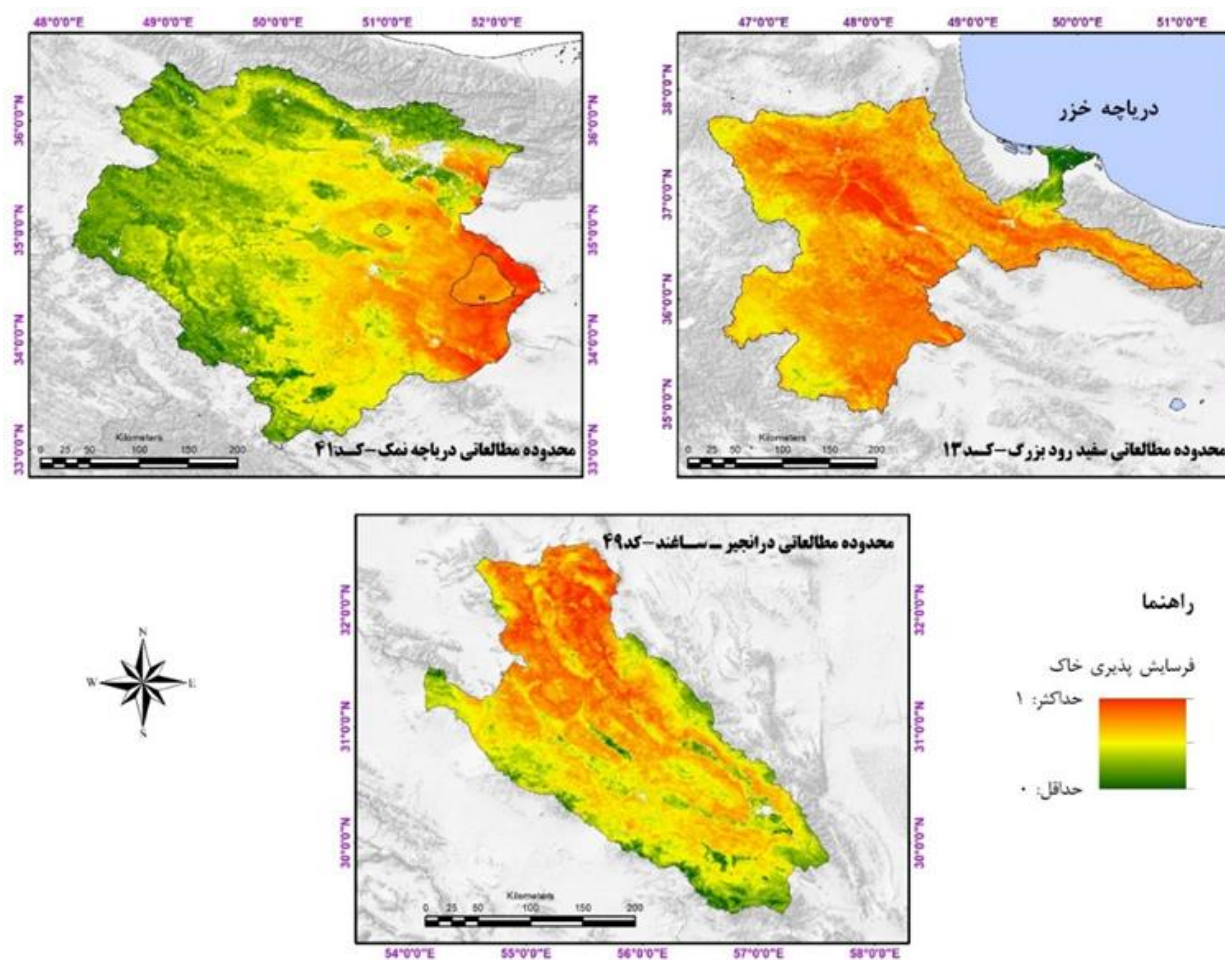
بعد از تعیین ایستگاه‌های سینوپتیک داخل و اطراف حوزه‌های مورد مطالعه، عامل فرسایش دهندگی اقلیمی (CE) با استفاده از الگوریتم عضویت فازی تهیه گردید (شکل ۳).



شکل ۳. نقشه عضویت فازی فاکتور فرسایش دهندگی اقلیم (CE)

در این شکل مشخص گردید که حوزه آبخیز سفیدرود، در بخش‌های شرقی (ایستگاه‌های سینوپتیک جیرنده و منجیل)، در حوزه آبخیز دریاچه نمک در بخش‌های مرکزی و شمالی (ایستگاه‌های سینوپتیک امام خمینی، غرق‌آباد، کوهین، کهک و سلفچگان) و در حوزه آبخیز درانجیر - ساغند در مناطق مرکزی (ایستگاه‌های سینوپتیک رفسنجان و زرند کرمان) بیشترین پتانسیل ایجاد فرسایش بادی توسط عامل اقلیمی را نسبت به سایر نواحی دارند.

