

تحلیلی ژئومورفولوژیک از رخدادهای گردوغبار دارای منشاً محلی

(نمونه موردی: ساحل غربی مکران در استان هرمزگان)

ژرافشان خزرک: دانشجوی کارشناسی ارشد آب و هواشناسی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس
محمد اکبریان *: استادیار گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس
اسدالله خورانی: دانشیار گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس
نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ پذیرش: ۹۹/۷/۱۸ تاریخ دریافت: ۹۹/۶/۱

چکیده

ایران از جمله کشورهایی است که شاهد افزایش رخداد گردوغبار در سال‌های اخیر است. عمدۀ کانون‌های بحرانی فراسایش بادی استان هرمزگان در جلگه‌های ساحلی شرقی آن دیده می‌شود. سواحل مکران، از جمله بیابان‌های ساحلی است که با داشتن ویژگی‌های ژئومورفولوژیک خاص، همواره در معرض سایش باد قرار دارد. این پژوهش با هدف مطالعه ارتباط گردوغبارهای جلگه غربی مکران با ژئومورفولوژی جلگه صورت گرفته است. برای این منظور از تصاویر ماهواره‌ای مودیس، داده‌های مشاهده باد و نیز اطلاعات گرانولومتری رسوبات استفاده شد. همچنین نقشه‌های توپوگرافی و ژئومورفولوژی منطقه، ادوات آزمایشگاهی دانه‌سنگی، جی‌بی‌اس^۱ و نرم‌افزارهای رایانه‌ای از قبیل اینوی^۲، مورد استفاده قرار گرفتند. در این مطالعه شاخص‌های قطري ذرات تعیین و سرعت آستانه فراسایش بادی و احتمال زمانی رخداد فراسایش بادی در ماه‌های مختلف محاسبه شد. غلظت گردوغبار در روزهای محتمل گردوغباری از طریق پردازش عمق نوری تصاویر ماهواره‌ای ترا، بررسی شد. براساس نتایج، آستانه فراسایش بادی عمدۀ لندفرم‌های جلگه، ۷/۲۱ متر بر ثانیه است. احتمال وقوع فراسایش بادی در دو بخش جنوبی و غربی جلگه به ترتیب با ۲۱/۵۱ و ۱۱/۹۰ درصد در ماه مارس زیاد است. با این حال غلظت گرد و غبار در این دو بخش متفاوت است. دو روند متفاوت شمالی جنوبی و غربی شرقی در کشیدگی جلگه و لندفرم‌های حساس به برداشت باد، به ترتیب در محدوده شرق تنگه هرمز و ساحل دریای عمان، وجود دارد. به نظر می‌رسد باد قادر است بدون آن که اشباع شود، حجم زیادی از ذرات معلق را با گذر از پهنه‌های حساس به برداشت، به طول زیاد و عرض کم، در جلگه غربی جابه‌جا نماید؛ این فرآیند در جلگه جنوبی که فرم‌های حساس به برداشت، عرض کم و کشیدگی زیادی در جهت باد دارند صادق نیست. نتایج نشان می‌دهد تفاوت مکانی غلظت گردوغبار منطقه، عمدتاً متأثر از نحوه آرایش لندفرم‌ها در مقابل باد غالب بوده و میزان حساسیت آن‌ها به برداشت عامل تعیین‌کننده‌ای نیست.

واژگان کلیدی: استان هرمزگان، جلگه مکران، گردوغبار، مخاطرات اقلیمی.

¹ GPS

² Envi

³ terra

۱- مقدمه

در نواحی خشک و نیمهخشک، ذرات گردوغبار تحت تأثیر عوامل گوناگونی نظیر شرایط جوی، ویژگی‌های سطح زمین و خاک وارد جو شده (ضازاده و همکاران، ۱۳۹۲) و به اشکالی مانند روز گردوغباری یا طوفان گردوغبار مکرراً مشاهده می‌شوند (Sedaghat, 2006). شکل‌گیری و انتقال گردوغبار تحت تأثیر دو عامل شرایط سطحی زمین و شرایط جوی منطقه قرار دارد. در بررسی شرایط جوی سرعت و جهت وزش باد مهم‌ترین نقش را در انتقال گردوغبار ایفا می‌کنند. که خود تحت تأثیر سایر عناصر جوی بخصوص الگوی فشار هستند؛ و عامل فشار از شرایط حرارتی و دینامیکی جو تاثیر می‌پذیرد (Shamsipour et al., 2015). در این میان بارندگی تأثیر ویژه‌ای در فرسایش بادی و موقع گردوغبار دارد؛ هیچ خاکی با داشتن سطح مرطوب جابجا نمی‌شود و فقط خاک خشک است که توسط باد جابجا می‌شود (رفاهی، ۱۳۸۳). ایجاد و جابجایی گردوغبار ارتباط مستحکمی با آب و هوا داشته، متأثر از خشکسالی‌های جهانی و منطقه‌ای تشیدید می‌شود (Aarons et al., 2019). خشکی سطح در واقع اثرات برداشت باد را تشیدید می‌کند. Bagnold (۱۹۴۱) در مطالعات خود به این نتایج دست یافت که حداقل سرعت بحرانی پادردگی برای تحرک ذرات $15/0$ میلی‌متری است، بدین معنا که ذرات $15/0$ میلی‌متری بیشترین قابلیت در تحرک را نشان می‌دهند. بالاتر و پایین‌تر از این اندازه، سرعت آستانه فرسایش به تناسب جذر قطر ذرات، سریع‌تر افزایش می‌یابد. پس از آنکه حرکت از آستانه سیالیت گذشت و انتقال توسط باد صورت گرفت، سرعت باد می‌تواند تا خط تقسیم آستانه فشردگی کاهش یابد بدون اینکه توقفی در وضع رسوب‌های در حال حرکت اتفاق بیفتد (Chorley et al., 2000).

بارش و تبخیر و تعرق با تغییر وضعیت رطوبتی خاک، فرسایش‌پذیری خاک را تغییر می‌دهند. اگرچه به نیروی انرژی جنبشی قطرات باران در مبحث فرسایش بادی توجه نمی‌شود، اما، باران با تخریب خاکدانه‌ها و کلوخه‌های خاک سطحی، شرایط را برای حمل پاشمانی- غلطشی ذرات (شبیه به تخریب پاشمانی در فرسایش آبی)، در فاصله بین دو بارش، فراهم می‌کند (Cornelis et al., 2004). با این وجود اثرات بارش بر کاهش فرسایش بادی، قابل اغماس نیست. براساس مطالعات انجام شده در صورتی که خاک خشکی را تا رطوبت نقطه پژمردگی خیس کنند، فرسایش‌پذیری آن در ابتدا به کندی و سپس به سرعت کاهش می‌یابد (Refahie, 2004) به نقل از ۱۹۵۶ و Chepil & Hise, 1966 (Bisal & Hise, 1966). ایران در منطقه خشک‌ونیمه‌خشک جهان قرار گرفته است. از این‌رو بسان سایر مناطق خاورمیانه در معرض فرسایش بادی و طوفان‌های گردوغبار است. هر چند نتایج شبیه‌سازی طوفان‌های شدید خاورمیانه با استفاده از مدل عددی WRF، نشان می‌دهد که سهم ایران در میزان انتشار، بسیار پایین‌تر از سهم آن در میزان رسوب گردوغبار و زمان اقامت است (Hamidi, 2017). با این حال در دهه‌های اخیر، به دلایل متعددی از جمله افزایش خشکسالی‌ها، رخدادهای گردوغبار تکرار و شدت بیشتری یافته‌اند. در این زمینه پژوهش‌هایی عمده‌تاً در جنوب غرب و جنوب‌شرق کشور صورت گرفته که بیانگر روند افزایشی وقوع این پدیده است. از مناطق انتشار گردوغبار در جنوب شرق به پلایای جازموریان می‌توان اشاره کرد؛ مخاطره گردوغبار عملکرد وسیعی در سطح پلایا و حواشی آن دارد و پلایای جازموریان به دلیل شرایط محیطی یکی از منشأهای گردوغبار در جنوب شرق کشور محسوب می‌شود (Yamani et al., 2020). نتایج مطالعات Yarahmadi (۲۰۱۵)، حاکی از این است که در سال‌های اخیر در غرب و جنوب غرب ایران میزان متوسط بارش سالانه کاهش و میزان دما، سرعت باد و تعداد روزهای گردوغباری افزایش یافته است. روند تغییرات فراوانی روزهای همراه با طوفان‌های گردوغباری غرب کشور نیز نشان می‌دهد که فراوانی طوفان‌های گردوغبار در نیمه غربی ایران بهویژه در قسمت‌های جنوب غربی، افزایش دارد (Zeinali, 2016). شناسایی منشأ ریزگردها با بهره‌گیری از تصاویر سنجنده AVHRR ماهواره NOAA نشان می‌دهد که منابع و کانون ریزگردهای جنوب غرب ایران، بیشتر در مرازهای جنوب غرب کشور واقع شده اند (Rezaei Moghaddam & Mahdian Boroujeni, 2016). این امواج گردوغباری هرچه از منشأ و یا کانون اولیه خود فاصله می‌گیرند از شدت و تداوم آن کاسته می‌شود (Arami et al., 2018).

