

شناسایی طوفان‌ها و کانون‌های تولید گرد و غبار در جنوب شرقی ایران (مطالعه موردی: منطقه سیستان)

معین جهان تیغ: دانش‌آموخته دکتری آبخیزداری، دانشگاه گرگان

منصور جهان تیغ*: دانشیار مرکز تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زابل

فاضل ایرانمنش: استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱/۲۲)



چکیده

جنوب شرقی ایران به‌ویژه سیستان جزء مناطق بحرانی کشور است که به‌طور مستمر تحت تأثیر گرد و غبار قرار دارد و در سال‌های اخیر، بر شدت آن افزوده شده‌است. هدف از اجرای این تحقیق، شناسایی کانون‌های گرد و غبار در جنوب شرق ایران با تأکید بر طوفان‌های سیستان است که با استفاده از روش ترکیبی مبتنی بر مطالعات میدانی، تکنیک‌های دورسنجی و تجزیه و تحلیل سرعت باد انجام می‌شود. بدین منظور، مهم‌ترین متغیرهای مؤثر بر تولید گرد و غبار از جمله شاخص‌های پوشش گیاهی، دما و رطوبت سطح زمین با استفاده از تصاویر مودیس و شیب با استفاده از تصاویر استر استخراج و با استفاده از منطق فازی با نقشه زمین‌شناسی تلفیق شد. بازسازی طوفان‌های ناشی از کانون‌های شناسایی شده براساس الگوریتم **BTD** و با استفاده از ۴۲ تصویر مودیس صورت گرفت. برای تجزیه و تحلیل بادهای منطقه نیز از نرم‌افزار (**WRplot view 8**) استفاده شد. نتایج نشان داد که کمترین مقادیر شاخص پوشش گیاهی و رطوبت سطحی خاک، مربوط به اراضی بایر و بیابانی است که بیشترین میزان دمای سطحی را دارد و ساختار زمین‌شناسی آنها از آبرفت‌های ریزدانه، رسوبات رودخانه‌ای، پهنه‌های سیلت - نمکی و تپه‌های ماسه‌ای تشکیل شده‌است که با کانون‌های بحرانی تولید گرد و غبار در محدوده مطالعه انطباق دارد. با آشکارسازی طوفان‌های گرد و غبار، یافته‌ها بیانگر آن است که گستره وقوع این طوفان‌ها از نواحی شرقی تا جنوب شرقی خراسان جنوبی و جنوب غربی افغانستان است که نواحی شمالی تا جنوب شرقی سیستان را نیز در برمی‌گیرد. همچنین تجزیه و تحلیل سرعت باد نشان داد که جهت وزش باد غالب سیستان، از شمال غربی و شمال است که با وزش طوفان‌های شنی در محدوده مورد مطالعه هم‌جهت می‌باشد. با توجه به نتایج این پژوهش، طوفان‌های گرد و غبار در جنوب شرقی کشور منشأ داخلی و خارجی دارد. مهم‌ترین کانون تولید گرد و غبار، در بخش جنوب غربی افغانستان و شمال سیستان متمرکز است که کنترل آن به اجرای برنامه‌های مدیریتی در سطح منطقه‌ای و فرا منطقه‌ای نیازمند است.

واژگان کلیدی: استر، منابع تولید گرد و غبار، منطقه سیستان، مودیس، **BTD**.

۱- مقدمه

وقوع فرسایش بادی تحت تأثیر خشک‌سالی‌های اخیر و تغییر اقلیم، به ایجاد چالش‌های زیست‌محیطی متعدد در مناطق خشک و بیابانی منجر شده است (Eklund et al, 2017). فرسایش بادی و به تبع آن طوفان‌های گرد و غبار، از مهم‌ترین خطرهای محیطی است که بسیاری از مناطق کشور به‌ویژه مناطق خشک و فراخشک را با مشکل مواجه ساخته است (Yamani et al, 2020)؛ به طوری که وقوع طوفان‌های گرد و غبار بر زندگی انسان و سایر موجودات در این مناطق آثار نامطلوبی دارد و با ایجاد مشکلات زیستی، اقتصادی و اجتماعی، زندگی ساکنان این منطقه را تهدید می‌کند (Wang et al, 2013). این شرایط در حالی است که طی سال‌های اخیر بر شدت و گستره وقوع طوفان‌های گرد و غبار در کشور افزوده شده است که ضرورت شناخت کانون‌های تولیدکننده گرد و غبار را برای ارائه روش‌های کنترل آن دوچندان می‌کند. بروز پدیده گرد و خاک، تابعی از خصوصیات باد (سرعت، فراوانی و قدرت فرساینده‌گی)، عوامل اقلیمی (رطوبت، دمای سطح زمین و بارش)، پوشش گیاهی، ناهمواری‌های سطح زمین و ساختار زمین‌شناسی در یک اقلیم است (Hesse and Simpson, 2006 & Lau and Kim, 2006 & Lee et al, 2013 & Shahraiyini et al, 2015)؛ از این رو، شناخت این عوامل در تعیین کانون‌های این پدیده و روش‌های کنترل آن در مناطق خشک و بیابانی نقش به‌سزایی ایفا می‌کند (Waggoner and Sokolik, 2010). با توجه به محدودیت‌های حاصل از تغییرپذیری مکانی و زمانی، بررسی این ویژگی‌ها بر اساس روش‌های میدانی در مناطق خشک ناممکن است که این امر نیازمند ارائه روش‌های کاربردی با دقت بالا برای پایش و شناسایی منابع تولیدکننده گرد و غبار در مقیاس و سطح وسیع‌تر می‌باشد؛ از این رو، کاربرد علم سنجش از دور با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به دلیل پوشش وسیع و چند زمانه بودن، نتایج قابل قبولی را در پایش و آشکارسازی کانون‌های تولید گرد و غبار ارائه می‌کند.

