

## پایش تغییرات رژیم بادی و روند پتانسیل حمل ماسه در بیابان‌های ساحلی جنوب شرق ایران (کنارک-چابهار)

محمد رضا راهداری<sup>۱</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۰۹

### چکیده

با توجه به قرارگیری ایران در کمربند خشک و بیابانی دنیا لزوم توجه به شاخص‌های مرتبط با فرسایش بادی از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. یکی از شاخص‌های کلیدی در مطالعات محیط‌های بادی، شاخص پتانسیل حمل ماسه است که درک مناسبی را از فرایندهای حرکت ماسه‌های روان ایجاد می‌کند. هدف این پژوهش پایش رژیم بادی و همچنین ارزیابی روند تغییرات شاخص پتانسیل حمل ماسه در بیابان‌های ساحلی جنوب شرق ایران (کنارک و چابهار) که کمتر مورد توجه قرار گرفته است. مطالعات رژیم بادی در مقیاس سالانه نشان داده که جهت جنوب شرق ( $15/5^\circ$ ) در چابهار و جنوب غرب ( $11/5^\circ$ ) در کنارک از بیشترین فراوانی وزش باد برخوردار است. یافته‌های مطالعات بادهای فرساینده (بیشتر از سرعت آستانه فرسایش بادی) نیز بیان نمود که درصد فراوانی متوسط سالانه در چابهار و کنارک به ترتیب معادل  $1/37$  و  $2/23$  است. ارزیابی‌های پتانسیل حمل ماسه برآورد نمود که این شاخص در کنارک ( $DP=170, RDP=100$ ) بیشتر از چابهار ( $DP=66, RDP=21$ ) است و از سویی جهت حرکت ماسه‌های روان در هر دو منطقه به سمت شمال شرق است. نتایج تجزیه و تحلیل‌های پتانسیل حمل ماسه در مقیاس سالانه با توجه به آزمون من-کندال و شیب سینس بیانگر روند منفی ( $Z=-4/21, \beta=-3/42$ ) در چابهار و روند مثبت ( $Z=2/16, \beta=4/14$ ) در کنارک است. در پایان پیشنهاد می‌شود که مدیران حوزه اجرا به منظور کنترل حرکت ماسه‌های روان در این مناطق روندهای تغییرات را در نظر بگیرند و ارائه راه‌حل به منظور کنترل حرکت ماسه‌های روان مبتنی بر توالی زمانی باشد.

**کلیدواژه‌ها:** رژیم بادی، من-کندال، شیب سینس، چابهار، کنارک.

۱. استادیار، گروه مهندسی طبیعت و گیاهان دارویی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تربت حیدریه، ایران؛ [Rahdarimr@torbath.ac.ir](mailto:Rahdarimr@torbath.ac.ir)  
این مقاله برگرفته از نتایج طرح تحقیقاتی اجرا شده به شماره قرارداد 1402/09/18 179 از محل اعتبارات پژوهشی دانشگاه تربت حیدریه است.

## مقدمه

توجه زیادی به مباحث مورد مطالعه در فرسایش بادی از نیمه دوم قرن نوزدهم در کره زمین انجام شده، به طوری که مناطقی که شامل اقلیم‌های بیابانی است و افزایش تخریب زمین توسط انسان در آن مشاهده شده، از اهمیت بیشتری برای مطالعه برخوردار است (بکر<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۷). اگرچه فرایند فرسایش بادی فرایند اصلی مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود، مناطق مرطوب و نیمه‌مرطوب، از جمله بیابان‌های ساحلی، نیز تحت تأثیر اثرات مخرب آن است (شائو،<sup>۲</sup> ۲۰۰۸). از سویی باید عنوان کرد که در مقیاس جهانی اهمیت و خطر فرسایش بادی کمتر از فرسایش آبی است ولی گاهی ابعاد و عظمت آن از فرسایش آبی بیشتر است (رفاهی، ۲۰۱۲).

فرسایش بادی شامل عوامل فیزیکی پیچیده‌ای است که هنوز به‌طور کامل شناخته نشده و مطالعه آن به دانش طیف گسترده‌ای از رشته‌ها از جمله علوم جوی (اقلیم‌شناسی، سنجش از دور، فیزیک ابر و لایه مرزی جوی) دینامیک سیالات، فیزیک خاک، هیدرولوژی، خاک‌شناسی، محیط‌زیست و همچنین علوم کشاورزی و مدیریت زمین نیازمند است (شائو و همکاران، ۲۰۰۲). به‌طور کلی فرسایش بادی تابع دو دسته عمده از عوامل فرسایش‌پذیری و فرسایش‌پذیری است؛ فرسایش‌پذیری به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (مقاومت خاک در برابر جدا شدن و انتقال ذرات خاک) مربوط می‌شود و فرسایش‌پذیری نیز تحت تأثیر رژیم و سرعت باد است (احمدی، ۲۰۱۲).

برخی مطالعات نشان داده است که اطلاعات بادسنجی با رخدادهای بادی و توالی‌های رسوبات ارتباط مستقیم دارند (جیول و نیکول،<sup>۳</sup> ۲۰۱۱). باد با پارامترهای جهت، اندازه و نیرو یک فاکتور فرسایش‌پذیری است و سرعت و قدرت آن عامل اصلی در فرسایش بادی محسوب می‌گردد و براساس مطالعات، سرعت باد نسبت مستقیم با میزان فرسایش بادی دارد (راه‌داری و همکاران، ۲۰۲۳). از سویی، یک‌چهارم از سطح بیابان‌های کره زمین توسط باد از ذرات ماسه پوشیده شده است و سالانه

صدها میلیون تن خاک توسط باد جابه‌جا می‌شود (رفاهی، ۲۰۱۲). شکل تپه‌های ماسه‌ای و مورفودینامیک این تپه‌ها از سه پارامتر فراوانی، اندازه و جهت فرایندهای بادی تأثیرپذیری زیادی را دارد (پیرس و والکر،<sup>۴</sup> ۲۰۰۵). از سویی دیگر، مشکلات حاصل از تحرک تپه‌های ماسه‌ای و اثرات مخرب آن بر زیرساخت‌ها و مناطق پرجمعیت با کسب دانش منطقه‌ای در زمینه فرایندهای بادی قابل حل خواهد بود (الوادهی<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۵). لذا شناخت و تجزیه و تحلیل فاکتورهای باد به‌عنوان عامل اصلی تخریب و فرسایش در مناطق بیابانی، برای جلوگیری از اثرات تخریبی آن لازم به نظر می‌رسد و مهم‌ترین فاکتورها شامل سرعت باد، جهت باد غالب، فراوانی باد (گلباد، گل توفان و گلماسه) است (احمدی، ۲۰۱۲).

فرایرگر<sup>۶</sup> در سال ۱۹۷۹ طی مطالعات و پژوهش‌های آزمایشگاهی و تجربی در مناطق بیابانی دنیا شاخص پتانسیل حمل ماسه را معرفی کرد؛ این شاخص مبتنی بر سرعت و جهت بادهای فرساینده است و به‌عنوان یک شاخص کلیدی در محیط‌های بادی مورد استفاده قرار گرفته است (هیره‌هیر<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۲۰). از سویی دیگر، مطالعات جهانی نشان داده که سری‌های زمانی شاخص‌های مبتنی بر سرعت باد نسبت به بارندگی و دما کمتر مورد توجه و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است (یان<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۲۰)؛ در نتیجه چنین مطالعاتی از اهمیت بالایی در مقیاس‌های زمانی و مکانی برخوردار است. از آنجاکه بخش وسیعی از ایران در اقلیم خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته، شاخص پتانسیل حمل ماسه در این مناطق، به‌ویژه در زمان‌هایی که روندهای مثبت در سرعت باد وجود داشته باشد، از اهمیت بالایی برخوردار است.

مناطق بیابانی ایران از نظر مکانی به دو دسته کلی بیابان‌های داخلی و ساحلی طبقه‌بندی شده است (احمدی، ۲۰۱۲)، به طوری که بیابان‌های ساحلی ایران که به‌صورت نواری شرقی-غربی از خلیج گواتر تا خوزستان گسترش یافته، کمتر

4. Pearce and Walker  
5. Al-Awadhi  
6. Fryberger  
7. Hereher  
8. Yan

1. Bakker  
2. Shao  
3. Jewell and Nicoll

همچنین پتانسیل حمل ماسه در این منطقه از نظر کمی معادل ۶۶ تا ۱۲۴ واحد بردار برآورد شده است (ما<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۲۲). به‌رغم پژوهش‌های متعدد در سطح ملی و بین‌المللی در ارتباط با پتانسیل حمل ماسه در محیط‌های بیابانی، مطالعات اندکی در ارتباط با ارزیابی روند تغییرات این شاخص در محیط‌های بیابانی به‌خصوص بیابان‌های ساحلی ایران انجام شده است. لذا در این پژوهش تلاش شده است در بیابان‌های ساحلی جنوب شرق ایران (چابهار و کنارک) در ارتباط با ارزیابی روند تغییرات پتانسیل حمل ماسه به پژوهش پرداخته شود.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

مناطق ساحلی جنوب شرق ایران بخش عظیمی از کرانه‌های دریای عمان را به خود اختصاص داده است و در عرض‌های جغرافیایی ۱۵° ۲۵' تا ۳۰' ۲۵° شمالی و طول‌های جغرافیایی ۱۵' ۵۹° تا ۳۰' ۶۱° شرقی قرار گرفته است. محدوده غربی این بخش خور کرتی در مجاورت استان هرمزگان و محدوده شرقی آن مرز ایران و پاکستان در خلیج گواتر است (قریب‌رضا، ۲۰۱۶). از نظر توپوگرافی دشت‌های موجود دارای شیب کم است و رودخانه‌های مهم شامل رودخانه سرگان و کهیر است (راهداری و همکاران، ۲۰۱۳). در این منطقه تپه‌های ماسه‌ای با ارتفاع بیش از ۵ متر به‌صورت نواری در ساحل شکل گرفته و در برخی موارد این اشکال با گونه‌های مرتعی از قبیل کهور آمریکایی (*Prosopis juliflora*) تثبیت شده است (جدگال، ۲۰۱۶).

### روش تحقیق

#### رژیم بادی و پتانسیل حمل ماسه

در ابتدا به تهیه اطلاعات بادسنجی ایستگاه‌های سینوپتیک چابهار و کنارک پرداخته شده است و اطلاعات جهت و سرعت باد آماده‌سازی گردیده (۲۰۱۶-۱۹۸۷) و با توجه به مطالعات پتانسیل حمل ماسه در مناطق مختلف بیابانی دنیا

مورد توجه و مطالعه قرار گرفته است. این مناطق به‌صورت عمومی به‌دلیل مجاورت با آب‌های اقیانوسی و خلیج فارس، دارای رطوبت نسبی بالایی به‌ویژه در فصول گرم سال است (هیره‌هیر، ۲۰۱۴) و ازسویی دیگر با توجه به تأثیرپذیری از بادهای ساحلی، مطالعه سرعت و جهت باد و همچنین پتانسیل حمل ماسه بسیار حائز اهمیت است.

با توجه به اهمیت محیط‌های بیابانی ایران در پژوهشی به ارزیابی رژیم بادی در منطقه گابریک جاسک پرداخته شده و میزان پتانسیل حمل ماسه معادل ۴۶۰ واحد بردار برآورد شده و در کلاس شدید قرار گرفته است (زارعیان جهرمی، ۲۰۰۸). در مطالعه‌ای به ارزیابی رژیم بادی منطقه ریگ بلند کاشان پرداخته شده و مقایسه بین نتایج حاصل از روش فرایبرگر و کلاس‌های سرعت باد با نرم‌افزار گاماسه‌نما بیانگر این است که تطابق کاملی بین آن‌ها وجود ندارد (نظری‌سامانی و همکاران، ۲۰۱۶). در تحقیقی در استان کرمان مشخص شده طی سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۰، ایستگاه رفسنجان دارای بالاترین پتانسیل حمل ماسه با مقدار کمی ۱۶۳۷ واحد بردار است (زمانی و همکاران، ۲۰۱۹). یافته‌های پژوهشی در تپه‌های ماسه‌ای منطقه جاسک بیانگر غالبیت بادهای غربی و همچنین فعالیت بادهای فرساینده در فصل تابستان و ماه‌های مرداد و شهریور بوده، و ازسویی پتانسیل حمل ماسه نیز طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ معادل ۲۵۷ واحد بردار برآورد شده است (اکبرپور بناب و همکاران، ۲۰۲۲). در ریگزارهای جنوب غرب ایران نیز طی مطالعه‌ای، یافته‌های تحقیق بیانگر حاکمیت رژیم بادی غربی است و پتانسیل حمل ماسه نیز بین ۱۱ تا ۲۲۶ واحد بردار درحال تغییر است (مقصودی و همکاران، ۲۰۲۳). در سطح بین‌المللی نیز پژوهشی در شمال شرق کشور عمان انجام شده که بیانگر بالا بودن پتانسیل حمل ماسه در فصول بهار و تابستان است (بیش از ۵۰۰ واحد بردار) و در فصول پاییز و زمستان نیز معادل ۲۵ و ۵۰ واحد بردار محاسبه شده است (هیره‌هیر و همکاران، ۲۰۲۰). با توجه به خطر حرکت ماسه‌های روان در خطوط ریلی در بیابان تکله‌مکان، در پژوهشی به مطالعه رژیم بادی و پتانسیل حمل ماسه پرداخته شده که نتایج آن بیانگر غالبیت بادهای شمال شرقی است و

روند تغییرات سری‌های زمانی طبق رابطه ذیل استفاده شده است.

$$s = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{l=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k)$$

در این رابطه،  $n$  طول سری زمانی داده‌های سرعت باد و  $X_k$  و  $X_j$  دو داده متوالی  $k$  ام و  $j$  ام سری زمانی و  $K$  نامساوی  $J$  و کوچک‌تر از  $n$  است. تابع علامت ( $\text{sgn}$ ) روند (مثبت، خشی، منفی) را نشان می‌دهد و ازسویی دیگر، آماره آزمون ( $Z$ ) از رابطه ذیل به دست می‌آید:

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases}$$

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } S < 0 \end{cases}$$

آزمون من-کندال تنها وجود روند را نشان می‌دهد و برای محاسبه شیب واقعی که میزان تغییر در واحد زمان است، از روش ناپارامتری برآوردگر شیب سینس استفاده می‌شود (رابطه ذیل).

$$\beta = \frac{x_j - x_i}{j - i}$$

## نتایج

در شکل (۱) درصد باد آرام و سرعت میانگین باد (نات) قابل مشاهده است و همان‌طور که استنباط می‌گردد، حداقل تفاوت سرعت باد در فصل بهار و تابستان در منطقه مشاهده می‌شود. ازسویی دیگر، سرعت متوسط باد در ایستگاه‌های سینوپتیک چابهار و کنارک به ترتیب معادل ۶ و ۵ نات است. نتایج ارزیابی درصد باد آرام نیز بیانگر این است که ایستگاه کنارک دارای فراوانی بالاتری نسبت به چابهار است و ازسویی درصد باد آرام سالانه در ایستگاه سینوپتیک چابهار و کنارک به ترتیب معادل ۱۹/۸٪ و ۴۷/۹٪ است.

(فرایرگر، ۱۹۷۹) سرعت آستانه فرسایش بادی معادل ۱۲ نات در نظر گرفته شده است. ازسویی برای انجام تحلیل‌های مربوط، از نرم‌افزارهای WR Plot و همچنین MATLAB استفاده شد. به منظور انجام محاسبات پتانسیل حمل ماسه به روش فرایرگر از کلاس‌های سرعت باد استاندارد استفاده شده و در ادامه طی روابط ذیل بیان گردیده است:

$$DP \propto V^2(V - V_t) \times T$$

در رابطه بالا سرعت باد اندازه‌گیری شده با  $V$  نشان داده شده و  $V_t$  سرعت آستانه در منطقه مورد مطالعه است (در این تحقیق ۱۲ نات) و  $T$  فراوانی کلاس‌های سرعت باد در جهات هشت‌گانه در ایستگاه مورد مطالعه است. در نهایت  $DP$  توانایی حمل ماسه در تمام جهات در یک زمان مشخص (برای مثال ماهانه و یا سالانه) با توجه به مطالعات فرایرگر (۱۹۷۹) به دست آمد. به منظور به دست آوردن برآورد (رابطه ذیل) در جهات مختلف (RDP) بعد از تجزیه در امتداد محور طولی و محور عرضی و با توجه به اندازه برداری در هریک از جهات، این موارد مورد ارزیابی قرار گرفته است. ازسویی دیگر، زاویه حمل ماسه‌های روان (RDD) نیز محاسبه شده است.

$$RDP = \sqrt{(C^2 + D^2)}$$

$$D = \sum_{i=1}^{8 \text{ or } 16} (DP_i) \cos \theta_i$$

$$C = \sum_{i=1}^{8 \text{ or } 16} (DP_i) \sin \theta_i$$

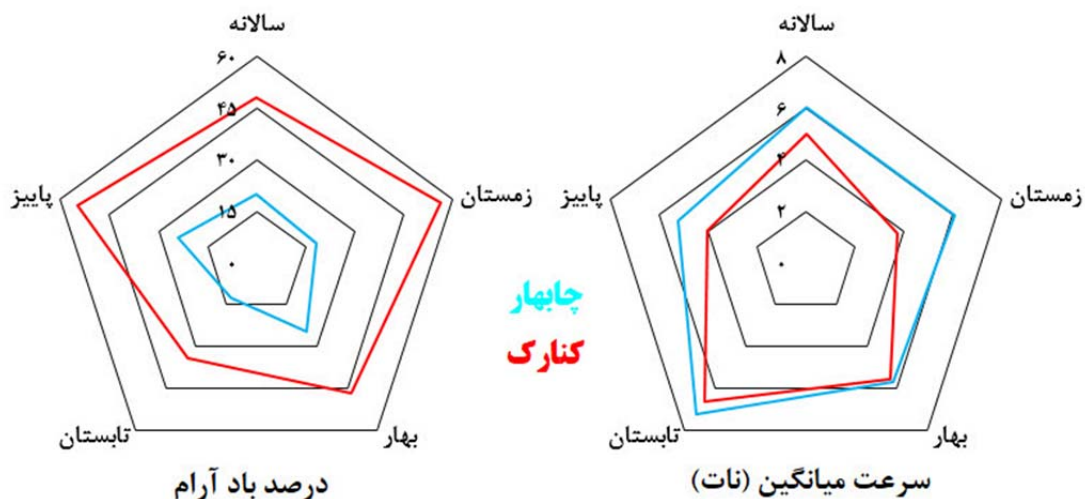
$$RDD = \text{Arc tan}\left(\frac{C}{D}\right)$$

به منظور به دست آوردن نسبت برآورد برداری به برآورد جبری (UDI) از تقسیم این دو پارامتر که در مراحل قبل به دست آمده است، استفاده شد (رابطه ذیل):

$$UDI = \left(\frac{RDP}{DP_t}\right)$$

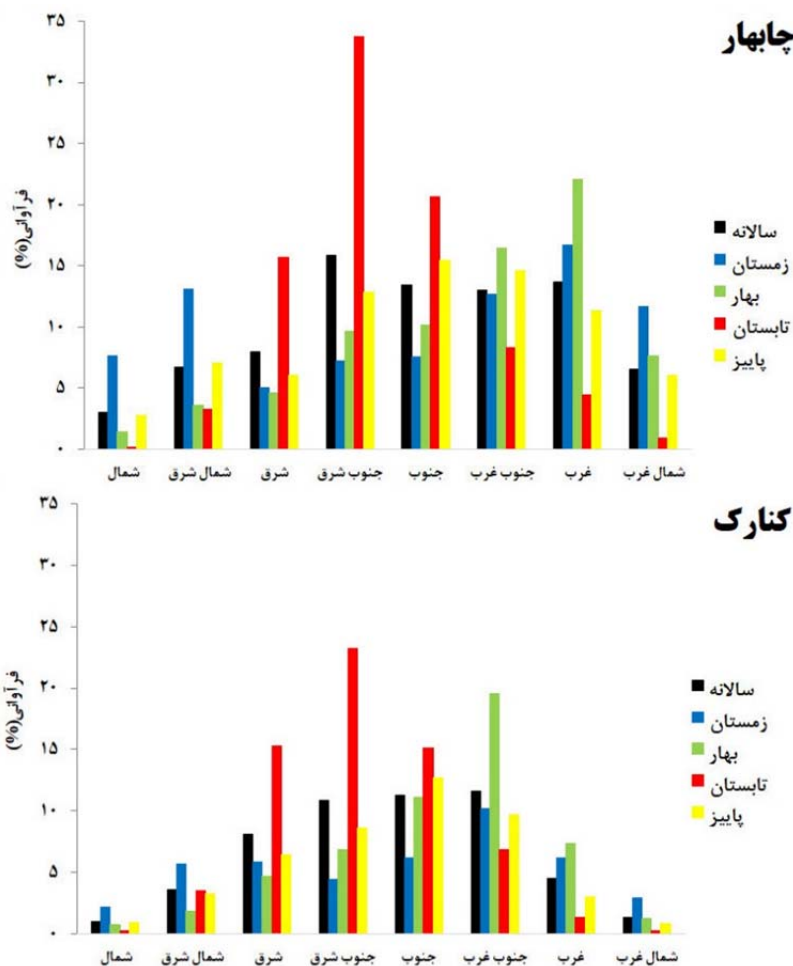
## تجزیه و تحلیل‌های آماری

در این پژوهش از آزمون من-کندال<sup>۱</sup> (من، ۱۹۴۵؛ کندال، ۱۹۵۶) که یک روش آماری ناپارامتریک است، برای ارزیابی



شکل (۱): درصد باد آرام و سرعت میانگین باد (نات) در ایستگاه‌های کنارک و چابهار

Figure (1): Calm wind percentage and average wind speed (knot) in Konarak and Chabahar stations



شکل (۲): درصد فراوانی جهت باد در مقیاس سالانه و فصلی در ایستگاه‌های کنارک و چابهار

Figure (2): Frequency percentage of wind direction in annual and seasonal scale in Konarak and Chabahar stations

در شکل (۲) درصد فراوانی جهت باد سالانه و فصلی قابل مشاهده و نشانگر این مطلب است که در مقیاس سالانه جهت جنوب شرقی (۱۵/۵۵٪) و جنوب غربی (۱۳/۶۴٪) در چابهار و جهت جنوب غربی (۱۱/۵۷٪) و جنوب (۱۱/۲۷٪) در کنارک از

بالاترین فراوانی برخوردار است. از سویی دیگر، مطالعه رژیم بادی فصلی بیانگر این مطلب است که در فصل زمستان و بهار بادهای جنوب غرب و غرب به ترتیب در چابهار و کنارک دارای فراوانی بیشتری هستند و در فصل تابستان در هر دو منطقه،

بادهای جنوب شرقی از بالاترین فراوانی برخوردار است و در نهایت در فصل پاییز در هر دو منطقه بادهای جنوبی دارای بیشترین فراوانی هستند.

جدول (۱): درصد فراوانی جهات باد بیشتر از سرعت آستانه فرسایش بادی در مقیاس سالانه و فصلی در ایستگاه‌های کنارک و چابهار  
Table (1): The percentage of frequency of wind directions higher than wind erosion threshold speed on an annual and seasonal scale in Konarak and Chabahar stations

جهت	سالانه		زمستان		بهار		تابستان		پاییز	
	کنارک	چابهار	کنارک	چابهار	کنارک	چابهار	کنارک	چابهار	کنارک	چابهار
شمال	۰/۱۶	۰/۱۰	۰/۴۵	۰/۲۴	۰/۱۱	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۸	۰/۰۹
شمال شرق	۰/۳۹	۰/۵۶	۰/۷۴	۱/۳۴	۰/۱۷	۰/۲۶	۰/۴۰	۰/۴۱	۰/۲۵	۰/۴۷
شرق	۱/۸۸	۱/۲۷	۱/۴۶	۰/۷۸	۱/۱۱	۰/۶۸	۳/۱۲	۳/۷۴	۱/۱۹	۰/۵۸
جنوب شرق	۴/۵۸	۳/۵۶	۱/۰۸	۱/۳۱	۲/۹۰	۱/۳۶	۹/۴۱	۱۱/۲۷	۲/۹۹	۲/۳۰
جنوب	۴/۱۳	۱/۲۱	۱/۴۰	۰/۶۴	۴/۹۸	۰/۶۷	۲/۵۶	۶/۰۶	۴/۱۹	۱/۲۰
جنوب غرب	۵/۳۰	۱/۴۵	۳/۶۸	۱/۶۹	۱۰/۵۴	۲/۵۷	۰/۶۸	۳/۰۶	۳/۷۲	۰/۵۱
غرب	۱/۱۸	۲/۴۸	۱/۴۹	۳/۹۳	۲/۴۲	۴/۳۵	۰/۵۴	۰/۳۷	۰/۴۲	۰/۷۳
شمال غرب	۰/۲۴	۰/۳۷	۰/۵۶	۰/۷۷	۰/۳۱	۰/۵۳	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۱۲
حداکثر	۵/۳۰	۳/۵۶	۳/۶۸	۳/۹۳	۱۰/۵۴	۴/۳۵	۹/۴۱	۱۱/۲۷	۴/۱۹	۲/۳۰
حداقل	۰/۱۶	۰/۱۰	۰/۴۵	۰/۲۴	۰/۱۱	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۹
میانگین	۲/۲۳	۱/۳۷	۱/۳۶	۱/۳۳	۲/۸۲	۱/۳۰	۲/۰۹	۳/۱۲	۱/۶۱	۰/۷۵
انحراف از معیار	۱/۹۸	۱/۰۸	۰/۹۶	۱/۰۷	۳/۳۲	۱/۳۷	۲/۹۷	۳/۷۰	۱/۶۳	۰/۶۷
سرعت آستانه >	۸۲/۱۴	۸۹/۰۰	۸۹/۱۴	۸۹/۳۰	۷۷/۴۶	۸۹/۵۳	۸۳/۲۲	۷۵/۰۵	۸۷/۱۱	۹۴/۰۰

شمال از کمترین درصد فراوانی برخوردار است و بیانگر اهمیت کمتر این جهت به منظور ایجاد فعالیت‌های کنترلی مقابله با حرکت ماسه‌های روان در منطقه است. یافته‌های گلماسه در مقیاس سالانه (شکل ۳) بیانگر این مطلب است که کنارک از پتانسیل حمل ماسه بیشتری نسبت به چابهار برخوردار است و از سویی برای حمل ماسه در هر دو منطقه به سمت شمال شرق منطقه است و بیانگر تأثیرگذاری بیشتر بادهای ساحلی است که از سمت دریای عمان به سمت این دو منطقه در حال وزیدن است.

با توجه به اینکه در مطالعات فرسایش بادی سرعت بادهای بیشتر از آستانه از اهمیت بالاتری برخوردارند، محاسبات مربوط به گل‌توفان نیز ارزیابی شده و در جدول (۱) قابل مشاهده است. همان‌طور که در جدول (۱) بیان شده، در مقیاس سالانه میانگین درصد فراوانی بادهای بیشتر از سرعت آستانه در چابهار و کنارک به ترتیب برابر با ۱/۳۷٪ و ۲/۲۳٪ است و جهات جنوب شرقی (۳/۵۶٪) در چابهار و جنوب غربی (۵/۳۰٪) در کنارک از بالاترین درصد فراوانی برخوردار است. در هر دو منطقه در مقیاس سالانه جهت

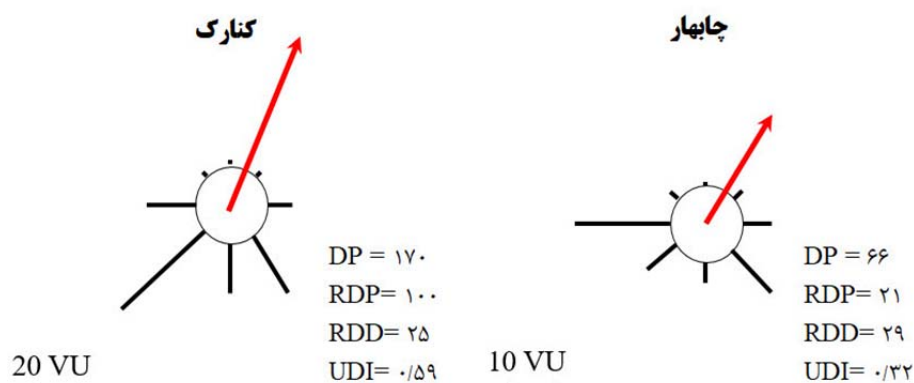


Figure (3): Sand drift potential in annual scale in Konarak and Chabahar stations (۳): گلماسه سالانه ایستگاه‌های چابهار و کنارک

یافته‌های آزمون‌های ناپارامتریک آماری از قبیل من-کندال و شیب سینس به منظور ارزیابی روند تغییرات پتانسیل حمل ماسه نشان می‌دهد که در همه ماه‌های مورد مطالعه با توجه به هر دو آزمون آماری روند تغییرات پتانسیل حمل ماسه در چابهار منفی و در کنارک مثبت است. از سویی دیگر، نتایج سالانه نیز روندی مشابه اطلاعات ماهانه را نشان می‌دهد. علاوه بر این، یافته‌های تحلیل روند بیانگر این مطلب است که کاهش پتانسیل حمل ماسه در چابهار در سطح ۹۹٪ معنی‌دار بوده، اما در کنارک در سطح ۹۰٪ معنی‌دار است.

جدول (۲): آزمون آماری منکندال (Z) و شیب سینس (β) در ایستگاه‌های کنارک و چابهار

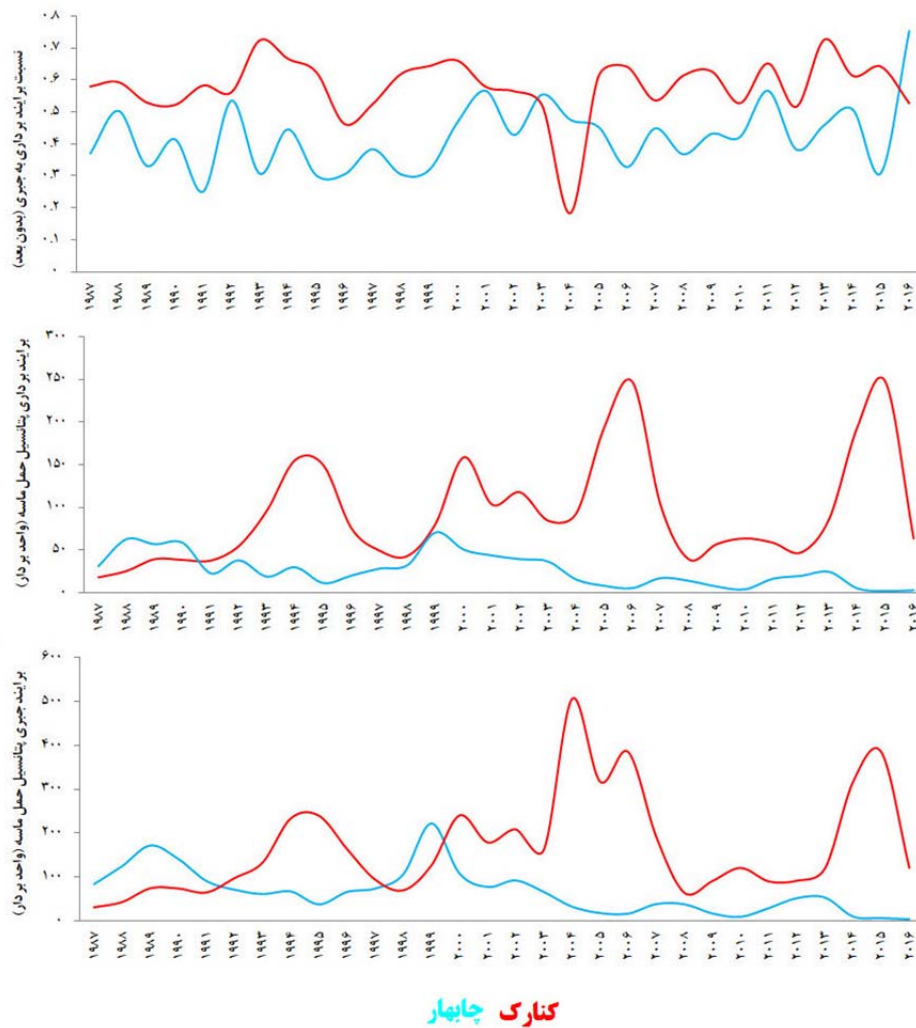
Table (2): Statistical analysis of Mann-Kendall (Z) and Sens slope (β) in Konarak and Chabahar stations

کنارک				چابهار				ماه (میلادی)
β	سطح معنی‌داری	Z	روند	β	سطح معنی‌داری	Z	روند	
۰/۱۰۱	معنی‌دار	۰/۷۹	مثبت	-۰/۳۷۴	٪۹۹	-۴	منفی	۱
۰/۱۲۰	معنی‌دار	۱/۴۳	مثبت	-۰/۶۹۵	٪۹۹	-۱/۱۵	منفی	۲
۰/۵۱۵	٪۹۰	۲/۰۹	مثبت	-۰/۴۷۸	٪۹۹	-۳/۸۲	منفی	۳
۱/۰۶۴	٪۹۰	۲/۴۴	مثبت	-۰/۲۶۰	٪۹۹	-۳/۳۲	منفی	۴
۰/۷۲۳	٪۹۰	۲/۴۱	مثبت	-۰/۱۸۵	٪۹۹	-۳/۵۰	منفی	۵
۰/۵۳۱	٪۹۰	۱/۸۲	مثبت	-۰/۱۵۲	٪۹۰	-۲/۵۲	منفی	۶
۰/۳۳۵	٪۹۰	۱/۸۷	مثبت	-۰/۲۴۱	٪۹۵	-۳/۰۳	منفی	۷
۰/۱۰۷	معنی‌دار	۰/۸۴	مثبت	-۰/۲۷۴	٪۹۹	-۳/۸۲	منفی	۸
۰/۰۲۸	معنی‌دار	۰/۳۷	مثبت	-۰/۱۲۲	٪۹۵	-۲/۸۰	منفی	۹
۰/۰۲۵	معنی‌دار	۰/۶۱	مثبت	-۰/۰۳۴	٪۹۵	-۳/۱۲	منفی	۱۰
۰/۰۴۰	معنی‌دار	۱/۴۵	مثبت	-۰/۰۴۰	٪۹۰	-۱/۸۴	منفی	۱۱
۰/۰۴۹	معنی‌دار	۱/۱۸	مثبت	-۰/۱۲۸	٪۹۵	-۳/۱۲	منفی	۱۲
۴/۱۴۰	٪۹۰	۲/۱۶	مثبت	-۳/۴۲۹	٪۹۹	-۴/۲۱	منفی	سالانه

نسبت برابری برداری به جبری در شکل (۴) در بازه زمانی سی ساله این موارد به صورت شماتیک نمایش داده شده است.

به منظور درک مناسب‌تری از نحوه تغییرات شاخص‌های مورد مطالعه گل ماسه از قبیل برابری برداری و





شکل (۴): پایش شاخص‌های گلماسه در ایستگاه‌های کنارک و چابهار

Figure (4): Monitoring of sand drift potential indicators in Konarak and Chababar stations

## بحث و نتیجه‌گیری

تجزیه و تحلیل‌های درصد باد آرام بیانگر این مطلب است که در منطقه مورد مطالعه درصد بادهای آرام در فصل زمستان به مراتب بیشتر از سایر فصول است و ازسویی مطالعه این شاخص نشان‌دهنده حاکمیت رژیم بادی تابستانه-بهاره است، به طوری که کمترین درصد باد آرام در مناطق سواحلی جنوب شرق ایران در فصل تابستان و بهار قابل مشاهده است.

مطالعه درصد فراوانی رژیم بادی در منطقه نشان‌دهنده حاکمیت بادهای جنوب شرقی، جنوب، جنوب غربی و غربی در مقیاس سالانه است. ازسویی دیگر، در مقیاس فصلی تغییراتی قابل مشاهده است که ناشی از ماهیت وزش بادهای ساحلی در منطقه است و در فصل تابستان بادهای جنوب شرقی از فراوانی

بالتری برخوردار است و در سایر فصول بادهای جنوب غربی و غربی غالب‌تر است. در مطالعه‌ای در سواحل جنوب شرقی ایران به اهمیت فرسایش بادی تأکید شده، به طوری که فرایندهای فرسایش بادی یکی از عوامل اصلی در تغییر خطوط ساحلی است و در طول زمان به دلیل عدم تجانس هوا و خشکی این مورد اثرات قابل توجهی را داشته و موجب حرکت تپه‌های ماسه‌ای گردیده است (احراری رودی و همکاران، ۲۰۱۲).

با توجه به اهمیت فرایندهای بادی، مطالعه رژیم بادی با در نظر گرفتن سرعت آستانه فرسایش بادی بسیار حائز اهمیت است و با توجه به این مورد منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر رژیم بادی جنوب شرقی (چابهار) و جنوب غربی (کنارک) در مقیاس سالانه است و این موضوع نشان‌دهنده حاکمیت رژیم بادی با منشأ رژیم مونسون در این مناطق است. ازسویی دیگر، یافته‌های



بیان کرده‌اند که تغییرات سرعت باد در نتیجه تغییر گرادیان فشار هوا ایجاد می‌شود (لئوریل<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۲۱؛ لیوینگستون<sup>۲</sup>، ۲۰۲۰) و این موضوع می‌تواند اثراتش را بر روی فرایندهای فرسایشی در مناطق ساحلی داشته باشد. در مطالعه‌ای در نیمکره شمالی روند عمومی سرعت باد طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۶ از یک روند منفی برخوردار بوده است (مائو<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۲۰) که با نتایج این تحقیق در چابهار مطابقت دارد. از سویی دیگر، در پژوهشی به این مورد اشاره شده است که مشاهده روند منفی سرعت باد می‌تواند در نتیجه تغییرات کاربری اراضی و زبری سطح زمین باشد (ژانگ<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۲۱). در مطالعه‌ای دیگر به این موضوع اشاره شده که مناطق غربی کشور پاکستان تحت تأثیر یک روند صعودی از سرعت باد برخوردار بوده است (آلاه<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۲۲) و یکی از دلایل اشاره شده در این منطقه کاهش رطوبت خاک در طول زمان در مناطق غربی پاکستان بوده و تغییراتی را در رژیم بادی این نواحی ایجاد نموده است. از سویی دیگر، با توجه به مجاورت کنارک به کرانه‌های غربی کشور پاکستان در این مناطق می‌تواند روند صعودی مشابهی را داشته باشد که در نتایج این پژوهش نیز اشاره شده است.

همان‌طور که در سایر مطالعات مشابه اشاره شده است، فرسایش بادی در صورتی که مورد توجه مدیران اجرایی قرار نگیرد، می‌تواند خطرات زیان‌باری را برای جوامع انسانی، حمل‌ونقل و یا سایر موارد داشته باشد. از سویی در مناطق مختلف جهان از جمله مناطق ساحلی (فلور-بلانکو<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۲۱؛ باکوپولوس و کلارک<sup>۷</sup>، ۲۰۲۱) نیاز مبرم و ضروری در جهت مطالعه فرایندهای فرسایش بادی از اهمیت بالایی برخوردار است. لذا می‌توان اشاره کرد یکی از محدودیت‌های کلیدی در این پژوهش، نبود داده‌های سرعت و جهت باد در مقیاس زمانی کوتاه‌مدت (برای مثال دقیقه‌ای) است و توصیه

این پژوهش با سایر مطالعات در ارتباط با رژیم بادی سواحل دریای عمان مطابق است، به طوری که در سایر پژوهش‌ها بیان شده که این منطقه تحت تأثیر دو نوع رژیم بادی، بادهای غربی و بادهای موسمی از سمت جنوب و جنوب غرب است (لایقی و همکاران، ۲۰۱۷). در سایر مطالعات نیز اشاره شده است که با حرکت از سواحل غربی ایران به سواحل شرقی از غلبه بادهای غربی کاسته می‌گردد و با یافته‌های این پژوهش در سواحل جنوب شرق ایران مطابقت دارد (پارساپور، ۲۰۱۳). از سویی دیگر، مطالعات این بخش بیانگر حاکمیت فرایندهای بادی با بیشترین فراوانی در دو فصل تابستان و بهار در منطقه مورد مطالعه است که در سایر مطالعات مشابه در بیابان‌های ساحلی ایران نیز به این مورد اشاره شده است (اکبرپوربناب و همکاران، ۲۰۲۲).

ارزیابی گل ماسه و جهت حمل ماسه در این مناطق بیانگر این مطلب است که بادهای بخش جنوب غربی و غربی از اهمیت بالایی به منظور توسعه فرایندهای بادی و شکل‌گیری تپه‌های ماسه‌ای داشته و حرکت ماسه‌های روان دارای ماهیت محلی است. از سویی دیگر، در مطالعات مشابه در مناطق ساحلی ایران از جمله سواحل جاسک به این مورد اشاره شده که بادهای دریا به ساحل (آناباتیک) نسبت به بادهای خشکی به دریا (کاتاباتیک) از اهمیت بالاتری در شکل‌گیری تپه‌های ماسه‌ای برخوردار است (اکبرپوربناب و همکاران، ۲۰۲۲). در پژوهشی دیگر نیز به اهمیت بادهای جنوب غربی در بیابان‌های ساحلی ایران توجه ویژه‌ای شده است (زارعیان جهرمی، ۲۰۰۸). شاخص ارزیابی نسبت برآیند برداری به جبری نشان‌دهنده این مطلب است که در چابهار تپه‌های ماسه‌ای چندجهته از تمایل تشکیل بیشتری نسبت به کنارک برخوردار است و به این موضوع در مطالعات محلی نیز اشاره شده است (جدگال، ۲۰۱۶) و در سطح بین‌المللی نیز در تپه‌های سواحل حاشیه دریای عمان (هیره‌هیر و همکاران، ۲۰۲۰) بیان شده است.

آنالیزهای آماری روند تغییرات در چابهار بیانگر یک روند منفی است؛ اما در کنارک این موضوع کاملاً متفاوت است و یک روند آماری مثبت را بیان می‌کند و این موارد می‌تواند در منشأ شکل‌گیری رژیم بادی این دو منطقه باشد. مطالعات متعددی

1. Laurila
2. Livingstone
3. Miao
4. Zhang
5. Ullah
6. Flor-Blanco
7. Bacopoulos & Clark

جهت و سرعت حرکت تپه‌های ماسه‌ای ساحلی به دست آید.

### تقدیر و تشکر

این مقاله مستخرج از نتایج طرح تحقیقاتی اجرا شده به شماره قرارداد 179/1402/09/18 از محل اعتبارات پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس است که بدین وسیله تشکر و قدرانی می‌گردد.

می‌گردد جهت مطالعه دقیق‌تر، ایستگاه‌های بادسنجی در حاشیه سواحل جنوب شرق ایران نصب و راه‌اندازی گردد. در پایان پیشنهاد می‌شود به منظور تجزیه و تحلیل دقیق‌تر اطلاعات بادسنجی در منطقه و تأثیر آن‌ها در تشکیل تپه‌های ماسه‌ای موجود در این منطقه به مقایسه عکس‌های ماهواره‌ای در طول دوره زمانی بلندمدت پرداخته شود و اطلاعات دقیق‌تری از

### منابع

- Ahmadi, H. (2012). *Applied geomorphology (wind erosion)*. Tehran University Press.
- Ahrariroudi, M., Moussavi Harami, S. R., Lak, R., Motamed, A., & Mahboubi, A. (2012). Sedimentology environmental assessment of the Makran coastal region of Iran. *Journal of geotechnical geology*, 7(4), 289-298.
- Akbarpoor Bonab, B., Hanifehpour, M., Biabani, L., & Khosravi, H., 2022. Characteristics of Wind Regime and Sand Transport Potential in Coastal Hills (Case Study: Jask). *Quarterly journal of Environmental Erosion Research*, 47(3), 212-230.
- Al-Awadhi, J. M., Al-Helal, A., & Al-Enezi, A. (2005). Sand drift potential in the desert of Kuwait. *Journal of arid environments*, 63(2), 425-438.
- Bacopoulos, P., & Clark, R. R. (2021). Coastal erosion and structural damage due to four consecutive-year major hurricanes: Beach projects afford resilience and coastal protection. *Ocean & Coastal Management*, 209, 105643.
- Bakker, M. M., Govers, G., Jones, R. A., & Rounsevell, M. D. (2007). The effect of soil erosion on Europe's crop yields. *Ecosystems*, 10, 1209-1219.
- Flor-Blanco, G., Alcántara-Carrió, J., Jackson, D. W. T., Flor, G., & Flores-Soriano, C. (2021). Coastal erosion in NW Spain: Recent patterns under extreme storm wave events. *Geomorphology*, 387, 107767.
- Fryberger, S. G. (1979). *Dune forms and wind regime*. McKee, E.D. (Ed.), a Study of Global Sand Seas. U.S. Geological Survey, Professional Paper, the United States of America, Washington pp. 137-169.
- Gharibreza, M. (2016). Evolutionary trend of paleoshorelines in the Coastal Makran zone (Southeast Iran) since the mid-Holocene. *Quaternary International*, 392, 203-212.
- Hereher, M. E. (2014). Assessment of sand drift potential along the Nile Valley and Delta using climatic and satellite data. *Applied Geography*, 55, 39-47.
- Hereher, M., Al-Buloshi, A., Sherief, Y., Al-Awadhi, T., Al-Hatrusi, S., Charabi, Y., & Assal, E. (2020). Formation of the Wahiba Sand Sea in the Sultanate of Oman: implications of change in wind energy. *Arabian Journal of Geosciences*, 13, 1-14.
- Jadgal, M. (2016). *Granulometric survey and anemometer data to evaluate the morphology of coastal sand dunes in Kanarak*. M.Sc. Thesis, University of Saravan, Faculty of Natural Resources, Saravan, Iran.
- Jewell, P. W., & Nicoll, K. (2011). Wind regimes and aeolian transport in the Great Basin, USA. *Geomorphology*, 129(1-2), 1-13.
- Kendall, M. G. (1956). *Rank Correlation Methods*. Griffin. England: Oxford.
- Laurila, T. K., Sinclair, V. A., & Gregow, H. (2021). Climatology, variability, and trends in near-surface wind speeds over the North Atlantic and Europe during 1979-2018 based on ERA5. *International Journal of Climatology*, 41(4), 2253-2278.
- Layeghi, B., Ghader, S., Ali Akbari Bidokhti, A., & Azadi, M. (2017). Sensitivity of WRF model simulations to physical parameterization over the Persian Gulf and Oman Sea during summer monsoon. *Iranian Journal of Geophysics*, 11(1): 1-20.
- Livingstone, I. (2020). *Geomorphological significance of wind flow patterns over a Namib linear dune*. In *Aeolian geomorphology*, Routledge.
- Ma, B., Gao, L., Cheng, J., Ding, B., Ding, L., Qu, L., & An, Y. (2022). Characteristics and Hazards of an Aeolian Sand Environment along Railways in the Southeastern Fringe of the Taklimakan Desert and Sand Control Measures. *Applied Sciences*, 12(18), 9186.
- Maghsoudi, M., Nejad Hosseini, R., & Gholami, F. (2023). Analysis of Erosive Winds and investigating Wind Sediment Carrying Capacity in sabulous Sandy Regions of Khuzestan Province. *Quarterly journal of Environmental Erosion Research*, 50(2), 1-24.

20. Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Journal of the econometric society*, 13(3), 245-259.
21. Miao, H., Dong, D., Huang, G., Hu, K., Tian, Q., & Gong, Y. (2020). Evaluation of Northern Hemisphere surface wind speed and wind power density in multiple reanalysis datasets. *Energy*, 200, 117382.
22. Nazari Samani, A. A., Khosravi, H., Mesbahzadeh, T., & Rahdari, M. R. (2016). Investigate of Wind Regime and Sand Drift Potential in Order to Identify of Sand Dunes Forms. *Watershed management researches*, 29(111), 19-33.
23. ParsaPooor, R. (2013). *Persian Gulf Science and Technology Park*  
[http://www.pgstp.ir/uploads/PGSTP\\_English\\_trans-1.png](http://www.pgstp.ir/uploads/PGSTP_English_trans-1.png)
24. Pearce, K. I., & Walker, I. J. (2005). Frequency and magnitude biases in the 'Fryberger' model, with implications for characterizing geomorphically effective winds. *Geomorphology*, 68(1-2), 39-55.
25. Rahdari, G. R., Rahdari, M. R., Fakhireh, A. A., Shahryari, A. R., & Khosravi, H. (2013). GIS-based Monitoring and EWSs of Desertification (Case study; southeastern of Iran). *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 1(10), 1185-1198.
26. Rahdari, M. R., Caballero-Calvo, A., Kharazmi, R., & Rodrigo-Comino, J. (2023). Evaluating temporal sand drift potential trends in the Sistan region, Southeast Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(57), 120266-120283.
27. Refahi, H. (2012). *Wind erosion and control*. Tehran University Press.
28. Shao, Y. (2008). *Physics and modelling of wind erosion*. Dordrecht: Springer Netherlands.
29. Shao, Y., Jung, E., & Leslie, L. M. (2002). Numerical prediction of northeast Asian dust storms using an integrated wind erosion modeling system. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 107(D24), AAC-21.
30. Ullah, I., Ma, X., Yin, J., Saleem, F., Syed, S., Omer, A., & Arshad, M. (2022). Observed changes in seasonal drought characteristics and their possible potential drivers over Pakistan. *International journal of climatology*, 42(3), 1576-1596.
31. Yan, B., Chan, P. W., Li, Q. S., He, Y. C., & Shu, Z. R. (2020). Characterising the fractal dimension of wind speed time series under different terrain conditions. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 201, 104165.
32. Zamani, S., Mahmoodabadi, M., Yazdanpanah, N., Farpoor, M., H. (2019). Wind Erosion Potential of Kerman Province using Seasonal Analysis of Wind Rose and Sand Rose. *Journal of Water and Soil*, 33(1): 83-101.
33. Zareian Jahromi, M., 2008. *Morphodynamic study of sand dunes in southern Iran (Case study: Sedij Jask area)*. M.Sc. Thesis, University of Tehran, Faculty of Natural Resources, Karaj, Iran.
34. Zhang, H., Ge, M., Liu, Y., & Yang, X. I., (2021). A new coupled model for the equivalent roughness heights of wind farms. *Renewable Energy*, 171, 34-46.

## Monitoring Changes in the Wind Regime and Trend of Sand Drift Potential in Iran's Southeastern Coastal Deserts (Konarak-Chabahar)

Mohammad Reza Rahdari<sup>1</sup>

Received: 28/03/2024

Accepted: 08/09/2024

### Extended Abstract

**Introduction:** Wind erosion is a phenomenon that involves various complex factors that are not yet fully comprehended. Its study requires knowledge of multiple disciplines, including atmospheric sciences, fluid dynamics, soil science, environmental and agricultural science, and land management. The desert areas of Iran are geographically classified into two general categories: internal and coastal deserts. However, Iran's coastal deserts, which are spread as an east-west strip from Gwatar Bay to Khuzestan, have been under-researched. Considering the importance of the wind regime in the coastal areas, this study set out to evaluate the trend of sand drift potential changes in southeastern Iran.

1. Department of Nature Engineering and Medicinal Plants, Faculty of Agriculture, University of Torbat Heydarieh, Torbat Heydarieh, Iran; Email: Rahdarimr@torbath.ac.ir

**Materials and Methods:** Initially, the wind data collected from the Chabahar and Konarak synoptic stations were processed and prepared for further analysis. According to Fryberger's studies, the wind erosion threshold equals 12 knots. Moreover, WR Plot and MATLAB software were used to perform relevant analyses. Also, standard wind speed classes were used to calculate sand drift potential using the Fryberger method. Finally, the trend of the changes was evaluated using the Mann-Kendall and Sen's slope statistical tests.

**Results:** The average wind speeds in Chabahar and Konarak synoptic stations were found to be 6.05 and 5.01 knots, respectively. Furthermore, the evaluation results of calm wind percentage revealed that Konarak station enjoyed a higher frequency than Chabahar. Also, the annual calm wind percentage in the Chabahar and Konarak synoptic stations was reported as 19.83% and 47.95%, respectively. Based on the annual scale, the southeast (15.55%), the west (13.64%) in Chabahar, and the southwest (11.57%) and south (11.27%) had the highest direction abundance in Konarak. On the other hand, the investigation of the seasonal wind regime indicated that southwest and west winds were more frequent in winter and spring in Chabahar and Konarak, respectively. However, the highest frequency of southeast and southern winds occurred during the summer and autumn in both regions, respectively. Moreover, the results of annual sand drift potential showed that the occurrence of sand drift potential was more likely in Konarak than in Chabahar. In addition, the sand drift potential is directed towards the northeast in both regions, indicating the greater significant influence of coastal winds that blow from the Oman Sea towards these two areas. Furthermore, the results of non-parametric statistical tests such as Mann-Kendall and Sens slope which were performed to assess the trend of changes in sand drift potential suggested that according to both statistical tests, in all the studied months, the trend of changes was negative in Chabahar and positive in Konarak. On the other hand, the analysis of trend findings revealed that the sand drift potential was significant in Chabahar and Konarak at 99% and 90%, respectively.

**Discussion and Conclusion:** The investigation of the wind regime's frequency in the study area indicated the dominance of southeast, south, southwest, and west winds on an annual scale. Also, seasonal changes were observed in the Chabahar and Konarak due to the nature of the coastal winds blowing there. It was also found that while southeast winds blew more frequently during the summer, southwest and west winds were more frequent throughout other seasons. In a study on the southeastern coast of Iran, the significance of wind erosion has been emphasized, considering the fact that wind erosion processes constitute one of the main factors involved in changing coastlines. Over time, the inconsistency of air and dryness has brought about significant consequences, causing the sand dunes to move. The findings of this study are consistent with other studies conducted on the wind regime of the Oman Sea's coasts. As mentioned in other studies, this region is affected by two types of wind regimes: 1) western winds and 2) monsoon winds blowing from the south and southwest. In similar studies carried out in the Iranian coastal areas, including the coast of Jask, sea-to-shore winds (anabatic) have been found to have contributed more critically to forming sand dunes than land-to-sea (katabatic) winds. In the current study, the statistical analysis of the changing trend in Chabahar indicated a negative trend which was totally different from the positive trend found in Konarak. What was mentioned above may be regarded as the origin of the wind regime formation in Chabahar and Konarak.

Several studies have found that changes in air pressure gradient cause changes in wind speed, being able to affect erosion processes in coastal areas. In a study conducted in the Northern Hemisphere, the general trend of wind speed was negative from 1980 to 2016, which is consistent with the results found in the current study for Chabahar. Another similar study reported that the western regions of Pakistan were affected by a positive trend in wind speed, arguing that the decrease in soil moisture in the western areas of Pakistan over time has altered the wind regime of those areas. Therefore, due to the proximity of Konarak to the western part of Pakistan, these areas may possess a similar positive trend, as mentioned in the results of the current study. As mentioned in similar studies, if relevant governmental officials do not set appropriate plans for combating wind erosion, the phenomenon may bring about harmful consequences for human societies, transportation, etc. Moreover, there is an urgent and necessary need to study wind erosion processes in different regions of the world, including coastal areas. One of the main limitations of this study was the lack of data on wind speed and wind direction at a short time scale (for instance, minutes). Therefore, it is recommended that a more detailed study be conducted in this regard. Wind measuring stations should also be established and operated along the coasts of southeastern Iran. Finally, it is suggested that satellite images taken during the long-term period be used to perform a more precise analysis of the anemometer data in the region and to investigate their influence on the formation of sand dunes, seeking to obtain more accurate information concerning the movement direction and speed of coastal sand dunes.

**Keywords:** Wind direction, Mann-Kendall, Sens Slope, Chabahar, Konarak.