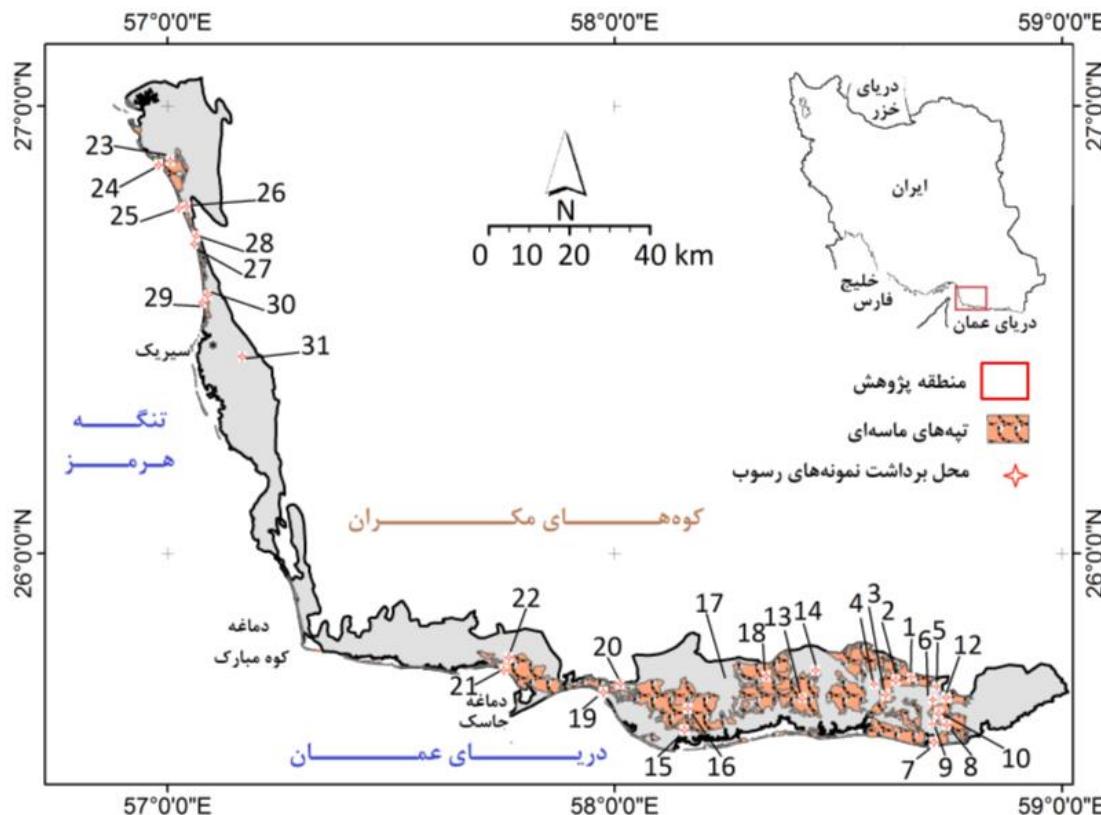
جدای از نقصان بارندگی، از دیگر عوامل تأثیرگذار بر افزایش رخداد گردوغبار، افت سطح سفره آب زیرزمینی است (Azizyan et al., 2018)؛ شبیه‌سازی رطوبت خاک حوضه آبریز هامون- هیرمند نشان داد که بیشترین مقدار کاهش رطوبت خاک در سال ۲۰۱۹ بوده و تا سال ۲۰۲۶ خاک سطحی منطقه کاملاً خشک و چسپندگی بین ذرات خاک کم خواهد شد. درنتیجه مقاومت برشی خاک نیز کاهش یافته، منطقه توان تولید گردوغبار را خواهد داشت (Azizyan et al., 2018). نتایج بررسی‌های

Arjmand و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که وقوع طوفان گردغبار در منطقه جازموریان از سال ۲۰۰۱ به بعد با روند صعودی داشته است. مطالعات جهانی از جمله غرب تگزاس در آمریکا (Lee et al., 2012)، هامون در ایران (Dahmardeh et. al., 2019)، مؤید این مطلب است که بین انتشار گردغبار و ویژگی‌های ژئومورفولوژی و پوشش زمین نیز روابط انکارناپذیری وجود دارد. میزان ذرات معلق نیز با نوع لندرم ارتباط دارد، مطالعه تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های عمق نوری نیز همبستگی بین انتشار گردغبار و ژئومورفولوژی را نشان می‌دهد (Amanollahi, 2015).

رویدادهای گردغبار یکی از مهم‌ترین تهدیدات محیط‌زیست انسانی در کشورهای دارای مناطق خشک و بیابانی است (Kermani et al., 2016; Yazdani et.al., 2020; Raispour, 2018). بیابان‌هایی که از ایران به افغانستان و پاکستان و نهایتاً شمال غرب هندوستان امتداد یافته‌اند منبع اصلی تولید گردغبار در منطقه جنوب غربی آسیا هستند (Hamidi et al., 2011). خسارات گردغبار فرای مرزهای جغرافیایی بوده و برای کاهش این خسارات، علاوه بر اقدامات انجام شده در سطح ملی، انعقاد تفاهم نامه‌های همکاری بین کشورهای همسایه ضرورت دارد (Yazdani et.al., 2020). بر اساس مطالعات طرح ملی شناسایی کانون‌های بحرانی فرسایش بادی، بالغ بر ۲۰ میلیون هکتار از عرصه‌های کشور در شرایط حاد فرسایش بادی است. از این مقدار حدود ۱۳ میلیون هکتار جزو مناطق برداشت، حدود ۲ میلیون هکتار را مناطق حمل یا ترانزیت و حدود ۵ میلیون هکتار را مناطق رسوبگذاری یا تپه‌های ماسه‌ای و پهنه‌های ماسه‌ای تشکیل می‌دهند (Desert Affairs Bureau, 2002). عده کانون‌های بحرانی فرسایش بادی استان هرمزگان در جلگه ساحلی شرقی استان است. در جلگه‌های ساحلی رودخانه‌ها به دیواره دره‌ها محدود نشده و مرتباً تغییر مسیر می‌دهند (Chorley et al., 2000). تغییر مسیر رودخانه‌ها بر سطح جلگه، با پدید آوردن بسترها عریض متزווک و مملو از رسوبات ریزدانه، شرایط لازم برای برداشت رسوبات توسط باد (که وزش آن از ویژگی‌های مناطق خشک است) را فراهم می‌کند (Akbarian et al., 2012). سواحل مکران (در استان هرمزگان) از جمله بیابان‌های ساحلی است که با داشتن ویژگی‌های ژئومورفولوژیک خاص، همواره در معرض سایش باد قرار دارد. عدم وجود مانع و کمی پوشش گیاهی سواحل مکران، باعث شده که منطقه در اختیار رُفت و روبهای بادی قرار گرفته و حجم عظیمی از ماسه به کیلومترها دورتر از ساحل انتقال یابد (Mahmoodi, 2002). این منطقه از دیدگاه ژئومورفولوژی دینامیک کاملاً فعال بوده و تمام فازهای فرسایشی اعم از آبی و بادی و فرسایش ساحلی را به طور همزمان تجربه می‌کند (Dabbagh, 2002). منطقه مورد مطالعه از نظر توپوگرافی نسبتاً یکسان بوده و به نظر می‌رسد در طول جلگه ساحلی در دینامیک باد نیز تفاوت چندانی وجود نداشته باشد؛ لیکن تفاوت‌های مشهودی از نظر گسترش فرم‌های ژئومورفیک نسبت به جهت باد غالب منطقه وجود دارد. در این تحقیق به منظور تبیین نقش ساختار ژئومورفولوژیک منطقه بر برداشت ذرات ریزدانه خاک سطحی توسط باد، ژئومورفولوژی و نقش آن در منابع گردغبار جلگه غربی مکران بررسی می‌شود.

۲- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد پژوهش در استان هرمزگان، سواحل شرقی تنگه هرمز و شمال دریای عمان در مختصات جغرافیائی^۱ ۵۶°۰۰' تا ۵۴°۰۰' طول شرقی و^۲ ۳۱°۰۰' تا ۲۷°۰۰' عرض شمالی واقع شده است. وسعت این محدوده ۳۶۶۸/۷۹ کیلومتر مربع معادل ۳۶۶۸۷۹ هکتار است (شکل ۱). این منطقه، در واحد ژئومورفولوژی جلگه‌های کناره‌ای جنوب، جلگه شمال دریای عمان و از نظر زمین‌شناسی در زون مکران قرار دارد؛ این زون از رسوبات بستر دریا، سنگ‌های آفیولیتی و رسوبات آب‌های سطحی تشکیل شده است. میزان بارش سالیانه آن، کمتر از ۳۰۰ میلیمتر (عموماً کمتر از ۲۰۰ میلیمتر) بوده و تقریباً تمام بارندگی در فصل زمستان است و ۸ تا ۸ ماه سال بارندگی ندارد این منطقه با رطوبت متوسط سالانه بین ۶۰ تا ۸۰ درصد، دارای زمستان گرم با درجه حرارت متوسط دی ماه بیش از ۱۵ درجه سانتی‌گراد و متوسط تیر ماه کمتر از ۳۴ درجه سانتی‌گراد است.



شکل ۱: موقعیت منطقه پژوهش، محل های نمونه برداری خاک سطحی با کد نمونه بر روی نقشه مشخص شده است

منطقه پژوهش، به صورت مجموعه دشت سرهای بهم پیوسته است که از یک سمت متکی به تپه های طاقدیسی و از طرف دیگر تا ساحل دریا امتداد یافته است. پهنهای نابرابر این جلگه، از یک طرف در ارتباط با اختلاف مقاومت ساختمان سنگ شناسی و از طرف دیگر در ارتباط با حجم آبرفت رودها و وسعت حوضه آبگیر آنها است. جلگه مکران توسط پنج نقطه تپه های نسبتاً بلند از بقایای چین های مکران که به صورت زبانه کوه هستانی (دماغه) تا ساحل رسیده به شش قسمت تقسیم می شود (علاوه طالقانی، ۱۳۸۲). بر اساس موقعیت اولین زبانه در بونجی (غرب کوه مبارک)، محدوده مورد مطالعه به دو بخش اصلی که جهت کشیدگی کاملاً متفاوتی دارند، تقسیم شده است (شکل ۱)؛ غرب کوه مبارک و دماغه بونجی، ساحل تنگه هرمز را شامل شده و روند شمالی جنوبی دارد؛ بخش شرقی نیز با روند غربی شرقی سواحل شهرستان جاسک را دربر می گیرد.

