تحلیل بادهای فرساینده و بررسی توان حمل رسوبات بادی در ریگزارهای استان خوزستان

مهران مقصودی*: *دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکدهٔ جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران*
رقیه نژادحسینی: *دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکدهٔ جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران*
فرزانه غلامی: *دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکدهٔ جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان*

نوع مقاله: پژوهشی
تاریخچهٔ مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱/۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۶/۲۷)

چکیده

فرسایش بادی یکی از مهم‌ترین فرایندهای طبیعی در مناطق خشک و نیمه خشک است. این فرایند در شرایطی رخ می‌دهد که علاوه بر وجود خاک حساس، باد دارای حاکمیت و سرعت قابل توجه باشد. پژوهش حاضر با هدف بررسی پتانسیل فرسایش بادی و توان حمل رسوبات آن در استان خوزستان و براساس داده‌های بادسنجی طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ انجام شد. به این منظور، پنج ایستگاه سینوپتیک دارای داده‌های معتبر انتخاب و گلباد و گلماسه هر یک با نرم‌افزارهای WRplot و Sand Rose Graph ترسیم شد. سپس با استفاده از آنالیز داده‌های باد ایستگاه‌های مجاور ریگزارها و تلفیق آن در محیط ARC GIS، نقشهٔ هم‌بارش، تبخیر و تعرق پتانسیل و درصد سرعت‌های بیش از سرعت آستانه فرسایش در ارتفاع ده متری از سطح زمین تهیه شد و در نهایت، نقشهٔ میزان فعالیت ریگ خوزستان ترسیم شد. نتایج پژوهش حاضر در زمینهٔ توان حمل ماسه و فراوانی بادهای فرساینده نشان داد که غالب بادها در همهٔ ایستگاه‌ها از جهت غربی می‌وزد، اما در ایستگاه امیدیه بادها از سمت شمال غرب جریان دارد. نتایج گلماسه‌های سالانه بیانگر آن است که در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه، بیشترین توان باد در حمل ماسه (DP) مربوط به ایستگاه امیدیه با ۲۲۶/۱۳ واحد برداری و کمترین آن مربوط به ایستگاه رامهرمز با یازده واحد برداری است. جهت بردار برآیند توان حمل ماسه (RDD) در ایستگاه‌های مورد مطالعه نیز نشان می‌دهد که جهت حرکت ماسه‌ها در ایستگاه بستان و رامهرمز به سمت شرق، امیدیه به سمت جنوب شرق، اهواز به سمت شمال شرق و شوش به سمت شمال است. تحلیل جهت حرکت گلماسه‌ها، انطباق کامل حرکت آنها را با گلبادهای ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. همچنین نتایج حاصل از مدل لنکستر نشان داد که بیشتر ریگزارهای خوزستان از نوع کاملاً فعال و فعال است، فقط بخش‌های شمال غرب ریگزار فعالیت کمتری دارد.

واژگان کلیدی: استان خوزستان، بادهای فرساینده، پتانسیل حمل ماسه، گلماسه، شاخص لنکستر.

* نویسندهٔ مسئول: **Maghsoud@ut.ac.ir**

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.1.5]

۱ـ مقدمه

شـــرایط خشـــک، فعالیت‌های انســـانی را محدود می‌کند (Liu et al, 2021)؛ بنابراین، پایداری بین اجزای اکوسیستم در مناطق تخریب شده از بین می‌رود (Yao et al, 2021). مفهوم پایداری با یک اصل اکولوژیکی مرتبط است و بر اساس آن، پایداری در صورتی حفظ می‌شود که بهره‌برداری‌ها متناسب با ظرفیت باشد. علاوه بر این، تداوم پایداری در مناطق خشـــک نیازمند ارزیابی‌هایی مانند عوامل انســـانی، عوامل طبیعی، گیاهان، جانوران و تعاملات بین انسـان و محیط اسـت. بنابراین، ارزیابی و پایش شـاخص‌های اقلیمی مانند باد به عنوان عاملی تأثیرگذار در مناطق خشـــک، در حفظ پایداری نقش مؤثری دارد. از نیمهٔ دوم قرن نوزدهم، فرســـایش بادی به عنوان یکی از گسـترده‌ترین مشـکلات زیسـت محیطی شـناخته شـد (Zhao et al, 2019)؛ به ویژه در مناطقی با آب و هوای فصـلی متفاوت (Zhang et al, 2019) و فعالیت‌های انسـانی، فشـار زیادی بر منابع پایه (آب، خاک و گیاه) وارد می‌کند. فرسـایش بادی به دلیل گسـترهٔ وسـیع فعالیت خود، به طور معمول عملکرد تخریبی خفیف‌تری نسـبت به فرسـایش آبی دارد، ولی تداوم و گسـترهٔ فرسـایندگی در زمان و مکان و بیلان جابه‌جایی توسط این نوع فرسایش در مناطق خشک به مراتب بیش از فرسایش آبی است. در مقیاس جهانی، اهمیت و خطر فرسایش بادی کمتر از فرسایش آبی است، ولی گاه ابعاد و عظمت آن از فرسایش آبی بیشتر است (Bahloli, 2006). فرسایش بادی تابع دو عامل فرسایندگی و فرسایش‌پذیری است. به طور کلی، باد در نتیجهٔ اختلاف فشار بین دو نقطه ایجاد می‌شود. انرژی باد هر چند می‌تواند منبعی برای تولید انرژی باشد؛ با این وجود، می‌تواند محدودیت‌ها و مشکلاتی نظیر فرسایش بادی را نیز ایجاد کند.

ایران از جمله کشورهایی است که بخش وسیعی از آن در دهه‌های اخیر به دلیل تغییرات اقلیمی و مدیریت ناصـحیح اراضـی به بیابان تبدیل شـده‌اسـت. علاوه بر فرسـایندگی باد، ویژگی‌های خاک از طریق تأثیر بر فرسایش‌پذیری خاک بر شدت فرسایش تأثیر می‌گذارد. در این بین، توزیع اندازه ذرات اولیه و ثانویهٔ خاک و رطوبت خاک سطحی نیز در کنترل فرسایش بادی نقش به سزایی ایفا می‌کند. بررسی و تحلیل سرعت و جهت باد به عنوان دو ویژگی مهم، در انتقال و رسـوب‌گذاری حاصـل از فرسـایش بادی و در نهایت در شـکل‌گیری تپه‌های ماسه‌ای اهمیت ویژه‌ای دارد. از طریق تحلیل داده‌های بادسنجی می‌توان به جهت حمل ماسه‌های بادی و فراوانی بادهای فرساینده در فصل‌های مختلف پرداخت. به دست آوردن اطلاعات توان حمل ماسه به طور دقیق بسیار دشوار است و برای به دست آوردن آن از روش‌های متعددی براساس مفروضات محیطی استفاده می‌شود که از آن جمله می‌توان به معادلات بنگولد[1]، کاوامورا[2]، زینگ[3] و لتولتو[4] اشـاره کرد که با اسـتفاده از تونل باد به وسیلهٔ بلی[5] آزمایش شد. در تحلیل داده‌های بادسنجی، استفاده از گلباد، گل‌طوفان و گلماسه کاربرد وسیعی دارد. برای نمونه، Mahmoodabadi و همکاران (۱۳۹۸) توان فرسـایش بادی اسـتان کرمان را با اسـتفاده از

[1] Bagnold
[2] Kavamura
[3] Zing
[4] Lettau -Lettau
[5] Bali

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.1.5]

تحلیل فصلی گلباد و گلماسه مطالعه کردند و نتایج بررسی بادهای فرساینده نشان داد که کلاس‌های سرعت متوسط ۷/۷ تا ۹/۸ متر بر ثانیه با جهت غربی و جنوب غربی، بیشترین فراوانی را بین ایستگاه‌های مورد مطالعه داشت و بیشترین پتانسیل حمل ماسه و دبی مربوط به ایستگاه رفسنجان به ترتیب با ۱۶۳۷ واحد برداری و ۶/۱۰ کیلوگرم بر متر در ثانیه بود. در پژوهشی دیگر، Maqsudi و همکاران (2019) به بررسی بادهای فرساینده و توان حمل ماسه‌های روان واقع در قلمرو بیابان لوت پرداختند. تطبیق نتایج گل‌طوفان‌ها و گل ماسه‌ها در این پژوهش نشان داد که جهت بادهای ایستگاه‌های شهداد و بم، با جهت شمال غربی ــ جنوب شرقی کلوتک‌های واقع در غرب بیابان لوت انطباق کامل دارد. Tavakkolifard و همکاران (2013) نیز با استفاده از داده‌های پنج ایستگاه سینوپتیک، به بررسی خطر حمل ماسه به مناطق مسکونی اطراف ارگ کاشان در یک دورهٔ چهل ساله پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که با توجه به موقعیت ایستگاه‌های مختلف، کاشان در برابر انتقال ماسه نسبت به مناطق دیگر آسیب‌پذیرتر است؛ زیرا جهت غالب بادهای فرسایشی در کاشان از شمال شرقی و غرب است و ارگ در شمال شرقی کاشان قرار دارد. در نتیجه نیروهای بادی، شن و ماسه را به سمت کاشان حرکت می‌دهد.

