

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و شش، شماره ده، دی ماه ۱۴۰۳ (۱۳-۱)

## بررسی و ارزیابی تغییرات مکانی فرسایش بادی در حاشیه جنوب غربی پلایای پترگان (شهرستان زیرکوه، استان خراسان جنوبی)

مریم ربیعی گسک<sup>۱\*</sup>

[m.rabiei@cfu.ac.ir](mailto:m.rabiei@cfu.ac.ir)

مهدی ثقفی<sup>۲</sup>

محمد معتمدی راد<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۹/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۷/۱۴

### چکیده

**زمینه و هدف:** فرسایش بادی یکی از عمده‌ترین مسائل زیست‌محیطی است. هم‌اکنون اراضی تحت‌تأثیر فرسایش بادی به بیش از ۵/۰۵ میلیون کیلومتر مربع می‌رسد. گرچه فرسایش بادی چالش جدیدی نیست اما به تازگی به عنوان یکی از منابع اصلی تهدید محیط زیست در سراسر جهان شناخته شده است. در ایران بیش از یک میلیون کیلومتر مربع معادل ۶۴/۶۶٪ از مساحت کشور را مناطق خشک و فرا خشک فرا گرفته است. از این میان ماسه زارها در حدود ۱۳۰ هزار کیلومتر مربع از حوضه بیابانی کشور را در بر گرفته که بیش از ۵۰ هزار کیلومتر مربع آن شامل تپه‌های ماسه‌ای فعال و غیر فعال است. بنابراین مطالعه حاضر با هدف ارزیابی تغییرات مکانی فرسایش بادی در حاشیه جنوب غربی پلایای پترگان (شهرستان زیرکوه، استان خراسان جنوبی) می‌باشد.

**روش بررسی:** در این مطالعه با استفاده از روش اریفر شدت پهنه‌های مختلف منطقه مورد مطالعه در محدوده مرز شرقی کشور و در دامنه‌های خارجی کوهستان مرز شرقی کشور که تحت قلمرو یکی از مهم‌ترین پلایاهای ایران واقع شده (پلایای پترگان) مورد بررسی قرار گرفته است.

**یافته‌ها:** بر اساس نتایج طبقات فرسایشی زیاد و خیلی زیاد با دربرگرفتن حدود ۵۵ درصد، بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده‌اند. طبقه فرسایشی متوسط و کم نیز با اختصاص ۳۸/۲ درصد از منطقه در رتبه دوم از قرار گرفته است. متوسط میزان فرسایش بادی در منطقه ۲۵/۱۷ تن بر هکتار در سال محاسبه گردید.

**بحث و نتیجه گیری:** باتوجه به داده‌های میدانی و انطباق آن با نتایج حاصل از مدل مورد استفاده ملاحظه شد که نتایج مدل از انطباق بالایی با داده‌های واقعی برخوردار بوده و نتایج قابل قبولی ارائه نموده است.

**واژه‌های کلیدی:** ارزیابی، تغییرات مکانی، فرسایش باد، پلایای پترگان.

۱- استادیار، گروه آموزش جغرافیا، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران. \* (مسئول مکاتبات)

۲- دانشیار، گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

۳- استادیار، گروه آموزش جغرافیا، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران.

# **Investigating and evaluating the spatial changes of wind erosion in the southwestern margin of Ptergan playa (Zirkouh city, South Khorasan province)**

**Maryam Rabiei Gask<sup>1\*</sup>**

[m.rabiei@cfu.ac.ir](mailto:m.rabiei@cfu.ac.ir)

**Mahdi Saghafi<sup>2</sup>**

**Mohammad Motamedi Rad<sup>3</sup>**

Admission Date: December 10, 2024

Date Received: October 5, 2024

## **Abstract**

**Background and Objectives:** Wind erosion is one of the major environmental issues. Currently, the lands affected by wind erosion reach more than 5.05 million square kilometers. Although wind erosion is not a new challenge. But it has recently been recognized as one of the main sources of environmental threats worldwide. In Iran, more than one million square kilometers, equivalent to 64.66% of the country's area, are covered by arid and semi-arid areas. Of these sand dunes, it covers 130,000 square kilometers of the country's desert basin, of which more than 50,000 square kilometers include active and inactive sand dunes. In this study, it covers 130,000 square kilometers of the country's desert basin, of which more than 50,000 square kilometers include active and inactive sand dunes.

**Material and Methodology:** In this study, the Eriker intensity method of different areas of the region. The study is in the area of the eastern border of the country and in the outer slopes of the mountains of the eastern border. The country that is located under the territory of one of the most important playas of Iran (Ptergan playa) has been investigated.

**Findings:** The purpose of this review is also to check the efficiency of Eriker's method. It is used to estimate wind erosion potential in this part of our country. Based on the results of high and very high erosion classes, including about 55 percent, they have allocated the most area. The medium and low erosion class is ranked second with 38.2% of the region. The average amount of wind erosion in the region was calculated to be 25.17 tons per hectare per year.

**Discussion and Conclusion:** According to the field data and its compliance with the results of the model, it was observed that the results of the model had a high compliance with the real data and provided acceptable results.

**Keywords:** assessment, spatial changes, wind erosion, Ptergan playa.

---

1- Assistant Professor, Department of Geography Education, Farhangian University, Tehran, Iran.  
\*(Corresponding Author)

2- Associate Professor, department of Geography Education, payame Noor university, Tehran, Iran.

3- Assistant Professor, Department of Geography Education, Farhangian University, Tehran, Iran.

## مقدمه

یکی از پدیده‌های مخرب و تأثیرگذار در روند بیابانی شدن اراضی، فرسایش بادی است. حساسیت بالای خاک سطحی و وزش بادهای فرساینده از عوامل اصلی ایجاد آن هستند. در نتیجه وزش این بادهای و شرایط خاص محیطی، سالانه میلیون‌ها تن خاک از سطح اراضی فرسایش یافته و هدر می‌رود (۱،۲). فرسایش بادی پدیده غالب در نواحی خشک و نیمه‌خشک با پوشش گیاهی ناچیز، بادهای قوی و با فراوانی زیاد است. فرسایش بادی یکی از عمده‌ترین مسائل زیست‌محیطی است، به طوری که هم اکنون اراضی تحت تأثیر فرسایش بادی به بیش از ۵/۰۵ میلیون کیلومتر مربع می‌رسد. این مقدار فرسایش برابر با ۴۶/۴ درصد از اراضی تحت تخریب به وسیله کلیه عوامل فرساینده است (۴،۳). گرچه فرسایش بادی چالش جدیدی نیست، اما به تازگی به عنوان یکی از منابع اصلی تهدید محیط زیست در سراسر جهان شناخته شده است (۶،۵). سرعت باد، موثرترین عامل فرساینده در طی هر رخداد فرسایش بادی است (۷،۸). هنگامی که سرعت باد بر نیروی نگهدارنده بین ذرات خاک سطحی غلبه کند، فرسایش بادی رخ می‌دهد. در این شرایط سرعت‌های بیشتر باد باعث تشدید هدررفت خاک و شدت‌های بیشتر فرسایش بادی می‌شود (۱۰،۹).

