

ویژگی‌های رژیم بادی و پتانسیل حمل ماسه در تپه‌های ساحلی (مطالعه موردی: جاسک)

بهروز اکبرپور بناب: کارشناس هیدرو اقلیم، شرکت مهندسين مشاور آبخوان، تهران، ایران

مهین حنیفه پور: دکتری بیابان‌زدایی، گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

لیلا بیابانی: دانشجوی دکتری مدیریت و کنترل بیابان، گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

حسن خسروی*: دانشیار، گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۲/۶

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱۴)



20.1001.1.22517812.1401.12.3.9.8

چکیده

تپه‌های ماسه‌ای ساحلی، یکی از اشکال مورفولوژی مهم مناطق ساحلی است که در پشت ساحل تشکیل می‌شود. در این مناطق معمولاً بادهای فراوان و کافی برای انباشت رسوبات وجود دارد. بنابراین، این تپه‌ها در نقاطی که ذخیره رسوبی، حمل رسوب، اقلیم و فضای کافی اجازه دهد، ایجاد و توسعه می‌یابند و اشکال مختلفی را به وجود می‌آورند. اهمیت نقش تپه‌های ماسه‌ای ساحلی به عنوان مانعی در برابر امواج و مخزنی از شن و ماسه، منبع تغذیه ساحل در برابر فرسایش است. بخش عمده‌ای از ساحل شرقی بندر جاسک را تپه‌های ماسه‌ای ساحلی تشکیل می‌دهد. هدف از این پژوهش، بررسی ویژگی‌های رژیم بادی و قابلیت حمل ماسه در ساحل شرقی این بندر است. بر همین اساس، با استفاده از داده‌های سرعت و جهت باد ساعتی طی بازه زمانی بیست ساله (۱۳۹۹-۱۳۸۰) ایستگاه سینوپتیک جاسک و با استفاده از نرم‌افزار WRPlot، گلباد سالانه و فصلی و با استفاده از نرم‌افزار Sand Rose Graph، گلماسه سالانه، فصلی و ماهانه ایستگاه مورد نظر بررسی شد. نتایج گلبادهای سالانه و فصلی نشان داد که جهت باد غالب، عمدتاً غربی است. بیشترین فراوانی بادهای فرساینده نیز در فصل تابستان و در ماه‌های مرداد و شهریور است و کمترین فراوانی در فصل پاییز و در آبان ماه مشاهده می‌شود. جهت باد ماسه‌آور نیز عمدتاً شمال‌غربی است. انرژی باد در منطقه جاسک براساس قابلیت حمل، در کلاس کم قرار دارد که بیشترین و کمترین میزان به ترتیب در آبان و مهر است. از سوی دیگر، توانایی دبی ماسه براساس میانگین قابلیت حمل ماسه ($DP=257 \text{ v.u}$) برای این محدوده در حدود هیجده مترمکعب در واحد عرض برآورد می‌شود. براساس بازدهی‌های میدانی و تصاویر ماهواره‌ای، پهنه‌های ماسه‌ای در این منطقه وسعت بیشتری دارند و سایر تپه‌های عرضی، سیف و برخان در وسعت کمتر تشکیل شده و توسعه یافته‌اند و در کل، رشدی معادل $10/665$ کیلومتر مربع دارند.

واژگان کلیدی: انرژی باد، تپه‌های ساحلی، جاسک، گلباد، گلماسه.

* نویسنده مسئول: hakhosravi@ut.ac.ir

۱- مقدمه

فرسایش بادی یکی از مهم‌ترین فرایندهای طبیعی در مناطق خشک، نیمه‌خشک و فراخشک است (Arabameri and Halabian, 2018). تپه‌های ماسه‌ای از مهم‌ترین رخساره‌های فرسایش بادی محسوب می‌شود (Poormand et al, 2015) و در قلمرو فرایند بادی، از پویاترین عارضه‌های ژئومورفیک سطح زمین است که از یک سو متأثر از تحت‌تأثیر ویژگی‌های سرعت، جهت و فراوانی باد است و از سوی دیگر، از ویژگی‌های سطح زمین و مواد رسوبی تأثیر می‌پذیرد (Abbasidenjad and Zahab Nouri, 2012). میدان‌های ماسه‌ای، نزدیک به پنج میلیون کیلومتر مربع از سطح کره زمین را پوشانده (Livingstone et al, 2010) و از تپه‌های ماسه‌ای مختلفی تشکیل شده‌است. شکل‌گیری این میدان‌های ماسه‌ای، به روابط متقابل بین رژیم بادی و فرایندهای رسوب‌گذاری بازمی‌گردد (Dong et al, 2013). مطالعات و تحقیقات نشان می‌دهد که طی دهه‌های اخیر، پدیده گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی به افزایش دما و کاهش بارندگی و در نتیجه خشکسالی‌های مکرر منجر شده‌است (Ashkenazy et al, 2012). تپه‌های ماسه‌ای واقع در مناطق بیابانی کره زمین نیز تحت تأثیر عوامل مختلف به ویژه عوامل اقلیمی، به‌طور مداوم در حال حرکت و جابه‌جایی است و بر اثر این جابه‌جایی ریگ‌ها توسعه و تحول می‌یابند. اما جهت حرکت ماسه‌ها، میزان حرکت و مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای در طول زمان به ویژه در کوتاه‌تر و هولوسن یکسان نبوده‌است، بلکه در دوره‌های خشک ریگ‌ها گسترش یافته‌اند و تپه‌های ماسه‌ای فعال شده‌اند؛ اما در دوره‌های مرطوب، این تپه‌ها غیرفعال شده و از وسعت میدان‌های ماسه‌ای کاسته شده‌است (Sharifi, 2019).

پیش‌بینی وقوع باد براساس احتمالات در راستای پدیده‌های حمل و نقل شن و ماسه، عنصری کلیدی برای فعالیت‌های انسانی در مناطق خشک است (Raffaele et al, 2016). فرسایش بادی و حرکت ماسه‌های روان – که یکی از فرایندهای مهم تخریب سرزمین است و چالشی جدی در ایران محسوب می‌شود – بر اثر تعامل بین فرایندهای آب و هوایی و زمینی اتفاق می‌افتد. برای توسعه یا تعدیل طوفان‌های گرد و غبار علاوه بر شرایط هواشناسی، عوامل سطحی (زمین) و پوشش گیاهی نیز نقش مهمی ایفا می‌کند (Yarahmadi et al, 2015 & Vali and Roustaei, 2018). از طرفی رویش و ثبات پوشش گیاهی در تپه‌های شنی، به عوامل و عناصر اقلیمی و به‌طور عمده به دو عامل قدرت باد و میزان بارش بستگی دارد (Ashkenazy et al, 2012). تغییرات این دو عنصر نیز روی سایر عناصر آب و هوایی از جمله دما، تبخیر، رطوبت نسبی و امثال آن تأثیر می‌گذارد (Bing et al, 2005). هنگامی که بارش برای حملیت از پوشش گیاهی بیش از حد کم باشد، تپه‌های ماسه‌ای فعال می‌شود. بنابراین، لازم است به منظور بررسی اثر عناصر اقلیمی در فعالیت تپه‌های ماسه‌ای و گرد و غبار و به منظور پیش‌بینی احتمال تحرک تپه‌های ماسه‌ای و تشدید گردوغبار در دهه‌های آینده، مطالعات لازم صورت گیرد.

از جمله مطالعات انجام شده در مورد قابلیت حمل ماسه و بررسی مورفومتری و مورفودینامیک رخساره‌های فرسایش بادی، می‌توان به بررسی مورفومتری و علل استقرار ریگ کرمان از طریق تحلیل ویژگی‌های باد و دانه‌سنجی ذرات ماسه (Yamani and Gourabi, 2011)، تأثیر بادهای فرساینده بر مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای دشت سمنان (Sadeghi et al, 2015)، استفاده از شاخص طوفان گرد و غبار برای پایش طولانی‌مدت فرسایش بادی با استفاده از داده‌های اقلیمی در ایران مرکزی (Vali and Roustaei, 2018)، تحلیل آماری مخاطرات ناشی از جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای در دشت

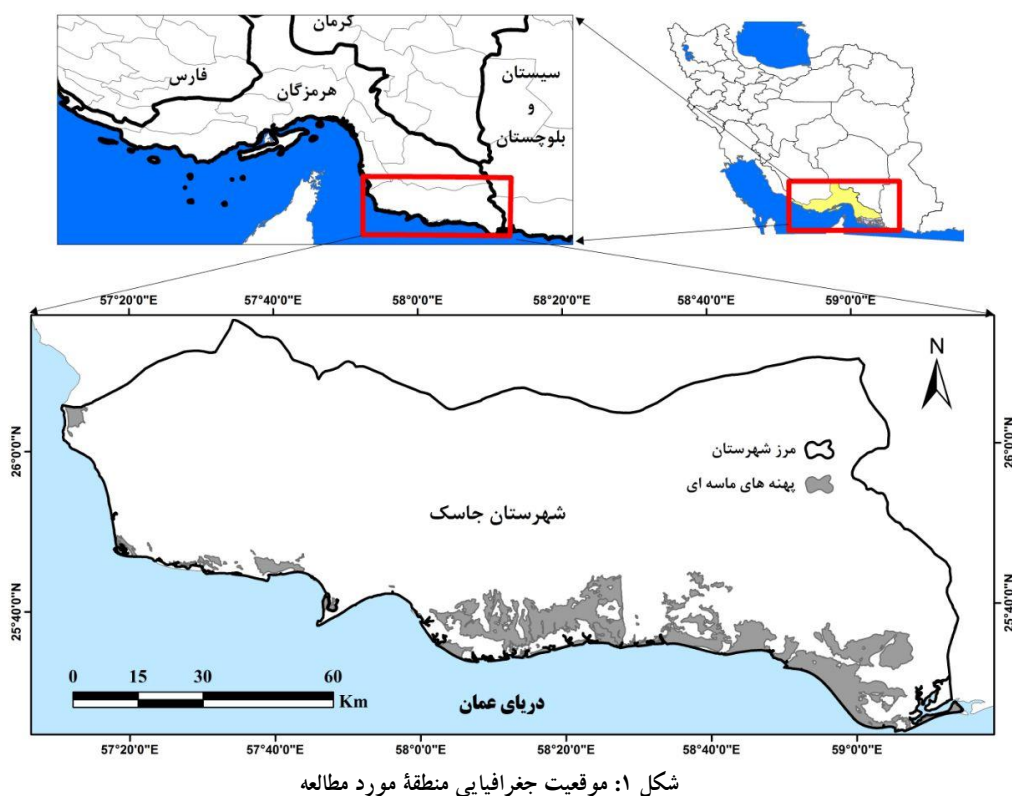
سیستان (Heydarinasab et al, 2018)، بررسی ویژگی‌های رژیم بادی و پتانسیل حمل ماسه در ریگ سرخس واقع در گوشه شمال شرقی کشور (Abassi et al, 2020)، بررسی تغییرات مکانی فرسایش‌پذیری بادی اراضی در حاشیه دریاچه ارومیه (Nazarisamani et al, 2021)، بررسی توان حمل ماسه در منطقه سیستان (Abassi et al, 2019)، مورفولوژی تپه‌های شنی در زرین ارگ و سازگاری آن با داده‌های باد منطقه‌ای (Sharifi Paichoon et al, 2020)، بررسی توان حمل ماسه و حرکت تپه‌های ماسه‌ای در سه دهه گذشته در ارگ خارطوران واقع در شمال شرقی ایران (Rahdari and Rodríguez-Seijo, 2021) و بررسی اثرات احتمالی حمل شن و ماسه در خط راه آهن سرخس — مشهد (Rahdari et al, 2021) اشاره کرد.

