

تحلیل بادهای فرساینده و بررسی توان حمل رسوبات بادی در مناطق بیابانی استان اصفهان

امیرحسین پارسامهر^{۱*} و زهرا خسروانی^۲

*۱- نویسنده مسئول، عضو هیئت علمی گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فسا، ایران، پست الکترونیک: parsamehr@fasau.ac.ir

۲- دانشجوی دکترای بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، ایران

تاریخ دریافت: ۹۳/۶/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۴/۸/۳

چکیده

در مناطق خشک و بیابانی باد نقش مهمی در فرسایش خاک دارد. مقدار انرژی باد و تغییر آن در جهت‌های مختلف، تأثیر زیادی روی مرفولوژی و تغییر شکل رخساره‌های فرسایش بادی دارد. هدف از این تحقیق تجزیه و تحلیل بادهای فرساینده و بررسی دبی و جهت حمل رسوبات ماسه‌ای در منطقه مورد مطالعه است. برای انجام این پژوهش، داده‌های بادسنجی شش ایستگاه سینوپتیک استان اصفهان طی یک دوره آماری ۲۰ ساله (۱۳۷۳-۱۳۹۲) تجزیه و تحلیل شد. یکی از بهترین روش‌ها برای تعیین فرساینده‌ی باد، استفاده از گلباد و گلماسه است. نتایج بدست آمده از تجزیه و تحلیل گلباد نشان داد که جهت بادهای غالب در منطقه مورد مطالعه مربوط به جهت‌های شمال‌شرق، غرب و شرق است. نتایج حاصل از محاسبه و ترسیم گلماسه ایستگاه‌ها نیز که بر اساس سرعت آستانه فرسایش بادی ۱۲ نات انجام شد، نشان داد که بردار برآیند یا جهت نهایی حمل ماسه از جنوب تا غرب به سمت شمال تا شرق متغیر است. حداقل و حداکثر مقدار قابلیت حمل ماسه ۱۰۵/۳ و ۵۹۴/۷ واحد برداری است که به ترتیب به ایستگاه‌های کاشان و اردستان مربوط است.

واژه‌های کلیدی: فرسایش بادی، تپه‌های ماسه‌ای، گلباد، گلماسه، استان اصفهان.

مقدمه

شبکه‌های حمل و نقل، محصولات کشاورزی، منابع آب و مناطق مسکونی خسارتهای شدیدی وارد کنند (Refahi, 2009). از این رو به منظور جلوگیری از خسارتهای ناشی از آن، مطالعه خصوصیات عامل تحرک تپه‌های ماسه‌ای یعنی باد ضروری به نظر می‌رسد.

دستیابی به روش‌های آسان و کاربردی تحلیل داده‌های باد، از گذشته تا به حال مورد توجه متخصصان بوده است، به طوری که بتوان با تحلیل داده‌های بادسنجی یک ایستگاه، نوع تپه‌های ماسه‌ای قابل تشکیل، میزان و جهت حرکت رسوبات را پیش‌بینی کرد. یکی از این روش‌ها که اولین بار توسط فرایبرگر و دین پیشنهاد و مورد استفاده قرار گرفت، تحلیل آماری بادهای با سرعت بیش از سرعت آستانه

باد یکی از عوامل اصلی ایجاد فرسایش و تخریب در سطح زمین است. مقدار انرژی باد و تغییرپذیری آن، نقش مهمی در تشکیل رخساره‌های فرسایشی، توسعه و حرکت رسوبات بادی، به ویژه تپه‌های ماسه‌ای دارد (Pearce & Walker., 2005). حدود ۲۴ میلیون هکتار از اراضی کشور ایران، تحت تأثیر فرسایش بادی قرار دارد که ۱۳ میلیون هکتار از این اراضی در سیطره تپه‌های ماسه‌ای قرار دارند. از این مقدار، بیش از پنج میلیون هکتار آن را تپه‌های ماسه‌ای فعال و نیمه‌فعال تشکیل می‌دهد (Tak sabz Consulting Engineers, 2002). تپه‌های ماسه‌ای متحرک از خطرات عمده فرسایش بادی هستند که می‌توانند به

چین، قابلیت حمل ماسه را ۲۰۰ واحد برداری بدست آوردند که بر اساس طبقه‌بندی فرایبرگر، در کلاس مکان‌های با انرژی بادی کم قرار داشت.

بین سرعت باد و میزان انتقال رسوبات بادی ارتباطی وجود دارد که نشان می‌دهد این ارتباط شاخص صحیحی برای پایش سیستم‌های فرسایش بادی در درازمدت است و می‌تواند با اطمینان برای اهداف مورد نظر استفاده شود (Mainguet & Chemin, 1986). در این راستا این تحقیق به‌منظور تحلیل بادهای فرساینده و تعیین مقدار دبی و جهت نهایی حرکت رسوبات بادی در مناطق بیابانی استان اصفهان انجام شد تا بتوان علاوه بر شناخت مناطق حساس به فرسایش بادی (اغلب تپه‌های ماسه‌ای) در محدوده مطالعاتی، به‌منظور مدیریت و کنترل فرسایش بادی و رسوبات آن، اقدامات ضروری و مناسب را انجام داد.