در ایران بیش از یک میلیون کیلومتر مربع معادل ۶۴/۶۶ درصد از مساحت کشور را مناطق خشک و فرا خشک فرا گرفته است. از این میان ۴۳۳ هزار کیلومتر مربع را بیابان‌ها شکل داده (۱۲،۱۱) و ماسه‌زارها در حدود ۱۳۰ هزار کیلومتر مربع از حوضه بیابانی کشور را در بر گرفته که بیش از ۵۰ هزار کیلومتر مربع آن شامل تپه‌های ماسه‌ای فعال و غیر فعال است (۱۳-۱۵). چنانکه مشهود است باد به عنوان یکی از فرایندهای مسلط در مناطق بیابانی پهنه‌های وسیعی را در کشورمان تحت تأثیر قرار داده و در بسیاری از دشت‌های بیابانی به عنوان یک مخاطره محیطی مشکلات زیادی را برای ساکنان به همراه داشته است. بررسی‌های میدانی در بیابان‌های ایران نشان می‌دهد که طی سالهای اخیر فرسایش بادی رو به گسترش گذاشته و به نظر می‌رسد بر میزان شدت و قلمرو فرسایش بادی افزوده شده است.

فرسایش آبی در حاشیه بیابان‌ها مسلط بوده و غالباً مواد لازم برای فرسایش بادی را فراهم می‌نماید (۱۶).

در هنگام تصویب قانون امنیت غذایی در سال ۱۳۸۵ (۲۰۰۶ میلادی) توسط هیات وزیران تنها روش برای تخمین فرسایش خاک توسط باد، روش (WEQ) بود که در سال ۱۹۶۵ منتشر شده بود. هدف این روش در واقع ارائه ابزاری برای مقایسه سیستم‌های حفاظتی مختلف و تخمین فرسایش سالانه خاک بود. از آن زمان تا کنون با توجه به الزامات قانون امنیت غذایی شیوه‌های متعددی جهت برآوردهای فرسایش بادی با کارایی متفاوت در سراسر جهان ابداع و توسعه پیدا کرد. به طور کلی شیوه‌های مطالعه فرسایش باد در دو دسته شامل: ۱- شیوه‌های آزمایشگاهی و ۲- شیوه‌های تجربی تقسیم می‌شوند. با توجه به محدودیت‌های عملیاتی شیوه‌های آزمایشگاهی و گستره کاربرد آنها از این شیوه‌ها معمولاً جهت مطالعات تحقیق و توسعه شیوه‌های تجربی استفاده می‌شود. از طرفی در روش‌های تجربی که به طور مستمر در حال بسط و توسعه هستند، محدودیت‌های شیوه‌های آزمایشگاهی را نداشته و کاربردهای وسیعتری یافته‌اند. در کشور ما نیز شیوه‌هایی مختص شرایط محیطی کشور توسعه یافته و کاربرد وسیعی پیدا کرده‌اند. روش تخمین پتانسیل فرسایش بادی اریفر که توسط احمدی و اختصاصی ابداع و توسعه یافته یکی از این شیوه‌های مطرح می‌باشد.

در این مطالعه با استفاده از روش اریفر شدت پهنه‌های مختلف منطقه مورد مطالعه در محدوده مرز شرقی کشور و در دامنه‌های خارجی کوهستان این بخش از کشور که تحت قلمرو یکی از مهم‌ترین پلایاهای ایران واقع شده (پلایای پترگان) مورد بررسی قرار گرفته است. هدف از این بررسی نیز بررسی ارزیابی تغییرات مکانی فرسایش بادی به روش اریفر در این بخش از کشورمان است.

## روش بررسی

## منطقه مورد مطالعه

در این منطقه ریزشهای جوی عمدتاً به صورت باران بوده و در بخش‌های مرتفع در فصل زمستان برف هم مشاهده می‌شود.

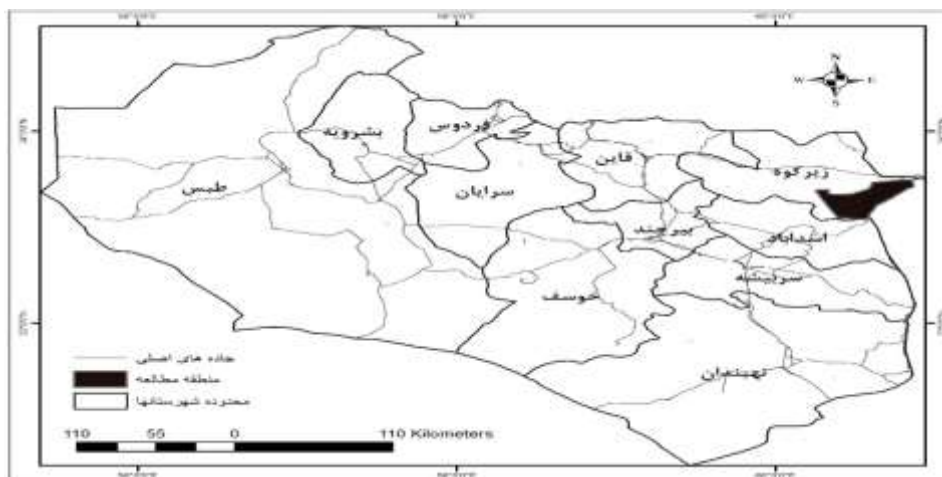
است. منطقه مورد مطالعه از نظر زمین شناسی در زون ایران مرکزی واقع گردیده است. این منطقه که اکثراً از ماسه زار و تپه های ماسه‌ای فعال، رسوبات آبرفتی و نهشته های کویری تشکیل گردیده مربوط به دوره چهارم زمین شناسی است. قدیمی ترین سازندهای شناخته شده منطقه مربوط به دوران دوم زمین شناسی و از سنگ های آهکی خاکستری روشن (کرتاسه) تشکیل شده که در شمال و شمال غرب منطقه رخنمون دارد. سازند های دوران سوم زمین شناسی شامل کنگلومرا، آهک های نومولیتی، سنگ های ولکانیکی در حاشیه ارتفاعات غربی و شمال دشت گسترش دارد. این سازندها سبب افزایش املاح آب زمینی می شوند. رسوبات آبرفتی در سطح دشت ها، مخروط افکنه ها و ماسه بادی متعلق به دوران چهارم زمین شناسی است.

