

## **The Potential of Remote Sensing Data in Mapping of Wind Erosion in Isfahan Province Using the IRIFR Model**

M. Abedi<sup>1</sup>, R. Jafari<sup>2\*</sup>

1. MSc of Combating Desertification, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
2. Associate Professor, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

\* Corresponding Author: reza.jafari@iut.ac.ir

Received date: 08/09/2020

Accepted date: 15/11/2020

 [10.22034/JDMAL.2021.244522](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2021.244522)

### **Abstract**

Wind erosion and its control has always been one of the important topics in arid regions. Therefore, this study aimed to assess the potential of remote sensing data in mapping this phenomenon based on the wind erosion indicators of IRIFR model in Isfahan province. For this purpose, different parameters including land topography, wind speed, desert pavement, vegetation cover, soil moisture, aeolian sediments, land use and land management were extracted from MODIS, Landsat and SRTM space shuttle, and combined using fuzzy logic. Then, the accuracy of produced map was assessed with 200 random points and error matrix against field-based wind erosion map which was obtained from IRIFR model. Results showed that wind erosion is more dominant in Naein, Aran and Bidgol, Ardestan and Isfahan counties. According to the produced wind erosion map, 26.3% of the study area was classified as low, 56.9% as moderate, 11.8% as high and 5% as very high. The overall accuracy of more than 73% between produced and field-based maps indicated the high performance of remote sensing data in mapping of wind erosion. Therefore, due to many advantages of these data, the presented method can be used to map and report wind erosion condition at different spatial and temporal scales.

**Keywords:** Arid Lands management; Fuzzy logic; Landsat; MODIS; Satellite imagery



## ارزیابی قابلیت داده‌های سنجش از دور در تهیه نقشه فرسایش بادی استان اصفهان با استفاده از مدل IRIFR

مائده عابدی<sup>۱</sup>، رضا جعفری<sup>۲\*</sup>

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد بیابان زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۲. دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

\* نویسنده مسئول: [reza.jafari@iut.ac.ir](mailto:reza.jafari@iut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۲۵

 [10.22034/JDMAL.2021.244522](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2021.244522)

### چکیده

فرسایش بادی و مدیریت آن همواره یکی از مباحث مهم مناطق خشک بوده است. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی قابلیت داده‌های سنجش از دور در پهنه‌بندی این فرآیند بر اساس عوامل فرسایش بادی مدل IRIFR در استان پهناور اصفهان انجام شد. به این منظور عامل‌های مختلف شامل پستی و بلندی زمین، سرعت باد، دشت ریگی، پوشش گیاهی، رطوبت خاک، پراکنش نهشته‌های بادی، کاربری و مدیریت اراضی از تصاویر ماهواره ای مودیس، لندست و مدل رقومی ارتفاع شاتل فضایی استخراج و با استفاده از منطق فازی تلفیق شد. سپس، صحت نقشه فرسایش بادی به‌دست آمده توسط نقشه فرسایش بادی موجود با استفاده از ۲۰۰ نقطه تصادفی و ماتریس خطا ارزیابی شد. نتایج نشان داد که فرسایش بادی، بیشتر در شهرستان‌های نایین، آران و بیدگل، اردستان و اصفهان غالب است. مطابق نقشه فرسایش بادی تولیدشده در این پژوهش، کلاس های کم ۲۶/۳٪، متوسط ۵۶/۹٪، زیاد ۱۱/۸٪ و خیلی زیاد ۵٪ از سطح منطقه مطالعاتی را تشکیل داده است. صحت کلی ۷۳٪ نقشه تولیدشده و نقشه زمینی موجود در منطقه مطالعاتی، مبین کارایی مناسب داده‌های سنجش از دور در پهنه بندی فرسایش بادی است. بنابراین، با توجه به مزایای فراوان این داده‌ها می‌توان از روش ارائه شده برای پهنه‌بندی و گزارش دهی وضعیت فرسایش بادی در مقیاس‌های مختلف مکانی و زمانی در بخش‌های اجرایی استفاده کرد.

**واژگان کلیدی:** تصاویر ماهواره‌ای؛ لندست؛ مدیریت بیابان؛ منطق فازی؛ مودیس

## ■ مقدمه

جابجایی ذرات خاک از نقطه‌ای به نقطه دیگر توسط نیروی باد فرسایش بادی نامیده می‌شود (۱). حرکت خاک توسط باد پدیده پیچیده‌ای است که در تأثیر شرایط آب و هوایی، ژئومورفولوژی و دیگر سازه‌ها (عوامل) قرار دارد. در واقع تخریب و حمل در اثر فرسایش بادی ناشی از واکنش‌های متقابل چندین سازه است که برخی در جهت حرکت خاک و برخی در پایداری آن مؤثرند. لازمه فرسایش بادی جدا بودن ذرات خاک است و به محض آن که این وضعیت به وجود آمد باد قادر خواهد بود ذرات خاک را بلند کرده و به حرکت در آورد. به طور کلی خاک‌های مناطق خشک در مقابل عوامل فرساینده به دلیل کمبود مواد آلی و کلوئیدی آسیب‌پذیرند (۴۷). فرسایش بادی و ایجاد گرد و غبار تأثیرهای متعددی بر محیط‌زیست گیاهی، جانوری، انسانی و همچنین از نظر اقتصادی موجب ایجاد خسارت به تأسیسات زیربنایی، بزرگراه‌ها، راه‌آهن، انتقال برق و غیره می‌شود (۲۹). به‌طور مثال، ارزیابی خسارت‌های فرسایش بادی و توفان‌های گرد و غبار در منطقه سیستان در حدود ۱۲۴ میلیون دلار آمریکا بین سالهای ۲۰۰۰-۲۰۰۵ در این منطقه بوده است (۳۰).

بخش وسیعی از کشور ایران را مناطق فراخشک، خشک و نیمه خشک در بر گرفته که به دلیل شرایط خاص محیطی از جمله کمبود بارندگی، تراکم محدود پوشش گیاهی و غیره زمینه را برای وقوع فرسایش بادی مساعد می‌سازد. هر چند فرسایش بادی به دلیل گستره وسیع فعالیت نسبت به فرسایش آبی از عملکرد تخریبی کمتری برخوردار است، اما به علت تداوم و وسعت فرساینده‌گی در زمان و مکان، بیان جابجایی توسط این نوع فرسایش در مناطق خشک به مراتب بیشتر از فرسایش آبی می‌باشد و به همین ترتیب خسارت‌های وارده به منابع اقتصادی در این مناطق چشمگیرتر است (۷). ارزیابی این نوع فرسایش و برآورد مقدار خاکی که تحت تأثیر آن از بین می‌رود و نیز مقایسه مناطق مختلف از این جنبه، مستلزم نصب ایستگاه‌های اندازه‌گیری مستقیم و تجهیزات آن‌ها نظیر تله‌های رسوب‌گیر

می‌باشد ولی احداث و تجهیز این تعداد ایستگاه و فراهم آوردن وسایل مورد نیاز آن‌ها، نیازمند صرف هزینه زیاد و زمان طولانی است. از آنجا که محدودیت امکانات مانع از تحقق این امر شده است، لذا تا زمان دستیابی به این امکانات، می‌توان از روش‌های تجربی استفاده کرد. تاکنون روش‌های و مدل‌های بسیاری به منظور برآورد مقدار فرسایش بادی ابداع و ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به WEQ<sup>1</sup>، RWEQ<sup>2</sup> و WEPS<sup>3</sup> اشاره کرد (۱۷). از آنجا که هر کدام از این روش‌ها در شرایط اقلیمی و محیطی خاص ارائه شده و دارای معایبی نیز می‌باشد، بنابراین استفاده از آن‌ها در کلیه مناطق بیابانی جهان پیشنهاد نمی‌شود. لذا احمدی و اختصاصی (۱۳۷۶) مدل تجربی اریفر<sup>۴</sup> را تدوین و ارائه نمودند (۱۲). در این روش ۹ عامل مؤثر در رسوب‌دهی فرسایش بادی شامل سنگ‌شناسی، شکل اراضی و پستی و بلندی، سرعت و وضعیت باد، خاک و پوشش سطح آن، پوشش گیاهی، اشکال فرسایشی و رطوبت خاک، پراکنش نهشته‌های بادی و مدیریت و استفاده از زمین مورد بررسی و امتیازدهی قرار گرفته و در پایان رسوب‌دهی ناشی از فرسایش بادی برای هر یک از واحدهای همگن کاری، و کل منطقه برآورد می‌شود. این روش با تکیه بر داده‌های زمینی در مطالعات فراوانی از جمله در مناطق رفسنجان (۲۲)، سیستان (۳۴)، سبزوار (۳۹)، سراوان (۳۷) و سمنان (۲) بمنظور ارزیابی شدت فرسایش بادی مورد استفاده واقع شده و کارایی آن مورد تایید قرار گرفته است.

ایران بالغ بر ۲/۴٪ از مجموع کل بیابان‌های جهان را در خود جای داده و از ۳۱ استان کشور ۱۷ استان آن دارای مناطق بیابانی است. ۱۰٪ از بیابان‌های ایران با مساحتی حدود ۲۹۷۹۶۹۷ ha در استان اصفهان قرار گرفته است. بخش‌های بیابانی این استان بیشتر در شهرستان‌های کاشان، اردستان، آران و بیدگل، نطنز، برخوار، نایین، خوروبیابانک و اصفهان مستقر است. در کل استان اصفهان ۱۶ کانون بحرانی فرسایش بادی وجود

1 Wind Erosion Equation

2 Revised Wind Erosion Equation

3 Wind Erosion Prediction System

4 Iran Research Institute of Forests and Rangelands, IRIFR

استان اصفهان، استانی در میانه‌ی ایران با مرکزیت شهر اصفهان می‌باشد. این استان با مساحتی حدود  $107019 \text{ km}^2$  بین عرض جغرافیایی  $30^\circ 42'$  تا  $34^\circ 27'$  شمالی و طول جغرافیایی  $49^\circ 38'$  تا  $55^\circ 32'$  شرقی قرار دارد (شکل ۱). استان اصفهان به طور کلی از مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور محسوب می‌شود. از یک طرف وجود رشته کوه‌های زاگرس در قسمت غرب استان مانع نفوذ رطوبت به نواحی مرکزی و شرق استان شده و از طرف دیگر وجود نواحی پست و کویری شرق استان، هوای بخش وسیعی از آن را تحت تأثیر خود قرار داده است. براساس تقسیم‌بندی اقلیم‌های رویشی پابو، استان اصفهان در فلور ایرانی- تورانی واقع شده است و دارای پنج زیر منطقه رویشی می‌باشد که ۴۷٪ از مساحت استان را مناطق نیمه بیابانی، ۳۶٪ استپی، ۲/۱۳٪ نیمه استپی، ۳٪ کوه‌های مرتفع و ۰/۵٪ را جنگل‌های خشک فرا گرفته است (۴۴). سنگ‌های و موارد زمینی موجود در استان به قدیمی‌ترین تشکیلات زمین‌شناسی از دوره پرکامبرین تا دوره کواترن اختصاص دارد. در شرق، جنوب‌شرق، شمال شرق و شمال استان اصفهان رسوبات اشباعی مختلف دوره کواترن مانند گچ، آهک و نمک دیده می‌شود.

#### داده‌های ماهواره‌ای و اقلیمی

در پژوهش حاضر از تولیدات تصاویر ماهواره‌ای مودیس<sup>۱</sup> شامل شاخص گیاهی  $EVI^2$  با قدرت تفکیک مکانی یک کیلومتر و زمانی ۱۶ روزه با کد MOD13A2 و همچنین دمای سطح زمین<sup>۳</sup> با قدرت تفکیک زمانی ۸ روزه و مکانی یک km با کد MOD11A2 استفاده شده است که از وبگاه ناسا<sup>۴</sup> بارگیری شد (۳۲). به دلیل عدم کیفیت تصاویر، ابری بودن در بعضی از ماه‌های سال و کنتراست بهتر مناطق بیابانی در دو فصل بهار و تابستان، از تصاویر ۹ می تا ۸ اکتبر سال ۱۳۸۲ استفاده شد. علت انتخاب سال ۱۳۸۲ بخاطر همزمانی این داده‌ها با نقشه کاربری و پوشش اراضی موجود و همچنین نقشه موجود فرسایش بادی مستخرج از مدل اریفر بوده است.

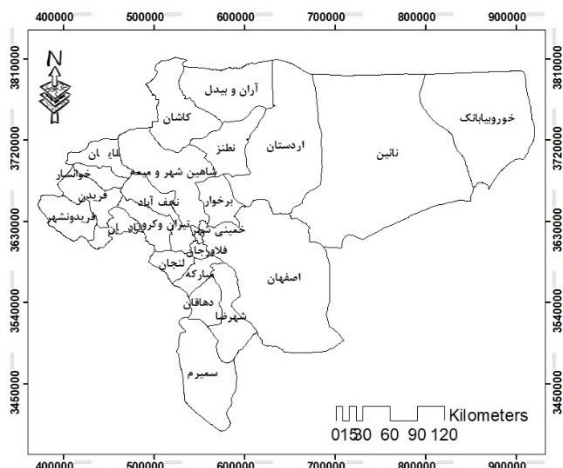
دارد که یک میلیون و ۹۰۰۰۰ ha وسعت آن‌ها است و در میان آن‌ها دشت سجزی در شرق اصفهان از مهم‌ترین کانون‌ها می‌باشد (۵). با توجه به وسعت زیاد بیابان‌های کشور از جمله استان اصفهان، استفاده از روش‌های میدانی برای ارزیابی فرسایش بادی با محدودیت‌هایی مواجه است. فن‌آوری سنجش از دور به دلیل وسعت منطقه‌ای که مورد پایش قرار می‌دهد و اقتصادی بودن همواره به عنوان یکی از کارآمدترین روش‌ها در مطالعه پدیده‌های مختلف منابع طبیعی مد نظر محققان بوده است (۲۸). داده‌های سنجش از دور می‌تواند برای برآورد بسیاری از متغیرهای روش اریفر مورد استفاده قرار گیرد. به‌طور مثال، متغیرهای پستی و بلندی (۲۶)، پوشش گیاهی (۴۵)، رطوبت خاک (۱۰)، پراکنش نهشته‌های بادی (۲۳) و مدیریت و استفاده از زمین (۹) از داده‌های سنجندگی مختلف استخراج و برای ارزیابی وضعیت اراضی مورد استفاده واقع شده است.

با توسعه فن‌آوری‌های ماهواره‌ای و علوم رایانه‌ای، سنجش از دور می‌تواند نقش مهمی در مطالعه پدیده فرسایش بادی ایفا نماید. اگر چه برخی از مطالعات پیشین به تهیه نقشه فرسایش بادی توسط مدل اریفر از طریق تهیه نقشه پارامترهای مختلف در سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور پرداخته‌اند (۲۰، ۱۳)، اما تاکنون بررسی در خصوص تهیه نقشه عوامل فرسایش بادی همه اجزای مدل اریفر توسط سنجش از دور و ارائه نقشه فرسایش با تلفیق عوامل مذکور صورت نگرفته است. لذا، پژوهش حاضر با هدف کلی بررسی قابلیت داده‌های سنجش از دور در تهیه نقشه فرسایش بادی استان اصفهان به روش اریفر انجام شده است. اهداف جزئی پژوهش عبارتند از: ۱) استخراج و ارزیابی هر یک از پارامترهای روش اریفر با استفاده از داده‌های سنجش از دور و ۲) صحت سنجی نقشه تهیه شده از داده‌های سنجش از دور با استفاده از نقشه فرسایش بادی موجود که بر اساس داده‌های زمینی و مدل اریفر حاصل شده است.

#### ■ مواد و روش‌ها

##### منطقه مورد مطالعه

1 Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS  
2 Enhanced Vegetation Index  
3 Land Surface Temperature, LST  
4 National Aeronautics and Space Administration, NASA



شکل ۱. موقعیت استان اصفهان در ایران و شهرستان های آن

**پهنه بندی عوامل فرسایش بادی**

با توجه به اینکه هدف پژوهش حاضر تهیه نقشه فرسایش بادی مدل اریفر بر اساس داده های سنجش از دور بوده است، برای برآورد همه عوامل های مدل (به غیر از عامل آثار فرسایشی سطح خاک به علت عدم امکان استخراج آن) از داده های سنجش از دور ماهواره ای بهره گیری شد. همچنین عامل سنگ شناسی به علت آن که به گونه ای با عوامل خاک و پوشش سطح آن و پراکنش نهشته های بادی مستخرج از داده های سنجش از دور هم پوشانی دارد در پژوهش حاضر مورد استفاده واقع نشده است. عامل پستی و بلندی با کمک تصاویر مدل رقومی ارتفاع ۹۰ متری توپوگرافی SRTM<sup>6</sup> بدست آمد (۳۳). خاک و پوشش سطح آن که عامل موثر بر آن مقدار سنگریزه سطح زمین می باشد از نقشه رخساره های فرسایشی که با استفاده از تصاویر ماهواره IRS<sup>7</sup>-P6 مربوط به سنجنده LISSIII حاصل شده بود، استخراج شد (۱۶). پوشش گیاهی یکی از عوامل بازدارنده فرسایش بادی است که برای تهیه آن شاخص گیاهی EVI محاسبه شد. رطوبت خاک از طریق محاسبه شاخص گیاهی خشکی - دمایی<sup>۸</sup> یا شاخص رطوبت سطح زمین و با تلفیق شاخص گیاهی EVI و LST برآورد شد (۳۸). عامل پراکنش نهشته های بادی از طریق محاسبه شاخص رسوبات بادی با استفاده از رابطه ۱ به دست آمد (۱۹).

**داده های ماهواره ای و اقلیمی**

در پژوهش حاضر از تولیدات تصاویر ماهواره ای مودیس<sup>۱</sup> شامل شاخص گیاهی EVI<sup>۲</sup> با قدرت تفکیک مکانی یک کیلومتر و زمانی ۱۶ روزه با کد MOD13A2 و همچنین دمای سطح زمین<sup>۳</sup> با قدرت تفکیک زمانی ۸ روزه و مکانی یک km با کد MOD11A2 استفاده شده است که از وبگاه ناسا<sup>۴</sup> بارگیری شد (۳۲). به دلیل عدم کیفیت تصاویر، ابری بودن در بعضی از ماه های سال و کنتراست بهتر مناطق بیابانی در دو فصل بهار و تابستان، از تصاویر ۹ می تا ۸ اکتبر سال ۲۰۰۳ استفاده شد. علت انتخاب سال ۱۳۸۲ بخاطر همزمانی این داده ها با نقشه کاربری و پوشش اراضی موجود و همچنین نقشه موجود فرسایش بادی مستخرج از مدل اریفر بوده است. از موزاییک ۹ تصویر ماهواره ای لندست ۵ سنجنده TM<sup>۵</sup> نیز برای محاسبه شاخص رسوبات ماسه ای مدل فرسایش بادی اریفر استفاده شد (۱۹). در مدل اریفر، سرعت باد به عنوان تنها متغیر اقلیمی از عوامل موثر در ایجاد فرسایش بادی است (۵). برای محاسبه آن داده های ۲۹ ایستگاه هواشناسی استان اصفهان و استان های مجاور در دوره مطالعاتی تهیه و برای تولید نقشه سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه و تبدیل عوارض نقطه ای به رستر از روش کریجینگ معمولی بهره گیری شد.

6 Shuttle Radar Topography Mission  
7 Indian Remote Sensing  
8 Temperature Vegetation Dryness Index, TVDI

1 Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS  
2 Enhanced Vegetation Index  
3 Land Surface Temperature, LST  
4 National Aeronautics and Space Administration, NASA  
5 Thematic Mapper

ترکیب گردیدند. صحت سنجی نقشه فرسایش بادی حاصله، با استفاده از نقشه موجود فرسایش بادی استان اصفهان تهیه شده توسط مدل اریفر صورت گرفت (۱۶). با توجه به اینکه نقشه موجود استان بر اساس داده‌های میدانی تهیه شده بود، لذا پژوهش حاضر از آن به‌عنوان داده زمینی برای ارزیابی صحت بهره‌گرفته است. لازم به ذکر است که نقشه موجود فرسایش بادی حاصل چندین ماه کار میدانی انجام شده در طرح "شناسایی و پهنه بندی مناطق حساس به بحران بیابان زایی استان اصفهان" بخشی از طرح "طرح جامع مدیریت بحران استان اصفهان" به شماره ۲۰/۴۴/۱۷۷۱۲۴ بوده است. در پژوهش حاضر با انتخاب ۲۰۰ نقطه مشترک تصادفی بین دو نقشه مذکور صحت نقشه تولیدی به کمک ماتریس خطا بررسی شد. برای تهیه این نقاط از عملگر ایجاد نقاط تصادفی Random points در محیط GIS استفاده شد که کاملاً مطابق اصول آماری می باشد. بطوریکه این نقاط تصادفی بر اساس وسعت طبقه های فرسایش بادی در این نرم افزار در نظر گرفته شده و بطور تصادفی ایجاد می گردند. به عبارت دیگر طبقه‌های دارای وسعت بیشتر نقاط تصادفی بیشتری را هم شامل می گردند. در شکل ۲ (خ) که پراکنش این نقاط را نشان می‌دهد و همچنین جدول شماره ۲ این موضوع کاملاً مشهود است. ضمن اینکه معمولاً اگر نقاط مورد ارزیابی ۵۰ برابر تعداد طبقه ها باشد (۴×۵۰=۲۰۰)، ارزیابی صحت با اطمینان زیاد می‌تواند انجام شود (۲۷).

$$SaDI = \frac{SWIR - R}{TIR} \quad (1)$$

که در این معادله، SaDI: شاخص رسوبات ماسه‌ای، SWIR<sup>۱</sup>: دامنه طیفی مادون قرمز میانی باند هفت سنجنده TM، R<sup>۲</sup>: دامنه طیفی قرمز (باند سه سنجنده TM)، TIR<sup>۳</sup>: دامنه طیفی مادون قرمز حرارتی باند شش سنجنده TM می باشد. عامل مدیریت و استفاده از زمین نیز از نقشه کاربری و پوشش اراضی موجود استان اصفهان که از تصاویر سنجنده TM استخراج شده است امتیازدهی و تهیه شد (۴۲).

با توجه به اینکه به هر یک از عوامل فرسایشی موجود در مدل اریفر امتیازی بین ۵- تا ۱۵ تعلق می‌گیرد. در پژوهش حاضر امتیاز عوامل بین صفر تا ۱ از طریق منطق فازی داده شده است (جدول ۱).

#### استانداردسازی عوامل و صحت سنجی

به منظور مقایسه و تلفیق متغیرهای مختلف فرسایش بادی مدل اریفر، نقشه‌های هر یک از عامل‌های تهیه شده در پژوهش حاضر به اندازه پیکسل یک km تبدیل شدند و با کمک عضویت فازی در محیط سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی برحسب هدف و نوع نقشه به صورت افزایشی و یا کاهشی نرمال و مقادیر بین صفر تا یک قرار گرفتند. به طوری که افزایش مقادیر از صفر به سمت یک نشان‌دهنده‌ی دارا بودن شرایط برای ایجاد فرسایش بادی می باشد. در نهایت عوامل فازی شده با یکدیگر به روش همپوشانی فازی<sup>۴</sup> و تابع Gamma با مقدار ۰/۷ با یکدیگر

جدول ۱. عوامل موثر در فرسایش بادی مدل اریفر (۱۲) و معادل آنها در پژوهش حاضر

ردیف	عامل فرسایش بادی در مدل اریفر	دامنه امتیاز مدل اریفر	عامل فرسایش بادی معادل در پژوهش حاضر	دامنه امتیاز پژوهش حاضر (منطق فازی)
۱	شکل اراضی و پستی و بلندی	۰ - ۱۰	SRTM مستخرج از شاتل فضایی	۰ - ۱
۲	سرعت و وضعیت بادها	۰ - ۲۰	نقشه میانمایی شده سرعت باد	۰ - ۱
۳	خاک و پوشش سطح آن	۰ - ۱۵	نقشه دشت ریگی مستخرج از LISSIII	۰ - ۱
۴	انبوهی پوشش گیاهی	۰ - ۱۵	شاخص گیاهی مودیس EVI	۰ - ۱
۵	رطوبت خاک	۰ - ۱۰	شاخص رطوبت خاک مودیس TVDI	۰ - ۱
۶	نوع و پراکنش نهشته های بادی	۰ - ۱۰	شاخص رسوبات بادی لندست SaDI	۰ - ۱
۷	مدیریت و استفاده از زمین	۰ - ۱۵	نقشه کاربری و پوشش اراضی لندست TM	۰ - ۱

- 1 Short Wave Infrared
- 2 Red
- 3 Thermal Infrared
- 4 Fuzzy overlay

## نتایج و بحث

توزیع مکانی شش عامل فرسایش بادی مدل اریفر از داده های سنجش از دور استخراج شد (شکل ۲). در این شکل عامل هفتم یعنی سرعت باد از روش میانبایی داده های نقطه ای در ایستگاه های هواشناسی به دست آمده است.

شیب یکی از عامل های مؤثر در کنترل فرسایش بادی می باشد. با افزایش پستی و بلندی و در نتیجه شیب زمین، سرعت باد و قدرت فرسایش آن کاهش می یابد (۱۲). شیب های آفتاب گیر معمولاً نسبت به سایه گیر فرسایش بیش تری ایجاد می کنند، زیرا شیب های آفتاب گیر نسبت به شیب های سایه گیر گرم تر بوده و تبخیر بیش تری دارند، بنابراین پوشش گیاهی کم تر است و همین طور خاک نیز از تکامل نیم رخ کمی کم تر برخوردار است (۸). علاوه بر آن در شیب های آفتاب گیر تابش شدید خورشید با تجزیه مواد آلی، هوموس را از بین می برد و در نتیجه خاک چسبندگی خود را از دست داده و مستعد فرسایش می گردد (۴). مطابق نقشه شیب (شکل ۲ الف) بیش ترین مساحت استان دارای شیب کمتر از ۲۰٪ می باشد که غالباً مناطق بیابانی را شامل می گردد و در نتیجه حساس به فرسایش بادی هستند.

فرسایش بادی بستگی به دو عامل اصلی عامل فرسایش بادی و فرسایش پذیری خاک دارد. نیروی فرسایش بادی از سرعت باد حاصل می گردد که باعث حرکت ذرات خاک و در نتیجه فرسایش می گردد. بنابراین سرعت باد یکی از مهمترین عوامل فرسایش در مناطق بیابانی می باشد (۲۴). تغییرات سرعت باد در استان اصفهان در دوره مطالعاتی مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۲ ب). سرعت باد از ۰/۶ تا ۴/۸ متر بر ثانیه متغیر است که بیش ترین آن در بخش مرکزی و کم ترین آن در قسمت های غربی و جنوبی استان قرار دارد. سرعت آستانه فرسایش بادی در دشت های ریگی به علت زبری سطح خاک و مقاومت ریگها افزایش می یابد. این دشت ها اگر چه خود نشاندهنده وقوع فرسایش بادی در منطقه هستند، اما عامل حفاظت از برداشت خاک زیرین و جلوگیری فرسایش بادی می باشند (۳۱). به طور مثال،

بررسی انجام شده در دشت سجزی اصفهان نشان می دهد که در اراضی با ریگ درشت ۲ ton/ha، متوسط ۲ ton/ha و ریز ۱۳/۲ و ۲۱/۳ ton/ha رسوب تولید می شود. به عبارت دیگر با کاهش اندازه ریگها و سطح آنها مقدار فرسایش بادی افزایش می یابد (۱۱). طبق مطالعه انجام شده در طرح شناسایی و پهنه بندی مناطق حساس به بحران بیابان زایی استان اصفهان، دشت های ریگی استان به ۴ طبقه ۰-۰/۲۵، ۰/۲۵-۰/۵۰، ۰/۵۰-۰/۷۵، ۰/۷۵-۱/۰۰ و ۱/۰۰-۱/۷۵ تقسیم بندی شد (۱۵). طبق امتیاز بندی فازی مطابق این تقسیم بندی، ارزش نقشه دشت های ریگی در پژوهش حاضر بین ۰/۲ تا ۰/۵ قرار گرفت (شکل ۲ پ) که مقدار اعداد بالاتر نشان دهنده مقدار فرسایش بادی بیشتر است (۳۱).

مانند سنگفرش یا دشت ریگی، پوشش گیاهی در یک منطقه به عنوان بازدارنده عمل کرده و باعث کاهش سرعت باد و در نتیجه کاهش حرکت ذرات می گردد (۴۳). در پژوهش حاضر به منظور نشان دادن تغییر پذیری مکانی پوشش گیاهی از شاخص گیاهی EVI با دامنه بین ۰/۴ تا ۰/۰۲- بهره گیری شد (شکل ۲ ت). به طور کلی مقدارهای این شاخص بین اعداد +۱ و -۱ در نوسان است و هر چه به عدد +۱ نزدیک شود بر مقدار پوشش گیاهی افزوده می شود. پوشش گیاهی انبوه تر در منطقه مطالعاتی به اراضی کشاورزی آبی، زراعت دیم، باغات و مراتع خوب غرب و قسمت محدودی از مرکز استان اختصاص داشت و قسمت عمده ای از استان را پوشش گیاهی کم یا اراضی فاقد پوشش گیاهی تشکیل داد. قسمت های شرقی استان پوشش گیاهی مناسب نداشته و اکثراً درگیر فرسایش بادی است و طبق مطالعات حدود ۸۰٪ پوشش گیاهی در استان اصفهان در طبقه ی زیاد و بسیار زیاد تخریب قرار دارد (۱۷). عدم وجود پوشش مناسب بر روی سطح خاک سبب فراهم شدن شرایط جهت فرسایش و بیابان زایی می گردد و به دنبال آن کانونی جهت تولید گرد و غبار ایجاد می شود (۲۱).

در صورتی که خاک منطقه مرطوب باشد هر چند سایر عوامل نیز برای ایجاد فرسایش بادی مساعد باشند، جابه جایی ذرات به آسانی صورت نخواهد پذیرفت (۲۵). نیروی پیوستگی بین مولکول های آب و ذرات خاک

فرسایش می‌کاهد، بلکه تأثیر منفی سایر عوامل را نیز کاهش می‌دهد. لذا امتیازدهی عامل مدیریت و استفاده از زمین بر اساس نقشه پوشش و کاربری اراضی استخراج شده از تصاویر لندست انجام گردید. بطور مثال، در اراضی جنگلی پرتراکم، مراتع خوب و اراضی کشاورزی حداکثر امتیاز و برعکس در اراضی لخت و فاقد پوشش گیاهی و اراضی کشاورزی رها شده حداقل امتیاز داده شد. مقادیر این عامل مطابق نقشه تهیه شده بین صفر تا ۰/۹ قرار گرفت (شکل ۲ چ). همانطوریکه مشاهده می‌گردد مناطق بیابانی در نیمه شرقی و شمالی دارای حداکثر امتیاز می‌باشند.

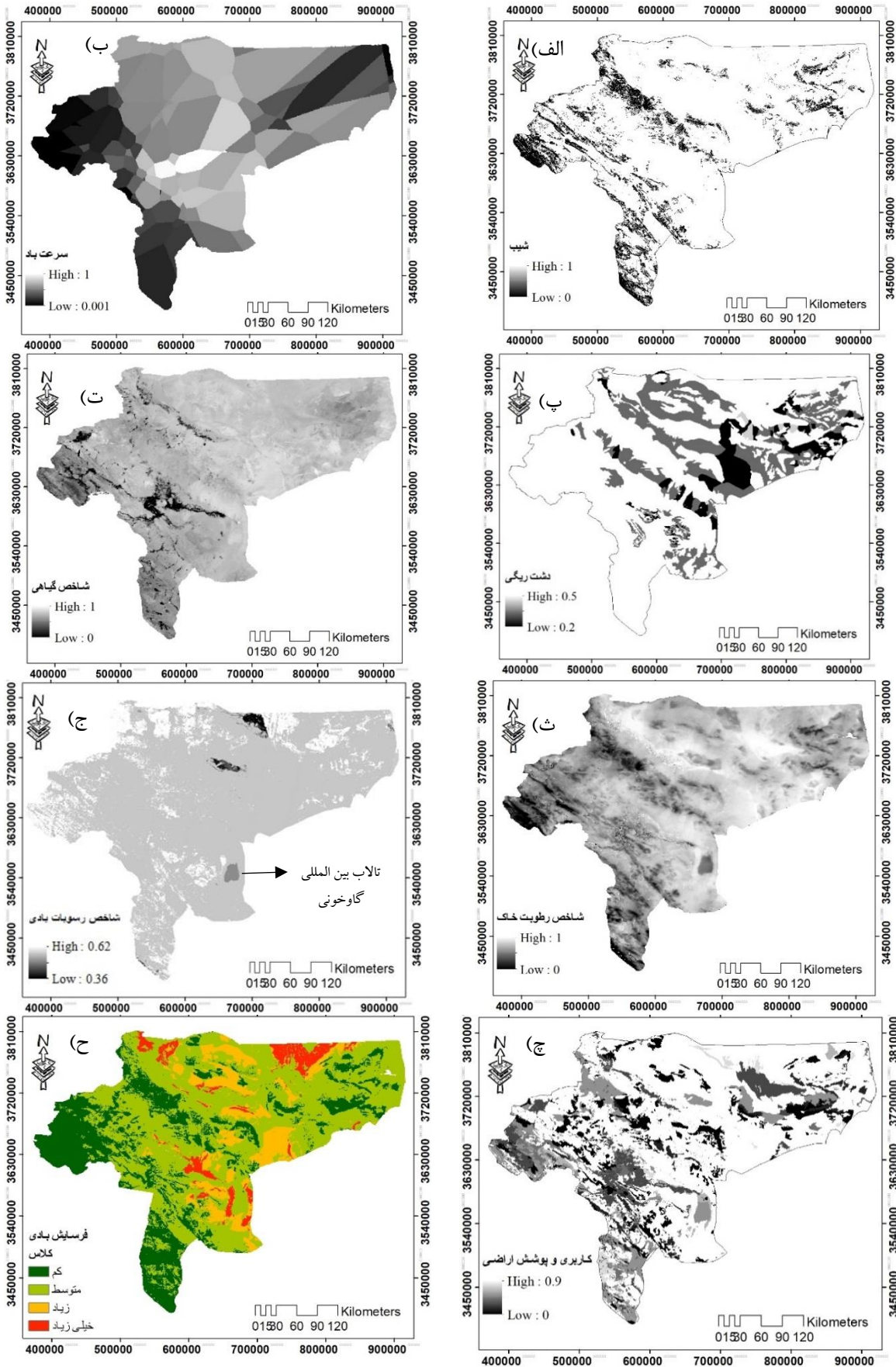
نقشه فرسایش بادی با تلفیق عامل‌های مختلف مدل اریفر مستخرج از داده‌های سنجش از دور تهیه گردید (شکل ۲ ح). مطابق این نقشه طبقه‌های کم ۰/۲۶/۳۴٪، متوسط ۰/۵۶/۹۱٪، زیاد ۰/۱۱/۷۸٪ و خیلی زیاد ۰/۴/۹۷٪ از سطح منطقه مطالعاتی را تشکیل می‌دهند. این مقادیر برای نقشه فرسایش بادی که توسط روش زمینی تهیه گردیده است برای طبقه کم ۰/۴۰/۹۵٪، متوسط ۰/۴۳/۷۶٪، زیاد ۰/۷/۳۱٪ و خیلی زیاد ۰/۷/۹۸٪ بود. همانطوری‌که ملاحظه می‌شود طبقه‌های کم و متوسط بیشترین مقدار و طبقه‌های زیاد و خیلی زیاد کمترین مقدار را به خود اختصاص داده‌اند. مطابق ماتریس خطای کمینه و بیشینه، صحت تولید کننده برابر ۰/۵۹٪ و ۰/۸۹٪ برای طبقه‌های فرسایش بادی کم و متوسط و همچنین کمینه و بیشینه صحت کاربر برابر ۰/۵۶٪ و ۰/۹۲٪ برای طبقه‌های متوسط و خیلی زیاد به دست آمد. صحت کلی و ضریب کاپای بین این دو نقشه به ترتیب حدود ۰/۷۳٪ و ۰/۶۶٪ بود که نشان از کارایی زیاد عامل‌های تهیه شده از داده‌های سنجش از دور در برآورد فرسایش بادی دارد (جدول ۲). البته در بررسی‌های دیگر به‌طور مثال در ایران (۳۶) و در کشورهای دیگر (۴۰) قابلیت تلفیق شاخص‌های سنجش از دور در شناسایی مناطق حساس به بیابان زایی و فرسایش بادی نیز مورد تایید قرار گرفته است. طبقه‌های زیاد و خیلی زیاد در مناطق با رنگ قرمز و نارنجی، بیشتر در شهرستان‌های نایین، آران بیدگل، اصفهان و اردستان مشاهده شد (شکل‌های ۲ ح و ۲ خ).

موجب چسبیدن ذرات به یکدیگر می‌شود. رطوبت خاک علاوه بر تأثیر مستقیمی که در یکپارچه سازی ذرات خاک و جلوگیری از انفصال آن‌ها دارد با اعمال نقش تعیین کننده در کاهش دمای سطح و افزایش پوشش گیاهی به طور غیر مستقیم در کاهش فرسایش بادی مؤثر است. همچنین اگر بادهای فرساینده در زمانی بوزند که زمین رطوبت کافی داشته باشد، جابه‌جایی ذرات توسط باد کمتر از فصل‌های خشک خواهد بود. در فصل‌های خشک، ذرات چسبندگی لازم برای مقاومت در مقابل جابه‌جایی را ندارند و به سهولت حرکت می‌کنند که بافت سنگ و خاک نیز اثر گذار می‌باشد. در پژوهش حاضر از طریق شاخص TVDI تغییرات مکانی رطوبت خاک محاسبه گشت (شکل ۲ ث). بیشترین مقدار رطوبت خاک در نیمه غربی استان و کمترین آن در نیمه شرقی و همچنین شمالی مشاهده شد.

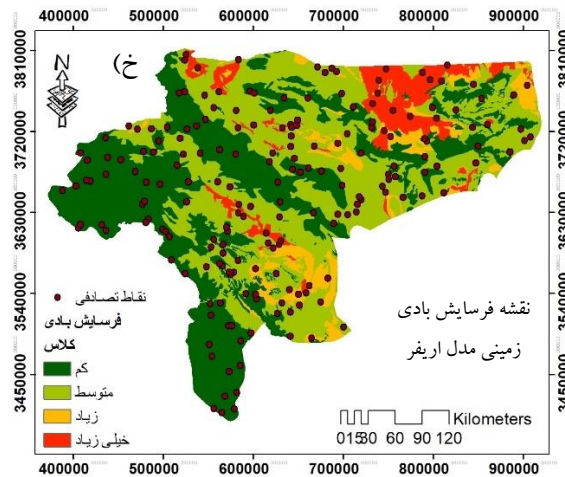
پراکنش نهشته‌های ماسه‌ای مطابق نقشه تهیه شده از شاخص SaDI در پژوهش حاضر نشان داد که در سطح استان بیشترین مقدار این رسوبات با مقدار بیش از ۰/۶ در نیمه شمالی منطقه مطالعاتی قرار دارد که توسط تپه ها و پهنه‌های ماسه‌ای پوشیده شده است (شکل ۲ ج). کمترین مقدار این شاخص در مناطق مرطوب‌تر مانند تالاب بین‌المللی گاوخونی با مقدار کمتر از ۰/۳۵ مشاهده شد. ارزیابی شاخص SaDI نشان داد که این شاخص قابلیت بهتری نسبت به شاخص‌های دیگر مانند نسبت باندی ۶/۴ دارد که در آن از نسبت باند مادون قرمز حرارتی به باند مادون قرمز انعکاسی داده‌های لندست استفاده شده است (۱۴، ۱۹). این شاخص در ارگ ورزانه کارایی زیادی را نشان داده و با داده‌های زمینی بیش از ۷۰٪ همخوانی داشت. مطابق نتایج شاخص SaDI، این شاخص نتایج بهتری نسبت به نسبت ۶/۴ در شناسایی رسوبات ماسه‌ای دارای کربنات دارد و شاید این یکی از دلایل اصلی شناسایی کوههای آهکی لخت نواحی غربی و جنوبی به‌عنوان رسوبات بادی در منطقه مطالعاتی باشد.

استفاده نادرست از اراضی از عامل‌های مهم در فرآیند فرسایش خاک است (۳۵). چنانچه بهره‌برداری اصولی و مطابق با استعداد زمین صورت گیرد، نه تنها از میزان





شکل ۲. توزیع مکانی عوامل مختلف فرسایش بادی مدل اریفر مستخرج از داده های سنجنش از دور: الف) شیب، ب) سرعت باد، پ) دشت ریگی، ت) شاخص گیاهی (EVI)، ث) شاخص رطوبت خاک (TVDI و ج) شاخص رسوبات ماسه ای (SADI چ) کاربری و پوشش اراضی، ح) توزیع مکانی عوامل مختلف فرسایش بادی مدل اریفر مستخرج از داده های سنجنش از دور



ادامه شکل ۲. خ) نقشه فرسایش بادی زمینی مدل اریفر همراه با پراکنش ۲۰۰ نقاط تصادفی که جهت ارزیابی صحت مورد استفاده قرار گرفتند.

سنجش از دور میزان بیشتری را نسبت به روش زمینی نشان می‌دهد. غرب و جنوب استان به علت شرایط آب و هوایی و پوشش گیاهی بهتر در نقشه شدت فرسایش بادی در طبقه کم قرار گرفته است. اگر چه این مناطق هم به دلیل چرای بی‌رویه در مراتع در حال تخریب می‌باشد (۳) اما در پژوهش حاضر کانون فرسایش بادی در این مناطق شناسایی نشد.

#### نتیجه‌گیری

فرسایش بادی یکی از بحران‌های محیط‌زیستی است که بیش از ۱۷ استان کشور را فرا می‌گیرد. پهنه‌بندی این پدیده در چنین سطح وسیعی توسط روش‌های میدانی مانند مدل تجربی اریفر نیازمند وقت و هزینه بسیار زیادی است. لذا، پژوهش حاضر با هدف پتانسیل‌سنجی داده‌های سنجش از دور در استخراج عامل‌های فرسایش بادی مدل اریفر و همچنین تهیه نقشه فرسایش بادی در استان اصفهان انجام شد. استان اصفهان به‌عنوان یکی از استان‌های بیابانی کشور بیش از ۷۰٪ اراضی بیابانی دارد. به‌منظور پهنه‌بندی فرسایش بادی در این استان نقشه هر یک از عوامل شامل پستی و بلندی زمین، سرعت باد، دشت ریگی، شاخص گیاهی EVI، شاخص رطوبت خاک TVDI، شاخص رسوبات ماسه ای SaDI، کاربری و مدیریت اراضی تهیه شد.

تپه‌ها و پهنه‌های ماسه‌ای و اراضی پف کرده در نایین، شوره‌زار، تپه‌ها و پهنه‌های ماسه‌ای، دشت ریگی کم تراکم و کفه رسی در آران و بیدگل، کفه‌های رسی- گچی، شوره‌زار، تپه‌های ماسه‌ای و جلگه رسی در شهرستان اصفهان بخصوص در کانون اول فرسایش بادی استان مانند دشت سجزی و کانون دوم در منطقه جرقویه، همچنین اراضی کشاورزی رها شده در شهرستان اصفهان موجب ایجاد فرسایش بادی زیاد و خیلی زیاد شده است. مناطق اطراف تالاب گاوخونی، دشت سجزی، پهنه‌های ماسه‌ای، شوره‌زار، تپه‌های ماسه‌ای نایین و آران و بیدگل که در پژوهش حاضر کانون‌های فرسایش بادی می‌باشند در نقشه فرسایش بادی تهیه شده به روش زمینی اریفر (شکل ۲ خ) نیز بیش‌ترین حساسیت به باد را داشتند و در این نقشه نیز در طبقه زیاد و بسیار زیاد بیابان‌زایی قرار گرفتند. این مناطق در اقلیم‌های خشک و فرا خشک واقع شده‌اند و به دلیل موقعیت بیابانی و نوع خاک منطقه، عدم پوشش گیاهی و رطوبت کافی به کانون‌های فرسایش بادی تبدیل شده‌اند. برداشت و بهم ریختگی سنگفرش بیابان جهت بهره برداری گچ از لایه‌های زیرین آن از دلایل اصلی افزایش فرسایش بادی در دشت سجزی شهرستان اصفهان بوده است (۶،۴۱). همچنین استفاده بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی و همین‌طور آب‌های با کیفیت پایین و لب شور در کشاورزی از طرف دیگر سبب فراهم شدن شرایط برای این پدیده گردیده است (۴۶). البته میزان فرسایش بادی در شهرستان اردستان در روش

جدول ۲. پارامترهای ماتریس خطا بین نقشه های فرسایش بادی زمینی و ماهواره ای تولید شده بر اساس مدل اریفر

نقشه فرسایش بادی زمینی مدل اریفر						
طبقه فرسایش بادی	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	مجموع	صحت کاربر (%)
کم	۵۲	۴	۰	۰	۵۶	۹۲/۸
متوسط	۳۵	۶۱	۸	۴	۱۰۸	۵۶
زیاد	۰	۳	۱۹	۱	۲۳	۸۲
خیلی زیاد	۰	۰	۱	۱۲	۱۳	۹۲/۳
مجموع	۸۷	۶۸	۲۸	۱۷	۲۰۰	-
صحت تولید کننده (%)	۵۹	۸۹	۶۷	۷۰	-	-
صحت کلی (%)	۷۳	ضریب کاپا (%)=۶۶				

نقشه فرسایش بادی ماهواره ای مدل اریفر

مستقل در تحقیقات مختلف فرسایش بادی مورد استفاده قرار گیرد. از جمله مزایای روش مذکور فراهم بودن داده‌های مناسب مناطق پهناور بیابانی، برطرف نمودن عدم همکاری سازمان‌های مختلف در ارائه داده‌ها، خطای انسانی اندک، به روز بودن و قابلیت به روز رسانی و پایش در مقیاس‌های مکانی و زمانی مختلف می‌باشد. لذا، به‌عنوان یک ابزار کارا روش پیشنهادی می‌تواند در تهیه نقشه وضعیت فرسایش بادی اراضی و گزارش‌دهی آن به سازمان‌های مرتبط در بخش‌های اجرایی مورد استفاده قرار گیرد.

نقشه فرسایش بادی منطقه مطالعاتی که با تلفیق نقشه‌های عوامل مذکور توسط منطق فازی حاصل شد، نشان داد که بیش از ۱۶٪ استان را فرسایش بادی زیاد و بسیار زیاد تشکیل می‌دهد که بیشتر در شهرستان‌های ناین، آران بیدگل، اصفهان و اردستان قرار دارد. مقایسه نقشه حاصل با نقشه فرسایش بادی موجود استان که با استفاده از داده‌های زمینی به‌دست آمده بود، نشان می‌دهد که این نقشه دارای صحت کلی بیش از ۷۳٪ است. بنابراین، نتایج بیانگر آن است که نقشه بر پایه داده‌های سنجش از دور می‌تواند در کنار نقشه‌های میدانی و یا بطور

## References

- Ahmadi, H. (2008). Applied geomorphology- desert (wind erosion). Tehran, Iran: Tehran University Press. (in Farsi)
- Alipour, A., Farzanehpey, F., Torabi, A., Bakhshinia, S., & Mesbahzadeh, T. (2016). The severity of wind erosion assessment in Ala region of Semnan using IRIFR.E. A model. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 5 (10), 99- 107. (in Farsi)
- Amiri, F. & Arzani, H. (2010). Range management based on grazing capacity and vegetation index (case study: semi-arid ranges of Qarah Aqaj, Isfahan). *Rangeland*, 3, 680- 698. (in Farsi)
- Arbab, M., Pahlavanravi, A., PiriSahragard, H., & Amiri, M. (2018). Accuracy assessment of geo-statistics and artificial neural networks methods to estimate threshold wind velocity: A case of Jazinak region, Sistan plain. *Environmental Erosion Researches*, 8 (3), 87- 105. (in Farsi)
- BDA. (2011). Hotspots of wind erosion, Bureau of Desert Affairs, Isfahan's Watershed and Natural Resources Administration, CD-ROM, Isfahan, Iran. (in Farsi)
- Boali, A., Jafari, R., & Bashari, H. (2018). Wind erosion estimation and assessment using Bayesian belief networks in eastern Isfahan township. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 6 (14), 45- 58. (in Farsi)

7. Breshears, D.D., Whicker, J.J., Johansen, M.P., & Pinder, J.E. (2003). Wind and water erosion and transport in semi-arid shrubland, grassland and forest ecosystems: quantifying dominance of horizontal wind-driven transport. *Earth Surface Processes and Landforms*, 28 (11), 1189-1209.
8. Cerdà, A. (1998). The influence of aspect and vegetation on seasonal changes in erosion under rainfall simulation on a clay soil in Spain. *Canadian Journal of Soil Science*, 78 (2), 321- 330.
9. Chappell, A., Webb, N.P., Guerschman, J.P., Thomas, D.T., Mata, G., Handcock, R.N., Leys, J.F., & Butler, H.J. (2018). Improving ground cover monitoring for wind erosion assessment using MODIS BRDF parameters. *Remote Sensing of Environment*, 204, 756- 768.
10. Ebrahimikhusfi, Z. (2019). Analysis of the effect of wind speed and soil moisture on horizontal visibility variations caused by dust event in arid regions (study region: southeast of Iran). *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 8 (24), 109- 121. (in Farsi)
11. Ekhtesasi, M.R. & Zare Chahouki, A. (2016). Wind erosion values of IRIFER Model and wind erosion meter comparison (Case study: Segzi plain in Esfahan province). *Range and Desert Research*, 23 (2), 255- 264. (in Farsi)
12. Ekhtesasi, M.R., Ahmadi, A., Bghestani, N., & Feiznia, S. (1997). Qualitative and quantitative investigation of wind erosion and estimating its sedimentary rate (case study: Yazd- Ardakan plain). *natural resources*, 50 (2), 5- 13. (in Farsi)
13. Habibi, H. (2015). Estimating potential sediment yield in Shadegan catchment using IRIFER and hierarchical models. *Geographical Research*, 30, 171- 184
14. Howari, F.M., Baghdady, A., & Goodell, P.C. (2007). Mineralogical and geomorphological characterization of sand dunes in the eastern part of United Arab Emirates using orbital remote sensing integrated with field investigations. *Geomorphology*, 83 (1), 67- 81.
15. Jafari, R. & Bakhshandemehr, L. (2009). Identification and mapping environmental sensitive areas to desertification crisis in Isfahan province, part of integrated project of crisis management of Isfahan province, Project No. 177124/44/20, Isfahan, Iran. (in Farsi)
16. Jafari, R. & Bakhshandemehr, L. (2016). Quantitative mapping and assessment of environmentally sensitive areas to desertification in central Iran. *Land Degradation & Development*, 27 (2), 108- 119.
17. Jafari, R., Bashari, H., & Tarkesh, M. (2017). Discriminating and monitoring rangeland condition classes with MODIS NDVI and EVI indices in Iranian arid and semi-arid lands. *Arid Land Research and Management*, 31 (1), 94- 110.
18. Jarrah, M., Mayel, S., Tatarko, J., Funk, R., & Kuka, K. (2020). A review of wind erosion models: Data requirements, processes, and validity. *CATENA*, 187, 104388.
19. Jebali, A., Jafari, R., Khajaldin, S.J., & Pakzad, H.R. (2014). Detection of aeolian sand sediments using a new satellite ratioing index. *Soil and Water Research*, 45 (2), 189- 197. (in Farsi)
20. Khalife, E., Kavianpour, M., Pakparvar, M., & Mottaghi, A. (2010). Application of geographical information systems and remote sensing in qualitative and quantitative assessment of wind erosion, Case study: Shoorjestan plain. *Watershed Engineering and Management*, 2 (1), 44-56.
21. Kim, D., Chin, M., Bian, H., Tan, Q., Brown, M.E., Zheng, T., You, R., Diehl, T., Ginoux, P., & Kucsera, T. (2013). The effect of the dynamic surface bareness on dust source function, emission, and distribution. *Geophysical Research: Atmospheres*, 118 (2), 871- 886.

22. Kouchami Sardo, I., Besalatpour, A.A., Bashari, H., Shirani, H., & Esfandiarpour Broujeni, I. (2017). Assessment of IRIFR model capability in simulation of soil loss in different wind geomorphology landforms using wind erosion meter. *Arid Biome*, 7 (1), 13- 25. (in Farsi)
23. Liu, Q., Liu, G., & Huang, C. (2018). Monitoring desertification processes in Mongolian plateau using MODIS tasseled cap transformation and TGSi time series. *Arid Land*, 10 (1), 12- 26.
24. Mahmoudabadi, M. & Zamani, S. (2012). Effect of wind speed and soil particle size distribution on sediment transport mechanisms due to wind erosion. *Watershed Engineering and Management*, 3 (3), 141- 151. (in Farsi)
25. Mahmuodabadi, M. (2017). Study on the effect of initial soil moisture content on wind erosion rate using a laboratory wind tunnel. *Water and Soil Conservation*, 24 (2), 167- 183. (in Farsi)
26. Mandakh, N., Tsogtbaatar, J., Dash, D., & Khudulmur, S. (2016). Spatial assessment of soil wind erosion using WEQ approach in Mongolia. *Geographical Sciences*, 26 (4), 473- 483.
27. McCoy, R.M. (2005). Field methods in remote sensing. New York, Guilford Press.
28. Melesse, A.M., Weng, Q., Thenkabail, P.S & Senay, G.B. (2007). Remote sensing sensors and applications in environmental resources mapping and modelling. *Sensors*, 7 (12), 3209- 3241.
29. Middleton, N.J. (2017). Desert dust hazards: A global review. *Aeolian Research*, 24, 53- 63.
30. Miri, A., Ahmadi, H., Ekhtesasi, M.R., Panjehkeh, N., & Ghanbari, A. (2009). Environmental and socio-economic impacts of dust storms in Sistan region, Iran. *Environmental Studies*, 66 (3), 343- 355.
31. Mousavi, S.H., Parizi, E & Ahmadi, A. (2017). Modeling of wind deflation from desert pavement surface (case study: desert pavement of Bardsir). *Geography and Environmental Planning*, 28 (2), 21- 38. (in Farsi)
32. NASA. (2016). Access NASA Earth Science Data, retrieved October 19, 2016, from <https://earthdata.nasa.gov>.
33. Nikolakopoulos, K.G., Kamaratakis, E.K., & Chrysoulakis, N. (2006). SRTM vs ASTER elevation products. Comparison for two regions in Crete, Greece. *International Journal of Remote Sensing*, 27 (21), 4819- 4838.
34. Olfaghari, F. & Khosravi, H. (2015). Assessment of wind erosion intensity by IRIFR model case study: Jazinak, Sistan, Iran. *Natural environment hazards*, 4 (5), 27- 45. (in Farsi)
35. Quan, B., Römkens, M.J.M., Li, R., Wang, F., & Chen, J. (2011). Effect of land use and land cover change on soil erosion and the spatio-temporal variation in Liupan Mountain region, southern Ningxia, China. *Frontiers of Environmental Science & Engineering in China*, 5 (4), 564- 572.
36. 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.
37. Rigi, M., Farahi, M., & Saber, K. (2020). Estimation of the severity of wind erosion and its sinking potential using the Arifar model (IRIFR1) in the Rotak and Mak sookhteh Saravan area. *Quarterly of Geography (Regional Planing)*, 10 (1), 449-464. (in Farsi)
38. Sandholt, I., Rasmussen, K., & Andersen, J. (2002). A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. *Remote Sensing of Environment*, 79 (2), 213- 224.

39. Silakhori, E., Vahabzadeh, G., & Parisai, Z. (2017). Assessment of the risk for water and wind erosion and comparison of their sedimentation potential in Hares-Abad region in Sabzevar. *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 7, 89- 98. (in Farsi)
40. Singh, R.B. (2019). A composite method to identify desertification 'hotspots' and 'brightspots'. *Land Degradation & Development*, 30 (9), 1025-1039.
41. Taghi Razavian, M. & Kooshki, F. (2012). Analysis of damage caused by the phenomenon of local dust (case study: the Sajzi plain of Isfahan), the 1st international congress on dust haze and combating its adverse effects, 15-17 February, 2012, Khouzestan Ramin Agriculture & Natural Resources University, Ahvaz, Iran. (in Farsi)
42. WMO. (2005). Land use and land cover map, compact disk (CD), the Forest, Rangeland and Watershed Management Organization, Tehran, Iran.
43. Wu, Z., Wang, M., Zhang, H., & Du, Z. (2019). Vegetation and soil wind erosion dynamics of sandstorm control programs in the agro-pastoral transitional zone of northern China. *Frontiers of Earth Science*, 13 (2), 430- 443.
44. Yaghmaei, L., Soltani, S., & Khodaghali, M. (2009). Bioclimatic classification of Isfahan province using multivariate statistical methods. *International Journal of Climatology*, 29 (12), 1850- 1861.
45. Yue, Y., Shi, P., Zou, X., Ye, X., Zhu, A.x., & Wang, J. a. (2015). The measurement of wind erosion through field survey and remote sensing: a case study of the Mu Us desert, China. *Natural Hazards*, 76 (3), 1497- 1514.
46. Zehtabian, G., Shakerian, N., Azarnivand, H., & Khosravi, H. (2011). Hazard assessment of groundwater degradation using IMDPA model (case study: Isfahan province, Iran). ISPRS conference, geoInformation for disaster managemen, 1-6. (in Farsi)
47. Zhang, C., Wang, Y., Jia, X., Shao, M.A., & An, Z. (2020). Impacts of shrub introduction on soil properties and implications for dryland revegetation. *Science of the Total Environment*, 742, 1-38.