

تحلیل فرسایش بادی و تعیین جهت حرکت ماسه‌های روان در دشت خضرآباد

یزد

محمد حسن صادقی روش^{*}

^۱ استادیار گروه محیط زیست، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۰۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۰۳

چکیده

فرسایش بادی به دلیل تداوم و وسعت عمل فرساینده‌گی در زمان و مکان به‌ویژه در مناطق خشک دارای پتانسیل تخریب بالایی است. از این‌رو، خسارات وارد شده به منابع اقتصادی به‌ویژه خاک و پوشش گیاهی چشمگیر است. لذا، شناخت جامع شکل‌گیری، عملکرد، مناطق تحت تاثیر و اثرات آن ضروری است. در این راستا، این پژوهش با هدف منشاء‌یابی فرسایش بادی و تعیین جهت حرکت ماسه‌های روان در دشت خضرآباد یزد به انجام رسید. در این مطالعه سعی شد، داده‌های بادسنجی ایستگاه سینوپتیک یزد طی یک دوره آماری ۱۵ ساله (۲۰۰۱-۲۰۱۵) با استفاده از نرم‌افزار Wrpplot View، WDconvert و Sandrose Graph 3.0 مورد تحلیل قرار گیرد. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل فضایی داده‌های بادسنجی نشان داد که جهت باد غالب در دشت خضرآباد، غربی (W) با ۱۸/۷۷ درصد فراوانی حالات آرام با بادناکی کمتر از یک نات (۰/۵۴ متر بر ثانیه) می‌باشد. نتایج حاصل از محاسبه و ترسیم گل‌طوفان که بر اساس سرعت آستانه فرسایش بادی ۶/۵ متر بر ثانیه تهیه شد نشان می‌دهد که در این دشت بادهای فرسایشی عمدتاً از جهت غرب-شمال غرب (WNW) و پس از آن از جهت شمال غرب (NW) می‌وزند و بادهای غربی (W) از فراوانی کمتری برخوردارند. به استناد گل‌طوفان رسم شده، فراوان حالات آرام در منطقه حدود ۹۶ درصد است. این مسئله بیانگر آن است که بادهای فرسایشی تنها حدود چهار درصد دیدبانی‌ها را شامل می‌شود. گلماسه ترسیم شده بر مبنای سرعت آستانه فرسایش، نشان داد که بادهای شمال غربی (NW) و جنوب غربی (SW) به ترتیب از بیشترین قدرت یا توان حمل ماسه (DP) برخوردارند و پس از آن بادهای جنوبی (S) در اولویت هستند و جهت نهایی حمل ماسه نسبت به شمال (RDD) در حدود ۷۳ درجه (شمال شرقی) می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: سرعت آستانه فرسایش بادی، گلباد، گل‌طوفان، گلماسه، نرم‌افزار

مقدمه

زیست‌محیطی مهمی است، به طوری که هم‌اکنون اراضی تحت تاثیر فرسایش بادی به بیش از ۵/۰۵ میلیون کیلومتر مربع می‌رسد. این مقدار فرسایش با ۴۶/۴ درصد از اراضی تحت تخریب زمین به‌وسیله کلیه عوامل برابر است (Dong و همکاران، ۲۰۰۰). بیش از یک میلیون کیلومتر مربع (۶۴/۶۶ درصد) از

طبق تعریف، فرسایش بادی پدیده‌ای است که در نواحی خشک و نیمه‌خشک با بارندگی کم و دامنه نوسان زیاد، پوشش گیاهی ناچیز و بادهای قوی با فراوانی وقوع بالا و حاوی سنگریزه‌های سطحی مستعد برای بادبردگی ایجاد می‌شود. فرسایش بادی مسئله

به منظور تحلیل طوفان خیزی از گل طوفان استفاده می‌شود. نمودار گل طوفان^۱ در واقع همان نمودار باد یا گلبادی است که فراوانی سرعت و جهت بادهای فرساینده را در منطقه نشان می‌دهد. در گل طوفان، ارتباط فضایی باد با فرسایش پذیری خاک یا زمین برقرار می‌شود و به تحلیل طوفان خیزی در اراضی مورد نظر می‌پردازد، در صورتی که این تحلیل به کمک گلباد امکان پذیر نیست (Ekhtesasi و همکاران، ۲۰۰۶). به عبارتی در این نمودار فراوانی سرعت و جهت بادهایی با سرعت بیش از آستانه فرسایش در نظر گرفته می‌شود.

از دیگر شیوه‌های تجزیه و تحلیل آماری باد در ارتباط با سرعت‌های آستانه فرسایش بادی، استفاده از گلماسه می‌باشد، که برای اولین بار به وسیله Fryberger و Letu در سال ۱۹۷۵ پیشنهاد و مورد استفاده قرار گرفت. در این روش سرعت‌های مختلف باد در جهات مختلف، که دارای سرعتی بیش از سرعت آستانه فرسایش در رخساره یا اراضی مورد نظر هستند به واحدهای برداری یکسانی تحت عنوان توان حمل ماسه^۲ (DP) تبدیل شده و با رسم آن‌ها در جهت‌های مربوطه گلماسه شکل می‌گیرد. در حقیقت گلماسه، نمودار برداری مقدار انرژی قابل حمل ماسه به وسیله باد است، که بیانگر توان فرسایشی باد و مقدار نسبی حمل ماسه از جهات مختلف می‌باشد (Fryberger و Lettau، ۱۹۷۹؛ Tosar و Blumberg، ۲۰۰۲؛ Walker و Prace، ۲۰۰۵).

در این رابطه Fryberger، در شبه جزیره عربستان اقدام به تهیه نقشه هم پتانسیل حمل ماسه (RDP) نموده، جهت عمومی جریان ماسه را در ارگ ربع-الخالی، از سمت شمال غرب به جنوب شرق نشان داده است (Fryberger و Letu، ۱۹۷۹).

Ekhtesasi (۲۰۰۴) با بررسی بر روی آمار ۲۰ ساله ایستگاه یزد، جهت باد غالب در دشت یزد- اردکان را غربی تا شمال غربی معرفی و بادهای طوفان‌زا با توان حمل ماسه بالا را عمدتاً شمال غربی مشخص کرد. وی مجموع مقادیر توان حمل ماسه (DPT) سالانه ایستگاه یزد را ۸۲/۵ برآورد نمود و بیان

مساحت کشور را مناطق خشک و فراخشک فرا گرفته که از این میان ۴۳۳ هزار کیلومتر مربع را بیابان‌ها شکل داده (FRWMO، ۲۰۰۵) و ماسه‌زارها در حدود ۱۳۰ هزار کیلومتر مربع از حوضه بیابانی کشور را در بر گرفته که بیش از ۵۰ هزار کیلومتر مربع آن شامل تپه‌های ماسه‌ای فعال و نیمه‌فعال است (Ahmadi، ۱۹۹۸). در این عرصه به دلیل شرایط مختلف، از جمله خاک نارس و تراکم محدود پوشش گیاهی، زمینه برای وقوع فرسایش بادی بسیار مناسب است. از سویی، وقوع این پدیده زمینه‌ساز مسائل و مشکلات عدیده‌ای از جمله کاهش استعداد باروری اراضی، کاهش تولیدات کشاورزی، افزایش تلفات منابع آب و خاک و کاهش کمی و کیفی منابع مرتعی است. همچنین، با توجه به رشد فزاینده جمعیت و افزایش شدت بهره‌برداری از اراضی و منابع، لزوم پرداختن به جنبه‌های مختلف این مسئله به‌ویژه منشایابی فرسایش ضروری به نظر می‌رسد. لذا، هدف از این پژوهش کاربرد نرم‌افزارهای تحلیل باد در شناسایی کانون‌های فرسایش بادی و تعیین جهت حرکت ماسه‌های روان می‌باشد که به صورت موردی به دلیل نزدیکی به مراکز جمعیتی و صنعتی و راه‌های مواصلاتی دشت خضرآباد مورد بررسی قرار گرفت. در این دشت پدیده طوفان‌های گرد و غبار به عنوان یک معضل جدی در طی سال و به‌طور دائم روی می‌دهد که زیر ساخت‌های صنعتی، کشاورزی و مسکونی را تحت تاثیر قرار می‌دهند.