از لحاظ هیدرولوژیکی محدوده مورد مطالعه یک منطقه نیمه کویری مرزی است که فاقد سفره آب زیر زمینی و آب سطحی دائمی است. مخازن آب تنها محدود به یک جریان زیر سطحی و در طول مسیل های بزرگ است که از ارتفاعات آهکی غربی تغذیه می شود و میزان آن بستگی به نزولات جوی دارد. کیفیت شیمیایی آب بسیار نامطلوب بوده و جریانات زیر سطحی باعث شده که در منطقه مورد کشاورزی به طور فعال مشاهده نشود.

متوسط بارندگی سالانه منطقه حدود ۱۰۰/۷ میلی متر می باشد. تغییرات فصلی بارندگی در منطقه مورد مطالعه به صورت یک عرصه مطالعاتی از اراضی منابع طبیعی است که از شمال به شهرستان خواف از جنوب به بخش گزیک شهرستان بیرجند از غرب به شهرستان قائن و از شرق به مرز افغانستان محدود می شود. دمای متوسط سالانه ۲۰/۶ سانتی گراد است. این منطقه در بخش زیر کوه شهرستان قائنات در محدود طول ۶۰ درجه و ۱۴ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۴۶ دقیقه طول شرقی و عرض ۳۳ درجه و ۵ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۹ دقیقه عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱). فاصله تقریبی تا شهر قائن حدود ۹۰ کیلومتر است. محدوده مطالعاتی حوضه هیدرولوژیک نبوده و استخراج حوضه هیدرولوژیک از آن به دلیل وجود تپه های ماسه ای فراوان و قرار گرفتن در منطقه مرزی کشور امکان پذیر نیست.

در محدوده مورد مطالعه هیچ گونه ایستگاه هواشناسی وجود ندارد؛ بنابراین به استناد نزدیک ترین ایستگاه هواشناسی به منطقه (ایستگاه سینوپتیک قائن) درجه حرارت نسبتاً زیاد بوده و به طور کلی رژیم بارندگی منطقه زمستانه می باشد. رطوبت نسبی منطقه کمتر از ۵۰ درصد است. بر اساس طبقه بندی دومارتن اقلیم منطقه مورد مطالعه از نوع خشک تعیین شده است.

از لحاظ توپوگرافی، منطقه مورد مطالعه غالباً در محدوده شیب کمتر از ۲ درصد (با ۳۶/۶ درصد از مساحت کل مساحت منطقه)



شکل ۱- نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در تقسیمات استان خراسان جنوبی

Figure 1. Geographical location map of the studied area in the divisions of South Khorasan province

## روش و ابزار کار

کاربرد منطقه‌ای داشته و چهار مدل اول برای استفاده در ایالات متحده و مدل آخر جهت استفاده در خاک‌های سبک اروپا طراحی شده است. شایان‌ذکر است که در بیشتر موارد خروجی‌های این مدل‌ها منطبق بر مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده است و لذا استفاده از آنها جهت برآورد میزان فرسایش بادی توصیه می‌شود.

با توجه به این که نه تنها در ایران بلکه در بسیاری از کشورهای جهان ایستگاهی جهت اندازه‌گیری رسوبات فرسایش بادی به روش مستقیم وجود ندارد و به قول مورگان (۱۹۸۶) تا زمانی که امکانات اندازه‌گیری مستقیم فرسایش بادی وجود نداشته باشد، چاره‌ای جز به کارگیری مدل‌های تجربی و یا اندازه‌گیری نداریم (۲۱). در ایران نیز اختصاصی و احمدی (۱۹۹۷) با الگو گرفتن از روش‌های تجربی اقدام به ابداع و تکمیل مدل اریفر نمودند و همچنین با مشاهدات میدانی اقدام به اصلاح و توسعه آن کرده‌اند. در این روش ۹ فاکتور موثر در فرسایش بادی (جدول ۱) بر اساس تجارب کارشناسی و با استفاده از جمع‌بندی نظر خبرگان به منظور برآورد سریع و آسان مقدار رسوبدهی فرسایش بادی، مورد ارزیابی و امتیازدهی قرار می‌گیرد که با جمع امتیازهای حاصل می‌توان کلاس رسوبدهی اراضی (جدول ۲) را مشخص نمود (۱۳).

در زمینه مطالعه فرسایش بادی یکی از چالش‌های اصلی مکان‌یابی مناطق حساس به فرسایش است (17). گستردگی و پیچیدگی خصوصیات باد و ارتباط فرسایش بادی با مجموعه‌ای از خصوصیات اقلیمی، پوششی و خاک سبب شده که امروزه از مجموعه‌ای از روش‌ها و تکنیک‌های نوین در جهت شناسایی کانون‌ها و محل‌های وقوع فرسایش بادی ابداع شود. استفاده از شاخص‌های فولادی و اندازه‌گیری متوالی بادبردگی یا انباشت رسوب در نقاط مختلف، اندازه‌گیری و تخمین مقدار بادبردگی از طریق بقه گیاهان باتوجه به سن آنها، استفاده از روش مقایسه‌ای موانع فرسایشی با نقاط تشدیدشونده باد از جمله سنگ‌فرش‌های بیابانی و یا کلوته‌ها و یاردانگ‌ها، بررسی و مقایسه مقدار رسوبات انباشته شده بر روی شهرها و آبادی‌ها و حتی تپه‌های ماسه‌ای، از این جمله هستند، استفاده از تونل باد نیز یکی از روش‌های آزمایشگاهی مرسوم در برآورد فرسایش بادی است (۱۸-۲۰).