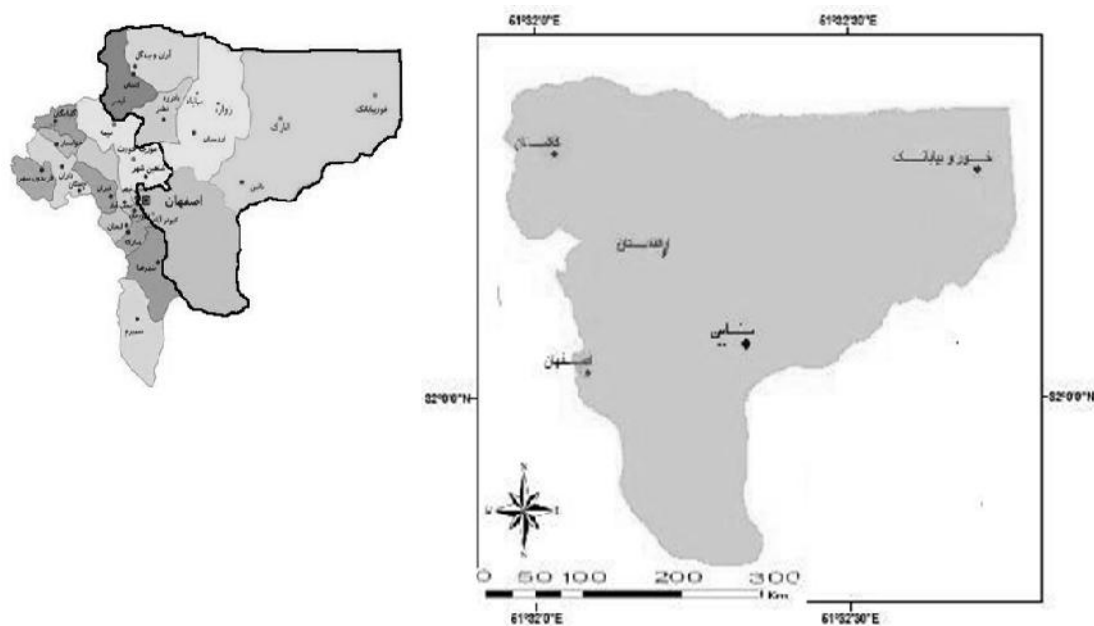
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان اصفهان با مساحت ۱۰۷۰۲۷ کیلومتر مربع (برابر ۶/۵۷ درصد از مساحت کشور) بین ۳۰ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی در بخش مرکزی ایران واقع شده است. وجود رشته کوه‌های زاگرس در قسمت غرب استان، مانع نفوذ رطوبت به نواحی مرکزی و شرق استان شده و سبب ایجاد مناطق خشک و بیابانی در نیمه شرقی استان شده است. به دلیل حضور غالب کانون‌های بحرانی بیابان‌زایی و مولد گرد و غبار در مناطق بیابانی استان، این ناحیه به‌عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شد (شکل ۱). داده‌های بادسنجی ۲۰ سال اخیر (۱۳۹۲-۱۳۷۳) شش ایستگاه سینوپتیک واقع در نیمه شرقی استان اصفهان، به‌عنوان مناسبترین و در دسترس‌ترین داده‌های آماری منطقه، مورد استفاده قرار گرفت و در عین حال در مورد صحت همگنی (ران تست) و بازسازی داده‌های مذکور (ضریب همبستگی) اقدام‌های لازم بعمل آمد (جدول ۱).

فرسایش بادی بود (Fryberger & Dyne, 1979). در این روش سرعت‌های مختلف باد در جهات مختلف که دارای سرعتی بیش از سرعت آستانه فرسایشی می‌باشند، به واحدهای برداری یکسان تبدیل شده و با رسم آنها در جهت‌های مربوطه، گلماسه شکل می‌گیرد. با استفاده از این روش، علاوه بر تحلیل فراوانی باد و تعیین جهت بادهای فرساینده می‌توان به مقدار توان باد در حمل رسوبات ماسه‌ای، مقدار دبی رسوب و جهت نهایی حمل رسوبات بادی دست یافت. همچنین می‌توان با توجه به تعیین وقوع بادهای غالب یک‌جهته، دو‌جهته و چند جهته، نوع رخساره‌های تشکیل شده را در منطقه پایش‌بینی و مدیریت لازم را اعمال کرد. در این زمینه، تحقیقات مختلفی انجام شده که به برخی از آنها اشاره می‌شود:

Rajabi و همکاران (۲۰۰۶) در بررسی مرفودینامیکی باد با استفاده از گلماسه در استان سیستان و بلوچستان، توان حمل ماسه توسط باد را به ترتیب ۱۳۷۶ و ۱۱۱۷ واحد برداری برای منطقه زابل و زهک بدست آوردند. نتایج آنان نشان داد که جهت نهایی حرکت تپه‌های ماسه‌ای به سمت جنوب شرق است که این جهت با جهت وزش بادهای ۱۲۰ روزه سیستان مطابقت دارد. Ekhtesasi و همکاران (۲۰۰۶) در تحلیل فرسایش بادی و تعیین جهت حرکت ماسه‌های روان دشت یزد، بر اساس سرعت آستانه فرسایشی ۱۲ نات، مقدار قابلیت حمل ماسه را ۸۲/۵ واحد برداری بدست آوردند که نسبت به شمال جغرافیایی زاویه‌ای برابر ۷۷ درجه را تشکیل می‌داد. Ahmadi و Mesbahzadeh (۲۰۱۱)، مقدار قابلیت حمل ماسه را به روش کلاس‌های سرعت فرایبرگر در جاسک و کرمان به ترتیب ۴۰۱/۰۹ و ۴۹۰/۵۱ واحد برداری محاسبه کردند که جهت حرکت آنها به سمت شمال غرب بود. Philip و همکاران (۲۰۰۴) در بررسی دینامیک تحرک تپه‌های ماسه‌ای در صحرای سینای مصر، مقدار قابلیت حمل ماسه را بیش از ۴۰۰ واحد برداری برآورد کردند که جهت حرکت آنها از غرب و شمال غرب به سمت شرق و جنوب شرق بود. Zu و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی خصوصیات رژیم‌های بادی در بیابان تاکلامکان