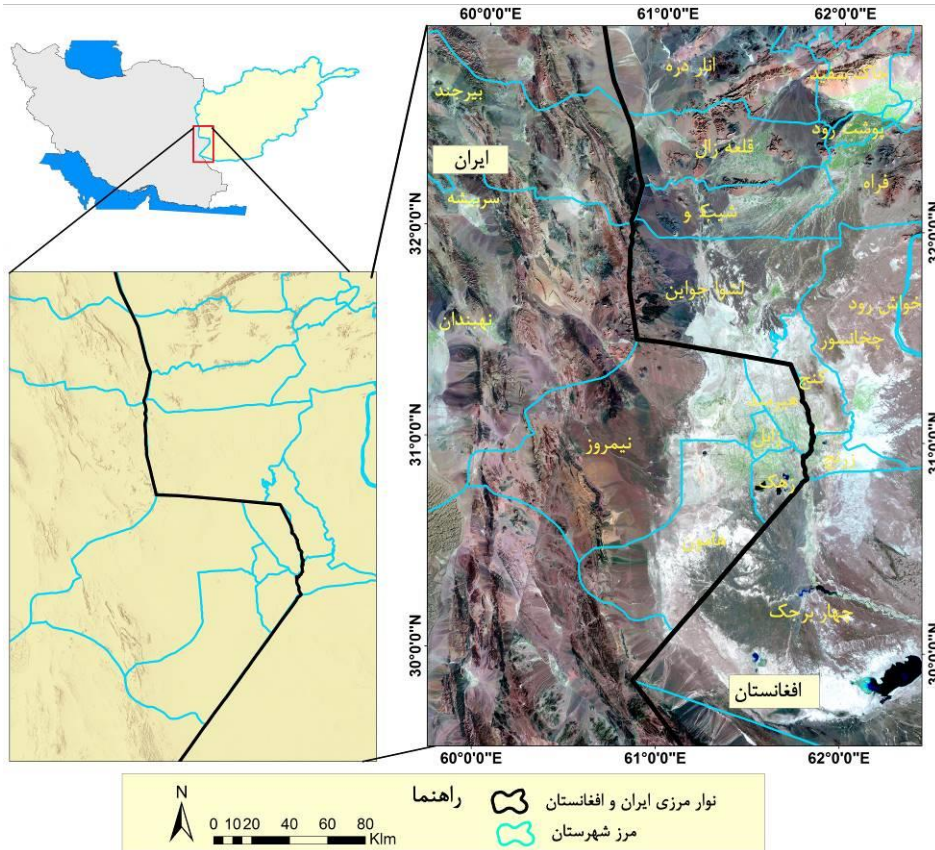
با توجه به اهمیت موضوع در این زمینه تحقیقات مختلفی صورت گرفته است که از جمله آنها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: Zhang و همکاران (2015) در مطالعه‌ای با هدف شناسایی پدیده گرد و غبار در شرق چین، از تصاویر سطح ۱B سنجنده مودیس و شاخص اختلاف دمای روشنایی استفاده کردند و دریافتند که شاخص BTDR در بازسازی این پدیده در محدوده مورد مطالعه قابلیت بالایی دارد و مناطقی از جمله بستر خشک شده رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و اراضی کشاورزی به عنوان مهم‌ترین مناطق تولید گرد و غبار معرفی می‌شود. Cao و همکاران (2015) نیز در تحقیقی، به آشکارسازی پدیده گرد و غبار در غرب آسیا پرداختند و با استفاده از تصاویر مودیس و لندست، منابع تولید گرد و غبار را در مقیاس جهانی، محلی و منطقه‌ای بررسی کردند. Parajuli و Zender (2017) در مطالعه‌ای ارتباط خصوصیات ژئومورفولوژی با وقوع طوفان‌های گردوغبار را در مقیاس جهانی بررسی کردند. آنان با استفاده از تصاویر مودیس و تهیه نقشه‌های پوشش سطح زمین، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی و شاخص عمق اپتیکی (AOD) و تلفیق آنها با یکدیگر به این نتیجه رسیدند که بستر خشک دریاچه‌ها و پلایاها مهم‌ترین منابع تولید گرد و غبار است. Lakshmi و Albarakat (2019) با استفاده از تصاویر مودیس، به بررسی طوفان‌های گرد و غبار در کشور عراق پرداختند. آنان ضمن تحلیل داده‌های سرعت باد و استفاده از شاخص‌های کمی آشکارسازی پدیده گرد و غبار دریافتند که با وزش بادهای شدید و خشک از سمت شمال غربی این کشور، بخش قابل توجهی از مساحت آن تحت تأثیر طوفان‌های گرد و غبار قرار می‌گیرد که مهم‌ترین منابع تولید آن، اراضی بیابانی همجوار با کشور سوریه است.

در مطالعات صورت گرفته در ایران، Fallah-zazuli و همکاران (2014) با استفاده از داده‌های سنجنده مودیس، به کارگیری شاخص آکرمین و تحلیل سینوپتیکی، به بررسی گرد و غبار غرب و جنوب غرب ایران پرداختند و دریافتند که منشأ گرد و غبارهای رسیده به این مناطق در سال ۲۰۱۱، عمدتاً مربوط به شمال عراق و بخش‌هایی از مرز سوریه و عراق است. Fallah-Ghalhari و همکاران (2017) نیز در مطالعه‌ای توفان‌های گرد و غبار را در غرب و جنوب غرب ایران شناسایی کردند. آنها با استفاده از تصاویر مودیس، شاخص آشکارسازی آکرمین و شاخص‌های بصری آشکارسازی گرد و غبار شامل ترکیب رنگی کاذب و حقیقی به نتیجه رسیدند که اعمال شاخص‌های کمی آشکارسازی گرد و غبار بر روی تصاویر مودیس و ایجاد تصویر رنگی حقیقی و کاذب به نحوی که بتواند به صورت مستقیم مناطق تحت پوشش این پدیده را بازسازی کند، برای آشکارسازی گرد و غبار ایران مناسب و کارآمد است. آنان همچنین بیان کردند که منشأ بروز پدیده گرد و غبار در محدوده مورد مطالعه، متأثر از وزش بادهای شدید تحت-تأثیر سامانه‌های کم‌فشار و پرفشار بر روی کشور عراق و جنوب خلیج فارس است. دهمرده بهروز و همکاران (2019) نیز با استفاده از روش انگشت‌نگاری، به بررسی منشأ گرد و غبار در مناطق شمالی منطقه سیستان پرداختند. آنان با نمونه‌برداری از ذرات گرد و غبار در ایستگاه مطالعاتی شهر زابل و بستر خشک شده تالاب هامون طی یک دوره پنج ماهه و تجزیه و تحلیل شیمیایی نمونه‌های رسوب دریافتند که دریاچه خشک هامون پوزک، منبع غالب و اراضی کشاورزی زیر کشت، منبع ثانویه برای همه نمونه‌های گرد و غبار شهر زابل است. Papi و همکاران (2021) به بررسی کانون‌های تولید گرد و غبار در حوضه فرات پرداختند. آنان با استفاده از تصاویر سری زمانی مودیس و تهیه نقشه پارامترهای محیطی مؤثر بر رخداد طوفان‌های گرد و غبار از جمله رطوبت، دمای سطح زمین، توپوگرافی، سرعت باد، بارش، تبخیر و تعرق، کاربری اراضی و تلفیق آنها با استفاده از منطق فازی دریافتند که ۱۴۷ هزار کیلومتر مربع از مساحت کل حوضه، در شکل‌گیری کانون طوفان‌های گرد و غبار مستعد است که عمدتاً به نواحی کم بارش، خشک و اراضی بایر بازمی‌گردد. بروغنی و همکاران (2021) با استفاده از مدل آماری دو متغیره و شاخص‌های مؤثر بر پدیده گرد و غبار از جمله عامل لیتولوژی، توپوگرافی، شیب، کاربری اراضی و شاخص پوشش گیاهی NDVI، به شناسایی مناطق منشأ گرد و غبار در حوضه آبخیز سیستان پرداختند و نتایج نشان داد که متغیرهای خاک، ژئومورفولوژی و شیب، بیشترین تأثیر را در ایجاد منابع گرد و غبار دارد و ۵۵/۳ و ۶۲/۲٪ از کل مساحت منطقه مورد مطالعه، به ترتیب پتانسیل بالا و بسیار بالا در تولید منابع گرد و غبار دارد. در تحقیقی دیگر، Sanati و Jafari (2021) با استفاده از داده‌های سنجش از دور، به آشکارسازی و شناسایی کانون‌ها و طوفان‌های گرد و غبار در جنوب استان کرمان پرداختند. آنان با استفاده از تصاویر مودیس و استخراج شاخص‌های پوشش گیاهی، دما و رطوبت سطح زمین، بافت خاک و شیب زمین، ضمن بازسازی طوفان برخاسته از کانون‌های شناسایی شده دریافتند که به ترتیب ۳۰، ۳۹/۵۵ و ۲۹/۸۵ درصد از کانون‌های منطقه مطالعاتی را رده‌های کم، متوسط و شدید - بسیار شدید تشکیل می‌دهد. آنان همچنین استفاده از داده‌های سنجش از دور را به علت تکرارپذیری و قابلیت توزیع کمی نقشه کانون‌ها در مقیاس پیکسل، برای پایش و مدیریت بهینه بحران گرد و غبار در مناطق خشک و بیابانی بسیار کارآمد معرفی کردند.