پدیده گرد و غبار و حرکت ماسه‌های روان، یکی از فرایندهای مهم تخریب سرزمین است و چالشی جدی در ایران محسوب می‌شود. از طرفی مناطق ساحلی، اراضی حساسی است که از دو سو تحت تأثیر اکولوژی دریا و خشکی قرار دارد و از لحاظ تنوع اکوسیستمی نیز منحصر به فرد است؛ بنابراین، آگاهی از وضعیت پدیده فرسایش بادی و میزان فعالیت رسوبات بادی به‌ویژه در لندفرم‌های حساس به این پدیده مخرب زیست محیطی و شناسایی عوامل اقلیمی مؤثر بر آن، می‌تواند گامی مؤثر در کاهش روند بیابان‌زایی و بهبود کیفیت هوا به ویژه در نواحی خشک و نیمه خشک باشد. بدین منظور هدف از این تحقیق، بررسی رژیم بادی منطقه، شرایط اقلیمی و تأثیر آن بر میزان فعالیت تپه‌های ماسه‌ای، تغییرات کاربری اراضی و بررسی اشکال تپه‌های ماسه‌ای در منطقه جاسک است.

۲- منطقه مورد مطالعه

جاسک، یکی از شهرهای استان هرمزگان در جنوب ایران است که در کنار کرانه‌های دریای مکران و شرق تنگه هرمز قرار دارد. منطقه مورد مطالعه با وسعت ۱۶۱۳۶/۲ کیلومترمربع در سواحل دریای عمان واقع شده است. این منطقه از شمال به شهرستان منوجان و میناب، از شرق به چابهار، از غرب به دریای عمان و میناب و از جنوب به دریای عمان محدود می‌شود و از آن جا که سه طرف آن با آب‌های آزاد احاطه شده، به صورت یک شبه جزیره درآمده است. مختصات جغرافیایی آن، $26^{\circ} 57'$ تا $26^{\circ} 56'$ درجه طول شرقی $45^{\circ} 40'$ تا $45^{\circ} 42'$ عرض شمالی و ارتفاع آن از سطح دریا ۴/۸ متر است (Ramesht et al, 2013). این منطقه، آب و هوای گرم و مرطوبی دارد که تحت تأثیر آب و هوای بیابانی و نیمه بیابانی است و بیشترین دمای هوا در تابستان، ۴۱ درجه سانتی گراد و کمترین آن در زمستان به ۱۴ درجه سانتی گراد می‌رسد. اقلیم منطقه به روش‌های آمبروترمیک خشک، آمبروزه گرم شدید، دوما رتن خشک و براساس روش خلیلی، خشک معتدل است.

شمال این شهرستان کوهستانی است؛ رشته کوه‌های بشاگرد غربی، نواحی شمالی این شهرستان را پوشانده که مهم‌ترین قله آن، کوه سیبا است. رودهای فصلی بسیاری از جمله جگین، گابریک، سدیج، تار، بهمدی و جاسک نیز در سطح شهرستان جریان دارد.



۳- مواد و روش

اخذ آمار بلندمدت روزانه عناصر اقلیمی در ایستگاه سینوپتیک جاسک

با توجه به هدف تحقیق، آمار داده‌های باد (فراوانی و جهت)، بارندگی، دما و تعداد روزهای گرد و غبار مربوط به ایستگاه سینوپتیکی واقع در شهرستان جاسک، طی دوره آماری بیست ساله (۱۳۹۹-۱۳۸۰) از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد.

برای تجزیه و تحلیل داده‌های بادسنجی، از نرم‌افزار WR- Plot View 7 استفاده شد. با توجه به اینکه این نرم‌افزار برای اجرای محاسبات آماری باد و رسم گلباد تهیه شده و برای محاسبه و ترسیم گلباد، از روش‌های خاصی استفاده می‌کند؛ از این رو، به منظور خوانا کردن داده‌های بادسنجی ایستگاه سینوپتیک، از نرم‌افزار WD-Convert 2 استفاده شد. سپس با استفاده از این نرم‌افزار، گلبادهای سالانه و فصلی ایستگاه مورد مطالعه ترسیم شد. همچنین با استفاده از قابلیت‌های مذکور نرم‌افزار و با در نظر گرفتن سرعت پایه‌ای برابر با سرعت آستانه فرسایش بادی، گل‌طوفان‌های سالانه و فصلی تهیه شد.

گلماسه، نموداری است که در اثر اجرای عملیات پیچیده جبر برداری و محاسبه مقدار انرژی قابل حمل ماسه توسط باد به دست می‌آید. این نمودار، توان فرسایش بادی و مقدار نسبی حمل ماسه را در جهت‌های مختلف نشان می‌دهد. با استفاده از نرم‌افزار گلماسه نما، از رابطه Lettau و Lettau (1978) استفاده شد و علاوه بر میزان DPt، میزان TSF یا مقدار کل ماسه حمل شده در جهت مختلف — که معمولاً بر حسب Kg/m.year است — بیان شد. بررسی مقادیر DPt در مناطق حساس جهان نشان می‌دهد که حداکثر مقدار DPt، معادل ۸۰۰-۱۰۰۰ واحد برداری در طول سال است.

بنابراین، Fryberger and Dean (1979) با توجه به مقادیر مختلف توان حمل باد، (DPT) قدرت فرسایش و دبی حمل ماسه توسط باد را در ایستگاه‌های مختلف مناطق بیابانی جهان به شرح جدول ۱ کلاسه‌بندی کردند. در این پژوهش نیز با در نظر گرفتن کمترین حد سرعت آستانه فرسایش بادی (۶/۵ متر بر ثانیه در ارتفاع ده متری) (Yamani, 2000 & Ekhtesasi et al, 2006)، گلماسه ایستگاه‌های مذکور تهیه شد. از دیگر شاخص‌های حاصل از ترسیم گل ماسه، شاخص همگنی برای حمل ماسه (UDI^۱) است که بر اساس رابطه ۱ تعریف شده است:

$$\text{رابطه ۱} \quad \text{UDI} = (\text{RDP}/\text{DPT})$$

که در آن، RDP مقدار نهایی حمل ماسه (اندازه بردار نتیجه) و DPT کل توان حمل ماسه است. هر چه این مقدار به عدد یک نزدیک‌تر باشد، میزان ثبات باد در یک جهت خاص و بادهای یک جهتی در منطقه زیادتر می‌شود و می‌توان نتیجه گرفت که تپه‌های ماسه‌ای از نوع بارخان است و برعکس، هر چه مقدار این نسبت به سمت صفر تمایل یابد، فقدان ثبات در جهت باد و بادهای قدرتمند چندجهتی بر منطقه حاکم خواهد شد. در نتیجه، تپه‌ها از نوع تپه‌های ستاره‌ای یا قورد است (Shahriar and Taheri Nejad, 2018 & Ekhtesasi and Dadfar, 2013). ابعاد تپه‌های ماسه‌ای بسیار متغیر است؛ به‌طوری که عرض تپه‌های ماسه‌ای از یک متر تا حدود یک کیلومتر و محدوده ارتفاعی آنها در حدود سی سانتیمتر تا سیصد متر تغییر می‌کند. در شکل‌گیری ابعاد تپه‌ها، عوامل گوناگونی چون نیروی باد و جهت باد دخالت دارد؛ به گونه‌ای که تپه‌های ماسه‌ای خطی در بادهای شدید که از دو جهت می‌وزند (شاخص UDI به صفر نزدیک است)، ابعاد بزرگ‌تری دارند و فاصله آنها از یکدیگر نسبت به بادهایی که از یک جهت می‌وزند (UDI نزدیک به یک)، کمتر است. پس از محاسبه شاخص‌های فوق، به بررسی شکل تپه‌های ماسه‌ای موجود در منطقه پرداخته و انطباق شکل تپه‌های ماسه‌ای با شاخص UDI بررسی شد.

جدول ۱: ارزیابی قابلیت فرسایش بادی براساس محاسبات آماری توان حمل ماسه (فرای برگر، ۱۹۷۹)

قابلیت فرسایش بادی	برآیند برداری / برآیند جبری	برآیند جبری
کم	$\text{UDI} < 0/3$	$\text{DP} < 200$
متوسط	$0/8 < \text{UDI} < 0/3$	$400 < \text{DP} < 200$
زیاد	$\text{UDI} > 0/8$	$\text{DP} > 400$

نقشه کاربری اراضی و نقشه پهنه‌های ماسه‌ای منطقه مورد مطالعه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Google earth و بازدیدهای میدانی تهیه شد (شکل‌های ۸ و ۹).