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان اصفهان

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در مناطق بیابانی استان اصفهان

ارتفاع از سطح دریا (m)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	نام ایستگاه
۱۵۴۳	۳۲ ۴۰'	۵۱ ۵۲'	اصفهان
۹۸۲	۳۳ ۵۹'	۵۱ ۲۷'	کاشان
۱۵۴۹	۳۲ ۵۱'	۵۳ ۰۵'	نائین
۱۲۵۲	۳۳ ۲۳'	۵۲ ۲۳'	اردستان
۸۴۵	۳۳ ۴۷'	۵۵ ۰۵'	خور و بیابانک
۱۶۸۴	۳۳ ۳۲'	۵۱ ۵۴'	نطنز

تجزیه و تحلیل داده‌های باد

به منظور تجزیه و تحلیل داده‌های بادسنجی، از نرم‌افزار

WDconvert استفاده شد.

WRplot ver 3.5 که برای انجام محاسبات آماری باد و

ترسیم و تحلیل گلماسه

گلماسه، نمودار برداری مقدار انرژی باد برای حمل ماسه

بوده و بیانگر توان فرسایشی باد و مقدار نسبی حمل ماسه

در جهات مختلف است. برخلاف گلباد که واحد اندازه

بازوها در آن بر حسب سرعت باد است، واحد بازوها در

گلماسه بر اساس یک واحد برداری (v.u)، تعریف شده

است. با در نظر گرفتن چندین فرضیه، Lettau - Lettau

(۱۹۷۸) رابطه زیر را بیان کرد:

رسم گلباد طراحی شده است، استفاده شد. گلباد ساده‌ترین

روش نمایش آماری داده‌های بادسنجی است که فراوانی

سمت و سرعت بادها را در هر جهت نشان می‌دهد. با توجه

به اینکه این نرم‌افزار برای محاسبه و ترسیم گلباد از

فرمت‌های خاصی استفاده می‌کند، از این رو به منظور خوانا

کردن داده‌های بادسنجی جمع‌آوری شده، از نرم‌افزار

فرسایش می‌باشد که بنا به پیشنهاد Fryberger (۱۹۷۱) و طبق رابطه Bagnold (۱۹۴۱)، برابر ۱۲ knot در نظر گرفته می‌شود. پس از تعیین مقادیر فاکتور وزنی و با در نظر گرفتن مقادیر فراوانی هریک از کلاس‌های سرعت، مقادیر توان حمل (DP) برای هریک از جهات جغرافیایی و در هریک از کلاس‌های سرعت محاسبه شده و مجموع آنها به‌عنوان DP_t در نظر گرفته می‌شود.

Fryberger و Dyne (۱۹۷۹) چندین شاخص را به شرح زیر از ترسیم گلماسه استخراج کرده که می‌توانند برای تعیین جهت حرکت ماسه مفید باشد.

مجموع توان حمل ماسه (DP_t): عبارت است از یک مقدار اسکالر یا عددی که از مجموع مقادیر DP در جهات مختلف حاصل می‌شود و در واقع شاخصی است که بیانگر کل انرژی باد جهت حمل ماسه در منطقه می‌باشد. Fryberger و Dyne (۱۹۷۹) قدرت فرسایشی باد را بر اساس شاخص توان حمل باد طبق جدول ۲ طبقه‌بندی کردند.

$$q = (C'' p/g) V^2 (V - V_t)$$

که در آن q: میزان انتقال ماسه (kg/m³.hr)، g: شتاب ثقل (m/s²)، C'': مقداری ثابت و بی‌بعد که بر اساس قطر ذرات تعیین می‌شود، p: چگالی هوا (kg/m³)، V: سرعت برشی باد (knot) و V_t: سرعت آستانه برشی باد (knot). Fryberger (۱۹۷۹) این رابطه را به صورت زیر ساده کرد:

$$Q = V^2 (V - V_t) t$$

که در آن Q: مقدار انتقال ماسه که به صورت واحد برداری نشان داده می‌شود (v.u)، V: سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری (knot)، V_t: سرعت آستانه فرسایشی باد (knot) و t: فراوانی بادهای بیشتر از سرعت آستانه فرسایشی (درصد).

ترکیب $V^2 (V - V_t)$ ، فاکتور وزنی نامیده می‌شود و نشان می‌دهد که بادهای قوی‌تر دارای وزن بیشتر و بادهای ضعیف‌تر دارای وزن کمتری هستند. به منظور کم کردن فاکتور وزنی و آسانتر شدن ترسیم گلماسه، مقدار فاکتور وزنی بر ۱۰۰ تقسیم می‌گردد (Al-Awadhi et al., 2005). اولین مرحله در محاسبه قابلیت حمل ماسه، تعیین سرعت آستانه

جدول ۲- تقسیم‌بندی قدرت فرسایشی باد در محیط‌های بیابانی (Fryberger & Dyne, 1979)

قدرت فرسایشی باد	DP _t
کم	< ۲۰۰
متوسط	۲۰۰ - ۴۰۰
زیاد	> ۴۰۰

شاخص همگنی جهت باد (UDI): شاخص همگنی یا تغییرپذیری جهت حمل ماسه است که عبارت است از: نسبت برآیند توان حمل ماسه به مجموع توان حمل ماسه. Fryberger و Dyne (۱۹۷۹) تغییرپذیری جهت باد را بر اساس شاخص همگنی طبق جدول ۳ طبقه‌بندی کردند.

