

کانون‌های فرسایش بادی در سطح دشت‌های کم پوشش عامل مؤثری بر ازدیاد غبارخیزی در استان بوشهر شده است.

واژگان کلیدی: بادسنجی، دبی ماسه، رژیم بادی، مرفولوژی تپه، گلباد، گردوغبار.

ارزیابی وضعیت فرسایش بادی و پهنه‌بندی پتانسیل حمل ماسه در استان بوشهر به منظور شناسایی اراضی مستعد گسیل گردوغبار

غلامرضا راهی^{۱*}، حمیدرضا عباسی^۲، امیرمحمد گلی^۳

لیلا بیابانی^۴

تاریخ دریافت ۱۴۰۲/۰۵/۱۹ تاریخ پذیرش ۱۴۰۲/۰۶/۳۱

مقدمه

یکی از مهم‌ترین فرآیندهای طبیعی در مناطق خشک، نیمه‌خشک و فراخشک فرسایش بادی است که تابع دو عامل فرسایش بادی و فرسایش پذیری است [۴] دستیابی به روش‌های آسان، سریع و کاربردی برای تحلیل داده‌های بادسنجی به منظور شناخت رژیم وزش بادهای فرسایشده اهمیت ویژه‌ای دارد که باعث ایجاد اشکال مختلف فرسایش (مانند سیف، سیلک، بارخان، الب، هرم‌های ماسه‌ای و رپیل مارک‌ها) شده که تپه‌های ماسه‌ای از مهم‌ترین رخساره‌های فرسایش بادی محسوب می‌شوند [۲۴]. این تپه‌ها در قلمرو فرآیند بادی از پویاترین عارضه‌های ژئومورفیک سطح زمین به شمار می‌روند که از یک سو متأثر از ویژگی‌های سرعت، جهت و فراوانی باد و از سوی دیگر متأثر از ویژگی‌های سطح زمین و مواد رسوبی هستند [۱]. بنا بر نتایج تحقیقات حنیف‌پور و همکاران [۱۵]، میدان‌های ماسه‌ای نزدیک به ۵×۱۰^۶ کیلومترمربع از سطح کره زمین را پوشانیده و از تپه‌های ماسه‌ای با اشکال مختلف تشکیل شده است. بنا بر نتایج تحقیقات دانگ [۹] تشکیل تپه‌های ماسه‌ای با اشکال مختلف به دلیل روابط متقابل بین رژیم بادی و فرآیندهای رسوب‌گذاری است. که امروزه این تغییر و جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای مانند تغییرات اقلیمی در حال افزایش است. نوع مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای در هر منطقه تابعی از رژیم بادی آن منطقه، به‌ویژه جهت باد آن است. از آنجاکه هر نوع از مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای در شرایط رژیم بادی متفاوتی توسعه می‌یابند، می‌توان بر اساس مطالعه اسپاراویگنا، میزان ثبات و تغییر جهت باد در هر منطقه در مقیاس‌های سالانه و فصلی، شرایط توسعه مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای مختلف را مشخص نمود [۲۸]؛ بنابراین پیش‌بینی وقوع باد بر اساس احتمالات در راستای پدیده‌های حمل‌ونقل شن و ماسه، عنصری کلیدی برای فعالیت‌های انسانی در مناطق خشک است [۲۷]. بررسی‌ها حاکی از این است که باد غالب می‌تواند در تپه‌های ماسه‌ای تغییر شکل ایجاد کند و رسوب‌گذاری ذرات را تحت تأثیر قرار دهد و هم‌چنین رژیم بادی حرکت رسوبات بادی را تعیین کند [۱۹]. به علت این‌که باد عامل اصلی تخریب

چکیده

باد عامل اصلی تخریب و فرسایش مناطق خشک و نیمه‌خشک است که برای جلوگیری از اثرات تخریبی آن باید شناخت کافی از ویژگی بادهای منطقه حاصل گردد. هدف اصلی پژوهش حاضر، تعیین وضعیت فرسایش بادی و پتانسیل حمل ماسه در استان بوشهر و ارتباط آن با پراکنش مکانی کانون‌های تولید گردوغبار است. گلبادهای سالانه منطقه نشان داد که عمده بادهای غالب از سمت شرق و غرب می‌وزد. گل توفان‌های سالانه منطقه نیز نشان داد که عمده بادهای غالب و فرسایشده از سمت غرب، جنوب غربی و شمال غربی می‌وزد. این بادهای مختلف سال به‌ویژه در زمستان و بهار به‌صورت چندجهته وزیده شده است. به‌منظور محاسبه توان حمل ماسه با استفاده از رابطه Fryberger & Dean، منطقه مورد مطالعه از نظر قدرت فرسایش بادی در کلاس کم تا متوسط قرار گرفته است و جهت نهایی حمل ماسه عمدتاً به سمت جنوب شرقی است. مقدار شار حمل ماسه بین ۸/۹۴ تن در متر بر سال برآورد شده. بر پایه روی هم‌گذاری نقشه‌های پوشش گیاهی، سرعت باد، ژئومورفولوژی و پراکنش ماسه‌زارها، مناطق مستعد گسیل گردوغبار شناسایی شد. در بیش‌تر نواحی، مناطق مستعد گسیل گردوغبار با کانون‌های فرسایش بادی همخوانی دارد. هم‌چنین بر اساس شاخص تغییرپذیری جهت باد، زمینه برای ایجاد تپه‌های ماسه‌ای طولی، سیلک‌های دندانه‌ای و سیف فراهم شده است؛ بنابراین سایش حاصل از حمل ماسه در

۱- استادیار پژوهشی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی بوشهر سازمان تات و نویسنده مسئول
Email: ghrahi@gmail.com

۲- استادیار پژوهشی موسسه جنگل‌ها و مراتع و آبخیزداری کشور

۳- دانشجوی کارشناسی مهندسی طبیعت دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

۴- دانشجوی دکتری کنترل بیابان دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

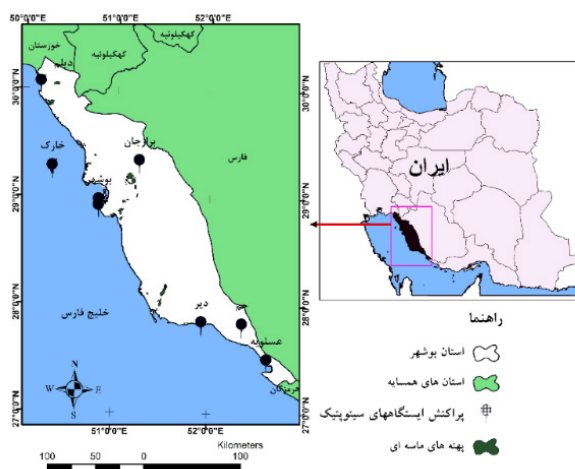
و فرسایش در مناطق بیابانی محسوب می‌گردد برای جلوگیری از اثرات تخریبی آن باید از تمامی ویژگی‌ها و مشخصات فیزیکی باد شناخت کافی داشت؛ بنابراین لازم است طی دوره آماری منطقه مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گیرد. مهم‌ترین عوامل سرعت باد، جهت باد غالب و فراوانی باد است که می‌توان با استفاده از ترسیم گلباد، گل توفان و گل ماسه‌های ایستگاه‌های مورد مطالعه استخراج نمود [۲]. در ارتباط با بررسی رژیم بادی مطالعات زیادی انجام شده که می‌توان به برخی از این مطالعات اشاره نمود. طبق تحقیقات دانگ و همکاران [۴]، به منظور کنترل حرکت ماسه‌های روان در طول جاده بیابان تکه‌مکان متوسط سرعت باد و پتانسیل حمل ماسه را بررسی کردند و بر اساس نتایج به دست آمده اقدامات کنترلی مهمی جهت حفاظت جاده مانند کاشت گیاهان شورپسند بر روی خاک‌های شور منطقه انجام دادند. طبق تحقیقات ژو و همکاران [۳۰]، در بررسی خصوصیات رژیم‌های بادی در بیابان تکه‌مکان چین به این نتیجه رسیدند که قابلیت حمل ماسه در منطقه ۲۰۰ واحد برداری است که بر اساس طبقه‌بندی فرای برگر، منطقه مورد مطالعه در کلاس انرژی بادی کم قرار گرفته است. مصباح زاده و همکاران [۱۸]، به بررسی نقش رژیم بادی در میزان دبی و جهت انتقال رسوبات در سبزواری پرداخته است و نتایج نشان داد که مقدار پتانسیل حمل ماسه ۱۶۰/۹ واحد برداری^۱ و جهت نهایی حمل ماسه جنوب غربی و دبی حمل ماسه برابر ۲۲/۳۳۵ تن در متر بر سال است. منطقه مورد مطالعه از نظر قدرت فرسایشی باد در کلاس کم قرار می‌گیرد. مقدار شاخص همگنی برای این منطقه ۰/۴ است که موجب تشکیل تپه‌های بارخانی شده است. طبق تحقیقات احمدی و همکاران [۲]، مقدار قابلیت حمل ماسه را به روش کلاس‌های سرعت فرای برگر و دین در جاسک و کرمان بررسی کردند و نتایج نشان داد پتانسیل حمل ماسه در جاسک ۴۰۱/۰۹ و در کرمان ۲ به ترتیب ۹۷۹/۰۱ و ۴۹۰/۵۱ واحد برداری (U.V) محاسبه شده است و جهت نهایی حرکت ماسه‌ها به سمت شمال غرب بوده است. طبق تحقیقات اختصاصی و همکاران [۱۱]، به تحلیل فرسایش بادی و تعیین جهت حرکت ماسه‌های روان دشت یزد پرداختند. نتایج نشان داد که بر اساس سرعت آستانه فرسایشی ۱۳ نات (۶/۵ متر بر ثانیه)، مقدار قابلیت حمل ماسه را ۸۲/۵ واحد برداری به دست آمد که نسبت به شمال جغرافیایی زاویه‌ای برابر ۷۷ درجه را تشکیل داده است. هم‌چنین طبق تحقیقات محمدخان و همکاران [۲۰]، با استفاده از نمونه برداری و دانه‌بندی رسوبات تپه‌های ماسه‌ای اردستان به این نتیجه رسیدند که غالب نمونه‌ها عمدتاً مخروط افکنه‌های حاشیه جنوبی چاله منشأ گرفته و جهات غالب انتقال آن‌ها نیز به سوی شمال شرق و سپس مشرق می‌باشد. هم‌چنین طبق تحقیقات بیابانی و همکاران [۶]، به بررسی توان حمل ماسه در حاشیه غربی دریاچه ارومیه پرداختند. نتایج نشان داد که توان حمل ماسه در تمام ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه به جز ایستگاه شبستر کم‌تر از ۲۰۰ واحد بردار است که این نشان‌دهنده

