

بررسی کمی فرسایش بادی و گسیل گردوغبار در ایران

حمیدرضا عظیم زاده^{۱*}، علی محمد طهماسبی بیرگانی^۲

۱- عضو هیئت علمی گروه محیط زیست دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی دانشگاه یزد؛ * hazimzadeh@yazd.ac.ir

۲- مشاور رئیس سازمان محیط زیست و مسئول پیگیری امور مخاطرات و ارزیابی خسارات محیط زیستی کشور

چکیده

این مقاله با هدف برآورد کمی فرسایش بادی و غبارخیزی در ایران انجام شد. برای دستیابی به این اهداف، از سه مدل IRIFR (برای برآورد کمی فرسایش بادی)، AUSLEM (برای پهنه‌بندی فرسایش‌پذیری سرزمین) و GOCART (برای برآورد شار قائم گردوغبار) استفاده گردید. داده‌های مورد نیاز از منابع مختلفی شامل عملیات میدانی، تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های جوی گردآوری و در محیط‌های ArcGIS و MATLAB پردازش شد. نتایج مدل IRIFR نشان داد که پتانسیل فرسایش بادی در ۱۹ استان کشور به‌طور میانگین ۱۵۱۵ تن در کیلومتر مربع در سال است و سالانه حدود ۰/۳ میلیارد تن رسوب تولید می‌شود. بر اساس مدل AUSLEM، حدود ۴/۵ میلیون هکتار از عرصه‌های کشور دارای فرسایش‌پذیری شدید شناسایی شد و استان‌های سیستان و بلوچستان، کرمان و خراسان جنوبی به‌عنوان کانون‌های اصلی غبارخیز معرفی گردید. مدل GOCART نیز گسیل سالانه گردوغبار را حدود ۵ میلیون تن برآورد کرد. در مجموع، یافته‌ها حاکی از گستردگی و شدت قابل توجه پدیده‌های فرسایش بادی و غبار در ایران است که لزوم مدیریت یکپارچه و اجرای برنامه‌های مقابله‌ای در سطح ملی را آشکار می‌سازد.

واژگان کلیدی: AUSLEM، IRIFR، GOCART، گردوغبار، فرسایش بادی، کانون بحرانی

مقدمه

انتشار گردوغبار در ایران تحت تأثیر عوامل متعدد و درهم‌تنیده‌ای است و درک این علل ریشه‌ای برای تدوین راهبردهای مدیریتی مؤثر به منظور کاهش آلودگی گردوغبار حیاتی است. علل بروز فرسایش بادی و گردوغبار در دو دسته کلی طبیعی و انسانی تقسیم‌بندی می‌شود.

شرایط خشک و فراخشک بیابانی و حاکمیت باد دو شرط اصلی و مهم ایجاد فرسایش بادی و گردوغبار است. یکی از منابع اولیه طبیعی گردوغبار در دشت مرکزی ایران، چشم‌انداز جغرافیایی، به‌ویژه شامل مناطق بیابانی مانند دشت کویر و لوت است. این مناطق مکرراً شاهد رویدادهای بادی است که ذرات گردوغبار را از بسترهای دریاچه‌های خشک و خاک‌های خشک جابه‌جا می‌کند و سهم قابل توجهی در سطوح گردوغبار هوا برد منطقه دارد (Kamal, 2022; Hamzeh, 2022). علاوه بر این، تغییرپذیری فصلی شرایط اقلیمی، به‌طور خاص وجود رویدادهای باد با سرعت زیاد معروف به بادهای شمال، به‌طور محسوس بر الگوهای انتشار گردوغبار تأثیر می‌گذارد (Shahabi et al., 2023; Kamal, 2022). این بادهای بهار غالب و شناخته شده است که مقادیر زیادی گردوغبار را در مسافت‌های قابل توجهی جابه‌جا کرده و کیفیت هوا را هم به‌صورت محلی و هم در مناطق اطراف تحت تأثیر قرار می‌دهد.