نمودارهای گلباد، گل طوفان و گلماسه یک روش آسان، سریع و با دقت بالا برای تعیین فرسایش بادی می‌باشند (Jeffrey و Zobeck، ۲۰۰۲). فراوانی، مقدار و جهت بادهای عامل اصلی حرکت ماسه‌ها می‌باشند (Al-Awadhi، ۲۰۰۵)، بررسی سمت و سرعت باد در هر منطقه در یک بازه زمانی مشخص در نهایت به رسم نمودار گلباد می‌انجامد. گلباد نمایه‌ای است که باد را در سرعت‌های معینی دسته‌بندی کرده و بر اساس فراوانی جهت وزش و سمت و سرعت شکل می‌گیرد.

¹ Strom Rose Graph

² Drift Potential

مطالعاتی را بر روی نقش رژیم بادی در میزان دبی و جهت انتقال رسوبات تپه‌های ماسه‌ای به انجام رساندند که در نتایج حاصله اشاره به توان و جهت حمل ماسه، میزان قدرت فرسایشی و جهت باد شده است.

Poormand و همکاران (۲۰۱۵) اقدام به بررسی توان جابه جایی ماسه به وسیله باد در دشت شيله سيستان کرد. در این پژوهش نیز با ترسیم گلباد و گلماسه حجم و جهت انتقال رسوبات مورد بررسی قرار گرفت. پتانسیل حمل ۳۴۳۹ واحد برداری و جهت نهایی حمل، جنوب شرقی و از نظر قدرت فرسایشی در کلاس زیاد طبقه‌بندی شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: دشت خضراآباد با وسعتی معادل ۷۸۲ کیلومتر مربع در ۱۰ کیلومتری غرب شهر یزد در موقعیت جغرافیایی ۵۵° ۵۳' الی ۲۰° ۵۴' طول شرقی و ۴۵° ۳۱' الی ۱۵° ۳۲' عرض شمالی قرار گرفته، ارتفاع متوسط منطقه ۱۳۹۷ متر و ۸۴/۷۹ درصد منطقه (۶۶۳ کیلومتر مربع) شبیه کمتر از ۱۰ درصد دارد. بنابراین، قسمت اعظم منطقه را اراضی پست با شیب متوسط ۹/۴۱ درصد تشکیل می‌دهد. از نظر اقلیمی بر مبنای اقلیم‌نمای آمبرژه اقلیم منطقه مورد مطالعه در شرایط خشک و سرد بیابانی طبقه‌بندی می‌شود (شکل ۱). متوسط بارندگی سالیانه ۱۲۱ میلی‌متر و جهت باد غالب غربی با فراوانی وقوع ۱۶/۹۴ درصد و با بیشینه سرعت ۱۶/۳ کیلومتر در ساعت می‌باشد. حدود ۱۳۰ کیلومتر مربع (۱۶/۵ درصد) از اراضی منطقه را تپه‌ها و پهنه‌های ماسه‌ای شکل داده است. ارگ بزرگ اشکدر با وسعتی معادل ۸۹ کیلومتر مربع در شمال منطقه با انواع رخساره‌های تخریبی و فرسایشی به چشم می‌خورد که قلمرو وقوع طوفان‌های ماسه‌ای با فراوانی بیش از ۱۰ تکرار در سال با جهت غالب غربی و شمال غربی می‌باشد. سالانه در حدود ۱۲۰ تن گرد و غبار بر شهر یزد فرو می‌ریزند (Sadeghi Ravesh, ۲۰۰۸). بر مبنای مطالعات صورت گرفته در قالب شناسایی کانون‌های بحرانی فرسایش بادی، مساحت اراضی تحت فرسایش بادی در منطقه مطالعاتی ۳۱۱۰۳ هکتار است، از این

کرد که پرتوان‌ترین بادهای دشت یزد در بهار و زمستان می‌وزد و فصول پاییز و تابستان از آرامش بیشتری برخوردارند.

Fawzia و همکاران (۲۰۰۱) مطالعه‌ای بر روی پتانسیل حمل ماسه در منطقه ال‌خانکا، مصر انجام دادند. نتایج حاصله نشان داد که مقدار پتانسیل حمل در منطقه ۱۴۰۰ واحد برداری است و از نظر قدرت فرسایشی در طبقه شدید است و بیشترین توان حمل ماسه در ماه‌های اسفند و فروردین می‌باشد. این نتایج نشان داد که جهت حمل نیز متفاوت بوده به گونه‌ای که از دی تا خرداد جهت شمال غربی و تیر و مرداد، شمال و شمال شرقی و از شهریور تا آذر ماه جهت جنوب غربی است.

Wang و همکاران (۲۰۰۲) در مطالعاتی که بر روی ژئومورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای با استفاده از داده‌های بادسنجی در شمال شرقی دشت تا کلامکان انجام داد با استفاده از شاخص همگنی به شناسایی نوع بادهای موثر بر شکل‌گیری تپه‌های ماسه‌ای و مورفولوژی آن‌ها پرداخت و نتیجه گرفت که تپه‌های ماسه‌ای با مورفولوژی خاص می‌توانند بر اساس زاویه جهت بادهای تشکیل شوند.