1. Unit vector

قدرت فرسایشی کم است. هم‌چنین بررسی شاخص تغییرپذیری جهت باد در منطقه نشان داد که منطقه دارای تغییرپذیری کم جهت باد است و عموماً بادهای یک‌جهته حاکمیت دارد. بر اساس تحقیقات بیابانی و همکاران [۷]، جهت روند تغییرات سرعت باد و تأثیر آن بر گردوغبار منطقه، به پهنه‌بندی تپه‌های ماسه‌ای حاشیه دریاچه ارومیه پرداختند. نتایج نشان داد که عمده بادهای غالب از سمت شرق و از سمت دریاچه ارومیه و سپس از غرب وزیده شده است. هم‌چنین عمده بادهای فرساینده عمدتاً دارای جهات جنوب و جنوب غربی است که این بادهای در فصول تابستان و بهار به صورت یک‌طرفه و در فصول پاییز و زمستان به صورت چندجهته وزیده شده است. طبق تحقیقات نظری سامانی [۲۲]، به بررسی نقش فرساینده‌گی باد و حمل ماسه بر تحرک پذیری ماسه در حاشیه دریاچه ارومیه پرداختند. نتایج نشان داد که حمل ماسه بین ۰/۰۵ تا ۲/۷۳ تن در متر بر سال بوده است. هم‌چنین بر اساس نتایج، گل‌ماسه‌ها جهت نهایی حمل ماسه عمدتاً به سمت شمال شرقی است. در نهایت با استفاده از معادله تسوار، شاخص تحرک تپه‌های ماسه‌ای برای تمام ایستگاه‌ها کم‌تر از یک شد که نشان‌دهنده غیرفعال بودن اشکال تراکمی ماسه است. ولی چون پوشش گیاهی بسیار کمی روی آن‌ها مستقر شده است می‌توان نقش عامل انسانی (به‌ویژه چرای دام و لگدکوبی احشام) و شوری بیش‌ازحد تپه‌ها را در آن مهم دانست. شهریار و همکاران [۲۷]، به بررسی رژیم بادی ارگ صادق‌آباد بافق پرداختند نتایج تحقیقاتشان نشان داد که در مقیاس زمانی سالانه در منطقه بادهای چند جهتی وجود دارد که این شرایط موجب برتری مورفولوژی هرمی نسبت به اشکال دیگر تپه‌های ماسه‌ای شده است. هم‌چنین نظری سامانی و همکاران [۲۳]، به بررسی رژیم بادی و پتانسیل حمل ماسه به منظور شناسایی اشکال تپه‌های ماسه‌ای در منطقه ارگ بلند کاشان با استفاده از داده‌های بادسنجی پنج ایستگاه پرداختند که نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که حاکمیت با بادهای شرقی-غربی است و هر یک از ایستگاه‌ها یک نوع رژیم بادی را نشان داده است. هم‌چنین پتانسیل حمل ماسه در این منطقه در کلاس کم تا متوسط قرار گرفته است. طبق تحقیقات پورمند و همکاران [۲۴]، با استفاده از رژیم بادی دشت شیله سیستان و تجزیه و تحلیل گل ماسه‌های منطقه به این نتیجه رسیدند که جهت نهایی حمل ماسه جنوب شرقی است و دبی حمل ماسه بر اساس معادله لتو-لتو حدود ۲۰/۴۲۲ تن در متر بر سال محاسبه شده است و به دلیل حضور بادهای یک‌جهته زمینه برای پیدایش تپه‌های بارخانوئید فراهم شده است. در ایران پهنه‌های گسترده‌ای از ماسه‌های بادی وجود دارد که در پژوهش حاضر تپه‌های ماسه‌ای استان بوشهر مورد بررسی قرار گرفته است. به نظر می‌رسد جهت عمومی انتقال ماسه با بادهای غالب و فرساینده منطقه برازش داشته و راستای وزش این بادهای نیز از توپوگرافی عمومی منطقه پیروی نموده و ناهمواری‌ها در کانالیزه شدن بادهای منطقه نقش اساسی را ایفا می‌کنند. با توجه به موارد فوق، هدف از پژوهش حاضر پهنه‌بندی خطر حمل ماسه‌های بادی و ارتباط

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیکی استان بوشهر

| دوره آماری تا | | دوره آماری از | | عرض جغرافیایی | طول جغرافیایی | ارتفاع از سطح دریا (m) | نام ایستگاه |
|---------------|-----|---------------|-----|---------------|---------------|---------------------------|-----------------|
| سال | ماه | سال | ماه | | | | |
| ۲۰۲۰ | ۱۲ | ۲۰۱۱ | ۱ | ۲۷° ۲۹' ۴" | ۵۲° ۳۷' ۱" | ۷ | عسلویه-فرودگاهی |
| ۲۰۲۰ | ۱۲ | ۲۰۰۶ | ۱ | ۲۸° ۵۴' ۱۲" | ۵۰° ۴۹' ۱۴" | ۴ | بوشهر-دریایی |
| ۲۰۲۰ | ۱۲ | ۲۰۰۶ | ۱ | ۲۸° ۵۷' ۴۴" | ۵۰° ۴۹' ۹" | ۹ | بوشهر-فرودگاهی |
| ۲۰۲۰ | ۱۲ | ۲۰۰۶ | ۱ | ۲۹° ۱۹' ۴۲" | ۵۱° ۱۴' ۳۶" | ۹۰ | برازجان-دشتستان |
| ۲۰۲۰ | ۱۲ | ۲۰۰۶ | ۱ | ۳۰° ۲' ۵۹" | ۵۰° ۱۰' ۱" | ۴ | دیلم-ساحلی |
| ۲۰۲۰ | ۱۲ | ۲۰۰۶ | ۱ | ۲۷° ۴۹' ۵۱" | ۵۱° ۵۵' ۵۴" | ۴ | دیر-دریایی |
| ۲۰۲۰ | ۱۲ | ۲۰۰۶ | ۱ | ۲۷° ۴۶' ۵۶" | ۵۲° ۲۱' ۲۲" | ۶۵۹ | جم-فرودگاهی |
| ۲۰۲۰ | ۱۲ | ۲۰۰۷ | ۱ | ۲۹° ۱۵' ۵۴" | ۵۰° ۱۸' ۵۶" | -۱ | خارک-فرودگاهی |



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

گونه‌های مرتعی علفی و بوته‌ای غالب درمنه دشتی، انزروت، قیج^۳ و تنگ رس^۴ تشکیل داده است [۲۶].
با توجه به هدف تحقیق، آمار داده‌های باد هشت ایستگاه سینوپتیکی منطقه مورد مطالعه در جدول (۱) مورد بررسی قرار گرفته است.