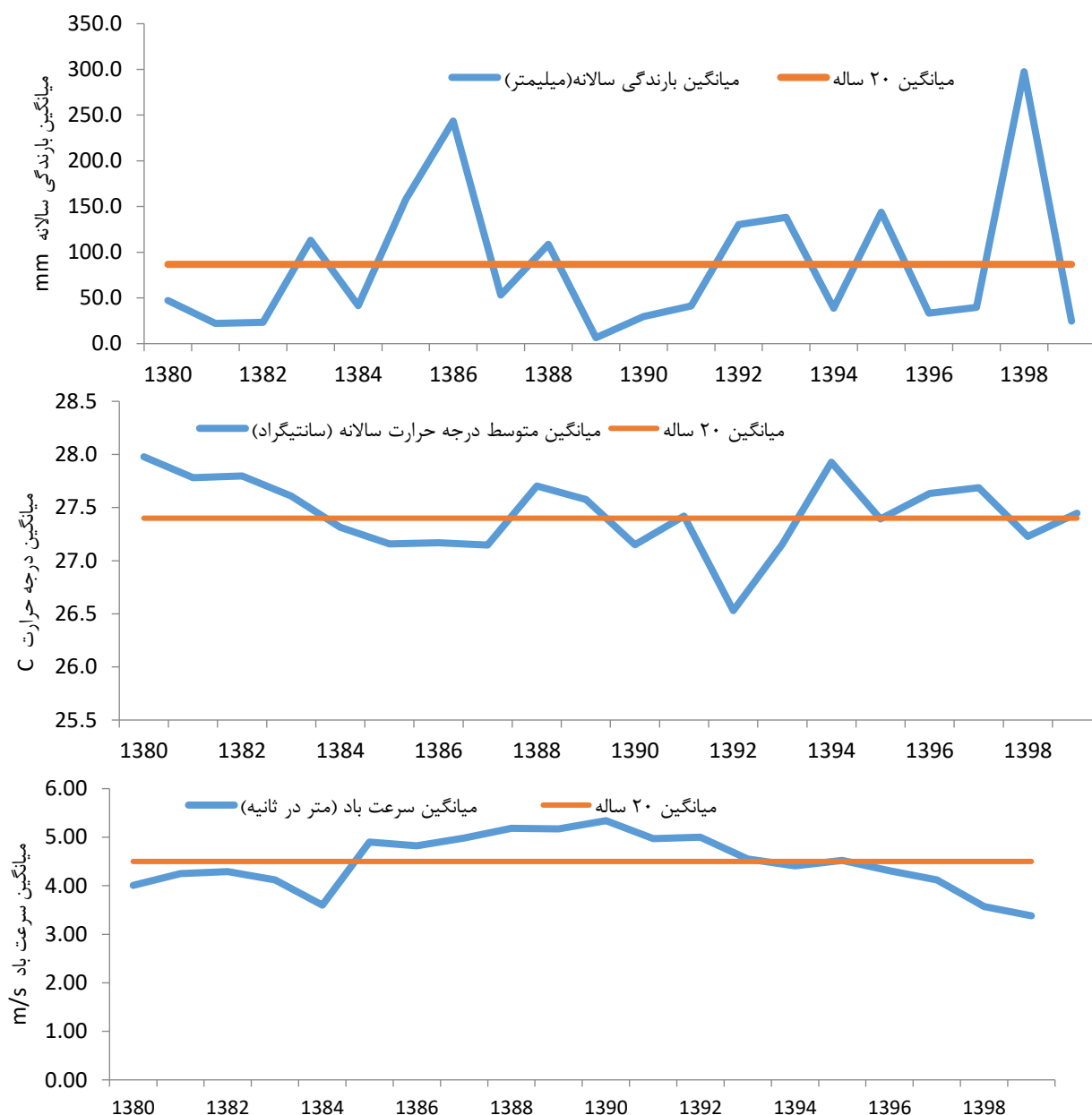
۴- یافته‌ها (نتایج)

تغییرات زمانی ویژگی‌های اقلیمی

روند تغییرات میانگین داده‌های اقلیمی (سرعت باد، میانگین دما و مجموع بارش) در منطقه جاسک در بازه زمانی (۱۳۸۰ - ۱۳۹۹)، در شکل ۲ نشان داده شد. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، تغییرات سالانه قابل ملاحظه‌ای در

¹ Uni Directional Index

بارش، دما و باد سالانه اتفاق افتاده است؛ به طوری که روند بارندگی سالانه، مقدار کاهش قابل ملاحظه‌ای را نشان داده؛ اما روند تغییرات دمای سالیانه قابل ملاحظه نبوده است، ولی تغییرات زمانی سرعت باد روند نسبتاً نزولی به خود گرفته و در سال‌های اخیر، کاهش قابل ملاحظه‌ای داشته است. درصد بادهای آرام در سال‌های آخر مطالعه نیز کاهش محسوسی را نشان می‌دهد.



شکل ۲: تغییرات میانگین بارندگی (الف)، تغییرات میانگین دمای سالانه (ب) و تغییرات میانگین سرعت باد (m/s) (ج) در ایستگاه سنوپتیک جاسک در بازه زمانی ۱۳۸۰-۱۳۹۹

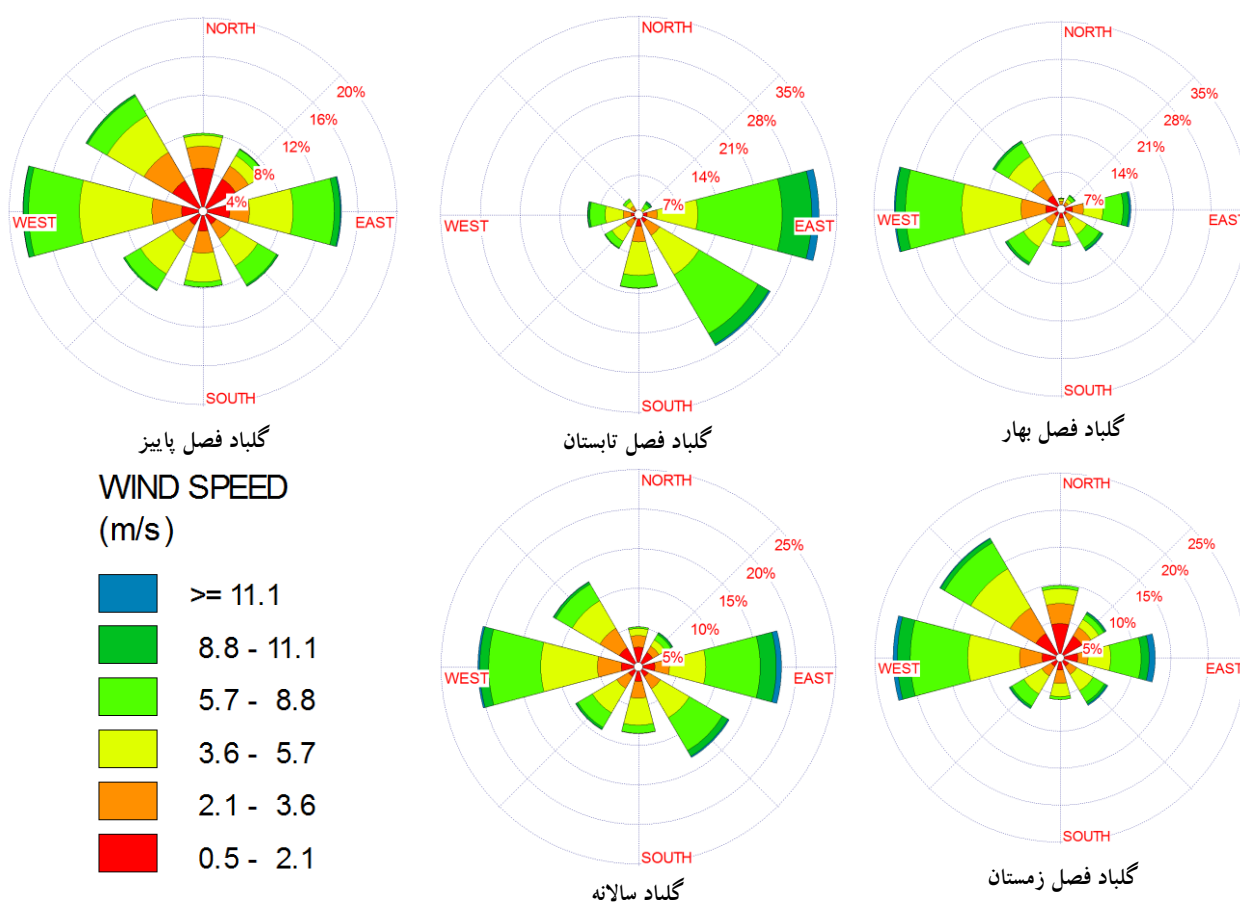
گلبادهای سالانه و فصلی منطقه مورد مطالعه

با توجه به گلباد سالانه ایستگاه جاسک مشاهده شد که ۷/۷٪ از کل ساعات دیده‌بانی سالانه، هوا آرام و بدون جهت ۹۲/۳٪ از بادهای در جهات مختلف و سرعت بیش از ۰/۵ متر بر ثانیه می‌وزد (شکل ۳). جهت باد غالب در تمامی فصول، از غرب و در فصل تابستان از سمت شرق است.

نتایج تجزیه و تحلیل بادهای نشان داد که درصد باد آرام در تیر ماه، کمترین فراوانی را دارد و در آبان ماه، بیشترین فراوانی. در مقیاس فصلی و ماهانه نیز حداکثر سرعت شدیدترین باد منطقه مورد مطالعه در فصل زمستان و در ماه‌های دی تا اسفند بود. همچنین بادهای غربی بیشترین حاکمیت را در منطقه داشت و پس از آن، بادهای شرقی در فصل تابستان بود (جدول ۲).