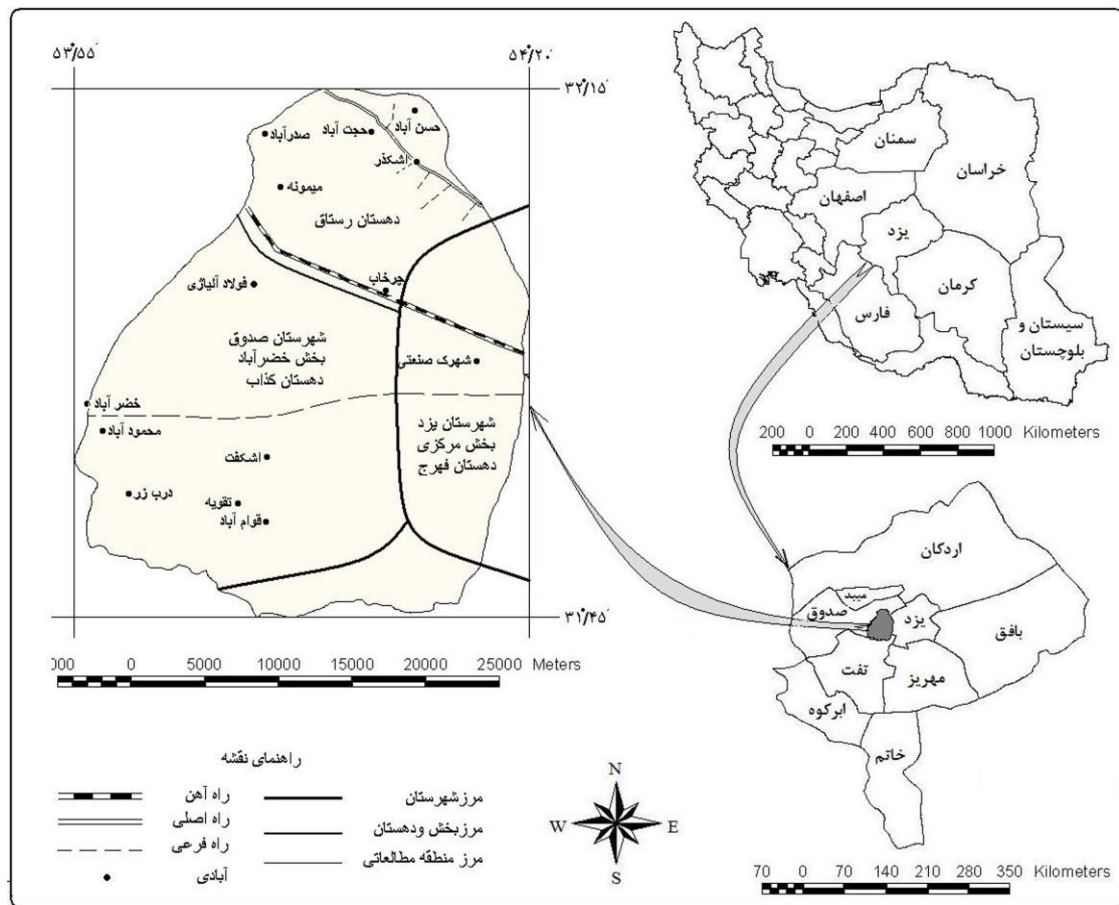
Tsoar (۲۰۰۵) در مطالعه‌ای تحت عنوان پایداری و حرکت تپه‌های ماسه‌ای در رابطه با آب و هوا، میزان انرژی باد و نوع رژیم بادی را مهمترین عامل در فعالیت و پایداری تپه‌های ماسه‌ای معرفی می‌کند. وی خصوصیات از جمله سرعت و فراوانی باد بیش از آستانه فرسایش و تغییرپذیری جهات باد را در اثر فرسایشی باد موثر می‌داند.

همچنین، Al-Awadhi و همکاران (۲۰۰۵)، به بررسی پتانسیل حمل ماسه (ترسیم گلماسه) در صحرای کویت پرداختند و برای این منظور از داده‌های هواشناسی هشت ایستگاه در دوره‌های آماری دو تا پنج سال استفاده کردند که در نهایت با محاسبه مقادیر توان حمل ماسه در ایستگاه‌های مختلف اقدام به تهیه نقشه توان حمل ماسه به صورت سالانه و فصلی نمودند.

در سبزوآر Ahmadi و Mesbahzadeh (۲۰۱۰)، جاسک Ahmadi و Mesbahzadeh (۲۰۱۱) و دشت یزد-اردکان Ahmadi و Mesbahzadeh (۲۰۱۲)

Jihad- Agriculture Organization of Yazd)
 province, ۲۰۰۶) به طور کلی فرسایش بادی نزدیک
 به ۷۰ درصد منطقه را تهدید می کند که عمدتاً شامل
 تپه های ماسه ای، اراضی رسی و اراضی کشاورزی
 می باشد (Sadeghi Ravesh, ۲۰۱۴). مجموع این
 ویژگی ها بیانگر غلبه کامل عملکرد فرسایش بادی در
 منطقه و لزوم شناخت و تحلیل عملکرد باد است.

میان، ۲۲۲۸۹ هکتار جزء مناطق برداشت با شدت
 زیاد (O₁) و متوسط (O₂) و ۸۸۱۴ هکتار جزء مناطق
 ترسیب نیمه فعال (S₂) می باشد که سالانه خسارتی
 معادل ۲۳۰۰ میلیون ریال به منابع زیستی و اقتصادی
 وارد می کند. از این میان، ۶۰۰ میلیون ریال به اماکن
 مسکونی، ۵۰۰ میلیون ریال به تاسیسات زیربنایی،
 ۱۰۰۰ میلیون ریال به بخش کشاورزی و ۲۰۰ میلیون
 ریال به راه های مواصلاتی خسارت وارد می شود



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه خضرآباد

۷.۷ استفاده شد. با توجه به این که این نرم افزار برای
 محاسبه و ترسیم گلیاد از فرمت های عمومی Lakes,
 SCRAM و Cd-144 استفاده می کند به منظور انجام
 فرایند تبدیل داده های بادنمایی سازمان هواشناسی
 کشور (SCDATA) به فرمت های مذکور از نرم افزار
 WDconvert استفاده شد. در عین حال سعی شد
 به منظور دستیابی به دقت بالاتر و ضریب اطمینان
 بیشتر داده های بادنمایی سازمان هواشناسی کشور به
 فرمت Lakes تبدیل شده و سپس به منظور تجزیه و

روش تحقیق: در این پژوهش از داده های ۱۵ ساله
 (۲۰۰۱-۲۰۱۵) بادنمایی ایستگاه سینوپتیک یزد با
 فرمت مرکز پردازش داده های سازمان هواشناسی
 کشور (IRIMO) که تنها ایستگاه سینوپتیک منطقه
 مطالعاتی می باشد، استفاده شد. و به منظور تجزیه و
 تحلیل داده های بادنمایی از نرم افزار WRplot^۲ View

¹ Islamic Republic of Iran Meteorological Organization (IRIMO)

² Wind rose plot View

پایه بیشتر را نیز برای کاربر فراهم ساخته است. به‌منظور دستیابی و تحلیل بادهای فرساینده به‌جای سرعت پایه از سرعت آستانه فرسایش بادی استفاده می‌شود و نمودار گل‌طوفان ترسیم می‌شود (Ekhtesasi, ۲۰۰۴).

سرعت آستانه فرسایش عبارتست از آستانه توان حمل ذرات به‌وسیله باد یا به‌عبارتی سرعتی که ذرات خاک شروع به حرکت می‌کنند، تحت عنوان سرعت آستانه فرسایش نام می‌گیرد که در هر منطقه با توجه به سرعت باد، قطر ذرات، شکل ذرات، درشتی خاک‌دانه‌ها، جنس سازند، مورفولوژی زمین، میزان رطوبت، خشکی خاک و غیره، سرعت‌های مختلف آستانه فرسایش متناسب با هر رخساره ژئومورفولوژی قابل محاسبه است. جدول ۱، سرعت آستانه فرسایش در رخساره‌های مورفولوژی مختلف منطقه مطالعاتی که بخش از دشت بزرگ یزد- اردکان است را به‌روش تونل باد یا دستگاه سنجش فرسایش بادی ارائه می‌کند (Ekhtesasi و همکاران، ۲۰۰۶).

تحلیل داده‌ها و ترسیم نمودار گلباد، فایل داده‌ها با فرمت Lakes در نرم‌افزار WRplot View مورد استفاده قرار گیرد. لازم به اشاره است که از مزیت‌های این فرمت جلوگیری از حذف ناخواسته اطلاعات مربوط به داده‌های هواشناسی می‌باشد و در نتیجه بر خلاف قالب‌های SCRAM و Cd-144 مقادیر سمت و سرعت باد در آن به‌طور کامل ثبت می‌شود، در صورتی‌که در فرمت‌های SCRAM و CD-144 اطلاعات ثبت شده به‌صورت ناقص بوده، به‌خصوص مقادیر سمت باد در آن‌ها از دقت چندانی برخوردار نیستند و تنها به ارائه رقم‌های دهگان و صدگان جهت باد اکتفا می‌شود (Ekhtesasi و همکاران، ۲۰۰۵).