روش تحقیق

با توجه به آمارهای موجود ایستگاه‌های منطقه و پراکنش مناسب آن‌ها در سطح استان دوره آماری ۱۵ ساله از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۰ به‌عنوان دوره شاخص مطالعاتی در نظر گرفته شد. اطلاعات ایستگاه‌های سینوپتیکی منطقه مورد مطالعه در استان بوشهر در جدول ۱ ارائه شده است. لازم به ذکر است که این دوره آماری می‌تواند شرایط بادناکی منطقه را به نحو مطلوب نشان دهد. لذا تمامی محاسبات و تجزیه و تحلیل‌ها بر اساس این دوره شاخص ۱۵ ساله

آن با پتانسیل حمل ماسه توسط بادهای فرساینده در ایستگاه‌های سینوپتیکی استان بوشهر است تا بتوان با ارتباط بین الگوی مکانی و وضعیت تحریک‌پذیری شرایط تشکیل و گسترش تپه‌های ماسه‌ای مشخص گردد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

استان بوشهر با مساحت ۲۷۶۵۳ کیلومتر مربع در شمال خلیج فارس قرار دارد (شکل ۱). متوسط بارندگی حوضه ۲۵۲/۸۶ میلی‌متر و دمای متوسط سالانه ۲۵/۲۳ درجه سانتی‌گراد است که به‌طور کلی منطقه مورد مطالعه تابع توده ابرهای مدیترانه‌ای است که از غرب کشور وارد می‌شود. حداکثر ارتفاع ۱۰۱۵ متر در ارتفاعات و حداقل ارتفاع ۲/۶۳ متر است. از لحاظ آب و هوایی شرایط اقلیمی منطقه برحسب پستی و بلندی‌ها متغیر است و به‌طور کلی دارای اقلیمی خشک بیابانی سرد تا نیمه‌خشک سرد است. در سواحل بوشهر به دلیل بالا بودن دمای هوا و رطوبت نسبی بالا شرایط شرجی به وجود می‌آید. به‌طوری‌که میانگین سالانه رطوبت نسبی در بوشهر ۶۵ درصد و دامنه سالانه آن ۱۸ درصد است و بیش‌ترین سطح استان را

1 Artemisia Sieberi Boiss
2 Polygonum L.spp Astragalus fasciculifolius Boiss
3 Zygophyllum eurypterum Boiss
4 Buhse, Amygdalus lycioides Spach

در نظر گرفته شد.

از تجزیه نیروها در امتداد محورهای طولی و عرضی بردار برآیند^۱ DPt محاسبه شد. همچنین RDP^۲ برآیند برداری پتانسیل حمل ماسه، RDD جهت حمل ماسه و نیز TSF^۳ مقدار کل ماسه حمل شده در جهات مختلف برحسب کیلوگرم در متر بر سال برآورد گردید. در نهایت قدرت حمل ماسه و توان فرسایشی باد بر اساس تقسیم‌بندی استاندارد فرای برگر بر اساس جدول (۲) انجام شد.

جدول ۲: تقسیم‌بندی توان حمل ماسه توسط باد در محیط‌های بیابانی [۱۲]

| مقدار DPt | قدرت فرسایش باد | دبی حمل ماسه |
|---------------|----------------------------|--------------|
| | (مترمکعب در سال در یک متر) | |
| بیش‌تر از ۴۰۰ | زیاد | بیش‌تر از ۳۳ |
| بین ۲۰۰-۳۹۹ | متوسط | بین ۱۷ تا ۳۳ |
| کم‌تر از ۲۰۰ | کم | کم‌تر از ۱۷ |

تحلیل نهایی داده‌ها با استفاده از شاخص تغییرپذیری جهات باد به کل توان حمل ماسه^۴ (UDI)

شاخص همگنی برای حمل ماسه (UDI) از نسبت برآیند حمل ماسه (RDP) به پتانسیل حمل ماسه (DPt) در طول سال، ماه یا فصل با استفاده از جدول (۳) حاصل شده است. هر چه این عدد به یک نزدیک‌تر باشد، بادهای یک جهته بیشتر می‌وزد و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد، بادهای چندجهته می‌باشند.

جدول ۳: تغییرپذیری جهت باد (UDI) [۱۲]

| UDI | تغییرپذیری جهات باد | طبقه‌بندی جهات باد |
|----------------|---------------------|----------------------------------|
| بیش‌تر از ۰/۸ | کم | بادهای یک جهته |
| بین ۰/۳ تا ۰/۸ | متوسط | بادهای دو جهته با زاویه منفرجه |
| کم‌تر از ۰/۳ | زیاد | بادهای چندجهته مرکب با زاویه تند |

در پایان پس از انجام محاسبه‌ها در سامانه اطلاعات جغرافیایی، پتانسیل حمل ماسه و یا مقدار کل ماسه حمل شده در جهات مختلف به صورت سالانه و فصلی در منطقه مورد مطالعه پهنه‌بندی شده است.

شناسایی مناطق تولید گردوغبار

برای شناسایی منابع تولید گردوغبار از چند روش استفاده شده است: تجزیه و تحلیل داده‌های باد: با استفاده از آمار و داده‌های باد (سمت و سرعت باد) ایستگاه‌های هواشناسی دارای آمار و

به منظور تجزیه و تحلیل داده‌های بادسنجی از نرم‌افزار WRPLOT 8.0.2 و بر اساس داده‌های سمت و سرعت باد بیش‌تر از ۵/۰ متر بر ثانیه در شش کلاس و هشت جهت (شمال، شمال شرقی، شرق، جنوب شرقی، جنوب، جنوب غربی، غرب و شمال غرب) گلبادهای سالانه و فصلی هر یک از ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه مورد مطالعه تهیه شده است. به منظور ترسیم و تحلیل گل توفان کلیه بادهای با سرعت کم‌تر از سرعت آستانه فرسایش کم‌تر از ۶/۵ متر بر ثانیه به عنوان باد آرام در نظر گرفته شده است که برآورد سرعت آستانه از رابطه بگنولد [۱] استفاده شد.

$$Ut = A \sqrt{\frac{(ps-pa)}{pa}} * GD \quad (1)$$

Ut: سرعت آستانه فرسایش متر بر ثانیه، A: ضریب ثابت حدود ۱/۰۷ برای ذرات بزرگ‌تر از ۰/۱ میلی‌متر، Pa: چگالی هوا ۱/۲ کیلوگرم بر مترمکعب، Ps: چگالی ذره معمولاً کوارتز ۲۶۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب، g: شتاب ثقل ۹/۸ متر بر ثانیه، D: میانگین قطر ذره ۰/۲۵۰ طبق یافته بگنولد، همچنین بر اساس رابطه ۲ فرای برگر سرعت آستانه نیز بر پایه تحلیل‌های دانه‌بندی ذرات و رابطه تجربی برآورد و در پایان میانگین وزنی سرعت آستانه فرسایش بادی محاسبه شد [۵].

$$DP \propto V^2 (V-V_t) * T \quad (2)$$

DP: توانایی حمل ماسه در تمام جهات در زمان سالانه، Vt: سرعت آستانه فرسایش در ارتفاع ۱۰ متر برحسب نات، V: سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متر برحسب نات و T: طبقه‌های سرعت باد در جهت‌های هشتگانه است.

در پژوهش اختصاصی و همکاران [۱۱]، جهت محاسبه مقدار دبی و حمل ماسه و بر مبنای طبقه‌بندی رژیم بادی با استفاده از نرم‌افزار گل ماسه‌نما از رابطه‌های ۳ و ۴ لتو-لتو محاسبات انجام شد.

$$Vq = \sum_{i=1}^n 1 v_i^2 (v_i - v_0) \quad (3)$$

$$Qs = c \left(\frac{d}{0.25} \right)^{0.5} \left(\frac{p}{9.8} \right) \left(\frac{Vq}{N} \right) \quad (4)$$

Qs: دبی جریان ماسه برحسب کیلوگرم در متر بر سال، d: قطر متوسط ذرات ماسه برحسب میلی‌متر در حالت استاندارد ۰/۲۵، p: چگالی هوا که معادل ۱/۲۲۵، N: تعداد کل دیده‌بانی‌های سرعت و جهت باد، C: مقدار ثابت تجربی بر اساس اندازه ذرات ۲۵۰ μm معادل ۶/۵، Vi: سرعت برشی بادهای بیش از سرعت آستانه فرسایش بادی و Vi*: سرعت آستانه فرسایش بادی است. در این پژوهش با توجه به اینکه امکان استقرار تونل باد در مناطق مختلف فراهم نبود؛ بر پایه نتایج تحقیق قبلی احمدی [۲] مقدار ۶/۵ متر بر ثانیه برای سرعت آستانه رد نظر گرفته شد.