همچنین برای مطالعات فرسایش بادی از مدل‌های شبیه‌سازی فرسایش نیز استفاده می‌شود این مدل‌ها ابزار مناسبی جهت پیش‌بینی فرسایش و رسوب حاصل از آن است. از جمله مدل‌های شبیه‌ساز باد و برآورد فرسایش بادی می‌توان به WEQ<sup>۱</sup>، WEPS<sup>۲</sup>، RWEQ<sup>۱</sup> اشاره کرد. این مدل‌ها بیشتر

## جدول ۱- عوامل مؤثر در فرسایش خاک و تولید رسوب با امتیازات مربوطه در مدل اریفر

Table 1. Factors effective in soil erosion and sediment production with the corresponding scores in the Arifer model

ردیف	عامل مؤثر در فرسایش خاک و تولید رسوب	دامنه امتیاز
۱	سنگ شناسی	۱۰-۰
۲	شکل اراضی و پستی و بلندی	۰-۱۰
۳	سرعت و وضعیت باد	۲۰-۰
۴	خاک و پوشش سطح آن	۱۵-۵
۵	انبوهی پوشش گیاهی	۱۵-۵
۶	آثار فرسایشی سطح خاک	۲۰-۰
۷	رطوبت خاک	۱۰-۰
۸	نوع و پراکنش نهشته‌های بادی	۱۰-۰
۹	مدیریت و استفاده از زمین	۱۵-۵

## جدول ۲- تعیین میزان تولید رسوب سالیانه و کلاس فرسایش خاک در مدل اریفر

Table 2. Determining the amount of annual sediment production and soil erosion class in the Erifer model

کلاس فرسایش	تولید رسوب سالیانه (ton/km <sup>2</sup> /yr)	شدت فرسایش
خیلی کم	<۲۵۰	<۲۵
کم	۲۵۰-۵۰۰	۲۵-۵۰
متوسط	۵۰۰-۱۵۰۰	۵۰-۷۵
زیاد	۱۵۰۰-۶۰۰۰	۷۵-۱۰۰
خیلی زیاد	>۶۰۰۰	>۱۰۰

## یافته ها

## وضعیت باد منطقه

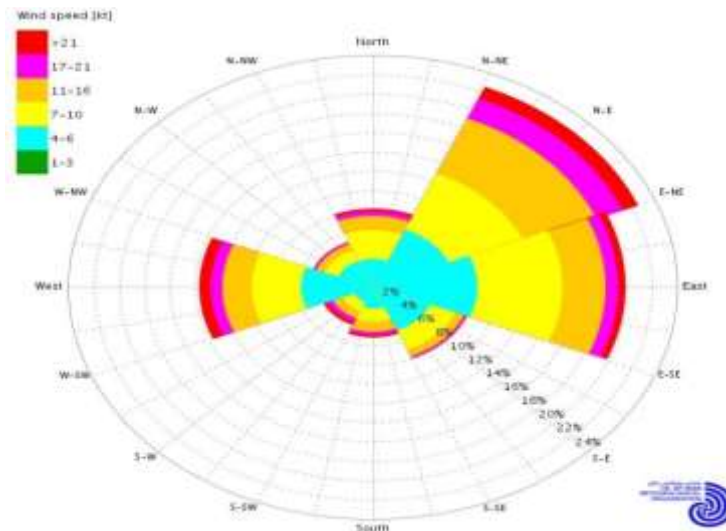
بررسی مقادیر باد ماهانه و سالانه و محاسبه فرکانس وقوع سرعت‌های مختلف و جهت آن در ایستگاه هواشناسی قاین (در طول دوره آماری ۲۰۰۶-۱۹۸۷) نشان می‌دهد که باد غالب منطقه از سمت شمال شرق، با سرعت ۴/۹ متر بر ثانیه و ۲۰ درصد سهم سالانه است. میانگین سرعت باد روزانه ۲/۵ متر بر ثانیه (باد آرام) با سهم سالانه ۴۶ درصد و شدیدترین باد با سرعت ۹۰ کیلومتر بر ساعت است (شکل ۲).

بیشتر بادهای فرساینده و شدید در ماه‌های تابستان و از جهت شمال شرق و جنوب و جنوب غرب می‌وزد. شدت و جهت این بادهای و قدرت فرساینده‌گی آنها در فصل تابستان میزان فرسایش

بادی را چندین برابر می‌کند. بادهای ۱۲۰ روزه سیستان نیز که سرعت آن را بین ۱۱۰ تا ۱۷۰ کیلومتر در ساعت تخمین زده اند از بادهای تاثیر گذار در حرکت ماسه های روان در منطقه مورد مطالعه است. بادهای ۱۲۰ روزه از روی دق پترگان و دشت های زیر کج رود آشتیان، گیچی، هماکوه و کویر نیزار وارد مرز ایران شده و با شدت گرفتن آن باعث برداشت ماسه، نمک، گرد و غبار و ذرات لای و رس از مناطق فوق و اراضی آبرفتی اطراف دق ها شده و پس از برخورد به کوه های آهکی شاهرخت، بمرو، پس کوه شکسته، کوه کنگی و کوههای قدومی به دو شاخه تقسیم می‌شود که یکی به سمت شاهرخت، همت آباد، چشمه بید، شاه

ملکی، چاه عمیق، معصوم آباد، پرویزآباد، حاجی آباد حق داد هدایت می گردد و با برخورد به ارتفاعات سه پستان، آهنگران، گالون و اردکول از سرعت آن کاسته شده و رسوبات خود را در

این دشت بر جای می گذارد و در طی سالیان متمادی ارگ عظیمی را به وجود آورده که در منطقه مورد مطالعه تا خط الراس کوه خواجه با ارتفاع ۱۱۲۳ متر از سطح دریا رسیده است.



شکل ۲- گلباد تغییرات میانگین سرعت و جهت باد در طول دوره آماری ۱۹۸۷-۲۰۰۶

Figure 2. Gulbad changes in average wind speed and direction during the statistical period of 1987-2006

#### ژئومورفولوژی اشکال بادی در منطقه

بررسی‌های میدانی از وضعیت ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه با تأکید ویژه بر اشکال تراکمی بادی نشان می‌دهد که محدوده مورد مطالعه به طور عمده تحت قلمرو سه گروه از اشکال تراکمی بادی است که عبارت‌اند از: ۱- محدوده دشت رگی تقریباً هموار ۲- پهنه‌های ماسه‌ای ناهموار همراه با تپه‌های مختلف ماسه‌ای (ارگ) و ۳- محدوده تپه‌های ماسه‌ای تثبیت شده (نبکاها). بخش‌هایی از منطقه با بافت خاک شن و سنگ‌ریزه‌های بزرگ‌تر از ۲ میلی متر که ذرات ریزتر آن از منطقه خارج شده و عناصر شن و سنگریزه در سطح خاک به جا مانده پوشش سنگفرشی ایجاد نموده که اصطلاحاً بیابان سنگفرشی (هامادا) گفته می‌شود. این مجموعه که سپر محافظ بیابان<sup>۱</sup> را تشکیل می‌دهد در واقع همان دشت رگی در منطقه مورد مطالعه است که محدوده تحت حاکمیت آن در شکل (۴) قابل تشخیص است.