در نرم‌افزار WRplot View سرعت پایه اولین طبقه باد به‌صورت پیش فرض ۱ knot (۰/۵۱۴۴۴ متر بر ثانیه) می‌باشد. بادهای با سرعت کمتر از این سرعت پایه تحت عنوان باد آرام نام می‌گیرند. یکی از قابلیت‌های موثر نرم‌افزار WRplot View این است که امکان تغییر سرعت پایه و رسم گلبادهایی با سرعت

جدول ۱- برآورد سرعت آستانه فرسایش بادی رخساره‌های مختلف ژئومورفولوژی دشت یزد- اردکان

نوع رخساره	سرعت آستانه فرسایش (MS^{-1}) در ارتفاع ۱۰ متری
دشت سر لخت با رگ درشت	>۱۶
دشت سر آپانداژ با رگ متوسط	۱۲
دشت سر آپانداژ با رگ ریز	۱۰
دشت سر پوشیده	۸
تپه‌های ماسه‌ای لخت و اراضی زراعی	۶/۵

به هدف مطالعاتی شکل گرفت. سپس نقشه‌های موضوعی، هیدرولوژی، لیتولوژی، تیپ خاک و رخساره‌های مورفولوژی نیز از مرزبندی و آماربرداری عکس‌های هوایی ۱/۲۵۰۰۰ و تصاویر ETM سال ۲۰۰۲ (Lillesand و Kiefer, ۲۰۰۰) و اطلاعات رقومی موجود در قالب نقشه و آمار و گزارش‌های سازمان‌ها و ادارات، در مقیاس ۱/۵۰۰۰۰ شکل گرفتند. در ادامه، به‌منظور تهیه نقشه ژئومورفولوژی، اقدام به روی هم‌پوشانی و تلفیق زوجی نقشه‌های موضوعی به‌عنوان لایه‌های اطلاعاتی در محیط Arc

در پژوهش حاضر، به‌منظور تحلیل مناطق مستعد فرسایش و باد بردگی در منطقه مطالعاتی ابتدا لایه ژئومورفولوژی تشکیل شد. به‌منظور تهیه این لایه مدل رقومی ارتفاعی^۱ از داده‌های ارتفاعی نقشه‌های رقومی ۱/۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور، در مقیاس ۱/۵۰۰۰۰ تهیه شد. در ادامه بر مبنای نقشه DEM حاصل شده در محیط Arc view، نقشه‌های منحنی میزان، هیپسومتریک، شیب، جهات جغرافیایی با توجه

^۱ Digital Elevation Model (DEM)

Lettau, ۱۹۷۹؛ Tosar و Blumberg, ۲۰۰۲؛ Prace و Walker, ۲۰۰۵).

$$RDP = \sqrt{(C^2 + D^2)} \quad (۲)$$

$$C = \sum_{i=1}^{8or16} (DP_i) \sin \theta_i \quad (۳)$$

$$D = \sum_{i=1}^{8or16} (DP_i) \cos \theta_i \quad (۴)$$

$$RDD = \text{Arc tan}(C/D) \quad (۵)$$

$$UDI = RDP/DP_t \quad (۶)$$

با توجه به این که در روش مورد نظر، نیاز به حجم بسیار بالایی از محاسبات می باشد و انجام دستی آن بسیار پیچیده و وقت گیر است، از نرم افزار گلماسه نما^۷ استفاده می شود. اساس محاسبه و ترسیم گلماسه در این نرم افزار معادله پیشنهادی فرای برگر و لتو می باشد. این نرم افزار علاوه بر ترسیم گلماسه^۸ امکان تحلیل آماری داده های بادسنجی را فراهم می کند (Ekhtesasi, ۲۰۰۴).

از ویژگی های عمده نرم افزار تهیه شده انعطاف پذیر بودن آن در خصوص سرعت آستانه فرسایش بادی می باشد، به گونه ای که به وسیله آن به راحتی می توان برای هر رخساره ژئومورفولوژی و بر اساس سرعت آستانه فرسایش بادی تعیین شده در آن رخساره، گلماسه مورد نظر را ترسیم کرد. علاوه بر این، به کمک گلماسه و حتی گل طوفان می توان به وجود اراضی حساس به فرسایش در محدوده مطالعاتی پی برد. به این معنی که در صورتی که اراضی حساس به فرسایش وجود نداشته باشد، گل طوفان و گلماسه شکل نخواهند گرفت و در عمل بازوها حذف خواهند شد.

نتایج و بحث

با تجزیه و تحلیل داده های بادسنجی ایستگاه سینوپتیک یزد و ترسیم نمودار گلباد مشاهده می شود که در حدود ۱۸/۷۷ درصد از دیدبانی های سه ساعته ایستگاه از شرایط آرام برخوردار بوده، در بقیه اوقات شرایط بادناکی در منطقه حاکم بوده است. در عین

Viwe شد و در انتها با تلفیق^۱ و خلاصه سازی^۲ داده ها نقشه تلفیقی ژئومورفولوژی حاصل شد (Ghohroudi و Tali, ۲۰۰۴) (شکل ۲).

پس از تهیه نقشه ژئومورفولوژی منطقه مطالعاتی با در نظر گرفتن سرعت پایه معادل سرعت آستانه فرسایش در هر رخساره، گلبادهایی که بیانگر سرعت و جهت بادهای فرساینده می باشند شکل گرفت (شکل ۴). این گلبادها که تحت عنوان گل طوفان می باشند، در واقع نمایش دهنده ارتباط سرعت فضایی باد با اراضی در معرض باد بردگی است و قابلیت نمایش طوفان خیزی اراضی (ایجاد طوفان گرد و غبار) را در هر رخساره مورفولوژی دارند.

در ادامه، به منظور تجزیه و تحلیل آماری باد در تعیین پنانسیل و جهت حمل ماسه اقدام به ترسیم نمودار گلماسه به روش فرایبرگر (Fryberger و Lettau, ۱۹۷۹) از رابطه (۱) در هر رخساره شد.

$$DP_{i=1}^{8or16} = V_*^2 (V_* - V_{*f}) T \quad (۱)$$

که در آن، DP مقدار توان حمل رسوب در جهات مختلف هشت یا ۱۶ گانه، V_* سرعت های باد بیش از سرعت آستانه فرسایش در ارتفاع ۱۰ متری (knot)، V_{*f} سرعت آستانه فرسایش (knot) است.

در این روش، ابتدا به منظور یکسان سازی توان فرسایشی بادهای آن دسته از سرعت هایی که بیشتر از سرعت آستانه فرسایش خاک است، به واحدهای برداری به نام "توان حمل ماسه (DP^3)" در جهات مختلف جغرافیایی تبدیل می شود. سپس با جمع برداری بازوهای گلماسه، بردار "برآیند توان حمل ماسه" (RDP^4) شکل می گیرد (روابط ۲، ۳ و ۴) که مقدار نسبی و "جهت نهایی حمل ماسه" (RDD) را در منطقه یا رخساره ژئومورفولوژی مورد نظر نشان می دهد (رابطه ۵) و از نسبت توان حمل ماسه به کل توان حمل ماسه، شاخص همگنی جهت حمل ماسه^۶ (UDI) برآورد می شود (رابطه ۶) (Fryberger و

¹ Union

² Dissolve

³ Drift Potential

⁴ Resultant Drift Potential

⁵ Resultant Drift Direction

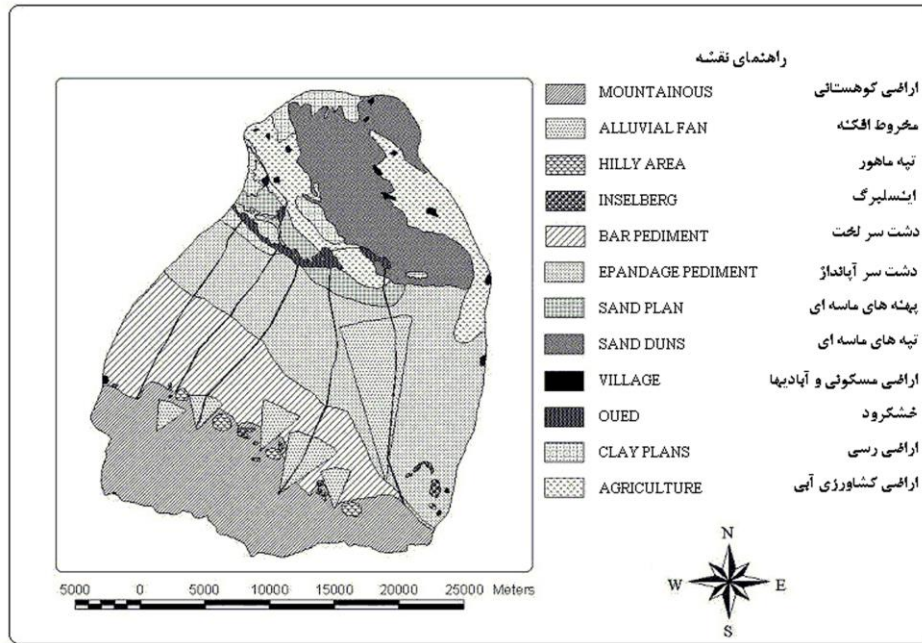
⁶ Uni Directional Index

⁷ Sandrose Graph

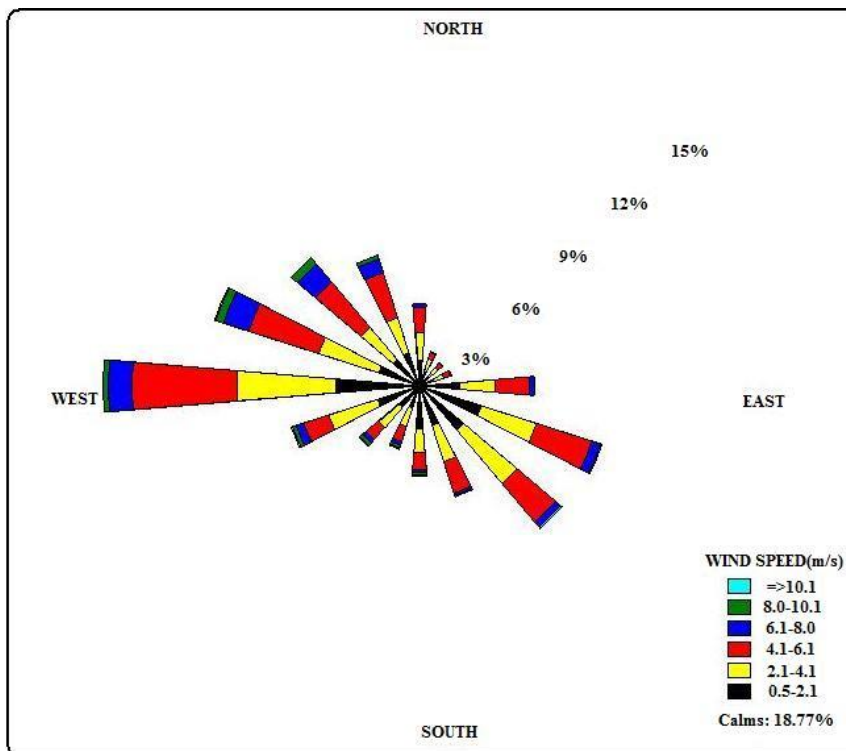
⁸ SandRose

شرقی (SE) با فراوانی ۷/۵ درصد قرار دارد. به‌طور کلی بادهای قطاع غربی-شمال غربی بیشترین فراوانی وقوع را داشته (۲۱/۵ درصد) و بادهای قطاع جنوب شرقی با فراوانی وقوع ۱۵/۲ درصد در رتبه بعدی قرار دارند (شکل ۳).

حال، مشاهده می‌شود که باد غالب، غربی (W) با فراوانی وقوع ۱۲/۸ درصد است و باد غرب-شمال غرب (WNW) با فراوانی وقوع ۸/۷ درصد در رتبه بعدی قرار دارد و در مرحله بعد باد شرق-جنوب شرقی (ESE) با فراوانی وقوع ۷/۷ درصد و باد جنوب



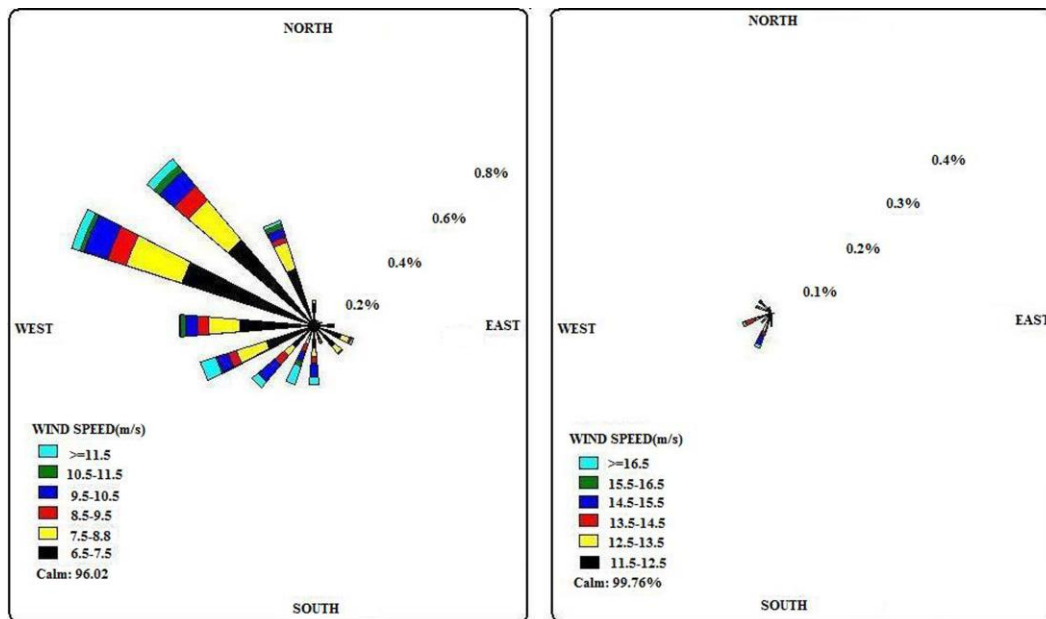
شکل ۲- نقشه ژئومورفولوژی دشت خضراآباد



شکل ۳- گلباد ایستگاه سینوپتیک یزد طی سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۰۱

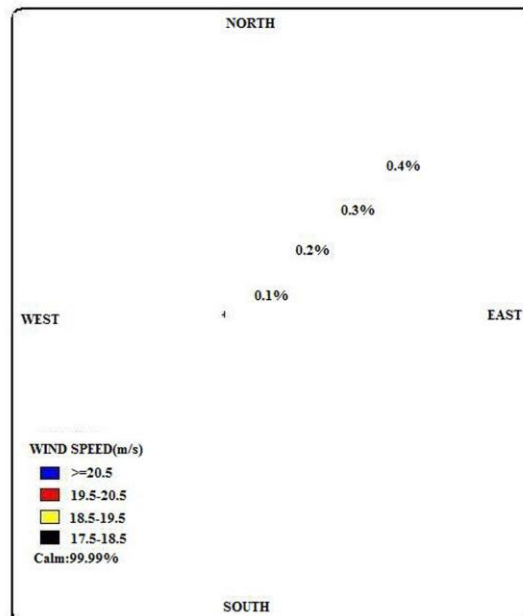
غربی دارد، ولی نمی‌توان مهمترین بادهای عامل فرسایش خاک و انتقال ماسه را در این جهت دانست. به‌منظور تحلیل داده‌های بادسنجی با لحاظ سرعت آستانه فرسایش، از آنجا که سرعت آستانه در هر رخساره مورفولوژی، متفاوت است، به‌منظور تحلیل مناطق مستعد فرسایش و بادبردگی در منطقه مطالعاتی مطابق ادبیات تحقیق لایه ژئومورفولوژی ترسیم شد. سپس، مطابق جدول ۱ متناسب با هر رخساره مورفولوژی، گل‌طوفانی شکل گرفت (شکل ۴).

بررسی‌های اخیر نشان می‌دهد که در تحلیل داده‌های بادسنجی به‌منظور مطالعات فرسایش بادی صرفاً نمی‌توان به فراوانی، سمت و سرعت باد و در حقیقت رسم گلبادها اکتفا نمود، بلکه دخالت دادن خصوصیات فیزیکی خاک، از جمله سرعت آستانه فرسایش‌پذیری خاک نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. در این رابطه در تحلیل داده‌های بادسنجی از روی نمودار گلباد ایستگاه یزد (شکل ۲) هر چند باد غالب جهت



A : دشت سر پوشیده (سرعت آستانه ۶/۵ m/s)

B : دشت سر آبداز (سرعت آستانه ۱۲ m/s)



C : دشت سر لخت (سرعت آستانه ۱۶ m/s)

شکل ۴ - گل‌طوفان ایستگاه سینوپتیک یزد طی سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۰۱

مطابق شکل ۵-الف، ملاحظه می‌شود که مقدار بردار برآیند توان حمل ماسه (RDP) بر اساس سرعت آستانه فرسایش ۶/۵ متر بر ثانیه در حدود ۳۷/۶۴ واحد برداری است که نسبت به شمال جغرافیایی زاویه‌ای معادل ۷۳ درجه را تشکیل می‌دهد. به عبارت دیگر، جهت بردار منتجه (RDD) از جنوب غرب به سمت شمال شرق است که با جهت حرکت تپه‌های ماسه‌ای منطقه مورد مطالعه منطبق است.

دبی خالص جریان ماسه (TSF) واحد عرض در واحد طول، ۱۱۱۰۳ کیلوگرم بر متر در سال و مجموع ماسه جابه‌جا شده (DSF)، ۶۳۴۷ کیلوگرم بوده است. همچنین، شاخص همگنی جهت حمل ماسه (UDI) به‌طور فصلی و سالیانه، ۰/۵۷ برآورد شد که بیانگر بادهای دو طرفه با زاویه منفرجه می‌باشد (جدول ۳).

همانگونه که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، با افزایش سرعت آستانه فرسایش، طول بازوها کوچک شده به‌صورتی که عملاً در رخساره‌های دشت سر لخت (شکل ۵-ب) و دشت سر آپانداژ (شکل ۵-ج) با رگ متوسط و درشت طول بازوها به صفر نزدیک شده و به دلیل عدم شکل‌گیری بازو (عدم وجود DP) امکان محاسبه و ترسیم گلماسه فراهم نشد.

نتیجه‌گیری

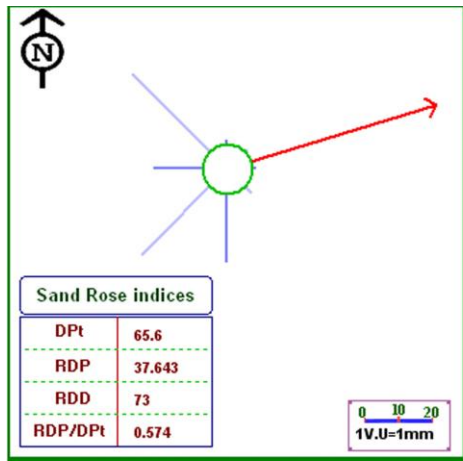
از آنجا که وقوع طوفان‌های گرد و خاک و حرکت ماسه‌های روان هر ساله خسارات فراوانی بر بدنه منابع اقتصادی و تأسیسات زیربنایی مناطق در معرض فرسایش بادی کشور وارد می‌سازد، لذا، ضروری است تا با شناسایی اراضی حساس به فرسایش و عامل فرساینده آن، توان یا پتانسیل این اراضی از نظر حمل ماسه و ایجاد طوفان‌های گرد و خاک مورد بررسی قرار گیرد تا ضمن شناسایی و مکان‌یابی اراضی حساس و پهنه‌بندی آن‌ها در کلاس‌های خطر مناسب، نسبت به انجام عملیات کنترلی با رعایت اولویت اراضی حساس‌تر اقدام شود.

در شکل ۴، گل‌طوفان‌های مربوط به سه رخساره اراضی دشت سر لخت، دشت سر آپانداژ و دشت سر پوشیده شامل تپه‌ها و پهنه‌های ماسه‌ای، اراضی رسی، خشک‌رودها و اراضی کشاورزی مناطق پست شمالی نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، گل‌طوفان شکل گرفته در رخساره دشت سر پوشیده (شکل ۴-الف)، با سرعت آستانه فرسایش بادی ۶/۵ متر بر ثانیه، دارای بازوهای بلندتری بوده و بنابراین، مستعدترین رخساره برای ایجاد طوفان گرد و خاک بوده و به‌عبارتی کانون‌های برداشت گرد و غبار را شکل می‌دهند. این اراضی واجد خاک‌های ریزدانه، منفصل و بدون پوشش و لخت هستند یا اراضی زراعی تحت آیش یا مخروطه^۱ را شامل می‌شوند.

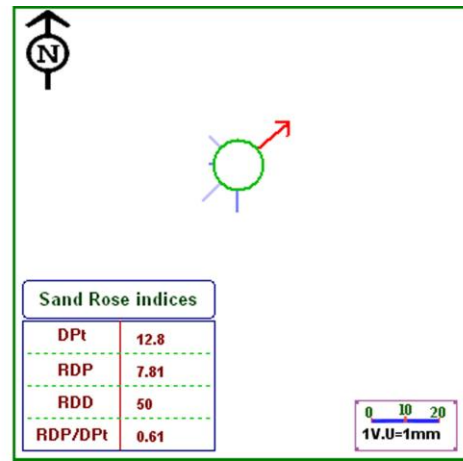
این در حالی است که در دشت سر آپانداژ (شکل ۴-ب) و دشت سر لخت (شکل ۴-ج) اصولاً گل‌طوفان شکل نگرفته یا به‌عبارتی گل‌طوفان به‌دست آمده فاقد بازوهای مشخص است. همچنین، از شکل ۴ می‌توان نتیجه گرفت که مناطق با سرعت آستانه فرسایشی کمتر، دارای بیشترین زمان وقوع طوفان گرد و غبار می‌باشد و بالعکس برای مثال در تپه‌های ماسه‌ای (دشت سر پوشیده) با سرعت آستانه ۶/۵ متر بر ثانیه وقوع طوفان گرد و غبار از چهار درصد تجاوز نمی‌کند ولی در رخساره‌های دشت سر لخت با سرعت آستانه ۱۶ متر بر ثانیه به ۰/۱ درصد می‌رسد.