به منظور به دست آوردن برآیند برداری در جهات مختلف بعد

- 1 Drift Potential total
2. Resultant drift potential
3. Total amount of sand transported in different directions
- 4 5Uni direction index

جدول ۴. میانگین سرعت باد و جهت باد غالب سالانه و فصلی در ایستگاه‌های مورد مطالعه

| نام ایستگاه | سالانه | | بهار | | تابستان | | پاییز | | زمستان | |
|----------------|-----------------------|--------------|-----------------------|--------------|-----------------------|--------------|-----------------------|--------------|--------|-----------|
| | میانگین سرعت باد غالب | جهت باد غالب | میانگین سرعت باد غالب | جهت باد غالب | میانگین سرعت باد غالب | جهت باد غالب | میانگین سرعت باد غالب | جهت باد غالب | | |
| عسلویه | ۲/۶ | جنوب شرقی | ۴/۵ | شمال غربی | ۲/۶ | جنوب شرقی | ۲/۳ | جنوب شرقی | ۲/۹ | جنوب شرقی |
| برازجان | ۳/۹ | غربی | ۴/۵ | غربی | ۴/۲ | غربی | ۲/۹ | غربی | ۲/۹ | غربی |
| بوشهر دریایی | ۴/۰ | شمال غربی | ۴/۱ | شمال غربی | ۴/۱ | شمال غربی | ۳/۲ | شمالی | ۳/۶ | شمالی |
| بوشهر فرودگاهی | ۵/۳ | شمال غربی | ۴/۵ | شمال غربی | ۲/۸ | شمال غربی | ۲/۷ | شمالی | ۳/۰ | شمالی |
| دیر | ۵/۰ | شمال غربی | ۵/۷ | شمال غربی | ۳/۱ | جنوبی | ۴/۴ | شمال غربی | ۵/۱ | شمال غربی |
| دیلم | ۳/۸ | غربی | ۴/۲ | غربی | ۴/۲ | جنوب غربی | ۳/۳ | غربی | ۳/۵ | غربی |
| جم | ۵/۵ | جنوب غربی | ۵/۵ | جنوب غربی | ۶/۱ | جنوب غربی | ۴/۸ | جنوب غربی | ۴/۴ | جنوب غربی |
| خارک | ۵/۵ | شمال غربی | ۵/۳ | شمال غربی | ۴/۸ | شمال غربی | ۶/۱ | شمالی | ۵/۹ | شمال غربی |

جدول ۵: میانگین سرعت باد و جهت باد غالب سالانه و فصلی بر اساس سرعت آستانه فرسایش در ایستگاه‌های مورد مطالعه

| نام ایستگاه | سالانه | | بهار | | تابستان | | پاییز | | زمستان | |
|----------------|-----------------------|--------------|-----------------------|--------------|-----------------------|--------------|-----------------------|--------------|--------|-----------|
| | میانگین سرعت باد غالب | جهت باد غالب | میانگین سرعت باد غالب | جهت باد غالب | میانگین سرعت باد غالب | جهت باد غالب | میانگین سرعت باد غالب | جهت باد غالب | | |
| عسلویه | ۸/۹ | غرب | ۹/۱ | جنوب | ۸/۱ | غرب | ۸/۵ | غرب | ۹/۰ | غرب |
| برازجان | ۸/۷ | غرب | ۸/۹ | غرب | ۸/۶ | غرب | ۸/۰ | غرب | ۸/۵ | غرب |
| بوشهر دریایی | ۸/۷ | شمال | ۸/۶ | شمال غربی | ۸/۴ | جنوب | ۸/۷ | شمال | ۸/۸ | شمال |
| بوشهر فرودگاهی | ۸/۸ | شمال غربی | ۸/۷ | شمال غربی | ۸/۳ | شمال غربی | ۸/۴ | شمال | ۸/۷ | شمال غربی |
| دیر | ۹/۰ | شمال غربی | ۹/۱ | شمال غربی | ۹/۱ | شمال غربی | ۸/۷ | شمال غربی | ۹/۰ | شمال غربی |
| دیلم | ۸/۳ | شمال غربی | ۷/۹ | غرب | ۸/۰ | جنوب غربی | ۹/۲ | جنوب شرقی | ۹/۰ | جنوب شرقی |
| جم | ۵/۵ | جنوب غربی | ۵/۷ | شمال غربی | ۶/۱ | جنوب غربی | ۴/۵ | جنوب غربی | ۴/۶ | جنوب |
| خارک | ۹/۴ | شمال | ۸/۸ | شمال غربی | ۸/۵ | شمال غربی | ۹/۳ | شمال | ۹/۶ | شمال |

شمالی و فصل زمستان ۵/۹ متر بر ثانیه با جهت شمال غربی مربوط به ایستگاه خارک و در نهایت در فصل بهار ۵/۷ متر بر ثانیه با جهت شمال غربی مربوط به ایستگاه دیر است.

نتایج حاصل از گل توفان‌های سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک استان بوشهر در شکل (۳) نشان داد که ایستگاه خارک با ۹/۴ متر بر ثانیه با جهت شمالی و ایستگاه دیر ۹ متر بر ثانیه بیش‌ترین سرعت آستانه فرسایش بادی را دارند. هم‌چنین ایستگاه دیر در تمامی فصول متوسط سرعت آستانه فرسایش بین ۸/۷ تا ۹/۱ متر بر ثانیه متغیر است و جهت غالب این بادهای از سمت جنوب غربی است (جدول ۵).

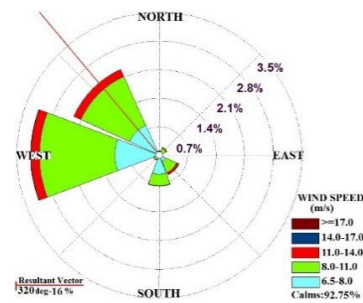
ارزیابی گل ماسه سالانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل (۴)

اطلاعات مناسب و محاسبه شاخص‌های پتانسیل حمل ماسه جهت حمل نهایی رسوبات بادی، شناسایی مشخصات بادهای فرساینده انجام شده است. سپس نقشه هم‌ارز پتانسیل حمل ماسه و نقشه جهت حرکت ماسه‌های روان با استفاده از مدل زمین‌آمار مناسب پهنه‌بندی شده است.

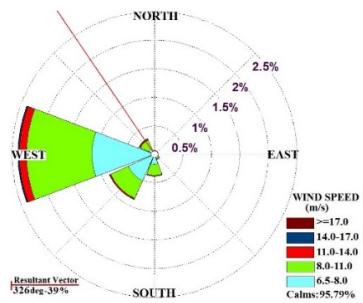
نتایج و بحث

نتایج حاصل از گلبادهای سالانه و فصلی هر یک از ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه مورد مطالعه در جدول (۴) ارائه شده است. بیش‌ترین متوسط سرعت باد ۶/۱ متر بر ثانیه در فصل تابستان با جهت جنوب غربی مربوط به ایستگاه جم، فصل پاییز ۶/۱ متر بر ثانیه با جهت

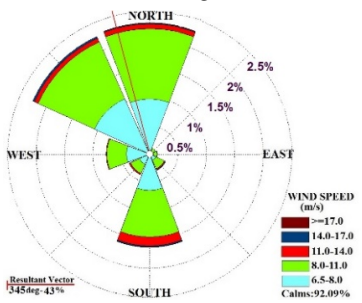
ایستگاه عسلویه



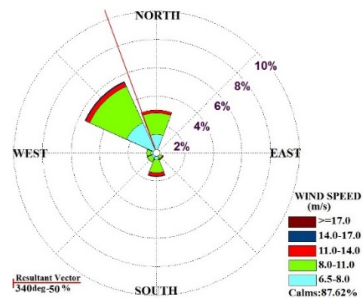
ایستگاه برازجان



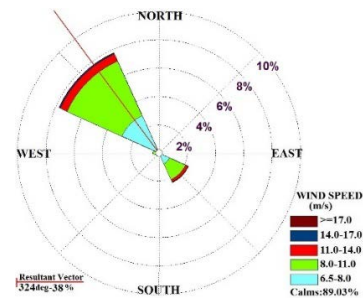
ایستگاه بوشهر دریایی



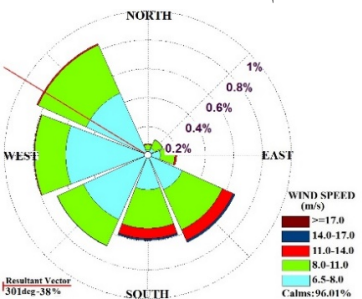
ایستگاه بوشهر فرودگاهی



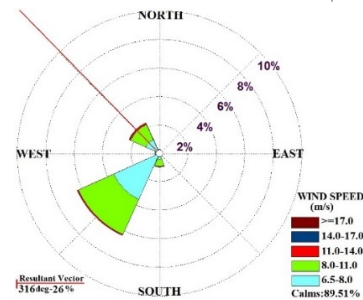
ایستگاه دیر



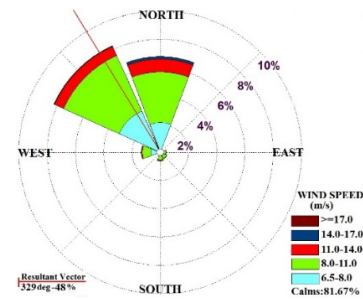
ایستگاه دیلم



ایستگاه جم



ایستگاه خارک



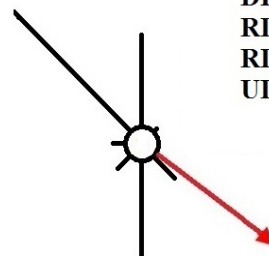
شکل ۳: گل توفان‌های سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک استان بوشهر