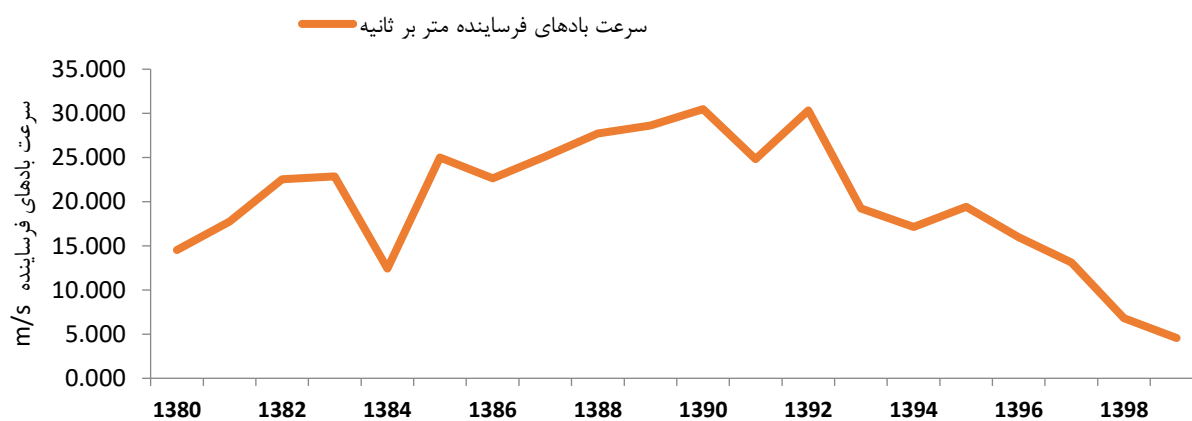
جدول ۲: میانگین ماهیانه پارامترهای باد در ایستگاه سینوپتیک جاسک در بازه زمانی ۱۳۸۰-۱۳۹۹

پارامتر	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	سالانه
متوسط سرعت باد (متر در ثانیه)	۴/۵۳	۴/۳۴	۴/۷۸	۵/۵۶	۵/۶۱	۴/۹۸	۴/۰۱	۳/۴۸	۳/۷۳	۳/۹۵	۴/۳۳	۴/۶۹	۴/۵
درصد باد آرام حداکثر سرعت	۷/۴	۷/۴	۶/۸	۴/۲	۴/۶	۶/۴	۱۱	۱۲/۶	۹/۶	۸/۲	۷/۵	۶/۷	۷/۷
شدیدترین باد (متر در ثانیه)	۱۵	۱۴	۱۵	۱۵	۱۴	۱۳	۱۳	۱۲	۱۳	۱۳	۱۶	۱۶	۱۶
سمت شدیدترین باد	۹۰	۲۷۰	۱۳۰	۱۰۰	۸۰	۹۰	۸۰	۱۰۰	۸۰	۲۸۰	۲۴۰	۱۰۰	۱۰۰
جهت باد غالب	W	W	W	E	E	E	W	W	W	W	W	W	W
میانگین سرعت باد غالب (متر در ثانیه)	۵/۴	۵/۳	۵/۲	۷	۷	۶/۴	۴/۹	۴/۵	۴/۳	۵/۴	۵/۶	۵/۶	۵/۲
درصد فراوانی باد غالب	۳۴/۵	۳۶/۲	۲۲/۸	۲۹/۲	۳۵/۶	۳۰/۶	۲۰	۱۸	۱۸	۱۹/۴	۲۰/۸	۲۶/۹	۲۰/۱



شکل ۳: گلبادهای سالانه و فصلی در ایستگاه سینوپتیک جاسک در بازه زمانی ۱۳۸۰-۱۳۹۹

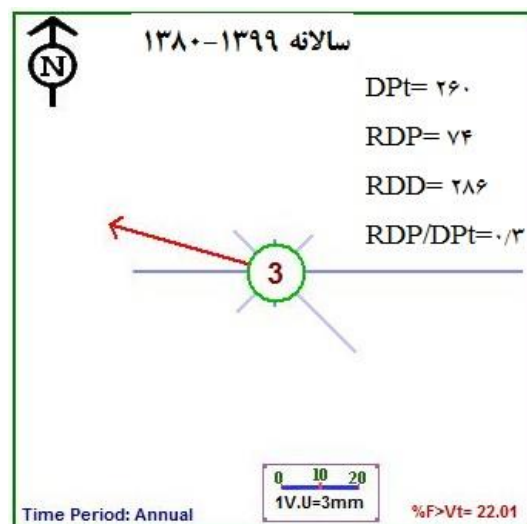
نتایج حاصل از طبقه‌بندی درصد فراوانی سرعت باد نشان داد که حدود هشتاد درصد بادهای با سرعتی کمتر از ۶ m/s، هفده درصد بادهای با سرعتی بین ۶-۱۰ m/s، سه درصد بین ۱۰-۱۵ m/s، ۰/۳ درصد بین ۱۵-۲۰ m/s و صفر درصد با سرعت بیش از ۲۰ m/s وزیده‌اند. روند تغییرات بادهای فرساینده طی دوره آماری مورد مطالعه تا سال ۹۲، روند صعودی و طی سال‌های پایانی، روند کاهشی داشت؛ به طوری که در سال ۱۳۹۹ کمترین فراوانی سرعت بادهای فرساینده مشاهده شد (شکل ۴). بیشترین فراوانی بادهای فرساینده، در فصل تابستان و در مرداد و شهریور و کمترین فراوانی آن نیز در فصل پاییز و در آبان ماه مشاهده شد.



شکل ۴: تغییرات میانگین بادهای فرساینده (بیش از ۶/۵ متر بر ثانیه) در ایستگاه سینوپتیک جاسک در بازه زمانی ۱۳۸۰-۱۳۹۹

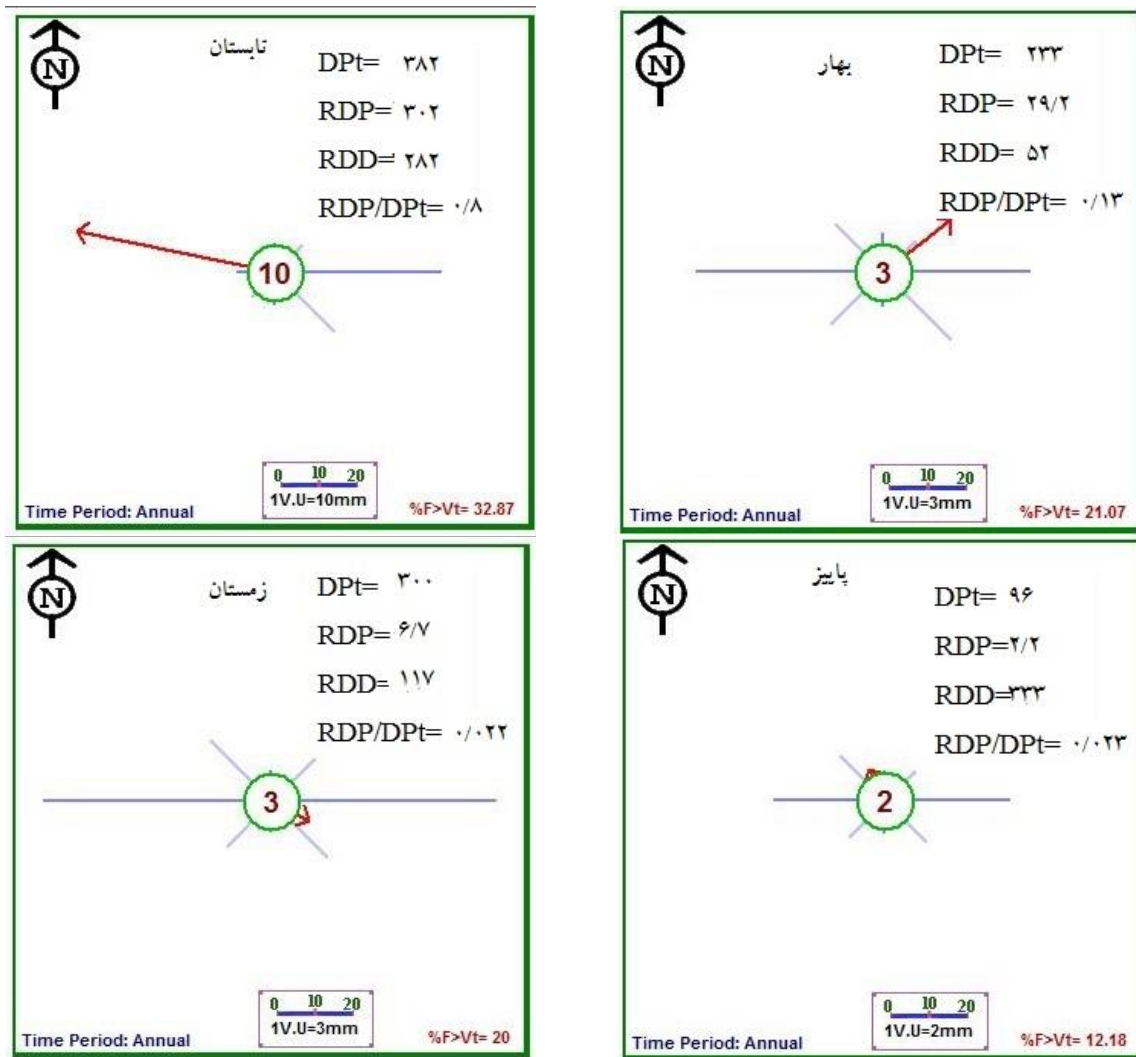
قابلیت حمل ماسه

نتایج حاصل از محاسبه قابلیت حمل ماسه نشان داد که میانگین سالانه DP ، برابر با ۲۵۷ واحد برداری است. جهت حرکت نهایی ماسه با زاویه ۲۸۰ درجه نسبت به شمال است و شاخص UDI (RDP/DP) برابر با ۰/۳ که تغییرپذیری جهات باد کم را نشان می‌دهد. این مقدار تا عدد یک فاصله نسبتاً زیادی دارد؛ به عبارت دیگر به صورت میانگین، منطقه به گونه‌ای نیست که بادهای حاکم بر آن از یک جهت خاص در جریان باشد؛ درحالی که برعکس با صفر فاصله نسبتاً کمتری دارد. نمودار گلماسه نیز نشان داد که رسوبات بادی به سوی شمال‌غربی حرکت می‌کنند (شکل ۵).



شکل ۵: گلماسه سالانه ایستگاه سینوپتیک جاسک در بازه زمانی ۱۳۸۰-۱۳۹۹

گلماسه‌های فصلی نیز نشان داد (شکل ۶) که فصل تابستان دارای بیشترین قابلیت حمل ماسه با ۳۸۲ واحد بردار است و از سوی دیگر، کمترین قابلیت حمل ماسه به فصل پاییز با ۹۶ واحد بردار بازمی‌گردد. جهت بردار برآیند حمل ماسه در فصل بهار در راستای شمال‌شرقی، فصل تابستان و پاییز در راستای شمال‌غربی و فصل زمستان در راستای جنوب‌شرقی است. در مطالعه میزان شاخص همگنی وزش باد در گلماسه‌های فصلی نیز مشخص شد که شاخص همگنی وزش باد در ایستگاه جاسک به استثنای فصل تابستان ($UDI = 0/8$)، در همه فصول سال مقادیر پایینی را از خود نشان می‌دهد. بنابراین در بین فصول سال، فصل زمستان با کمترین مقدار شاخص همگنی وزش باد ($UDI = 0/022$) را نشان داد.