برآیند توان حمل ماسه (RDP): بیانگر مقدار برآیند بردار توان حمل ماسه می‌باشد که از جمع برداری مقادیر DP در جهات مختلف ۸ یا ۱۶ گانه حاصل می‌شود. جهت برآیند حمل ماسه (RDD): جهت بردار برآیند حرکت ماسه را در طول سال، ماه یا فصل مورد نظر نشان می‌دهد.

جدول ۳- تقسیم‌بندی شاخص تغییرپذیری جهت باد (Fryberger & Dyne, 1979)

طبقه‌بندی جهات باد	قدرت فرسایشی باد	UDI
بادهای یک جهته	کم	> 0.8
بادهای دوجته با زاویه منفرجه	متوسط	$0.3 - 0.8$
بادهای چند جهته مرکب با زاویه تند	زیاد	< 0.3

سه‌ساعته ایستگاه‌ها، از شرایط آرام برخوردار بوده و در بقیه اوقات دیده‌بانی، سرعت بیش از یک نات در منطقه حاکم بوده است. کمترین درصد بادهای آرام متعلق به ایستگاه اصفهان و بیشترین درصد بادهای آرام متعلق به ایستگاه کاشان بود. همان‌گونه که گلبادهای ترسیم شده (شکل ۲) و جدول ۴ نشان می‌دهد، در ایستگاه اردستان بادهای قطاع شمال شرقی و جنوب بیشترین درصد فراوانی را داشتند. در ایستگاه اصفهان این جهت مربوط به غرب و شمال‌غربی بود. در ایستگاه خور و بیابانک بادهای شمال‌شرق و غرب، در ایستگاه نائین بادهای غرب، شمال‌شرق و شرق و در ایستگاه نطنز بادهای شرق و شمال‌شرق بیشترین درصد فراوانی را به خود اختصاص دادند. در ایستگاه کاشان بادهای چند جهته غالب وجود داشت که می‌توان به بادهای شمال‌شرق، شمال، شمال‌غرب، غرب و جنوب‌غربی و با درصد فراوانی تقریباً مساوی اشاره کرد.

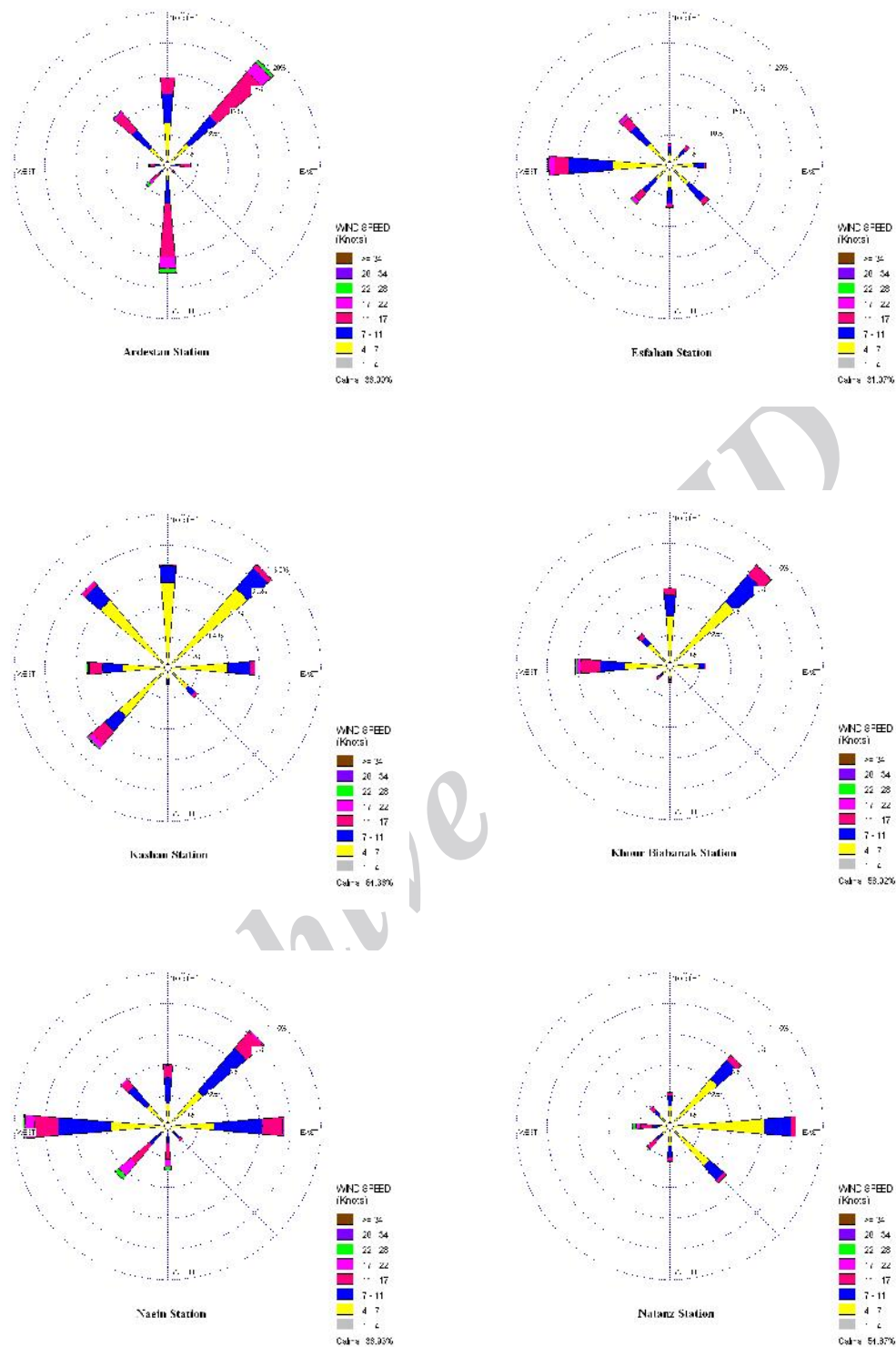
با توجه به پیچیدگی و حجم بالای محاسبات آماری مربوط به ترسیم گلماسه، از نرم‌افزاری با عنوان گلماسه نما (Sand Rose Graph) به منظور محاسبه و ترسیم استفاده شد. این نرم‌افزار که بر اساس معادلات و روابط پیشنهادی فرایرگر و لتو طراحی شده است (Ekhtesasi *et al.*, 2006)، قادر است با دریافت داده‌های بادسنجی ایستگاه مورد نظر و همچنین سرعت آستانه فرسایش بادی رخساره‌های مختلف مجاور ایستگاه، به تحلیل آماری و ترسیم گلماسه‌های مورد نظر بپردازد. گلماسه‌های رسم شده قادرند توان حمل ماسه توسط باد و جهت آن را بخوبی نشان دهند.