ارگ‌ها یا پهنه‌های ماسه‌ای دربردارنده تپه‌های ماسه‌ای فعال، نیمه‌فعال و غیرفعال که اغلب عاری از پوشش گیاهی هستند بخش دیگری از اشکال بادی حاکم در قلمرو منطقه مورد مطالعه هستند. شکل تپه‌های ماسه‌ای در این پهنه پیچیده و نامشخص بوده و منطقه وسیعی را در برمی‌گیرند. پراکندگی و موقعیت ارگ نسبت به سایر عوارض در عرصه‌های بیابانی تابع عوامل خاصی است. از این رو ارگ‌ها نمی‌توانند در هر نقطه‌ای از بیابان و به طور اتفاقی تشکیل شوند و در این بین عوامل توپوگرافی محلی در مسیر طوفان‌های ماسه‌ای می‌توانند متناسب با شرایط محل حجمی از ماسه را به صورت تپه‌های پراکنده یا متراکم، متمرکز سازند. در ارگ همت‌آباد قائن انواع مختلفی از تپه‌های ماسه‌ای تشکیل شده است. در این ارگ اشکال تپه‌های ماسه‌ای از تنوع بالایی برخوردار بوده و در آن تپه‌های ماسه‌ای متفاوتی شامل: بارخان و پهنه‌های ماسه‌ای، نبکا، ربدو و... مشاهده می‌شود.

وزش بادها جابه‌جا و یا معدوم گردند. ارتفاع نیکاها در منطقه بسته به ارتفاع بوته‌ها و سرعت باد، بین ۲۰ تا ۵۰ سانتی متر متفاوت است.

پهنه‌های فرسایش بادی در منطقه به روش اریفر مقادیر امتیازات اختصاص یافته به هر رخساره ژئومورفولوژی در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشخص است در محدوده تپه‌های ماسه‌ای مثل بارخان، تپه‌های ماسه‌ای رفلکسی و... با داشتن اشکال مختلف رسوب‌گذاری دارای بیشترین مقدار امتیاز است. حداقل مقادیر فرسایش بادی نیز در محدوده تپه‌ماهورها و دشت‌سرهای فرسایشی، مخروط‌افکنه درشت‌دانه مشاهده می‌شود. شکل ۳ میزان پتانسیل رسوب‌دهی بادی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

تپه‌های ماسه‌ای تثبیت شده توسط پوشش‌های گیاهی طبیعی و مصنوعی در بخش دیگری از منطقه مورد مطالعه به‌وضوح قابل تشخیص هستند. تجمع ماسه‌های بادی در حین حمل در پناه عوامل تثبیت‌کننده گیاهی که به علت کاهش سرعت باد رخ می‌دهد نوع خاصی از تپه‌های ماسه‌ای را ایجاد نموده که از آنها تحت عنوان نیکا یاد می‌شود. به تدریج که گیاه رشد می‌کند و قسمت‌های هوایی آن افزایش می‌یابد، تپه نیز به همین صورت به ارتفاع خود می‌افزاید. به تدریج با افزایش ماسه شرایط ادامه رشد برای گیاه سخت می‌شود. رشد گیاه در این حالت تا زمانی که شرایط مساعد باشد ادامه می‌یابد و در غیر این صورت متوقف می‌شود. نیکاها نمونه‌ای از اشکال فرسایش بادی است که شکل آنها تابعی از اندازه، تراکم و میزان رشد گیاه است. نیکاها به‌عنوان ماسه‌های به‌دام‌افتاده اغلب بسیار بی‌دوام بوده و ممکن است با

### جدول ۳- مقادیر امتیازات اریفر در محدوده اشکال ژئومورفولوژی

Table 3. values of Arifer scores in the range of geomorphological forms

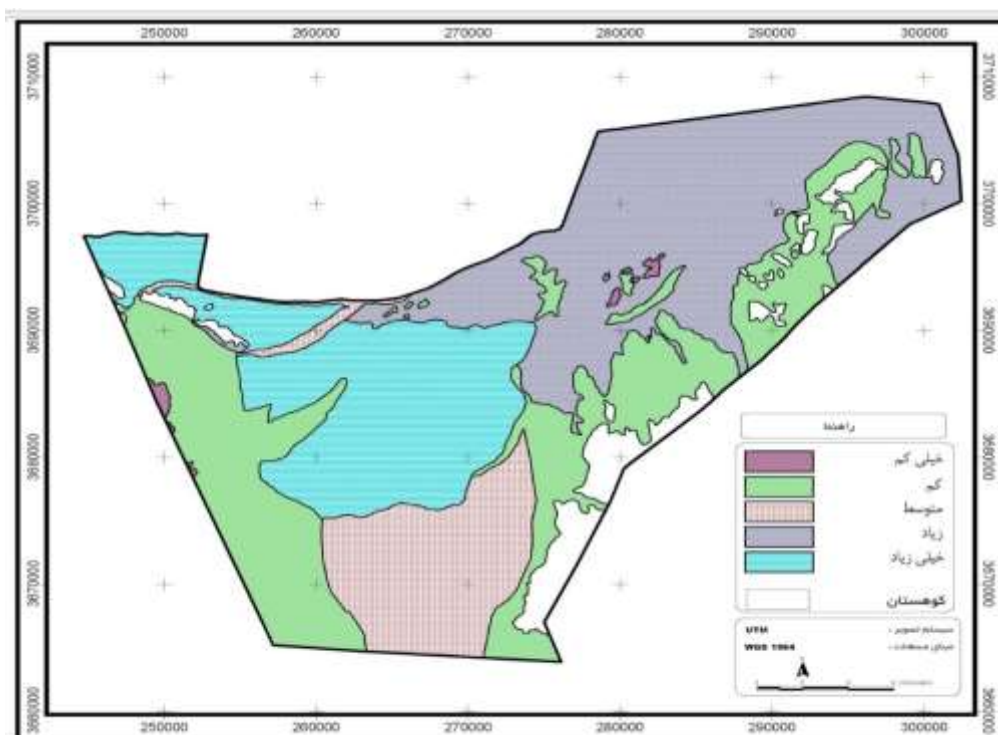
اشکال ژئومورفولوژی	سنگ شناسی	شکل اراضی	سرعت و وضعیت باد	خاک و پوشش آن	انبوهی پوشش گیاهی	آثار فرسایش سطح خاک	رطوبت خاک	نوع و پراکنش نهشته‌های بادی	مدیریت استفاده از زمین	مجموع امتیازات
فرسایش آبراهه‌ای	۴/۱	۲/۲	۳/۳	۰/۴	۷	۱/۹	۱/۲	۰	۵/۱	۲۶/۱
مخروط‌افکنه درشت‌دانه	۶/۱	۵	۸	۶	۷	۰	۴	۰	۷	۴۳/۱
منطقه برداشت	۶/۱	۵	۸	۶	۷	۰	۴	۰	۷	۴۳/۱
منطقه حمل	۶	۶/۷	۸/۷	۹	۹	۴	۴	۱	۹	۵۷/۴
تپه‌های ماسه‌ای بالارونده	۱۰	۹	۱۵	۱۵	۷	۱۸	۷	۱۰	۱۰	۱۰۱/۰
تپه‌های ماسه‌ای بادپناهی	۱۰	۸	۱۲/۵	۱۵	۸/۵	۱۶/۵	۸/۵	۱۰	۱۰	۹۹/۰
فرسایش آبی	۶/۱	۶/۳	۹/۸	۸/۳	۷	۳/۸	۴/۸	۱/۸	۷/۸	۵۵/۳
منطقه حمل	۶/۱	۵	۸	۶	۷	۰	۴	۰	۷	۴۳/۱
تپه‌های ماسه‌ای رفلکسی	۹	۹	۱۵	۱۵	۸	۱۸	۸	۱۰	۱۰	۱۰۲/۰
بارخان	۱۰	۹	۱۵	۱۴	۹	۱۸	۹	۱۰	۱۱	۱۰۵/۰
بوکلیه	۱۰	۹	۱۵	۱۳	۷	۱۸	۷	۱۰	۱۲	۱۰۱/۰
منطقه کشاورزی	۸	۱۰	۱۰	۱۵	۱۳	۱۲	۴	۲	۱۳	۸۷/۰
مسیل	۶	۶/۳	۸/۳	۴/۷	۹/۷	۳/۳	۴/۳	۱/۷	۶	۵۰/۴
دشت ریگی ریزدانه	۶	۷	۱۰	۱۰	۷	۱۰	۷	۴	۷	۶۸/۰