۳- مواد و روش

داده های تحقیق شامل تصاویر ماهواره ای مادیس، داده های مشاهده باد (سرعت، جهت و...)، در بازه زمانی ۱۹۹۳/۱/۱ - ۲۰۱۸/۴/۳۰ میلادی و نیز اطلاعات گرانولومتری ذرات (رسوبات بادی، بستر مسیل ها، سطوح مختلف جلگه و نوار ساحلی) است. این داده ها طی گام های مختلف مطالعاتی جمع آوری شده و در فرایند تحقیق بکار گرفته شدند. از نقشه های توپوگرافی، نقشه ژئومورفولوژی منطقه (Akbarian et al., 2019) و نرم افزار های رایانه ای ENVI و ArcGIS به عنوان ابزار استفاده شد. ادوات آزمایشگاهی برای دانه سنجی، GPS، دوربین عکس برداری و وسایل نمونه برداری جهت نمونه برداری و عملیات صحراei، از دیگر ابزار تحقیق بودند.

به منظور برداشت داده های هواشناسی، از دو ایستگاه سینوپتیک جاسک در محدوده جلگه جنوبی و ایستگاه سینوپتیک میناب، نزدیک ترین ایستگاه به جلگه غربی استفاده شده است. برای آنالیز داده های رطوبت و بارش، در جلگه جنوبی از آمار ایستگاه جاسک و در جلگه غربی از آمار ایستگاه میناب استفاده شد. از آنجایی که مشاهدات میدانی و سوابق مطالعاتی (Akbarian et al., 2019)

سینوپتیک جاسک است، برای آنالیز داده‌های باد در کل عرصه تحقیق از آمار ایستگاه سینوپتیک جاسک، استفاده شد. پس از مطالعات کتابخانه‌ای و جمع‌آوری کتاب‌ها، اسناد، مدارک و نقشه‌های مورد نیاز، مطالعه در مراحل زیر پیگیری شد.

۱-۳ بررسی ویژگی‌های منطقه، برآورد سرعت آستانه و شرایط احتمال فرسایش بادی:

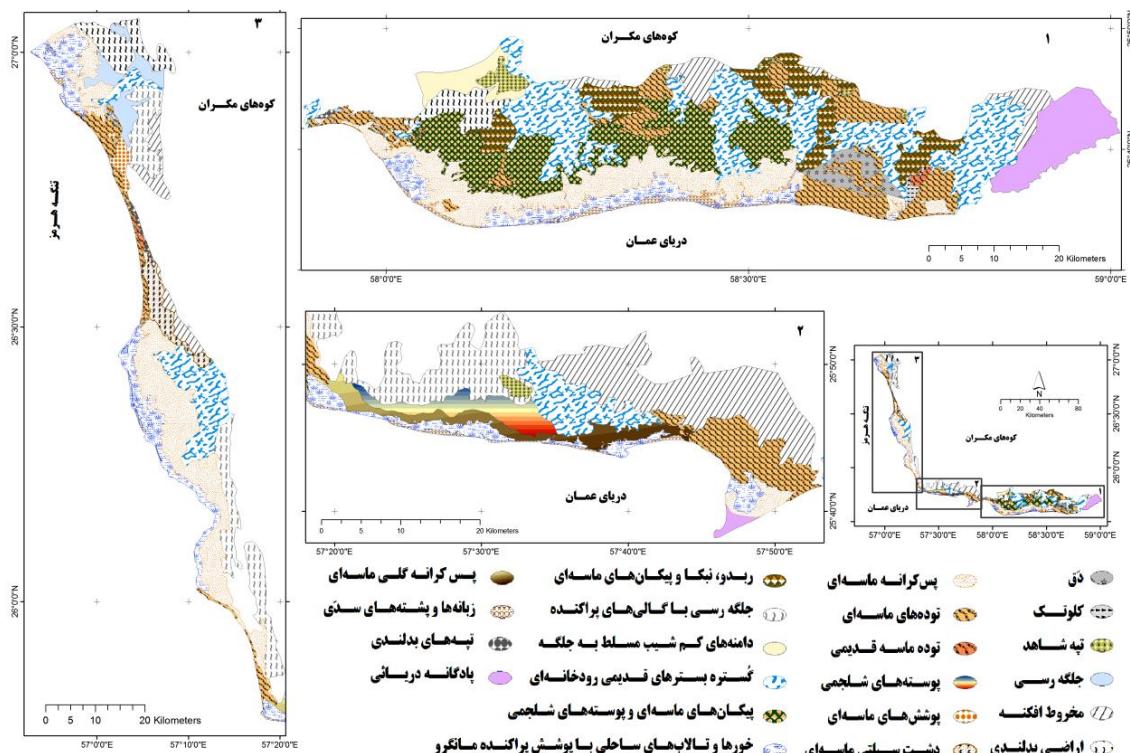
الف- مطالعات رسوب‌شناسی و بررسی آستانه فرسایش بادی در هوای خشک

سرعت آستانه فرسایش بادی در هوای خشک، با روش‌های مختلف قابل محاسبه است. در این مطالعه، روش ولیکانف (Ahmadi, 2008) و زاخار (۱۹۸۲) مورد آزمون قرار گرفت. بر اساس سوابق مطالعاتی (Akbarian, 2003; Shayan et al., 2014; Ekhtesasi, 2006 و Akbarian, 2014) و همچنین مشاهدات و وقایع نگاری میدانی کارشناسان ایستگاه‌های بیابان‌زدایی وابسته به اداره کل منابع طبیعی استان هرمزگان (Akbarian, 2008; Akbarian, 2007)، در این مطالعه از "تعیین سرعت آستانه فرسایش بادی بر اساس دانه‌بندی و قطر ذرات" استفاده شد. در این روش از ارتباط قطر میانگین خاک سطحی با سرعت آستانه فرسایش بادی (Zachar, 1982) استفاده شد (جدول ۱).

جدول ۱: رابطه قطر ذرات با سرعت آستانه فرسایش بر اساس سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری (Zachar, 1982)

ردیف	قطرمیانگین ذرات خاک سطحی (میلیمتر)	سرعت آستانه فرسایش بادی در ارتفاع ۱۰ متری (متر بر ثانیه)	فرسایش پذیری بادی خاک
۱	۰/۱-۰/۱۵	۵-۷	خیلی زیاد
۲	۰/۰۵-۰/۱ و ۰/۱۵-۰/۵	۷-۹	زیاد
۳	۰/۰۱-۰/۰۵ و ۰/۰۵-۱	۹-۱۲	متوسط
۴	۰/۰۰۵-۰/۰۱ و ۱-۲	۱۲-۱۸	کم
۵	بالای ۲ و کمتر از ۰/۰۰۵	بزرگ‌تر از ۱۸	خیلی کم

برای محاسبه سرعت آستانه فرسایش بادی در هوای خشک، از نقشه لندهای منطقه (Akbarian, 2014، شکل ۲) و نمونه رسوبات گردآوری شده توسط Akbarian و همکاران (۲۰۱۹) استفاده شد. در مطالعات صورت گرفته توسط Akbarian و همکاران (۲۰۱۹)، بسته به گستره و پراکندگی توده‌های ماسه‌ای، از انتهای مناطق رسوب به عنوان نقطه شروع، به سمت قطاع برداشت، نمونه‌های رسوب برداشت شده است. نمونه برداری از تپه‌ها حداقل به فاصله ۲ کیلومتر از هم و در سایر مناطق (برداشت و حمل) حداقل سه نمونه از خاک سطحی به عمق ۳ سانتی‌متری برداشت شده و نمونه مخلوط تهیه شده است. در این تحقیق از اطلاعات گرانولومتری ۳۱ نمونه جمع‌آوری شده از منطقه، استفاده شده است.



شکل ۲: گستره لندرم‌های منطقه پژوهش (Akbarian et al., 2019)

ب- بررسی نقش رطوبت در کاهش سرعت آستانه فرسایش بادی منطقه: سرعت آستانه فرسایش با بالا رفتن رطوبت نسبی هوا، افزایش می‌یابد (رفاهی، ۱۳۸۳). با توجه به نقش رطوبت در جابجایی ذرات توسط باد، سرعت آستانه فرسایش در شرایط مرطوب بر اساس معادله بلی (رفاهی، ۱۳۸۳ به نقل از ۱۹۶۴ محاسبه شد (معادله ۱)).

$$\text{معادله (۱): } U_{th} = \left(1 + \frac{0.5h}{100}\right) U_i$$

در این رابطه U_{th} : آستانه سرعت برشی در هوای مرطوب، h : درصد رطوبت هوا و U_i : آستانه سرعت برشی در هوای خشک است.

ج- بررسی شرایط احتمال فرسایش

به منظور بررسی شرایط احتمال فرسایش و بر اساس احتمال شرطی وزش باد بیش از آستانه و فقدان رطوبت-بارش لازم برای چسبندگی خاکدانه‌ها، از رابطه زیر با فرمول نویسی شرطی در نرم افزار Excel، استفاده شد (معادله ۲). از آنجایی که سرعت آستانه برای لندرم‌های مختلف سطح جلگه متفاوت است، شرایط احتمال فرسایش برای حساس‌ترین فرم‌ها به فرسایش محاسبه شد.

$$\text{معادله (۲): } P(S/D) = \frac{P(S \cap D)}{P(D)}$$

در این رابطه $P(S/D)$: احتمال شرطی (رخداد همزمان) سرعت باد بیش از آستانه و خشکی هوا (وزش‌های با بارش کمتر از یک میلی‌متر) است. از آنجا که نیروی پیوستگی بین مولکول‌های آب و ذرات خاک باعث چسبندگی ذرات خاک به یکدیگر شده و باد به راحتی قادر به حمل آن‌ها نخواهد بود (صبحاً زاده، ۱۳۸۹) بنابراین روزهایی که دارای ۱ میلی‌متر بارش و کمتر بوده‌اند، به عنوان روز خشک تلقی شده است. $P(S \cap D)$: احتمال توانم وزش باد و خشکی و $P(D)$: احتمال رخداد خشکی است. به منظور انجام محاسبات احتمال وقوع فرسایش، با استفاده از نرم افزار Excel احتمالات شرطی به صورت زیر تعریف و به کار گرفته شد:

$P(D)=1$: وقوع پدیده خشکی (بارش کمتر از ۱ میلی‌متر). بر اساس داده‌های روزانه

$P(S) = 1$: وزش باد با سرعت بیش از آستانه فرسایش بادی. بر اساس داده‌های روزانه
 $P(S \cap D) = 1$: خشکی همراه با وزش باد با سرعت بیش از آستانه. به تفکیک ماه و سال در دوره آماری
 $P(S/D)$: احتمال وقوع فرسایش بادی، به تفکیک ماه و سال در دوره آماری
سپس احتمال زمانی رخداد فرسایش بادی در ماه‌های مختلف و نیز تغییرات احتمال وقوع آن در طول دوره آماری با نرم افزار Excel محاسبه شد.

۲-۳- محاسبه تغییرات زمانی شاخص‌های فرسایش

پس از محاسبه احتمال شرطی فرسایش و مشخص کردن روزهایی از دوره آماری مورد مطالعه، که شرایط لازم رخداد فرسایش بادی و برداشت رسوب را دارا بودند، به کمک تصاویر ماهواره‌ای مودیس و نرمافزار ENVI، میزان عمق نوری و غلظت گردوغبار در روزهای مورد مطالعه در کل منطقه استخراج و با رجوع به نقشه ژئومورفولوژی منطقه (شکل ۲)، مورد تحلیل قرار گرفت. تصاویر ماهواره‌ای مودیس نیز، برای روزهایی از دوره‌ی آماری که احتمال رخداد فرسایش بادی فراهم بود، تهیه و مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور، داده‌های aerosol optical depth مربوط به سکوی terra سنجنده مودیس با الگوریتم ۱۰ کیلومتری و قدرت تفکیک مکانی یک کیلومتر مربوط به منطقه مورد مطالعه از سایت World view اخذ شد. این داده‌ها مربوط به دو موقعیت روز و شب بودند که در این پژوهش، داده‌های روز، انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت.

۴- یافته‌ها (نتایج)

- آستانه فرسایش در شرایط هوای خشک و هوای مرطوب

بررسی دانه‌بندی رسوبات در جلگه غربی و جنوبی، نشان داد که، تفاوت محسوسی در این دو منطقه وجود ندارد. قطر غالب ذرات رسوب در جلگه جنوبی، بین ۹۴ تا ۳۷۵ میکرون متغیر است. اما در جلگه غربی (شرق تنگه هرمز) قطر غالب ذرات بین ۱۸۷/۵ تا ۳۷۵ میکرون دیده می‌شود. براین اساس قطر ذرات رسوب در عمدۀ لندرمۀ جلگه غربی و جنوبی، در حدود ۱۸۷/۵ میکرون بوده که بر اساس جدول زاخار (جدول ۱)، به آستانه فرسایش بادی با سرعت ۷/۲۱ متر بر ثانیه را در شرایط خشک منجر می‌شود. نتایج محاسبات تغییرات درصد رطوبت نسبی روزانه هوا در بازه زمانی مورد مطالعه و تغییرات سرعت آستانه فرسایش بادی متناسب با آن در جلگه‌ی جنوبی و جلگه‌ی غربی (شرق تنگه هرمز) براساس معادله بلی (Refahi, 2004) به نقل از Belly, (1964) ارائه شده است (جدول ۲).

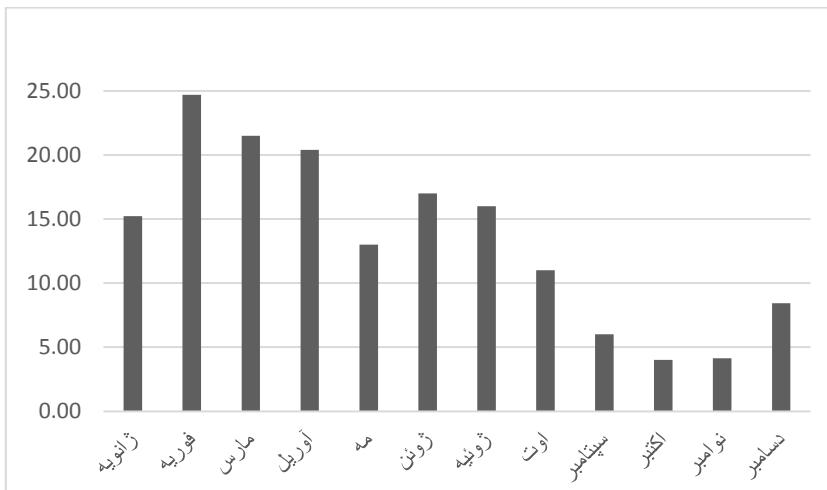
جدول ۲: تغییرات رطوبت نسبی روزانه هوا و آستانه فرسایش متناظر با آن به تفکیک نمونه‌های رسوب

در بازه زمانی ۱۹۹۳/۱/۱ تا ۲۰۱۸/۱۲/۳۱

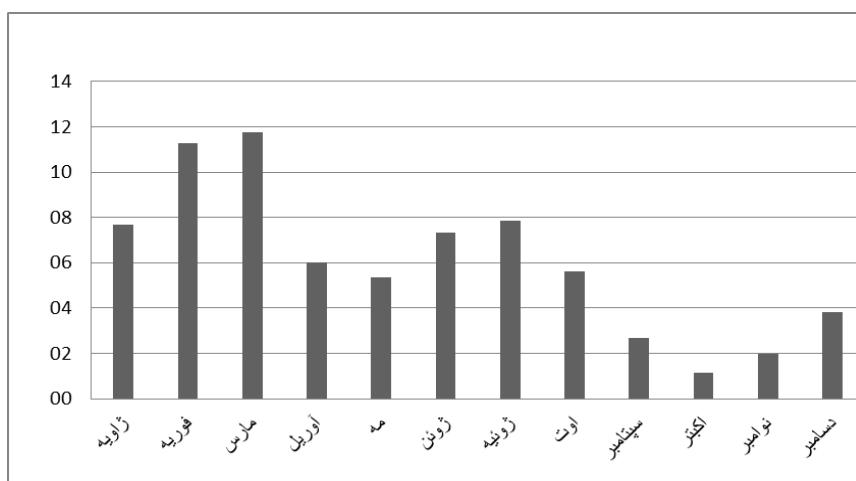
منطقه	کد نمونه	قطر غالب ذرات (µm)	آستانه فرسایش بادی در هوای خشک m/s	آستانه فرسایش بادی در هوای مرطوب m/s		رطوبت نسبی در دوره آماری (درصد)		آستانه فرسایش بادی در هوای خشک m/s	آستانه فرسایش بادی در هوای مرطوب m/s
				حداکثر میانگین	حداقل میانگین	حداکثر میانگین	حداقل میانگین		
	۱	۱۸۷/۵	۷/۲۱	۷/۲۱	۷۰/۵۱	۹۷	۱۷/۱۳	۷/۲۱	۹/۷۴
	۲	۱۸۷/۵	۷/۲۱	۷/۲۱	۷۰/۵۱	۹۷	۱۷/۱۳	۷/۲۱	۹/۷۴
	۳	۹۴	۷/۲۴	۷/۲۴	۷۰/۵۱	۹۷	۱۷/۱۳	۷/۲۴	۹/۷۸
	۴	۱۸۷/۵	۷/۲۱	۷/۲۱	۷۰/۵۱	۹۷	۱۷/۱۳	۷/۲۱	۹/۷۴
	۵	۹۴	۷/۲۴	۷/۲۴	۷۰/۵۱	۹۷	۱۷/۱۳	۷/۲۴	۹/۷۸
	۶	۹۴	۷/۲۴	۷/۲۴	۷۰/۵۱	۹۷	۱۷/۱۳	۷/۲۴	۹/۷۸
	۷	۱۸۷/۵	۷/۲۱	۷/۲۱	۷۰/۵۱	۹۷	۱۷/۱۳	۷/۲۱	۹/۷۴
	۸	۱۸۷/۵	۷/۲۱	۷/۲۱	۷۰/۵۱	۹۷	۱۷/۱۳	۷/۲۱	۹/۷۴
	۹	۱۸۷/۵	۷/۲۱	۷/۲۱	۷۰/۵۱	۹۷	۱۷/۱۳	۷/۲۱	۹/۷۴
	۱۰	۱۸۷/۵	۷/۲۱	۷/۲۱	۷۰/۵۱	۹۷	۱۷/۱۳	۷/۲۱	۹/۷۴
	۱۱	۹۴	۷/۲۴	۷/۲۴	۷۰/۵۱	۹۷	۱۷/۱۳	۷/۲۴	۹/۷۸
	۱۲	۱۸۷/۵	۷/۲۱	۷/۲۱	۷۰/۵۱	۹۷	۱۷/۱۳	۷/۲۱	۹/۷۴
	۱۳	۱۸۷/۵	۷/۲۱	۷/۲۱	۷۰/۵۱	۹۷	۱۷/۱۳	۷/۲۱	۹/۷۴
	۱۴	۹۴	۷/۲۴	۷/۲۴	۷۰/۵۱	۹۷	۱۷/۱۳	۷/۲۴	۹/۷۸
	۱۵	۹۴	۷/۲۴	۷/۲۴	۷۰/۵۱	۹۷	۱۷/۱۳	۷/۲۴	۹/۷۸
	۱۶	۱۸۷/۵	۷/۲۱	۷/۲۱	۷۰/۵۱	۹۷	۱۷/۱۳	۷/۲۱	۹/۷۴
	۱۷	۳۷۵	۸/۲۹	۸/۲۹	۷۰/۵۱	۹۷	۱۷/۱۳	۸/۲۹	۱۱/۱۹
	۱۸	۱۸۷/۵	۷/۲۱	۷/۲۱	۷۰/۵۱	۹۷	۱۷/۱۳	۷/۲۱	۹/۷۴
	۱۹	۹۴	۷/۲۴	۷/۲۴	۷۰/۵۱	۹۷	۱۷/۱۳	۷/۲۴	۹/۷۸
	۲۰	۳۷۵	۸/۲۹	۸/۲۹	۷۰/۵۱	۹۷	۱۷/۱۳	۸/۲۹	۱۱/۱۹
	۲۱	۱۸۷/۵	۷/۲۱	۷/۲۱	۷۰/۵۱	۹۷	۱۷/۱۳	۷/۲۱	۹/۷۴
	۲۲	۱۸۷/۵	۷/۲۱	۷/۲۱	۷۰/۵۱	۹۷	۱۷/۱۳	۷/۲۱	۹/۷۴
	۲۳	۱۸۷/۵	۷/۲۱	۷/۲۱	۷۰/۵۱	۹۷	۱۷/۱۳	۷/۲۱	۹/۷۴
	۲۴	۱۸۷/۵	۷/۲۱	۷/۲۱	۷۰/۵۱	۹۷	۱۷/۱۳	۷/۲۱	۹/۷۴
	۲۵	۳۷۵	۸/۲۹	۸/۲۹	۷۰/۵۱	۹۷	۱۷/۱۳	۸/۲۹	۱۱/۱۹
	۲۶	۱۸۷/۵	۷/۲۱	۷/۲۱	۷۰/۵۱	۹۷	۱۷/۱۳	۷/۲۱	۹/۷۴
	۲۷	۳۷۵	۸/۲۹	۸/۲۹	۷۰/۵۱	۹۷	۱۷/۱۳	۸/۲۹	۱۱/۱۹
	۲۸	۱۸۷/۵	۷/۲۱	۷/۲۱	۷۰/۵۱	۹۷	۱۷/۱۳	۷/۲۱	۹/۷۴
	۲۹	۱۸۷/۵	۷/۲۱	۷/۲۱	۷۰/۵۱	۹۷	۱۷/۱۳	۷/۲۱	۹/۷۴
	۳۰	۱۸۷/۵	۷/۲۱	۷/۲۱	۷۰/۵۱	۹۷	۱۷/۱۳	۷/۲۱	۹/۷۴
	۳۱	۳۷۵	۸/۲۹	۸/۲۹	۷۰/۵۱	۹۷	۱۷/۱۳	۸/۲۹	۱۱/۱۹

- احتمال وقوع فرسایش بادی

نتایج بررسی احتمال وقوع فرسایش بادی نشان داد که، در جلگه جنوبی بیشترین احتمال وقوع فرسایش (رخداد شرطی همزمان خشکی و وزش باد بیش از آستانه فرسایش بادی) مربوط به ماههای فوریه، مارس و آوریل به ترتیب با $20/41$ ، $24/69$ ، $21/51$ و $4/12$ درصد است و ماههای اکتبر، نوامبر و سپتامبر نیز به ترتیب با 6 و $11/70$ درصد کمترین احتمال وقوع فرسایش بادی را در طول سال دارند. به این ترتیب از نیمه بهمن تا نیمه اردیبهشت بیشترین احتمال وقوع و از نیمه شهریور تا نیمه آذر کمترین احتمال وقوع فرسایش بادی در جلگه جنوبی وجود دارد. در جلگه غربی، ماههای فوریه و مارس به ترتیب با $11/90$ و $2/8$ درصد کمترین احتمال وقوع فرسایش بادی را در طول سال دارند (شکل‌های ۳ و ۴).



شکل ۳: درصد احتمال وقوع فرسایش براساس احتمال شرطی وزش باد بیش از آستانه و خشکی در ماههای مختلف، جلگه جنوبی



شکل ۴: درصد احتمال وقوع فرسایش براساس احتمال شرطی وزش باد بیش از آستانه و خشکی در ماههای مختلف، جلگه غربی

- رخدادهای گردوغبار

نتایج بررسی رخدادهای گردوغبار و آنالیز داده‌های اقلیمی، در منطقه مورد مطالعه با استفاده از تصاویر ماهواره مودیس در روزهای منتخبی از این ماه که هر دو جلگه وقوع فرسایش بادی را نشان می‌دادند حاکی از این است که احتمال وقوع فرسایش بادی در ماه مارس در هر دو جلگه جنوبی و غربی زیاد است. براین اساس میزان عمق نوری روزهای منتخب در جلگه‌های جنوبی و غربی به ترتیب در جدول‌های ۳ و ۴ ارائه شده است. گسترش گردوغبار و میزان غلظت آن، مربوط به اول مارس در شکل ۵ نشان داده شده است.

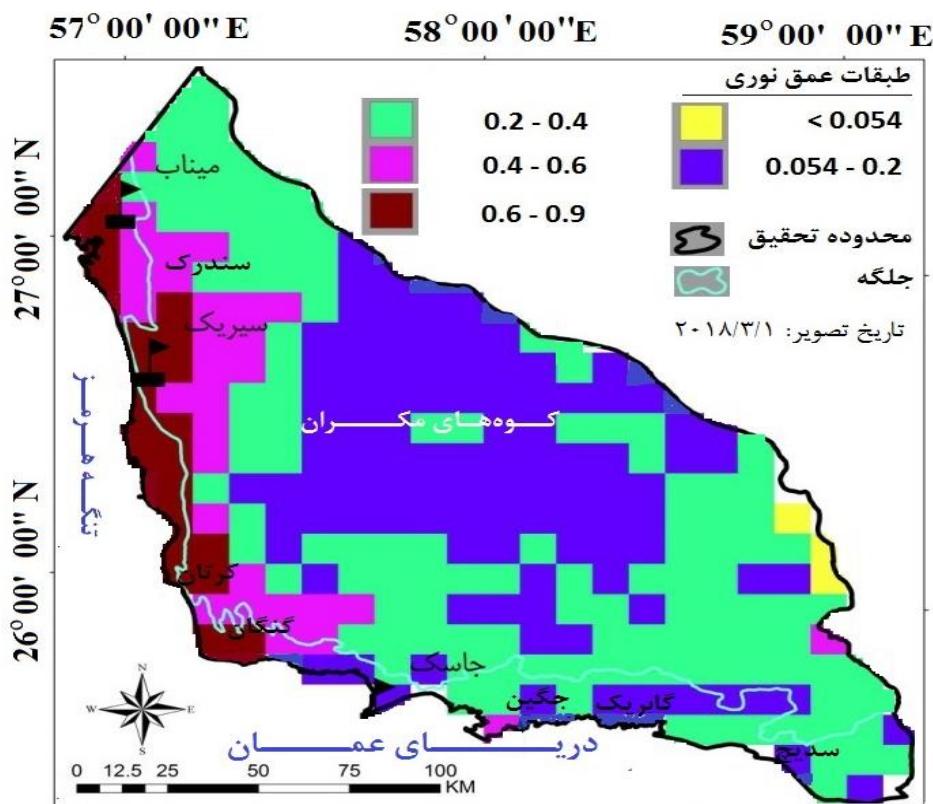
جدول ۳: داده‌های عمق نوری گردوغبار مناطق مختلف جلگه جنوبی

ردیف	تاریخ	کلاس و مقدار غلظت گردوغبار (PM10) در بخش‌های مختلف جلگه						
		جنوبی	سدیج	گاپریک	جگین	جاسک	گنگان	متوسط دید
افقی								
۱	/۲/۲۹	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲-۰/۴	۲۰۰۰ متر و کمتر
۲	۲۰۰۰	ضعیف	متواتسط	ضعیف	متواتسط	ضعیف	متواتسط	۱۰۰۰ متر و بیشتر
۲۰۰۴/۳/۳	۰/۲	۰/۲-۰/۴	۰/۲-۰/۴	۰/۲-۰/۴	۰/۲	۰/۲	۰/۲-۰/۴	۲۰۰۰ متر و کمتر
۳	۲۰۰۴/۳/۸	ضعیف	متواتسط	ضعیف	متواتسط	ضعیف	خیلی ضعیف	۱۰۰۰ متر و کمتر از خیلی شدید
۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۲	۰/۲	۰/۶-۰/۹	۱۰۰۰ متر و کمتر از ۱۰۰۰ متر
۵	۲۰۰۸/۳/۲	ضعیف	متواتسط	ضعیف	متواتسط	ضعیف	-	۲۰۰۰ متر و کمتر
۶	۰/۲	۰/۲-۰/۴	۰/۲-۰/۴	۰/۲-۰/۴	۰/۲	۰/۲	۰/۴-۰/۶	۱۰۰۰ متر و کمتر از ۱۰۰۰ متر
۷	/۳/۱۵	-	-	-	-	-	۰/۲-۰/۴	۱۰۰۰ متر و کمتر
۲۰۱۵	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	متواتسط	خیلی شدید

جدول ۴: داده‌های عمق نوری گردوغبار مناطق مختلف جلگه غربی

ردیف	تاریخ	کلاس و غلظت گردوغبار (PM10) در بخش‌های مختلف جلگه غربی					
		میناب	سندرک	سیریک	کرتان	متوسط دید	افقی
۱	/۲/۲۹	۰/۲-۰/۴	۰/۲-۰/۴	۰/۲	۰/۴-۰/۶	۱۰۰۰ متر و کمتر	
۲	۲۰۰۰	متواتسط	متواتسط	ضعیف	شدید	۱۰۰۰ متر و کمتر	
۲۰۰۴/۳/۳	۰/۲-۰/۴	۰/۲	۰/۲-۰/۰۵۴	۰/۲-۰/۰۵۴	۰/۲-۰/۴	۱۰۰۰ متر و کمتر	
۳	۲۰۰۴/۳/۸	متواتسط	متواتسط	ضعیف	متواتسط	۱۰۰۰ متر و کمتر	
۴	۰/۶-۰/۹	۰/۶-۰/۹	۰/۲-۰/۴	۰/۶-۰/۹	۰/۶-۰/۹	۵۰۰ متر و کمتر از ۱۰۰۰ متر	
۵	۲۰۰۸/۳/۲	۰/۲-۰/۴	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۱۰۰۰ متر و کمتر از ۱۰۰۰ متر	
۶	۰/۶-۰/۹	۰/۶-۰/۹	۰/۰۲-۰/۴	۰/۰۲-۰/۴	۰/۰۲-۰/۴	۵۰۰ متر و کمتر از ۵۰۰ متر	
۷	/۳/۱۵	خیلی شدید	خیلی شدید	خیلی شدید	خیلی شدید	۵۰۰ متر و کمتر از ۵۰۰ متر	
۲۰۱۵	خیلی شدید	خیلی شدید	خیلی شدید	خیلی شدید	خیلی شدید	۵۰۰ متر و کمتر از ۵۰۰ متر	

نتایج نشان می‌دهد که گردوغبارهای منطقه، جهت غربی-شرقی دارند. براساس بررسی وضعیت روزهای قبل و بعد هر رخداد، مشخص شد که گردوغبار از غرب شروع شده و به سمت شرق گسترش یافته است. مطابق مشاهدات انجام شده، همزمان با رخداد گردوغبار در منطقه، هیچ گردوغباری در نواحی اطراف که در جهت وزش باد به سمت منطقه پژوهش باشد وجود ندارد؛ این مساله نشان می‌دهد که رخدادهای گردوغبار، مخصوص منطقه موردمطالعه بوده و از نواحی اطراف وارد نشده است. بررسی عمق نوری تصاویر حاکی از تفاوت غلظت گردوغبار در بخش‌های مختلف جلگه غربی مکران (منطقه موردمطالعه) است.



شکل ۵: غلظت گردوغبار در اول مارس ۲۰۱۸

نتایج بررسی نقشه لندرم‌های منطقه (شکل ۲) و محاسبه‌ی مجموع و درصد مساحت لندرم‌های مناطق برداشت بادی به تفکیک جلگه جنوبی و جلگه غربی، در جدول ۵، ارائه شده است.

جدول ۵: گستره مناطق حساس به فرسایش به تفکیک جلگه‌های غربی و جنوبی در منطقه

ردیف	مناطق حساس به برداشت					
	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	مناطق مقاوم و نسبتاً مقاوم
	درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	مناطق نسبتاً حساس به برداشت	مناطق مقاوم
۱	۱۶۹.۹	۱۲/۸۷	۳۵۵۸۸	۲۷/۰۸	۷۲۵۱	درصد
۲	۵۱۵۵۹	۳۴/۴۵	۲۷۶۳۱	۱۶/۲۶	۲۹۸۲۶	درصد
	جلگه غربی		جلگه جنوبی			

براین اساس، لندرم‌هایی نظیر پسکرانه‌های ماسه‌ای و بسترها قدمی رودخانه‌ای، به عنوان مناطق برداشت رسوب، مساحتی قریب به ۱۰۹۱۶ هکتار (۷۴/۴۸ درصد) از اراضی جلگه جنوبی و ۶۰۶/۳۴ هکتار (۱۴/۱۴ درصد) از اراضی جلگه غربی را به خود اختصاص داده‌اند. این لندرم‌ها هم در جلگه جنوبی و هم در جلگه غربی تشکیل شده‌اند؛ توجه به گستره آن‌ها در مقابل باد غالب منطقه (باد غربی)، حاکی از جهت‌گیری فرم‌های مناطق برداشت عمود بر باد غالب در جلگه غربی و به موازات جهت باد غالب در جلگه جنوبی است (شکل ۲).

مقایسه‌ی میزان عمق نوری روزهای منتخب در جلگه‌های جنوبی و غربی (جدول‌های ۳ و ۴) و نقشه غلظت گردوغبار در اول مارس ۲۰۱۸ (شکل ۵) با نقشه پراکنش لندفرم‌های منطقه (شکل ۲)، نشان داد که تفاوت غلظت گردوغبار در دو جلگه غربی و جنوبی، به دلیل اشباع سریع هوا از ذرات در جلگه جنوبی و عدم اشباع آن در جلگه غربی هنگام وزش باد بر سطح اراضی حساس است. در جلگه غربی، باد با گذر از پهنه‌های حساس به برداشت به طول زیاد (بعد عمود بر جهت باد) و به عرض کم (بعد در امتداد جهت باد)، بدون اشباع شدن از بار معلق، قادر است حجم زیادی از ذرات ریزدانه سطحی را برداشت نماید؛ این فرآیند برای جلگه جنوبی که فرم‌های حساس، کشیدگی زیادی در جهت باد دارند صادق نبوده و به دلیل اشباع شدن سریع هوا از ذرات معلق، باد قادر به برداشت حجم زیادی از این ذرات نیست.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

نتایج دانه‌ستجی رسوبات سطح جلگه ساحلی نشان می‌دهد که قطر غالب ذرات رسوب بین ۹۴ تا ۱۸۷/۵ میکرون متغیر است. عمدۀ لندفرم‌های جلگه دارای قطر ذرات رسوب ۱۸۷/۵ میکرون هستند که نتیجه‌ی آن، آستانه فرسایش بادی با سرعت ۷/۲۱ متر بر ثانیه را در شرایط خشک است. رسوبات با دانه‌بندی ریزتر و درشت‌تر از این میزان، سرعت آستانه فرسایش بادی بیشتری دارند. با در نظر گرفتن ۷/۲۱ متر بر ثانیه به عنوان سرعت آستانه فرسایش بادی هوای خشک، تغییرات سرعت آستانه فرسایش بادی هوای مربوط در بازه زمانی ۱۹۹۳/۱ تا ۱۸/۱۲/۳۱، بین حداقل ۷/۲۱ تا حداکثر ۱۰/۷۱ و میانگین ۹/۷۴ متر بر ثانیه محاسبه شده است. تغییرات سرعت آستانه فرسایش بادی با لحاظ کردن پارامتر رطوبت هوا برای تمام لندفرم‌های نمونه‌برداری شده بین حداقل ۷/۲۱ تا حداکثر ۱۲/۳۱ متر بر ثانیه است.

نتایج پژوهش حاضر، از نظر بافت خاک با مطالعات سایر محققین که بافت خاک منطقه را از منظر فرسایش بادی مطالعه کرده‌اند مطابقت دارد. نتایج مطالعات برخورداری و همکاران (۱۳۸۴) و Nohegar & Yamani (۲۰۰۶)، نشان داد که، نهشته‌های حمل شده توسط رودخانه‌های جاری در جلگه مکران، عموماً قطری کمتر از یک میلی‌متر داشته و دانه‌بندی آن‌ها در حد ماسه، سیلت و رس است. در مطالعات اسدپور و اکبریان (۱۳۹۸)، خاک جلگه ساحلی شهرستان جاسک، خاکی با بافت ماسه‌ای، که ماسه آن بین ۵۲ تا ۹۴ درصد است معرفی شده است به نحوی که به سمت خط ساحلی بر میزان ماسه و به سمت بالادرست به میزان سیلت و رس آن اضافه می‌شود.

بر اساس نتایج بهدست آمده، بیشترین احتمال وقوع فرسایش (رخداد شرطی همزمان خشکی و وزش باد بیش از آستانه فرسایش بادی) در جلگه جنوبی مربوط به ماههای فوریه، مارس و آوریل به ترتیب با ۲۴/۶۹، ۲۱/۵۱، ۲۰/۴۱ و ۲۰/۴۱ درصد است و ماه‌های اکتبر، نوامبر و سپتامبر نیز به ترتیب با ۴/۱۲ و ۶ درصد کمترین احتمال وقوع فرسایش بادی را در طول سال دارند. به این ترتیب از نیمه بهمن تا نیمه اردیبهشت بیشترین احتمال وقوع و از نیمه شهریور تا نیمه آذر کمترین احتمال وقوع فرسایش بادی در جلگه جنوبی وجود دارد. در جلگه غربی، ماههای فوریه و مارس به ترتیب با ۱۱/۷۰ و ۱۱/۹۰ درصد، بالاترین احتمال وقوع و ماههای اکتبر، نوامبر و سپتامبر با ۲/۸ و ۲/۸ درصد کمترین احتمال وقوع فرسایش بادی را در طول سال دارند. هرچند مطالعات زیادی در خصوص احتمال وقوع فرسایش در منطقه جنوب‌شرقی کشور صورت نگرفته است، با این حال نتایج تحقیق پیش رو از نظر تغییرات وقوع فرسایش بادی با نتایج مطالعات سایر محققین در خصوص اثرات خشکسالی مطابقت دارد؛ خشکسالی‌های چند سال اخیر استان هرمزگان، منجر به نابودی پوشش گیاهی فقیر موجود در نواحی بیابانی شده و این امر، شدت فرسایش بادی در کانون‌های بحرانی را در پی داشته است (دفتر امور بیابان، ۱۳۸۱).

محققین زیادی به نقش ژئومورفولوژی به عنوان منبع تأمین گردوغبار پرداخته‌اند. از جمله، Leea (۲۰۱۲) و Parajuli (۲۰۱۷)، نوع لندفرم را بر انتشار گردوغبار مؤثر دانستند. Malamiri (۲۰۲۰)، در مطالعات خود بر روی نواحی غرب خوزستان، بافت خاک سطحی و نوع لندفرم را در ایجاد گردوغبار مؤثر یافتند. مطالعاتی که ژئومورفولوژی را به عنوان شکل زمین، در مفهوم خاص خود در فرسایش بادی و گردوغبار مورد بررسی قرار داده باشد، اندک است. از جمله این مطالعات می‌توان به Shayan (۲۰۱۴) و همکاران (۲۰۱۹) و Akbarian (۲۰۱۹) اشاره کرد که در بررسی فرآیندهای بادی جلگه غربی مکران، تفاوت مکان‌گزینی توده‌های ماسه‌ای در بالادرست بخش‌های مختلف جلگه مکران، محدوده استان هرمزگان را

ناشی از ژئومورفولوژی و جهت کشیدگی جلگه در مقابل باد غالب دانستند. نتایج تحقیق حاضر نیز مؤید نقش شکل زمین در غلظت گردوغبار است.

نتایج بررسی تصاویر ماهواره‌ای حاکی از این است که گستردگی گردوغبار در منطقه تقریباً یکسان است اما غلظت آن در همه بخش‌ها یکسان نیست. بررسی نقشه ژئومورفولوژی منطقه بیانگر وجود دو روند متفاوت شمالی جنوبی و غربی شرقی در کشیدگی جلگه به ترتیب در محدوده شرق تنگه هرمز و ساحل دریای عمان، محدوده شهرستان بندر جاسک است. این روندهای کلی، بر جهت کشیدگی لندفرم‌ها، به خصوص لندفرم‌های مناطق برداشت بادی، تأثیر گذاشته است؛ به نحوی که جهت کشیدگی این فرم‌ها در جلگه‌های غربی و جنوبی نسبت به باد غالب کاملاً متفاوت است. در جلگه جنوبی کشیدگی این فرم‌ها به موازات جهت باد و در جلگه غربی عمود بر جهت باد غالب است. به نظر می‌رسد تفاوت‌های مکانی غلظت گردوغبار در جلگه غربی مکران، نه به دلیل نوع لندفرم‌ها و میزان حساسیت آن‌ها نسبت به برداشت باد، بلکه به دلیل جهت کشیدگی آنها نسبت به باد غالب باشد. این مساله نشان می‌دهد که غلظت گردوغبار با منشاً محلی با کشیدگی جلگه و جهت‌گیری کلان لندفرم‌ها در مقابل باد غالب منطقه مرتبط است.

فهرست منابع

- 1- Aarons, S.M., Arvin, L.J., Aciego, S.M., Riebe, C.S., Johnson, K.R., Blakowski, M.A., Koornneef, J.M., Hart, S.C., Barnes, M.E., Dove, N., Botthoff, J.K., Maltz, M., Aronson, E.L., 2019. Competing droughts affect dust delivery to Sierra Nevada, Aeolian Research, V.41, <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2019.100545>
- 2- Ahmadi, H., 2008. Applied geomorphology, vol.2: Desert, Tehran: University of Tehran Press.
- 3- Akbarian, M. 2014. Analysis of Coastal plain Sand Masses Morphogenesis and their temporal variations (Case study: Western coast of Makran), Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy (Ph.D) in Physical Geography (Geomorphology), Supervisors: Dr. Shayan S. and Dr. Yamani M., Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, 168 pages
- 4- Akbarian, M., 2003, Supplemental report on erosion and sedimentation of for sand stabilization and desertification plan of Chenali - Sedich and Biah. Bandar Abbas: General Department of Natural Resources of Hormozgan Province, Iran.
- 5- Akbarian, M., 2007, Performance Report of the Hormozgan Combating Desertification Office. Bandar Abbas: Department of Natural Resources of Hormozgan Province, Iran.
- 6- Akbarian, M., 2008, Daily report of natural events in sand stabilization projects area of Jask county, Department of Natural Resources and Watershed Management of Hormozgan province, Iran.
- 7- Akbarian, M., Kaboli, S. H., Moradi, N., 2012. Comparison of water and wind erosion performance in arid land degradation (Case study: Jeyhun plain, Hormozgan province, Iran). Journal of Rangeland and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resources, 65: 4, p443-448.
- 8- Akbarian, M., Shayan, S., Yamani, M., 2019. Geomorphology of the western plain of Makkoran (Sandy landforms and processes), University of Hormozgan press, 161p.
- 9- Amanollahia, J. Kaboodvandpour, Sh. Qhavami, S, Mohammadi, Bakhtiyar, 2015, Effect of the temperature variation between Mediterranean Sea and Syrian deserts on the duststorm occurrence in the western half of Iran. Atmospheric Research 154(2015)116-125
- 10- Arami, S., Ownegh, M., Mohammadian Behbahani, A., Akbari, M., Zaravandi, A. (2018). Statistical Analysis of Spatio-Temporal Pattern of Dust Storms in West and Southwest of Iran. Journal of Water and Soil Conservation, 25(1), 61-83. doi: 10.22069/jwsc.2018.14107.2883
- 11- Arjmand, M., Rashki, A., Sargazi, H. (2018). Monitoring of spatial and temporal variability of desert dust over the Hamoun e Jazmurian, Southeast of Iran based on the Satellite Data. Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR), 27(106), 153-168. doi: 10.22131/sepehr.2018.32339
- 12- Asadpour, R., Akbarian, M., 2018. Morphogenesis of sand masses and its relationship with vegetative components of *Sphaerocoma aucheri*, Case study: Coastal plain of Hormozgan province, Quantitative geomorphological researches, 7:4, p93-104.

- 13- Azizyan, G., Hashemi Monfared, S., Javan Mohasel, A., Dehghani Darmian, M. (2018). Investigating of Groundwater Head-Loss Impact on Soil Erosion Process and Formation of Dust Phenomenon. *Iranian journal of Ecohydrology*, 5(3), 1017-1035. doi: 10.22059/ije.2018.241942.728
- 14- Bagnold, R.A., 1941. The Physics of Blown Sand and Desert Dunes. Methuen, London. 265p.
- 15- Barkhordari, J., Akbarian, M., Khosrowshahi, M., 2005. Determining the Territory of Desert Areas of Hormozgan Province with Emphasis on Geomorphology, Second National Conference on Watershed Soil and Water Resources Management, Kerman, Iran.
- 16- Chorley, R. J., Schumm, S. A., Sugden, D. E., 2000. Geomorphology, Volume 3: Slope, waterway, coastal and wind processes. Translated by Motamed, A., Tehran: Samt Publications.
- 17- Cornelis, W.M., D. Gabriels and R. Hartmann (2004b). A conceptual model to predict the deflation threshold shear velocity as affected by near-surface water content: 2. Calibration and Verification. *Soil Sci. Soc. Am. J.*.. 68, 1162-1168.
- 18- Dabbagh, A., 2002, Detailed executive plan for combating desertification and stabilization of Chenali-Sedich and Bayahi sand dunes. Bandar Abbas: Department of Natural Resources of Hormozgan Province.
- 19- Dahmardeh Behrooz, r. Gholami, H. Telfer, M.W., Jansen, J.D., 2018. Using GLUE to pull apart the provenance of atmospheric dust, *Aeolian Research*, Volume 38, 2019, pp. 60-76
- 20- Desert Affairs office, Tak Sabz Agricultural Development and Rehabilitation Consulting Engineers Company, 2002, Identification Plan of wind erosion Critical center of Hormozgan Province, Forests, Rangelands and Watershed Management Organization.
- 21- Ekhtesasi, M. R., 2006, Sedic-Heiman Crisis Center Control Plan, Volume 4: Erosion and Sediment Studies, Bandar Abbas: Department of Natural Resources of Hormozgan Province.
- 22- Hamidi, M. Kavianpour, M.R. Shao, Yaping, 2017, *Aeolian Research* 24(2017)133-143
- 23- Hamidi, M., Kavianpour, M.R., Yarizadeh, B., 2011. Investigating the weather conditions aggravating the dust storm entering from the western borders of the country, Fifth Specialized Conference on Environmental Engineering, University of Tehran, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, https://www.civilica.com/Paper-CEE05-CEE05_358.html
- 24- Kermani M, Taherain E, Izanloo M. (2016). Analysis of dust and dust storms in Iran, Investigation Internal and external origin of dust storms in Iran using satellite images and Control methods. *rsj*. 2016; 2 (1):39-51
- 25- leea, A., Jeffrey. C. Baddock, matthew. J. Mbuh, Mbongowo. E. Gill, 2012, Geomorphic and land cover characteristics of aeolian dust sources in West Texas and eastern New Mexico, USA. journal homepage: www.elsevier.com/locate/aeolia *Aeolian Research* 3 (2012) 459–466
- 26- Mahmoodi, F., 2002. Geographical distribution of Sand seas in Iran. Tehran: Research Institute of Forests and Rangelands.
- 27- Malamiri , N., Hosseinzadeh, S.R., Rashki, A., Gahadi Toroqhi, M. 2020. Evaluating the Capability of Various Types of Geomorphological facies in supplying dust sources in the west of Khozestan province- Iran, *J* 11(2), 19-34
- 28- Nohegar, A., Yamani, M., 2006. Geomorphology of the east coast of the Strait of Hormuz with emphasis on wind erosion. Hormozgan University Press. Tehran, Iran
- 29- Parajuli, S., Zender, C., 2017, Connecting geomorphology to dust emission through high-resolution mapping of global land cover and sediment supply. *AeolianResearch*27(2017)47-65
- 30- Raispour K., 2018. Analysis of events of dust using satellite monitoring and synoptic analysis in southwest Iran, *Environmental Erosion Research Journal*; 8 (1):74-93
- 31- Refahi, H.G., 2004. Wind erosion and its control. Tehran: University of Tehran Press.
- 32- Rezaei Moghaddam, M., Mahdian Boroujeni, M. (2016). Provenance-Finding of Dust Storms Using AVHRR Sensor Images of NOAA Satellite (Case Study: Southwest of Iran). *Geography and Sustainability of Environment*, 5(4), 1-13.
- 33- Sedaghat, M., 2006. External processes that form the earth, published by Islamic Azad University publication Center.
- 34- Shamsipour, A., Shamsipour, A., Azizi, G., miri, M. (2015). Identity summer and winter patterns on arrival dust to the West Iran. *Geography and Environmental Planning*, 25(4), 203-220.

- 35- Shayan, S., Akbarian, M., Yamani,M., Sharifikia, M., Maghsoudi, M., 2014. Affect of Sea Hydrodynamic on Coastal Sand Masses Formation, Case study: Western Makran Coastal Plain, Quantitative Geomorphological Research, 2(4): 86-104.
- 36- Shayan, S., Akbarian, M., Yamani,M., Sharifikia, M., Maghsoudi, M., 2014. Analysis of Sand Masses Morphogenetic in Makran Coastal Plain, Environmental Erosion Research Journal, 4 (1): 62-78
- 37- Yamani M, Lak R, Goorabi A, Shahbazi R, Shabanieraghi A., 2020. Investigating the potential of wind erosion and dust production areas in Jazmourian Playa. Environmental Erosion Research Journal; 10 (1):21-38
- 38- Yarahmadi, D., Nasiri, B., Khoshkish, A., Nikbakht, H., 2015. Climate change and dusty days in the west and southwest of Iran, Desert Ecosystem Engineering Journal, 3(5): 19-28.
- 39- Yazdani, M., Sobhani, B., Zengir, V.S. Ghaffari Gilandeh, A., Analysis, monitoring and simulation of dust hazard phenomenon in the northern Persian Gulf, Iran, Middle East. Arab J Geosci 13, 530 (2020). <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05470-z>
- 40- Zachar, D. 1982. Soil erosion. Developments in Soil Science 10. Amsterdam: Elsevier Scientific. 547 pp.
- 41- Zeinali, B. (2016). Investigation of frequency changes trend of days with dust storms in western half of Iran. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 5(7), 87-100. doi: 10.22111/jneh.2016.2656

The Geomorphological Analysis of Local Dust Events in the Western Region of Mackoran Coastal Plain, Iran

Zarafshan Khazrak: M.Sc student of Climatology, University of Hormozgan, BandarAbbas, Iran

Mohammad Akbarian¹: Assistant professor of Physical Geography, University of Hormozgan, BandarAbbas, Iran

Asadollah Khoorani: Associate professor of Physical Geography, University of Hormozgan, BandarAbbas, Iran

Article History (Received: 2020/08/22)

Accepted: 2020/10/09

Extended abstract

1- Introduction

Iran is one of the countries that is witnessing an increase in dust events and wind erosion recently. Although wind erosion is a global phenomenon, its severity depends on the environmental circumstances (Chorley et al., 2000). In the arid and semi-arid regions, wind is the main factor in desertification process (Yan, 2004). Coastal zones are dynamic parts of the Earth. They and arid lands are the most favorable areas for wind processes (Mahmoodi, 2002). Experiments have shown that in dry areas, wind velocities of up to 4.5 meters per second can be considered as an erosive factor. From this point on, changes in wind erosion rates will be followed by changes in velocities (Mahmoudi, 2002). Of course, the transport of sediment by wind is the result of the interaction between the wind and the earth's surface, which depends on the size of the sediment grains (Bagnold, 1941). Highly fine grains (<60 – 70 µm) are transported in suspension, or they are transported over long distances via the turbulent airflow (Lancaster, 1995). In addition to the characteristics of surface soil, the sources of soil moisture supply from the atmosphere are the main factors affecting wind erosion (Shayan et al., 2014). There is also an undeniable relationship between dust emission and geomorphological features and land cover. Studies in various parts of the world, including West Texas in the United States (Leea et al., 2012), Hamoon in Iran (Dahmardeh et al., 2019) confirm this.

In arid regions, dust events are one of the most important threats to the human environment (Kermani et al., 2016). According to the studies by the Iranian National Plan for the Identification of Crisis Centers of Wind Erosion, over 20 million hectares of Iran are in a critical wind erosion area. About 13 million hectares are in the origin zone, about 2 million hectares are transport or transit areas and the remaining 5 million hectares are sedimentation zones or ergs (Desert Affairs Office, 2002). The western part of Mackoran coastal plains exposed to wind erosion, as a part of the wind erosion critical area, due to its topographic and soil characteristics (Asadpour & Akbarian, 2009; Akbarian et al., 2008). The present study attempted to identify the role of geomorphological factors that affected the dust events in the western part of Makran coastal plain as a dry coastal region.

The study area is located in the western coastal plain of Mackoran, southern Iran at 25°31'N - 27°09'N, 56°54' - 59°19'E, which is north of the Gulf of Oman and east of the Strait of Hormuz. Generally, the region consists of dry land with very little rain, windy with sandstorms, torrents, thunderstorms, high humidity, and fog. Geologically, the area is affected by the general structure of the Makran Mountains, and is mainly composed of shale, marl, and sandstone layers. The Mackoran Plain is divided into six parts by five relatively high hills from the remnants of the Mackoran Foothills, which reach the coast in the form of capes. Based on the position of the first cape in Bunji (west of Kuh Mobarak), the region of the research is divided into two main sections that have completely different orientations (Figure 1). The west of Kuh Mobarak includes the shores of the Strait of Hormuz and has a north-south trend; The eastern part also includes the coasts of Jask county with the western-eastern trend.

2- Methodology

The data collected and processed in this study include Modis satellite images, the wind velocities, the percentage of relative humidity and precipitation in the period from 1/1/1993 to 12/31/2018, as well as the granulometric information about the plain surface sediments, including wind depositions, bed of

¹ Corresponding Author: m.akbarian@hormozgan.ac.ir

dry rivers and coastal plain landforms. The research tools included topographic and geomorphological maps of the area, GPS, laboratory instruments of granulometry, and computer software such as Envi.

After referring to the research records, 31 samples were taken. The samples were granulometric and the diameter characteristics of the particles were determined. From the relationship between particles' diameter and threshold velocity, wind erosion threshold velocity was determined and with experimental formulas, threshold velocity was obtained in humid air conditions. Also, the probability of the occurrence of wind erosion in different months during the selected time period was calculated and analyzed. Finally, by processing the optical depth of terra satellite images from the MODIS sensor, the possible dust days were investigated and compared with a map of geomorphology in two parts of the research area.

3- Results

The study of the geomorphological map indicates the existence of two different trends north-south and west-east in the stretch of plains and wind-sensitive landforms, respectively in the eastern part of the Strait of Hormuz and the coast of the Sea of Oman, east of Hormozgan province. The diameter of sediment particles in the research area varies between 94 and 375 micrometers. Most of the lowland landscapes' sediments have a diameter of 187.57 μm , so according to the Zakhar table (Table 1), the threshold of wind erosion at a rate of 7.21 ms^{-1} will result in dry conditions. The wind erosion threshold in terms of humidity changes, varies between 7.21 and 12.31 meters per second during the research period. The months of February, March, and April respectively have the highest probability of erosion; October, November, and September respectively have the lowest probability of wind erosion. Image processing shows different concentrations of dust in the western and southern parts of the region. On dusty days, the concentration of dust in the western plain is far more than of the southern plain.

4- Discussion & Conclusions

According to the results, it seems that the spatial difference in dust concentration in the western plain of Mackoran is affected by the geomorphological arrangement of landforms against the prevailing wind and their erodibility to wind is not a determining factor. In the western plains, where sensitive zones extend perpendicular to the wind direction, the wind is able to remove large volumes of suspended particles without being saturated. This process is not applicable to the southern plains, where sensitive forms have a narrow width and long elongation on wind direction.

Key Words: climatic hazards, dust, Hormozgan Province, Mackoran plain.