نماینده اما سایر ایستگاه‌ها به سمت جنوب شرق هدایت می‌نمایند. نتایج گل ماسه‌های فصلی ایستگاه‌های استان بوشهر در جدول (۶) مشخص می‌نماید که بیش‌ترین مقدار برآیند جبری به پتانسیل حمل ماسه به ترتیب در فصل بهار ایستگاه بوشهر فرودگاهی با ۷۳/۸ واحد برداری، در فصل تابستان ایستگاه جم با ۵۸/۷ واحد برداری، در فصل پاییز ایستگاه خارک با ۱۱۵ واحد برداری و در فصل زمستان نیز ایستگاه خارک با ۱۳۷/۹ واحد برداری مشخص گردید. هم‌چنین بیش‌ترین برآورد حمل ماسه به صورت فصلی به ترتیب در فصل بهار ایستگاه بوشهر دریایی ۱۱/۶۷ تن در متر بر سال، در فصل تابستان در ایستگاه جم ۸/۲۴ تن در متر بر سال در فصل پاییز در ایستگاه خارک ۲۱/۰۷ تن در متر بر سال و در فصل زمستان در ایستگاه خارک ۲۳/۴۱ تن در متر بر سال مشخص گردید. رابطه پتانسیل حمل ماسه و برآورد برداری که نشان‌دهنده

نشان می‌دهد که بیش‌ترین مقدار برآیند جبری پتانسیل حمل ماسه به ترتیب در ایستگاه خارک با ۳۳۴/۲ واحد برداری، بوشهر فرودگاهی با ۲۲۶/۷ واحد برداری و دیر با ۲۰۲/۶ واحد برداری است؛ اما برآیند برداری که نشان‌دهنده قدرت جابجایی ماسه در یک جهت خاص است، نشان‌دهنده این است که بیش‌ترین مقدار آن به ترتیب در ایستگاه‌های خارک ۲۵۴/۰۸ برآیند برداری، برازجان ۱۰۳/۴۸ برآیند برداری و دیر ۱۰۳/۳۲ برآیند برداری است. شاخص همگنی جهت باد بیانگر این است که عموماً ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه بین ۰/۲ تا ۰/۷۶ دارای در رژیم بادی چندجهته با زاویه منفرد، ایستگاه بوشهر دریایی دارای رژیم بادی چندجهته مرکب با زاویه تند و ایستگاه برازجان دارای رژیم بادی یک جهته است. از سویی دیگر شاخص جهت حمل ماسه نشان می‌دهد که ایستگاه‌های جم، دیلم و برازجان تمایل دارند ماسه را در جهت شمال شرق و ایستگاه بوشهر دریایی در جهت شرق هدایت

بو شهر فرودگاهی

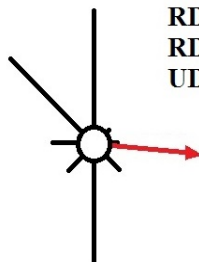
DP= ۲۲۶/۷
RDP= ۸۱/۶۱
RDD= ۱۲۶
UDI= ۰/۳۶



۲۰ واحد بردار

بو شهر دریایی

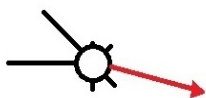
DP= ۱۲۲/۷
RDP= ۲۴/۰۸
RDD= ۹۵
UDI= ۰/۲۰



۲۰ واحد بردار

عسلویه

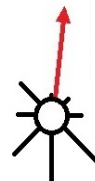
DP= ۱۲۵/۹
RDP= ۷۸/۳۴
RDD= ۱۰۴
UDI= ۰/۶۲



۲۰ واحد بردار

دیلیم

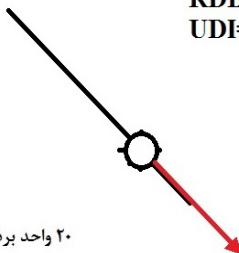
DP= ۵۶/۶
RDP= ۲۴/۱۹
RDD= ۷
UDI= ۰/۴۳



۲۰ واحد بردار

دیر

DP= ۲۰۲/۶
RDP= ۱۰۳/۳۲
RDD= ۱۳۳
UDI= ۰/۵۱



۲۰ واحد بردار

برازجان

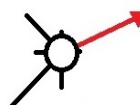
DP= ۱۲۷/۳
RDP= ۱۰۳/۴۸
RDD= ۸۴
UDI= ۰/۸۱



۲۰ واحد بردار

جم

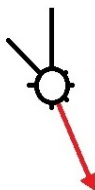
DP= ۱۳۶/۸
RDP= ۸۶/۴۱
RDD= ۶۶
UDI= ۰/۶۳



۲۰ واحد بردار

خارک

DP= ۳۳۴/۲
RDP= ۲۵۴/۰۸
RDD= ۱۵۷
UDI= ۰/۷۶

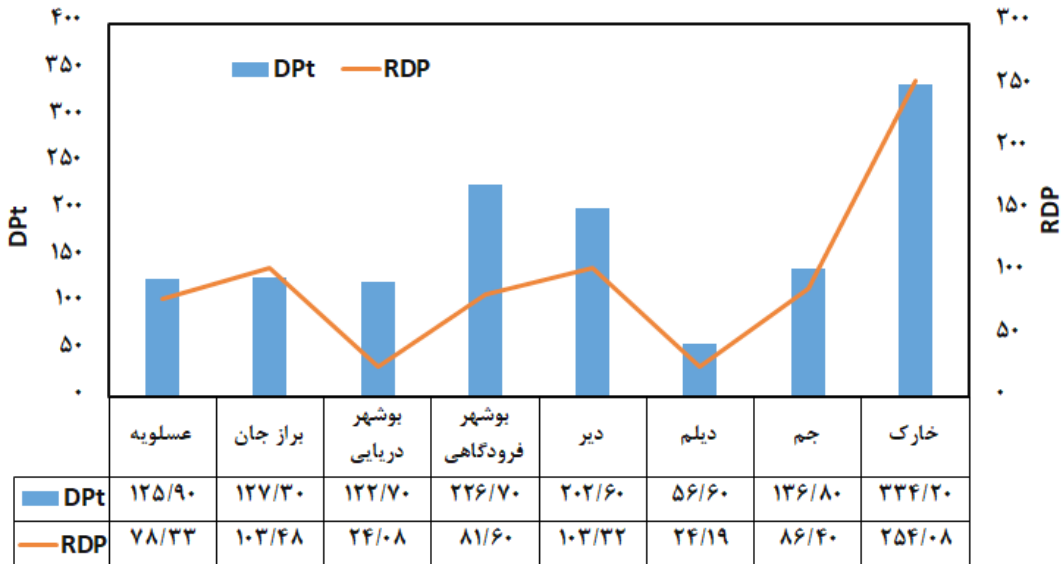


۲۰ واحد بردار

شکل ۴: گل ماسه‌های سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک استان بوشهر