نتایج

تجزیه و تحلیل داده‌های بادسنجی ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داد که حدود ۳۱ تا ۸۴ درصد از دیده‌بانی‌های

جدول ۴- درصد فراوانی جهت وزش باد در ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه

جهت	اردستان	اصفهان	خور و بیابانک	کاشان	نائین	نطنز
شمال	۱۱	۴	۸	۲	۶	۳
شمال‌شرق	۱۸	۴	۱۳	۳	۱۲	۹
شرق	۳	۶	۳	۲	۱۱	۱۲
جنوب‌شرق	۱	۹	۱	۱	۲	۷
جنوب	۱۴	۷	۲	۱	۵	۴
جنوب‌غرب	۳	۸	۲	۳	۷	۳
غرب	۲	۲۰	۹	۱	۱۴	۴
شمال‌غرب	۹	۱۱	۴	۳	۶	۳



شکل ۲- گلبادهای سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه (۱۳۹۲-۱۳۷۳)

کلاس سرعت ۱۱-۷ نات قرار داشت. ایستگاه اردستان تنها ایستگاهی بود که حدود ۲۳ درصد دیده‌بانی‌ها در کلاس سرعت ۱۷-۱۱ نات و حدود ۱۷ درصد دیده‌بانی‌ها در کلاس سرعت ۱۱-۷ نات دیده شد. بررسی متوسط سرعت باد در منطقه مورد مطالعه نشان داد که بیشترین و کمترین سرعت متوسط باد با مقادیر حدود ۷ و ۱ نات به ترتیب متعلق به ایستگاه‌های اردستان و کاشان بود.

بررسی فراوانی کلاس‌های سرعت باد (جدول ۵) نشان داد که در بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه، سرعت‌های بیش از ۲۲ نات، کمتر از یک درصد دیده‌بانی‌ها را تشکیل داده و بادهای با سرعت بیش از ۳۴ نات تنها در ایستگاه‌های اردستان و نطنز و با فراوانی کمتر از ۰/۱ درصد مشاهده شد. به جز ایستگاه اردستان، در تمامی ایستگاه‌ها، بیشترین فراوانی باد در کلاس سرعت ۷-۴ نات و بعد از آن در

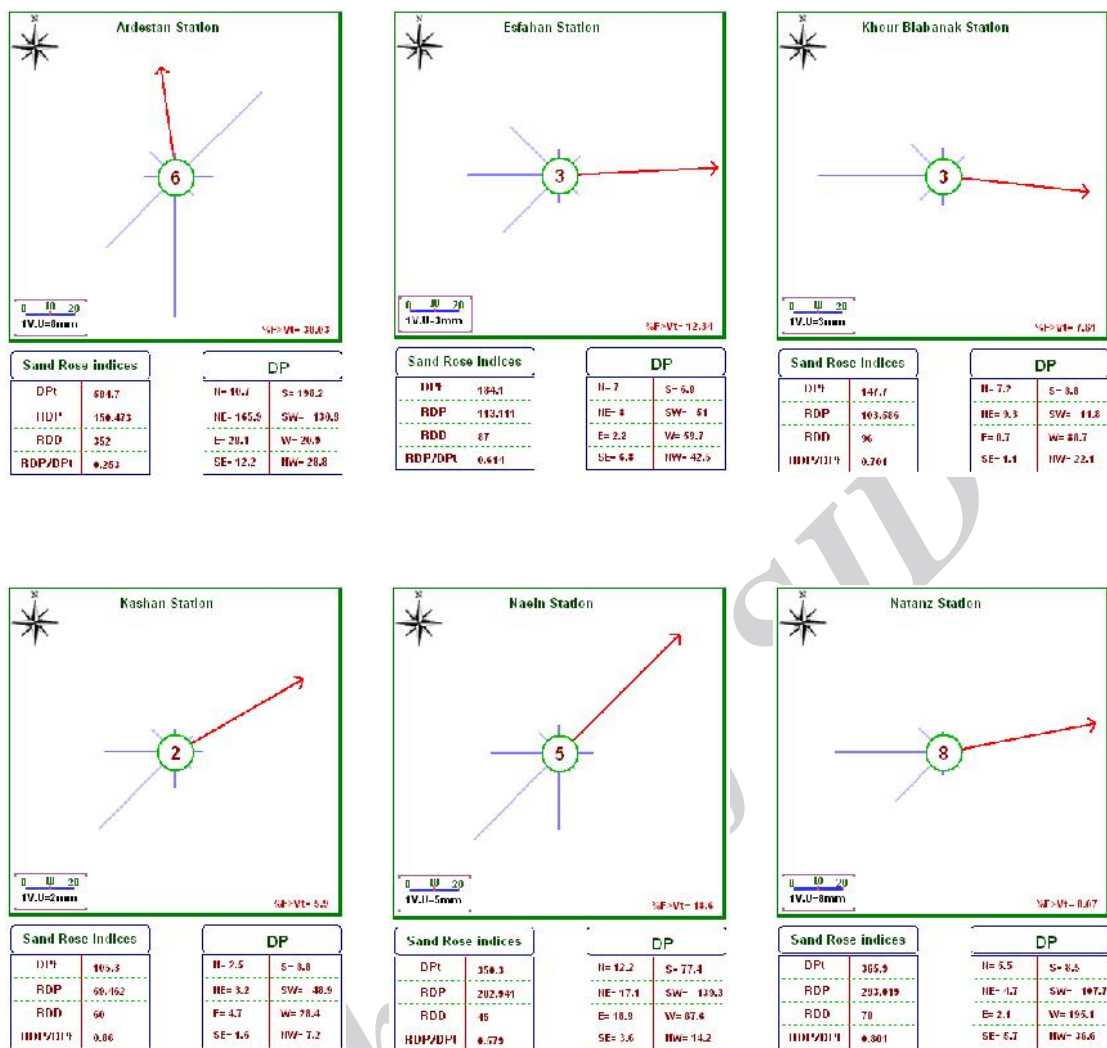
جدول ۵- درصد فراوانی کلاس‌های سرعت باد در ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه

کلاس‌های سرعت - ایستگاه	اردستان	اصفهان	خور و بیابانک	کاشان	نائین	نطنز
آرام	۳۶	۳۱/۱	۵۸	۸۴/۴	۳۶/۹	۵۴/۹
۱-۴	۰/۱	۰	۰	۰	۰	۱/۲
۴-۷	۱۷	۳۳/۱	۲۶/۳	۱۱/۱	۲۳/۷	۲۶/۹
۷-۱۱	۱۶/۹	۲۴	۹/۹	۳/۱	۲۱/۹	۱۱
۱۱-۱۷	۲۳/۳	۸/۹	۴/۹	۱/۱	۱۲/۶	۴/۵
۱۷-۲۲	۴/۸	۲/۶	۰/۶	۰/۳	۳/۸	۰/۹
۲۲-۲۸	۱/۶	۰/۳	۰/۲	۰/۱	۰/۹	۰/۴
۲۸-۳۴	۰/۳	۰	۰/۱	۰	۰/۱	۰/۲
>۳۴	۰/۱	۰	۰	۰	۰	۰/۱
متوسط سرعت (Knot)	۶/۹۸	۵/۶۲	۲/۹۹	۱/۰۲	۶/۰۱	۳/۲۷

و بیابانک و نطنز از غرب به شرق، منطقه کاشان و نائین از سمت جنوب غربی به شمال شرقی و منطقه اردستان از جنوب به شمال در حرکتند.

بررسی شاخص تغییرپذیری جهت باد در منطقه نشان داد که طبق طبقه‌بندی فرایبرگر و دین (جدول ۳)، منطقه نطنز با تغییرپذیری کم جهات باد، دارای بادهای یک جهته بود. مناطق اصفهان، کاشان، خور و بیابانک و نائین دارای بادهای دو جهته با زاویه منفرجه و تغییرپذیری جهات باد متوسط بودند. منطقه اردستان با تغییرپذیری زیاد جهت باد دارای بادهای چند جهته مرکب با زاویه تند بود.

نتایج حاصل از محاسبات و تهیه گلماسه ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل ۳ نشان داده شده است. محاسبه مقادیر DPt نشان داد که کمترین مقدار DPt مربوط به ایستگاه کاشان (۱۰۵/۳ واحد برداری) و بیشترین DPt متعلق به ایستگاه اردستان (۵۹۴/۷ واحد برداری) بود. بنابر طبقه‌بندی فرایبرگر و دین (جدول ۲)، قدرت فرسایشی باد در مناطق اصفهان، کاشان و خور و بیابانک کم، در مناطق نائین و نطنز متوسط و در منطقه اردستان زیاد بدست آمد. جهت بردار برآیند توان حمل ماسه (RDD) در منطقه مورد مطالعه نشان داد که رسوبات ماسه‌ای در منطقه اصفهان، خور



شکل ۳ - گلماسه های سالانه ایستگاه های مورد مطالعه و شاخص های مربوطه (۱۳۷۳-۱۳۹۲)

ثانیه در جهت بردار برآیند یعنی از جنوب غرب به سمت شمال غرب در جریان بود. بیشترین مقدار ماسه جابجا شده (TSF) با ۷۹/۱۹ تن بر متر در سال متعلق به ایستگاه اردستان و کمترین آن با ۳/۴۳ تن بر متر در سال متعلق به ایستگاه کاشان بود که از مقدار ۲۰/۰۳ و ۲/۲۵ تن بر متر در سال مقدار ماسه جابجا شده در جهت بردار برآیند (DSF) بود.