شکل ۵، نمایشگر نتایج حاصل از محاسبات داده‌های بادسنجی ایستگاه یزد به‌منظور برآورد توان حمل ماسه در جهات مختلف (DP) و مجموع مقادیر توان حمل ماسه در تمام جهات در سال (DP_T) در رخساره‌های مختلف است (جدول ۲). در جدول ۲ ملاحظه می‌شود که در سرعت آستانه ۶/۵ متر بر ثانیه، پرتوان‌ترین بادهای دشت خضرآباد در بهار و زمستان می‌وزد و فصول پاییز و تابستان از آرامش بیشتری برخوردارند.

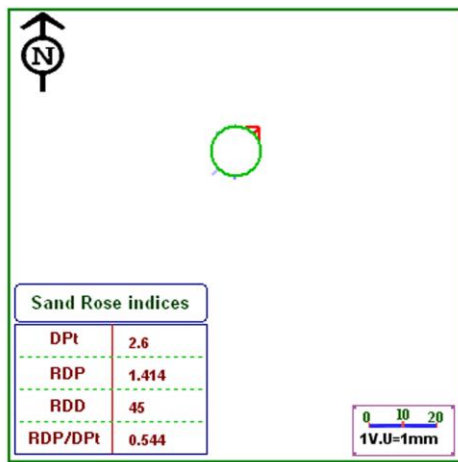
^۱ ۲۸ درصد اراضی زراعی مناطق پست شمالی معادل ۱۹۶۴ هکتار مخروطه است، همچنین، ۳۰ تا ۵۰ درصد اراضی کشاورزی سالانه به دلایل مختلف از جمله کم آبی به زیر کشت نرفته و به‌صورت آیش باقی می‌ماند.



A : دشت سر پوشیده (سرعت آستانه ۶/۵ m/s)



B : دشت سر آپانداژ (سرعت آستانه ۱۲ m/s)



C : دشت سر لخت (سرعت آستانه ۱۶ m/s)

شکل ۵- گلماسه ایستگاه سینوپتیک یزد طی سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۰۱

جدول ۲- توزیع مقادیر توان حمل ماسه در جهات مختلف در فصول سال ایستگاه یزد (سرعت آستانه فرسایش ۶/۵ متر بر ثانیه)

سال	زمستان	پاییز	تابستان	بهار	
۰/۸	۰/۱	۰/۱	۰/۳	۰/۳	N
۰/۳	۰/۲	۰	۰	۰/۱	NE
۰/۳	۰/۲	۰	۰/۱	۰/۱	E
۱/۷	۰/۸	۰/۲	۰/۳	۰/۳	SE
۱۳/۱	۳/۹	۱/۳	۰/۲	۷/۷	S
۱۸/۶	۱۳/۶	۰/۸	۰/۱	۴	SW
۹/۴	۲/۹	۰/۷	۰/۹	۵	W
۲۱/۳	۴/۹	۱/۶	۲/۲	۱۲/۵	NW
۶۵/۶	۲۶/۵	۴/۷	۱/۴	۳۰	جمع سالانه

۷.۱ واحد برداری توان حمل ماسه

جدول ۳- تغییرپذیری جهت باد UDI

طبقه‌بندی جهات باد	تغییر پذیری جهت باد	UDI=RDP/DPT
بادهای یک جهته	کم	$> 0/8$
بادهای دو جهته با زاویه منفرجه	متوسط	$0/3 - 0/8$
بادهای چند جهته مرکب با زاویه تند	زیاد	$< 0/3$

Dean و Fryberger (۱۹۷۹)

حاصل از این پژوهش‌ها همانند نتایج حاصل از پژوهش حاضر، منشاء فرسایش بادی را اراضی پست ماسه‌ای، رسی و اراضی کشاورزی در شمال غربی منطقه مطالعاتی می‌داند (Sadeghi Ravesh, ۲۰۱۴؛ Sadeghi Ravesh و Khosravi, ۲۰۱۴).

نتایج حاصل از نمودار گلماسه نشان داد جهت نهایی حمل ماسه، شمال غربی و در جهت استقرار مراکز جمعیتی و صنعتی و راه‌های مواصلاتی می‌باشد که در فصول بهار و زمستان از بیشترین توان برخوردارند.

نتایج این تحقیق از آنجا حائز اهمیت است که شهر یزد به‌عنوان مرکز سیاسی اداری و جمعیتی استان در فاصله ۱۰ کیلومتری غرب این منطقه واقع شده که سالانه ۲۰ هزار مترمکعب غبار (ذرات کوچک‌تر از ۱۰۰ میکرون) بر روی آن فرو می‌ریزد و جاده ارکان یزد در شمال منطقه مطالعاتی همواره در معرض تهدید و پیشروی تپه‌های ماسه‌ای است و همچنین، بسیاری از واحدهای صنعتی و تولیدی در این محدوده قرار گرفته‌اند که اهمیت این پژوهش را دو چندان می‌کنند (جدول ۴).

با تحلیل نمودار گلباد و گل‌طوفان مشاهده می‌شود باد غالب، غربی (W) با فراوانی وقوع ۱۲/۸ درصد و باد غالب فرساینده جهت غرب-شمال غرب (WNW) و پس از آن از جهت شمال غرب (NW) به‌ترتیب با فراوانی وقوع ۸/۴ و ۷/۲ می‌باشد. بنابراین، غرب و شمال غرب کانون‌های برداشت گرد و غبار به شمار می‌روند. اراضی این مناطق نیز شامل اراضی رسی، تپه‌ها و پهنه‌های ماسه‌ای، واجد خاک‌های ریزدانه، منفصل و بدون پوشش و لخت هستند یا اراضی زراعی تحت آیش یا مخروطه را شامل می‌شوند که مستعدترین رخساره‌ها برای ایجاد طوفان گرد و خاک بوده و به‌عبارتی کانون‌های برداشت گرد و غبار را شکل می‌دهند. در این مناطق که سرعت آستانه فرسایشی کمتر از سایر رخساره‌ها می‌باشد، بیشترین زمان وقوع طوفان گرد و غبار به وقوع می‌پیوندد.