جدول ۶: نتایج پتانسیل حمل ماسه و برآورد حمل ماسه ایستگاه‌های مورد مطالعه

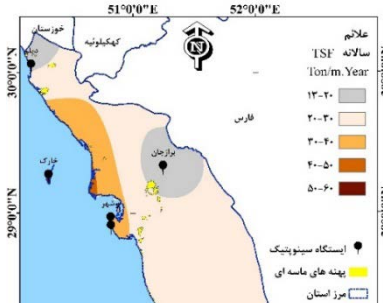
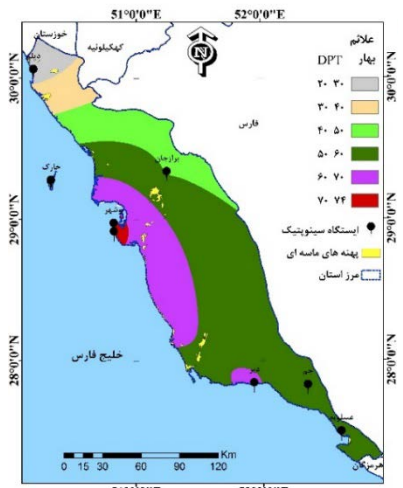
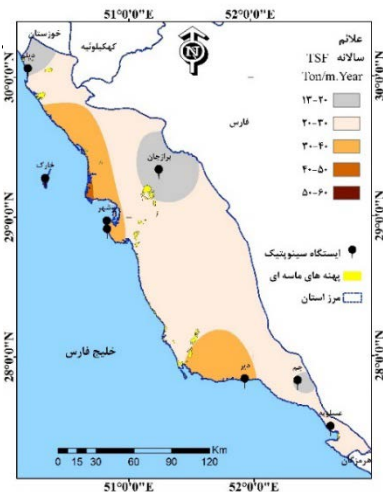
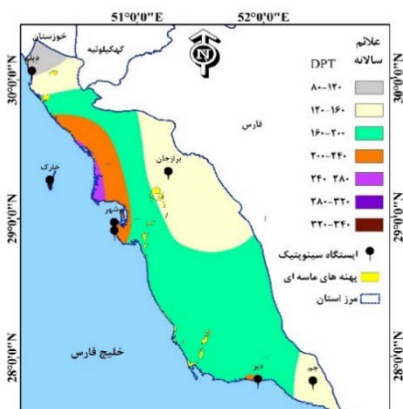
| سالانه | | زمستان | | پاییز | | تابستان | | بهار | | نام ایستگاه |
|-------------------|-------|-------------------|-------|-------------------|------|-------------------|------|-------------------|------|-----------------|
| TSF (ton.m/Yr) | DPt | TSF (ton.m/Yr) | DPt | TSF (ton.m/Yr) | DPt | TSF (ton.m/Yr) | DPt | TSF (ton.m/Yr) | DPt | |
| ۲۴/۹۱ | ۱۲۶/۲ | ۸/۹۹ | ۵۱/۴ | ۲/۶۹ | ۱۰/۴ | ۲/۵۳ | ۹/۳ | ۱۰/۷۰ | ۵۵/۱ | عسلویه |
| ۱۳/۵۳ | ۱۲۷/۱ | ۴/۴۱ | ۴۰/۳ | ۱/۰۰ | ۹/۵ | ۲/۹۳ | ۲۷/۶ | ۵/۱۸ | ۴۹/۷ | برازجان |
| ۳۵/۳۵ | ۱۲۲/۷ | ۱۴/۷۶ | ۴۵/۳ | ۴/۹۰ | ۱۵/۸ | ۴/۰۱ | ۱۹/۳ | ۱۱/۶۷ | ۴۲/۳ | بو شهر دریایی |
| ۱۵/۲۴ | ۲۲۶/۶ | ۴/۹۶ | ۹۷/۷ | ۲/۳۳ | ۳۰/۳ | ۳/۲۷ | ۲۴/۸ | ۴/۶۷ | ۷۳/۸ | بو شهر فرودگاهی |
| ۲۷/۶۵ | ۲۰۲/۵ | ۱۲/۵۱ | ۸۰/۲ | ۰/۵۷ | ۳۳/۶ | ۴/۵۸ | ۲۷/۵ | ۹/۹۸ | ۶۱/۲ | دیر |
| ۸/۹۴ | ۵۶/۸ | ۳/۰۳ | ۱۹/۳ | ۱/۱۸ | ۷/۴ | ۲/۲۸ | ۱۴/۶ | ۲/۴۵ | ۱۵/۵ | دیلیم |
| ۱۸/۸۷ | ۱۳۶/۷ | ۲/۶۴ | ۱۹/۹ | ۰/۶۱ | ۴/۳ | ۸/۲۴ | ۵۸/۷ | ۷/۳۹ | ۵۳/۸ | جم |
| ۵۹/۰۸ | ۳۳۴/۳ | ۲۳/۴۱ | ۱۳۷/۹ | ۲۱/۰۷ | ۱۱۵ | ۴/۱۳ | ۲۲/۶ | ۱۰/۴۷ | ۵۸/۸ | خارک |

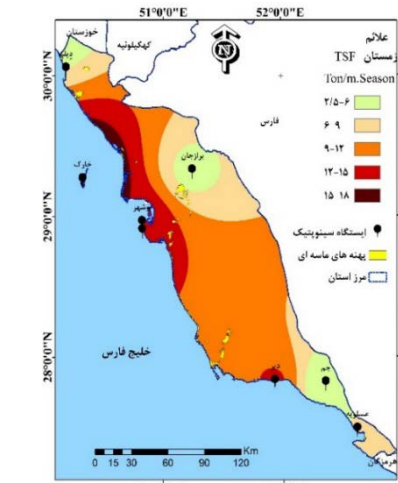
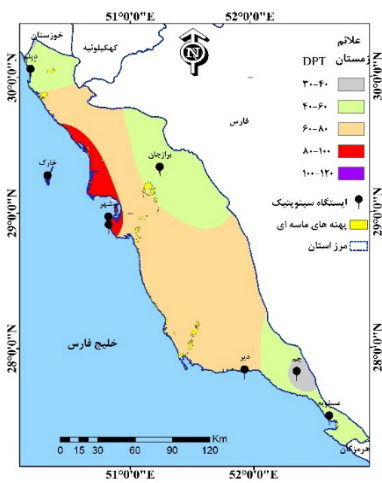
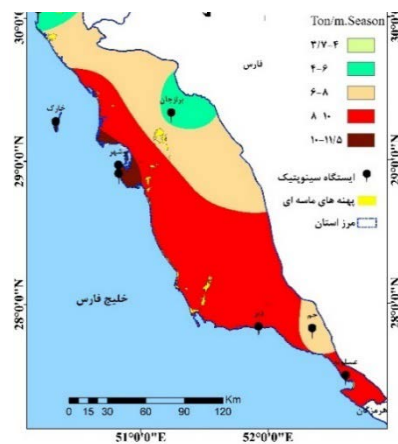
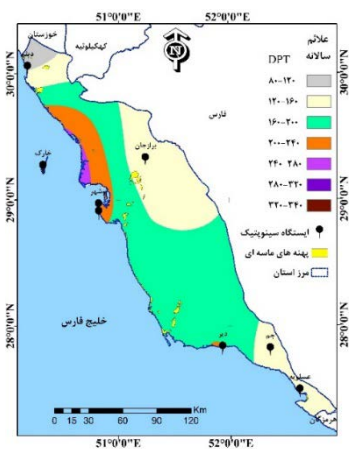


شکل ۶: رابطه پتانسیل حمل ماسه و برآیند توان حمل ماسه ایستگاه‌های مورد مطالعه

در فصول مختلف سال به‌ویژه در بهار و زمستان است. پتانسیل نهایی حمل ماسه‌ها و برآورد مقدار کل حمل ماسه سالانه و فصول فرسایش‌زای زمستان و بهار در شکل (۸) پهنه‌بندی گردید. پهنه‌بندی پتانسیل حمل ماسه سالانه بین ۳۴۰-۸۰ واحد برداری

قدرت جابجایی ماسه در یک‌جهت خاص بر اساس ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل (۶) نشان داد که بیش‌ترین پتانسیل حمل ماسه به ترتیب در ایستگاه خارک، بوشهر فرودگاهی و دیر است و ایستگاه‌های فوق متأثر از بادهای متعدد فرعی با جهات گوناگون





شکل ۸: پهنه‌بندی سالانه و فصلی پتانسیل توان حمل ماسه و برآورد مقدار کل حمل ماسه بر اساس ایستگاه‌های مورد مطالعه

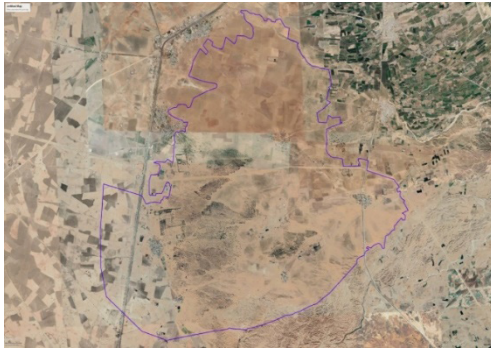
یکی از عوامل مؤثر در شکل‌گیری سیف، سیلک، بارخان و غیره است، به طوری که مورسی و همکاران [۲۱] نیز این موضوع را تأیید می‌نمایند.

طبق تحقیقات احمدی [۲] بر اساس شاخص تغییرپذیری جهت باد، دو عامل اصلی و کنترل‌کننده بر روی تیپ‌های مختلف تپه‌های ماسه‌ای را در دسترس بودن ماسه و تنوع جهت باد بیان کردند. مطالعات نشان داد که تنوع جهات باد در منطقه یکی از عوامل پیدایش تپه‌های ماسه‌ای بوده است و عموماً تپه‌های طولی در امتداد سواحل به وجود آمده است که با نتایج اختصاصی و همکاران [۱۱] مطابقت دارد. هم‌چنین بر پایه طبقه‌بندی بیلان رسوب تپه‌های مذکور نشان‌دهنده بیلان مثبت است که این یافته‌ها حاکی از وجود اشکال تراکمی ماسه در منطقه است. در نهایت نتایج تأثیر همگنی جهت باد و نوع رژیم بادی مؤثر در شکل‌گیری تپه‌های ماسه‌ای منطقه با نتایج پژوهش‌های فتاحی و همکاران [۱۳] و یمانی و همکاران [۲۹] مطابقت دارد.