شکل ۶: گلماسه فصلی ایستگاه سینوپتیک جاسک در بازه زمانی ۱۳۸۰-۱۳۹۹

به منظور بررسی دقیق‌تر جهت باد و میزان پایداری آن، لازم شد علاوه بر مطالعه و رسم گلماسه فصلی و سالیانه، شاخص‌های مربوط به باد نیز به صورت ماهیانه بررسی شود (جدول ۳). در زمینه مطالعه تغییر و تحول مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای، بررسی جهت باد و میزان ثبات و تغییرات آن ضروری است. نتایج گلماسه‌های ماهانه نیز نشان داد که ماه آبان دارای بیشترین قابلیت حمل ماسه با $۲۸۵۶/۸$ واحد بردار است و از سوی دیگر، کمترین قابلیت حمل ماسه به ماه مهر با $۱۱۲/۵$ واحد بردار بازمی‌گردد. جهت بردار برآیند حمل ماسه در ماه‌های فروردین تا خرداد (فصل بهار) در راستای شمال‌شرق است و این موضوع، از حاکمیت باد قبله در این سه ماه در منطقه سرچشمه می‌گیرد. در ماه‌های آذر و دی نیز در راستای جنوب‌شرقی و در سایر ماه‌ها در راستای شمال‌غربی است که حاکمیت باد را نشان می‌دهد.

علاوه بر نتایج فصلی حاصل از بررسی و محاسبه UDI، می‌توان این شاخص را به صورت ماهیانه نیز در منطقه مورد مطالعه بررسی کرد. همان‌طور که میزان UDI فصلی نشان داد، کمترین میزان UDI در فصل زمستان مشاهده می‌شود. بررسی ماهیانه این شاخص در ماه‌های زمستان نیز نشان داد که ماه‌های بهمن و اسفند نسبت به ماه‌های فصول دیگر، مقادیر نسبتاً پایینی دارد. در این بین، ماه بهمن $UDI=۰/۰۲$ کمترین مقدار UDI ماهیانه را طی سال به خود اختصاص می‌دهد و به عبارتی، در بهمن ماه به‌ندرت می‌توان یک سمت غالب باد حامل ماسه را جهت باد غالب به شمار آورد؛ به

طوری که طی ماه‌های زمستان و به‌خصوص بهمن، باد از جهات مختلف در منطقه جریان می‌یابد. برعکس، باد حاکم در ایستگاه جاسک در مردادماه با مقدار $UDI = 0/88$ بیشترین میزان ثبات را در جهت باد دارد که عمدتاً به صورت بادهای شمال غربی در منطقه جریان می‌یابد.

بنابراین، رژیم بادی ماهیانه حاکم بر ایستگاه جاسک نشان داد که می‌توان طی ماه‌های مختلف سال، شاهد سلطه بادهای مختلف یک‌جهته، دوجته یا چندجهته بود. بنابراین، با تنوع میزان UDI طی ماه‌ها و فصول مختلف سال، می‌توان شاهد مورفولوژی‌های متنوع تپه‌های ماسه‌ای در جاسک بود؛ به طوری که میزان توسعه هر نوع از این مورفولوژی‌ها طی فصول و ماه‌های مختلف، با تغییر میزان UDI همراه است.

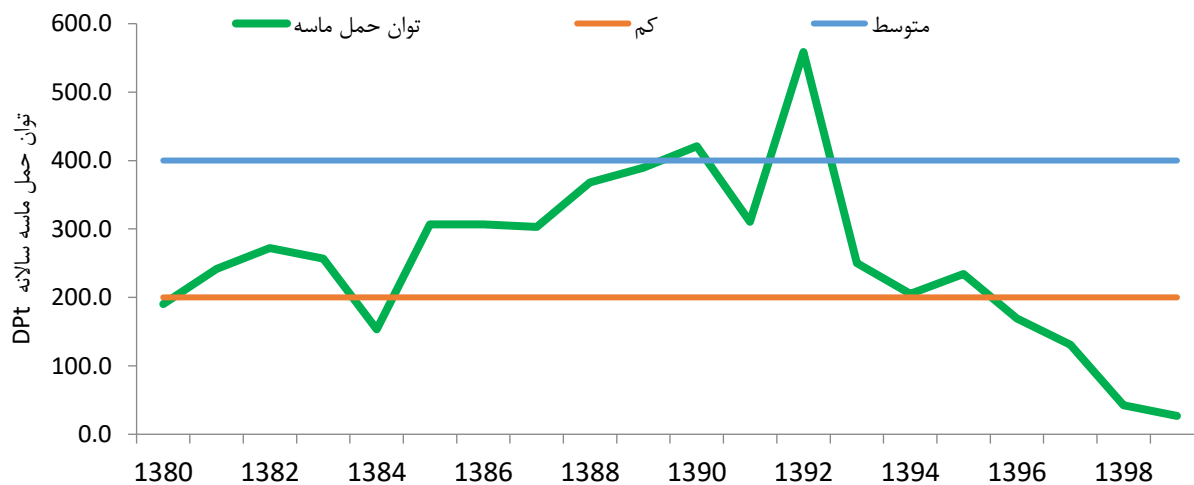
جدول ۳: شاخص‌های اصلی گلماسه ماهانه ایستگاه سینوپتیک جاسک در بازه زمانی ۱۳۸۰-۱۳۹۹

ماهانه	DPt	RDP	RDD	RDP/DPT	Qs	RQs	TSF	DSF
فروردین	۲۴۵/۵	۱۱۳	۸۹	۰/۴۶	۱۶/۶۳	۸/۴	۴۸۵۷۴	۲۴۴۳۵
اردیبهشت	۱۴۳/۴	۹۶/۷	۸۳	۰/۶۸	۱۲/۰۸	۷/۸	۳۵۲۶۰	۲۲۷۸۳
خرداد	۱۴۳/۴	۹۶/۷	۸۳	۰/۶۸	۱۲/۰۸	۷/۸	۳۵۲۶۰	۲۲۷۸۳
تیر	۴۲۹/۹	۲۹۸/۱	۲۸۳	۰/۶۹	۲۹/۵۹	۱۹/۱	۸۶۴۰۵	۵۵۸۳۹
مرداد	۴۲۹/۳	۳۷۶/۲	۲۸۲	۰/۸۸	۲۹/۹۷	۲۵/۴	۸۷۵۰۰	۷۴۲۹۳
شهریور	۲۸۵/۷	۲۲۸/۵	۲۸۱	۰/۸	۲۰/۶۸	۱۶/۱	۶۰۳۹۱	۴۷۱۰۴
مهر	۱۱۲/۵	۳۷/۷	۲۹۲	۰/۳۴	۹/۵۹	۲/۲	۲۸۰۰۱	۶۵۰۵
آبان	۲۸۵۶/۸	۱۳۱۹/۸	۲۹۱	۰/۴۶	۹۷/۷۶	۴۹/۶	۲۸۵۴۵۶	۱۴۴۸۶۰
آذر	۱۱۵/۴	۳۶/۸	۱۱۲	۰/۳۲	۸/۸۴	۳/۱	۲۵۸۱۶	۸۹۸۳
دی	۱۶۹/۲	۵۸/۲	۱۰۲	۰/۳۴	۱۱/۹۵	۴/۳	۳۴۸۸۰	۱۲۶۲۵
بهمن	۳۳۴/۳	۶/۴	۳۲۱	۰/۰۲	۱۸/۷۷	۱/۲	۵۴۷۹۵	۳۳۵۵
اسفند	۳۹۴/۶	۳۵/۱	۲۶۷	۰/۰۹	۲۲/۴	۱/۳	۶۵۴۰۹	۳۸۹۴
میانگین	۴۷۱/۷	۲۲۵/۳	۲۰۷/۲	۰/۴۸	۲۴/۲	۱۲/۲	۷۰۶۴۶	۳۵۶۲۲
مینیمم	۱۱۳	۶	۸۳	۰/۰۲	۸/۸۴	۱/۱۵	۲۵۸۱۶	۳۳۵۵
ماکزیمم	۲۸۵۷	۱۳۲۰	۳۲۱	۰/۸۸	۹۷/۷۶	۴۹/۶	۲۸۵۴۵۶	۱۴۴۸۶۰
انحراف معیار	۸۸۲	۴۰۴	۱۰۳	۰/۲	۲۷/۹۴	۱۴/۹	۸۱۵۷۹	۴۳۵۰۴

روند تغییرات پتانسل حمل ماسه نیز نشان داد که روند انرژی باد در ایستگاه جاسک که در بیشتر سال‌ها دارای قابلیت حمل رسوبات بادی در کلاس متوسط بود ($200 < DP < 400$)، در سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ کاهش قابل ملاحظه‌ای یافت؛ به طوری که قابلیت حمل در کلاس کم ($200 <$) قرار گرفت (شکل ۷). بیشترین قابلیت حمل ماسه نیز در سال ۱۳۹۲ و کمترین آن در سال ۱۳۹۹ دیده شد.

با توجه به اینکه هر واحد بردار می‌تواند توانایی حمل $0/7$ مترمکعب ماسه را در عرض یک متر از زمین داشته باشد (Dean and Fryberger, 1979)، با در نظر گرفتن میانگین 257 واحد برداری برای جاسک، قابلیت میزان ماسه — که سالانه می‌تواند جابه‌جا شود — حدود هیجده مترمکعب در واحد عرض برآورد شد. ذکر این امر لازم است که کمترین

دبی حمل ماسه در سال ۱۳۹۹ حدود ۱/۹ مترمکعب در واحد عرض و بیشترین نیز در سال ۱۳۹۲ حدود ۳۹/۱ مترمکعب در واحد عرض بود.