این نتایج با نتایج پژوهش‌های به انجام رسیده در منطقه مطالعاتی به‌وسیله صادقی‌روش، تحت عنوان پهنه‌بندی پتانسیل خطر فرسایش بادی، که بیانگر شدت فرسایش به تفکیک واحدهای مطالعاتی بود، مورد مقایسه قرار گرفت و ملاحظه شد که نتایج

جدول ۴- منابع بالقوه تحت تأثیر فرایند بیابان‌زایی در سه شهرستان در برگیرنده حوضه مطالعاتی

شهرستان	اراضی کشاورزی (h)	جنگل دست‌کاشت (حفاظتی) (ha)	مرتع (ha)	طول راه‌ها (km)	تعداد کارگاه (۱۰ نفر >)	تعداد مراکز مسکونی شهری	تراکم جمعیت (n/km ²)	تراکم آبادی (n/10km ²)
صندوق	۹۶۶۴	۹۸۸	۴۶۰۰۰۰	۶۶	۱۰	۳	۵	۰/۵۵
میبد	۱۰۴۰۶	۸۰۰	۸۰۰۰۰	۳۰	۳۵	۱	۵۰/۷	۱/۰۶
یزد	۱۲۸۲۰	۰	۶۰۰۰۰	۸۸	۲۵۴	۴	۱۸۴/۷	۰/۷۵

Management and planning organization, ۲۰۰۴; Jihad- Agriculture Organization of Yazd province

لذا، نتایج علمی این تحقیق می‌تواند به‌عنوان راهنمایی در طرح‌های کنترل فرسایش بادی و احداث بادشکن

از آنجا که نتایج این پژوهش بیانگر زمان و جهت حرکت بادهای فرسایشی در فصول مختلف می‌باشد،

در جهت عمود بر حرکت ماسه‌ها و در افزایش ضریب دقت طرح‌های بیابان‌زدایی موثر باشد.

منابع مورد استفاده

- Ahmadi, H. 1998. Applied geomorphology. Tehran University press, 620 pages (in Persian).
- Ahmadi, H. and T. Mesbahzadeh. 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).
- Ahmadi, H. and T. Mesbahzadeh. 2011. Comparison of sand potential estimating, using momentum method and Fryberger velocity classes method, case study: Jask and Kerman. Journal of Water and Soil, 25(1): 11-18 (in Persian).
- Al-Awadhi, J.M. 2005. Sand drift potential in the desert of Kuwait. Journal of Arid Environment, 63(2): 425-438.
- Dong, Z., X. Wang and L. Liu. 2000. Wind erosion in arid and semi-arid China: an overview. Journal of Soil and Water Conservation, 55(2): 439-444.
- Ekhtesasi, M.R. 2004. Morphometric study of wind erosion and morpho-dynamic faces Yazd-Ardekan and determine the process for the use in models to access desertification. PhD Thesis, Tehran University, 185 pages.
- Ekhtesasi, M.R., H. Ahmadi, A. Khalili, M.A. Saremi Naini and M.R. Rajabi. 2006. An application of wind rose, strom 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: 531-541 (in Persian).
- Fawzai, I., F. Moursy, E.I. Gaber and M. Samak. 2001. Sand drift potential in El-Khanka area. Air and Soil Pollution, 136: 225-242.
- Forest, Range and Watershed Management Organization (FRWMO). 2005. National program for desert land management of Iran. Deputy State of Rangeland and Soil, Office of Desertification and Sand Fixation, 112 pages (in Persian).
- Fryberger, S.G. and G. Dean. 1979. Dune forms and wide regimes. In E.D. Mckee. (ed.), A Study of Global Sand Seas, 145-169, United States Geological Survey, Professional Paper 1052.
- Fryberger, S.G. and H. Lettau. 1979. Dune forms and wind regimes. In E.D. Mckee. (ed), A study of Global Sand Seas, 137-140, United States Geological Survey, Professional Paper 1052.
- Ghohroudi Tali, M. 2004. Application of arc view in geomorphology. Tarbiyat Moallem University Press, 160 pages (in Persian).
- Jeffrey, L. and T.M. Zobak. 2002. Climatic factors affecting mobility and stability of sand dunes. Proceedings of CARS/GCTE-SEN Conference, International Center for Arid and Semi-arid Land Studies, Texas, USA, 423-425.
- Jihad, Agriculture Organization of Yazd Province. 2005. Aspect of agriculture in Yazd Province. Yazd, Project and Planning Management Press, 71 pages (in Persian).
- Jihad, Agriculture Organization of Yazd Province. 2006. Studies identifying the wind erosion crisis centers and determine priorities for action in Yazd Province, Sadogh City State, Yazd, Project and Planning Management Press, 175 pages (in Persian).
- Lillesand, T.M. and R.W. Kiefer. 2000. Remote sensing and image interpretation. John Wiley and Sons, 724 pages.
- Management and planning organization. 2004. Integrated researches of Yazd Province. Management and Planning Organization of Yazd Press, 73 pages (in Persian).
- Mesbahzade, T. and H. Ahmadi. 2012. Investigation of sand drift potential, case study: Yazd-Ardekan Plain. Journal of Agricultural Science and Technology, 14: 919-928.
- Pearce, K.I. and I.J. Walker. 2005. Frequency and magnitude biases in the Fryberger Model with the implications for characterizing geomorphically effective winds. Geomorphology, 68: 39-55.
- Poormand, S., A. Golamalizade Ahangar and A. Dehviri. 2015. Sand drift potential by wind in Shileh Plain of Sistan. Journal of Water and Soil, 29(1): 139-150 (in Persian).
- Sadeghi Ravesh, M.H. 2008. Investigation of effective desertification factors on environmental degradation. PhD Thesis, Islamic Azad University, 141 pages (in Persian).
- Sadeghi Ravesh, M.H. 2014. Application of modify numerical taxonomy method in zoning of wind erosion risk potential: case study: Khezrabad Region, Yazd Province. Journal of Soil Research, 28(3): 593-603 (in Persian).
- Sadeghi Ravesh, M.H. and H. Khosravi. 2014. Zonation of wind erosion potential in Khezrabad Region, Yazd Province. Research in Earth Sciences, 5(19): 44- 59 (in Persian).
- Tsoar, H. 2005. Sand dune mobility and stability in relation to climate. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 337: 50-56.

25. Tsoar, H. and D.G. Bllumberg. 2002. Formation of parabolic duns from Barchan and transverse dunes along Israels Mediterranean coast. *Earth Surface Processes and Landforms*, 27: 1147-1161.
26. Wang, X., Z. Dong, J. Zhang and G. Chen. 2002. Geomorphology of sand dunes in the Northeast Taklimakan Desert. *Geomorphology*, 42: 183-195.

Analysis of wind erosion and determination of sand movement direction in Khezrabad region

Mohammadhassan Sadeghi Ravesh^{*1}

¹Assistant Professor, Department of Environment, Takestan Branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran

Received: 24 October 2016

Accepted: 22 May 2017

Abstract

Wind erosion has high potential for damage, especially in arid region due to continuity and extent of erosion in time and space. Therefore, the damage to economic resources is impressive especially soil and vegetation. So, a comprehensive understanding of its formation, function, effects and affected areas is essential. This study was implemented for finding the source of wind erosion and sand movement direction in Khezrabad region, Yazd Province. In this study, Yazd synoptic station anemometer data was analyzed over a period of 15 years (2001-2015) using Sand Rose Graph 3.0, WD convert and Wrplot View. The results of the spatial analysis of data from the anemometer (wind rose) showed that the dominant wind direction of Khezrabad Plain is Western with 18.77 percentage of calm wind with speed less than a knots (0.54 meters per second). The results of the calculation and drawing Storm Rose provided based on wind erosion threshold velocity of 6.5 meters per second showed that erosive winds mainly blow from the West-North West (WNW) and North West (NW) and West winds (W) less frequency. According to Storm Rose drawn, the frequency of calm winds (less than 6.5 m/s) in the region is about 96%. This indicates that erosive wind include only about 4 percent of views. Storm Rose provided based on speed threshold showed that North-West (NW), South-West (SW) winds have the most Drift Potential (DP) respectively. The Resultant Drift Direction (RDD) is around 74 degree (Northeast).

Key words: Sand rose, Software, Storm rose, Wind erosion threshold velocity, Wind rose

* Correspondent author: m.sadeghiravesh@tiau.ac.ir