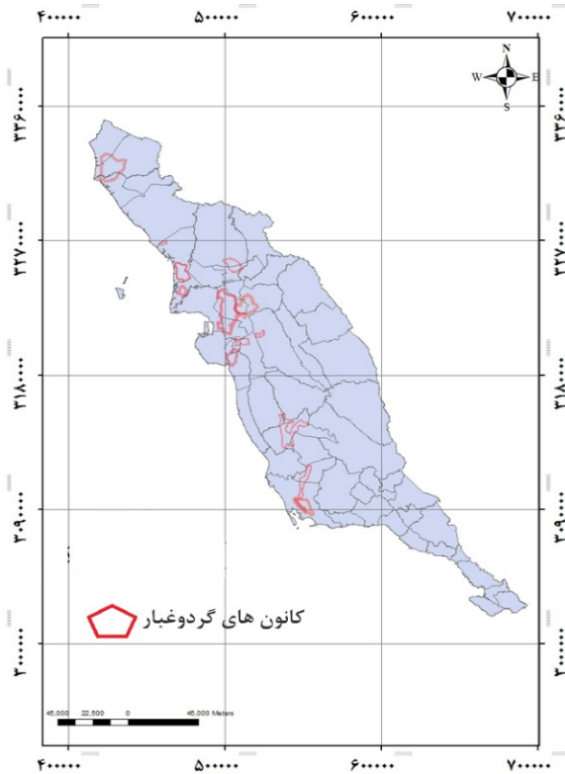
با استفاده از اطلاعات به‌دست‌آمده و روی هم گذاری آن‌ها با نقشه تپه‌های ماسه‌ای (حاصل از طرح شنزارهای کشور) و با در نظر گرفتن ژئومورفولوژی ناهمواری‌های ماسه‌ای و علاوه بر آن با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و هم‌چنین گزارش‌ها روزانه پایگاه‌های

در فصل فرسایش‌زای بهار بین ۷۴-۲۰ واحد برداری و در فصل فرسایش‌زای زمستان بین ۱۲۰-۳۰ واحد برداری و نتایج پهنه‌بندی برآورد توان حمل ماسه سالانه ۴۰-۱۳ تن در متر بر سال، در فصل بهار ۳/۷ تا ۱۱/۵ تن در متر بر سال و در فصل زمستان ۱۸-۲/۵ تن در متر بر سال را مشخص کرد.

منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر دو دسته بادهای منظم فصلی و محلی قرار دارد. بادهای فصلی قسمتی از طوفان‌های خلیج فارس است که در اثر اختلاف فشار بین بیابان‌های عربستان و ارتفاعات زاگرس در فصول مختلف پدید می‌آید. این بادهای تقریباً در تمام سواحل خلیج فارس می‌وزند. هم‌چنین بادهای محلی منطقه نیز که بر اثر تغییر فشار بین کوه‌ها و سرزمین‌های هموار با دریا و جلگه در جهات گوناگون وزیده می‌شود به طوری که در فصل بهار و زمستان شدت و مدت این بادهای افزایش می‌یابد. طبق تحقیقات راهی و همکاران [۲۶]، از مهم‌ترین بادهای منطقه در این دو فصل فرسایش‌زای باد لیمرد یا لیمرد، لچیزب، باد شمال، باد سهیل، باد غیوب، باد تریه، باد سبعة، باد پیرزن است که این بادهای به‌طور ناگهانی و در مدت زمانی کمی می‌وزند و اگر در خشکی وزیده شود همراه با گردوغبار بسیار است. اطلاع از شاخص همگنی باد، نوع بادهای یک جهته، دو جهته همسو یا مخالف و یا بادهای چندجهته



شکل ۹: کانون ابوالفیروز



شکل ۱۰: نقشه محدوده پراکنش کانون های گرد و غبار

فصلی و دشت های سیلابی متغیر می باشد؛ لذا کانون های مستقر در جنوب استان فعالیت بیشتری از کانون های مستقر در مرکز و شمال استان دارا می باشند. از لحاظ خشک سالی های متوسط رخداد داده کانون های مستقر در گناوه و دیلم و تنگستان از دشتی، دیر، بوشهر بیش تر می باشد. البته درصد وقوع خشک سالی های شدید در شهرستان های دیر و دشتی بیش تر است. عمده اراضی این کانون ها بافت خاکی متغیر از سبک در تپه های شنی تا نیمه سنگین تا سنگین در دشت های سیلابی دارد هرچند برخی اقدامات مدیریتی، به ویژه در قسمت های دیر، دشتستان، تنگستان، دیلم، بوشهر گناوه (اقداماتی از جمله نهال کاری و جنگل کاری های دست کاشت بیابانی، مدیریت چرا و فرق) طی ۳۰ سال گذشته در زمینه تثبیت تپه های ماسه ای انجام گردیده است اما کافی نبوده؛ لذا در پژوهش های آینده به بررسی رخساره های ژئومورفولوژی و شناسایی نقش هر یک از آنها

در ارتباط با سرعت باد Windty و METOSAT، World Viewer و هم چنین اطلاعات قابل دسترس سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور با نقشه های شاخص های پوشش گیاهی، حد و حدود منابع گردوغبار شناسایی شده اند.

لازم به ذکر است در بیش تر موارد منابع تولید گردوغبار با کانون های برداشت فرسایش بادی منطبق است و نقشه رسوبات بادی کمک شایانی به این امر می کند. حد و حدود منابع تولید گردوغبار بر روی تصاویر گوگل ارث ارائه شده و تطبیق حدود منابع با پرس و جوی میدانی و بررسی علائم فرسایشی سطح خاک در بازدیدهای میدانی انجام شده است. (شکل ۹) کانون ابوالفیروز، به عنوان یکی از کانون های گردوغبار در منطقه را نشان می دهد.

وضعیت شیب و توپوگرافی

اراضی کانون گردوغبار استان بوشهر شامل اراضی پست و مسطح با شیب عمومی و متوسط ۲۰-۱ درصد شده و از شمال تا جنوب استان، آن هم بیش تر در مناطق مسطح و نسبتاً مسطح با ۱۶ کانون تولید گردوغبار فعال مطابق شکل ۱۰ قرار گرفته اند.

نتیجه گیری

پیدایش پهنه های ماسه ای و تشکیل مناطق مستعد به فرآیندهای فرسایش بادی و رخداد های گردوغبار نگرانی هایی را در چند سال اخیر در استان بوشهر ایجاد نموده است. لذا با شناسایی دو عامل اصلی آن یعنی در دسترس بودن ماسه و تنوع جهت باد می توان بخش زیادی از این نگرانی ها را کاست. با توجه به بررسی های پتانسیل حمل ماسه می توان نتیجه گیری کرد که در مقیاس سالانه تقابل بادهای محلی و منطقه ای موجب تفاوت در نوع رژیم بادی، در منطقه شده است که این موضوع موجب پیدایش تپه های طولی از نوع سیف و سیلک های دندانهای کشیده یا خطی در امتداد ساحل و در جهت بادهای فرساینده شده است. لذا جهت کنترل تپه های ماسه ای تشکیل شده شناسایی منابع تولید ماسه در ارتباط با شرایط بادی منطقه بسیار با اهمیت است. کانون های تولید گردوغبار در استان بوشهر در نواحی غربی استان از دیلم تا بندر دیر شامل ۱۶ کانون می باشد. اشکال مشاهده شده در این کانون ها عمدتاً سیف و نیکا می باشد. پتانسیل حمل سالانه ماسه در ایستگاه های استان بوشهر از ۵۶/۶ در ایستگاه دیلم تا ۳۳۴/۲ در ایستگاه خارک برآورد گردید. هم چنین در فصل بهار از ۱۵/۵ در ایستگاه دیلم تا ۷۳/۸ در ایستگاه بوشهر فرودگاهی، در فصل زمستان از ۱۹/۳ در ایستگاه دیلم تا ۱۳۷/۹ در ایستگاه خارک، در فصل تابستان از ۹/۳ در ایستگاه عسلویه تا ۵۸/۷ و در فصل پاییز از ۴/۳ در ایستگاه جم تا ۱۱۵ در ایستگاه خارک متغیر است. هم چنین برآورد حمل سالانه ماسه در ایستگاه های مورد مطالعه از ۸/۹۶ تا ۵۹/۶۰ تن بر متر در سال متغیر است. بافت خاک ها از لومی رسی تا لومی شنی در کانون های ساحلی تا لومی سیلنتی، لومی رسی در کانون های مجاور رودخانه های

of the sand sea with the tallest dunes on Earth: China's Badain Jaran Sand Sea, *Earth-Science Reviews*, 120: 20-39

10. Ekhtesasi, M.R., SaremiNaeini, M.A., and SaremiNaeini, A. 2006, Design of sand rose graph software, the processor of soil erosion power and sediment, the first national conference of Wind Erosion, Yazd, Iran, January 24-26. (In Persian)

11. Ekhtesasi, M.R., and Dadfar, S. 2013. Investigation of the relationship between hurricanes on the southern coast of Iran and the morphology of sand dunes. *Journal Natural Geography Research*, 45 (4): 61-72. (In Persian)

12. Fryberger, S.G., and Dean, G. 1979. Dune forms and wind regime. United States Geological Survey, Professional Paper, 137-140.

