

## ارزیابی حساسیت اراضی جهت تعیین مناطق مستعد تولید گردو غبار (مطالعه موردی: استان البرز)

کتایون حجتی<sup>۱</sup>

زهرا عابدی<sup>۲\*</sup>

[z.abedi@srbiau.ac.ir](mailto:z.abedi@srbiau.ac.ir)

بهزاد رایگانی<sup>۳</sup>

مصطفی پناهی<sup>۴</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۹/۹/۲۳

تاریخ دریافت: ۹۹/۷/۱۹

### چکیده

**زمینه و هدف:** وسعت بسیار زیاد مناطق خشک و فراوانی پدیده‌های گرد و غبار در کشور باعث شده است، شناسایی دقیق کانون‌های تولید گرد و غبار همواره یکی از اهداف اصلی پژوهش‌ها در زمینه گرد و غبار به شمار آید. هدف اصلی این مطالعه شناسایی منبع طوفان گرد و غبار در استان البرز است.

**روش بررسی:** در این پژوهش از شاخص حساسیت زمین در برابر فرسایش بادی (ILSWE) برای مکان‌یابی منابع تولید گرد و غبار استفاده شد. شاخص ILSWE از ترکیب پنج فاکتور موثر در فرسایش بادی شامل فرسایش‌دهندگی اقلیم، فرسایش‌پذیری خاک، سله خاک، پوشش گیاهی و زبری سطح ایجاد شده است. برای محاسبه این فاکتورها از نقشه‌های دما، بارش، سرعت باد، درصد شن، سیلت، رس، کربنات کلسیم، EVI و کاربری اراضی استفاده شد. بعد از محاسبه هریک از فاکتورها، با ضرب آنها در هم، شاخص ILSWE محاسبه شد. در نهایت با طبقه‌بندی این شاخص در نرم افزار Arc GIS مناطق حساس شناسایی شد.

**یافته‌ها:** نقشه نهایی شاخص ILSWE نشان داد که به طور کلی مناطق جنوبی استان البرز نسبت به دیگر نواحی، به فرسایش بادی حساس‌تر هستند. نقشه طبقه‌بندی ILSWE نشان داد که ۳۴/۵٪ از منطقه مورد مطالعه در کلاس خیلی کم، ۲۶/۸٪ در کلاس کم، ۱۸/۳٪ در کلاس متوسط، ۱۲/۶٪ در کلاس زیاد و ۷/۸٪ در کلاس خیلی زیاد حساسیت به فرسایش بادی قرار دارد. کلاس حساسیت زیاد

---

۱- دانشجوی دکتری مدیریت محیط زیست - اقتصاد محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- عضو هیات علمی دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. \* (مسئول مکاتبات)

۳- عضو هیات علمی گروه ارزیابی و مخاطرات محیط زیست، پژوهشکده محیط زیست و توسعه پایدار، سازمان حفاظت محیط زیست، تهران، ایران

۴- عضو هیات علمی دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی

به عنوان کانون ایجاد گرد و غبار در نظر گرفته شد که عمدتاً در نواحی جنوبی استان البرز قرار دارد. اکثر نواحی کانون ایجاد گرد و غبار، اراضی بایر هستند.

**بحث و نتیجه‌گیری:** با توجه به نتایج این پژوهش، اراضی بایر نقش مهمی در تولید گرد و غبار استان البرز دارند در نتیجه عملیات تثبیت خاک در این نواحی برای کاهش گرد و غبار لازم است. به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که شاخص ILSWE، یک مدل منطقه-ای مناسب جهت تعیین مناطق مستعد و کانون‌های تولید گرد و غبار است.

**واژه‌های کلیدی:** حساسیت به فرسایش، فرسایش بادی، عضویت فازی، مدل منطقه‌ای.

## **Assessment of land sensitivity to determine areas dust sources (Case study: Alborz province)**

**Katayoon Hojati<sup>1</sup>**

**Zahra Abedi<sup>2\*</sup>**

[z.abedi@srbiau.ac.ir](mailto:z.abedi@srbiau.ac.ir)

**Behzad Raigani<sup>3</sup>**

**Mustafa Panahi<sup>4</sup>**

Admission Date: December 13, 2020

Date Received: October 10, 2020

### **Abstract**

**Background and Objective:** The vastness of arid areas and the abundance of dust storms in the country have made the accurate identification of dust production centers always one of the main goals of research in the field of dust. The primary objective of this study is dust storm source identification in Alborz Province

**Material and Methodology:** In this study, the Index of Land Susceptibility to Wind Erosion (ILSWE) was used to locate dust sources. The ILSWE was created by combining five influential wind erosion factors including climatic erosivity, soil erodibility, soil crust, vegetation cover & surface roughness. Temperature, precipitation, wind speed, sand percentage, silt, clay, calcium carbonate, EVI and land use maps were used to calculate these factors. After calculating each of the factors, by multiplying them together, the ILSWE index was calculated. Finally, by classifying this index in Arc GIS software, sensitive areas were identified.

**Findings:** The final map of ILSWE index showed that in general, the southern regions of Alborz province are more sensitive to wind erosion than other regions. The ILSWE classification map showed that 34.5% of the studied area falls within the very low class, 26.8% in the low class, 18.3% in the medium class, 12.6% in the high class and 7.8% in very high sensitivity to wind erosion class. Very high sensitivity class was considered as dust sources, which is mainly located in the southern parts of Alborz province. Most sources of dust are barren lands.

**Discussion and Conclusion:** According to the results of this study, barren lands have an important role in dust production in Alborz province; therefore soil stabilization operations in these areas are necessary to reduce dust. In general, the results of this study showed that the ILSWE index is a suitable regional model for determining susceptible areas and centers of dust production.