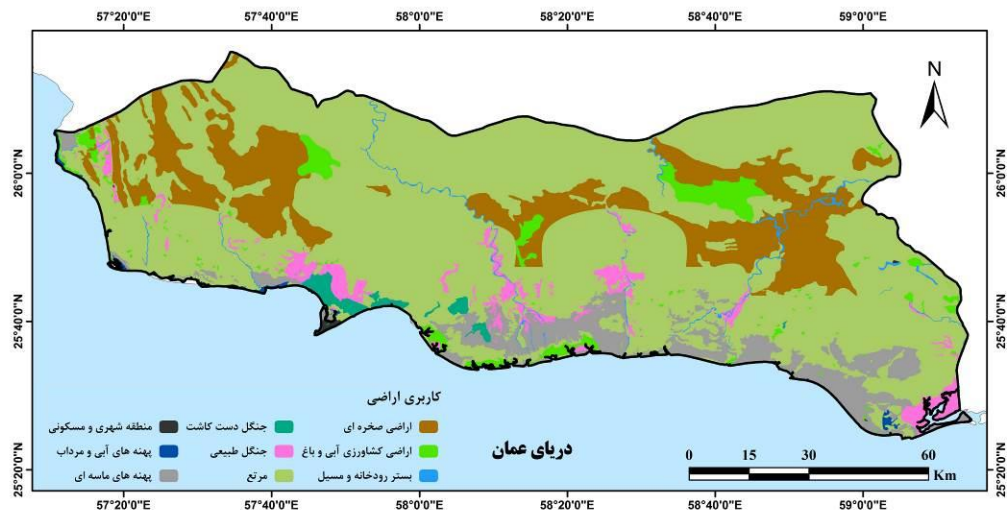
شکل ۷: روند تغییرات قابلیت حمل ماسه در ایستگاه سینوپتیک جاسک در بازه زمانی ۱۳۸۰-۱۳۹۹

کاربری اراضی

با بررسی‌های انجام شده، کاربری فعلی اراضی به شرح جدول ۴ است. بیشترین مساحت منطقه را مرتع در بر گرفته است. همچنین پهنه‌های ماسه‌ای حدود ۷/۵٪ منطقه را تحت پوشش قرار می‌دهد که عمدتاً در قسمت جنوب و جنوب شرقی قرار گرفته است. شکل ۸، نقشه کاربری اراضی محدوده مطالعاتی را نشان می‌دهد.

جدول ۴: مساحت کاربری‌های اراضی

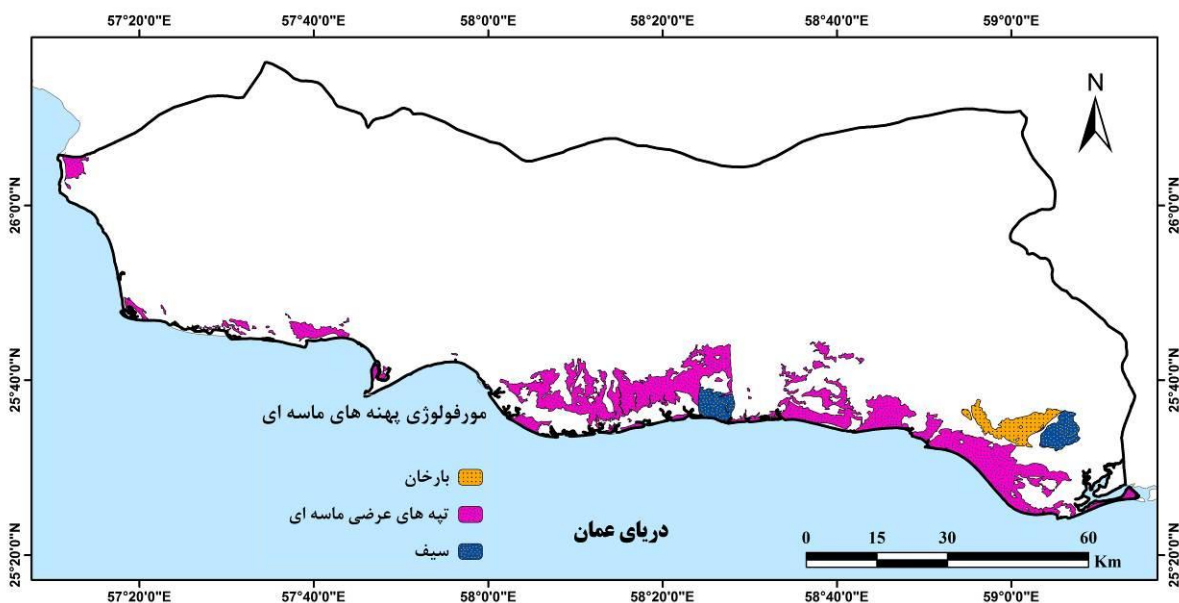
کاربری	مساحت	درصد
اراضی صخره‌ای	۱۸۰۶۳۵	۱۶/۱۴
پهنه‌های ماسه‌ای	۸۳۸۲۶	۷/۴۹
اراضی کشاورزی آبی و باغ	۳۷۲۱۸	۳/۳۳
بستر رودخانه و مسیل	۹۳۶۳	۰/۸۴
جنگل دست کاشت	۱۰۲۶۹	۰/۹۲
جنگل طبیعی	۳۸۰۶۶	۳/۴
مرتع	۷۵۵۱۴۶	۶۷/۴۹
منطقه شهری و مسکونی	۱۱۰۱	۰/۱۰
پهنه‌های آبی و مرداب	۳۳۱۱	۰/۳۰
جمع کل مساحت	۱۱۱۸۹۳۳	۱۰۰



شکل ۸: نقشه کاربری اراضی جاسک

اشکال تپه‌های ماسه بادی

اشکال تراکمی باد در منطقه مورد مطالعه، عموماً به صورت پهنه‌های ماسه‌ای است. ضخامت پهنه‌های ماسه‌ای، متغیر و از ده تا سی سانتی‌متر است. وجود ماسه‌های درشت، فقدان ساختمان، لایه‌بندی ضعیف بدون زاویه و سطوح هموار، از دیگر ویژگی‌های پهنه‌های ماسه‌ای است (Gutierrez et al, 2005). نتایج حاصل از تفسیر عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای میدانی، وجود تپه‌های ماسه‌ای از نوع سیف، بارخان‌ها و تپه‌های عرضی کوچک را که ارتفاعی کمتر از دو متر دارند، نشان داده است. این اشکال، نتیجه بادهای دوجبهه‌ای است که از یک قطاع می‌وزند و به صورت پراکنده و در وسعت‌های محدودی تشکیل و توسعه یافته‌است (شکل ۹). بیشترین مساحت پهنه‌های ماسه‌ای شامل تپه‌های عرضی ۶۹۳۱۰ هکتار، سپس سیف ۷۹۳۸ هکتار و کمترین مساحت مربوط به بارخان با مساحت ۵۶۷۷ هکتار است. در مجموع، کم بودن بارش، سست و دانه‌ریز بودن رسوبات، شیب کم، فقدان موانع ارتفاعی و درصد بالای وزش بادهای بیش از آستانه در این منطقه، زمینه حرکت ماسه‌ها را فراهم کرده‌است.



شکل ۹: اشکال تپه‌های ماسه بادی

۵- بحث و نتیجه‌گیری

تفسیر نتایج به دست آمده از شکل گلماسه‌ها و تپه‌های ماسه‌ای در بخش وسیعی از سواحل جنوبی ایران نشان داد که بادهای بخش جنوبی (جنوب غربی تا جنوب شرقی) که به طور عمده منشأ ناحیه‌ای دارند، با عبور از دریا و ساحل گرم و خشک (شرایط آتاباتیک) تا حدی تقویت می‌شوند و فرسایش خاک و حمل ماسه از سواحل پست به سمت دشت‌ها و کوهپایه‌ها را در پی دارند. این دسته از بادهای نسبت به بادهای خشکی به دریا (شرایط کاتاباتیک) — که گاهی فراوانی بیشتری دارند — در انتقال ماسه و شکل‌دهی تپه‌های ماسه‌ای نقش بیشتری ایفا می‌کنند. Zareian Jahromi (2008) در پژوهش خود به نقش بادهای جنوب غربی در شکل‌گیری تپه‌های ماسه‌ای اشاره کرده‌است.

نتایج حاصل از طبقه‌بندی درصد فراوانی سرعت باد نشان داد که حدود هشتاد درصد بادهای سرعتی کمتر از 6 m/s و بیست درصد سرعتی بیش از 6 m/s دارند. توزیع ماهانه سرعت بادهای با سرعت کمتر از حد آستانه حاکی از آن است که بیشترین وقایع بادهای فرساینده در فصل تابستان و در مرداد و شهریور ماه و کمترین فراوانی در فصل پاییز و در آبان‌ماه مشاهده می‌شود. نتایج این بخش پژوهش با نتایج بررسی پیشین Omidvar and Nekoonam (2012) و Naeimi و همکاران (2021) مطابقت دارد. جهت باد غالب در طول سال و تمام فصول به غیر از تابستان، از سمت غرب است. با توجه به مطالعات پیشین (Ekhtesasi and Dadfar, 2013) این دیاگرام، طبقه‌بندی و توزیع سمت و سرعت بادهای همراه با گرد و غبار را در ایستگاه هواشناسی منطقه مورد مطالعه در دوره آماری مورد نظر مشخص می‌کند.

به دلیل نقشی که جهت باد در نوع مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای دارد، شاخص RDD و UDI (شاخص همگنی جهت وزش باد که محاسبه آن نیازمند برآورد مقادیر DP و RDP است) اهمیتی ویژه دارد؛ به طوری که از نسبت UDI می‌توان به عنوان یک شاخص کلیدی مناسب برای تفسیر مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای استفاده کرد (Zhang et al, 2015).