فعالیت‌های انسانی نیز از عوامل مهم انتشار گردوغبار در دشت‌های ایران است. تخریب زمین ناشی از فعالیت‌های کشاورزی، گسترش شهری و بهره‌برداری بیش از حد از منابع آبی به شدت ساختار خاک و پوشش گیاهی را که برای به هم چسباندن ذرات خاک ضروری است، تحت تأثیر قرار دهد (Moradi et al., 2022; Mahmoudi & Ikegaya, 2022). مدیریت نادرست منابع آب و بهره‌برداری بیش از حد از آن، همراه با ساخت سدها در مناطق همجوار، ذکر شده است که انتقال حق آبه به پایین‌دست را کاهش داده و فقر پوشش گیاهی و رطوبت خاک را به همراه دارد (Alizadeh et al., 2022).

علاوه بر این، شهرنشینی، به‌ویژه در مناطق اطراف شهرهای بزرگ، به انتشار گردوغبار در سطح محلی کمک می‌کند. فعالیت‌های صنعتی و ترافیک، آلاینده‌هایی را منتشر می‌کند که با گردوغبار مخلوط شده و مشکلات کیفیت هوای محلی را تشدید می‌کند.

(Moradi et al., 2022) توفان‌های گردوغبار اثرات اقتصادی اجتماعی قابل توجهی داشته و باعث اختلال در زندگی روزمره و نگرانی‌های بهداشتی در میان جمعیت‌های آسیب‌پذیر می‌شود (Mahmoudi & Ikegaya, 2022).

هدف از مقاله حاضر، ارائه نتایج حاصل از دو پژوهش مستقل در سطح کشور است که در دو سازمان منابع طبیعی و آب‌خیزداری و سازمان محیط زیست شکل گرفته و انجام شده است. در طرح کمی‌سازی فرسایش بادی کشور با مدل تجربی IRIFR، مقدار فرسایش بادی ناشی از اراضی غیرزراعی و زراعی کشور برآورد و در طرح دوم با شناسایی مناطق مستعد گسیل گردوغبار، مقادیر کمی گسیل غبار با استفاده از دو مدل AUSLEM و GOCART برآورد گردیده است.

مواد و روش‌ها

الف- برآورد کمی فرسایش بادی در ایران

در ابتدا نقشه‌های طبقه‌بندی شده مناطق تحت تاثیر و کانونهای بحرانی فرسایش بادی کشور (طهماسبی بیرگانی و سرداری، ۱۳۸۹) در محیط MATLAB و ArcGIS اصلاح و به عنوان نقشه پایه یا مبنا در نظر گرفته شد. به منظور تفکیک اراضی زراعی از غیرزراعی از نقشه اراضی کشاورزی طرح ملی سیمای آب‌خیزها تهیه شده توسط سازمان منابع طبیعی و آب‌خیزداری کشور استفاده شد. کدگذاری کلیه پلی‌گونها در استانها و شهرستانهای کشور با MATLAB انجام شد. تعداد و مساحت واحدهای نقشه مورد انتخاب برای امتیازدهی و اجرای مدل، در ۱۹ استان تحت تاثیر با مساحتی حدود ۲۰ میلیون هکتار، به نحوی انتخاب شد تا ۷۰/۳۶ درصد پلی‌گونها را پوشش دهد. به منظور برآورد پتانسیل فرسایش بادی از مدل‌های IRIFR در اراضی زراعی و غیرزراعی استفاده شد. به منظور تدقیق امتیازدهی توسط کارشناسان استانی کارگاه سه روزه‌ای با حضور نمایندگان استانها برگزار و نحوه امتیازدهی آموزش داده شد. برای انجام عملیات صحرایی نقشه‌های نقاط نمونه برداری به صورت کدگذاری شده تهیه و به منظور ثبت اطلاعات صحرایی مربوط به هر پلی‌گون در اختیار کارشناسان قرار گرفت. اطلاعات پلی‌گونها در قالب فایل اکسل به نرم افزار MATLAB انتقال یافت و نقشه کلاسهای کیفی و کمی فرسایش در واحدهای نقشه تهیه شد (عظیم زاده، ۱۳۹۴).

ب- برآورد شدت غبارخیزی ایران

ب-۱- مدل AUSLEM (Australian Land Erodibility Model)

مدل و روش محاسبه فرسایش‌پذیری سرزمین دارای دو بخش دینامیک پوشش گیاهی موقت و رطوبت خاک و سه جزء ثابت شامل پوشش گیاهی درختچه‌ای، سنگفرش و بافت خاک در نظر گرفته می‌شود (معادله ۱). فرسایش‌پذیری اراضی در این مدل به صورت بدون بعد (بین صفر تا یک) در نظر گرفته می‌شود تا بیانگر مستعد بودن اراضی به فرسایش بادی باشد. در این حالت مقدار کمی تلفات خاک یا فرسایش برآورد نمی‌شود بلکه اراضی سرزمین بر مبنای پتانسیل نسبی در کلاسهای کم، متوسط، زیاد و شدید طبقه بندی می‌شود.

$$Er = Etx \cdot Egc \cdot Ew \cdot Etc \cdot Erk$$

(۱)

که در آن، که در آن؛ Etx تاثیر بافت خاک بر فرسایش‌پذیری اراضی، Egc تاثیر پوشش بوته‌ای و علفی، Ew تاثیر رطوبت خاک، Etc تاثیر پوشش گیاهی، Erk تاثیر پوشش سنگفرش و اجزاء درشت سنگی بر فرسایش‌پذیری اراضی است. مدل با ترکیب لایه‌ها در نرم‌افزار ArcGIS اجراء شد (سازمان حفاظت محیط‌زیست، ۱۳۹۸).

ب-۲- مدل GOCART

در این بخش با استفاده از مدل GOCART گسیل گردوغبار از کانونهای مختلف در سطح کشور با تعیین شار قائم گردوغبار به صورت ماهانه و سالانه تعیین شده است. داده‌های مورد نیاز در این بخش، درصد پوشش گیاهی، بافت خاک (۱۲ نوع متداول)، رطوبت خاک، سرعت اصطکاکی و سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری است که از داده‌های زمینی با مقیاس ۱:۲۵۰,۰۰۰ و داده‌های جوی با تفکیک افقی ۵ کیلومتر بر روی یک شبکه محاسباتی که در مراحل قبل آماده سازی شد، بدست آمد. مدل GOCART، چشمه‌های بالقوه گردوغبار را بر پایه کسر فرسایش پذیر در نظر می‌گیرد. شار قائم گردوغبار از سطح بصورت زیر محاسبه می‌شود.

$$F_p = C_G S \quad sp \quad U_{10}^2 (U_{10} - U_t^*), \quad U_{10} > U_t^* \quad (2)$$

که در آن، C_G ثابتی تجربی است و برابر $1/9 \mu\text{gs}^2\text{m}^{-5}$ در نظر گرفته شده. U_{10} سرعت باد تراز ۱۰ متری، U^*t سرعت آستانه برای فرسایش بادی ذره به اندازه p است که در سرعت‌های پایین‌تر از آن هیچ گسلی صورت نمی‌گیرد. S تابع فرسایش‌پذیری و p کسر هر دسته از گردوغبار است برای کوچکترین اندازه ذرات برابر ۰/۱ و برای سایر اندازه‌ها ۰/۲۵ در نظر گرفته می‌شود. دوره آماری سالهای ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴ به دلیل وجود داده باد با تفکیک افقی ۵ کیلومتر در نظر گرفته شده است (سازمان حفاظت محیط‌زیست، ۱۳۹۸).

نتایج و بحث

الف- خروجی مدل IRIFR

مطابق این بررسی پتانسیل فرسایش بادی مناطق تحت تاثیر این پدیده در ۱۹ استان کشور شامل آذربایجان غربی، اصفهان، ایلام، البرز، بوشهر، تهران، خراسان رضوی، خراسان شمالی، خراسان جنوبی، خوزستان، سمنان، سیستان و بلوچستان، فارس، قزوین، قم، کرمان، مرکزی، هرمزگان و یزد مطالعه و برآورد گردید. کل مناطق مورد مطالعه و تحت تاثیر فرسایش بادی در کشور سطحی برابر 200858 km^2 است. مقدار کل بار رسوب فرسایش بادی حاصل این محدوده برابر با 304331851 تن در سال معادل $0/304$ میلیارد تن در سال است که سهم اراضی غیر زراعی آن، 283278011 تن در سال معادل $0/283$ میلیارد تن در سال و سهم اراضی زراعی 21053840 تن در سال معادل $0/21$ میلیارد تن در سال است. متوسط تلفات خاک وزنی مساحت در محدوده مورد مطالعه $1515 \text{ ton/km}^2\text{-yr}$ محاسبه شد. نتایج برآورد فرسایش بادی به تفکیک استان‌ها نشان می‌دهد، مساحت اراضی زراعی محدوده تحت تاثیر ایران برابر 18917 km^2 می‌باشد و میانگین حسابی تخریب مخصوص فرسایش بادی اراضی زراعی استانهای ۱۹ گانه مورد مطالعه معادل $957 \text{ ton/km}^2\text{-yr}$ برآورد گردید. از سوی دیگر تخریب مخصوص اراضی غیرزراعی استان‌های تحت تاثیر کشور نیز با وسعتی برابر 181941 km^2 دارای میانگین حسابی $1324 \text{ ton/km}^2\text{-yr}$ است. لذا، $90/58$ درصد از اراضی تحت تاثیر فرسایش بادی اراضی غیرزراعی و $9/42$ درصد را اراضی زراعی به خود اختصاص می‌دهد. میانگین وزنی ارائه شده برای کل محدوده ($\text{ton/km}^2\text{-yr}$) حاصل رخساره‌های مختلف برداشت، حمل و رسوبگذاری در مناطق تحت تاثیر فرسایش بادی ایران است (شکل ۱).

بررسی و مقایسه مقادیر حداکثرهای وسعت و پتانسیل فرسایش بادی در بین استانها به شرح زیر است. مقایسه وسعت اراضی تحت تاثیر فرسایش بادی به تفکیک غیر زراعی و زراعی در بین استانهای ایران نشان داد، استان کرمان با وسعت 54759 km^2 دارای بیشترین سطح اراضی غیرزراعی و زراعی تحت تاثیر فرسایش بادی است. در این میان استان کرمان دارای بیشترین وسعت اراضی غیرزراعی (52440 km^2) متاثر از فرسایش بادی نیز است که علت آن گستره‌ای به پهنای کویرلوت است. حداکثر میانگین وزنی تخریب مخصوص فرسایش بادی ویژه اراضی غیرزراعی و زراعی مربوط به استان هرمزگان با مقدار قابل توجه $\text{ton/km}^2\text{-yr}$ 2413 است. در عین حال بیشترین بار رسوب کل مناطق تحت تاثیر در بین استانها، مربوط به استان خراسان جنوبی با مقدار 57328944 ton/yr است. بیشترین وسعت اراضی زراعی متاثر از فرسایش بادی متعلق به استان خراسان رضوی با 36696 km^2 است.

ب) خروجی مدل AUSLEM

وسعت مناطق دارای پتانسیل غبارخیزی در عرصه واحدهای کاری بالغ بر 30051884 هکتار است که دارای انحراف از معیار 618909 هکتار در ماه‌های ۱۲ گانه سال است. وسعت کلاس‌های فرسایش‌پذیری سرزمین در ماه‌های مختلف سال دارای تغییرات محدودی می‌باشد. بدین لحاظ مناطق دارای فرسایش‌پذیری کم در کشور با وسعت بالغ بر 18874870 هکتار، $63/18$ درصد از مناطق مورد مطالعه را در قالب واحدکاری می‌پوشاند. بیشترین وسعت در بین کلاس‌های فرسایش‌پذیری سرزمین مربوط به کلاس کم است. کلاس فرسایش‌پذیری متوسط 5388167 هکتار معادل $17/93$ درصد اراضی مورد مطالعه است. کلاس زیاد دارای کمترین با وسعت 364259 هکتار معادل $1/15$ درصد از کل اراضی است. اراضی دارای فرسایش‌پذیری شدید با وسعت تقریبی 5442587 هکتار معادل $18/11$ درصد می‌باشد.

به لحاظ ترتیب وسعت استان‌های مختلف از زیاد به کم و از نظر سطوح دارای پتانسیل غبارخیزی می‌توان استان سیستان و بلوچستان را وسیع‌ترین استان از نظر کانون‌های غبارخیز کشور دانست. سیستان و بلوچستان با وسعت ۵۲۷۰۰۶۶ هکتار در ردیف اول در سطح کشور از نظر فرسایش‌پذیری سرزمین قرار دارد. پس از آن استان کرمان با سطحی معادل ۵۰۸۷۱۳۸ هکتار در رده دوم، استان خراسان جنوبی دارای پهنه‌ای برابر با ۳۲۹۹۲۶۵ هکتار (ردیف سوم)، استان سمنان در رده چهارم، استان اصفهان در ردیف پنجم، استان یزد با اختلاف کمی در رده ششم قرار دارد. رده هفتم استان خراسان رضوی، استان‌های رده‌های بعدی به ترتیب خوزستان (رده هشتم)، هرمزگان در رده نهم، استان فارس رده دهم به خود اختصاص داده است. استان‌های بوشهر، مرکزی، خراسان شمالی و قم در رده‌های یازدهم الی چهاردهم قرار دارد (شکل ۲).

ج) خروجی مدل GOCART

کل مساحت مناطق غبارخیز (مناطق دارای شار گردوغبار) کشور برابر ۵۶۷۲۰۴۲۰ هکتار می‌باشد. مقدار غبارخیزی ناشی از این سطح در کل کشور برابر ۵۰۳۹۴۱۷ تن در سال و غبار خیزی ویژه آن برابر ۰/۰۸۸۸۴۷ تن در هکتار-سال (۸۸/۸۴۷ کیلوگرم درهکتار-سال) برآورد گردیده است. دامنه شار گردوغبار استان‌های کرمان، سیستان و بلوچستان، اصفهان، بوشهر، خوزستان، سمنان، هرمزگان، تهران، خراسان رضوی، خراسان شمالی، ایلام، فارس، قم، مرکزی و یزد از حداقل ۰/۰۵ تا حداکثر ۲/۷ میکروگرم برمترمربع در ثانیه و برای استان‌های آذربایجان شرقی، البرز، چهارمحال و بختیاری، قزوین و همدان ۰/۰۵ تا حداکثر ۰/۱۴۶ میکروگرم بر مترمربع-ثانیه، در استان آذربایجان غربی در دامنه ۰/۰۳۵-۰/۰۴۵ میکروگرم برمترمربع-ثانیه و برای استان گلستان ۰/۱۰۹-۰/۰۱۵ میکروگرم برمترمربع-ثانیه نوسان دارد (شکل ۳).

نتیجه گیری

نکته حائز اهمیت در بررسی و مقایسه بصری نقشه‌های حاصل از این سه روش برآورد آن است که روش اول (مدل IRIFR) متکی بر مدلی تجربی و ساده کیفی-کمی است که با نظر کارشناسی و امتیازدهی در عرصه مقدار کمی را مشخص می‌نماید. در این خصوص باید توجه داشت که نقشه خروجی این روش برآورد، بر اساس مشاهدات عینی و میدانی کارشناسان استان‌های مختلف و تفکیک بازدیدی و چشمی با استفاده از تصاویر Google Earth و امتیازدهی صحرایی بود. مساحت برآوردی از پهنه‌های تحت تاثیر فرسایش بادی و کانونهای آن نیز از دو روش دیگر کمتر و در حدود ۲۰ میلیون هکتار است. بر اساس مدل IRIFR، پتانسیل فرسایش بادی در ۱۹ استان کشور به‌طور میانگین ۱۵۱۵ تن در کیلومترمربع در سال برآورد شد که منجر به تولید سالانه حدود ۰/۳ میلیارد تن رسوب می‌شود. سهم اراضی غیرزراعی در این فرسایش با ۹۰/۵۸ درصد از مساحت تحت تأثیر، بسیار قابل توجه بود.

نتایج مدل AUSLEM و پهنه‌بندی عرصه‌ها در آن متکی بر ابزارهای سنجش از دور و اطلاعات جغرافیایی با درجه وضوح یک در یک کیلومترمربع است که پیشینه اطلاعات محیطی سه سازمان منابع طبیعی آبخیزداری، سازمان محیط زیست و سازمان زمین شناسی را در داده‌های ورودی خود دارد. بدین لحاظ وسعت عرصه‌های دارای فرسایش پذیری سرزمین به حدود ۳۰ میلیون هکتار می‌رسد. هرچند این روش نتایج کیفی تفکیک کلاس‌های فرسایش‌پذیری سرزمین به عنوان شاخصی برای شناخت مناطق مستعد فرسایش بادی و گردوغبار را به همراه دارد، لیکن از نظر بصری موقعیت و پراکنش و سطح کلاس‌های آن دارای انطباق نسبی با مدل IRIFR است. در این خصوص بیش از ۱۸ درصد از عرصه‌های مطالعاتی (حدود ۵/۴ میلیون هکتار) دارای فرسایش‌پذیری شدید است که منطبق با عرصه پهنه‌ها و تپه‌های شنی کشور است و استان‌های سیستان و بلوچستان، کرمان و خراسان جنوبی به‌عنوان کانون‌های اصلی مستعد فرسایش بادی و غبارخیزی شناسایی شده است.

مدل مبتنی بر فرایند GOCART مقادیر گسیل سالانه گردوغبار را حدود ۵ میلیون تن و غبارخیزی ویژه را ۸۹ کیلوگرم درهکتاردرسال برآورد نمود. درجه وضوح این روش پنج در پنج کیلومترمربع است. وسعت بالغ بر ۵۶ میلیون هکتاری عرصه‌های غبارخیز که دارای اختلاف با مدل فرسایش‌پذیری سرزمین است را می‌توان به تضرس حاشیه‌های آن ارتباط داد. از سوی دیگر، این مدل مبتنی بر فرایندهای فیزیکی، علاوه بر فرسایش‌پذیری سرزمین، عامل فرسایش‌زایی باد را در برآورد گسیل غبار لحاظ نموده است. انطباق بصری مناطق گسیل غبار با مناطق دارای فرسایش‌پذیری سرزمین و مناطق تحت تاثیر و کانونهای بحرانی قابل توجه است. این نتایج، حاکی از گستردگی و شدت قابل توجه پدیده‌های فرسایش بادی و غبار در ایران است و لزوم توجه

فوری به مدیریت یکپارچه و اجرای برنامه‌های مقابله‌ای در سطح ملی، به‌ویژه در کانون‌های بحرانی شناسایی شده، را آشکار می‌سازد.

تشکر و قدردانی

در این مقاله از اطلاعات دو طرح ملی استفاده شده است. طرح اول که تحت عنوان "مطالعات تعیین میزان کمی فرسایش و رسوب بادی در مناطق تحت تاثیر و کانون‌های بحرانی فرسایش بادی در کشور" و "مطالعات منشاء‌یابی داخلی فرسایش بادی، توفانهای ماسه و گرد و غبار کشور (خلاصه گزارش کشوری)" بهره برداری شده است. لازم و شایسته است تا از همکاران طرح مطالعات منشاء دانشگاه یزد آقایان دکتر احد ستوده، دکتر محمدحسین مختاری، دکتر وحید موسوی و اعضاء هیئت علمی پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو آقایان دکتر مهدی رهنما، دکتر ابراهیم فتاحی، دکتر عباس رنجبر و خانمها دکتر ساویز صحت و دکتر سارا کرمی تشکر و امتنان خود را ابراز دارم.

منابع

- علی محمد طهماسبی بیرگانی، فرهاد سرداری. (۱۳۸۹). طرح بازنگری کانونهای بحرانی فرسایش بادی؛ راهبردی مناسب برای مقابله با فرسایش بادی درچشم انداز بیست ساله کشور. دومین همایش ملی فرسایش بادی و طوفانهای گرد و غبار.
- Hamzeh, N. A. (۲۰۲۲). Analyses of a lake dust source in the middle east through models performance. *Remote Sensing*. ۲۱۴۵. (۹)۱۴. , <https://doi.org/10.3390/rs14092145>.
- Kamal, A. L. (۲۰۲۲). Decadal change of spring dust activity in western iran and its mechanism. *Frontiers in Environmental Science*. ۱۰ ,
- Mahmoudi, L. and Ikegaya, N. (۲۰۲۲). Present situations of dust storms in iran for seeking numerical predictions. *Proceedings of International Exchange and Innovation Conference on Engineering & Sciences (Ieices)*. ۸۳۵۴-۳۵۹. , <https://doi.org/10.5109/59091>.
- Moradi, A., Honarjoo, N & .Besalatpour, A. (۲۰۲۲). Variability of airborne dust fallout and associated trace metals around industrial sites in esfahan, iran. *Clean - Soil Air Water*. (۱)۵۱. , <https://doi.org/10.1002/clen.202200327>.
- Shahabi, H., Safarrad, T., Hashim, M & .Al-Ansari, N. (۲۰۲۳). Satellite-synoptic monitoring of dominant dust entering western iran. *Journal of Sensors*. (۱)۲۰۲۳. , <https://doi.org/10.1155/2023/3069921>.

سازمان حفاظت محیط‌زیست. (۱۳۹۸). *مطالعات منشاء یابی داخلی فرسایش بادی، توفانهای ماسه و گردوغبار کشور (خلاصه گزارش کشوری)*. ستاد ملی سیاستگذاری مقابله با پدیده گردوغبار.

عظیم زاده. (۱۳۹۴). *مطالعات تعیین میزان کمی فرسایش و رسوب بادی در مناطق تحت تاثیر و کانونهای بحرانی فرسایش بادی در کشور (جلد بیستم- ایران)*. سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور.

A Quantitative Assessment of Wind Erosion and Dust Emissions in Iran

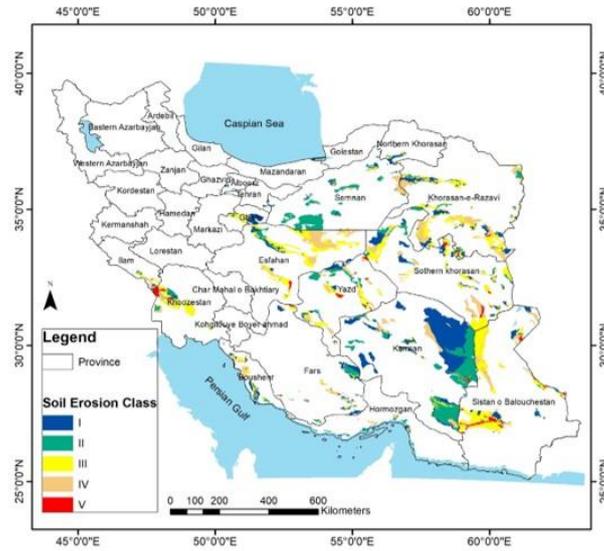
H.R. Azimzadeh^{1*} Ali Mohamad Tahmasebi Birgani²

¹ Environmental Sciences Department, Natural Resources and Desert Studies Faculty, Yazd University- * hazimzadeh@yazd.ac.ir

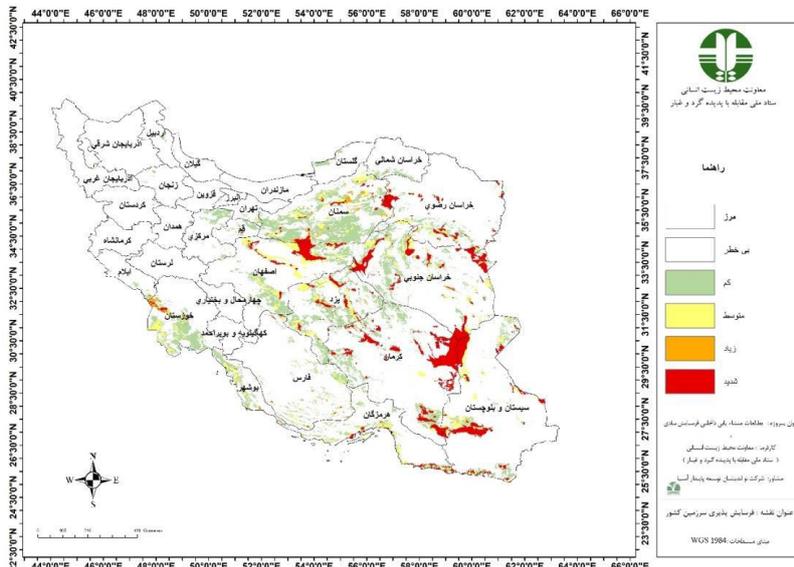
² Advisor to the Head of the DoE and Officer in Charge of Monitoring and Assessment of National Environmental Hazard and Damages

Abstract: This study aimed to quantitatively estimate the wind erosion and dust emission potential in Iran. Three models were employed to achieve these objectives: the IRIFR model for the quantitative estimation of wind erosion, AUSLEM model for zoning land susceptibility to erosion, and GOCART model for estimating the vertical dust flux. The required data were gathered from various sources, including field operations, satellite imagery, and atmospheric data, and were processed in ArcGIS and MATLAB. The results of the IRIFR model indicated an average wind erosion potential of 1,515 tons per square kilometer annually in 19 provinces, leading to the production of approximately 0.3 million tons of sediment per year. Based on the AUSLEM model, approximately 5.4 million hectares of the country's land were identified as having severe erodibility, with the provinces of Sistan-Baluchestan, Kerman, and South Khorasan introduced as the primary dust emission hotspots. The GOCART model estimated annual dust emissions to be approximately 5 million tons. Overall, the findings reveal the considerable extent and intensity of wind erosion and dust phenomena in Iran, underscoring the critical need for integrated management and implementation of national mitigation programs, particularly in the identified critical regions.

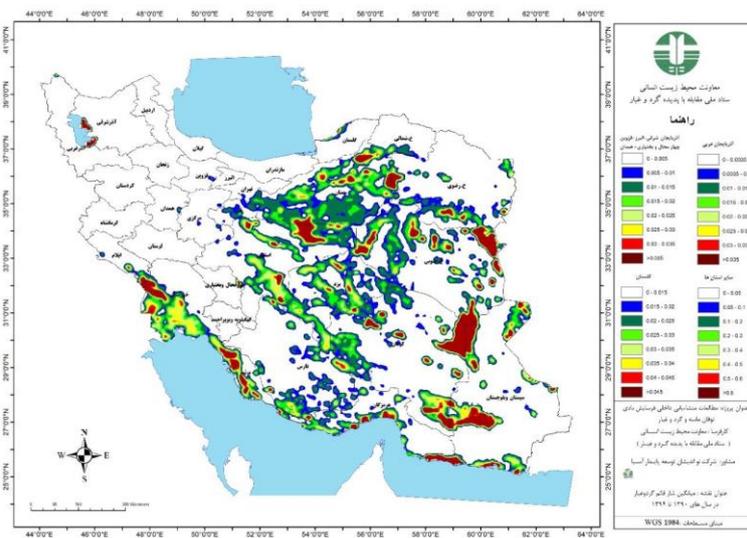
Keywords: AUSLEM, Dust Emission, GOCART, IRIFR, Wind Erosion.



شکل ۱: نقشه کلاس‌های فرسایش بادی کشور به روش RIFR



شکل ۲: پهنه بندی فرسایش پذیری سرزمین کشور (میانگین ۱۳۹۶-۱۳۹۲)



شکل ۳: میانگین شار قائم گردوغبار ($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \text{ s})$) در سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۴