**Keywords:** Sensitivity to erosion, wind erosion, Fuzzy membership, Regional model.

---

1- PHD student of environment management, enviro-economy Islamic Azad University Science and Research Branch, Tehran, Iran

2- member of science board in environment and Natural resources faculty, Islamic Azad University, Tehran, Iran (in charge of correspondence)

3- Faculty member, Research group of Environmental Assessment and Risks, Research center of Environment and sustainable Development (RCESD), Department of Environment, Tehran, Iran

4 member of science board in environment and Natural resources faculty, Islamic Azad University, Tehran, Iran

## مقدمه

سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل‌سازی عوامل موثر در فرسایش بادی و گرد و غبار کانون‌های مستعد شناسایی می‌شود. با توجه به این موضوع که فرسایش بادی و گرد و غبار یک فرآیند ژئومورفولوژیکی پیچیده‌ای است که تحت تاثیر چندین عامل قرار دارد، مدل کردن همه عوامل موثر جهت ارزیابی در مقیاس منطقه‌ای و بزرگتر را دشوار می‌کند (۱۴). بنابراین مطالعات در این مقیاس با حفظ عوامل کلیدی موثر بر فرسایش بادی، به یک روش کاهش پیچیدگی متوسل می‌شوند. تا کنون مطالعات زیادی با روش‌های مختلف جهت تعیین کانون‌های گرد و غبار در مقیاس بزرگ در داخل و خارج کشور انجام شده است. از جمله این تحقیقات می‌توان به پژوهش‌های مهرابی و همکاران (۱۵)، رایگانی<sup>۱</sup> و همکاران (۱۶ و ۱۷)، عفتی<sup>۲</sup> و همکاران (۹) فورستاین و شاپنسکی<sup>۳</sup> (۱۸) اشاره کرد. یکی از مدل‌های منطقه‌ای که می‌توان در مقیاس بزرگ از آن استفاده کرد، شاخص حساسیت زمین در برابر فرسایش بادی (ILSWE<sup>۴</sup>) که توسط مرکز داده‌های خاک اروپا (ESDAC<sup>۵</sup>) توسعه یافته است. در سال‌های اخیر در تحقیقاتی مانند فنتا<sup>۶</sup> و همکاران (۱۳)، بورلی<sup>۷</sup> و همکاران (۱۹) (۲۰ و ۲۱) از این شاخص برای تعیین مناطق حساس و کانون‌های فرسایش بادی و گرد و غبار استفاده شد. با توجه به بررسی‌های انجام شده، هنوز پژوهشی در ایران از این شاخص برای ارزیابی حساسیت خاک به فرسایش بادی و تعیین کانون‌های گرد و غبار و فرسایش بادی استفاده نشده است. هدف از پژوهش حاضر تعیین کانون‌های گرد و غبار استان البرز با استفاده از شاخص ILSWE می‌باشد. نتایج این پژوهش می‌تواند به تعیین حدود مناطق حساس به فرسایش بادی جهت انجام عملیات میدانی و اولویت بندی فعالیت‌های کنترل گرد و غبار در استان البرز کمک کند.

پدیده‌ی گرد و غبار یکی از فرآیندهای جوی است که در نتیجه‌ی وزش بادهای قوی بر خاک فرسایش‌پذیر اتفاق می‌افتد (۱) که آثار و پیامدهای زیست‌محیطی نامطلوبی بر جای می‌گذارد و اخیراً از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی به حساب می‌آید. این پدیده ناشی از فرآیندهای فرسایش بادی و بیابان‌زایی بوده و به طور عمده در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان رخ می‌دهد (۲ و ۳). مطالعات اخیر نشان می‌دهد که فراوانی وقوع پدیده‌ی گرد و غبار در منطقه خاورمیانه در حال افزایش است (۴). تخمین زده می‌شود که این پدیده هر سال حدود  $5 \times 10^4$  تن خاک از سطوح بیابانی و خشک وارد جو می‌کنند (۵). به طوری که در سطح جهان گرد و غبار فراوان‌ترین ذره معلق در هوا است (۶). فراوانی وقوع پدیده‌ی گرد و غبار در یک منطقه به عواملی از جمله سرعت باد، میزان خاک بدون پوشش، شرایط هوایی خشک (۷)، رطوبت خاک، پوشش گیاهی (۸) و سیستم هوای محلی و بیرونی، بارش کوتاه مدت، وسعت جنگل زدایی، خشکسالی بلند مدت، تغییرات کاربری زمین و فعالیت‌های انسانی (۱۰) بستگی دارد. این پدیده طیف وسیعی از خطرات محیط زیستی و اقتصادی را برای جامعه بشری به وجود می‌آورد (۱۱) و مقابله با آن، نیازمند روش‌های چند جانبه متشکل از سیاست، مدیریت اکوسیستم، اقتصاد و ظرفیت‌سازی است. بنابراین شناسایی درست کانون‌های تولید گرد و غبار، از نخستین گام‌های مدیریت و کنترل پدیده گرد و غبار می‌باشد. زیرا شناسایی کانون‌ها تولید گرد و غبار اولین مرحله در اولویت بندی مناطق مختلف جهت عملیات اجرایی برای کاهش گرد و غبار و تعیین روش‌های کنترل آن است. اندازه‌گیری سنتیبا روش‌های میدانی به دلیل پوشش زمانی و مکانی محدود، نمی‌تواند به تنهایی برای شناسایی و پایش کانون‌های گرد و غبار مفید باشد (۱۲). همچنین پیشرفته‌ترین مدل‌های مقیاس میدانی برای حصول نتیجه مناسب و قابل قبول، بسیار پیچیده هستند (۱۳) و وقتی هدف تعیین کانون‌های گرد و غبار در مقیاس منطقه‌ای و بزرگتر باشد، عملاً انجام این روش با مشکلات زیادی رو به رو می‌شود. در مقیاس‌های بزرگ مانند مقیاس منطقه‌ای با استفاده از ابزارهای مانند سنجش از دور و

1- Rayegani

2- Effati

3- Feuerstein &amp; Schepanski

4- Index of Land Susceptibility to Wind Erosion

5- European Soil Data Centre

6- Fenta

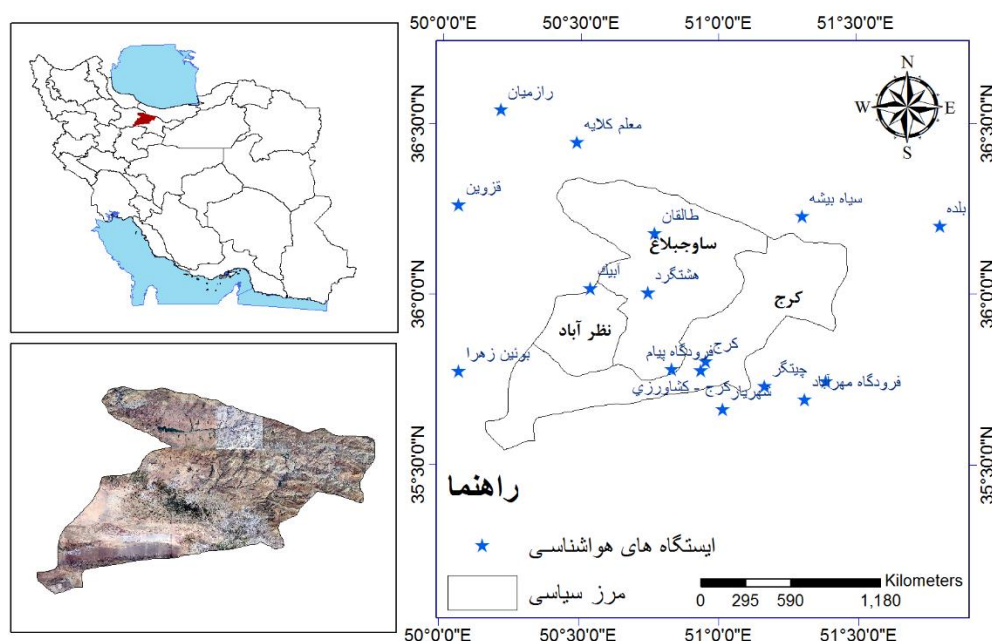
7- Borrelli

## مواد و روش‌ها

## منطقه مورد مطالعه

دارای اقلیم خشک و با بارندگی کمتر از ۲۰۰ میلیمتر در سال است. همچنین به علت ضعیف بودن پوشش گیاهی، پتانسیل بادفرسایی در این مناطق افزایش پیدا کرده است. به دلیل توسعه پدیده بیابان‌زایی و افزایش خشکسالی در سال‌های اخیر، این استان به شدت در معرض رویدادهای محلی گرد و غبار قرار گرفته است (۲۱).

پژوهش حاضر در استان البرز انجام می‌شود که به دلیل دارا بودن منشاها داخلی تولید گرد و غبار به شدت تحت تاثیر پدیده گرد و غبار است (۲۱). این استان با مساحت حدود ۵۱۴۱۸۶ هکتار در دامنه‌های جنوبی رشته کوه البرز قرار دارد (شکل ۱). دشت‌ها و جلگه‌های این استان به خصوص جنوب آن،



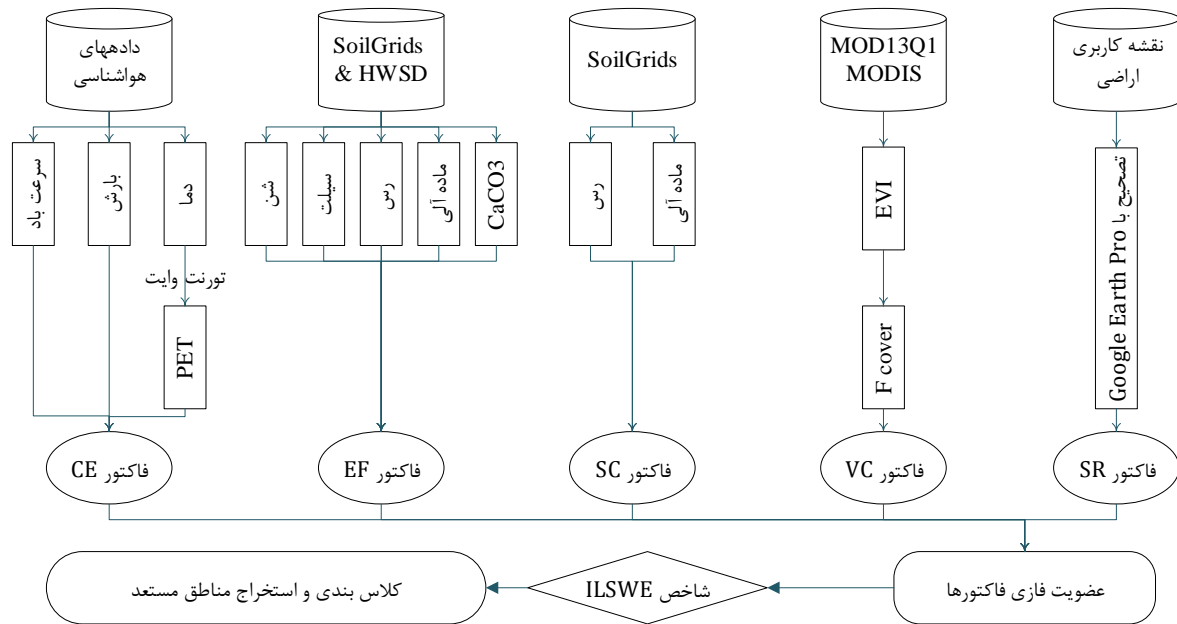
شکل ۱ - موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده

Figure 1. Location of the study area and meteorological stations used

## روش بررسی

زبری سطح ( $SR^5$ ) تشکیل شده است. شکل (۲) نمودار مراحل مراحل انجام این پژوهش را نمایش می‌دهد.

در این پژوهش برای تعیین مناطق مستعد تولید گرد و غبار از شاخص ILSWE استفاده شد. اساس این شاخص بر مبنای این مفهوم است که فرسایش بادی زمانی رخ می‌دهد که سه شرط قدرت کافی باد، وجود خاک مستعد و عدم وجود محافظ برای سطح در تماس باد محقق شود (۲۰). شاخص ILSWE از پنج فاکتور فرسایش‌دهندگی اقلیم ( $CE^1$ )، فرسایش‌پذیری خاک ( $SE^2$ )، سله خاک ( $SC^3$ )، پوشش گیاهی ( $VC^4$ ) و زبری



شکل ۲ - نمودار روش انجام پژوهش

Figure 2. Diagram of research method

### فاکتور فرسایش‌دهندگی اقلیم (CE)

این فاکتور پتانسیل و استعداد اقلیم منطقه مورد مطالعه را برای تولید شرایطی است که منجر به فرسایش بادی می‌شود، نشان می‌دهد (۱۳). در این پژوهش از معادله (۱) که توسط فائو<sup>۱</sup> (۲۲) توسعه یافته است، برای محاسبه فاکتور فرسایش‌دهندگی اقلیم استفاده شد.

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

در این معادله  $u_i$  سرعت متوسط باد ماهانه (متر بر ثانیه) در ارتفاع دو متری ماه  $AM$ ،  $PET_i$  تبخیر و تعرق پتانسیل ماه  $AM$  و  $P$  مقدار بارش ماه  $AM$  و  $d$  تعداد روزهای ماه  $AM$  می‌باشد. برای محاسبه این فاکتور ابتدا داده‌های ماهانه میانگین سرعت باد و دما و مجموع بارش ۱۶ ایستگاه موجود در استان البرز و نواحی اطراف آن (شکل ۱) در دوره زمانی ده ساله (۲۰۱۰-۲۰۱۹) جمع‌آوری شد. در مرحله بعد با استفاده از روش تورنت وایت و داده‌های دما تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه هر ایستگاه محاسبه شد. و متوسط ماهانه هر سه مولفه بارش، دما و سرعت باد با استفاده از داده‌های ده ساله محاسبه شد. سپس با استفاده

از روش میان‌یابی وزن‌دهی معکوس فاصله ( $IDW^2$ ) در نرم‌افزار Arc GIS برای هر سه مولفه در ۱۲ ماه سال پهنه بندی انجام شد. در نهایت با استفاده از معادله (۱) فاکتور CE محاسبه شد.

### فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (EF)

فاکتور فرسایش‌پذیری خاک، میزان توانایی مقاومت کردن یک خاک در برابر نیروی باد را نشان می‌دهد. در واقع این شاخص بیانگر رابطه بین فرسایش خاک توسط باد و خصوصیات خاک است (۱۳). معادله (۲) نحوه محاسبه EF را با استفاده از معادله رگرسیون چندگانه که توسط فرایر<sup>۳</sup> و همکاران (۲۳) بر اساس بافت خاک و خصوصیات شیمیایی ارائه شده است، نشان می‌دهد.

2 - Inverse Distance Weighting  
3 - Fryrear

1 - FAO

$$EF = \frac{29.09 + (0.31 \times SA) + (0.17 \times SI) + \left(0.33 \times \frac{SA}{CL}\right) - (2.59 \times OM) - (0.95 \times CaCO_3)}{100} \quad (2)$$

محصول MOD13Q1 سنجنده مودیس<sup>۳</sup> با اندازه پیکسل ۲۵۰ متر در ۲۵۰ متر به دست آمد، استفاده شد. محصول استفاده شده، هر ۱۶ روز یکبار شاخص‌های پوشش گیاهی را ارائه می‌دهد. ابتدا نقشه میانگین سالانه شاخص EVI با استفاده از داده‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۷ برای استان البرز محاسبه شد. سپس با استفاده از معادله زیر،  $F_{cover}$  محاسبه شد.

$$F_{cover} = \frac{EVI - EVI_S}{EVI_V - EVI_S} \quad (4)$$

در این معادله EVI نقشه میانگین سالانه به دست آمده از مرحله قبل،  $EVI_S$  مقدار شاخص در خاک بایر و  $EVI_V$  مقدار شاخص در پوشش گیاهی متراکم، می‌باشد.

#### فاکتور زبری سطح (SR)

زبری سطح زمین باعث تقویت اصطکاک آن می‌شود و در نتیجه انرژی باد را نزدیک به سطح زمین کاهش می‌دهد (۳۱). به این ترتیب، کاهش انرژی باد باعث کاهش فرسایش بادی می‌شود. در مواردی که اطلاعات زبری سطح زمین در دسترس نباشد، کلاس‌های کاربری اراضی و پوشش زمین برای تخمین طول زبری سطح بسیار مفید هستند (۳۲). در مطالعات مختلفی مانند بوری و همکاران (۲۰)، فنتا و همکاران (۱۳) و فانک و رویتر<sup>۴</sup> (۳۳) که در مقیاس منطقه‌ای صورت گرفته است، از جداولی خاص برای تعیین فاکتور زبری سطح بر مبنای کاربری و پوشش اراضی استفاده شده است. در این پژوهش از استاندارد ارائه شده توسط TA-LUFT (۳۴) استفاده شد (جدول ۱).

در این معادله SA درصد شن، SI درصد سیلت، CL درصد رس، OM درصد ماده آلی و  $CaCO_3$  درصد کربنات کلسیم خاک می‌باشد. EF برحسب درصد به دست می‌آید. در این پژوهش برای محاسبه درصد شن، سیلت، رس و ماده آلی خاک سطحی استان البرز از داده‌های پایگاه ISRIC SoilGrids با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر (۲۴) و برای محاسبه درصد کربنات کلسیم خاک از داده‌های پایگاه Harmonized World Soil Database با قدرت تفکیک مکانی یک کیلومتر (۲۵) استفاده شد.

#### فاکتور سله خاک (SC)

سله خاک، لایه نسبتاً نازک و یکپارچه ایجاد شده در سطح خاک که نسبت به خاک زیر فشرده‌تر و از نظر مکانیکی پایدارتر است، تعریف می‌شود (۲۶). این لایه حساسیت کمتری به فرسایش بادی نسبت به لایه‌های خاک زیری دارد (۲۷) و در مناطق خشک و نیمه‌خشک که فرسایش بادی غالب‌تر از فرسایش آبی است، نقش مهمی در حفاظت از خاک ایفا می‌کند (۲۸). فاکتور SC برای تخمین تأثیر سله خاک بر فرسایش-پذیری خاک استفاده می‌شود (۲۹). در این پژوهش، پارامتر SC با استفاده از معادله زیر محاسبه شد که توسط فرایر و همکاران (۳۰) معرفی شده است.

$$SC = \frac{1}{1 + (0.006 \times CL^2) + (0.21 \times MO^2)} \quad (3)$$

در این معادله CL درصد رس و OM درصد ماده آلی خاک می‌باشد. داده‌های این دو مولفه همان طور که قبلاً گفته شد از داده‌های پایگاه ISRIC SoilGrids با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر (۲۴) به دست آمد.

#### فاکتور پوشش گیاهی (VC)

اثر پوشش گیاهی بر فرسایش بادی را می‌توان با استفاده از درصد سطح پوشیده از مواد گیاهی یافته بیان کرد (۱۹ و ۲۰). برای توصیف فاکتور VC، در این پژوهش از مولفه کسری پوشش گیاهی<sup>۱</sup> ( $F_{cover}$ ) که از شاخص پوشش گیاهی  $EVI^2$

2- Enhanced vegetation index

3- MODIS

4- Funk & Reuter

1- fraction of vegetation cover

## جدول ۱- میانگین طول زبری در کلاس های کاربری و پوشش اراضی

Table 1. Mean Roughness Length to the Land Use &amp; Land Cover Classes

Z <sub>0</sub>	کاربری و پوشش اراضی
۰/۰۱	اراضی بایر، تپه‌های ماسه‌ای، تالاب‌های فصلی
۰/۰۲	مراتع و چمنزار طبیعی فقیر، باتلاق‌های نمکی
۰/۰۵	معادن، زمین‌های زراعی دیم، تالابهای ساحلی
۰/۲	مناطق شهری سبز، تاکستان‌ها، اراضی زراعی آبی، مراتع متوسط تا خوب، علف زارهای توام با درخت
۰/۵	باغات، درختچه‌های جنگلی
۱	مناطق شهری ناپیوسته، شهرک صنعتی یا تجاری، جنگل‌های مخروطی (سوزنی برگ‌ها)
۱/۵	جنگلهای پهن برگ و جنگلهای مخلوط
۲	مناطق شهری یکپارچه

بعد از محاسبه شاخص ILSWE، این شاخص در نرم افزار Arc GIS طبقه بندی شد و کانون های گرد و غبار تعیین شد.

## یافته‌ها

شکل (۳) و (۴) به ترتیب نقشه عضویت فازی فاکتورهای فرسایش‌دهندگی اقلیم (CE) و فرسایش‌پذیری خاک (EF) را نشان می‌دهد. با توجه به نقشه عضویت فازی فاکتور فرسایش-دهندگی اقلیم، مناطق جنوبی و شرقی بیشترین پتانسیل ایجاد فرسایش بادی توسط اقلیم نسبت به دیگر نواحی وجود دارد. کمترین میزان نیز مربوط به مناطق شمالی استان البرز یعنی ارتفاعات رشته کوه البرز می‌باشد. نتایج بررسی نقشه عضویت فازی فاکتور فرسایش‌پذیری خاک نشان می‌دهد که به طور کلی هر چه از شمال استان البرز به بخش‌های جنوبی برویم فرسایش‌پذیری خاک نسبت به باد افزایش پیدا می‌کند. البته در بخش‌های میانی واقع در غرب شهر کرج یک روند کاهشی در میزان فرسایش‌پذیری مشاهده می‌شود. در این نواحی اراضی کشاورزی واقع شده است.

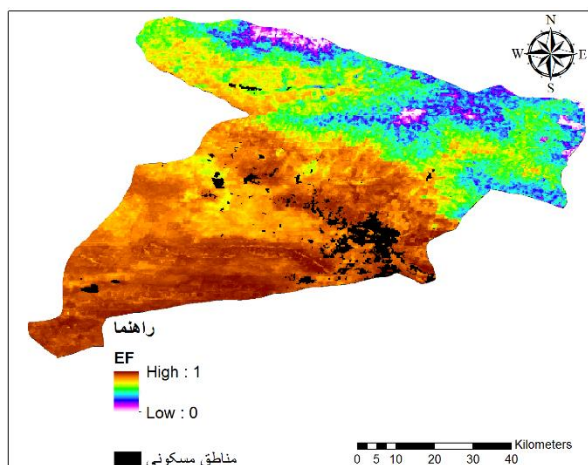
لازم به ذکر است که نقشه کاربری و پوشش اراضی استان البرز از نقشه کاربری اراضی ایران که توسط سازمان جنگل‌ها و مراتع تهیه شده است، استخراج و با استفاده از نرم افزار Google Earth Pro مورد بازبینی و تصحیح قرار گرفت.

## محاسبه شاخص ILSWE

بعد از محاسبه پنج فکتور مربوط به شاخص ILSWE، ابتدا تابع عضویت فازی فاکتورها محاسبه شد. با این کار فاکتور ها بین صفر (حداقل حساسیت) و یک (حداکثر حساسیت) قرار گرفت. مطابق با تحقیق فنتا و همکاران (۱۳) برای فاکتورهای فرسایش‌دهندگی اقلیم (CE)، فرسایش‌پذیری خاک (SE) و سله خاک (SC) روش خطی، برای فاکتور پوشش گیاهی (VC) روش نمایی و برای فاکتور زبری سطح (SR) روش لگاریتمی برای محاسبه تابع عضویت فازی استفاده شد. سپس با استفاده از معادله (۵) شاخص ILSWE محاسبه شد.

$$ILSWE = CE \times EF \times SC \times VC \times SR \quad (5)$$

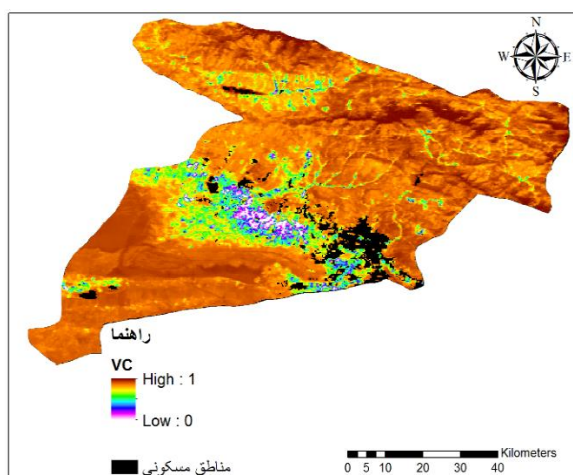




شکل ۴ - نقشه عضویت فازی فاکتور EF

Figure 4. EF factor fuzzy membership map

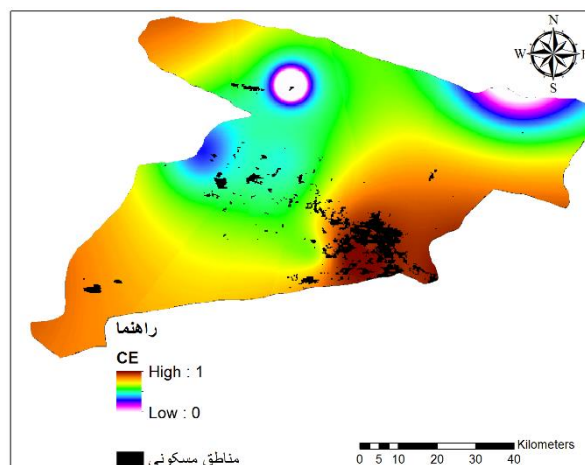
(شکل ۶) که نواحی شمالی و به خصوص اراضی بایر در بخش- های جنوبی استان البرز دارای بیشترین احتمال و کمربند میانی که بیشترین اراضی کشاورزی در آن واقع شده است دارای کمترین احتمال ایجاد فرسایش بادی از جنبه پوشش گیاهی می باشد.