مقدار بردار توان حمل ماسه بر اساس سرعت آستانه $6/5\text{ m/s}$ در حدود ۲۵۷ واحد برداری است که از طرف جنوب شرقی (اراضی ساحل دریا) به شمال غربی (اراضی ساحل دریا) در حرکت است و جهت انتقال اغلب ماسه‌ها را از عرصه‌های نسبتاً خشک و شور ساحلی (سبخاهای ساحلی) به سمت دشت‌های دامنه‌ای و اراضی کوهستانی در امتداد سواحل جنوبی ایران نشان می‌دهد. گاهی این پدیده به مدفون شدن جاده‌های اصلی و فرعی یا روستاها و آبادی‌ها در زیر خروارها ماسه بادی منجر می‌شود و با مطالعه Ekhtesasi and Dadfar (2013) در تحلیل فرسایش بادی و تعیین جهت حرکت ماسه‌های روان منطقه مطابقت دارد. نسبت برآیند برداری به برآیند جبری سالانه (UDI) این ایستگاه، $0/3$ است که بیانگر بادهای چند جهته مرکب با زاویه تند تغییرپذیری جهات باد در سطح کم است. در نتیجه، براساس مدل گرافیکی Wasson and Hyde (1983)، انتظار حضور تپه‌های ماسه‌ای طولی در منطقه بیشتر است. نتایج حاصل از تفسیر عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای میدانی از تپه‌های ماسه‌ای مناطق جنوبی ایران نیز بیانگر وجود تپه‌های ماسه‌ای از نوع تپه‌های طولی، سیف یا سیلک‌های دندان‌های کشیده حاصل از بادهای دوجته‌ای است که از یک قطاع می‌وزند. در سواحل جنوبی ایران، اغلب بادهای اصلی از جهت جنوب غرب و بادهای فرعی از جنوب شرق با منشأ ساحل به دریا در شکل‌گیری تپه‌های ماسه‌ای مؤثر است.

مقدار DPt در تمام فصل‌های منطقه مورد مطالعه به غیر از پاییز نیز بین ۲۰۰-۴۰۰ است که این امر، قدرت فرسایشی متوسط را نشان می‌دهد که با مطالعه Zu و همکاران (2008) در بررسی خصوصیات رژیم‌های بادی در بیابان تاکلامکان چین مطابقت دارد. پرتوان‌ترین بادهای منطقه مطالعاتی در فصل‌های تابستان و کم‌توان‌ترین آنها در فصل پاییز می‌وزد. روند تغییرات پتانسل حمل ماسه نیز نشان داد که روند انرژی باد در ایستگاه جاسک که در بیشتر سال‌ها دارای قابلیت حمل رسوبات بادی در کلاس متوسط بود ($200 < DP < 400$)، در سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ کاهش قابل ملاحظه‌ای داشت. بیشترین قابلیت حمل ماسه نیز در سال ۱۳۹۲ و کمترین آن در سال ۱۳۹۹ دیده شد. همچنین در ایستگاه مورد بررسی، نسبت RDP/ DP تقریباً در کلیه فصول و طول سال دارای دامنه تغییرات بین ۰/۲۲ تا ۰/۸ بود. Fryberger (1984) و Wasson and Hyde (1993) نیز در پژوهش‌های خود بیان کردند در شرایطی که مقدار عددی UDI کمتر از ۰/۵ باشد، امکان شکل‌گیری تپه‌های طولی زیاد می‌شود.

این شاخص، بیانگر تغییرپذیری جهات باد از کم تا زیاد و منطقه شامل بادهای یک جهته، بادهای دو جهته با زاویه منفرد و بادهای چند جهته مرکب با زاویه تند است. جهت بردار برآیند توان حمل ماسه (RDD) در منطقه مورد مطالعه نیز نشان داد که رسوبات ماسه‌ای در فصول مختلف در جهتهای مختلفی حرکت می‌کنند.

همچنین این منطقه جزء زون مکران است که شامل کوه‌های شرقی — غربی است که از سواحل دریای عمان تا فروافتادگی جازموریان امتداد دارد. مرز غربی این کوه‌ها توسط خط عمان گسل میناب، از زون برخوردی زاگرس جدا می‌شود و در شرق پس از گذر از بلوچستان پاکستان به گسل اورناچ نال می‌رسد (Aghanabati, 2005). Kocurek and Nielson (1986) نشان دادند که پهنه‌های ماسه‌ای در اثر یک یا چند عامل از پنج فاکتور می‌توانند شکل بگیرند: وجود آب در نزدیکی سطح زمین، گیر کردن دانه‌های ماسه به بستر، سیلاب‌های دوره‌ای، نسبت زیاد دانه‌های درشت ماسه و پوشش گیاهی. بنابراین به نظر می‌رسد وجود آبراهه‌های فعال، در شکل‌گیری پهنه‌های ماسه‌ای بیشترین نقش را داشته باشد. در سواحل جنوبی ایران نیز اغلب بادهای اصلی از جهت جنوب‌غرب و بادهای فرعی از جنوب‌شرق با منشأ ساحل به دریا، در شکل‌گیری تپه‌های ماسه‌ای مؤثر است. این تپه، ماهیت تغییرپذیر دارد و شاهد تحولات زیادی شامل تشکیل تپه‌های جدید، تبدیل آنها به یکدیگر، فرسایش و حمل رسوبات بوده است. در مجموع، کم بودن بارش، سست و دانه‌ریز بودن رسوبات، شیب کم، فقدان موانع ارتفاعی و درصد بالای وزش بادهای بیش از آستانه در این منطقه، زمینه حرکت ماسه‌ها را فراهم کرده است.

مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای تا حدود زیادی به نوع رژیم بادی حاکم بر آن منطقه و میزان تغییر جهت بادهای حاکم بر آن وابسته است؛ به طوری که جهت دامنه تپه‌های ماسه‌ای و مورفولوژی آنها می‌تواند رژیم بادی منطقه را نشان دهد (Ashtari Mehrjerdi, 2001). در مناطق بادهای یک‌جهته، تپه‌های ماسه‌ای از گروه تپه‌های هلالی و میدان‌های برخانی شکل می‌گیرد و در مناطق بادهای دوجته و چندجهته، به ترتیب می‌توان شاهد تپه‌های ماسه‌ای به صورت سیف و هرم‌های ماسه‌ای بود (Mahmoudi, 2010). تپه‌های ماسه‌ای در این منطقه از نوع تپه‌های عرضی، بارخان و سیف است که از بادهای دوجته شکل می‌گیرد. براساس مطالعه Ramesht و همکاران (2013)، مساحت پهنه‌های ماسه‌ای در سال ۱۳۶۳ برابر با ۶۲/۰۶۴، در سال ۱۳۸۳ برابر با ۷۲/۲۶۰ و در پژوهش اجرا شده برابر با ۸۲/۹۲۵ کیلومتر مربع است که رشدی معادل ۱۰/۶۶ کیلومتر مربع را نشان می‌دهد.

منابع

1. Abassi, H. R.; Kashki, M.; Rahdari, M. R.; Gohardoust, A.; & S. Lotfi Nasab Asl, 2020. The Features of Wind's Regime and Sand Transport Potential in Sarakhs Erg, *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 27(2), 372-384. (in Persian)
2. Abbasi, H. R.; Opp, Ch.; Groll, M.; & A. Gohardoust, 2019. Wind regime and sand transport in the Sistan and Registan regions (Iran/Afghanistan), *Zeitschrift für Geomorphologie*, Supplementary Issues Volume 62 Supplementary Issue 1, 41 – 57.
3. Abbasidenjad, A., & S. Zahab Nouri., (2012). Identify the forms of wind erosion of Rafsanjan plain. *quantitative geomorphologic research*. 1(2), 127-144. (in Persian)
4. Aghanabati, A., 2005. Geology of Iran, Publications of the Geological Survey Mineral exploration of Iran. (in Persian)
5. Arabameri, A. R., & A. H. Halabian, (2018). Analyzing Nebka Morphometric Parameters and Introducing the Most Appropriate Type for Sand Dune Stabilization, using ELECTRE Algorithm (Case Study: Chah Jam Erg). *Geography and Environmental Planning*. 2(66), 93-108. (in Persian)
6. Ashkenazy, Y.; Yizhaq, H.; & H. Tsoar, 2012. Sand dune mobility under climate change in the Kalahari and Australian Deserts. *Climatic Change*. 112(3), 1-23.
7. Ashkenazy, Y.; Yizhaq, H.; & H. Tsoar, 2012. Sand dune mobility under climate change in the Kalahari and Australian deserts. *Climate Change*. 112, 901-923.
8. Ashtari Mehrjerdi, A., 2001. The Origin of Mineral Sands in Ardestan Region, M.Sc. Thesis, Isfahan University of Technology. (in Persian)
9. Bing, L. Z.; Wenzhi, Y.; & A. Rong, 2008. Characteristics and spatial heterogeneity of Tamarix ramosissima Nebkhas in desert-oasis ecotones, *Journal of Acta Ecologica Sinica*, 28(4), 1446-1455.
10. Dong, Z.; Qian, G.; Lv, P.; & G. HU, 2013. Investigation of the sand sea with the tallest dunes on Earth: China's Badain Jaran Sand Sea, *Earth-Science Reviews*, 120, 20-39.
11. Ekhtesasi, M. R., & S. Dadfar., (2013). Investigation of the relationship between hurricanes on the southern coasts of Iran and the morphology of sand dunes. *Natural Geography Research*. 45(4), 72-61. (in Persian)
12. Ekhtesasi, M. R.; Saremi naeini, M. A.; & A. Saremi. Naeini, 2005. Software design Sand Rose (Sand rose graph 2.0) processor, Soil erosion and sediment transport wind, The first national conference on wind erosion, Iran, Yazd. 9p. (in Persian)
13. 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.
14. Fryberger, S. G., & G. Dean., (1979). Dune form Sand Wind regime. United States Geological Survey. In: Professional Paper, p. 137-140.
15. Fryberger, S. G., 1984. Dune forms and wind Regimes, in E.D. McKee (ed), A Study of Global Sand Seas, 137-140, United States Geological Survey, Professional Paper.
16. Gutierrez – Elorza, M., & others, 2005, Origin and evolution of playa and blowouts in the semiarid zone of Tierra de Pinares (Spain), *Journal of geomorphology*, 72.
17. Heydari Nasab, M.; Karam, A.; Negaresh, H.; & A. Pahlavanravi, 2018. Hazards Analysis of Displacement of Sand Dunes in Sistan Plain, *Arid Regions Geographic Studies*, 9(34), 59-75. (in Persian)
18. Kocurek, G., & J. Nielson., (1986). Conditions favorable for the formation of warm - climate aeolian sand sheets. *Journal of Sedimentology*. 33(6), 795-816.
19. Lettau, K., & H. H. Lettau., (1978). Experimental and micrometeorological field studies of dune migration. In Exploring the World's Driest Climates, Institute of Environmental Science Report 101, Lettau HH, Lettau K. (eds). University of Wisconsin, Madison; 110-14.