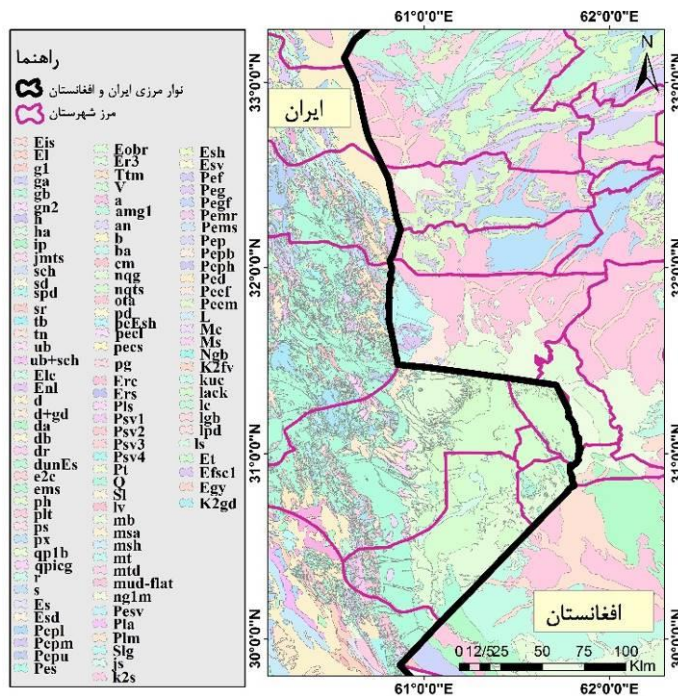
بررسی پیشینه تحقیق نشان داد که داده‌های سنجش از دور با توجه به پوشش وسیع و چند زمانه بودن، در پایش و آشکارسازی کانون‌های تولید گرد و غبار نتایج قابل قبولی ارائه می‌کند که بهره‌گیری از آن همزمان با مطالعات میدانی، رویکردی منسجم برای شناسایی و تعیین کانون‌های تولید گرد و غبار در مناطق خشک است. محدوده جنوب شرقی ایران به‌ویژه منطقه سیستان، از جمله مناطق خشک و از مهم‌ترین کانون‌های بحرانی فرسایش بادی در کشور است که به‌طور مستمر تحت تأثیر پدیده گرد و خاک قرار دارد و با تشدید آن طی سال‌های اخیر ضمن ایجاد بحران‌های زیست‌محیطی، بقای موجودات زنده و شرایط زندگی را برای ساکنان این منطقه با تهدید مواجه ساخته است. بنابراین، با توجه به اهمیت موضوع و نیاز مبرم به مطالعات پویا در زمینه تغییرات مکانی و کمی کانون‌های گرد و غبار در منطقه سیستان، محدود بودن ایستگاه‌های هواشناسی، گستردگی دالان‌های فرسایشی و عدم امکان بسط نتایج آن به کل منطقه سیستان، این تحقیق با هدف شناسایی طوفان‌ها و کانون‌های تولید این پدیده در نواحی جنوب شرقی کشور با تأکید بر طوفان‌های گرد و غبار منطقه سیستان با استفاده از داده‌های میدانی و سنجش از دور انجام شد. نتایج این تحقیق ضمن بررسی پتانسیل‌ها و موانع پیش رو، رویکردی منسجم را برای شناسایی کانون‌های گرد و غبار و کنترل آن در منطقه مورد مطالعه فراهم می‌سازد.

۲- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، در جنوب شرقی و نواحی مرزی ایران و افغانستان قرار دارد که شامل مناطق جنوب غربی استان خراسان جنوبی و منطقه سیستان در ایران و استان فراه و نیمروز در جنوب غربی کشور افغانستان است که در محدوده بین ۶۰ درجه و ۱۶ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۳۶ دقیقه طول جغرافیایی و ۲۹ درجه و ۸ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۳۲ دقیقه عرض جغرافیایی واقع شده است (شکل ۱). دامنه تغییرات توپوگرافی در این محدوده، بین ۱۰۹ تا ۱۱۲۴ متر از سطح دریا است. این محدوده در ارتفاعات کوهستانی، شرایط آب و هوایی نیمه خشک دارد و در نواحی پست و کم ارتفاع از جمله دشت سیستان و امتداد آن در منطقه نیمروز افغانستان، خشک و بیابانی است. پوشش گیاهی این محدوده نیز نامتراکم و در اکثر نقاط، فقیر و از نوع شور پسند است (Jahantigh and Jahantigh, 2019 & Alim Mohammadi et al, 2019). با توجه به توپوگرافی پیچیده منطقه و درهم‌تنیدگی مناطق پست و مرتفع، تقابل هوای سرد ارتفاعات با هوای گرم و خشک دشت به وزش بادهایی شدید از جمله بادهای ۱۲۰ روزه منجر می‌شود که سرعت آن گاه به بیش از ۲۸ متر بر ثانیه نیز می‌رسد و قدرت فرسایشی بالایی دارد. شروع این بادهای نیز هم‌زمان با فصل تابستان و افزایش دما در این محدوده است (Hamidian Pour et al, 2016 & Mc Mahon, 1906). ساختار زمین‌شناسی در این محدوده به‌طور عمده از بازالت، توف، مخروط افکنه جوان، پهنه‌های گراولسی، رسوبات آبرفتی ریزدانه، کنگلومرا به همراه سنگ‌ریزه، آندزیت، رسوبات رودخانه‌ای سخت نشده، لس به همراه ماسه و رس، تپه‌های ماسه‌ای، رسوبات تخریبی و رسوبات نمکی به همراه رس تشکیل شده است که نسبت به فرسایش بادی و آبی حساسیت بالایی دارد (Hamzeh et al, 2017 & Afghanistan Geological Survey, 2008). در شکل ۲ و جدول ۱، ساختار زمین‌شناسی و اطلاعات توصیفی محدوده مورد مطالعه ارائه شده است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه



شکل ۲: ساختار زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه

جدول ۱: اطلاعات توصیفی ساختار زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه

| ردیف | علائم اختصاری | ساختار زمین‌شناسی | ردیف | علائم اختصاری | ساختار زمین‌شناسی |
|------|------------------|---|------|------------------|---|
| ۱ | Qal ₃ | رسوبات دشت‌های سیلابی | ۴۱ | dr | توده نفوذی داسیت تا ریوداسیت |
| ۲ | EI ^s | ترکیب فیلیت، گل‌سنگ، سیلت استون و ماسه‌سنگ | ۴۲ | plt | واریزه‌های دانه درشت |
| ۳ | EI | فلیش با اجزای آهکی غالب و میان بارهای سنگ آهک | ۴۳ | ps | شیل کربناته و گل‌سنگ با مقدار جز ماسه سنگ ناپیوسته |
| ۴ | gI | گرانیت | ۴۴ | px | پیروکسنیت |
| ۵ | ga | گابرو و دیوریت | ۴۵ | Qpl _b | الکالی بازالت |
| ۶ | gb | گابرو | ۴۶ | Qpicg | کنگلومرای رودخانه‌ای |
| ۷ | Gn ₂ | گنیس | ۴۷ | r | رادیولاریت و باندهای چرت |
| ۸ | ha | هارزبوژیت و آمفیبولیت | ۴۸ | s | توریدیت کربناته |
| ۹ | ip | هورنفلس و پلاژیو کلاز پورفیری | ۴۹ | Es | فیلیت، گل‌سنگ و سیلت استون همراه با ماسه‌سنگ |
| ۱۰ | jmt ^s | اسلیت و ماسه‌سنگ دگرگون شده با رگه‌های فیلیت | ۵۰ | Esd | ماسه‌سنگ |
| ۱۱ | sch | شیست | ۵۱ | Pepl | ترکیب سنگ آهک توده‌ای بیو کلاستی |
| ۱۲ | sd | ماسه‌سنگ | ۵۲ | Pepm | بیومیکریت‌های متوسط تا ضخیم لایه و مقداری گل‌سنگ |
| ۱۳ | spd | پریدوتیت سرپانتینی شده | ۵۳ | Pepu | سنگ آهک و بیو کلاست نازک لایه درجا |
| ۱۴ | sr | سرپانتینیت | ۵۴ | Pe ^s | شیل کربناته و گل‌سنگ با مقدار جز ماسه سنگ ناپیوسته |
| ۱۵ | tb | توف بازی و بازالت | ۵۵ | Eobr | برش آتشفشانی، توف آتشفشانی و آگلومرا |
| ۱۶ | tn | تونالایت | ۵۶ | Er ³ | شیل‌های بین لایه‌ای و ماسه‌سنگ‌های مورب |
| ۱۷ | ub | سنگ‌های اولترا بازیک (ترزولایت تا هارزبوژیت) | ۵۷ | Tt ^m | توف، مارل توفی به‌همراه مقدار جزئی کنگلومرای پریدوتیت |
| ۱۸ | EI ^c | سنگ آهک نومولیت دار و کنگلومرای | ۵۸ | pd | پریدوتیت |
| ۱۹ | Enl | ترکیب کنگلومرای و ماسه‌سنگ | ۵۹ | peESH | شیل به رنگ سبز تا خاکستری |
| ۲۰ | d | دلریت و میکرو گابرو | ۶۰ | Pec ₁ | سنگ آهک و بیو کلاست |
| ۲۱ | da | داسیت و آندزیت | ۶۱ | pec ^s | ماسه‌سنگ و گل‌سنگ به‌صورت فرعی |
| ۲۲ | db | دیاباز | ۶۲ | pg | سنگ‌های آتشفشانی، آتشفشان آواری‌ها و گل‌سنگ |
| ۲۳ | V | بازالت | ۶۳ | Er ^c | کنگلومرای قرمز |
| ۲۴ | a | جریان آندزیت | ۶۴ | Er ^s | کنگلومرای قرمز |
| ۲۵ | Amg ¹ | مفیبول آلبیت و گلوکوفان دار و شیست | ۶۵ | Pep | سنگ آهک جریان تلاطمی و بیومیکریت |
| ۲۶ | an | توده‌های نفوذی آندزیتی | ۶۶ | Mc | کنگلومرای و آواری‌های ریزدانه با سخت |

| | | | | | |
|-------------------------------------|-------|----|---|------|----|
| شدگی ضعیف | | | | | |
| بلوک‌های حاوی ماتریکس پلیتی | Ms | ۶۷ | بازالت با کمی آندزیت | ba | ۲۷ |
| بازالت، قسمت‌هایی یخچالی و زمین‌های | Ngb | ۶۸ | ماتریکس سرپانتینی | cm | ۲۸ |
| مسطح | | | | | |
| ژیپس | Egy | ۶۹ | آبرفت‌های ریز و رسوبات رودخانه‌ای | nqg | ۲۹ |
| تونالیت | K2gd | ۷۰ | جریان‌های آندزیتی - تراکیتی | ota | ۳۰ |
| فلش‌های آتشفشان آواری | K2fv | ۷۱ | لایه‌های بیومکریت | Pepb | ۳۱ |
| کنگومرای پلی میکریک | kuc | ۷۲ | پلیت | Peph | ۳۲ |
| رسوبات آبرفتی | lack | ۷۳ | توریدیت کربناته، کلاستیک ساب گری | Ped | ۳۳ |
| | | | وک (فلیش) | | |
| سنگ آهک به همراه کنگلومرا و گل‌سنگ | G1 | ۷۴ | سنگ‌های تیپ فلش (قسمت پایین رنگی) و شیل فیلیتی | Peef | ۳۴ |
| | | | | | |
| گابروی لایه‌ای | lgb | ۷۵ | شیل، ماسه‌سنگ و به‌طور محلی همراه با مارن تیپ فلش | Peem | ۳۵ |
| | | | | | |
| پریدوتیت لایه‌ای | lpd | ۷۶ | ماسه‌سنگ آغاچاری | Ma | ۳۶ |
| دریاچه فصلی | ls | ۷۷ | پادگانه‌ها و مخروط افکنه‌های جوان | Qt2 | ۳۷ |
| توف با افق نشانه چرتی، مارن توفی و | Et | ۷۸ | پهنه‌های ماسه‌ای آزاد و پراکنده | Qsp | ۳۸ |
| ایگنمبریت | | | | | |
| سنگ آهک نومولیت‌دار | L | ۷۹ | مارن میوسن | Mm | ۳۹ |
| کنگلومرا و ماسه‌سنگ | Efsc1 | ۸۰ | رسوبات آبرفتی دانه‌ریز با بافت گل مارنی | Qm | ۴۰ |

۳- مواد و روش

در این پژوهش برای شناسایی کانون‌های تولید گرد و غبار، در ابتدا با اجرای مطالعات کتابخانه‌ای و گردآوری داده‌های هواشناسی، روزهای همراه با پدیده طوفان گرد و خاک در منطقه سیستان تعیین شد. همچنین با استفاده از داده‌های دو ایستگاه سینوپتیک موجود در منطقه سیستان (ایستگاه زابل و زهک)، گلباد فصلی و سالانه با استفاده از نرم‌افزار 8 WRplot view گلباد برای دوره آماری ۳۱ ساله (۱۳۷۰ تا ۱۴۰۱) ترسیم شد. در ادامه، نقشه کانون‌های تولید گرد و خاک با استفاده از تصاویر مربوط به محصولات سطح B1 سنجنده مودیس تهیه شد. بدین منظور، تصاویر ماهواره‌ای مربوط به روزهای همراه با گرد و خاک از وبگاه <https://earthdata.nasa.gov> دریافت شد و نقشه کانون‌های تولید گرد و غبار بر اساس تصاویر مربوط به تاریخ ۱۴۰۰/۰۳/۰۳، به دلیل منشأ بودن طوفان‌های گرد و غبار در محدوده مورد مطالعه صورت گرفت. همچنین آشکارسازی طوفان‌های گرد و خاک، به‌منظور بررسی سطح و گستره وقوع این طوفان‌ها در ۴۲ رخدادهای گرد و خاک انجام شد. برای اجرای پیش‌پردازش بر روی تصاویر سنجنده مودیس نیز در ابتدا با استفاده از افزونه MODIS Conversion Toolkit در نرم‌افزار ENVI تصاویر با فرمت HDF فراخوانی شد و سیستم مختصات آنها به سیستم مختصات جهانی (UTM) تغییر یافت. خصوصیات تصاویر سنجنده مودیس مورد استفاده برای آشکارسازی ده رخداد گرد و غبار طی سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۰، در جدول ۲ ارائه شد.

جدول ۲: مشخصات تصاویر مورد استفاده در پژوهش حاضر

| ردیف | تاریخ میلادی | تاریخ هجری شمسی | ماهواره (سنجده) | اندازه پیکسل (متر) |
|------|--------------|-----------------|-----------------|--------------------|
| ۱ | ۲۰۲۱/۰۵/۲۴ | ۱۴۰۰/۰۳/۰۳ | MODIS (Tera) | ۱۰۰۰ |
| ۲ | ۲۰۲۱/۰۶/۲۰ | ۱۴۰۰/۰۳/۳۰ | MODIS (Tera) | ۱۰۰۰ |
| ۳ | ۲۰۲۱/۰۶/۳۰ | ۱۴۰۰/۰۴/۰۹ | MODIS (Tera) | ۱۰۰۰ |
| ۴ | ۲۰۲۱/۰۷/۲۶ | ۱۴۰۰/۰۵/۰۴ | MODIS (Tera) | ۱۰۰۰ |
| ۵ | ۲۰۲۱/۰۸/۱۰ | ۱۴۰۰/۰۵/۱۹ | MODIS (Tera) | ۱۰۰۰ |
| ۶ | ۲۰۲۱/۰۹/۰۸ | ۱۴۰۰/۰۶/۱۷ | MODIS (Tera) | ۱۰۰۰ |
| ۷ | ۲۰۲۱/۰۹/۱۵ | ۱۴۰۰/۰۶/۲۴ | MODIS (Tera) | ۱۰۰۰ |
| ۸ | ۲۰۲۱/۱۰/۰۲ | ۱۴۰۰/۰۷/۱۰ | MODIS (Tera) | ۱۰۰۰ |
| ۹ | ۲۰۲۱/۱۰/۰۳ | ۱۴۰۰/۰۷/۱۱ | MODIS (Tera) | ۱۰۰۰ |
| ۱۰ | ۲۰۲۱/۱۰/۲۲ | ۱۴۰۰/۰۷/۳۰ | MODIS (Tera) | ۱۰۰۰ |

در ادامه، دمای درخشندگی باندهای تصاویر مودیس با استفاده از توابع قانون پلانک محاسبه شد. شدت تابش By (T) گسیلی، از یک جسم سیاه در دمای T به صورت زیر بیان می‌شود:

$$(T) = 2hc^2 / \lambda^5 [(hc / k\lambda T) - 1] \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن، T دمای مطلق جسم سیاه، h ثابت پلانک (برابر با 6.626×10^{-34} J.S10-34)، c سرعت نور و برابر با 3×10^8 و k ثابت بولتزمن و برابر با 1.38×10^{-23} است؛ از این رو، مقادیر رادیانس تصاویر را از طریق عکس تابع پلانک و بر اساس رابطه زیر می‌توان به دمای درخشندگی تبدیل کرد (رابطه ۲):

$$T = hc / [2hc^2 / B\lambda(T)\lambda i^5 + 1] \quad \text{رابطه ۲}$$

در معادله فوق، T دمای درخشندگی، $(\lambda i)L$ مقادیر رادیانس باند i و λi طول موج مرکزی باند i برحسب میکرومتر (μm) است.

برای تهیه نقشه کانون‌های تولید گرد و غبار، از مهم‌ترین متغیرهای مؤثر بر تولید این رخداد استفاده شد که در ادامه، شرح داده خواهد شد. از جمله مهم‌ترین عوامل مؤثر بر وقوع پدیده گرد و غبار، تغییرات پوشش گیاهی است که برای بررسی آن، از شاخص گیاهی متعادل با خاک (SAVI) - که یکی از رایج‌ترین شاخص‌های گیاهی در مناطق خشک به شمار می‌رود، اثر بازتابی خاک را کاهش می‌دهد و با مناطق خشک سازگار است - استفاده شد (Jahantigh and Jahantigh, 2019). برای برآورد این شاخص، از رابطه زیر استفاده شد (رابطه ۳):

$$\text{SAVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R}) \times (1 + L) \quad \text{رابطه ۳}$$

در معادله پیشین، NIR برابر با ارزش بازتاب باند مادون قرمز نزدیک، R برابر با ارزش باند قرمز و L برابر با ضریب تصحیح روشنایی است که با توجه به مطالعات صورت گرفته، مقادیر این ضریب برابر با ۰/۵ می‌باشد. برای صحت‌سنجی شاخص پوشش گیاهی، در ابتدا نتایج مطالعات این پوشش در محدوده مورد مطالعه گردآوری و پوشش گیاهی غالب آن (جدول ۳) تعیین شد. سپس طی عملیات میدانی، خصوصیات پوشش گیاهی از جمله تاج این پوشش به روش ترانسکت خطی در مناطق قابل دسترس اندازه‌گیری شد. در هر تیپ گیاهی با تعیین سطح نمونه‌برداری، از هر تیپ گیاهی نمونه‌برداری شد. در ادامه با تهیه نقشه و کتوری از نقاط نمونه‌برداری، میانگین ارزش پیکسل‌های مذکور برآورد و میزان همبستگی داده‌های جمع‌آوری شده با شاخص‌های مورد مطالعه بررسی شد که نتایج در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۳: گونه‌های گیاهی غالب محدوده مورد مطالعه

| نام فارسی | علائم اختصاری | نام علمی |
|----------------|---------------|--------------------------|
| خارشتر | Al.ca | Alhagi camelorum |
| بونو | Ae.li | Aeluropus litoralis |
| گز شاهی | Ta.ap | Tamarix aphylla |
| گز | Ta.st | Tamarix stricta |
| نی هندی (قمیش) | Ph.co | Phragmites communis |
| سیاه تاغ | Ha.ap | Haloxylon aphyllum |
| زرد تاغ | Ha.pe | Haloxylon persicum |
| رمس | Ha.sa | Hammada salicornica |
| مارونگ | Ha.be | Halostachys belangeriana |
| سیاه شور | Su.fr | Suaeda fruticosa |
| علف شور | Sa.cr | Salsola crassa |
| کهورک | Pr.st | Prosopis stephaniana |
| اسپند | Pe.ha | Peganum harmala |
| لوئی | Ty. la | Typha latifolia |
| کبر | Ca.sp | Capparis spinosa |

جدول ۴: مقایسه همبستگی داده‌های زمینی برداشت شده با شاخص‌های گیاهی SAVI و NDVI در تیپ‌های گیاهی مورد مطالعه

| شاخص گیاهی | میانگین R ² در تیپ‌های گیاهی | مدل پوشش گیاهی |
|------------|---|----------------|
| SAVI | ۸۴/۳ | Y=172.2x+19.1 |
| NDVI | ۷۷/۳ | Y=212x+14.1 |

در بررسی تغییرات شاخص رطوبت خاک که از دیگر عوامل مؤثر در تولید گرد و غبار به شمار می‌رود، از شاخص خشکی - دمایی (TVDI) - که تلفیقی از دو شاخص LST و NDVI است - استفاده شد (رابطه ۴):

$$TVDI = (LST - LST_{min}) / (LST_{max} - LST_{min})$$

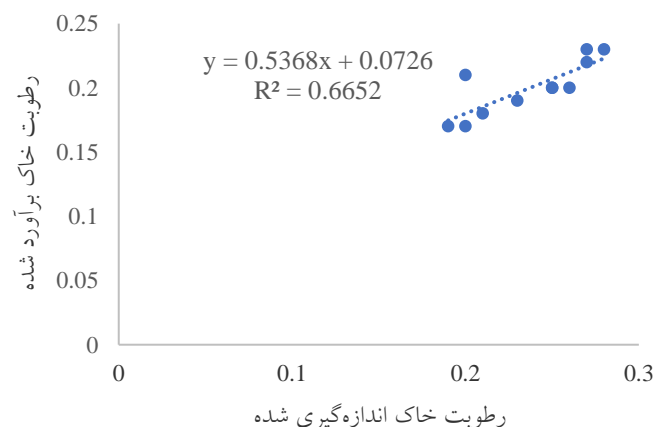
رابطه ۴

در این رابطه، LST دمای سطح پیکسل مورد نظر، LSTmax بیشینه دما در NDVI مربوط به آن پیکسل و LSTmin کمینه دمای NDVI مربوط به آن پیکسل است. مقادیر بیشینه و کمینه دمای سطح زمین برای هر NDVI معلوم، از برازش خطی معادلات ۵ و ۶ محاسبه شد:

$$\text{LSTmax} = a1 + b1 \times \text{NDVI} \quad \text{رابطه ۵}$$

$$\text{LSTmin} = a2 + b2 \times \text{NDVI} \quad \text{رابطه ۶}$$

در این روابط، $a1$ و $a2$ به ترتیب عرض از مبدأ خطوط برازش یافته بر مقادیر بیشینه و کمینه دمای سطح، و $b1$ و $b2$ نیز به ترتیب شیب خطوط برازش یافته بر این مقادیر به منظور ایجاد اضلاع خشک و تر است. نقاط حداقل LST و NDVI نیز از طریق ترسیم خطی موازی با لبه پایین یا لبه تر فضای مثلثی تشکیل شده، استخراج می‌شود که با وارد کردن آنها در محیط EXCEL و ایجاد رگرسیون خطی بین آنها، معادله مربوط به لبه مرطوب و با جای‌گذاری لایه رستری شاخص NDVI در آن، دمای حداقل محاسبه می‌شود که در این تحقیق، از شاخص SAVI با توجه به سازگار بودن این شاخص با شرایط منطقه سیستم استفاده شد. در ادامه، با استفاده از ابزار Raster calculator و جای‌گذاری لایه‌های رستری برآورد شده در معادله مربوط، شاخص رطوبت خاک (TVDI) برآورد شد (Sanati and Jafari, 2021). در این پژوهش برای ارزیابی مقادیر حاصل از برآورد شاخص رطوبت خاک، از آمار مقادیر اندازه‌گیری شده رطوبت خاک از عمق صفر تا پانزده در ایستگاه‌های منتخب (محل نصب تله‌های رسوب‌گیر گرد و غبار در سطح منطقه سیستم) و گردآوری آمار ارائه شده از سوی جهاد کشاورزی و مرکز تحقیقات سیستم طی دوره مورد مطالعه استفاده شد. در شکل ۳، نمایی از ارزیابی دقت داده‌های زمینی برداشت شده با داده‌های رطوبت خاک برآورد شده با استفاده از شاخص مورد مطالعه ارائه شده است.



شکل ۳: مقایسه همبستگی داده‌های زمینی برداشت شده با مقادیر شاخص TVDI در ایستگاه‌های منتخب در محدوده مورد مطالعه

برای بررسی سازندهای حساس به فرسایش بادی، علاوه بر پوشش گیاهی از دمای سطح زمین، رطوبت خاک و ساختار زمین‌شناسی استفاده شد (Damizadeh et al, 2021 & Rayegani, 2019). همچنین برای تهیه لایه‌های اطلاعاتی آن، از نقشه زمین‌شناسی ارائه شده توسط سازمان زمین‌شناسی برای نواحی داخلی کشور استفاده شد. برای بررسی ساختار

زمین‌شناسی در کشور افغانستان نیز از نقشه زمین‌شناسی ارائه شده توسط سازمان معادن و صنعت این کشور با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ استفاده شد. این نقشه بر اساس حساسیت‌پذیری نوع ساختار زمین‌شناسی به فرسایش بادی، امتیازدهی شد تا نقاط مستعد فرسایش بادی و تولید گرد و غبار مشخص شود (Ahmadi, 2012). علاوه بر شاخص‌های ذکر شده، شاخص پستی و بلندی زمین نیز از عوامل مهم در فرسایش بادی است؛ به طوری که اثر این عامل در نقاط مرتفع به‌عنوان بادشکن، به کاهش این فرسایش و در مقابل، در مناطق دشت و هموار به تسریع آن منجر می‌شود؛ از این رو، استفاده از مدل رقومی با تفکیک مکانی بالا در مناطق مسطح و هموار بسیار اهمیت دارد. برای تهیه لایه شیب، از تصاویر ماهواره سنجنده ASTER و مدل رقومی زمین با تفکیک مکانی سی متر استفاده شد؛ بدین منظور برای پوشش کامل محدوده مورد مطالعه، بیست فرم تصویر از سایت USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov>) دریافت شد. در ادامه پس از اجرای پیش‌پردازش‌های لازم و تصحیح هندسی، این تصاویر با یکدیگر موزاییک و با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (DEM)، نقشه شیب محدوده مورد مطالعه در محیط جی‌آی‌اس تهیه شد.

تلفیق لایه‌های مختلف مکانی

برای تلفیق لایه‌ها، در ابتدا اندازه پیکسل لایه‌های مورد مطالعه با استفاده از روش نمونه‌گیری مجدد یکسان‌سازی شد. برای نرمال‌سازی نقشه‌ها و لایه‌های تهیه شده نیز مقادیر این لایه‌ها با استفاده از اکستنشن Spatial Data Modeller Tools و ابزار membership Fuzzy در محیط GIS بین صفر تا یک قرار گرفت؛ به گونه‌ای که هر چه ارزش‌ها به یک نزدیک شود، وضعیت برای تولید گرد و غبار و مناطق مستعد ایجاد آن مناسب به نظر می‌رسد (جدول ۵). پس از آماده‌سازی تمامی نقشه‌ها از نظر اعمال شاخص‌ها و نرمال‌سازی آنها، لایه‌ها با یکدیگر تلفیق شد؛ بدین منظور، از ابزار Overlay Fuzzy و روش Gamma - که ترکیبی از روش‌های Sum و Product است و پارامترهای کاهشی و افزایشی را هم‌زمان با یکدیگر تلفیق می‌کند - استفاده شد.

برای ارزیابی صحت نقشه کانون‌های گرد و غبار تهیه شده نیز از بانک اطلاعاتی و نقشه رقومی شده کانون‌های گرد و غبار برای مناطق داخلی کشور و از منابع و گزارش‌های فائو و سازمان زمین‌شناسی کشور افغانستان استفاده شد (Suleman, 2016 & Afghanistan UNEP, 2008 & Alim Mohammadi et al, 2019). همچنین طی عملیات میدانی از مناطق قابل دسترس در نواحی مرزی ایران و افغانستان بازدید شد. سپس مناطق مستعد و کانون‌های فرسایش بادی شناسایی و موقعیت مکانی آن ثبت و با نقشه کانون‌های گرد و غبار صحت‌سنجی شد.

جدول ۵: توابع فازی مورد استفاده در تحقیق حاضر برای نرمال‌سازی پارامترهای مورد مطالعه

| پارامتر | تابع فازی مورد استفاده |
|--------------|------------------------|
| پوشش گیاهی | Linear |
| دمای سطح خاک | MSLarge |
| رطوبت خاک | Small |
| شیب | MSSmall |
| زمین‌شناسی | MSLarge |

آشکارسازی گستره وقوع پدیده گرد و خاک

برای آشکارسازی پدیده گرد و خاک، از شاخص اختلاف دمای درخشندگی آکرمن استفاده شد؛ بدین منظور، با برآورد دمای روشنایی باندهای حرارتی (باند ۳۱ و ۳۲)، از شاخص اختلاف دمای درخشندگی (BTĐ) بر اساس معادله ۷ برای شناسایی ذرات گرد و غبار در هوا استفاده شد (Mei et al, 2008).

$$BTĐ = BT31 - BT32$$

رابطه ۷

بدین منظور با استفاده از ابزار Band math در نرم‌افزار ENVI، فرمول فوق بر تصاویر اخذ شده اعمال و با توجه به مقادیر عددی پیکسل‌های هر تصویر، آستانه گرد و غبار برای شاخص ذکر شده طی بازه‌های زمانی مختلف در محدوده مطالعاتی تعیین شد. در ادامه، با تهیه نقشه شاخص BTĐ و تبدیل آن به نقشه رستری با استفاده از توابع تلفیق در محیط GIS، با نقشه پایه (تقسیمات سیاسی) محدوده مورد بررسی تلفیق شد، سپس با تفسیر بصری و تجزیه و تحلیل نقشه‌ها، علل و منشأ وقوع طوفان‌های گرد و غبار بررسی شد.

۴- یافته‌ها (نتایج)

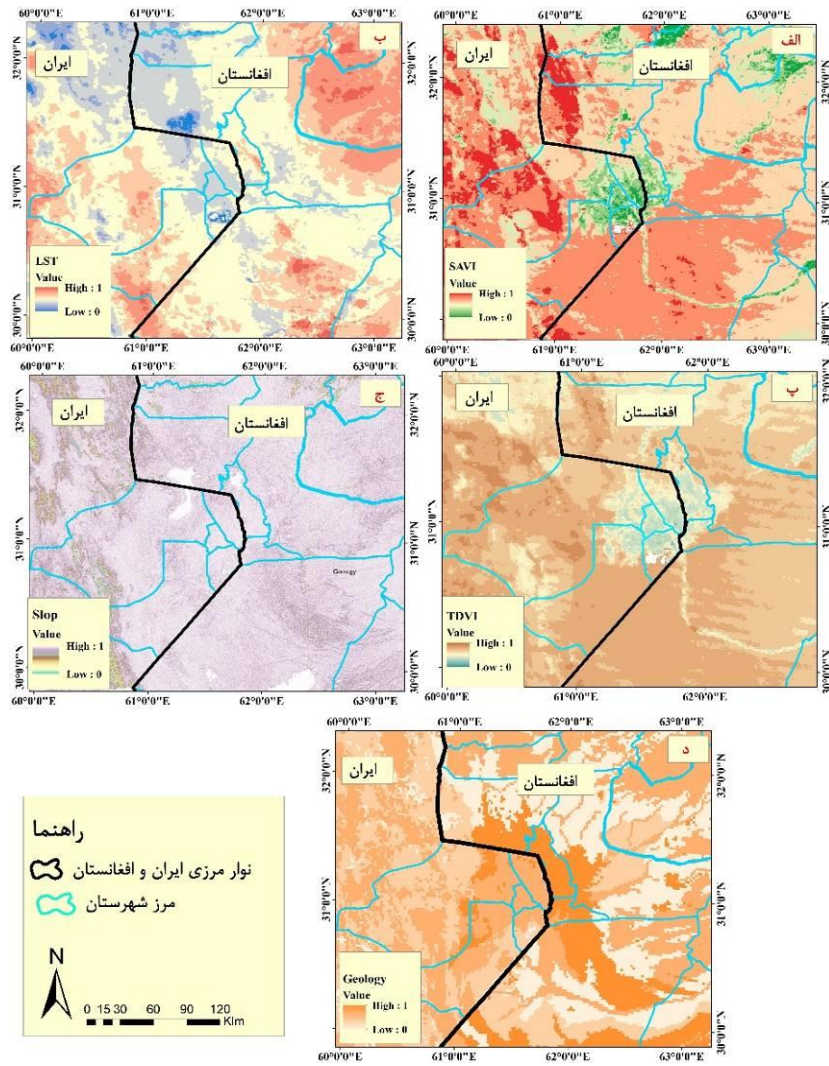
با توجه به تأثیر عوامل محیطی مختلف بر مکانیسم بروز پدیده طوفان گرد و غبار، تعیین میزان اثرگذاری هر یک از این عوامل بر بروز این رخداد طبیعی بسیار مهم است؛ بدین منظور، در ابتدا فازی‌سازی هر یک از پارامترهای مورد مطالعه متناسب با هدف این پژوهش و در مقیاس عددی بین صفر و یک صورت گرفت که نتایج آن در شکل ۴ ارائه شده است. از آنجا که پوشش گیاهی بر میزان تولید گرد و غبار نقش بازدارنده‌ای دارد؛ ارزش‌گذاری این پارامتر، منطبق با فازی معکوس صورت گرفت. دامنه تغییرات شاخص SAVI در محدوده مورد مطالعه بین ۰/۶+ تا ۱- است. بر این اساس، در مناطقی که دارای بیشترین مقدار این شاخص است، میزان تولید گرد و غبار به حداقل میزان ممکن کاهش می‌یابد. با توجه به نتایج، بیشترین مقدار این شاخص که با رنگ سبز در شکل (۴- الف) ارائه شده است، مربوط به اراضی مرتعی، جنگل‌های دست کاشت، ترکیب مرتع تالاب و اراضی کشاورزی است و در اراضی شورزار، اراضی کشاورزی رها شده، مناطق بیابانی و مراتع تخریب شده به حداقل مقدار خود می‌رسد (مناطق با رنگ صورتی تا قرمز). تغییرات مقادیر این شاخص در نواحی داخلی و خارجی کشور محسوس و در بیشتر نواحی کمترین مقدار را نشان می‌دهد؛ به طوری که در داخل کشور، اراضی مجاور با نوار مرزی در قسمت جنوبی استان خراسان جنوبی و در بخش جنوب شرقی شهرستان سریشه (شامل روستای ماهیرو، چشمه استاد و چاه سگگ)، شهرستان نهبندان (نواحی از شنده معصومه، خرماکه، دوکوهانه، شنده یوسفی، طبسین بالا، طبسین پایین و بندان) پوشش گیاهی تنک دارد و در برخی اراضی تقریباً فاقد پوشش گیاهی یا پوشش گیاهی اندک است که به طور عمده، گونه‌های گیاهی غالب در این مناطق شامل سالسولا، درختچه گز و سوئدا می‌باشد. در منطقه سیستان نیز بیش از ۷۵ درصد شهرستان نیمروز، فاقد پوشش گیاهی و در برخی اراضی اطراف دریاچه هامون و شهرستان ادیمی دارای پوشش گیاهی نیمه متراکم است. با توجه به نتایج، بخش شمالی شهرستان هیرمند و بخش جنوبی شهرستان‌های زهک و هامون تقریباً فاقد پوشش گیاهی است. اراضی شهرستان زابل دارای پوشش گیاهی تنک و در برخی مناطق متوسط است که به طور عمده، مربوط به اراضی کشاورزی و باغ‌های اطراف این شهرستان می‌باشد. در بخش فرا منطقه‌ای نیز تغییرات پوشش گیاهی در کشور