۱۳. Fattahi, Y., Nazari Samani, A.A, Abbasi, H., and Ahmadi, H. 2017. A Comparative Study of Wind Directions and sand dunes morphology of Jen erg, *Researches in the Earth Science*, 8(92): 1-17. (In Persian)

14. Hanifeh pour, M., Mashhadi, N., and Khosravi, H. 2014. Determining the Dominant Season of Erosive Winds Using Golbad, GolToofan and Golmaseh (Case Study: Damghan County). The Second National Desert Conference with with Dry Areas Management Approach and Desert, wind erosion and dust, Damghan, Iran. (In Persian)

15. Hanifehpour, M., Zehtabian, Gh., Khosravi, H., and Biabani, L. 2019, Study of sand carrying capacity in the west of Tehran province, International Conference on Dust in Southwest Asia, Zabol University, Iran. (In Persian)

16. Livingstone, I., Bristow, C., Bryant, R.G., Bullard, J., White, K., Wigs, G.F.S., Baas, A.C.W., Bateman, M.D., and Thomas, D.S.G. 2010. The Namib Sand Sea Digital Database of aeolian dunes and key forcing variables. *Aeolian Research*, 2(2-3): 93-104.

17. Mainguet, M. 1984. A classification of dunes based on aeolian dynamics and the sand budget. In *Deserts and Arid lands*, ed.F. El-Baz. The Hague, Martinus Nijhoff, 31-58.

18. Mesbahzadeh, T., and Ahmadi, H. 2010. The role of wind regime in the flow rate and for the transfer of sediments in sand dunes (Case study: Sabzevar). *Geographical Research*, 99: 101-114. (In Persian)

19. Mesbahzadeh, T., and Ahmadi, H. 2012. Investigation of sand drift potential (case study: Yazd-Ardakan plain), *Journal of Agricultural Science and Technology*, 14(4): 919-928. (In Persian)

20. Mohammad Khan, Sh., and Kashefi, F. 2015. Directions of wind sand transfer in Ardestan region through temporal comparison

در تولید رسوبات ماسه‌ای پرداخته و اقدامات لازم به‌منظور کنترل فرسایش بادی با توجه به شرایط اکولوژیک و اقلیمی خاص منطقه انجام می‌گیرد.

سپاسگزاری

پژوهش حاضر بخشی از طرح تحقیقاتی پایش عوامل اقلیمی مؤثر بر تشدید پدیده گردوغبار و ماسه‌های روان (فرسایش بادی) در ایران، زیر پروژه (استان بوشهر) با کد مصوب ۰-۲۳-۶۶۲۹ با همکاری موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان بوشهر بوده و از راهنمایی‌های ارزنده مدیران و کارشناسان در راستای اعتلای بیش‌تر پژوهش قدردانی می‌شود.

منابع

1. Abbasnejad, A., and Zahabunouri, S. 2012. Identification of wind erosion forms in Rafsanjan plain, *Quantitative Geomorphological Research*, 1(2), 127-144. (In Persian)

2. Ahmadi, H. 2012. Applied geomorphology. Vol :2. University of Tehran Press, Tehran, Iran. (In Persian)

3. Ahmadi, H., and Mesbahzadeh, T. 2011. Comparison of sand drifts potential estimating using momentum method and Fryberger velocity classes method (Case study: Jask and Kerman). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 25(1): 11-18. (In Persian)

4. ArabAmeri, A., and Halabian, A. H. 2017. Analysis of morphometric components of nebkas and introduction of the most suitable type for stabilization of quick sands using ELECTRE algorithm (Case study: Chahjam sand). *Journal Geography and planning Environmental*, 28(2): 93-108. (In Persian)

5. Bagnold, R.A. 1941. *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes*. Methuen and Co., London, 1941, 265.

6. Biabani, L., Khosravi, H., NazariSamani, A., and Hanifehpour, M. 2017. Study of sand carrying capacity on the eastern shore of Lake Urmia. 4th National Conference on Wind Erosion and Dust Storms, Yazd, Iran. (In Persian)

7. Biabani, L., Abdoshah, M., Hanifehpour, M., and Khosravi, H. 2018. Assessment of wind speed changes trend and its impact on dust region (Case study, Urmia). *Forest and Rangeland*, 115: 11-17. (In Persian)

8. Dong, Z., Chen, G., He, X., Han, Z., and Wang, X. 2004. Controlling blown sand along the highway crossing the Taklimakan Desert. *Journal of Arid Environments*, 57: 329-344.

9. Dong, Z, Qian, G, Lv, P, and HU, G. 2013. Investigation

- Ghazanfarpoor, N. 2006. Morpho dynamic and analysis of wind faces using spatial sand rose model in Zabol and Zahak region. *Biaban*, 11(1): 45- 51. (In Persian)
- 27-Shahriyar, A., and Taherinejad, K. 2017. The role of wind direction and wind homogeneity index in temporal development and determining the morphology of sand dunes (Case study: Sadeghabad-Bafgh citadel), *Quaternary of Iran*, 4 (2): 187-198. (In Persian)
28. Sparavigna, A. C. 2013. A Study of Moving Sand Dunes by Means of Satellite Images, *The International Journal of Sciences*, 2 (8): 33-42.
29. Yamani, M., Zahab Nazori, S., and Gorabi, A. 2011. Morphometric study and causes of Kerman sand establishment through analysis of wind properties and granulometry of sand particles, *Arid Regions Geographic Studies*. 1(4): 17. (In Persian)
30. Zu, R., Xue, X., Qiang, M., Yang, B., Qu, J., and Zhang, K. 2008. Characteristics of near-surface wind regimes in the Taklimakan desert, China. *Geomorphology*, 96: 39-47.
- of sand dunes morphometry and wind characteristics, *Quantitative Geomorphological Research*, 1(13): 59-74. (In Persian)
21. Moursy, I., Gaber, E. I., and Samak, M. 2002. Sand drift potential in El-khanka area, Egypt. *Water, Air, and Soil Pollution*, 136: 225-242.
22. Nazari Samani, A. A., Biabani, L., H. R. Abbasi, H. R., and Khosravi, H. 2018. Effects of wind erosivity and sand drift on the littoral area of Urmia Lake and sand mobility, *Range and Desert Research*, 25(97): 594-612.
23. Nazari Samani, A. A., Tavakkoli Fard, A., Ghasemieh, H., Mashhadi, N., and Rahdari, M.R. 2018. Effects of wind erosivity and sand drift on the littoral area of Urmia Lake and sand mobility. *Range and Desert Research*, 25(3): 594-612. (In Persian)
24. Pourmand, S., Gholam Ali Zadeh Ahangar, A., and Dehvari, A. 2015. Investigation of wind mobility in Sileh plain of Sistan. *Journal of Water and Soil*, 29 (1): 150-139. (In Persian)
25. Raffaele, L., Bruno, L., Pellerey, F., and Preziosic, L. 2016. Windblown sand saltation: A statistical approach to fluid threshold shear velocity. *Aeolian Research*, 23: 79-91.
26. Rahi, G. H., Bahreyni, F., Gholamian, A., and Ahmadi, A. 2017. Monitoring of climatic factors affecting the intensification of dust (wind erosion) in Iran. *Research Institute of Forests and Rangelands*, 195. (In Persian)
27. Rajabi, M. R., Rohani, F., Ekhtesasi, M. R. and



Abstract

Assessment of Wind Erosivity and Zonation of Potential Sand Drifts Over the Bushehr Province to Identify Dust Emission Sources

Gh. Rahi¹, H. Abbasi², A. Goli³ and L. Biabani⁴

Received: 2023/08/10 Accepted: 2023/09/22

It is essential to understand the characteristics of regional winds in order to prevent the effects of wind degradation, which is a significant factor in the degradation of arid and semi-arid land. The main aim of this study was to determine the status of erosive wind and the sand drift potential and its relationship with dust emission areas. Annual wind roses showed prevailing winds from the west, southwest, and northwest. In addition, the annual storm roses showed that the erosive winds were mainly in the west, southwest, and northwest directions. In winter and spring, a multidirectional wind regime is blowing. According to the calculation of the sand drift potential using the Fryberger & Dean equation, wind erosion drift is categorized into the low-to-moderate class, with the resultant sand drift in the southeast direction. Mean quantitative sand discharge rate was 8.9 Ton.m.Yr⁻¹. Based on overlaying vegetation cover, wind velocity, geomorphology, and sand-sea maps, the area with the most potential dust emission was determined. In most areas, dust emissions coincide with wind erosion hot spots. In addition, the variability of wind direction has caused longitudinal sand dunes (Seif and Silk) to form. Therefore, the abrasion of the ground surface by sand drift on the plains with sparse vegetation covers activates the dust emission process in the study area.

Keywords: Anemometer data, Dust, Hill morphology, Sand discharge, Wind regime, Wind rose.

1. Assistant Professor of Soil and Watershed Conservation Research, Bushehr Agricultural Research and Training Center, Agricultural Research, Training and Promotion Organization, Corresponding Author, Email: ghrahi@gmail.com.

2. Assistant professor, Desert research division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

3. Bachelor's student of Nature engineering, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran.

4. Ph.D. Student of Desert Studies, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran.