



## بررسی توان جابجایی ماسه توسط باد در دشت شیله سیستان

سکینه پورمند<sup>۱</sup> - احمد غلامعلی زاده آهنگر<sup>۲\*</sup> - عبدالحمید دهواری<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۱۵

### چکیده

از مهمترین عوامل موثر در شکل گیری تپه‌های ماسه‌ای رژیم باد، فراوانی، جهت و مقدار سرعت باد است. مقدار انرژی باد و تغییرات آن در جهات مختلف (رژیم بادی) اثرات زیادی روی مورفولوژی، نگهداری و تغییر شکل رخساره‌های فرسایش بادی دارد. در این تحقیق سعی شد با تجزیه و تحلیل آمار باد در دوره آماری (۲۰۰۳-۱۹۹۲) (۱۴)، توسط گلباد و گلماسه نقش رژیم بادی در حجم و جهت انتقال رسوبات مورد بررسی قرار گیرد. پتانسیل حمل ماسه در منطقه شیله حدود ۳۴۳۹ واحد برداری و جهت نهایی حمل ماسه جنوب شرقی است که با توجه به طبقه‌بندی فرایرگر و دین (۱۲)، منطقه مورد مطالعه از نظر قدرت فرسایشی باد در کلاس زیاد قرار می‌گیرد. دبی حمل ماسه بر اساس معادله لتو-لتو (۱۵) برابر ۲۰/۴۲۲ تن بر متر بر سال است. الگوی وزش باد در تمام فصول سال از جهت شمال غربی تا شمال است. سرعت باد در تابستان حداکثر و در زمستان حداقل بوده و تابستان ناآرام-ترین فصل سال و زمستان آرام‌ترین فصل سال می‌باشد. هم‌چنین بادهای با سرعت بیش‌تر از ۱۱ متر بر ثانیه در فصل تابستان بیش‌ترین مقدار و در زمستان کم‌ترین مقدار می‌باشد. مقدار شاخص همگنی (UDI) برای این منطقه ۰/۹۵ می‌باشد که زمینه را برای ایجاد تپه‌های عرضی (برخانوئید) فراهم می‌کند.

**واژه‌های کلیدی:** پتانسیل حمل ماسه، تپه‌ماسه‌ای، جهت حمل ماسه، رژیم بادناکی، فرسایش بادی

### مقدمه

میانگین سالیانه شاخص تحرک و میانگین سالانه نرخ انتقال رسوبات وجود دارد، این موضوع نشان می‌دهد که شاخص تحرک تپه‌های ماسه‌ای شاخص صحیحی برای سیستم‌های فرسایش بادی در درازمدت است و می‌تواند بطور مطمئنی برای اهدافی که بدین منظور در نظر گرفته شده است، مورد استفاده قرار گیرد (۱۶). رسوب گذاری ماسه بادی و تحرک تپه‌های ماسه‌ای تابعی از شرایط باد غالب هستند (۷). رژیم بادی با مقدار انرژی باد و تغییرپذیری آن، کنترل قابل توجهی روی مورفولوژی و حفظ تغییرات سطح زمین بر اثر بادهای دارند (۱۸)؛ بویژه فراوانی، مقدار و جهت بادهای، که کنترل اصلی روی شکل تپه‌ها و مورفودینامیک آن‌ها نشان داده است (۶).

از آنجایی که باد یکی از عوامل اصلی ایجاد فرسایش و تخریب در سطح زمین، بویژه در مناطق خشک و نیمه-خشک است، لذا به منظور جلوگیری از خسارات ناشی از آن، مطالعه وضع و خصوصیات آن ضروری به نظر می‌رسد (۱۹)، به طوری که با تحلیل داده‌های بادسنجی یک ایستگاه می‌توان نوع تپه‌های ماسه‌ای قابل تشکیل را پیش‌بینی نمود (۲۲).

تسوار (۲۱)، میزان انرژی باد و نوع رژیم بادی را مهم‌ترین عامل در فعالیت و یا پایداری تپه‌های ماسه‌ای معرفی می‌کند. اثر فرسایشی باد روی تپه‌های ماسه‌ای به‌وسیله سه خصوصیت باد تعیین می‌شود:

تپه‌های ماسه‌ای متحرک از خطرات عمده فرسایش بادی هستند که می‌توانند به شبکه‌های حمل و نقل، محصولات کشاورزی، منابع آب و مناطق مسکونی خسارات شدیدی وارد سازد. برای مدیریت و کنترل فرسایش بادی باید عوامل فرساینده (باد) و عامل فرسایش‌پذیر (خاک) مورد بررسی دقیق قرار گیرد. در کشور ما حدود ۱۳ میلیون هکتار ماسه‌زار وجود دارد که بیش از ۵ میلیون هکتار آن را تپه‌های ماسه‌ای فعال و نیمه‌فعال تشکیل می‌دهد (۱).

تپه‌های ماسه‌ای از مهم‌ترین رخساره‌های فرسایش بادی محسوب می‌شوند. آگاهی از سرعت و جهت بادهای حاکم بر منطقه می‌تواند به درک ویژگی‌های مورفومتری تپه‌های ماسه‌ای کمک نماید. به‌همین دلیل در این تحقیق از روش‌هایی مانند ترسیم گلباد و گلماسه جهت تجزیه و تحلیل بادهای حاکم بر منطقه و تاثیر آن‌ها بر مورفودینامیک تپه‌های ماسه‌ای استفاده می‌شود. رابطه قوی بین

۱ و ۲- استادیار و دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه زابل  
\*نویسنده مسئول: (Email: ahangar@uoz.ac.ir)  
۳- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل

متر بر ثانیه می‌وزد بیش‌ترین نقش را در جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای دارد.

احمدی و مصباح‌زاده (۵)، در مطالعه‌ای در دشت یزد اردکان داده‌های مربوط به باد بین سال‌های ۱۹۸۶ و ۲۰۰۵ را برای بررسی توان حمل ماسه آنالیز نمودند. نتایج نشان داد پتانسیل حمل ماسه برابر ۱۵/۷۴ واحد برداری و مسیر حمل از سمت غرب و جنوب‌غربی به سمت شرق و شمال‌شرقی است و شاخص همگنی ۰/۴۷ و بیان‌گر بادهایی با انرژی کم است.

احمدی و مصباح‌زاده (۳)، نیز در منطقه جاسک به نتایج متفاوتی دست یافتند. آنان مقدار توان حمل ماسه را در این منطقه ۶۴۰ واحد و دبی حمل را بر اساس معادله لتو- لتو (۱۵)، ۵۱ برآورد کردند و نتایج نشان داد که منطقه از نظر قدرت فرسایشی باد در کلاس شدید و الگوی وزش باد در تابستان از سمت جنوب و جنوب‌غربی است که متفاوت از فصل‌های دیگر بوده و بیش‌ترین درصد فراوانی بادهای بیش‌تر از سرعت آستانه فرسایشی را دارا می‌باشد. مقدار شاخص همگنی ۰/۰۸ برآورد گردید که بیان‌گر بادهای دوجبهتی و قدرتمند در این منطقه بود و با منطقه مورد مطالعه قبلی بسیار تفاوت داشت.

مهم‌ترین هدف در تعیین گلماسه، تفکیک و شناسایی جهاتی است که در آن‌ها مقدار ماسه بیش‌تری جابجا می‌شود. فرایبرگر و دین (۱۲) چندین شاخص به شرح زیر از ترسیم گلماسه استخراج کرده که می‌تواند برای تعیین میزان غبارناکی یا طوفانی بودن منطقه و هم‌چنین تعیین جهت حرکت ماسه مفید باشد (۴).

این تحقیق به منظور بررسی توان حمل ماسه بر اساس داده‌های باد ایستگاه سینوپتیک زابل انجام شده است و هدف اصلی آن تعیین مسیر و راستای مهاجرت تپه ماسه‌های منطقه مورد مطالعه و زمان حرکت آن‌ها به منظور تسهیل برنامه‌ریزی در کنترل بیولوژیک آن‌ها برای دست‌اندرکاران مربوطه می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### معرفی منطقه مورد مطالعه

کانون بحرانی شیله در شهرستان زابل و در مختصات جغرافیایی ۳۵' ۳۰° تا ۳۶' ۰۶° طول شرقی و عرض جغرافیایی ۱۴' ۳۰° تا ۳۵' ۳۰° عرض شمالی واقع شده است. از این کانون به منطقه تحت تاثیر فرسایش بادی تاسوکی- شیله نیز نام برده می‌شود. مساحت کانون بحرانی شیله ۳۵۴۶۹ هکتار است که شامل مناطق برداشت، حمل و رسوب می‌باشد. کل وسعت این کانون بحرانی دارای شدت متوسط بوده و به منابع زیستی و اقتصادی منطقه از جمله جاده مواصلاتی زابل- زاهدان خسارت وارد می‌کند.

الف) سرعت باد بیش‌تر از سرعت آستانه: نرخ فرسایش ارتباط مستقیمی با توان سوم سرعت باد دارد. ب) فراوانی بادهای بیش‌تر از سرعت آستانه: فرسایش مانع جدی هرگونه کوشش در رشد گیاه از جوانه‌زنی تا گل‌دادن است. ج) تغییرپذیری جهات باد: هنگامی که تغییرپذیری جهات باد کم باشد، منجر به ایجاد بادهای یک‌جهته می‌شود و بنابراین کل انرژی باد بر روی یک سطح تپه‌های ماسه‌ای توزیع خواهد شد. در صورتی که تغییرپذیری زیاد جهت باد، بادهای مرکب و چندجهته را به دنبال خواهد داشت و انرژی باد بر روی سطوح مختلف تپه‌ها توزیع شده و انرژی وارد بر هر سطح کمتر از کل انرژی باد می‌باشد (۴).

الوادهی (۶)، در مطالعه‌ای که بر روی پتانسیل حمل ماسه در صحرایی در کویت انجام دادند اطلاعات باد بین سال‌های ۱۹۹۸ و ۲۰۰۱ از هشت ایستگاه هواشناسی را تجزیه و تحلیل نمودند. آن‌ها نتیجه گرفتند که شاخص همگنی هر چه به یک نزدیک‌تر باشد بادهای یک‌جهته بیش‌تر می‌وزد و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد بادهای قدرتمند و چندجهته می‌وزد و توان حمل ماسه (DP) را ۳۵۴ واحد محاسبه و بیان نمودند. تغییرپذیری جهت باد در دوره تابستان نسبتاً بالاست.

فوزیه و همکاران (۱۳)، مطالعه‌ای بر روی پتانسیل حمل ماسه در منطقه ال‌خانکا، مصر انجام دادند نتایج به‌دست آمده نشان داد که مقدار پتانسیل حمل ماسه در این منطقه حدود ۱۴۰۰ واحد برداری است که با توجه به این مقدار و طبقه‌بندی فرایبرگر و دین (۱۲)، منطقه مورد مطالعه از نظر قدرت فرسایشی باد در کلاس شدید قرار دارد. آن‌ها مقدار شاخص همگنی را ۰/۷ برآورد نمودند که نشان داد منطقه دارای جهت تغییرپذیری متوسط و بادهای دوجبهته می‌باشد. هم‌چنین آن‌ها بیان داشتند که ماه‌های آپریل و مارس دارای RDP نسبتاً بالایی که به ترتیب ۱۲۸/۷ و ۱۵۰/۲ می‌باشد و RDD به دست آمده نشان دهنده این است که جهت حمل ماسه متفاوت بوده و از شمال‌غربی در ماه ژانویه- ژوئن و شمال تا شمال‌شرقی در ماه جولای و آگوست و جنوب‌غربی در ماه سپتامبر تا دسامبر می‌باشد و هم‌چنین مقدار RDD سالانه را ۹۸۴/۶ با جهت شمال‌غربی تخمین زدند.

احمدی و مصباح‌زاده (۲)، طی مطالعه‌ای که بر روی نقش رژیم بادی در میزان دبی و جهت انتقال رسوبات تپه‌های ماسه‌ای سبزوار انجام دادند به این نتیجه رسیدند که مقدار توان حمل ماسه در این منطقه ۱۶۰/۹ واحد و جهت حمل ماسه جنوب‌غربی و دبی حمل ماسه بر اساس معادله لتو- لتو (۱۶) برابر ۲۲/۳۳۵ است. نتایج نشان داد منطقه مورد مطالعه از نظر قدرت فرسایشی باد در کلاس کم و دارای بادهای قدرتمند و دوجبهتی با زاویه منفرجه است و پرتوان‌ترین بادهای در فصل بهار و تابستان جریان دارد. در پایان ایشان نتیجه گرفتند، بیش‌ترین مقدار حمل رسوب به‌وسیله بادهایی که با سرعت ۵/۵-۱۴

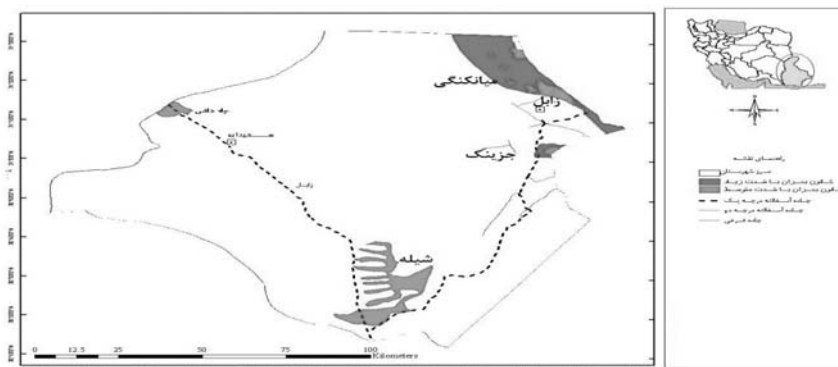


شکل ۱- نمونه‌ای از تپه‌های ماسه‌ای (بارخانویید) در منطقه شילה  
Figure 1- Example of sand dunes (barchanoid) in Shileh