نتایج حاصل از بررسی دبی حمل ماسه (جدول ۶) نشان داد که بیشترین دبی حمل (QS) مربوط به ایستگاه اردستان و مقدار آن ۲۷/۱۲ کیلوگرم بر متر در ثانیه بود. از این مقدار ۶/۸۶ کیلوگرم بر متر در ثانیه در جهت بردار برآیند (RQS) یعنی به سمت شمال (۳۵۲ درجه) در جریان است. کمترین مقدار دبی حمل مربوط به ایستگاه کاشان بود که از مقدار ۱/۱۸ کیلوگرم بر متر در ثانیه، ۰/۷۷ کیلوگرم بر متر در

جدول ۶- مقادیر دبی رسوب و مقدار رسوبات منتقل شده

شاخص‌های گلماسه	اردستان	اصفهان	خور و بیابانک	کاشان	نائین	نطنز
Q_s (kg/m.s)	۲۷/۱۲	۹/۰۵	۴/۴۱	۱/۱۸	۱۵/۷	۱۱/۷
RQ_s (kg/m.s)	۶/۸۶	۵/۷۵	۳/۰۹	۰/۷۷	۹/۱۱	۹/۴۱
TSF (ton/m.year)	۷۹/۱۹	۲۶/۴۱	۱۲/۸۹	۳/۴۳	۴۵/۹۷	۳۴/۳۶
DSF (ton/m.year)	۲۰/۰۳	۱۶/۲۶	۹/۰۲	۲/۲۵	۲۶/۵۹	۲۷/۴۷

بحث

گلبادهای سالانه منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که حاکمیت بادهای غالب بر مناطق مختلف بیابانی استان اصفهان متفاوت بوده و این غالبیت با توجه به شرایط مرفولوژیکی و بادناکی هر منطقه شکل می‌گیرد. بر این اساس، جهت‌های غالب شمال‌شرق، غرب و شرق بیشترین فراوانی‌ها را داشتند. هر چند بر اساس گلباد می‌توان جهت بادهای با بیشترین فراوانی و سریع‌ترین بادها را نمایش داد، اما لزوماً نمی‌توان مؤثرترین بادهای دخیل در فرسایش خاک و انتقال ماسه را به آن جهت نسبت داد. بنابراین برای تحلیل داده‌های بادسنجی، ترسیم گلباد کافی نیست، بلکه دخالت دادن سرعت آستانه فرسایش خاک توسط باد نیز اهمیت دارد که برای بررسی این مورد از نمودارهای گلماسه استفاده می‌شود. چون در این حالت، بادهای با سرعت کمتر از آستانه فرسایش حذف می‌شود، از این‌رو امکان دارد جهت گلباد با گلماسه یکسان نباشد. هر چند در این مطالعه، در غالب ایستگاه‌ها تطابق بین جهت گلباد و گلماسه وجود داشت، اما در ایستگاه نطنز با توجه به فراوانی دیده‌بانی‌ها در جهت شمال‌شرق، شرق و جنوب‌شرق، جهت نهایی گلماسه برخلاف این جهت‌ها بوده و از غرب به شرق بود. Ekhtesasi و همکاران (۲۰۰۶) نیز در تحلیل فرسایش بادی در دشت یزد، به نتایج مشابهی دست یافتند. این نکته در طراحی سازه‌ها به‌ویژه طراحی بادشکن‌ها باید همواره مد نظر باشد و نباید در طراحی آنها فقط جهت بادهای غالب یا بادهای شدید و موردی ملاک عمل باشد.

بیشترین مقدار حمل رسوب در منطقه توسط بادهایی با سرعت متوسط (۱۷-۴ نات) و فراوانی زیاد انجام شد و این

بر خلاف تصویری است که نسبت به بادهای طوفانی و لحظه‌ای بیان می‌شود. چون بادهای کمتر از ۱۲ نات که بادهای کمتر از آستانه سرعت فرسایشی بودند، حذف شده و بادهای با سرعت زیاد نیز به دلیل فراوانی بسیار کم در تشکیل تپه‌های ماسه‌ای نقش قابل ملاحظه‌ای نداشتند. Zareian (۲۰۰۷) نیز در بررسی مورفودینامیک تپه‌های ماسه‌ای جنوب ایران، بر نقش مؤثر بادهای با سرعت متوسط و فراوانی زیاد در حمل رسوبات تأکید می‌کند.

بیشترین مقدار رسوب جابجاشده مربوط به منطقه اردستان و کمترین آن مربوط به ایستگاه کاشان است. با بررسی مقادیر توان حمل ماسه در این دو ایستگاه می‌توان علت را اینگونه توجیه کرد که با افزایش سرعت بادهای بیش از آستانه فرسایشی و به تبع آن قابلیت حمل ماسه، میزان رسوبات منتقل شده افزایش می‌یابد. Mainguet و Chemin (۱۹۸۶) در تحقیقی مشابه در بیابان تاکلامکان در چین، بیان کردند که بین فراوانی سرعت بادهای بیش از سرعت آستانه فرسایشی و میزان انتقال رسوبات بادی رابطه معناداری وجود دارد.

با توجه به شاخص همگنی جهت باد می‌توان نوع رژیم بادی مؤثر در شکل‌گیری تپه‌های ماسه‌ای و مرفولوژی رسوبات را در منطقه پیش‌بینی کرد. به عبارت دیگر با اطلاع از شاخص همگنی باد، نوع بادهای یک‌جهته، دو‌جهته همسو یا مخالف و یا بادهای چندجهته مشخص می‌شود که این موضوع یکی از عوامل مؤثر در شکل‌گیری نوع رخساره‌های فرسایشی مانند بارخان، سیف و ... است. به‌طوری‌که افرادی مانند Moursy و همکاران (۲۰۰۲)، Saqqa و Atallah (۲۰۰۴) و Wang (۲۰۰۲) در تحقیقات