۱۰۲/۰	۱۰	۱۰	۸	۱۸	۸	۱۵	۱۵	۹	۹	نبکای نیمه فعال
۹۶/۰	۱۰	۷	۷	۱۵	۷	۱۵	۱۵	۱۰	۱۰	تپه گیاهی (ربدو)
۸۷/۸	۱۳	۲/۵	۴	۱۲	۱۳/۳	۱۵	۱۰	۱۰	۸	سطوح پفکرده نمکی
۴۶/۰	۱۵	۰	۲	۵	۱۲	-۵	۰	۸	۹	سطوح خشک و سخت
۶۵/۰	۱۰	۱	۴	۶	۱۰	۱۰	۱۰/۵	۷/۵	۷	منطقه شورزار

بررسی مساحت هر یک از کلاس‌های فرسایشی بادی در منطقه نشان می‌دهد که طبقات فرسایشی زیاد و خیلی زیاد با دربرگرفتن حدود ۵۵ درصد، بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۴). طبقه فرسایشی متوسط و کم نیز با اختصاص ۳۸/۲

درصد از منطقه در رتبه دوم از نظر مساحت کلاس‌ها قرار دارد. متوسط میزان فرسایش بادی در منطقه ۲۵۱۷/۹۶ تن بر کیلومترمربع در سال و یا ۲۵/۱۷ تن بر هکتار در سال محاسبه گردید.



شکل ۳- نقشه شدت فرسایش بادی منطقه را نشان می‌دهد

Figure 3. shows the intensity of wind erosion in the region

جدول ۴- پتانسیل فرسایش و رسوبدهی بادی منطقه

Table 4. wind erosion and sedimentation potential of the region

مساحت (هکتار)	پتانسیل رسوبدهی و شدت فرسایش اراضی	علامت
۵۳۵/۱۶	خیلی کم	I0
۴۴۸۰۵/۹۳	کم	I
۷۵۱۰/۴۹	متوسط	II
۳۷۸۰۸/۳۶	زیاد	III
۲۶۶۴۲/۰۵	خیلی زیاد	IV

## بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از پهنه‌بندی فرسایش باد به روش اریفر نیازمند ارزیابی است که این مهم باتوجه‌به فقدان داده‌های ایستگاهی در زمینه شدت فرسایش بادی تنها با بررسی‌های میدانی و شواهد ژئومورفولوژیک امکان‌پذیر است؛ از این‌رو جهت ارزیابی و تطبیق نتایج حاصل از مدل به بررسی‌های میدانی در زمینه ژئومورفولوژی بادی منطقه پرداخته شده است.

بررسی‌های میدانی با تأکید بر ژئومورفولوژی اشکال بادی در منطقه (شکل ۴) نشان می‌دهد که:

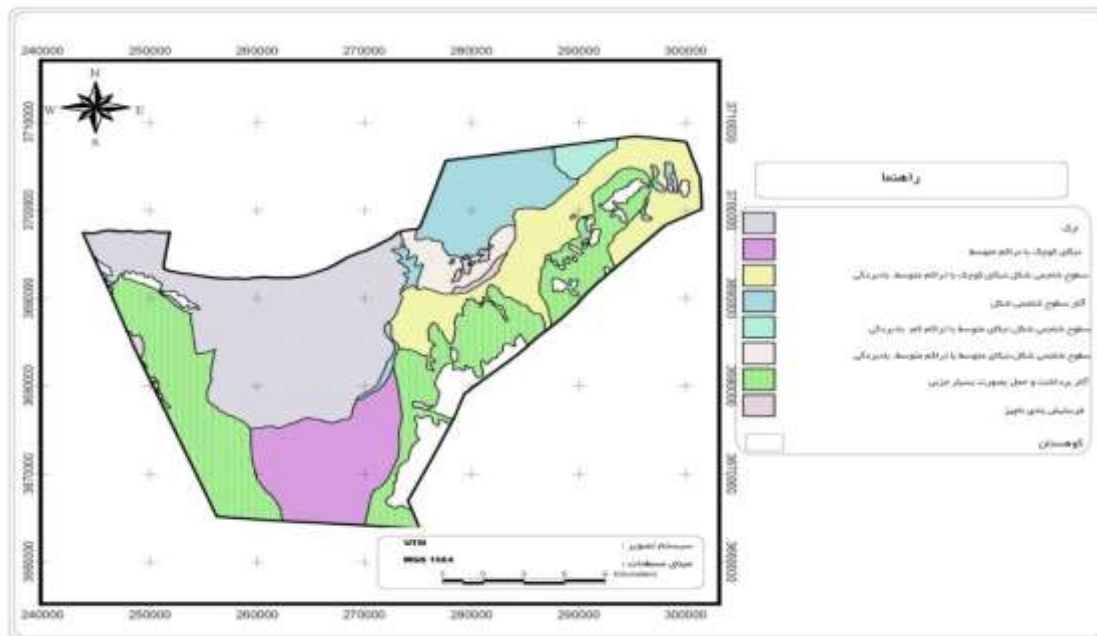
- در بخش‌های مرتفع و کوهستانی شرایط توپوگرافی و جنس سازنده‌های زمین‌شناسی به‌ویژه ریولیت‌ها و سنگ‌های آهکی سبب شده است که عملاً فرسایش بادی در آنها فعالیت نداشته یا در پائین‌ترین حد باشد. با اندکی فاصله از مناطق کوهستانی و بر روی دشت‌سرها میزان فرسایش بادی اندکی قابل‌رؤیت‌تر می‌گردد. فقدان پوشش گیاهی مناسب و خشک‌شدن سریع آنها و چرای زیاده از حد در این مناطق سبب شده که خاک این مناطق در فصول خشک‌سال در معرض بادها قرار گرفته و آثاری از برداشت و حمل مواد را در خود نشان دهند.
- در بخش‌های غربی و جنوب غربی منطقه و بر روی مخروط‌افکنه‌های ریزدانه و درشت‌دانه آثار برداشت و حمل مواد به‌طور بسیار جزئی و به‌صورت تجمع مواد در پای بوته‌ها و به‌صورت ظاهرشدن سنگ‌ریزه‌های کوچک در سطح زمین دیده می‌شود. در بخش شمال شرقی و در اطراف روستای چاه عمیق مقاومت اندک سطوح پف‌کرده نمکی در برابر فرسایش بادی سبب شده است که این محدوده یکی از مناطق حساس به فرسایش قلمداد گردد. آثار فرسایش بادی در این منطقه به‌صورت آثار شلجی شکل در سطح زمین، آثار بادبردگی در اطراف بوته‌ها و تجمع مواد ریزدانه در پناه آنها است. در پدیده بادبردگی رسوباتی که فاقد چسبندگی هستند برداشته و حمل می‌شوند. از عوامل مؤثر در این پدیده میزان رطوبت خاک، وضعیت سطح