شکل ۶ - نقشه عضویت فازی فاکتور VC

Figure 6. VC factor fuzzy membership map

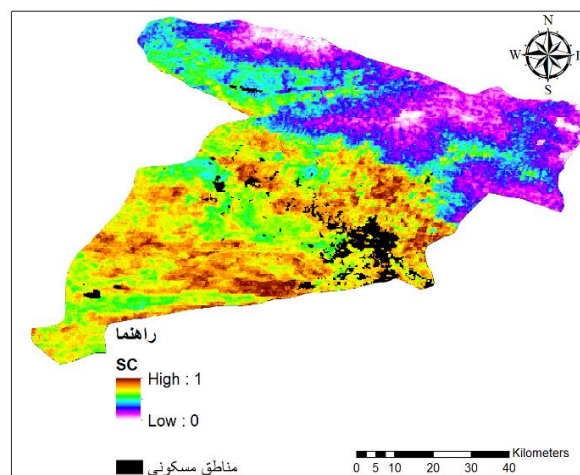
نواحی مراتع تشکیل شده است. در غرب استان البرز تالاب فصلی صالحیه نظر آباد وجود دارد. نقشه کاربری اراضی با توجه به جدول (۱) امتیازدهی شد. شکل (۸) نقشه عضویت فازی فاکتور زبری سطح (SR) را نشان می دهد. با توجه به این نقشه بخش های زیادی از جنوب تا مرکز استان البرز از نظر زبری



شکل ۳ - نقشه عضویت فازی فاکتور CE

Figure 3. CE factor fuzzy membership map

شکل (۵) نقشه عضویت فازی فاکتور سله خاک (SC) را نشان می دهد. با توجه به این نقشه مناطق شمالی، مرکزی و جنوبی استان البرز دارای کمترین مقدار و بخش های شمال غربی تا شمال شرقی شهر کرج و هم چنین بخش های جنوب غربی تا جنوب شرقی آن، دارای بیشترین مقدار این فاکتور می باشند. نقشه عضویت فازی فاکتور پوشش گیاهی (VC) نشان می دهد

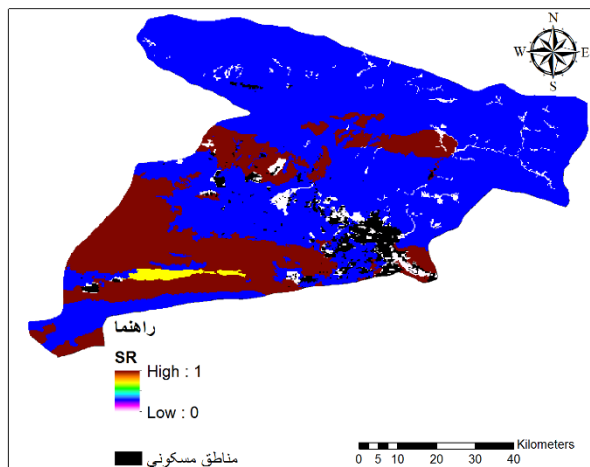


شکل ۵ - نقشه عضویت فازی فاکتور SC

Figure 5. SC factor fuzzy membership map

همان طور که قبلا گفته شد برای محاسبه فاکتور زبری سطح (SR) از نقشه تصحیح شده کاربری اراضی تهیه شده توسط سازمان جنگل ها و مراتع استفاده شد (شکل ۷). به طور کلی شمال استان البرز مراتع خوب تا متوسط، نواحی میانی مناطق مسکونی و کشاورزی و در جنوب استان اراضی بایر و در برخی

استعداد جهت ایجاد فرسایش بادی و گرد و غبار می‌باشند.

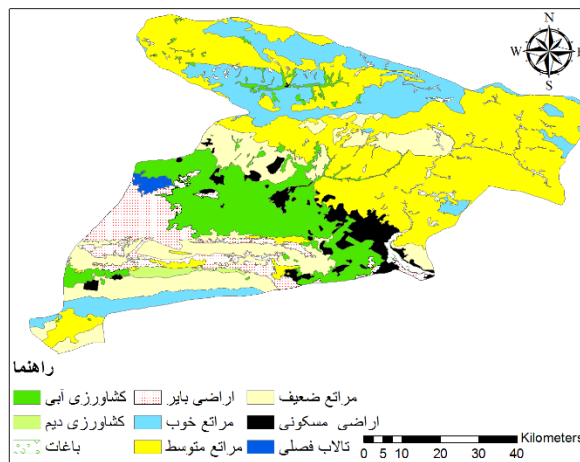


شکل ۸ - نقشه عضویت فازی فاکتور SR

Figure 8. SR factor fuzzy membership map

در نظر گرفته و از نقشه حساسیت استخراج شد (شکل ۱۰). شمالی‌ترین قسمت از نواحی مستعد تولید گرد و غبار را بخش‌های از تالاب صالحیه تشکیل می‌دهد و در قسمت‌های جنوبی‌تر گسترش یافته و مانند کمربندی بخش‌های جنوبی استان البرز را شامل می‌شود. عمده مناطق مستعد تولید گرد و غبار اراضی بایر هستند.

سطح مستعدترین نواحی در ایجاد فرسایش بادی و گرد و غبار هستند. اکثر مناطق مرکزی تا شمال استان دارای کمترین

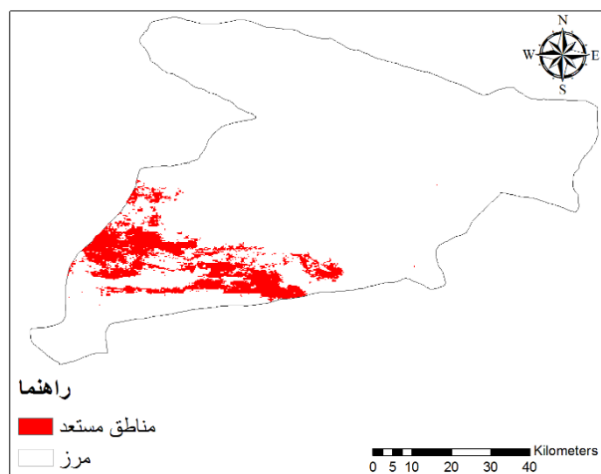


شکل ۷ - نقشه کاربری اراضی مورد استفاده

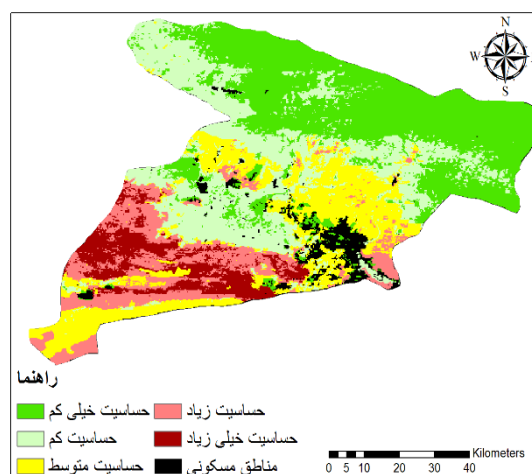
Figure 7. Land use map used

پس از تهیه نقشه عضویت فازی پنج فاکتور فرسایش‌دهندگی اقلیم، فرسایش‌پذیری خاک، سله خاک، پوشش گیاهی و زبری سطح، با استفاده از معادله (۵) شاخص ILSWE محاسبه شد. سپس در نرم‌افزار Arc GIS با استفاده از روش شکست طبیعی<sup>۱</sup> به پنج کلاس از حساسیت خیلی کم تا خیلی زیاد نسبت به فرسایش بادی تقسیم شد (شکل ۹). کلاس حساسیت خیلی کم ۳۴/۵ درصد از مساحت استان البرز را فرا گرفته که اکثر این نواحی در بخش‌های شمالی استان قرار دارد. در مناطق پایین دست این کلاس به سمت جنوب عموماً کلاس حساسیت کم قرار گرفته است که ۲۶/۸ درصد از مساحت کل استان البرز را شامل می‌شود. نوار مرکزی و بخش‌های کوچکی از جنوب استان البرز در کلاس حساسیت متوسط قرار گرفته اند که شامل ۱۸/۳ درصد از مساحت استان البرز می‌شود. کلاس حساسیت زیاد در نواحی جنوبی استان البرز قرار گرفته است. در این نواحی عموماً اراضی بایر قرار گرفته است و ۱۲/۶ از استان البرز را شامل می‌شود. کلاس حساسیت خیلی زیاد نیز در بخش‌های جنوبی استان البرز قرار گرفته است و ۷/۸ درصد از مساحت این استان مربوط به این کلاس می‌باشد. این کلاس به عنوان مناطق مستعد کانون‌های فرسایش بادی و گرد و غبار

1- Natural break method



شکل ۱۰- نقشه مناطق مستعد فرسایش بادی و تولید گرد و غبار  
Figure 10 . Map of Susceptible areas to wind erosion and dust production



شکل ۹- نقشه کلاس‌بندی شده شاخص ILSWE  
Figure 9. ILSWE Index Classified Map

### بحث و نتیجه گیری

از کارایی مناسبی جهت تعیین مناطق مستعد تولید گرد و غبار برخوردار است. یکی از تفاوت‌های عمده این پژوهش و تحقیقات رایگانی و همکاران (۱۲، ۱۶، ۱۷) این است که نتایج این پژوهش نشان داد که تالاب صالحیه نیز در هنگام خشک بودن پتانسیل ایجاد گرد و غبار و فرسایش بادی را دارد. شواهد موجود صحت این مطلب را تایید می‌کند. فننا و همکاران نیز (۱۳) در تحقیقات به این نتیجه رسیدند که با فرض درست بودن کلاس‌بندی شاخص ILSWE، دقت کلی این شاخص ۷۰ درصد می‌باشد و به خوبی با فرکانس طوفان‌های گرد و غبار مطابقت دارد. البته لازم به ذکر است، نحوه کلاس‌بندی و حدود هر یک از کلاس‌ها در تعیین دقت کلی مدل نقش بسیار زیادی دارد. نتایج این پژوهش نشان داد که اراضی بایر نقش مهمی در ایجاد گرد و غبار در استان البرز دارند. در نتیجه می‌توان با استفاده از طرح‌های احیایی مانند بوته کاری، پوشش سح خاک را افزایش داد و باعث تثبیت خاک شد. با توجه به نتایج این پژوهش و بررسی تحقیقات انجام شده در این زمینه می‌توان گفت که به طور کلی شاخص ILSWE، یک مدل منطقه‌ای مناسب جهت تعیین مناطق مستعد و کانون‌های تولید گرد و غبار است که می‌توان با توجه به محدودیت‌های زمان، وسعت زیاد و هزینه در طرح‌های تعیین کانون‌های گرد و غبار و فرسایش بادی در ایران، از آن به خوبی استفاده کرد.

در مورد پدیده گرد و غبار اصل مهمی وجود دارد و آن اصل این است که کاهش غلظت ذرات آلوده‌کننده هوا مخصوصاً گرد و غبار را باید از منبع برداشت کنترل نمود و با آن مقابله کرد، زیرا هنگامی که این گرد و غبار وارد هوا شد، دیگر نمی‌توان به سادگی با آن مقابله کرد، بنابراین باید کانون‌های اصلی گرد و غبار شناسایی و کنترل شوند (۳۵). هدف این پژوهش، تعیین مناطق مستعد تولید گرد و غبار و حساس به فرسایش بادی با استفاده از شاخص ILSWE می‌باشد. این شاخص بر پایه پنج فاکتور فرسایش‌دهندگی اقلیم، فرسایش‌پذیری خاک، سله خاک، پوشش گیاهی و زبری سطح محاسبه می‌شود. نتایج این پژوهش نشان داد که نواحی جنوبی استان البرز مناطق مستعد تولید گرد و غبار و فرسایش بادی است. این محدوده بیشتر در اراضی بایر قرار گرفته است که نشان دهنده اهمیت پوشش-گیاهی در عدم ایجاد گرد و غبار می‌باشد. هرچند وضعیت توپوگرافی، وجود باد و ویژگی‌های خاک این نواحی نیز به ایجاد گرد و غبار کمک به سزایی می‌کند. رایگانی و همکاران (۱۲، ۱۶، ۱۷) در سه پژوهش مختلف که در استان البرز برای تعیین کانون‌های گرد و غبار انجام شد، به نتایجی مشابه این پژوهش دست یافتند. به طوری که اکثر نواحی که توسط آنها به عنوان کانون گرد و غبار شناخته شد در این پژوهش نیز جز مناطق مستعد قرار گرفت که این نتیجه نشان می‌دهد شاخص مذکور

- International Journal of Climatology, 36(4), 2050-2062.
5. Zolfaghari, H., Masoumpour Samakosh, J., Shaygan Mehr, Sh., Ahmdi, M., 2010. A Synoptic Investigation of Dust Storms in Western Regions of Iran during 2005-2010 (A Case Study of Widespread Wave in July 2009). *Geography and Environmental Planning*, 22(3), 17-34. (In Persian)
  6. Beyranvand, A., Azizi, G., Alizadeh-Choobari, O., & Bolorani, A. D., 2019. Spatial and temporal variations in the incidence of dust events over Iran. *Natural Hazards*, 1-13.
  7. Mei, D., Xiushan, L., Lin, S., & Ping, W. A. N. G., 2008. A dust-storm process dynamic monitoring with multi-temporal MODIS data. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37.
  8. Huang, M., Peng, G., Zhang, J., & Zhang, S., 2006. Application of artificial neural networks to the prediction of dust storms in Northwest China. *Global and Planetary change*, 52(1-4), 216-224.
  9. Effati, M., Bahrami, H. A., Gohardoust, M., Babaeian, E., & Tuller, M., 2019. Application of Satellite Remote Sensing for Estimation of Dust Emission Probability in the Urmia Lake Basin in Iran. *Soil Science Society of America Journal*, 83(4), 993-1002.
  10. Qu, J. J., Hao, X., Kafatos, M., & Wang, L., 2006. Asian dust storm monitoring combining Terra and Aqua MODIS SRB measurements. *IEEE Geoscience and remote sensing letters*, 3(4), 484-486.
- برای افزایش دقت نتایج شاخص ILSWE پیشنهاد می‌شود که از داده‌های زمینی برای اندازه‌گیری خصوصیات خاک مورد استفاده در این شاخص، استفاده شود. در این صورت می‌توان دقت این شاخص را در مقیاس محلی نیز مورد ارزیابی قرار داد. با توجه به این که درصد کربنات کلسیم خاک داده‌های پایگاه Harmonized World Soil Database در همه جای ایران در دسترس نیست، می‌توان از شاخص‌های سنجش از دوری در این زمینه استفاده کرد و فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (EF) بر مبنای آن اصلاح کرد. همچنین در مورد محاسبه فاکتور زبری سطح (SR) که نیاز به جدول امتیازدهی برای کاربری و پوشش اراضی (جدول ۱) دارد، با توجه به شرایط و ویژگی‌های خاص ایران، این جدول مورد باز بینی قرار گرفته و اصلاح شود. البته باید توجه داشت که برای ارزیابی بهتر این شاخص در ایران نیاز به مطالعات بیشتر می‌باشد.

## References

1. Bolorani, A. D., Samany, N. N., Mirzaei, S., Bahrami, H. A., & Alavipanah, S. K., 2020. Remote Sensing and GIS for Dust Storm Studies in Iraq. In *Environmental Remote Sensing and GIS in Iraq*. Springer, Cham, 2020. 333-375.
2. Waggoner, D.G., Sokolik, I. N., 2010. Seasonal dynamics and regional features of MODIS-derived land surface characteristics in dust source regions of East Asia. *Remote Sensing of Environment*. 114(10), 2126-2136.
3. Huang, J., Li, Y., Fu, C., Chen, F., Fu, Q., Dai, A., ... & Zhang, L., 2017. Dryland climate change: Recent progress and challenges. *Reviews of Geophysics*, 55(3), 719-778.
4. Alizadeh-Choobari, O., Ghafarian, P., & Owlad, E., 2016. Temporal variations in the frequency and concentration of dust events over Iran based on surface observations.

- Implementation in a Dust-Emission Model. *Remote Sensing*, 11(1), 4.
19. 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.
  20. 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.
  21. Rayegani, B., Khirandish, Z., 2018. Utilization of time series of satellite data in order to validate the identified dust storm sources in Alborz province. *Jsaeh*. 2018; 4 (4) :1-18 . (In Persian)
  22. FAO., 1979. A provisional methodology for soil degradation assessment. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.
  23. Fryrear, D.W., Krammes, C.A., Williamson, D.L., Zobeck, T.M., 1994. Computing the wind erodible fraction of soils. *J. Soil Water Conserv.* 49, 183-188.
  24. Hengl, T., de Jesus, J.M., Heuvelink, G.B., Gonzalez, M.R., Kilibarda, M., Blagotic´, A., Shangguan, W., Wright, M.N., Geng, X., Bauer-Marschallinger, B., Guevara, M.A., 2017. SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. *PLoS one* 12, e0169748. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169748>.
  25. FAO/IIASA/ISRIC/ISSCAS/JRC., 2012. Harmonized World Soil
  11. Middleton, N., & Kang, U., 2017. Sand and dust storms: impact mitigation. *Sustainability*, 9(6), 1053.
  12. Rayegani, B., kheirandish, Z., Kermani, F., Mohammdi Miyab, M., Torabinia, A., 2017. Identification Of Active Dust Sources Using Remote Sensing Data And Air Flow Simulation (Case Study: Alborz Province). *Desert Management*, 4(8), 15-26. (In Persian)
  13. 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, 135016.
  14. Funk, R., Reuter, H.I., 2006. Wind erosion. In: Boardman, J., Poesen, J. (Eds.), *Soil erosion in Europe*. Wiley, Chichester, UK, pp. 563-582.
  15. Mehrabi S, Soltani S, Jafari R., 2015. Analyzing the Relationship Between Dust Storm Occurrence and Climatic Parameters. *Journal of Water and Soil Science*. 19 (71) :69-81
  16. Rayegani, B., Barati Ghahfarokhi, S., Khoshnava, A., 2019. Dust & Sand Source Identification Using Remotely Sensed Data: a comprehensive Approach. *Journal of Range and Watershed Managment*, 72(1), 83-105. (In Persian)
  17. Rayegani, B., Barati, S., Goshtasb, H., Gachpaz, S., Ramezani, J., & Sarkheil, H., 2020. Sand and dust storm sources identification: A remote sensing approach. *Ecological Indicators*, 112, 106099.
  18. Feuerstein, S., & Schepanski, K., 2019. Identification of Dust Sources in a Saharan Dust Hot-Spot and Their

31. Wever, N., 2012. Quantifying trends in surface roughness and the effect on surface wind speed observations. *J Geophys Res Atmos.* 117 (D11).
32. Hansen, S.V., 1993. Surface roughness lengths. ARL Technical Report U. S. Army, White Sands Missile Range, NM 88002-5501, pp. 51. (accessed 4 December 2018).
33. Funk R, Reuter HI. 2006. Wind erosion. In *Soil erosion in Europe*, Boardman J, Poesen J. (eds). Wiley: Chichester; 563–582.
34. TA-Luft., 2001. Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz. Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA-Luft Stand 12.06.2001.
35. Memarian-Fard, M., Mokhtari, H., Kouhzadbighi, B. and Zolfaghari, H., 2017. Investigating the microflora and dust, its effects and its containment methods. *Third International Conference on Environment, Energy and Bio-Defense. Scientific Quarterly Journal, Geosciences*, 27: 105-116. (In Persian)
26. Zobeck, T.M., 1991. Soil properties affecting wind erosion. *J. Soil Water Conserv.* 46, 112–118.
27. Fryrear, D.W., Bilbro, J.D., Saleh, A., Schomberg, H.M., Stout, J.E., Zobeck, T.M., 2000. RWEQ: improved wind erosion technology. *J. Soil Water Conserv.* 55, 183–189.
28. Zhang, K.L., Li, S., Peng, W., Yu, B., 2004. Erodibility of agricultural soils on the Loess Plateau of China. *Soil Till. Res.* 76, 157–165.
29. Borrelli, P., Ballabio, C., Panagos, P., Montanarella, L., 2014. Wind erosion susceptibility of European soils. *Geoderma* 232, 471–478.
30. 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 No. 1. pp. 185. (accessed 2019). <https://www.csrl.ars.usda.gov/wewc/rweq/rweq.pdf>.