Yamani and Karami (2011) نیز با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی، آمار داده‌های باد روزانه و نمونه‌های برداشت شده در کار میدانی، فرایندهای غالب در تشکیل و تحول مورفولوژی توده‌های ماسه‌ای جلگهٔ خوزستان را بررسی کردند. آنها نتیجه گرفتند که امتداد چین‌خوردگی‌های زاگرس جنوبی به کانالیزه شدن و هدایت بادهای غالب شمال غربی منجر می‌شود و مخروط افکنه‌های حاشیه‌ای، پادگانه‌ها و بسترهای سیلابی رودخانه‌های مهم، منشأ اصلی ماسه‌های سطح جلگه به شمار می‌رود. Yang و همکاران (2019)، ویژگی‌های تپه‌های ماسه‌ای، رژیم بادی و انتقال ماسه را در کویر هوبک[1] در چین مطالعه کردند. بررسی‌ها نشان داد که ۵۱/۸ درصد از تپه‌های ماسه‌ای جابه‌جایی داشت و تنها ۸/۳ درصد از آنها ثابت بود. جهت باد غالب جنوب و جنوب غربی نیز با میانگین سرعت چهار تا هشت متر بر ثانیه بود. Wang و همکاران (2004) با استفاده از شاخص لنکستر[2]، فعالیت تپه‌های ماسه‌ای واقع در تاکلامکان[3] را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که فعالیت این تپه‌ها در طول دورهٔ ۱۹۶۰ زیاد بوده، ولی از اواسط ۱۹۸۰ تا اواخر ۱۹۹۰ کاهش یافته‌است. Zu و همکاران (2008) به بررسی خصوصیات رژیم‌های بادی در بیابان تاکلامکان چین پرداختند و به این نتیجه رسیدند که توان حمل ماسه دویست واحد برداری بود که بر اساس طبقه‌بندی فرایبرگر، در کلاس مکان‌هایی با انرژی بادی کم قرار داشت. Hereher&Mohammed (2014) با استفاده از داده‌های اقلیمی و تصاویر ماهواره‌ای، توان حمل ماسه را در امتداد درهٔ نیل بررسی کرد. نتایج این تحقیق نشان داد که محیط بادگیر و توپوگرافی از عوامل مهم توزیع رسوبات بادی در منطقه است و انرژی باد و توانایی حمل ماسه در قسمت مصر میانی، حداقل و در غرب دلتای نیل حداکثر می‌باشد و تپه‌های عرضی

[1] Hubak
[2] Lancaster
[3] Taklamakan

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.1.5]

(برخان‌ها) در کل منطقهٔ مورد مطالعه غلبه است و تپه‌های طولی در غرب دلتای نیل مشاهده می‌شود. Lavasa و همکاران (2018) با استفاده از داده‌های اقلیمی و با استفاده از مدل ویژاک[1] فعال یا ثابت بودن تپه‌ها، توان رانش شن و ماسه را در جلگه‌های الجزایر غربی بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که بادهای با سرعت کم در این منطقه بسیار فراوان است که در حمل و نقل ماسه نقشی ندارد. بیشترین حمل و نقل ماسه نیز به فصل بهار و زمستان بازمی‌گردد و مدل‌سازی حالت تپه‌ها، همزیستی تپه‌های فعال و ثابت را در منطقه نشان می‌دهد.

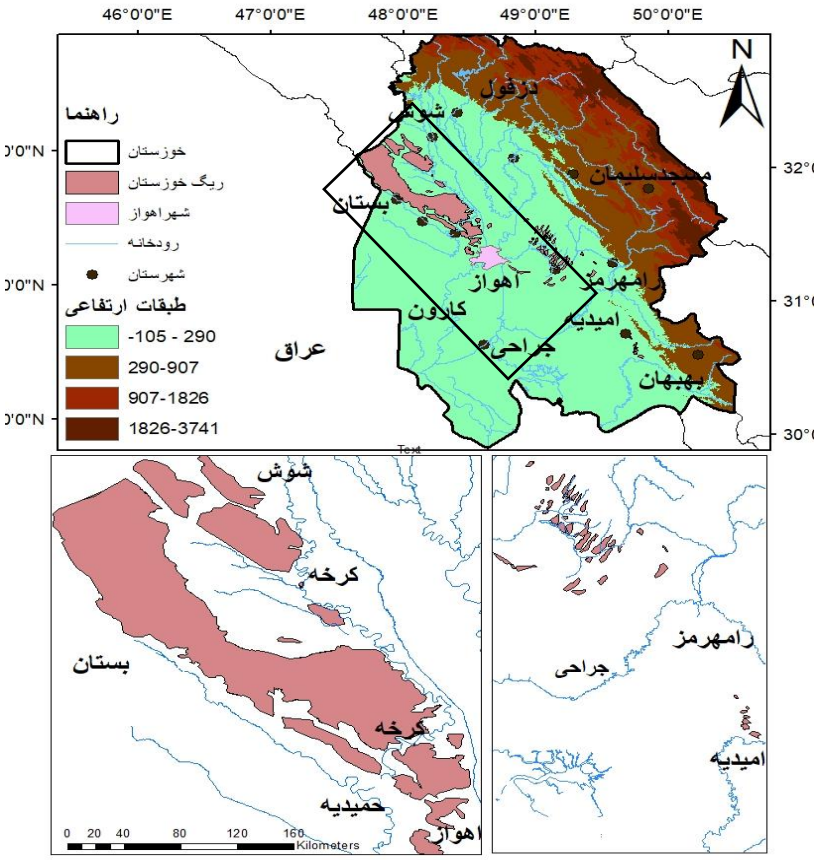
استان خوزستان یکی از مراکز جمعیتی در جنوب غرب ایران است که بخش قابل توجهی از تأسیسات مهم و راهبردی کشور در این استان پهناور ایجاد شده و طی دهه‌های اخیر گسترش یافته‌است. با توجه به گسترش تپه‌های ماسه‌ای در جلگهٔ خوزستان و شرایط ناپایدار آن، همیشه این ترس وجود دارد که مخاطرات ناشی از گسترش تپه‌های ماسه‌ای، بر عناصر فضایی اعم از طبیعی و انسانی (کشاورزی و شهرنشینی) تأثیرگذار باشد و خسارت‌های جبران‌ناپذیری را در منطقه به همراه داشته باشد. بنابراین، این پژوهش با هدف مطالعهٔ وضعیت بادهای سالانه از طریق تحلیل گلباد و گلماسه انجام می‌شود و به بررسی نقش رژیم بادی در تعیین مقدار دبی، جهت نهایی حرکت رسوبات بادی و فعالیت این تپه‌های ماسه‌ای با استفاده از مدل لنکستردر استان خوزستان می‌پردازد تا با استفاده از نتایج حاصل، مبارزه با آثار زیان‌بار هجوم رسوبات تپه‌های ماسه‌ای به منطقهٔ مورد مطالعه فراهم شود.

۲ـ محدودهٔ مورد مطالعه

استان خوزستان با وسعتی در حدود ۶۷۲۸۲ کیلومتر مربع، در جنوب غرب ایران بین عرض جغرافیایی ′۵۷ °۲۹ تا °۳۳ شمالی و طول جغرافیایی ′۳۲ °۴۷ تا ′۳۹ °۵۰ شرقی واقع شده‌است. ریگزارهای بزرگی در سطح این جلگه تشکیل شده‌است که وسعت‌های متفاوتی دارد و غالباً در امتداد شمال غربی — جنوب شرقی و به موازات حاشیهٔ زاگرس جنوبی در محدودهٔ شهرهای اهواز، سوسنگرد، حمیدیه و بستان متمرکز است. مساحت این تودهٔ ماسه‌ای، ۲۲۴۰۸۷ هکتار و بزرگ‌ترین تودهٔ ماسه‌ای سطح جلگه خوزستان است (شکل ۱). در سطح این بخش از جلگه، رودخانه‌های کارون و کرخه جریان دارد و زیربنای جلگه را رسوبات این رودخانه‌ها تشکیل می‌دهد. از نظر اقلیمی، اقلیم منطقهٔ مورد مطالعه به خشک و نیمه خشک تقسیم می‌شود. برای تحلیل بادهای فرساینده، دربارهٔ وضعیت فرسایش بادی در این استان از داده‌های هواشناسی پنج ایستگاه سینوپتیک و فعال طی یک دورهٔ آماری بیست ساله (۲۰۰۰-۲۰۱۹) استفاده شد. موقعیت مکانی ایستگاه‌های مورد مطالعه، ارتفاع ایستگاه‌ها طی این بازهٔ زمانی و مساحت ریگ نیز در جدول (۱ و ۲) ارائه شده‌است. ذکر این امر لازم است که این ایستگاه‌ها به دلیل داشتن آمار مطمئن و دقیق انتخاب شده‌اند.

[1] Yizhaq

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.1.5]



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی ریگ در استان خوزستان

جدول ۱: میزان تغییرات عرصهٔ فضایی ریگ خوزستان

ریگزار	مساحت به کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۹	مساحت در سال ۱۹۵۵ (Mahmoudi ،**2008**)
خوزستان	۱۸۲۲/۴	۱۵۶۹/۸

۳ـ مواد و روش

۳ـ۱ـ داده‌های باد و روش تجزیه و تحلیل

۱-۱-۳- در این پژوهش برای بررسی وضعیت باد و بادهای فرساینده در ریگ خوزستان، از داده‌های بادسنجی در پنج ایستگاه سینوپتیکی (دوره آماری بیست ساله ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹) در اطراف این ریگ استفاده شد. جدول ۲، مشخصات ایستگاه‌های موجود و دوره آماری آنها را نشان می‌دهد.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.1.5]

جدول ۲: مختصات جغرافیایی پنج ایستگاه سینوپتیک در دورهٔ زمانی بیست ساله برای آنالیز باد

ردیف	ایستگاه	دوره آماری	ارتفاع	توضیحات سایت
۱	اهواز	۲۰۰۰-۲۰۱۹	۲۲	در جنوب ریگ در فاصلهٔ چهار کیلومتری ریگ بزرگ
۲	بستان	۲۰۰۰-۲۰۱۹	۸	در حدود چهار کیلومتری در حاشیهٔ جنوبی ریگ بزرگ
۳	شوش	۲۰۰۹-۲۰۱۹	۶۵	شمال شرق ریگ در حدود سیزده کیلومتری ریگ
۴	رامهرمز	۲۰۰۰-۲۰۱۹	۱۵۰	در حدود سیزده کیلومتری شرق تپه‌های ماسه‌ای
۵	امیدیه	۲۰۰۰-۲۰۱۹	۲۷	۲۴ کیلومتری شمال تپه‌های ماسه‌ای

۲-۱-۳- استفاده از نرم‌افزار WRplote برای ترسیم گلباد

استفاده از نرم‌افزار گلماسه‌نما[1] برای محاسبهٔ مقادیر توان حمل ماسه (DP) به روش کلاس‌های سرعت فرایبرگر

ترسیم و تحلیل گلماسه

گلماسه، نمودار برداری مقدار انرژی باد برای حمل ماسه است و توان فرسایشی باد و مقدار نسبی حمل ماسه را در جهات مختلف نشان می‌دهد. برخلاف گلباد که واحد اندازهٔ بازوها در آن بر حسب سرعت باد است، واحد بازوها در گلماسه بر اساس یک واحد بردار (u.v) تعریف شده‌است. با در نظر گرفتن چندین فرضیه، Lettau -Lettau (1978) رابطهٔ زیر را بیان کرد:

$$q = (C'' p/g)\, V2\, (V - Vt)$$ رابطهٔ ۱

که در آن، q میزان انتقال ماسه ($kg/m^3.hr$)، g شتاب ثقل (m/s^2) ، C مقداری ثابت و بی بعد که براساس قطر ذرات تعیین می‌شود، P چگالی هوا (KG/M^3)، V سرعت برشی باد (Knot) و V_t سرعت آستانه برشی باد (Knot).

فرایبرگراین رابطه را به صورت زیر ساده کرد:

$$Q = V^2 (V-V_t)_t$$ رابطهٔ ۲

که در آن، q مقدار انتقال ماسه که به صورت واحد برداری نشان داده می‌شود، v سرعت باد در ارتفاع ده متری (Knot)، v_t سرعت آستانه فرسایشی باد (Knot) و t فراوانی بادهای بیش از سرعت آستانه فرسایشی (درصد) است.

ترکیب $v^2 (v - v_t)$، فاکتور وزنی نامیده می‌شود و نشان می‌دهد که بادهای قوی‌تر دارای وزن بیشتر و بادهای ضعیف‌تر دارای وزن کمتر است. برای کم کردن فاکتور وزنی و آسان‌تر شدن ترسیم گلماسه، مقدار فاکتور وزنی بر صد تقسیم می‌شود. اولین مرحله در محاسبهٔ قابلیت حمل ماسه، تعیین سرعت آستانه فرسایش

[1] Sand Rose Graph

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.1.5]

است که بنا به پیشنهاد فرایبرگر و طبق رابطهٔ بنگولد، برابر با دوازده (Knot) در نظر گرفته می‌شود. پس از تعیین مقادیر فاکتور وزنی و با در نظر گرفتن مقادیر فراوانی هر یک از کلاس‌های سرعت، مقادیر توان حمل (DP) برای هر یک از جهات جغرافیایی و در هر یک از کلاس‌های سرعت، محاسبه و مجموع آنها به صورت Dp_t P_t در نظر گرفته می‌شود. فرایبرگر، قدرت فرسایشی باد را براساس شاخص توان حمل باد طبق جدول ۳ طبقه‌بندی می کند:

جدول ۳: تقسیم‌بندی توان فرسایشی باد در محدودهٔ بیابانی (Fryberger & Dean,1979)

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

برآیند توان حمل ماسه (RDP)، بیانگر مقدار یا اندازهٔ بردار برآیند توان حمل ماسه است که از جمع برداری مقادیر DP در جهات مختلف حاصل می‌شود و وضعیت نهایی حمل ماسه را در منطقهٔ مورد مطالعه نشان می‌دهد. جهت بردار حمل ماسه (RDD)، جهت خالص حرکت ماسه را در طول سال نشان می‌دهد. شاخص همگنی جهت باد (UDI) نیز استفاده از شاخص همگنی شکل تپه‌ها و نوع جریان بادِ قابل پیش‌بینی است. به علاوه، جهت شکل‌گیری رخساره‌های بادی با بادهای طوفان‌زا تطابق دارد؛ هر چه شاخص همگنی به عدد یک نزدیک‌تر باشد، بادها یک جهته و هر چه این شاخص به سمت صفر متمایل شود، بادها قدرتمند و چند جهته خواهند بود. بنابراین، می‌توان گفت هر چه تغییرپذیری بادها بیشتر باشد، توان فرسایش بادی بیشتری دارد؛ از این رو، بادهای یک جهته نسبت به بادهای دوجهته توان فرسایش بادی کمتری خواهد داشت. تغییرپذیری جهت باد، براساس شاخص همگنی طبق جدول ۴ طبقه‌بندی شده‌است.

جدول ۴: تقسیم‌بندی توان فرسایشی باد با استفاده از UDI (Fryberger & Dean, 1979)

شاخص همگنی جهت باد (UDI)	انرژی باد	طبقه‌بندی جهات باد
<۰/۳	کم	بادهای چند جهته
۰/۳ -۰/۸	متوسط	بادهای دو جهته
>۰/۸	زیاد	بادهای یک جهته

با توجه به پیچیدگی و حجم بالای محاسبات آماری مربوط به ترسیم گلماسه، از نرم‌افزار Sand Rose برای محاسبه و ترسیم استفاده شد.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.1.5]

۳ـ۲ـ تعیین عوامل اقلیمی (PE,P,W)

با توجه به آثار نامطلوب فعالیت تپه‌های ماسه‌ای بر زیر ساخت‌های توسعه‌ای در مناطق بیابانی و ضرورت صرفه‌جویی در وقت و هزینه، عملیات تثبیت ماسه اقتضا می‌کند که بخش‌های فعال از بخش‌های غیر فعال تفکیک شود. بنابراین با بررسی رژیم بادی منطقه و شرایط اقلیمی، میزان فعالیت تپه‌های ماسه‌ای بر اساس شاخص لنکسترتعیین می‌شود. شاخص لنکستر کارایی خود را در مقیاس محدوده نشان می‌دهد؛ بنابراین، باید داده‌های مربوط به همان محدوده نه داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های مجاور منطقهٔ مورد مطالعه را در فرمول قرار داد.

شاخص تحرک و فعالیت تپه‌های ماسه‌ای

Lancaster (1989) به منظور تعیین فعالیت تپه‌های ماسه‌ای با در نظر گرفتن سه عامل محیطی، رابطهٔ ۳ را ارائه کرد. برای اولین بار، از این شاخص در بیابان کالاهاری استفاده و بعدها برای مطالعهٔ تپه‌های ماسه‌ای جنوب آفریقا و آمریکا کالیبره شد.

$$M=w/(p/pe)=(w*pe)/p$$ رابطهٔ ۳

در این رابطه، هر یک از پارامترها عبارتند از: M میزان فعالیت تپه‌های ماسه‌ای، W درصد فراوانی بادهای با سرعت بیش از سرعت آستانه فرسایش برحسب m/s در ارتفاع ده متری از سطح زمین، P میانگین بارندگی سالانه برحسب میلی‌متر بر سال و PE تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه بر حسب میلی‌متر بر سال.

در این روش با توجه به مقادیر محاسبه شده در رابطهٔ ۳، شاخص حرکت تپه‌های ماسه‌ای (M) محاسبه و با توجه به جدول ۵، میزان فعالیت این تپه‌ها تعیین شد.

جدول ۵: شاخص حرکت تپه‌های ماسه‌ای (Lancaster, 1989)

مقدار عددی شاخص حرکت ماسه	میزان فعالیت تپه‌های ماسه‌ای
کمتر از ۵۰	غیرفعال
۵۰ < **M** <۱۰۰	فقط در نوک تپه فعال است
۱۰۰ < **M** <۲۰۰	فعال
۲۰۰ < **M**	کاملاً فعال

به دلیل فقدان آمارهای هواشناسی در ریگ مورد مطالعه، ابتدا با در نظر گرفتن سرعت آستانه فرسایش بادی، گلبادهای نزدیک‌ترین ایستگاه‌های مجاور ریگ با استفاده از نرم‌افزار WRPIOT ترسیم شد. در جدول ۱۰، مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده و درصد فراوانی این بادها نشان داده شده‌است. سپس با توجه به اطلاعات به دست آمده، درون‌یابی داده‌ها به روش کریجینگ و با استفاده از نرم‌افزار ARC GIS صورت گرفت و نقشهٔ مورد نظر تهیه شد (شکل ۹). همچنین برای تعیین میزان بارندگی (P) و تبخیر سالانه (PE)، از

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.1.5]

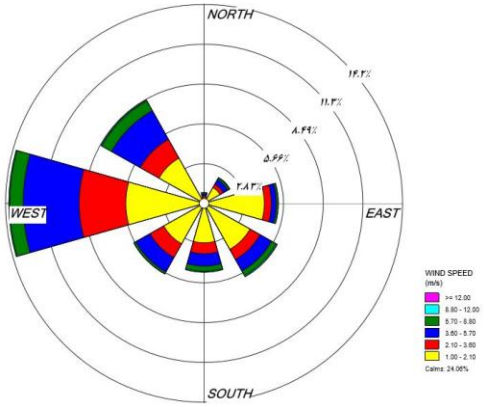
نقشه‌های هم پتانسیل بارندگی و تعرق پتانسیل سالانهٔ ایران ـــ که از سازمان جنگل‌ها و مراتع کل کشور تهیه شده‌است ـــ استفاده شد (شکل ۱۰). در شکل ۱۱، نقشهٔ میزان فعالیت تپه‌های ماسه‌ای ریگ خوزستان نشان داده شده‌است.

۴ـ یافته‌ها و نتایج

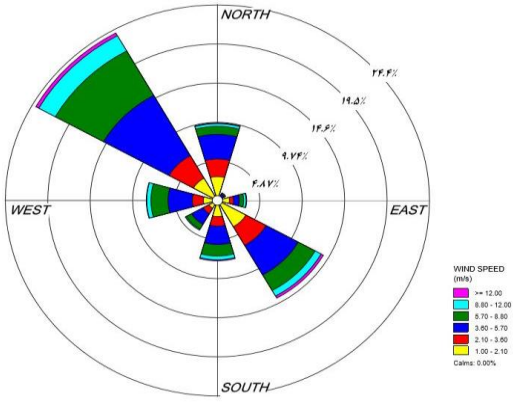
در شکل ۲، گلبادهای ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان خوزستان در جهت‌های هشت‌گانه و در شش کلاس سرعت باد نشان داده شده‌است. تجزیه و تحلیل داده‌های بادسنجی به وسیلهٔ گلباد نشان داد که در همهٔ ایستگاه‌ها به جز امیدیه، وزش باد از سمت غرب بیشترین فراوانی را دارد و بادهای شمال غرب و جنوب شرق در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرد. همچنین مشاهده شد که فراوان‌ترین بادها برای ایستگاه امیدیه از سمت شمال غرب می‌وزد. جدول ۶ نیز تعداد بادها را در کلاس‌های مختلف سرعت در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. نتایج این جدول نشان داد که ایستگاه امیدیه با چهارده درصد، بیشترین فراوانی بادها را در کلاس سرعت ۵/۷ تا ۸/۸۰ متر برثانیه در بین سایر ایستگاه‌ها دارد و کمترین میزان فراوانی مربوط به ایستگاه‌های شوش، رامهرمز و اهواز در کلاس سرعت بالای دوازده متر بر ثانیه است. همچنین نتایج این جدول نشان داد که به غیر از دو ایستگاه بستان و امیدیه که در کلاس ۳/۶ تا ۵/۷۰ متر بر ثانیه بیشترین فراوانی سرعت را دارند، در سایر ایستگاه‌ها سرعت باد در کلاس ۱ تا ۲/۲ متر بر ثانیه بیشترین فراوانی را دارد.

بررسی فراوانی کلاس‌های سرعت بیش از سرعت آستانه در جدول ۱۰ نشان داد که ایستگاه امیدیه، بیشترین بادهای فرسایندهٔ این منطقه را در دورهٔ آماری بیست ساله از سمت شمال غرب با فراوانی بیست درصد دریافت کرده‌است. ایستگاه بستان نیز بیشترین بادهای فرساینده را از سمت غرب به میزان پانزده درصد دریافت کرده‌است. براساس جدول ۱۰، ایستگاه شوش در شمال ریگ خوزستان کمترین فراوانی بادهای فرساینده را دارد؛ هر چند که همان میزان ۲/۴ درصد نیز از سمت غرب این ایستگاه ثبت شده‌است. جهت فرساینده‌ترین بادها برای ایستگاه رامهرمز و اهواز از سمت غرب به ترتیب با فراوانی ۳/۳ و ۳/۳ درصد است. با استفاده از این نتایج و با در نظر گرفتن سرعت و جهت بادهای فرساینده، می‌توان مناطق بحرانی از نظر بادناکی را شناسایی کرد و بر این اساس، راهکارهای حفاظتی و مهار فرسایش بادی نظیر کاشت گیاهان بومی مناسب و احداث بادشکن را با هدف کاهش پتانسیل فرسایش بادی قابل توجه قرار داد.

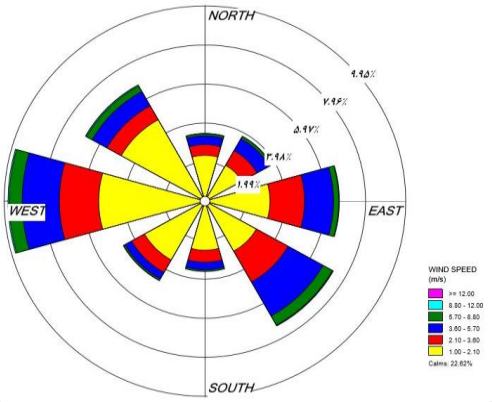
[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.1.5]



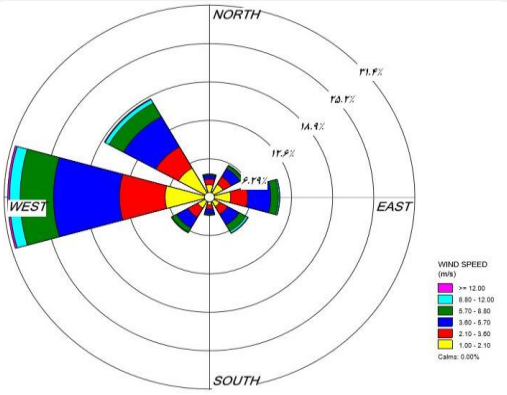
ایستگاه اهواز



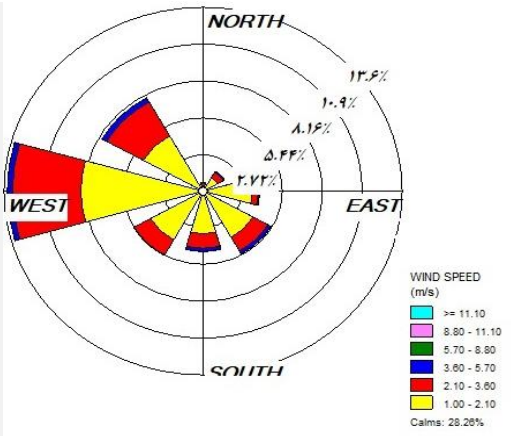
ایستگاه امیدیه



ایستگاه شوش



ایستگاه بستان



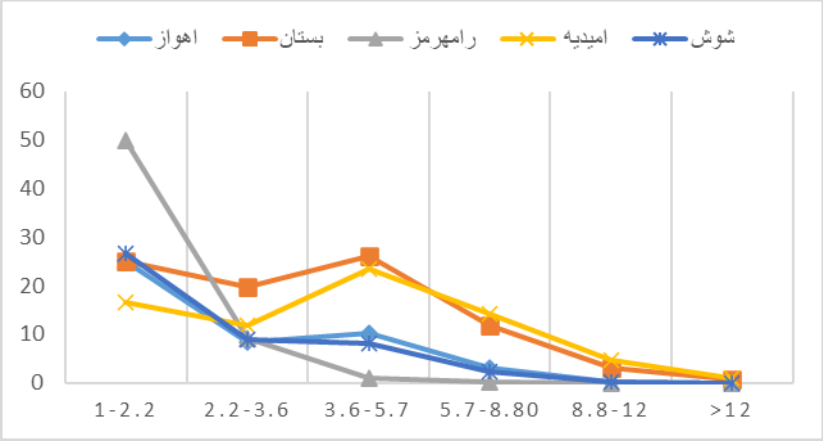
ایستگاه رامهرمز

شکل ۲: گلبادهای سالانهٔ ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در استان خورستان طی دوره آماری ۲۰۰۰- ۲۰۱۹ (سازمان هواشناسی)

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.1.5]

جدول ۶: فراوانی سرعت‌های باد (متر برثانیه) در ایستگاه‌های منتخب استان خوزستان در دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۱۹ (سازمان هواشناسی)

ایستگاه	۱ -۲/۲	۲/۲ -۳/۶	۳/۶ -۵/۷۰	۵/۷۰ -۸/۸۰	۸/۸ -۱۲	>۱۲
اهواز	۲۵/۱	۸/۴	۱۰/۱	۳	۰/۳	۰
بستان	۲۵	۱۹/۷	۲۶/۱	۱۱/۷	۳/۲	۰/۶
شوش	۲۶/۵	۹	۸	۲/۲	۰/۲	۰
رامهرمز	۴۹/۹	۹/۲	۱	۰/۱	۰	۰
امیدیه	۱۶/۵	۱۱/۹	۲۳/۴	۱۴/۳	۴/۶	۱

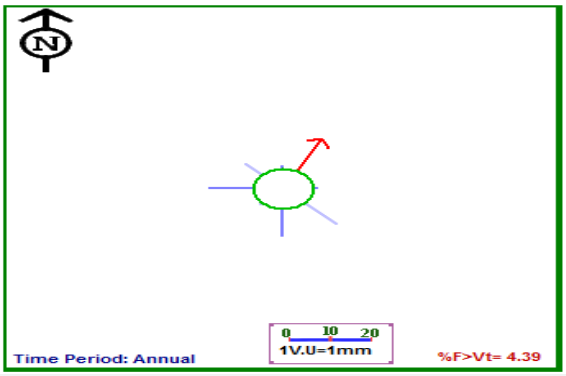


شکل ۳: فراوانی سرعت‌های باد بر حسب متر برثانیه در ایستگاه‌های مختلف استان خوزستان در دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۱۹

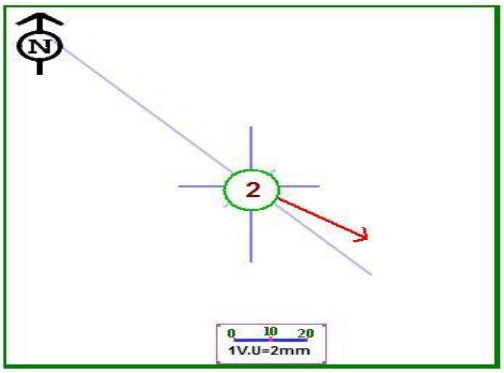
توان حمل ماسه

نتایج حاصل از محاسبات و تهیهٔ گلماسهٔ ایستگاه خوزستان در شکل ۴ و جدول ۷، ۸ و ۹ نشان داده شده‌است.

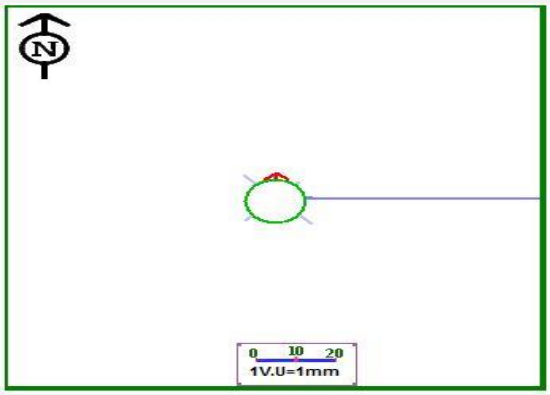
[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.1.5]



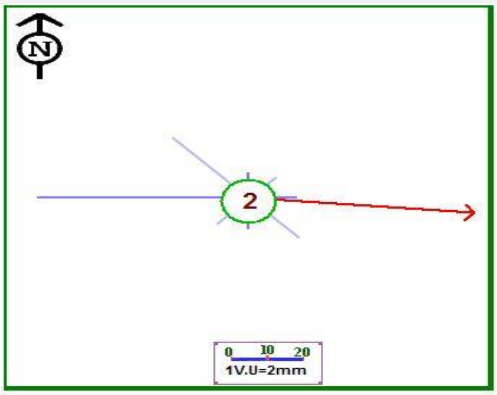
ایستگاه اهواز



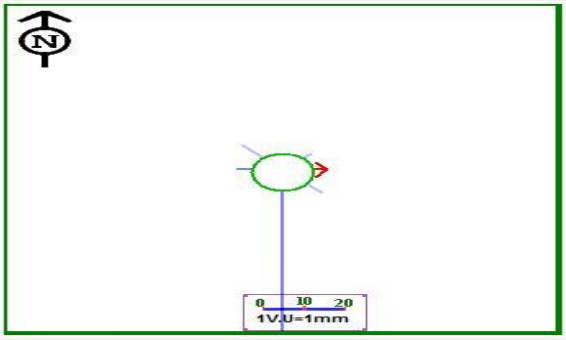
ایستگاه امیدیه



ایستگاه شوش



ایستگاه بستان

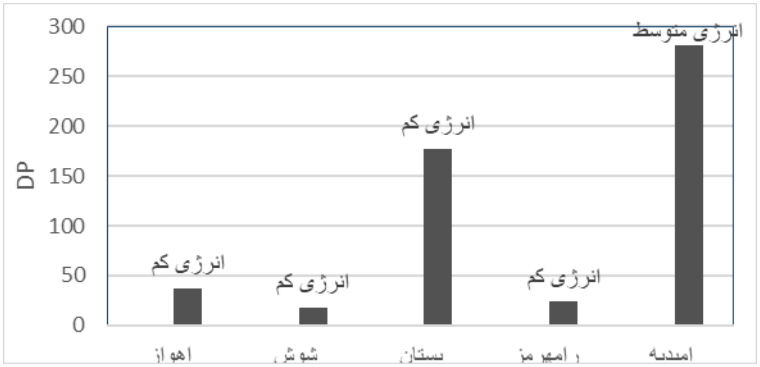


ایستگاه رامهرمز

شکل ۴: گلماسه‌های سالانهٔ ایستگاه‌های مورد مطالعه

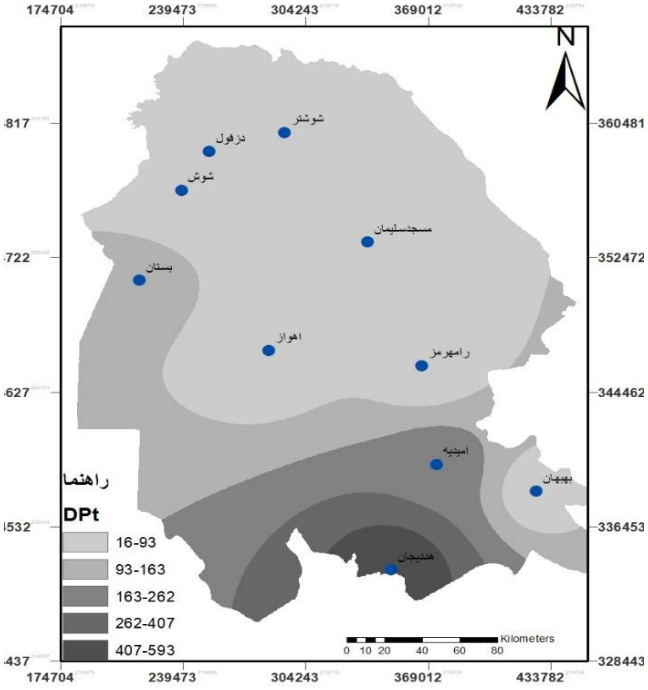
همان گونه که قبلاً ذکر شد، در تحلیل گلماسه تنها بادهای با سرعت بیش از دوازده نات بررسی شدند و بادهای کمتر از این آستانه توسط نرم‌افزار حذف شد. بررسی مقادیر توان حمل ماسه در جهات مختلف (DP) ــ که بیانگر طول بازوی گلماسه در جهت مورد نظر است ــ نشان می‌دهد که بیشترین توان باد در حمل ماسه مربوط به ایستگاه امیدیه با ۲۲۶/۱۳ واحدبرداری است و کمترین آن نیز مربوط به ایستگاه رامهرمز با یازده واحد برداری (شکل ۵).

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.1.5]



شکل۵ : توان حمل ماسهٔ سالانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه

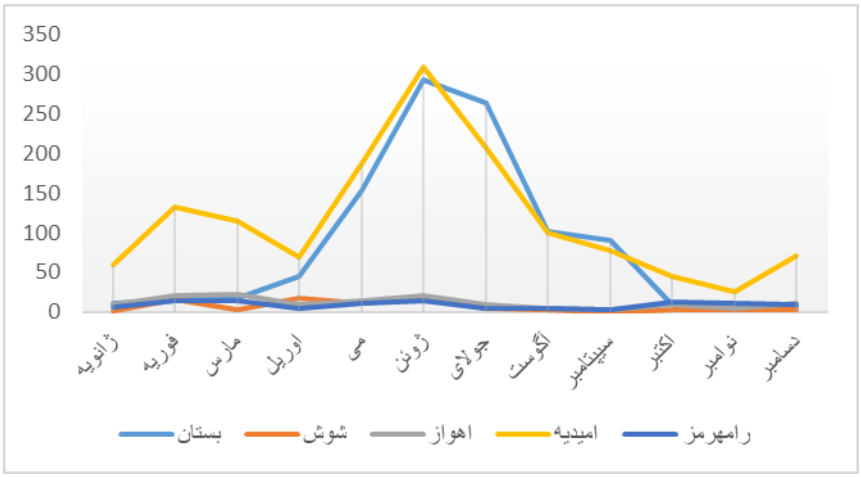
شکل ۶ نشان می‌دهد که حداکثر DP در بخش جنوبی استان در ایستگاه هندیجان در منطقهٔ ساحلی رخ می‌دهد و به تدریج به سمت شمال استان ــ که منطقهٔ کوهستانی است ــ کاهش می‌یابد.



شکل ۶: تغییرپذیری سالانهٔ توان حمل ماسه در ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان خوزستان

مقدار متوسط RDP ماهانه در ایستگاه‌های منتخب، از ۱۰/۸ در نوامبر تا ۱۳۰ در ژوئن تخمین زده شد. هشتاد درصد RDP سالانه در طول ماه می تا سپتامبر رخ می‌دهد. در طول تابستان، ثبات در RDP در میان ایستگاه‌ها تنها در ژوئن و جولای رخ می‌دهد (شکل ۷ و جدول ۷).

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.1.5]



شکل۷: میانگین توان حمل ماهانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه

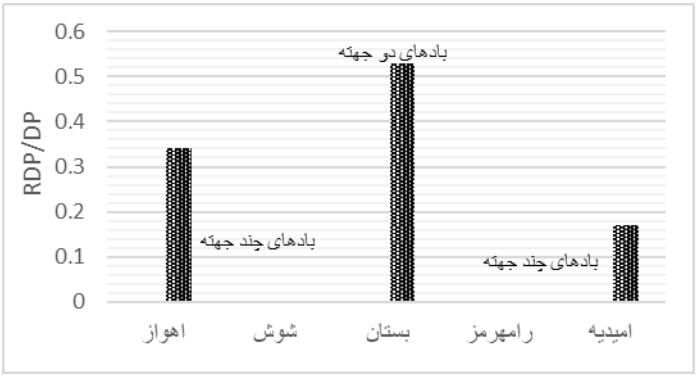
جدول ۷: میانگین توان حمل ماهانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	بستان	شوش	اهواز	امیدیه	رامهرمز	میانگین
ژانویه	۱۰/۶۳	۱	۹/۸۴	۵۸/۶۹	۶/۷۰	۱۷/۳۷
فوریه	۱۵/۰۳	۱۵/۶۲	۲۰/۶۱	۱۳۱/۷۴	۱۳/۴۱	۳۹/۲۸
مارس	۱۷/۰۲	۲	۲۲/۲۰	۱۱۴/۰۳	۱۴/۵۶	۳۳/۹۶
اوریل	۴۵/۴۸	۱۷/۴۶	۸/۶۰	۶۹/۹۱	۴	۲۹/۰۹
می	۱۵۴	۱۱/۲۲	۱۴/۲۱	۱۸۷/۳۹	۱۰	۷۵/۳۶
ژوئن	۲۹۳	۱۸/۸۶	۱۹/۷۲	۳۰۹/۰۱	۱۳/۶۰	۱۳۰/۸۳
جولای	۲۶۴	۴	۸/۹۴	۲۰۷/۵۴	۴/۱۲	۹۷/۷۲
آگوست	۱۰۱/۴۵	۲	۵/۰۹	۱۰۰/۴۹	۴/۱۲	۴۲/۶۳
سپتامبر	۹۰/۷۵	۰	۲/۲۳	۷۸/۱۰	۲/۲۳	۳۴/۶۶
اکتبر	۹/۴۳	۲/۲۳	۸/۵۴	۴۴/۳۸	۱۲/۵۳	۱۵/۴۲
نوامبر	۶/۴۰	۲/۲۳	۵	۲۵/۶۱	۱۱/۱۸	۱۰/۰۸
دسامبر	۵/۸۳	۲	۱۰/۷۷	۷۱/۴۲	۸/۹۴	۱۹/۷۹
جمع	۱۰۱۳	۷۸/۶۲	۱۳۵/۷۵	۱۳۹۸	۱۰۵/۳۹	

مقایسهٔ جهت بردار برآیند توان حمل ماسه (RDD) در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که جهت حرکت ماسه‌ها در ایستگاه بستان و رامهرمز به سمت شرق، امیدیه به سمت جنوب شرق و اهواز به سمت شمال شرق و شوش به سمت شمال است. در حقیقت، برآیند انتقال و جابه‌جایی ذرات رسوب در جهت‌های مختلف، به عنوان جهت جریان ماسه در دوره آماری بیست ساله (۲۰۰۰-۲۰۱۹) در نظر گرفته شد. تحلیل جهت حرکت گل ماسه‌ها، انطباق کامل حرکت آنها را با گلبادهای ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که بیانگر نظام‌مند بودن روند تغییرات جهت باد و قابل قبول بودن نتایج حاصل از گلباد است. شاخص همگنی نشان

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.1.5]

می‌دهد که ایستگاه امیدیه، شوش و رامهرمز دارای بادهای چندجهته و ایستگاه‌های بستان و اهواز بین ۰/۳ و ۰/۸، دارای بادهای دوجهتی با تغییرپذیری متوسط است (شکل ۸). بین مجموع پتانسیل حمل ماسه (DPT) و شاخص همگنی جهت حمل ماسه (UDI) در ایستگاه بستان همگنی بالایی وجود دارد؛ به طوری که هر زمان شاخص UDI به یک نزدیک باشد، شاخص توان حمل ماسه عدد بزرگ‌تری را نشان می‌دهد. شاخص همگنی برای هر ماه محاسبه (جدول ۸) و مشخص می‌شود که ماه جولای و ژوئن بالاترین مقدار میانگین UDI را در بین ماه‌ها دارد؛ این بدان معناست که تغییر در جهت حرکت ماسه بسیار محدود است و ماه آوریل با مقادیر پایین‌تر از ۰/۳۰ UDI، متغییرترین ماه است. ماه‌های باقی نیز با تغییرپذیری متوسط با مقادیر بین ۰/۳۵ تا ۰/۸۰ مشخص می‌شود.



شکل ۸: شاخص تغییرپذیری سالانهٔ RDP/ DPT در مناطق مورد مطالعه

جدول ۸: شاخص تغییرپذیری ماهانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	بستان	شوش	اهواز	امیدیه	رامهرمز
ژانویه	۰/۱۹	۰/۱۴	۰/۷۵	۰/۴۳	۰/۸۲
فوریه	۰/۱۳	۰/۸	۰/۷۹	۰/۴۷	۰/۷۸
مارس	۰/۱۱	۰/۲۲	۰/۶۲	۰/۳۴	۰/۶۲
اوریل	۰/۲۰	۰/۳۵	۰/۲۳	۰/۱۸	۰/۱۳
می	۰/۵۹	۰	۰/۴۵	۰/۶۲	۰
ژوئن	۰/۸۹	۰/۹۱	۰/۸۴	۰/۸۴	۰/۸۴
جولای	۰/۹۰	۰/۷۸	۰/۸۲	۰/۷۵	/۷۳
آگوست	۰/۸۷	۱	۰/۶۸	۰/۶۲	۰/۶۹
سپیتامبر	۰/۸۷	۰	۰/۴۲	۰/۶۱	۰/۳۷
اکتبر	۰/۱۳	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۳۴	۰/۵۶
نوامبر	۰/۱۳	۰/۳۸	۰/۷۶	۰/۲۶	۰/۴۴
دسامبر	۰/۱۱	۰/۴۲	۰/۸۰	۰/۴۹	۰/۸۳

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.1.5]

کل ماسهٔ حمل شده در جهات مختلف (TSF) در جدول ۹ نشان داده شده‌است. ایستگاه امیدیه ، ایستگاه رامهرمز، ایستگاه اهواز به ترتیب ۱۰+ ۸/۱۷ کیلوگرم بر متر در سال، ۱۰+ ۸/۱۵ کیلوگرم بر متر در سال، ۱۰+ ۳/۹۵ کیلوگرم بر متر در سال، بیشترین (TSF) را به خود اختصاص دادند. در این بین، کمترین دبی رسوب به ایستگاه شوش تعلق دارد و مجموع ماسهٔ جابه‌جا شده (DSF) در ایستگاه بستان، ۲۸۹۲/۹۲ کیلوگرم و بعد از آن ایستگاه اهواز با ۱۹۴۸/۵۱ کیلوگرم است.

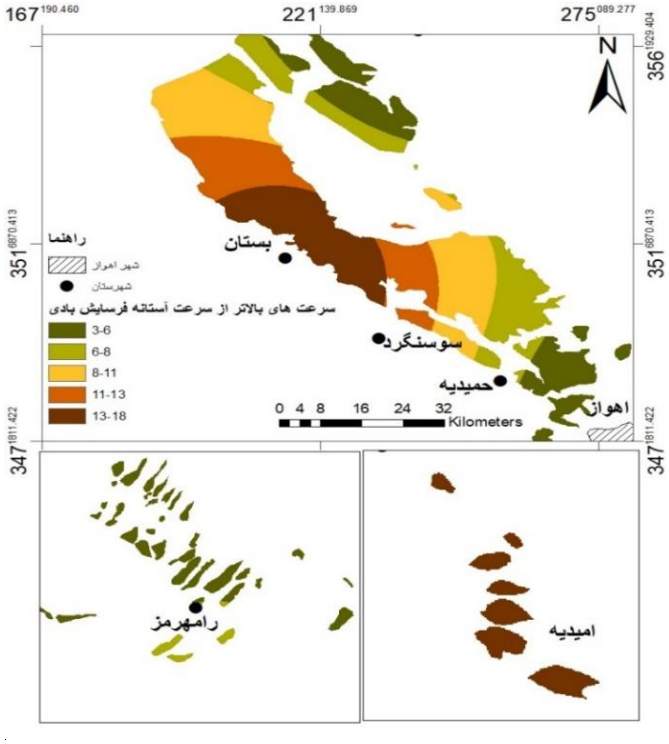
جدول ۹: پارامترهای توان حمل ماسه برای ایستگاه‌های منتخب استان خوزستان در دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۱۹

ایستگاه	TSF(kg/m.year)	DSF(kg/m.year)	DPT(VU)	RDP(VU)	UDI	Wind energy
اهواز	۳/۹۵ E +۱۱	۱۹۴۸/۵۱	۳۷/۱	۱۲/۸۰	۰/۳۴	کم
شوش	۳/۸۰ E +۱۰	۴۴۷/۹۸	۱۷/۷	۲/۲۳	۰/۱۲	کم
بستان	۳/۹۰ E +۱۰	۲۸۹۲/۹۸	۱۷۶/۶	۹۲/۳۴	۰/۵۳	کم
رامهرمز	۸/۱۵ E +۱۰	۶۱۹/۰۴	۲۳/۶	۳	۰/۱۵	کم
امیدیه	۸/۱۷ E +۱۰	۱۵۴۶/۳۴	۲۸۱/۱	۵۴/۷۰	۰/۱۹	متوسط

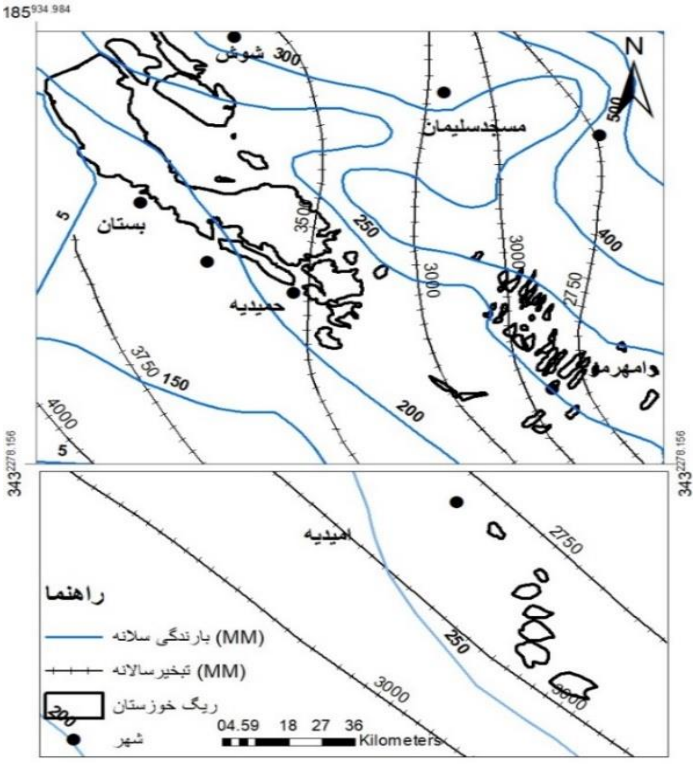
جدول۱۰: درصد فراوانی بادهای با سرعت بیش از سرعت آستانه فرسایش بادی در ارتفاع ده متری از سطح زمین (سازمان هواشناسی)

ایستگاه	بادهای آرام	طبقه‌بندی سرعت بادهای فرسایشی		
		۶ -۸/۸۰	۸/۸۰ -۱۲	۱۲>
اهواز	۷۰/۷	۳	۰/۳	۰
بستان	۷۶/۱۵	۱۱/۷	۳/۲	۰/۶
امیدیه	۵۸/۱	۱۴/۳	۴/۶	۱
رامهرمز	۵۹/۹۲	۰/۱	۰	۰
شوش	۵۷/۸۲	۲/۲	۰/۲	۰

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.1.5]

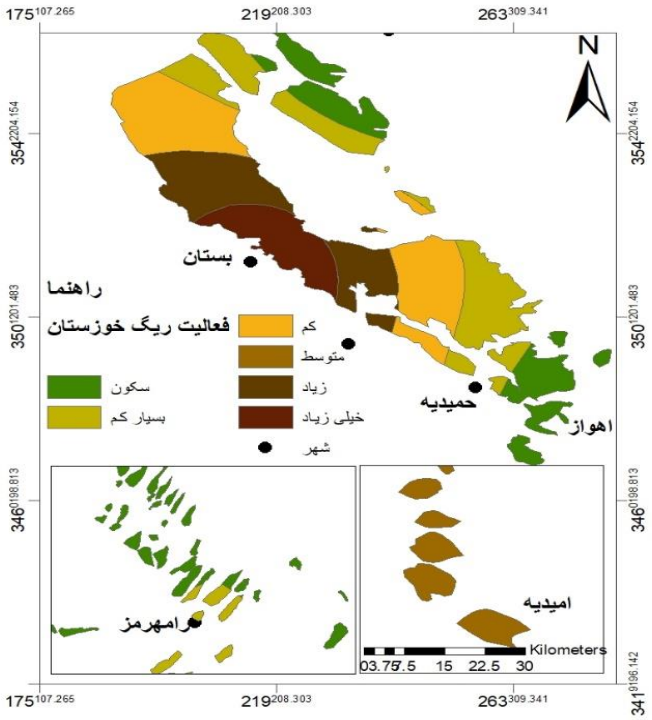


شکل ۹: نقشهٔ میان‌یابی درصد سرعت‌های بالاتر از سرعت آستانه فرسایش بادی



شکل ۱۰: نقشهٔ خطوط هم بارش و هم تبخیر پتانسیل سالانه (سازمان جنگل‌ها و مراتع)

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.1.5]



شکل ۱۱: نقشهٔ میزان فعالیت ریگ

نتایج این تحقیق نشان داد که در منطقهٔ مورد مطالعه، بیشتر اشکال ماسه‌ای از نوع فعال‌اند.

با توجه به نقشهٔ ۱۱ نتیجه گرفته می‌شود که در بیشتر مناطق ریگ و تپه‌های ماسه‌ای امیدیه، تپه‌های ماسه‌ای از نوع کاملاً فعال و فعال است و تنها بخش‌هایی از اطراف اهواز و شمال غرب و تپه‌های ماسه‌ای اطراف رامهرمز فعالیت کمتری دارد.

۵ـ بحث و نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر در زمینهٔ توان حمل ماسه و فراوانی بادهای فرساینده نشان می‌دهد که غالب بادها در همهٔ ایستگاه‌ها از جهات غربی می‌وزد، اما در ایستگاه امیدیه بادها از سمت شمال غرب جریان دارد. جهت بردار برآیند توان حمل ماسه (RDD) در ایستگاه‌های مورد مطالعه نیز نشان می‌دهد که جهت حرکت ماسه‌ها در ایستگاه بستان و رامهرمز به سمت شرق، امیدیه به سمت جنوب شرق، اهواز به سمت شمال شرق و شوش به سمت شمال است. تحلیل جهت حرکت گلماسه‌ها، انطباق کامل حرکت آنها را با گلبادهای ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. Parsamehr.& Pourkhosravani (2017)، در تحلیل بادهای فرساینده و بررسی توان حمل رسوبات در مناطق بیابانی اصفهان به نتایج مشابهی دست یافتند. بررسی مقادیر توان حمل ماسه در جهات مختلف (DP) نشان می‌دهد که بیشترین توان باد در حمل ماسه مربوط به ایستگاه امیدیه با ۲۲۶/۱۳ واحد برداری و کمترین آن مربوط به ایستگاه رامهرمز با یازده واحد برداری است. بررسی شاخص همگنی نیز نشان می‌دهد که ایستگاه امیدیه، شوش و رامهرمز دارای بادهای چندجهته و ایستگاه‌های بستان و اهواز بین ۰/۳ و

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.1.5]

۰/۸، دارای بادهای دوجهتی با تغییرپذیری متوسط است. بین مجموع پتانسیل حمل ماسه (DPT) و شاخص همگنی جهت حمل ماسه (UDI) در ایستگاه بستان همگنی بالایی وجود دارد؛ به طوری که هر زمان شاخص UDI به یک نزدیک باشد، شاخص توان حمل ماسه عدد بزرگ‌تری را نشان می‌دهد. با توجه به شاخص همگنی جهت باد، می‌توان نوع رژیم بادی مؤثر در شکل‌گیری تپه‌های ماسه‌ای و مورفولوژی رسوبات را در منطقه پیش‌بینی کرد. افرادی مانند Moursy و همکاران (2002)، Atallah and Saqqa (2004) و Wang (2002)، در تحقیقات خود به این موضوع اشاره کردند و جهت غالب حرکت رسوبات ماسه‌ای در این مناطق، از سمت غرب و جنوب غربی به سمت شرق و شمال شرقی بود. کل ماسهٔ حمل شده در جهات مختلف (TSF) نشان داد که ایستگاه امیدیه با ۸/۱۷+۱۰ بیشترین دبی رسوب را دارد و کمترین دبی متعلق به ایستگاه شوش است. مجموع ماسهٔ جابه‌جا شده (DSF) در ایستگاه بستان ۲۸۹۲/۹۲ کیلوگرم و بعد از آن، ایستگاه اهواز با ۱۹۴۸/۵۱ کیلوگرم در رتبهٔ بعدی قرار دارد.

در این تحقیق تلاش شد با درنظرگرفتن شرایط آب و هوایی و رژیم بادی ریگ خوزستان، میزان فعالیت بالقوهٔ تپه‌های ماسه‌ای تعیین و مناطق فعال از غیرفعال تفکیک شود. بنابراین، با توجه به اینکه بیشترین قسمت ریگ را تپه‌های فعال تشکیل می‌دهد و با توجه به جهت بادهای فرساینده از سمت غرب و شمال غرب و فاصلهٔ کم ریگ با سکونتگاه‌های انسانی و جهت نهایی حمل ماسه، جنوب شرقی و شرقی و در جهت استقرار مراکز جمعیتی و صنعتی و راه‌های مواصلاتی است؛ بنابراین، غرب و شمال غرب کانون‌های برداشت ماسه به شمار می‌آید. نتایج این تحقیق از آنجا اهمیت دارد که شهر اهواز به عنوان مرکز سیاسی اداری و جمعیتی، در پنج کیلومتری شرق ریگ واقع شده‌است و در قسمت‌های شمالی و جنوبی ریگ ــ که زمین‌های حاصلخیز دارد ــ همواره در معرض تهدید و پیشروی تپه‌های ماسه‌ای است. شناسایی اراضی حساس به فرسایش و عامل فرسایندهٔ آن و شناسایی توان یا پتانسیل این اراضی از نظر حمل ماسه و ایجاد طوفان‌های گرد و خاک، امری ضروری است و بایستی بررسی شود تا ضمن شناسایی و مکان‌یابی اراضی حساس و پهنه‌بندی آنها در کلاس‌های خطر مناسب، عملیات کنترل فرسایش با رعایت اولویت اراضی حساس‌تر اجرا شود.

منابع

1. Chi, W.; Zhao, Y.; Kuang, W.; & H. He, 2019. Impacts of anthropogenic land use/cover changes on soil wind erosion in China, *Sci. Total Environ*, 668, 204-215.
2. Fryberger, S., & G. Dean., (1979). Dune forms and wind regime. In A Study of Global Sand Seas, E. McKee, ed.,. Washington. U. S. *Geological Survey Professional*. 1052, 137-170.
3. Ghasemieh, H.; Samani, A.; Mashhadi, N.; & A. Tavakoli Fard, 2014. Analysis of the activity of sand dunes in Kashan Rig Dam using Lan Caster index, *Desert Ecosystem Engineering*, 3, 37- 48. (in Persian)
4. Hereher, E., Mohammed، 2014. Assessment of sand drift potential along the nile valley and delta using climatic and satellite data. *Applied Geography*. 55, 39-47.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.1.5]

5. Lancaster, N., 1989. The dynamics of star dunes: an example from the Gran Desierto, Mexico, *Sedimentology*, 36, 273-289.
6. Lavasa, A., Dallmeier-Tiessen, S., van de Sandt, S., Tsanaktsidis, I., Trzcinska, A., Fokianos, P., ... & de Jong, M. (2018). D4. 1 Integration of Mature PID Types. Zenodo. doi, 10.
7. Li, J.; Ma, X.; & C. Zhang, 2020. Predicting the spatiotemporal variation in soil wind erosion across Central Asia in response to climate change in the 21st century, *Sci. Total Environ*, 709, 136060.
8. Maghsoudi, M., & A. Ahmadi., (2016). Finding the potential of elements of fossil and flowing sand dunes from the perspective of land management (East Ahvaz). *geomorphology and land management* .(in Persian)
9. Maghsoudi, M.; Zanganeh, S.; Manbari, F.; & M. Hosseini, 2019. Analysis of wind erosion and transport potential of quicksand located in the territory of Lut desert, *Environmental erosion research*, 41, 1-19. (in Persian)
10. Mahmoodabadi, M., & H. Rajabpour., (2017). Study on the effect of initial soil moisture content on wind erosion rate using a laboratory wind tunnel. *Journal of Water and Soil Conservation*. 24(2), 167-182.
11. Mahmoodabadi, M.; Zamani, S.;Yazdanpanah, N.; & M. H. Farpoor, 2019. Studying wind erosion potential of Kerman province using seasonal analysis of Golbad and Golmase, *meteorological applications*, 33, 83-101.
12. Mahmoudi, F. (2008), Geographical Distribution of Iran's Important Farmers, Agricultural Research and Education Organization, Forestry and Rangeland Research Institute, Agricultural Education Publication.
13. Meteorological Organization of Iran, statistics of meteorological stations of Khuzestan province, statistics of 2000-2019.
14. Moursy, F. I.; Gaber, E. I.; & M. Samak, 2002. Sand drift potential in El-Khanka area, Egypt. Water, *Air and Soil Pollution*, 136, 225-242.
15. Nowruzi, A., & Z. Shoaei., (2018). Panasaei of areas with dust production potential in southwestern Iran, Case study of Khuzestan province. *Journal of Watershed Engineering and Management*. 10, 398-409.(in Persian)
16. Parsamehr, A.H.& Pourkhosravani. Z (2017). Analysis of erosive winds and investigation of wind sediment carrying capacity in desert areas of Isfahan province. Pasture and Desert Research of Iran, 23(4), 832-842.
17. Saqqa, W., & M. Atallah., (2004). Characterization of the aeolian terrain facies in Wadi Araba desert, South West Jordan. *Geomorphology*. 62, 63-87.
18. Tavakkolifard, A., Ghasemieh, H., Nazari Samani, A. A., & Mashhadi, N. (2013). Determining the risk of sand transportation to residential areas around Kashan Erg using anemometry data analysis. *Desert*, *18*(2), 163-172.
19. Thomas, D. S. G.; Knight, M.; & G. F. S. Wiggs, 2005. Remobilization of southern African desert dune systems by twenty-first century global warming, *Nature*, 435, 1218-1221.
20. Wang, X.; Dong, Z.; Liu, L.; & J. Qu, 2004. Sand sea activity and interactions with climatic parameters in the Taklimakan Sand Sea, China, *Journal of AridEnvironments*, 57, 85-98.
21. Yamani, M., & F. Karami., (2011). Dominant Processes in the Formation and Morphological Evolution of Khuzestan Plain Sand Masses, A Case Study of North Ahvaz Sand. *Geographical Studies of Dry Areas*. 2, 25-42. (in Persian)

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.1.5]

22. Yang, H.; Cao, J.; & X. Hou, 2019. Characteristics of Aeolian Dune, Wind Regime and Sand Transport in Hobq Desert, China, *Applied Sciences*, 9(24), 5543.
23. Yao, Z.; Xiao, J.; & X. Ma, 2021. The impact of large-scale afforestation on ecological environment in the Gobi region, *Scientific. Reports*, 11, 14383.
24. Yu, L.; Wu, Z.; Du, Z.; Zhang, H.; & Y. Liu, 2021. Insights on the roles of climate and human activities to vegetation degradation and restoration in Beijing Tianjin sandstorm source region, *Ecological Engineering*, 159, 106105.
25. Zu, R.; Xue, X.; Qiang, M.; Yang, B.; Qu, J.; & K. Zhang, 2008. Characteristics of near-surface wind regimes in the Taklimakan desert, China, *Geomorphology*, 96, 39-47.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.1.5]

Analysis of Erosive Winds and investigating Wind Sediment Carrying Capacity in sabulous Sandy Regions of Khuzestan Province

Mehran Maghsoudi[1]: *Associate Professor, Department of Natural Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran*
Roqieh Nejad Hosseini: *Ph.D. student of Geomorphology, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran*
Farzaneh Gholami: *Ph.D. student of Geomorphology, Faculty of Geography and Planning, Isfahan University, Isfaha*

Received: 2022/03/26 **Accepted: 2022/9/18**

Extended abstract

1- Introduction

Arid conditions limit human activities, so they destroy the sustainability between ecosystem components in more degraded areas.The concept of sustainability is related to an ecological principle according to which sustainability is maintained if the exploitations are commensurate with the capacity. Furthermore, the persistence of sustainability in arid regions requires the assessment of features such as human factors, natural factors, flora, fauna, and interactions between humans and the environment. Therefore, the evaluation and monitoring of climatic indicators such as wind, plays an effective role in maintaining sustainability as an influential factor in arid areas. Since the second half of the nineteenth century, wind erosion has been recognized as one of the most widespread environmental problems, especially in areas with different seasonal climates and high levels of human activities. Therefore, this research aims to study the state of annual winds through the analysis of Golbal and sand Golbal, and to investigate the role of wind regime in determining the amount of discharge and the final direction of wind sediment movement, as well as the activity of these sand dunes using the Lancaster model in Khuzestan province. Using the results, it is possible to fight against the harmful effects of sand dune sediments in the study area.

2- Methodology

In this study, in order to investigate the wind situation and study the erosive winds in Khuzestan sandy regions, anemometric data were used in five synoptic stations (in the statistical period of 20 years from 2000 to 2019) around these areas. In addition, Sand Rose Graph software was used to calculate the values of sand transport potential (DP) by Freiberger speed classes method. In fact, due to the complexity and high volume of statistical calculations related to drawing diamonds, Sand rose software was used to

[1] **Corresponding Author: maghsoud@ut.ac.ir**

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.1.5]

calculate and draw the maps. To calculate the values of sand transport potential (DP) in different geographical directions, the Freiberger-Dean relationship based on the basic equations of Begnold and Leto-Leto was used. From the sum of DP values in different directions, the total sand carrying capacity (DPt) is obtained and in fact it is an indicator that represents the total wind energy to carry sand to the desired station. RDP stands for the amount or size of the output vector (resulting vector) of sand carrying capacity, which is obtained by summing the DP values in 8 or 16 different directions and shows the final status of sand transport in the study area.

3- Results

Analysis of anemometer data by Golbad showed that in all stations except Omidieh, wind from the west has the highest frequency and the most abundant/frequent winds for Omidieh station are observed from the northwest. Examination of the sand carrying capacity in different directions (DP) shows that the highest wind carrying capacity in sand was related to Omidieh station with 2226.13 units, and the lowest was related to Ramhormoz station with 11 vector units. The average monthly RDP at selected stations is estimated from 10.8 in November to 130 in June, and 80% of annual RDP occurs between May and September. During the summer, stability in the RDP between stations occurs only in June and July. Comparison of the direction of vector output of sand carrying capacity (RDD) in the studied stations shows that the direction of sand movement in Bostan and Ramhormoz stations is to the east, Omidieh to the southeast and Ahvaz to the northeast and Shush to the north. There is a high homogeneity between the total sand carrying potential (DPT) and the homogeneity index for sand transport (UDI) at Bostan station. The total sand transported in different directions (TSF) is shown in Ramhormoz station with a rate of 8/15+10 kg/m per year; among other stations after Omidieh station with 8/17+10, Ahvaz station stands with 3/95+10 kg per meter. Among these, the lowest sediment discharge belongs to Shush station. The total displaced sand (DSF) is located in Bostan station with 2892.92 kg and then Ahvaz station with 1948.51 kg. Also, in order to determine the amount of rainfall (P) and annual evaporation (PE), the annual rainfall potential and transpiration potential maps of Iran were used, which were prepared by the Forests and Rangelands Organization of the country. The activity map of the sand dunes of Khuzestan is also presented.

4- Discussion & Conclusions

The results of the present research in the field of sand carrying potential and the frequency of erosive winds showed that the majority of the winds blow from the west in all stations, but in the Omidiyeh station, the winds flow from the northwest.The analysis of the movement direction of the sand dunes shows the complete compliance of the movement of the sand dunes with the winds of the studied stations. The study of sand carrying power values in different directions (DP) shows that the highest wind power in carrying sand was determined at Omidiye station with 226.13 units and the lowest one was determined at Ramhormoz station with 11 units. Examination of the homogeneity index shows that Omidiyeh, Shush and Ramhormoz stations have multidirectional winds and Bostan and Ahvaz stations have bidirectional winds between 0.3 and 0.8 with moderate variability between the total sand transport potential (DPT) and the homogeneity index of transport

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.1.5]

direction. There is high homogeneity of sand (UDI) in Bustan station.The total sand transported in different directions (TSF) shows that Omidiyeh station with 8/17+10 has the highest potential, and the lowest sediment discharge belongs to Shush station. And the total displaced sand (DSF) in Bostan station is 2892.92 kg, followed by Ahvaz station with 1948.51 kg. In this research, an attempt was made to determine the potential activity level of sand dunes and distinguish active from inactive areas by considering the weather conditions and sand wind regime of Khuzestan province.

Key words: Khuzestan province, erosive winds, sand carrying potential, Golmase, Lancaster index

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.1.5]