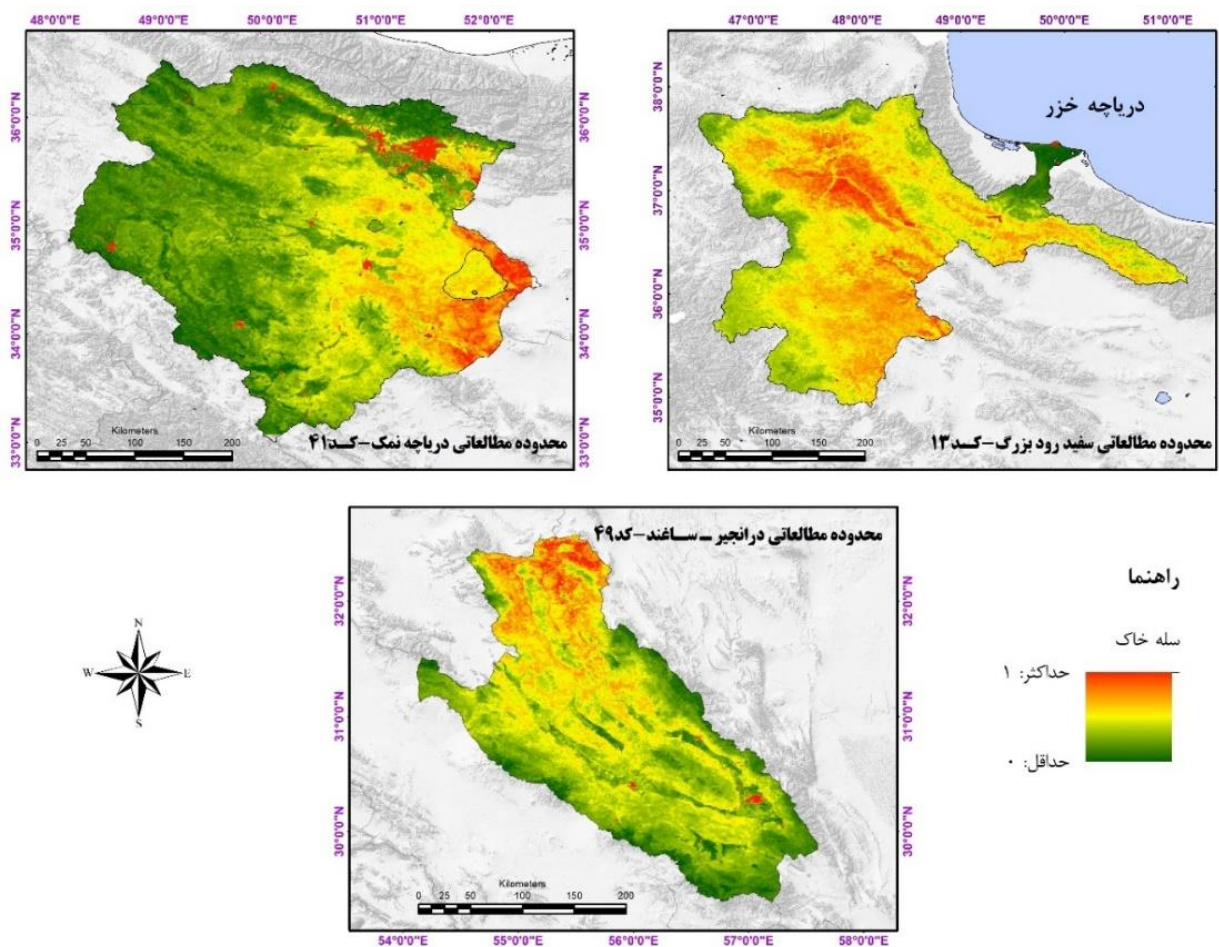
عامل فرسایش‌پذیری خاک (EF) در حوزه‌های مورد مطالعه در شکل ۴ نشان داد در مناطقی که پوشش گیاهی مناسب (جنگل، مراتع مناسب و اراضی کشاورزی) و مناطق مرتفع وجود دارند، میزان فرسایش‌پذیری خاک کاهش پیدا می‌کند و در مناطقی که سطح خاک عاری از پوشش گیاهی باشد و در مناطقی که اراضی شورزار، نمکزار و تپه‌های ماسه‌ای وسعت دارند، روند فرسایش‌پذیری خاک افزایش می‌یابد.



شکل ۴. نقشه عضویت فازی فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (EF)

عامل سله خاک (SC) که از طریق نقشه عضویت فازی در شکل ۵ نشان داد که در بخش‌های شمالی، غربی حوزه آبخیز دریاچه نمک و بخش‌های شرقی و جنوبی حوزه آبخیز درانجیر - ساغند و مناطق شمالی حوزه آبخیز سفیدرود، کمترین میزان سله خاک وجود دارد.

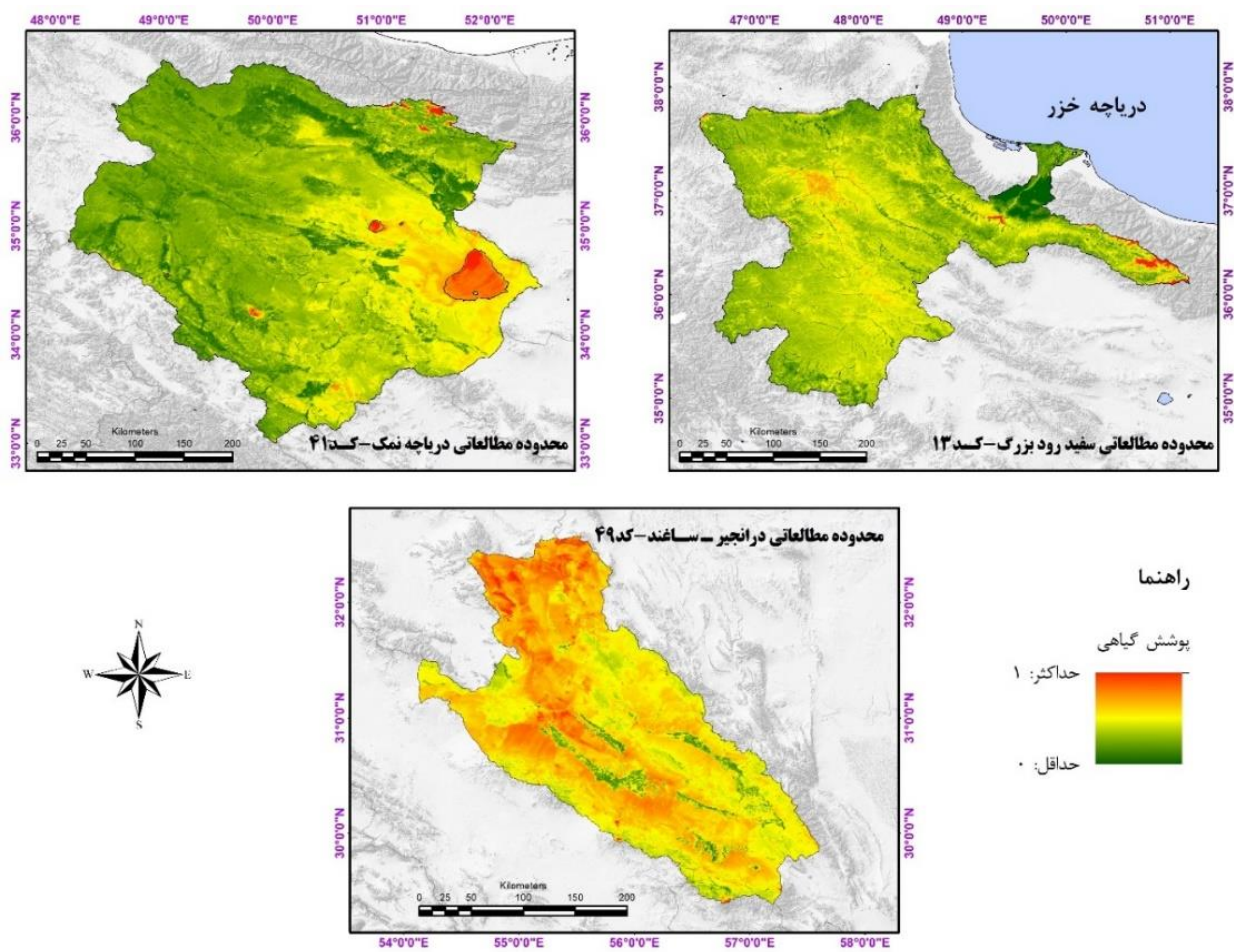
عامل پوشش گیاهی (VC) که در شکل ۶ مشخص شده، نشان داد نواحی که دارای پوشش گیاهی می‌باشد، احتمال ایجاد فرسایش بادی کاهش می‌یابد و سایر نواحی که میزان پوشش گیاهی کاهش پیدا می‌نماید، احتمال ایجاد فرسایش بادی افزایش دارد. این موضوع نشان‌دهنده اهمیت پوشش گیاهی در افزایش یا کاهش مناطق مستعد به فرسایش بادی می‌باشد. نقشه کاربری اراضی حوزه‌های مورد مطالعه جهت بررسی نقشه عضویت فازی فاکتور زبری سطح (SR) در شکل ۷ ارائه شده است.



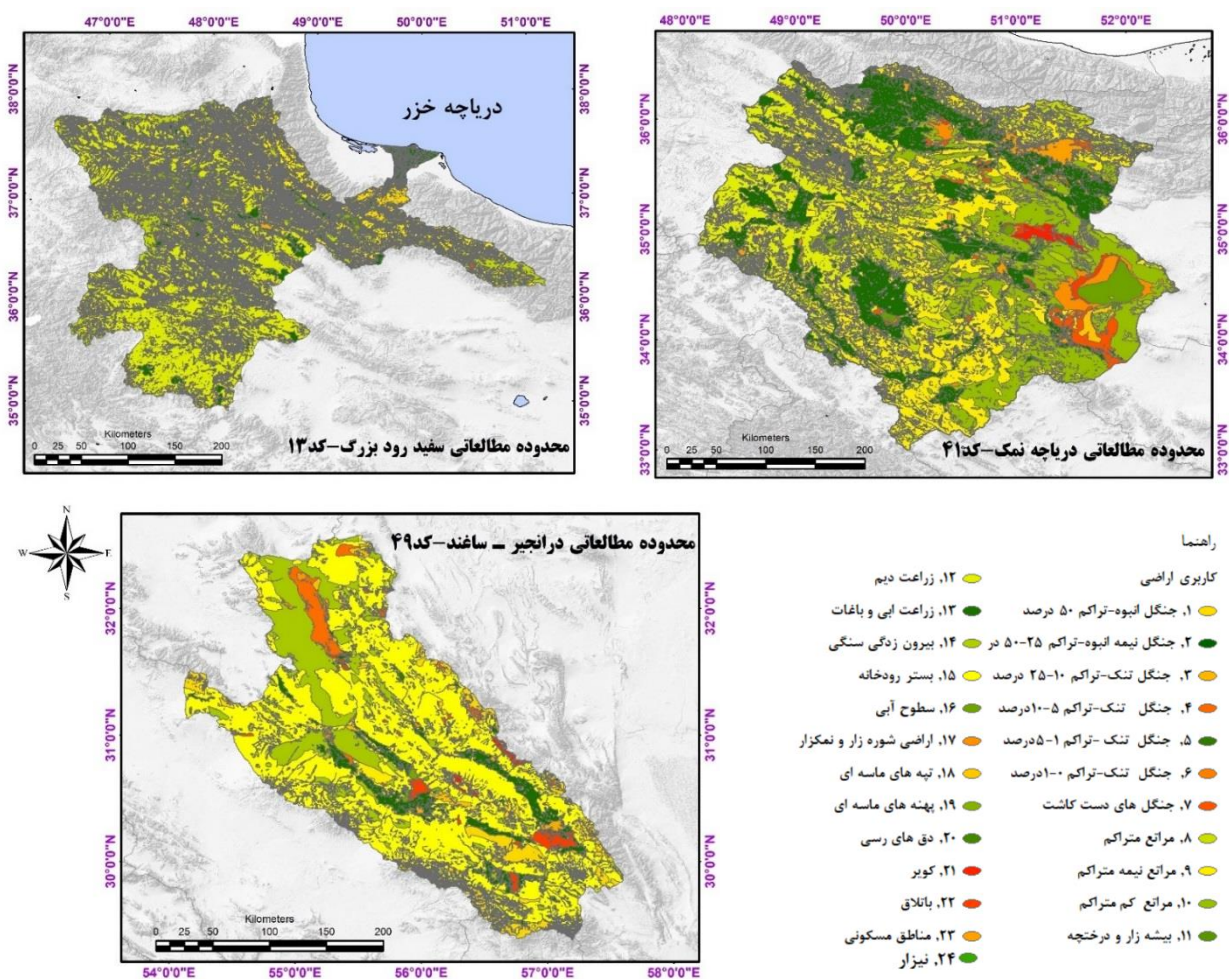
شکل ۵. نقشه عضویت فازی فاکتور سله خاک (SC)

پس از اعمال ضرایب در نقشه کاربری اراضی، نقشه فاکتور زبری سطح در شکل ۸ نشان داد، در بخش‌هایی که مراتع متراکم، پوشش جنگلی انبوه، اراضی کشاورزی و برون‌زدهای سنگی وجود دارد میزان زبری افزایش دارد و این مناطق کم‌ترین استعداد را در ایجاد فرسایش بادی دارند. بالعکس در اراضی بایر و نم‌زار و تپه‌های ماسه‌ای که خاک سطحی و سست دارند، میزان زبری کاهش و این مناطق مستعد ایجاد فرسایش بادی بوده است.

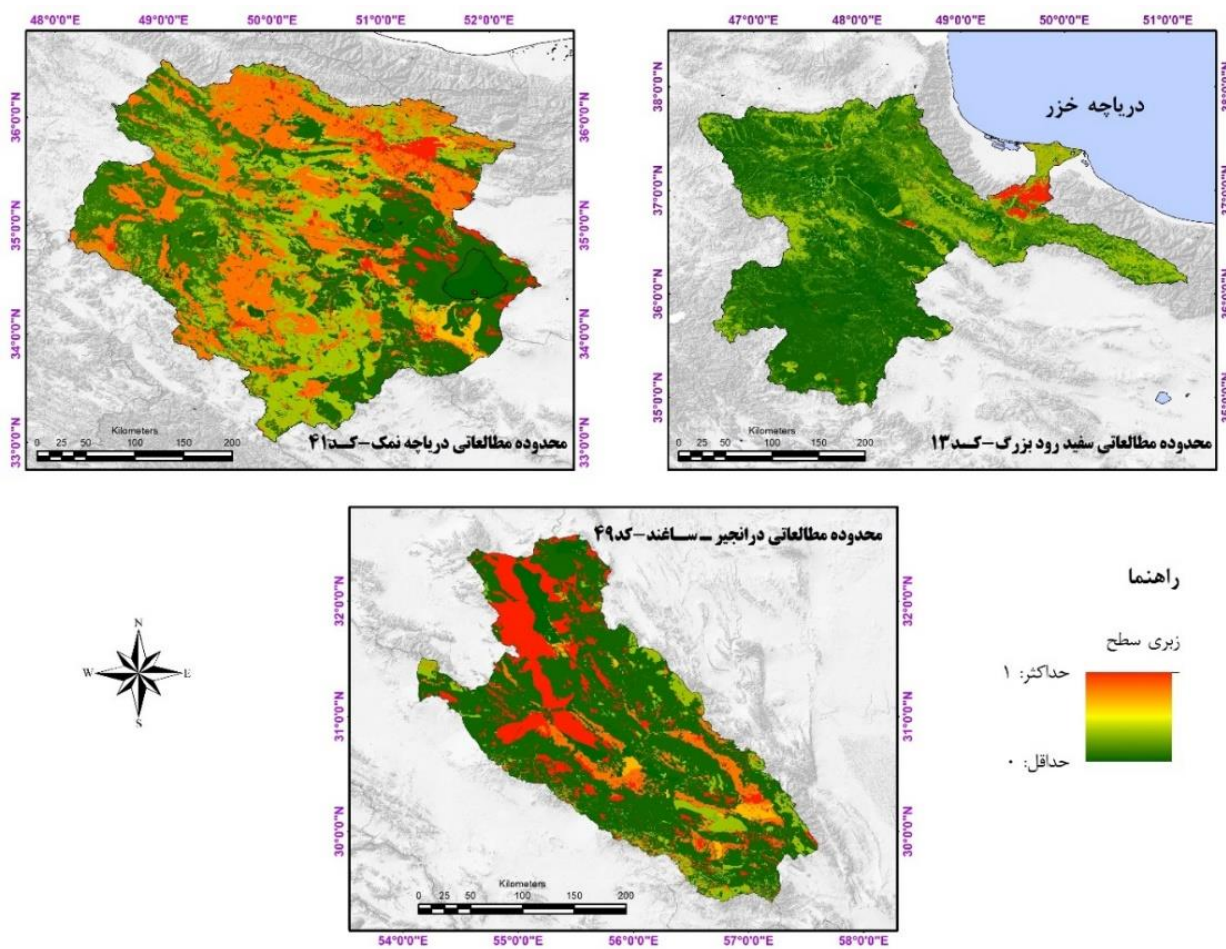
در نهایت با ادغام شاخص‌های مذکور، نقشه نهایی مدل ILSWE در هر یک از حوزه‌های مورد مطالعه تهیه شده است (شکل ۹). بر اساس نقشه مذکور، مشخص گردید مناطقی که در عامل فرساینده اقلیمی بیشترین تأثیر را در تعیین مناطق حساس به فرسایش بادی داشته‌اند، در طبقه کلاس بسیار شدید به فرسایش بادی قرار دارند.



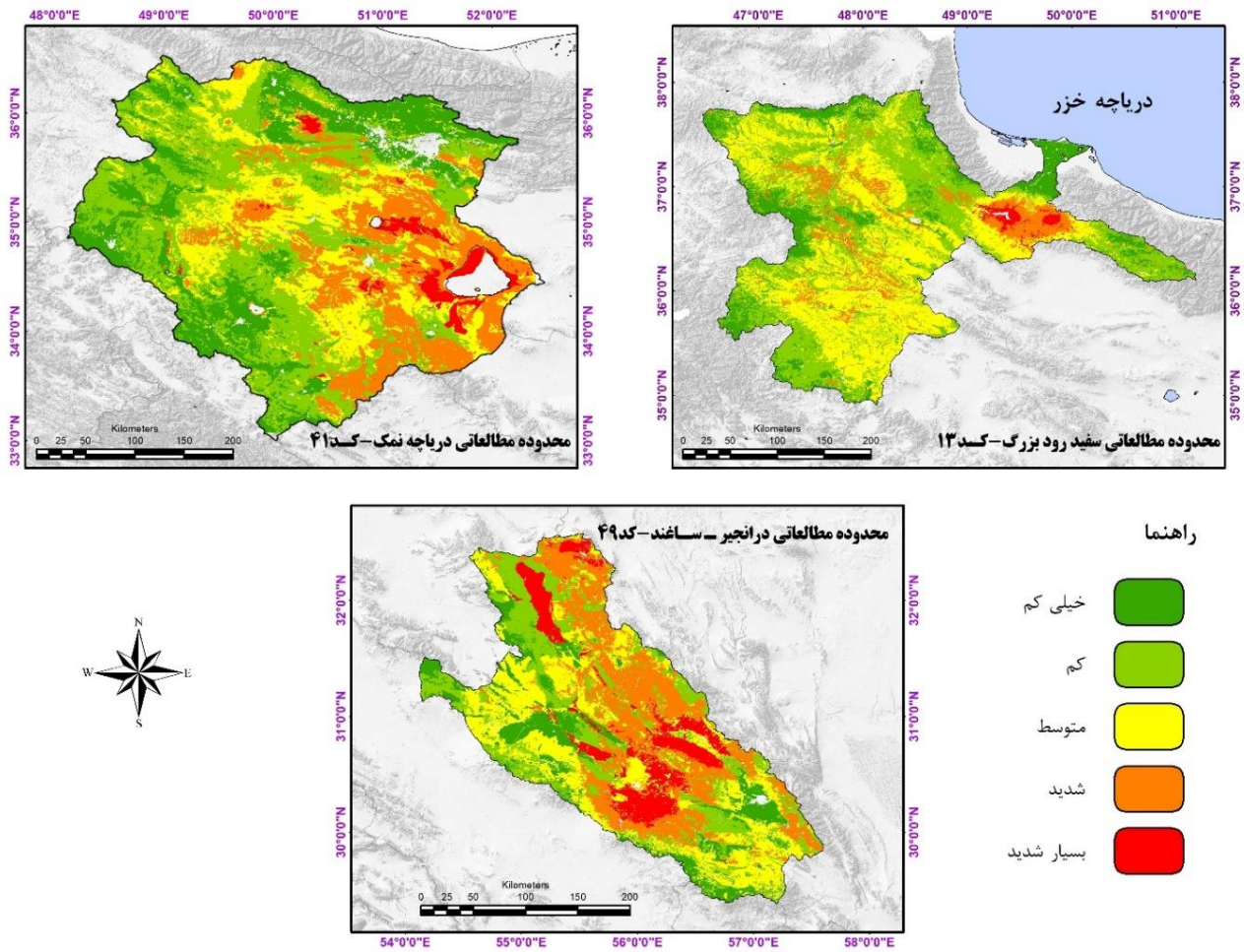
شکل ۶. نقشه عضویت فازی فاکتور پوشش گیاهی (VC)



شکل ۷. نقشه کاربری اراضی حوزه‌های مورد مطالعه



شکل ۸. نقشه عضویت فازی فاکتور زبری سطح (SR)



شکل ۹. نقشه شاخص ILSWE در حوزه‌های مورد مطالعه

مساحت و درصد هر یک از کلاس‌های حساس به فرسایش بادی در هر یک از حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه بر اساس مدل فوق در جدول ۳ ارائه شده است.

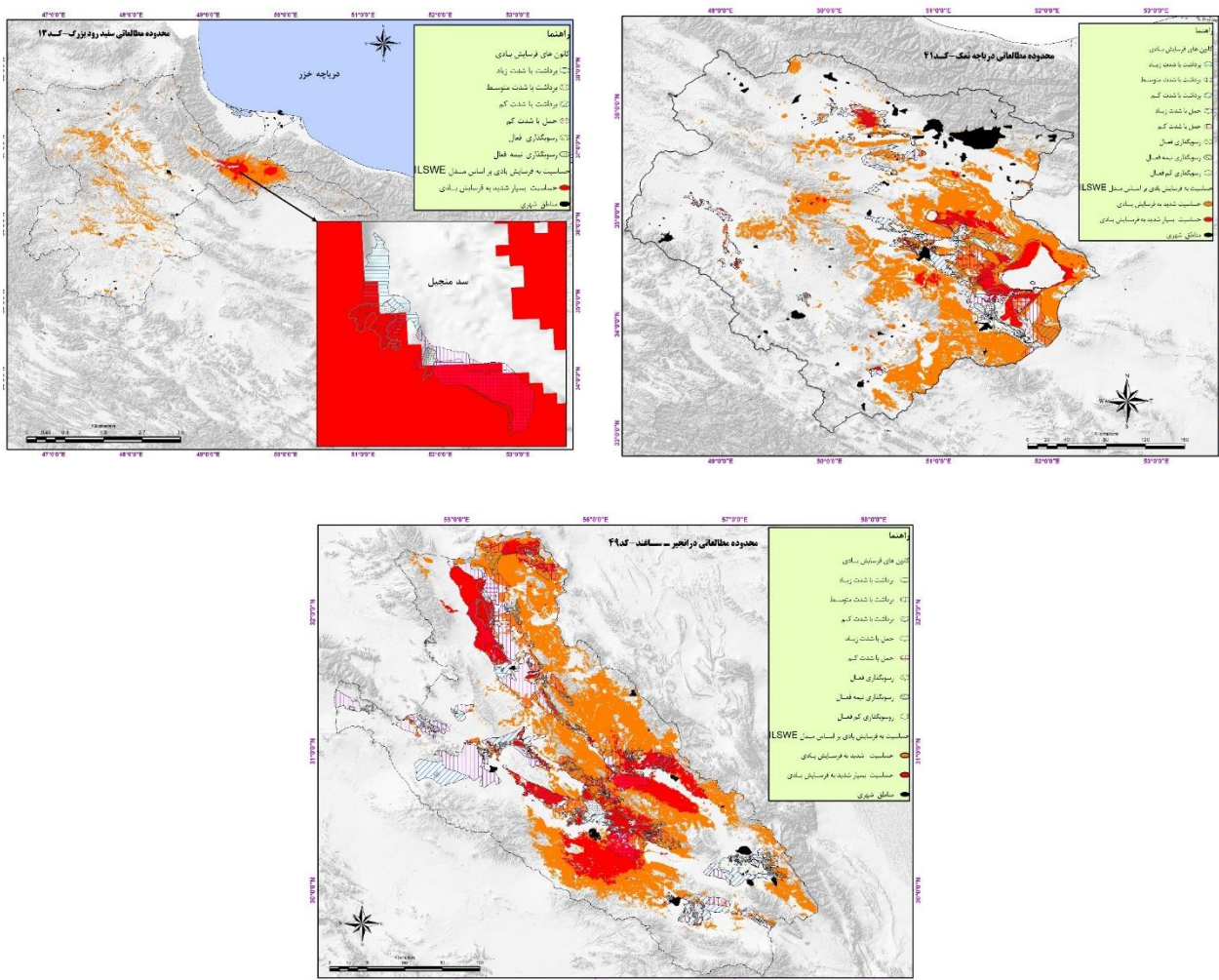
همچنین جهت دقت نقشه طبقه‌بندی شده شاخص ILSWE با استفاده از نقشه کانون‌های بحرانی فرسایش بادی مناطق مستعد به فرسایش بادی در هر یک از حوزه‌ها در شکل ۱۰ نشان داده شده است. در نهایت برای ارزیابی نقشه طبقه‌بندی شده شاخص ILSWE ماتریس خطا با استفاده از ۱۰۰۰۰ نمونه برای هر یک از حوزه‌های مورد مطالعه در جدول ۴ محاسبه گردید. با توجه به جدول مذکور دقت کلی نقشه طبقه‌بندی شده شاخص ILSWE در حوزه سفیدرود ۰/۸۹، حوزه دریاچه نمک ۰/۷۷ و حوزه درانجیر - ساغند ۰/۶۴ به دست آمده است.

جدول ۳. مساحت و درصد کلاس‌های حساس به فرسایش بادی بر اساس حوزه‌های مورد مطالعه

حوزه‌های مورد مطالعه	خیلی کم		کم		متوسط		زیاد		خیلی زیاد		کل حوزه مساحت
	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد	
حوزه سفیدرود بزرگ کد ۱۳	۸۶۳۳۶۱	۱۴/۶	۲۱۷۵۹۰۹	۳۶/۷	۲۲۳۷۰۷۴	۳۷/۷	۵۸۱۵۱۲	۹/۸	۶۹۲۱۹	۱/۲	۵۹۲۷۰۷۷
حوزه دریاچه نمک - کد ۴۱	۱۹۳۷۵۴۳	۲۰/۹	۳۱۸۲۴۶۷	۳۴/۳	۲۰۰۳۴۷۳	۲۱/۶	۱۸۶۱۷۲۵	۲۰/۱	۲۸۹۷۲۹	۳/۱	۹۲۷۴۹۳۹
حوزه درانجیر - کد ۴۹	۶۹۲۳۵۵	۱۳/۷	۱۱۳۵۶۷۱	۲۲/۴	۱۳۸۱۲۷۹۴	۲۷/۳	۱۲۹۵۴۷۵	۲۵/۶	۵۶۱۲۷۵	۱۱/۱	۵۰۶۱۵۷۲

جدول ۴. ماتریس خطا نقشه طبقه‌بندی شده شاخص ILSWE

مجموع	نقشه کانون‌های بحرانی		حوزه سفیدرود بزرگ	شاخص ILSWE
	کانون بودن	کانون نبودن		
۸۹۴۳	۱	۸۹۲۳	کانون نبودن	مجموع
۱۰۶۶	۲	۱۰۶۴	کانون بودن	
۱۰۰۰۰	۳	۹۹۹۷		
مجموع	نقشه کانون‌های بحرانی		حوزه دریاچه نمک	شاخص ILSWE
	کانون بودن	کانون نبودن		
۷۷۴۹	۴۴	۷۷۰۵	کانون نبودن	مجموع
۲۲۵۱	۴۷	۲۲۰۴	کانون بودن	
۱۰۰۰۰	۹۱	۹۹۰۹		
مجموع	نقشه کانون‌های بحرانی		حوزه درانجیر - ساغند	شاخص ILSWE
	کانون بودن	کانون نبودن		
۶۳۵۹	۲۵۱	۶۱۰۸	کانون نبودن	مجموع
۳۶۴۱	۳۱۹	۳۳۲۲	کانون بودن	
۱۰۰۰۰	۵۷۰	۹۴۳۰		



شکل ۱۰. نقشه کانون‌های بحرانی حوزه‌های مورد مطالعه

۴. بحث و نتیجه‌گیری

فرسایش بادی از جمله مهم‌ترین چالش‌های طبیعی در نواحی فراخشک، خشک و نیمه‌خشک در جهان است. درک الگوهای مکانی و زمانی در حساسیت زمین به فرسایش بادی برای طراحی استراتژی‌های مدیریت مؤثر برای کنترل تخریب زمین ضروری است. اولین و مهم‌ترین مرحله برای کنترل این پدیده، تعیین حساسیت اراضی به فرسایش بادی است. کشور ایران به علت درگیر بودن با پدیده فرسایش بادی نیاز به طراحی و توسعه مدل‌های ارزیابی فرسایش بادی مبتنی بر فناوری‌های GIS و سنجش‌ازدور دارد. در راستای این هدف، شاخصی از حساسیت زمین به فرسایش بادی (ILSWE) با ترکیب تغییرات مکانی و زمانی، تأثیرگذارترین عوامل فرسایش بادی (مانند فرسایش اقلیمی، فرسایش‌پذیری خاک، پوشش گیاهی و ناهمواری زمین) ایجاد شد. حساسیت هر عامل ورودی با توجه به تکنیک‌های منطق‌فازی رتبه‌بندی گردید. کار آبی شاخص ILSWE در تعیین مناطق حساس به فرسایش بادی در حوزه‌های مورد مطالعه که هرکدام در اقلیم متفاوتی قرار دارند، ارزیابی شد. در این تحقیق از داده‌های ۸۷ ایستگاه سینوپتیک که در داخل و اطراف حوزه‌های مورد مطالعه قرار داشتند، در طی دوره آماری ۲۰ ساله استفاده گردید. نتایج این پژوهش نشان داد در حوزه سفیدرود - کد ۱۳ که در اقلیم

خشک نیمه مرطوب قرار دارد، حدود ۱/۲ درصد از مساحت آن در نواحی رودبار و منجیل، مستعد مناطق حساس به فرسایش بادی بوده است. سرعت زیاد باد و وجود مراتع کم‌تراکم در این مناطق شرایط مساعد جهت برداشت رسوبات را فراهم نموده است. حوزه دریاچه نمک-کد ۴۱ که در اقلیم خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته است، حدود ۳/۱ درصد از مساحت آن مستعد فرسایش بسیار شدید بادی بوده است. وجود اراضی فاقد پوشش گیاهی (اراضی بایر)، شوره‌زار، تپه‌های ماسه‌ای، اراضی زراعت دیم و باغات در زمان آیش مناطق مستعد فرسایش بادی است. البته لازم به ذکر است که امروزه جهت جلوگیری از برداشت زیاد رسوبات بادی توسط باد در بخش‌هایی از حوزه اقدام به احداث جنگل‌های دست کاشت شده است. حوزه درانجیر-ساغند-کد ۴۹ در اقلیم فراخشک قرار گرفته است، علاوه بر سرعت زیاد باد، تبخیر و تعرق بسیار زیاد است و حدود ۱۱/۱ درصد از مساحت حوزه به‌ویژه در مناطق کویری، اراضی شوره‌زار و نمکزار و مراتع کم‌تراکم مهم‌ترین مناطق مستعد برداشت رسوبات بادی بوده است. به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که افزایش سرعت باد و تبخیر و تعرق، وسعت متفاوت اراضی بایر، شوره‌زار، تپه‌های ماسه‌ای، شن‌های روان، مراتع کم‌تراکم و اراضی کشاورزی دیم در حوضه‌های مورد مطالعه نقش مهمی در پیدایش فرسایش بادی و به‌تبع آن ایجاد گردوغبار دارند. به‌طور کلی نتایج این پژوهش با نتایج حجتی و همکاران (۲۰۲۳) که مناطق مستعد تولید گردوغبار در استان البرز را بررسی کردند و جبال بارزی و همکاران (۲۰۲۳) که در تالاب جازموریان به اهمیت پوشش گیاهی در عدم تولید گردوغبار تأکید داشتند، بوری و همکاران (۲۰۱۵) در مدل‌سازی فرسایش بادی در اراضی کشاورزی اروپا با استفاده از شاخص حساسیت زمین به فرسایش بادی (ILSWE)، مطابقت دارد. همچنین مقایسه نتایج ارزیابی دقت مدل ILSWE با نقشه کانون‌های بحرانی فرسایش بادی در حوزه‌های مورد مطالعه (دقت کلی برابر ۷۰ درصد) نشان از کارایی نسبی شاخص در تعیین حساسیت اراضی به فرسایش بادی است و به‌عبارت‌دیگر نتایج مدل دقت قابل‌قبولی دارد. البته باید گفت که روش کلاس‌بندی و داده‌های استفاده‌شده برای محاسبه این شاخص در نتیجه نهایی و تعیین دقت کلی مدل بسیار تعیین‌کننده است. فنتا و همکاران (۲۰۲۰) نیز در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که با فرض درست بودن کلاس‌بندی مدل ILSWE، دقت کلی این شاخص ۷۰ درصد است و در نتیجه کارایی آن را تأیید نمودند.

در نهایت طبق نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش می‌توان گفت که شناسایی مناطق بحرانی مستعد فرسایش خاک برای بررسی بیشتر، اولین گام برای تسهیل برنامه‌ریزی حفاظتی است؛ بنابراین، مطالعات میدانی در مناطق دارای اولویت بالا برای تعیین سطح واقعی خطر فرسایش خاک و شناسایی مکان‌هایی که تلاش‌های حفاظتی می‌تواند به‌طور بالقوه در کاهش خطرات فرسایش خاک مفیدتر باشد، مورد نیاز است. برنامه‌های حفاظت از خاک اغلب از طریق استفاده از رویکرد حوزه آبخیز عمل می‌کنند؛ بنابراین، نتایج این مطالعه را می‌توان به‌صورت محلی برای تشکیل پایه برنامه‌ریزی در مقیاس کوچک برنامه‌های حفاظتی توضیح داد. علی‌رغم محدودیت‌های زمان، وسعت زیاد و هزینه‌ها در طرح‌های تعیین کانون‌های گردوغبار و فرسایش بادی، روش‌های به‌کاررفته در این مطالعه رویکردهای بالقوه مفیدی را برای شناسایی مناطقی که احتمالاً مستعدترین خطرات فرسایش خاک توسط باد هستند، ارائه می‌دهند و در نتیجه از تصمیم‌گیری در ارزیابی‌های سیاست‌پیشین و پس‌از آن حمایت می‌کنند. به‌این ترتیب، ILSWE برای تعریف و پارامتر سازی مرتبط‌ترین عوامل و شرایط فرسایش بادی طراحی شده است و می‌تواند با ارزیابی کیفی و دقیق‌تر در مقیاس‌های منطقه‌ای و محلی تکمیل شود.

References

- Abkhan Consulting Engineering. (2019). Update studies of affected areas and critical focal points of wind erosion in Iran. *Natural Resources and Watershed Management Organization*.
- Bakker, M., Govers, G., Jones, R. A., & Rounsevell, M. D. (2007). The effect of soil erosion on Europe's crop yields. *Ecosystems*, 10(7), 1209-1219. <https://doi.org/10.1007/s10021-007-9090-3>.
- Baumgartel, A., Luki, S., Belanovi, S., & Kadovi, R. (2019). Identifying Areas Sensitive to Wind Erosion—A Case Study of the AP Vojvodina (Serbia). *Applied Sciences*, 9(23), 5106. <https://doi.org/10.3390/app9235106>.

- Borrelli, P., Ballabio, C., Panagos, P., & Montanarella, L. (2014). Wind erosion susceptibility of European soils. *Geoderma*, 232, 471-478. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.06.008>.
- Borrelli, P., Panagos, P. & Montanarella, L. (2015). New Insights into the Geography and Modelling of Wind Erosion in the European Agricultural Land. Application of a Spatially Explicit Indicator of Land Susceptibility to Wind Erosion Pasquale. *Sustainability*, 7(7), 8823-8836. <https://doi.org/10.3390/su7078823>.
- Borrelli, P., Panagos, P., & Montanarella, L. (2015). New insights into the geography and modelling of wind erosion in the european agricultural land. Application of a spatially explicit indicator of land susceptibility to wind erosion. *Sustainability*, 7(7), 8823-8836. <https://doi.org/10.3390/su7078823>.
- Borrelli, P., Panagos, P., Ballabio, C., Lugato, E., Weynants, M., & Montanarella, L. (2016). Towards a pan-European assessment of land susceptibility to wind erosion. *Land Degradation & Development*, 27(4), 1093-1105. <https://doi.org/10.1002/ldr.2318>.
- Choubin, B., Sajedi Hosseini, F., Rahmati O., Mehdizadeh Youshanloei, M., & Jalali, M. (2023). Mapping of salty aeolian dust-source potential areas: Ensemble model or benchmark models?. *Science of The Total Environment*, 877, 163419. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.163419.
- FAO (1979). A provisional methodology for soil degradation assessment. *Food and Agriculture Organization*, Rome, Italy. 9251008698 (paperback).
- Fenta, A.A., Tsunekawa, A., Haregeweyn, N., Poesen, J., Tsubo, M., Borrelli, P., & Kawai, T. (2020). Land susceptibility to water and wind erosion risks in the East Africa region. *Science of the Total Environment*, 703(10), 135016. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135016>.
- Floors, R., Enevoldsen, P., Davis, N., Arnvist, J., & Dellwik, E. (2018). From lidar scans to roughness maps for wind resource modelling in forested areas. *Wind Energy Science*, 3(1), 353-370. <https://doi.org/10.5194/wes-3-353-2018>.
- Fryrear, D. W., Krammes, C. A., Williamson, D. L., & Zobeck, T. M. (1994). Computing the wind erodible fraction of soils. *Journal of Soil and Water Conservation*, 49(2), 183-188.
- Fryrear, D.W., Bilbro, J.D., Saleh, A., Schomberg, H., Stout, J.E., & Zobeck, T.M. (2000). RWEQ: Improved wind erosion technology. *Journal of Soil and Water Conservation*, 55(2), 183-189.
- Fryrear, D.W., Saleh, A., Bilbro, J.D., Schomberg, H.M., Stout, J.E., & Zobeck, T.M. (1998). Revised wind erosion equation (RWEQ). Wind erosion and water conservation research unit, USDA-ARS, Southern Plains Area Cropping Systems Research Laboratory . *Technical Bulletin*, 1. <http://www.csrl.ars.usda.gov/wewc/rweq/readme.htm>
- Funk, R., Reuter, H., (2006). Wind erosion. In: Boardman., edited by Boardman, J., & Poesen, J., Soil erosion in Europe. *John Wiley & Sons, Ltd, Chichester*. 563–582. <https://doi: 10.1002/0470859202>.
- Hansen, S.V. (1993). Surface roughness lengths. ARL Technical Report U. S. Army, *White Sands Missile Range*, NM 88002-5501, 51. (accessed 4 December 2018).
- Hengl, T., de Jesus, J.M., Heuvelink, G.B., Gonzalez, M.R., Kilibarda, M., Blagotic, A., Shangguan, W., Wright, M.N., Geng, X., BauerMarschallinger, B., & Guevara, M.A. (2017). SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. *journal.pone.01 69748*. PMID: 28207752. PLoS one.(16) 12. e0169748. <https://doi.org/10.1371/>
- Hojjati, K., Abedi, Z., Rayegani, B., & Panahi, M. (2021). Monitoring the Areas of Dust Production and Assessing the Damages Caused by This Phenomenon to the Agriculture Sector Case study: Alborz Province, Iran) .*DESERT*, 28 (1), doi: 10.22059/jdesert.2023.93543.
- Jebalbarez, B., Zehtabian, G.H., Khosravi, H., & Barkhori, S. (2023). Evaluation of Temporal-Spatial Changes of Climatic Elements Affecting the Occurrence of Dust Phenomenon in Arid and Semi-arid Regions (Case Study: Jazmurian Wetland). *Quarterly journal of Environmental Erosion Research*. 4:13(59), 109-139. <https://doi.org/ 10.61186/jeer.13.4.109>. (In Persian).
- Kestel, F., Monika W., & Roger, F. (2023). Spatiotemporal variability of the potential wind erosion risk in Southern Africa between 2005 and 2019. *Land Degradation and Development*. 34(10), 2945–2960. <https://doi.org/10.1002/ldr.4659>.
- Liu, S.Q., Zhang, S.R., & Wu, J. (2002). The relationship between soil pH and calcium carbonate content. *Soils*, 5, 279-282.
- Luft, T. A. (2002). Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz. *Technische Anleitung zur Reinhaltung er Luft-TA Luft v. 24.07. 2002, GMBL.*, 53(25-27), 511-605.
- Mashhadi, N., & Ahmadi, H. (2011). Sand sources determination based on granulometry of surface soils or sediment (sediment generation potential). *Iranian journal of Range and Desert Reseach*, 17 (4), 499-517. (In Persian).
- Mirzashahi, K. (2016). Periodic survey of soil organic carbon in the plain of Khuzestan and providing promotion solutions. *Promotional scientific journal of land management*. 5 (1), 1-12. (In Persian).

Mousavi, A., Shahabzi, F., Oustan, Sh., Jafarzadeh, A., & Minasny, B. (2020). Application of Two Data Mining Techniques for Mapping the Spatial Distribution of Soil Organic Carbon (Case Study: East Shore of Urmia Lake). *Journal Water and Soil*, 34 (3), 689-705. [https://doi: 10.22067/JSW.V34I3.84154](https://doi.org/10.22067/JSW.V34I3.84154). (In Persian).

Refahi, H. (2009). Wind erosion and conservation. *University of Tehran*. (In Persian).

Schmidt, S., Meusburger, K., Figueiredo, T., & Alewell, Ch. (2017). Modelling Hot Spots of Soil Loss by Wind Erosion (SoLoWind) in Western Saxony, Germany. *Land Degradation & Development*. 28 (3), 1100-1112. <https://doi.org/10.1002/ldr.2652> Citations: 15.

Wever, N. (2012). Quantifying trends in surface roughness and the effect on surface wind speed observations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 117(D11). <https://doi.org/10.1029/2011JD017118>.

Zhang, K., Li, S., Peng, W., & Yu, B. (2004). Erodibility of agricultural soils on the Loess Plateau of China. *Soil and Tillage Research*, 76(2), 157-165. doi:10.1016/j.still.2003.09.007.