20. Livingstone, I.; Bristow, C.; Bryant, R. G.; Bullard, J.; White, K.; Wiggs, G. F. S.; Baas, A. C. W.; Bateman, M. D.; & D. S. G. Thomas, 2010. The Namib Sand Sea Digital Database of aeolian dunes and key forcing variables, *Aeolian Research*, 2, 93-104.
21. Mahmoudi, F., 2010. Dynamic Geomorphology, Tehran, Payame Noor Publications. (in Persian)
22. Naeimi, M.; Zandifar, S.; Khosroshahi, M.; Ashouri, P.; & H. R. Abbasi, 2021. Investigating the Effects of Climate Change on the Mobility of Sand Dunes (Case study: Sabzevar City), *Desert Management*, 9(2), 1-18. (in Persian)
23. Nazari Samani, A. K.; Rahdari, M. R.; & Gh. R. Rahi, 2021. Assessment of Spatial variabilities of Soil Erodibility by Wind on Margial lands of the Lake Urmia, *Desert Management*. 15(1), 53-72. (in Persian)
24. Poormand, S.; Gholamalizade Ahangar, A.; & A. Dehviri, 2015. Sand Drift Potential by Wind in Shileh Plain of Sistan, *Journal of Water and Soil*, 29(1), 139-150. (in Persian)
25. Omidvar, K., & Z. Nekoonam., (2012). Application of wind rose and dust in analyzing the dust phenomenon and determining the seasonal wind regime associated with this phenomenon (Case study: Sabzevar city). *Natural Geography Research*. 76, 104-85. (in Persian)
26. Raffaele, L.; Bruno, L.; Pellerrey, F.; & L. Preziosic, 2016. Windblown sand saltation: A statistical approach to fluid threshold shear velocity, *Aeolian Research*, 23, 79-91.
27. Rahdari, M. R., 2019. Modeling of Sand Deposition Potential in Railway Lines, PhD Thesis in Natural Resources Engineering - Desertification, University of Tehran (in Persian)
28. Rahdari, M. R., & A. Rodríguez-Seijo., (2021). Monitoring Sand Drift Potential and Sand Dune Mobility over the Last Three Decades (Khartouran Erg, Sabzevar, NE Iran), sustainability, 2021, 13, and 9050. <https://doi.org/10.3390/su13169050>
29. Ramesht, M. H.; Seif, A.; & Sh. Mahmoudi, 2013. Investigation of the extent of sand dunes east of Jask in the period (1369-1383) using GIS and RS, *Geography and Development*, 31(2), 121-135. (in Persian)
30. Sadeghi, M.; Karimi Ahmadabad, M.; Ekhtesasi, M. R.; & M. R. Rajabi, 2015. Impact of erosive winds on morphology of sand dunes in Semnan Plain, *Journal of Watershed Engineering and Management*, 7(1), 53-63. (in Persian)
31. Sharifi Paichoon, M.; Omidvar, K.; & Z. Miri, 2020. Morphological study of the sand dunes in Zarrin Erg and its adaptation to the regional wind data, *The Journal of Geographical Research on Desert Areas*, 8(1), 1-22. (in Persian)
32. Shahriar, A., & K. Taherinejad., (2018). The Role of Wind Direction and Unidirectional Index in the Time Development and Determining the Sand Dunes Morphology (Case Study: Sadegh Abad Erg-Bafq). *Quaternary journal of Iran*. 4(2), 201-214. (in Persian)
33. Sharifi, M., 2019. Expansion and Contraction of Iranian Ergs (Case Study: Rig Zarrin in Central Iran), *Journal of Geography and Environmental Planning*, 30(1), 127-150. (in Persian)
34. Wasson, R. J., & R. Hyde., (1983), Factors Determining Desert Dune Type. *Nature*. 304, 337-339.
35. Zareian Jahromi, M., 2008. Morphodynamic study of sand dunes in southern Iran (Case study: Sedij Jask area), M.Sc. Thesis, University of Tehran, Faculty of Natural Resources.
36. Zhang, Z.; Dong, Z.; & C. Li, 2015. Wind regime and sand transport in China's Badain Jaran Desert, *Journal of Aeolian Research*, 17, 1-13.
37. 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, 39-4.
38. Yamani, M., & A. Gourabi., (2011). The role of urban management in achieving sustainable development of urban tourism in the city of Kermanshah. *Arid Regions Geographic Studies*. 1 (4). (in Persian)

39. Yarahmadi, D.; Nasiri, B.; Khoshkish, A.; & H. Nikbakht, 2015. Climatic fluctuations and dusty days in the west and southwest of Iran, *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 3(5), 19-28. (in Persian)
40. Vali, A., & F. Roustaei., (2018). Investigation of the Wind Erosion Trend in Central Iran using Dust Storm Index in the Last Fifty Years. *Journal of Water and Soil Sciences*. 21(4), 189-200. (in Persian)

Characteristics of Wind Regime and Sand Transport Potential in Coastal Hills (Case Study: Jask)

Behrouz Akbarpoor Bonab: *Hydro-Climate Expert, Aquifer Consulting Engineers Company, Tehran, Iran.*

Mahin Hanifehpour: *Ph.D. in Combat to Desertification, Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran.*

Leila Biabani: *Ph.D. Student in Desert Management and Control, Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran.*

Hassan Khosravi¹: *Associate Professor, Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran.*

Article History (Received: 2022/03/5

Accepted: 2022/04/26)



20.1001.1.22517812.1401.12.3.9.8

Extended abstract

1- Introduction

One of the most important natural processes in arid regions is semi-arid wind erosion. Sand dunes are one of the most important facies of wind erosion. Sand dunes in the field of wind process are among the most dynamic geomorphic features of the earth's surface, which, on the one hand, are affected by the characteristics of speed, direction, wind frequency and, on the other hand, are affected by the characteristics of the earth's surface and sedimentary materials. Probability-based wind prediction for sand transport phenomena is a key element for human activities in arid regions. Wind erosion and movement of quick sands, which is considered as one of the important processes of land degradation and a serious challenge in Iran, occurs due to the interaction between climatic and terrestrial processes. The phenomenon of dust and the movement of quick sands is considered one of the important processes of land degradation and a serious challenge in Iran, and on the other hand, coastal areas are sensitive lands that have been affected by both sea and land ecology. They are also unique in terms of ecosystem diversity. Therefore, knowing the status of wind erosion and the activity of wind sediments, especially in landforms sensitive to this destructive environmental phenomenon, as well as identifying climatic factors affecting it can be an effective step in reducing desertification and improving air quality, especially in arid and semi-arid areas.

2- Methodology

According to the purpose of the study, data on wind (frequency and direction), rainfall, temperature and number of dust days related to the synoptic station located in Jask city during a 20-year statistical period (2001-2021) were obtained from the Meteorological Organization. WR-Plot View 7 software was used to analyze the anemometer data. Also, using the mentioned capabilities of the software and considering the basic speed equal to the threshold speed of wind erosion, annual and seasonal storm rose were prepared. Land use maps and sand maps of the study area were prepared using aerial photographs, Google Earth satellite images and field visits.

3- Results

Statistical analysis of climatic data in Jask region during the period (2001-2021) showed that significant annual changes in annual rainfall, temperature and wind occurred, so that the annual rainfall trend decreased significantly. The trend of annual temperature changes has not been significant, but the temporal changes of wind have taken a relatively downward trend and have shown a significant decrease in recent years. According to the annual windfall of Jask station, it was observed that 7.7% of

¹ Corresponding Author: hakhosravi@ut.ac.ir

the total annual observation hours, the air is calm and without direction, 3.92% of the winds blow in different directions and the speed is more than 0.5 m/s. The prevailing wind direction is from the west in all seasons and from the east in summer. The results of classifying the percentage of wind speed frequency showed that about 80% of winds have a speed of less than 6 m/s. The trend of changes in erosive winds during the statistical period under study has an upward trend until 2014 and in recent years has a decreasing trend so that in 2021 the lowest frequency of erosive winds was observed. The results of the portability calculation showed that the annual average of DP is 257 units. The final direction of movement of the sand is at an angle of 280 degrees to the north and the UDI index (RDP / DP) is 0.3, which indicates the variability of low wind directions. The Golmaseh diagram also showed that the wind sediments were moving to the northwest. The highest sand carrying capacity was seen in 2014 and the lowest in 2021. Considering the average of 257 vector units for Jask, the capacity of the amount of sand that can be moved annually is estimated to be about 18 cubic meters per unit width. In terms of land use, most of the area covers the rangeland. Also, sand zones cover about 5.7% of the area, which is mainly located in the south and southeast. The results of the interpretation of aerial photographs, satellite images, as well as field visits to the sand dunes of the southern regions of Iran, indicate the existence of sand dunes of the type of transverse hills, Barkhan and Seif, which are the result of two-way winds from one sector is blowing.

4- Discussion & Conclusions

80% of winds have a speed of less than 6m/s, 20% of winds have a speed of more than 6 m/s. The monthly distribution of wind speeds below the threshold indicates that the highest number of erosive winds was observed in summer and the lowest frequency was observed in autumn. The wind direction is dominant throughout the year and all seasons except summer from the west. The amount of sand carrying capacity based on the threshold speed of 6.5 m/s is about 257 vector units moving from the southeast (coastal lands) to the northwest (coastal lands), which indicates that the direction of transfer of most sands from relatively arid and saline coastal areas (coastal grasses) are towards the plains and mountainous lands along the southern coasts of Iran. The ratio of vector to annual algebraic output (UDI) of this station is 0.3, which indicates composite multi-directional winds with sharp angles of variability of wind directions at low levels. Existence of sand dunes of longitudinal hills, seifs and silks is the result of two-way winds blowing from one segment. In the southern coasts of Iran, most of the main winds from the southwest and sub-southeast winds from the coast to the sea are effective in the formation of sand dunes. The strongest winds of the study area blow in summer and the weakest in autumn. The trend of changes in sand transport potential also showed the trend of wind energy in Jask station, which for most years has the ability to carry wind sediments in the middle class ($DP > 200 > 400$), but a significant decrease was seen in 2018 to 2021; the highest sand carrying capacity was seen in 2014 and lowest in 2021. Also in the study station, the RDP/DP ratio has a range of changes between 0.022 to 0.8 in almost all seasons and throughout the year. The area of sandy regions has increased from 72.260 to 82.925 km² between 2013 and 2021, which shows an increase of 10.66 m².

Key Words: Wind energy, Coastal hills, Jask, Wind rose, Sand rose