خاک، سختی خاک و اندازه دانه‌های خاک است. میزان برداشت به‌وسیله فرایند بادبردگی در رسوبات درهم شامل: تپه‌های ماسه‌ای و رسوبات حاشیه پلایا حداکثر بوده و به سمت مناطق تحت پوشش سنگ‌فرش بیابان کاهش می‌یابد. نیکاهای موجود در این منطقه به‌صورت فعال بوده، دارای تراکمی متوسط و ارتفاعی در حدود تا حداکثر ۱ متر دارند.

- بر روی سطوح پف‌کرده نمکی شرق پلایای پترگان آثار و علائم فرسایش بادی به‌صورت سطوح شلجی شکل، بادبردگی و نیکاهای دیده می‌شود؛ اما تفاوت آن با بخش‌های جنوبی پلایا در تراکم نیکاهای است. در این منطقه به دلیل کمی میزان پوشش، نیکاهای دارای تراکم کم هستند. رسوب مواد و عناصر ریزدانه رسی در داخل پلایای پترگان، آن را بسیار مستعد به فرسایش بادی کرده است. در فصول تابستان با خشک‌شدن آب داخل پلایا، به دلیل فقدان پوشش گیاهی باد با سرعت و توان بالایی رسوبات ریزدانه را برداشته و با خود حمل می‌کند. آثار برداشت مواد توسط باد به‌صورت سطوح شلجی شکل در سطح خاک نمایان است.
- در محدوده اراضی زراعی منطقه اثر فرسایش بادی در سطوح شخم‌خورده خصوصاً در بالای فاروهای شخم دیده می‌شود. پهنه‌های ماسه‌ای نیز در اثر حمل ماسه‌ها در فصول خشک در داخل فاروها قرار گرفته‌اند. اثرات حمل ماسه در برخی از نقاط بسیار شدید بوده به‌طوری‌که کشاورزان هزینه بسیار زیادی را جهت تخلیه ماسه‌ها از فاروها متحمل می‌شوند.
- در بخش شرقی و در جنوب پلایای پترگان بر روی مخروط‌افکنه‌های ریزدانه آثار فرسایش بادی به‌صورت مختلف از جمله فرسایش سطحی، تشکیل نیکاهای کوچک با ارتفاع بین ۵۰-۳۰ سانتی‌متر و آثار بادبردگی مشاهده می‌شود. فرسایش سطحی ایجاد شده در این منطقه به‌صورت نمایان‌شدن سنگ‌ریزه‌های ریزدانه با تراکم کم در سطح خاک مشخص است. آثار برداشت و

بوته‌ها نبکاهای کوچکی ایجاد شده که دارای تراکم متوسطی هستند.

حمل مواد نیز به‌صورت بادبردگی از سطوح لخت زمین و رسوب عناصر ریزدانه رسی در پشت بوته‌ها در منطقه دیده می‌شود. در اثر حمل مواد و رسوب آنها در پای



شکل ۴- نقشه اشکال ژئومورفولوژی بادی منطقه

Figure 4. map of wind geomorphology of the region

و از نظر تعداد در واحد سطح نیز در حد متوسطی قرار دارند. محدوده تحت قلمرو ارگ همت‌آباد با مساحتی در حدود ۳۳۵۵۶/۴۴ هکتار از کوه‌های خواجه در شمال شرق منطقه شروع شده و تا محدوده پلایای پترگان در شرق و تقریباً تا مرکز منطقه مورد مطالعه در جنوب ادامه می‌یابد. در این ارگ اشکال مختلفی از تپه‌های ماسه‌ای بسته به نوع مانع موجود و شرایط محلی تشکیل شده که دارای ارتفاع‌هایی متفاوت و تا حداکثر ۱۰ متر هستند. ارگ همت‌آباد به‌صورت یک ارگ نیمه‌فعال تا فعال بوده و حتی در برخی نقاط در اثر افزایش ماسه‌ها تپه‌های ماسه‌ای جدید تشکیل شده‌اند. سمت گسترش و پیشروی ارگ نیز از سمت شمال شرق به جنوب غرب است.

مدل از انطباق بالایی با داده‌های واقعی برخوردار بوده و نتایج قابل قبولی ارائه نموده است به‌طوری‌که بر اساس نتایج مدل

- کاهش شیب آبراهه‌های اصلی در مناطق هموار و عریض بودن بستر آنها سبب شده که نوع خاصی از شکل فرسایش بادی در این مناطق ایجاد شود. با قرارگرفتن مواد ریزدانه بستر این آبراهه‌ها در معرض بادهای فرساینده به‌تدریج توسط باد کنده شده و با برخورد به اولین موانع که همان بوته‌های داخل مسیل‌ها هستند، رسوب نموده و نبکاهای کوچکی را به ارتفاع حداکثر ۵۰ cm ایجاد نموده‌اند. به دلیل تراکم کم پوشش گیاهی موجود در مسیل‌ها، نبکاها نیز با تراکم کم تا متوسط در این مسیرها شکل گرفته‌اند.
- در جنوب منطقه نیز رسوبات بسیار ریزدانه موجود در اثنای طوفان‌ها نبکاهای بسیار کوچکی را ایجاد کرده است که ارتفاع آنها تا حداکثر به ۵۰ سانتی‌متر می‌رسد با توجه به داده‌های میدانی که مورد بحث قرار گرفت و انطباق آن با نتایج حاصل از مدل مورد استفاده ملاحظه می‌شود که نتایج

- China: an overview. *Journal of Soil and Water Conservation*, 55(2): 439-444.
4. Abbasi H.R. 2021. land sensitivity to wind erosion in Omidiyeh-Hendijan-Mahshahr dust sources, Technical report, Research institute of forests and Rangelands Iran, p.105.
  5. Shahabinejad, N., M. Mahmoodabadi, A. Jalalian and E. Chavoshi. 2019. The fractionation of soil aggregates associated with primary particles influencing wind erosion rates in arid to semiarid environments. *Geoderma* 356: 113936.
  6. Pansu, M., and Gautheyrou, J. 2006. *Handbook of Soil Analysis, Mineralogical, Organic and Inorganic Methods*. Springer. 993p.
  7. Gee, G. W. and J. W. Bauder. 1986. Particle-size analysis, hydrometer method. PP. 404-408. In: A. Klute (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part I, 3 th Ed.*, Amrican Society Agronomy, Madison, WI.
  8. Li, X. L., L. Y. Liu and J. H. Wang. 2004. Wind tunnel simulation of Aeolian sandy soil erodibility under human disturbance. *Geomorphology* 59: 3-11.
  9. Rezaei Arshad, R., M. Mahmoodabadi, M. H. Farpoor and M. Fekri. 2019. Experimental investigation of raininduced splash and wash processes under wind-driven rain. *Geoderma* 337: 1164-1174.
  10. Nazari Samani, A. A., Khosravi, H., Mesbahzadeh, T., Azarakhshi, M., & Rahdari, M. R. (2016). Determination of sand dune characteristics through geomorphometry and wind data analysis in central Iran (Kashan Erg). *Arabian Journal of Geosciences*, 9(18), 716.

حداقل پتانسیل فرسایش پذیری مربوط به نقاط کوهستانی، تپه‌ماهورهای منطقه به دلیل وجود واحدهای زمین‌شناسی مقاوم و کاهش سرعت باد است. دشت‌سرها و مخروط‌افکنه‌های درشت و ریزدانه در جنوب و جنوب غرب منطقه دارای اندکی فرسایش به صورت حمل و برداشت جزئی مواد بوده و در طبقه فرسایشی کم (طبقه II) قرار می‌گیرند. بستر کال گزرود و بسترهای آبراه‌های منتهی به آن در جنوب منطقه دارای کلاس فرسایشی متوسط هستند. در بخش‌های شمال شرقی و شرق منطقه، در بخش پلایا، میزان فرسایش در طبقه فرسایشی زیاد (IV) قرار گرفته است. این مناطق یکی از حساس‌ترین محل‌ها برای فرسایش بادی به شمار می‌رود. در محل اصلی ارگ در منطقه تپه‌های ماسه‌ای اعم از بارخان‌ها، بوکلیه‌ها، تپه‌های ماسه‌ای با اشکال نامنظم، کلاس فرسایش‌پذیری در طبقه بسیار زیاد (V) واقع شده است. در این منطقه فرسایش بادی بسیار فعال بوده و آثار آن به صورت ایجاد تپه‌های ماسه‌ای، پهنه‌های ماسه‌ای و خالی‌شدن پای بوته‌ها است. از دیگر علائم شدید بودن فرسایش در این منطقه می‌توان به ماسه‌های رسوب یافته در پناه منازل مردم (روستای چشمه بید) باغات و مزارع کشاورزان (رسوب ماسه‌ها در مزارع صیفی‌جات و باغات انگور در روستای همت‌آباد خواجه) اشاره کرد.

## References

1. Mahmoodabadi M., and Rajabpour H. 2017. Study on the effect of initial soil moisture content on wind erosion rate using a laboratory wind tunnel. *Journal of Water and Soil Conservation* 24(2): 167-182. In Persian with English abstract
2. Mahmoodabadi M., and Zamani S. 2012. Effect of wind speed and soil particle size distribution on sediment transport mechanisms due to wind erosion. *Watershed Engineering and Management* 4(3): 141-151. )In Persian with English abstract
3. Dong, Z., X. Wang and L. Liu. 2000. Wind erosion in arid and semi-arid

- Regions Geographic Studies 1(4): 17-33. (In Persian)
16. Mehrshahi:dariush.Nkonam.zari 1388. journal of the growth of geogeaphy statisticis.number 88.the twenty-fourth.period.pages9.
17. Refahi, H. 2004. Wind Erosion and Control. University of Tehran Press, 320p. (In Persian)
18. Fister, W. and Ries, J.B. 2009. Wind erosion in the central Ebro Basin under changing land use management. Field experiments with a portable wind tunnel. Journal of Arid Environments,73.
19. Fearn, T., Riccioli, C., Garrido-Varo, A. and Guerrero-Ginel, J.E. 2009. On the geometry of SNV and MSC .Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 96 (1): 22-26.
20. Fister, W. and Ries, J. B. 2009. Wind erosion in the central Ebro Basin under changing land use management. Field experiments with a portable wind tunnel, Journal of Arid Environments, V73. pp 996-1004.
21. Morgan, R.P.C. 2009. Soil erosion and conservation: John Wiley & Sons.
11. Forest, Range and Watershed Management Organization (FRWMO). 2005. National program for desert land management of Iran. Deputy State of Rangeland and Soil, Office of Desertification and Sand Fixation, 112 pages. (In Persian)
12. Li, F. R., Zhao, L. Y., Zhang, H., Zhang, T. H. and Shirato, Y., 2004. Wind erosion and airborne dust deposition in farmland during spring in the Horqin Sandy Land of eastern Inner Mongolia, China. Soil and Tillage Research 75, 121-130.
13. Ahmadi, H. 1998. Applied geomorphology. Tehran University press, 620 pages. (In Persian)
14. Presley D., and Tatarko J. 2009. Principles of wind erosion and its control. Kansas State University. Available at: <http://www.weru.ksu.edu>. (Visited August 18, 2011).
15. Yamani M., Zahab Nazoori S., and Goorabi A. 2011. Morphometric study and causes of Kerman rig deployment through the analysis of wind characteristics and sand grain. Arid