- study of global sand seas, United States Government printing office, Washington.
- Lettau, K. and Lettau, H. H., 1978. Experimental and micrometeorological field studies of dune migration. In *Exploring the World's Driest Climates*, Institute of Environmental Science Report 101, University of Wisconsin, Madison, 110-114.
- Maingute, M. M. and Chemin, M. C., 1986. Wind system and sand dune in the Taklamakan Desert (People's Republic of China). *Proceedings of the International Symposium on Remote Sensing of Environment* 20, 827-834.
- Mesbahzadeh, T. and Ahmadi, H., 2012. Investigation of sand drift potential (Case study: Yazd-Ardakan plain). *Journal of Agriculture Science Technology*, 14: 919-928.
- Moursy, F.I., Gaber, E. I. and Samak, M., 2002. Sand drift potential in El-Khanka area, Egypt. *Water, Air and Soil Pollution*, 136: 225-242.
- Pearce, K. I. and Walker, I. J., 2005. Frequency and magnitude biases in the fryberger model, with implications for characterizing geomorphically effective winds. *Geomorphology*, 68: 50-56.
- Philip, G., Attia, O. E. A., Draz, M. Y. and El Banna, M. S., 2004. Dynamics of sand dune movement and their environmental impacts on the reclamation area in NW Sinai, Egypt. *The 7th conference in Geology of Sinai for development Ismailia*, 169-180pp.
- Rajabi, M. R., Rohani, F., Ekhtesasi, M. R. and Ghazanfarpoor, N., 2006. Morphodynamic and analysis of wind faces using spatial sand rose model in Zabol and Zahak region, Iran. *Biaban*, 11(1): 45-51.
- Refahi, H. Gh., 2009. *Wind Erosion and Control*. Tehran University press, Tehran, 320p.
- Saqqa, W., and Atallah, M., 2004. Characterization of the aeolian terrain facies in Wadi Araba desert, South West Jordan. *Geomorphology*, 62: 63-87.
- Tak sabz Consulting Engineers, 2002, Master Plan Studies of crisis centers of wind erosion and determine of priorities for action, Forest, Range and Watershed Management Organization.
- Wang, X., Dong, Z., Zhang, J. and Chen. G., 2002. Geomorphology of sand duns in the Northeast Taklimakan desert. *Geomorphology*, 42: 183-195.
- Zareian, M., 2007. Investigation of the sand dune morphodynamics in the Sought of Iran. Msc. Thesis, Faculty of natural resources, University of Tehran, Iran.
- Zu, R., Xue, X., Qiang, M., Yang, B., Qu, J. and Zhang, K., 2008. Characteristics of near-surface wind regimes in the Taklimakan desert, China. *Geomorphology*, 96: 39-47.
- خود به این موضوع اشاره کرده‌اند. همچنین جهت غالب حرکت رسوبات ماسه‌ای در این مناطق از سمت غرب و جنوب غربی به سمت شرق و شمال شرقی بود.
- در پایان می‌توان گفت استفاده از نتایج این پژوهش ما را در شناخت سرعت و جهت بادهای فرساینده، توان حمل رسوبات توسط باد، مقدار دبی و جهت حرکت رسوبات و همچنین نوع مرفولوژی رسوبات بادی توانمند می‌سازد. البته آگاهی از این مسئله در مدیریت اراضی و شناخت راهکارهای کنترل و تثبیت اراضی تحت فرسایش بادی مؤثر خواهد بود. همچنین پیشنهاد می‌شود برای افزایش دقت در منطقه مورد مطالعه و پژوهش‌های مشابه، علاوه بر افزایش تعداد ایستگاه‌های بادسنجی (توسط سازمان هواشناسی)، سرعت آستانه فرسایشی باد نیز با توجه به ویژگی‌های اراضی با دقت بیشتری تعیین شود.

منابع مورد استفاده

- 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 Water and Soil*, 25(1): 11-18.
- Al-Awadhi, J. M., Al-Helal, A. and Al-Enezi, A., 2005. Sand drift potential in the desert of Kuwait. *Journal of Arid Environment*, 63: 425-438.
- Bagnold, R. A., 1941. *The physics of blown sand and desert dunes*. Champman and Hall, London, 256p.
- Ekhtesasi, M. R., Ahmadi, H., Khalili, A., Saremi Naeini, 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 – Ardekan basin), *Journal of the Iranian Natural Resources*, 59(3): 533-541.
- Ekhtesasi, M. R., Saremi Naeini, M. A. and Saremi Naeini, A., 2006. Design of sand rose graph software, the processor of soil erosion power and sediment. The first national conference of Wind Erosion, Yazd, Iran, 24-26 January. Fryberger, S. G., 1979. Dune forms and wind regime. 137-169. In: McKee, E. D.(Eds.), *A study of global sand seas*, United States Geological Survey Professional Paper, 1052p.,
- Fryberger, S. G., and Dean, G., 1979. Dune forms and wind regime. I37-169.n: McKee, E. D.(Eds.), A

Analysis of erosive winds and depositions drift potential in desert regions of Esfahan Province

Parsamehr^{1*} and Z. Khosravani²

1* -Corresponding author, Faculty Member of Range and Watershed Management, College of Agriculture, Fasa University, Fasa, Iran, Email: parsamehr@fasau.ac.ir

2- Ph.D. Student of Combat Desertification, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran

Received: 9/8/2014

Accepted: 10/25/2015

Abstract

In arid and desert regions, wind has an important role in soil erosion. The amount of wind energy and its direction variability have significant control on the morphology and maintenance of aeolian land forms. This research was aimed to analyze the erosive winds and investigate the discharge and sediment transport in the study area. For this research, anemometric data of a duration period of 20 years (1994-2013) were analyzed. Wind rose and sand rose are one of the best methods to determine the wind erodibility. The results obtained from the analysis of wind rose data indicated that the direction of prevailing wind in the study area was NE, W and E. The results of sand rose for a wind speed threshold of 12 knots showed that the drift direction was from south – west towards north – east. The maximum and minimum amount of total sand drift potential was 105.3 and 594.7 in vector units, related to Kashan and Ardestan stations, respectively.

Keywords: Esfahan province, sand dunes, wind rose, sand rose, wind erosion.