### روش تحقیق

- ۱- شناسایی منطقه مورد مطالعه به کمک بازدیدهای میدانی و نمونه‌برداری از تپه‌های ماسه‌ای بادی.
- ۲- دانه‌بندی نمونه‌ها و محاسبه سرعت آستانه منطقه به کمک معادله بگنولد (۷).
- ۳- جمع‌آوری اطلاعات آمار سمت و سرعت باد در دوره آماری (۲۰۰۳-۱۹۹۲) (۱۴) از سازمان هواشناسی کشور (۱۲ سال).
- ۴- تجزیه و تحلیل بادهای موثر بر منطقه در طی دوره آماری (۲۰۰۳-۱۹۹۲) (۱۴) و محاسبه شاخص‌های حمل ماسه شامل:

منطقه برداشت آن اراضی حاشیه دریاچه هامون، بستر هامون هیرمند و خشک‌رودهای حاصل از رواناب ارتفاعات پلنگ کوه (غرب سیستان) می‌باشد. از مساحت فوق ۱۱۰۰ هکتار (۳/۱ درصد) در منطقه برداشت با شدت متوسط، ۳۲۰۰۰ هکتار (۹۰/۲ درصد) در منطقه برداشت با شدت کم، ۲۰۹۶ هکتار (۵/۸ درصد) در منطقه حمل با شدت کم و ۳۰۰ هکتار (۰/۹ درصد) در منطقه رسوب با شدت کم واقع است. جهت موثر باد در این منطقه شمال‌غربی به جنوب شرقی می‌باشد. شکل ۲ محدوده کانون بحرانی فرسایش بادی منطقه شילה را در دشت سیستان نشان می‌دهد.



شکل ۲ - موقعیت محدوده کانون بحرانی فرسایش بادی شילה در دشت سیستان  
Figure 2- Location of Shileh critical wind erosion center in Sistan plain

مختلف ۸ یا ۱۶ گانه حاصل می‌شود.

RDD: مقدار و جهت نهایی و جهت خالص حرکت ماسه (جهت بردار برآیند) را در طول سال، ماه یا فصل مورد نظر نشان می‌دهد.  
DPT: از دیگر شاخص‌ها DPT می‌باشد که عبارست از یک مقدار عددی که از مجموع مقادیر DP (توان حمل باد) در جهات مختلف حاصل می‌شود و در واقع شاخصی است که بیانگر کل انرژی باد و جهت حمل ماسه در منطقه می‌باشد. بررسی مقادیر DPT در مناطق حساس جهان نشان می‌دهد که حداکثر مقدار DPT معادل ۸۰۰ تا ۱۰۰ واحد برداری در طول سال می‌باشد. فرایبرگر و دین (۱۲) با توجه به مقادیر مختلف توان حمل باد، قدرت فرسایشی دبی حمل ماسه توسط باد را در ایستگاههای مختلف مناطق بیابانی به صورت جدول ۱ کلاسه‌بندی نموده‌اند.

UDI: شاخص بعدی UDI است که یک شاخص همگنی جهت حمل ماسه است که عبارت است از نسبت مقدار نهایی حمل ماسه (اندازه بردار برآیند) به کل توان حمل ماسه است.

$$UDI = RDP / DPt \quad (۱)$$

براساس مطالعه الاوادهی (۶)، هر چه این عدد به یک نزدیک‌تر باشد بادهای یک‌جهته بیشتر می‌وزد و هرچه به صفر نزدیک‌تر باشد بادهای قدرتمند و چندجهته هستند. فرایبرگر و دین (۱۲)، تغییرپذیری جهت باد را بر اساس شاخص همگنی طبق جدول ۲ طبقه‌بندی کردند.

وانگ و همکاران (۲۳)، با استفاده از شاخص همگنی به شناسایی نوع بادهای مؤثر بر شکل‌گیری تپه‌های ماسه‌ای و مورفولوژی آن‌ها پرداختند و نتیجه گرفتند که تپه‌ها ماسه‌ای با مورفولوژی خاصی میتواند براساس زاویه جهت بادهای تشکیل شود.

از بارزترین اختلافات گلماسه با دیگر نمودارهای تجزیه و تحلیل باد، قابلیت یکسان‌سازی توان باد به جای کلاس مختلف سرعت و هم‌چنین تعیین جهت برآیند حمل ماسه می‌باشد. مهم‌ترین هدف در تعیین گلماسه، تفکیک و شناسایی جهاتی است که در آن‌ها مقدار ماسه بیش‌تری از نظر مکانی و زمانی جابه‌جا میشود. بادهایی که در شکل‌گیری تپه‌های ماسه‌ای و ارگ مؤثرند بر حسب پتانسیل حمل ماسه قابل کمی شدن می‌باشند (۴).

#### گلباد

برای بررسی داده‌های بادسنجی، انجام محاسبات آماری و رسم گلباد، نرم‌افزار WRPLOT view استفاده گردید. از دیگر روش‌های تجزیه و تحلیل رژیم بادی گلباد است که از قابلیت‌های بسیار مفید این نرم‌افزار این است که علاوه بر رسم گلبادهای استاندارد سمت سرعت و فراوانی بادهای بیش از یک نات (۵/۰ متر بر ثانیه) را در

الف) ترسیم و تحلیل گلماسه (محاسبه مقدار و جهت نهایی حمل ماسه و برآورد دبی).

ب) جریان ماسه

ج) ترسیم و تحلیل گلباد (به منظور نمایش فراوانی نسبی سرعت های مختلف باد در جهات مختلف و در یک دوره معین).

۵- استفاده از نرم‌افزار WD convert برای تبدیل آمار سمت و سرعت باد.

۶- برای ترسیم گلباد از فراوانی بادهای بیش‌تر از سرعت آستانه (m/s6) در ارتفاع ۱۰ متری و از نرم‌افزار Wripplot و برای ترسیم گلماسه از نرم‌افزار گلماسه‌نمای اختصاصی و همکاران (۱۰)، استفاده گردید.

#### گلماسه

گلماسه نمودار برداری مقدار انرژی قابل حمل ماسه توسط باد است که اولین بار توسط فرایبرگر و لتو (۱۱)، استفاده شد. در این روش برای هماهنگ کردن توان فرسایشی بادهای مختلف، بادهایی را که دارای سرعتی بیش از سرعت آستانه فرسایش هستند، به واحدهای برداری (هم‌سرعت و هم‌جهت) و با عنوان توان حمل ماسه یا DP تبدیل می‌شوند که با رسم آن‌ها در جهات هشت یا شانزده‌گانه، گلماسه تشکیل می‌شود. واحد بازوها در گلماسه بر اساس یک واحد برداری مشخص (v.u) تعریف می‌شود. اصولاً طول بردار واحد را در آن برابر یک میلی‌متر یا یک سانتیمتر در نظر می‌گیرند. بر اساس طبقه‌بندی فرایبرگر و دین (۱۲)، اگر این مقدار بیش از ۴۰۰ باشد، قدرت فرسایش باد زیاد و چنانچه کم‌تر از ۲۰۰ باشد، قدرت فرسایشی باد کم و بین این دو مقدار نشان‌دهنده قدرت فرسایشی باد متوسط است. به‌منظور محاسبه توان حمل ماسه و رسم گلماسه بنابه پیشنهاد فرایبرگر و دین (۱۲)، کم‌ترین حد سرعت آستانه فرسایش بادی در ارتفاع ۱۰ متری اراضی ایستگاه بادسنجی مورد نظر، به‌عنوان سرعت پایه آستانه فرسایش منظور می‌شود که در این حالت، مقادیر DP حاصل دارای بالاترین توان حمل ماسه (پتانسیل بالقوه) خواهد بود. لذا در این تحقیق نیز از سرعت آستانه ثابتی در ارتفاع ۱۰ متری به‌عنوان سرعت آستانه فرسایش خاک در مناطق مورد مطالعه استفاده گردید. دلیل متفاوت بودن سرعت آستانه فرسایش در یک منطقه به واسطه تفاوتی است که ذرات موجود در نقاط مختلف از نظر چگالی و قطر نشان می‌دهند از جمله سایر شاخص‌هایی که توسط فرایبرگر و دین (۱۲) استخراج شده است عبارت‌اند از:

RDP: با جمع برداری بازوهای گلماسه، بردار برآیند توان حمل ماسه (RDP) به‌دست می‌آید که بیانگر مقدار یا اندازه بردار برآیند توان حمل ماسه می‌باشد که از جمع برداری مقادیر DP در جهات

منطقه مورد مطالعه رسم شد. چنانچه در شکل ۳ مشاهده می شود جهت نهایی حمل ماسه در منطقه شیله از شمال غربی تا غرب به سمت شمال تا جنوب شرقی است و توان حمل سالیانه حدود ۳۴۳۹ (v.u) واحد برداری است که بر اساس طبقه بندی فرایرگر و دین (۱۲)، توان فرسایشی باد زیاد است (جدول ۱).

محاسبه Dpt در فصول مختلف سال در منطقه شیله نشان می دهد که پرتوان ترین بادها به ترتیب در فصل های تابستان و بهار ۱۹۶۴/۶ و ۹۹۶/۱ جریان دارد و بیشترین دبی خالص جریان نیز به این دو فصل مربوط می شود. در فصل زمستان توان فرسایشی بادهای منطقه حداقل و حدود (۲۲۲/۲) است که کمترین دبی خالص را دارد. ولی فصل تابستان به دلیل داشتن بیشترین پتانسیل حمل ماسه ۱۹۶۴/۶ تفاوت چشم گیری با بقیه فصول دارد و با توجه به تطابق جهت نهایی حمل ماسه در تابستان و سالیانه نشان دهنده این است که بادهایی که در این فصل می وزند نقش فراوانی در جهت نهایی حمل ماسه دارند (شکل ۴).

هم چنین گلماسه های رسم شده در ۶ ماه اول سال نیز نشان می دهد که در ماه های تیر، مرداد و خرداد بالاترین توان حمل ماسه رخ می دهد. محاسبه مقادیر پتانسیل حمل سالانه نشان می دهد جهت نهایی حمل ماسه جنوب شرقی می باشد و مقدار توان حمل ماسه سالیانه ۳۴۳۹ واحد برداری می باشد.

جهت مختلف نشان می دهد و امکان تغییر سرعت پایه و رسم گلبادهای با سرعت پایه بیش تر (سرعت آستانه فرسایش بادی) را نیز برای کاربر فراهم ساخته است (۴). در حقیقت گلباد صرفاً تحلیل سینوپتیکی و هواشناسی باد است (۱). علاوه بر این، جهت وزش بادهای غالب منطقه را نیز نشان می دهد. برای تحلیل طوفان خیزی در مناطق مورد نظر از گلطوفان باید استفاده کرد که سمت و فراوانی بادهایی که توان حمل ذرات گرد و خاک از سطح زمین را به نمایش در می آورد. در گلطوفان، ارتباط فضایی باد با فرسایش پذیری خاک یا زمین برقرار می شود و به تحلیل طوفان خیزی در اراضی مورد نظر می پردازد. در صورتی که این تحلیل به کمک گلباد امکان پذیر نیست (۸).

برای ارزیابی و شناخت سریع وضعیت باد یک منطقه غالباً گلباد آن ترسیم می گردد که در واقع تصویری از جهت باد همراه با متوسط سرعت آن در جهت مختلف می باشد.

جهت ترسیم نمودارهای گلباد سالانه، فصلی و ماهیانه از آمار خلاصه باد سالانه که به اطلاعاتی نظیر سمت، سرعت و فراوانی هر سرعت باد اشاره می کند، استفاده گردید.

## نتایج و بحث

با استفاده از نرم افزار گلماسه نما، گلماسه های سالانه، فصلی و ماهانه ایستگاه زابل بر اساس داده های بادسنجی در یک دوره ۱۲ ساله (۲۰۰۳-۱۹۹۲) (۱۴) بر اساس سرعت آستانه بدست آمده در

جدول ۱- تقسیم بندی توان حمل ماسه توسط باد در محیط های بیابانی (۱۲)

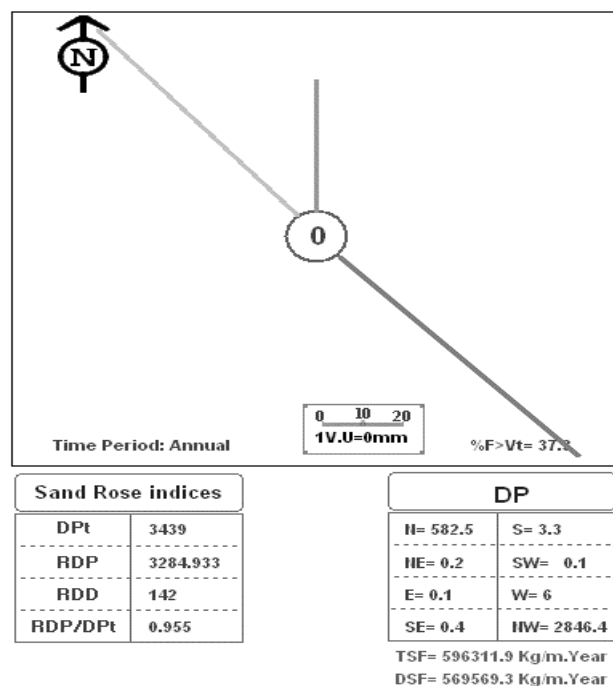
Table 1- Classification of the sand carried by the wind in the desert (12)

مقدار Dpt (DPT Content)	قدرت فرسایش (Erosion strength)	دبی حمل ماسه بر حسب متر مکعب در سال در عرض 1m (Sand transport rate in cubic meters per year within 1m)
400<	زیاد (High)	>33
99-200	متوسط (Medium)	17-33
200>	کم (Low)	<17

جدول ۲- تغییر پذیری جهات باد UDI (۱۲)

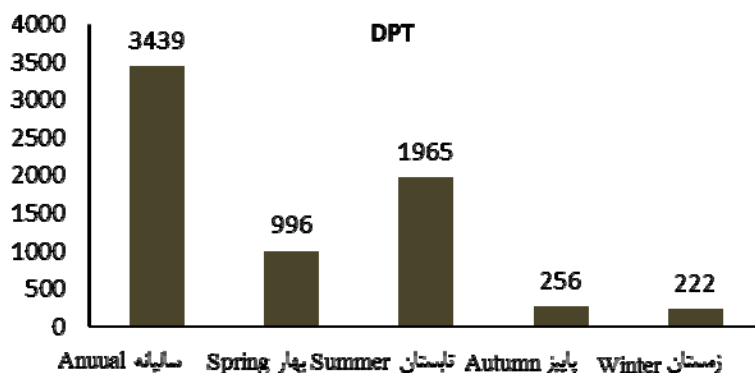
Table 2- Variability of wind directions UDI (12)

طبقه بندی جهات باد (Wind directions classification)	تغییر پذیری جهات باد (Variability of wind directions)	UDI=RDP/DPt
بادهای یک جهته (Unidirectional winds)	کم (Low)	0.8<
بادهای دو جهته با زاویه منفرجه (Winds bidirectional obtuse angle)	متوسط (Medium)	0.3-0.8
بادهای چند جهته مرکب با زاویه تند (Multi-directional winds combined with a steep angle)	زیاد (High)	<0.3



شکل ۳- گلماسه سالانه برای تپه‌های ماسه‌ای منطقه شيله در دوره آماری (۲۰۰۳-۱۹۹۲) (۱۴) (TSF دبی خالص جریان ماسه، DSF مجموع ماسه جابه‌جا شده)

Figure 3- Annual Sand Rose for Shileh sand dunes in the statistical period (2003-1992)(14) (TSF flow rate of sand, DSF total sand displaced)



شکل ۴- تغییرات توان حمل ماسه سالیانه و فصل‌های مختلف سال در دوره آماری (۲۰۰۳-۱۹۹۲) (۱۴)  
 Figure 4- Changes in the annual and seasonal sand drift in the statistical period (2003-1992) (14)

اردیبهشت حداقل و بیش‌ترین برایند حمل ماسه مربوط به ماه تیر (۸۸۳/۳۶۷) است (جدول ۳). کم‌ترین تغییرپذیری باد مربوط به فروردین ۰/۸۸۹ و بعد از آن اردیبهشت ۰/۹۵۴ است و بیش‌ترین آن مربوط به مرداد ماه ۰/۹۶۷ است. شاخص همگنی نسبت تاثیر بادهای متقابل را در منطقه به خوبی نشان می‌دهد و برابر ۰/۹۵۵ است که بیانگر بادهای قدرتمند و یک‌جهته می‌باشد که زمینه را برای ایجاد تپه‌های عرضی (بارخانوتیدی)، بارخان و سیف فراهم می‌کند که با مرفولوژی تپه‌های ماسه‌ای منطبق است (جدول‌های ۲ و ۳). نتایج

دبی خالص جریان ماسه (TSF) واحد عرض در واحد طول حدود ۵/۹۶۳۱۱ تن بر متر در سال و مجموع ماسه جابه‌جا شده در DSF برابر ۵/۶۹۵۶۹ تن بوده است. همچنین شاخص همگنی جهت حمل ماسه به‌طور فصلی و سالانه (۰/۹۵) برای ایستگاه زابل محاسبه شد. با توجه به این که مهاجرت تپه‌های ماسه‌ای در این منطقه در ۶ ماه اول سال که بادهای ۱۲۰ روزه بیش‌ترین وزش را دارند و به حداکثر مقدار خود می‌رسند بیش‌تر است با ترسیم گلماسه در ۶ ماه اول از سال دیده شد که برایند حمل ماسه RDP در ماه‌های فروردین و

می دهد، سرعت باد در تابستان حداکثر و در زمستان حداقل بوده و تابستان ناآرامترین فصل سال و زمستان آرامترین فصل سال می باشد. همچنین بادهای با سرعت بیش تر از ۱۱ متر بر ثانیه در فصل تابستان بیشترین مقدار و در زمستان کمترین مقدار می باشد. سرعت باد غالب از فروردین ماه شروع به افزایش نموده و در مرداد ماه به حداکثر می رسد. این مدت زمان مصادف با بادهای تابستانه منطقه می باشد. با گذر از فصل تابستان و رسیدن به فصل پاییز و زمستان درصد حالات آرام باد افزایش یافته و در دی ماه به حداکثر مقدار خود می رسد. بنابراین درصد باد آرام در ماه های سرد سال بیش تر از ماه های گرم می باشد که نشان از آرامش در این ماه ها و ناآرامی در ماه های گرم سال در زابل می باشد، بنابراین دی ماه آرام ترین ماه سال و تیر و مرداد ماه پر تلاطم ترین ماه سال از نقطه بادخیزی منطقه می باشد (جدول ۴).

حاصل از این بخش نشان داد که از شاخص همگنی می توان به نوع رژیم بادناکی موثر در شکل گیری تپه های ماسه ای و نیز مرفولوژی تپه های ماسه ای موجود در منطقه با توجه به تشخیص قدرتمندترین و یک جهت ترین بادهای پی برد که با نتایج افراد دیگری مثل مورسی و همکاران (۱۷)، ساکو و همکاران (۲۰)، وانگ و همکاران (۲۳) و اختصاصی (۹) مطابقت دارد.

نتایج حاصل از رسم گلباد در شکل ۴ نشان داده شده است. گلباد سالانه (شکل ۴ الف) ایستگاه سینوپتیک زابل نشان می دهد که جهت باد غالب منطقه شمال تا شمال غربی می باشد. سرعت باد غالب ۶/۰۳ متر بر ثانیه و درصد حالات آرام ۲۵/۲۱ درصد می باشد. همچنین با توجه به گلبادهای ماهانه (جدول ۵)، جهت باد غالب در تمامی ماه ها شمال تا شمال غربی است. جریان وزش بادهای غالب در ۴ فصل سال در منطقه مورد مطالعه (شکل ۴ ب، پ، ث و ج)، نیز نشان داده شده است. همان طور که گلبادهای فصلی و اطلاعات جدول ۴ نشان

جدول ۳- شاخص های توان حمل ماسه ۶ ماه اول سال دوره آماری (۱۹۹۲-۲۰۰۳) (۱۴)

Table 3- Indicators of the sand drift potential first 6 months of the year statistical period (2003-1992) (14)

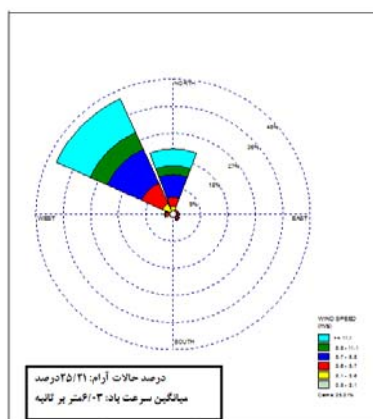
پارامتر (Parameter)	فروردین (April)	اردیبهشت (May)	خرداد (June)	تیر (July)	مرداد (August)	شهریور (Sep)
DPT	71.8	326.5	597.8	916.7	647.4	400.5
RDD	145	143	143	141	141	143
RDP	63.82	311.4	570	883.367	625.854	381.602
UDI	0.889	0.954	0.953	0.964	0.967	0.953
TSF;kg/m.month	12465.18	56630.13	103723.4	159056.8	112330.8	69492.5
DSF;kg/m.month	11176.22	53988.34	98842.07	153295.8	108506.3	66235.65

ترسیم و تحلیل گلبادهای فصلی و سالانه

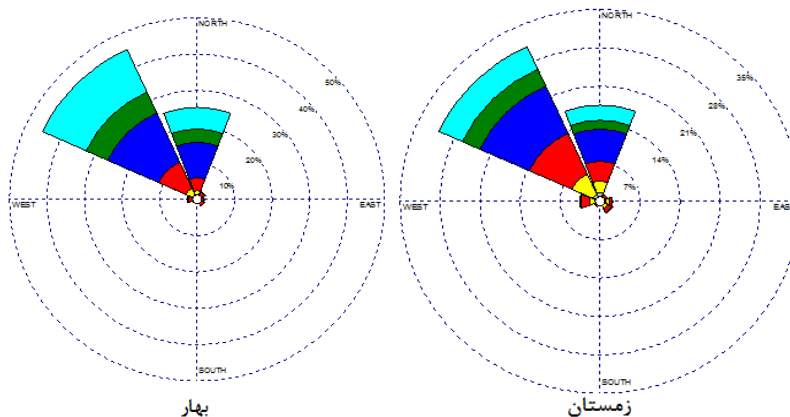
جدول ۴- توزیع کلاس های مختلف سرعت باد و دیگر شاخص های بادناکی حاصل از رسم گلبادهای فصلی در ایستگاه سینوپتیک زابل

Table 4- Distribution of different wind velocity classes and other wind indexes based on seasonal wind-rose in Zabol synoptic station

کلاس سرعت (Speed class)						درصد حالات آرام (Percent of calm)	میانگین سرعت m/s (Average speed m/s)	جهت باد غالب (Dominant wind direction)	فصل (Season)
0.5- 2.1	2.1- 3.6	3.6- 5.7	5.7- 8.8	8.8- 11	>11				
321	686	1372	2218	885	1648	18/27	6.68	NW	بهار (Spring)
113	757	2281	1514	1514	3468	5/50	9.81	NW	تابستان (Summer)
485	984	1355	1391	443	644	37/26	3.77	NW	پاییز (Autumn)
501	1026	1659	1365	400	485	39/97	3.84	NW	زمستان (Winter)



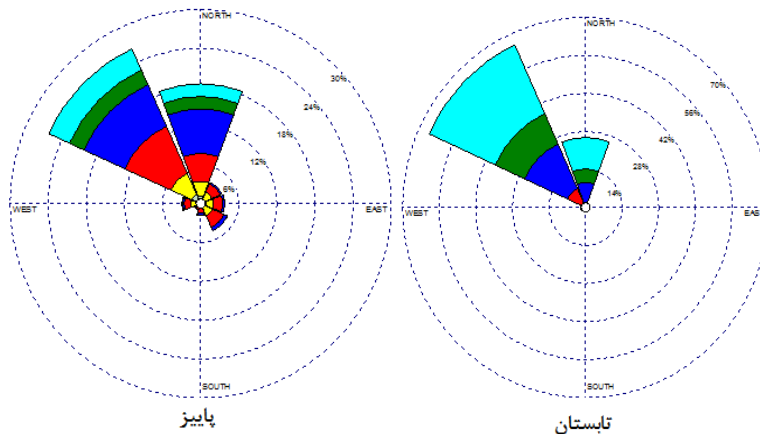
(الف) الف



بهار

زمستان

(ب) ب (C) پ



پاییز

تابستان

(D) ث (E) ج

شکل ۴- گلبادهای سالانه و فصلی ایستگاه زابل (۲۰۰۳-۱۹۹۲) (۱۴)  
Figure 4- Annual and seasonal wind roses Zabol station (2003-1992) (14)

### نتیجه گیری کلی

شمال غربی و در مرداد و شهریور ماه هم شمال غربی، در ماه های تیر و مهر شمال و از ماه دی تا خرداد جهت باد غالب شمال شمال غربی است. سرعت باد غالب از فروردین ماه شروع به افزایش نموده و در مرداد ماه به حداکثر می رسد.

گلبادهای فصلی منطقه نشان می دهد که در تمام فصول سال بیشترین فراوانی بادهای منطقه مربوط به جهت شمال غربی و شمال می باشد. جهت غالب باد اصلی، شش ماه از سال یعنی زمستان و بهار،



جدول ۵- مقادیر تحلیل قدرت فرساینده و سمت و سرعت باد در ایستگاه زابل

Table 5- Wind erosivity and velocity direction data in Zabol station

ماه (Month)	درصد باد آرام (Percent calm winds)	متوسط سرعت باد (m/s) (Mean wind speed (m/s))	جهت باد غالب اول (First Dominant wind direction)	جهت باد غالب دوم (Second Dominant wind direction)	جهت باد غالب بالاتر از آستانه (Dominant wind direction above the threshold)
دی (Jan)	55.5	2.7	N	NW	NNW
بهمن (Feb)	42.9	3.2	N	NW	NNW
اسفند (March)	38.3	3.2	N	NW	NNW
فروردین (April)	36.8	3.4	NW	N	NNW
اردیبهشت (May)	25.4	4.0	NW	N	NNW
خرداد (June)	13.2	4.6	NW	N	NNW
تیر (July)	4.3	5.4	NW	N	N
مرداد (August)	5.4	5.6	NW	N	NW
شهریور (Sep)	17.4	4.8	NW	N	NW
مهر (October)	33.5	3.9	NW	N	N
آبان (Nov)	56.5	3.2	NW	N	NNW
آذر (Dec)	61.6	2.9	NW	N	NW

که در منطقه مورد مطالعه ۰/۹۵ می‌باشد که هر چه این مقدار به یک تمایل پیدا کند، بیانگر بادهای قدرتمند یک‌جهتی در منطقه خواهد بود که زمینه را برای ایجاد تپه‌های عرضی (بارخانوئیدی)، بارخان و سیف فراهم می‌کند که با مرفولوژی تپه‌های ماسه‌ای منطبق است.

نتایج این تحقیق از آن‌جا حائز اهمیت است که جاده مواصلاتی زابل-زاهدان در کنار منطقه مورد مطالعه واقع است و همواره در معرض تهدید پیشروی تپه‌های ماسه‌ای می‌باشد و بزودی شاهراه بین المللی میلک-چابهار نیز مجاور همین جاده احداث می‌شود که اهمیت این تحقیق را دو چندان می‌کند. نتایج عملی این تحقیق می‌تواند بعنوان راهنمای مجریان محلی در جهت احداث شبکه بادشکن‌ها عمود بر راستای حرکت تپه‌های ماسه‌ای مورد استفاده قرار گیرد. زیرا هم از نظر زمانی و هم مکانی وضعیت تحرک تپه‌های ماسه‌ای در منطقه بوضوح بیان شده است. به-عنوان مثال شدت و ضعف مهاجرت ماسه‌ها حتی بصورت ماهانه و فصلی می‌تواند مسافران را مطلع نماید تا در مواقع مناسب از جاده استفاده نمایند تا در معرض مواجهه با طوفان‌های ماسه‌ای قرار نگیرند و مسافرت‌های خود را در فصل مناسب و مناسب تنظیم نمایند.

این مدت زمان مصادف با بادهای تابستانه منطقه می‌باشد. با گذر از فصل تابستان و رسیدن به فصل پاییز و زمستان درصد حالات آرام باد افزایش یافته و در دی ماه به حداکثر مقدار خود می‌رسد. بنابراین درصد باد آرام در ماه‌های سرد سال بیش-تر از ماه‌های گرم می‌باشد که نشان از آرامش در این ماه‌ها و ناآرامی در ماه‌های گرم سال در زابل می‌باشد، بنابراین دی ماه آرام‌ترین ماه سال و تیر و مرداد ماه پر تلاطم‌ترین ماه سال از نقطه بادخیزی منطقه می‌باشد. متوسط سرعت بادهای غالب نیز از ۵ متر بر ثانیه در ماه‌های تیر و مرداد تا ۲/۷ متر بر ثانیه در ماه دی متغیر است.

مقدار DPT در منطقه مورد مطالعه ۳۴۳۹ است که براساس طبقه بندی فرایبرگر و دین (۱۲)، قدرت فرسایشی باد در کلاس زیاد قرار می‌گیرد و جهت نهایی حمل ماسه از شمال غربی تا غرب به سمت شمال تا جنوب شرقی است که با جهت حرکت تپه‌های ماسه‌ای منطقه مورد مطالعه منطبق است.

فراوانی باد از عوامل موثر بر فرسایش بادی است و نشان‌دهنده تداوم باد با جهت مشخص می‌باشد. بنابراین می‌تواند در مطالعات بیابان‌زدایی راهنمای مفیدی اغلب ماه‌های سال را شامل می‌شود. شاخص تغییرپذیری جهت باد حاصل از ترسیم گلماسه نشان می‌دهد

## منابع

- 1-Ahmadi H. 2006. Applied Geomorphology. Volume 4. The desert - wind erosion. Tehran University Press. Tehran.
- 2- Ahmadi H., and Mesbahzadeh T. 2010. The role of the wind regimes in the flow rate of sediment and sand dunes: A Case Study of Sabzevar. Journal of Geographical Research 3: 101-114. (in Persian)

- 3- Ahmadi H., and Mesbahzadeh T. 2010. Evaluation of flow rate of and sediment for sand dunes Jask region. Articles Collections of Sixth National Conference on Science and the Fourth National Conference on erosion and sedimentation. 8 and 9 May, Department of Natural Resources. Watershed Engineering, Tarbiat Modarres University, 4: 156-167. (in Persian)
- 4- Ahmadi H., and Mesbahzadeh T. 2011. Comparison of Sand Drifts Potential Stimating, using momentum method and Fryberger velocity classes method (Case Study: Jask and Kerman). Journal of Soil and Water, 25(1): 11-18. (in Persian with English abstract)
- 5- Ahmadi H., and Mesbahzadeh T. 2012. Investigation of sand drift potential (case study: Yazd- Ardakan plain). Journal of Agriculture Sciences Technology, 14: 919-928. (in Persian with English abstract)
- 6- Al-Awadhi J.M., Al-Helal A., and Al-Enezi. 2005. Sand drift potential in the desert of Kuwait. Journal of Arid Environment, 63: 425- 438.
- 7- Bagnold R. A. 1941. The Physics of Blown Sand and Desert Dunes. 265 p. Methuen, London.
- 8- Ekhtesasi M. R., Ahmadi H., Khalili A., Saremi Naini M.A., and Rajabi M. R. 2006. An application of wind rose, storm rose, and sand rose in the analysis of wind erosion and determining the direction of moving sands (Case Study Area: Yazd- Ardakan Basin). Journal of the Iranian Natural Resources. 59: 531-541. (in Persian with English abstract)
- 9- Ekhtesasi M. R. 2004. Morphometric study of wind erosion and morpho dynamic facies Yazd- Ardakan and determine the process for the use in models to assess desertification. Tehran University Ph.D thesis. 185 pp.
- 10- Ekhtesasi M. R., Saremi Naini M.A., and Saremi Naini A. 2005. Sand Rose facade design software, processing power by wind erosion and sediment transport. p. 9. Articles Collections of First National Conference on the wind Erosion. Yazd, Iran. (in Persian)
- 11- Fryberger S. G., and Lettaue H. 1978. Dune forms and wind regims. p. 137-140. In E. D. Make. (ed.) A Study of Global Sand Seas. United States Geologica Survey Professional Paper 1052.
- 12- Fryberger S. G., and Dean G. 1979. Dune forms and wind regimes. p. 137-169. In E. D. Mckee. (ed.) A Study of Global Sand Seas. Geological Survey Professional Paper 1052.
- 13- Fawzia I., Moursy F., Gaber E. I., and Samak M. 2001. Sand drift potential in El-Khanka area. Egypt. Department of Nathural Resources. Institute of African Research and Studies. Cairo University. Giza. egypt. Water, Air and Soil Pollution, 136: 225-242.
- 14- Identify and set priorities for the implementation of erosion hotspots in country. 2003. Technical Office stabilized sand and desertification, Consulting Engineers green vine. of Forest, Rangeland and Watershed Management, 201 pp.
- 15- Lettau K., and Lettau H. H. 1978. Experimental and micrometeorological field studies of dune migration. p. 110-114. In H. H. Lettau. and K. Lettau. (ed.) Exploring the Worlds Driest Climates. Institute of Environmental Science Report 101. University of Wisconsin, Madison.
- 16- Maingut M. 1986. The wind and desertification process in the Saharo-Sahelian and Sahelian regions. p. 210-240. In F. El-Baz. and M. H. A. Hassan. (ed.) Physics of desertification. Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers.
- 17- Moursy F., Gaber E. I., and Samak M. 2001. Sand drift potential in El- Khanka. Egypt. Water, Air and Soil Pollution, 136: 225-242.
- 18- Pearce Kim I., and Walker Ian J. 2004. Frequency and magnitude biases in the Fryberger model, with implications for characterizing geomorphically effective winds. Geomorph- ology, 68: 39-55.
- 19- Refahi H. Gh. 2006. Wind Erosion and Conservation. Tehran University Press, Fourth edition. Tehran. 319 pp.
- 20- Saqqa W., and Atallah M. 2004. Characterization of the aeolian terrain facies in Wadi Araba Desert. Southwestern Jordan. Geomorphology, 62(1-2): 63-87.
- 21- Tsoar H. 2005. Sand dune mobility and stability in relation to climate. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 357: 50-56.
- 22- Wasson R. J., and Hayde R. 1983. Factors determining desert dune type. Nature, 304(5924): 337-339.
- 23- Wang X., Dong Z., Zhang J., and Chen G. 2002. Geomorphology of sand duns in the Northeast Taklimakan Desert. Geomorphology, 42: 183-195.



## Sand Drift Potential by Wind in Shileh Plain of Sistan

S. Poormand<sup>1</sup> - A. Gholamalizade Ahangar<sup>2\*</sup> - A. Dehvari<sup>3</sup>

Received: 07-11-2013

Accepted: 05-01-2015

**Introduction:** Wind erosion is one of the most important factors in desert environments. Prevailing winds can shift sand dunes and affect their accumulation and morphology. Also, wind regime determines the direction of sand dune mobility in different ways. Therefore, the wind regime, frequency, direction and velocity are supposed to be the most important factors to form the morphology of sand dunes. Wind energy and changes in different directions (wind regime) have large impacts on the morphology, maintenance and transformation of wind features. Having a global knowledge of the magnitude of aeolian processes, we can assess the powerful impact of sand dune mobility on residential areas and infrastructures. The most important factors including the frequency, magnitude and directional mobility of aeolian processes have a very important effect on the entrainment and form of sand dunes.

**Materials and Methods:** To understand and identify the wind erosion regions, wind regime is a useful way since there is a strong correlation between wind regimes and sand dune morphology and structure. Sand rose and wind rose are assumed to be easy, fast and most accurate methods for the identification of wind erosion. Wind regimes processes have been studied by many researchers who believed that investigating wind regimes and sand dune mobility gives a measure of drift potential. Drift potential is a measure of the sand-moving capability by wind; derived from reduction of surface-wind data through a weighting equation. To predict drift potential, wind velocity and direction data from meteorological synoptic stations were used. Regarding the estimation of sand transport rate by wind, many formulas exist such as Bagnold, Kawamura, and Lattau. Also, many software applications have been suggested. However, among these formulas, Fryberger's is the best and has been widely used since 1979.

**Results and Discussion:** The aim of this study was to analyze wind velocities and directions from 1992 to 2003 in order to predict the volume of sand transportation and its direction using sand-rose and wind-rose softwares. As described earlier, in this research, the drift potential (DP) is estimated for all possible wind speed categories, summed up for all categories of each direction sector using Fryberger's Equation. The sand drift potential in Shileh was estimated about 3439 vector units with a resultant drift direction along the Southeast, which places it in the high class of wind erosive power based on the Fryberger and Dean (1979) classification method. The sand drift potential values show that the resultant drift direction is from the Northwest towards the Southeast. It was also found that the most powerful winds (the prevailing winds) blow in the summer and the spring seasons, respectively. In contrast, the percentage of calm winds increases during autumn and winter times. The sand transport discharge was predicted to be  $20.422 \text{ t m}^{-1} \text{ year}^{-1}$  using Lattau and Lattau Equation. With regard to the monthly sand rose, it was seen that the resultant drift potential was low in December and January and high in June and July. The prevailing wind direction ranged from North to Northwest in all seasons. The winds with the highest velocities were observed in the summer, while the winds with lower velocities were observed during the winter. Wind velocities higher than  $11 \text{ m s}^{-1}$  had the largest frequencies in the summer and the lowest frequencies in the winter. Wind unidirectional index (UDI) is estimated to be 0.95, implying that the index provides a suitable condition for the creation of transverse (barchanoid) dunes.

**Conclusion:** The Sistan plain is one of the windiest places in the world that is exposed to wind erosion and dust storms. The result of this study is very important due to the construction of an international roadway that connects Chabahar port to Sistan plain and continues towards the Afghanistan border. Therefore, the practical result of this research could be used to protect this highway from sand dune migration. The residential areas and the infrastructure can be damaged by the migration of sand dunes since the sand dunes can move both spatially and temporally. For example, we can even notify the highway passengers about the rate of monthly and seasonal migration of sand dunes so that they avoid travelling during high-storm seasons. The results of this study are also important regarding wind-break design to protect the infrastructure such as highways and agricultural fields. Therefore, sand encroachment hazards affect man-made infrastructures due to wind speed and direction. Sand

1-MSc. student and Assistant Professor of Soil Science Department, Soil and Water Engineering Faculty, Zabol University

(\*- Corresponding Author Email: ahangar@uoz.ac.ir)

3- Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, Zabol University

drift potential is a serious hazard to settlements and other lands as well. This problem is accelerated by the extreme arid conditions (such as the case of Shileh) that may occur in different months of summer.

**Keywords:** Resultant Drift Direction, Sand Drift Potential, Sand Dune, Wind Erosion, Wind Regime