افغانستان بیانگر آن است که در مناطق مرزی با کشور ایران از جمله در اراضی غرب و جنوب شهرستان‌های قلعه زال (قادرآباد، حسن‌آباد و سمک)، شیبکو (دوغاله و بجده)، لشوا جواین (پیرکاندر، احمد غلام دکاک، چاهرگ، خوشه، دمبلی بالا و لشوا جواین) تقریباً فاقد پوشش گیاهی و در برخی نقاط نیز پوشش گیاهی به صورت لکه‌ای و در اطراف خشکه رودها و مخروط‌افکنه‌ها است. در مناطق مرزی استان نیمروز نیز تقریباً همه اراضی شهرستان چخانسور بدون پوشش گیاهی یا دارای پوشش گیاهی تنک است. همچنین در مناطق شمالی شهرستان کنج، نواحی مرکزی و جنوب شهرستان زرنج و تقریباً همه اراضی شهرستان چهار برجک نیز بدون پوشش گیاهی یا پوشش گیاهی ضعیف است.

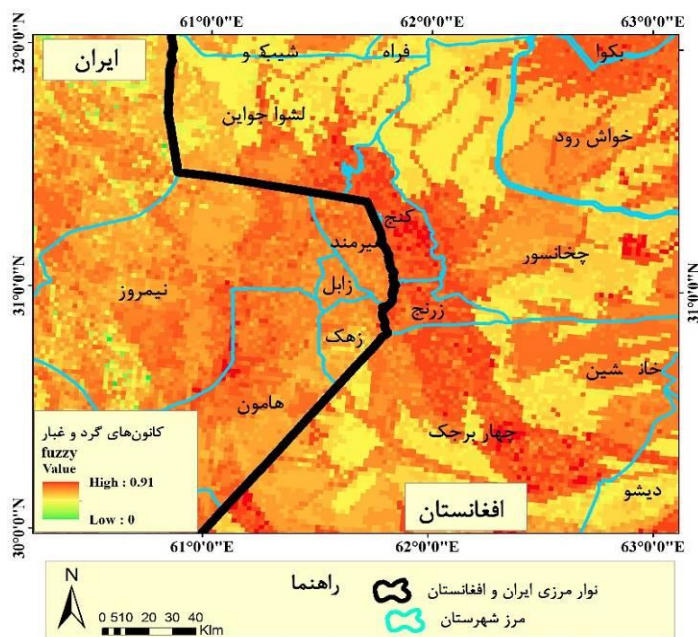
همچنین با توجه به نتایج، دامنه تغییرات دمای سطح زمین در محدوده مورد مطالعه بین ۲۹۲/۶ تا ۳۳۵/۵ کلوین (K) برآورد شد. کمترین دماها نیز مربوط به مناطق مرتفع و کوهستانی است که شامل ارتفاعات کشور افغانستان از جمله قلعه زال (قادرآباد، کاکرتا و کاریز سلطان)، شیبکو (دمدم و دوغال) و لشوا جواین (چاهرگ) و در داخل کشور مربوط به ارتفاعات نوار مرزی در قسمت جنوبی استان خراسان جنوبی در بخش جنوب شرقی شهرستان سربیشه از جمله چاهی شور، تیغاناب بالا و ارتفاعات شهرستان نهبندان (مناطق از شنده معصومه، خواجه توچاهی، حسین آباد سرکل و بندان) می‌باشد. در مقابل، حداکثر دمای سطح زمین نیز مربوط به مناطق کم ارتفاع و دشت از جمله اکثر مناطق شهرستان هیرمند (نواحی شمالی)، شهرستان نیمروز (همه نواحی به جز بخش‌هایی از شمال شرقی) و اکثر نواحی جنوبی شهرستان زهک و هامون است. این افزایش دمای سطح زمین در اکثر نواحی شهرستان مرزی در قسمت جنوب شرقی منطقه سیستان در استان نیمروز کشور افغانستان (شهرستان‌های کنج، زرنج و چهار برجک) را نیز در بر می‌گیرد. به‌طور کلی، بیش از ۸۵ درصد محدوده مورد مطالعه بیشترین مقدار دمای سطح زمین را دارد که این نواحی به‌طور عمده، مناطق بیابانی و دشت‌های فاقد پوشش گیاهی یا دارای پوشش گیاهی تنک را شامل می‌شود. با توجه به نتایج در مناطقی با پوشش گیاهی بیشتر، دمای سطح زمین کاهش یافته است و در مناطق بدون پوشش گیاهی یا با پوشش گیاهی ضعیف، دمای سطح زمین به‌طور محسوسی افزایش می‌یابد. تغییرات رطوبتی سطح زمین با استفاده از شاخص TVDI - که ترکیبی از دو شاخص LST و SAVI می‌باشد - بیانگر آن است که با کاهش رطوبت، پوشش گیاهی نیز کاهش و در مقابل، دمای سطح زمین افزایش می‌یابد؛ به‌گونه‌ای که در مناطق خشک، مقدار آن یک و در مناطق مرطوب صفر است. کمترین مقادیر این شاخص در منطقه مورد مطالعه نیز به مناطق کوهستانی و ارتفاع‌ها (به دلیل بارش بیشتری نسبت به سایر مناطق) و مناطقی از دشت سیستان - که شامل جنوب شهرستان هیرمند، گستره شمال تا جنوب شرقی شهرستان نیمروز و هامون، بخش شمالی شهرستان زهک و همه اراضی شهرستان زابل است - بازمی‌گردد. همچنین شهرهای نوار مرزی کشور افغانستان از جمله شهرهای کنج (نواحی مرکزی و جنوب) و زرنج (نواحی شمالی) را در بر می‌گیرد که دلیل بالا بودن میزان رطوبت در این مناطق، بالا بودن سطح آب زیرزمینی در آن است که با توجه به شکل (۴-پ)، بیشترین میزان پوشش گیاهی و در مقابل کمترین میزان دمای سطح زمین را دارد. برای بررسی اثر توپوگرافی و شیب بر ایجاد مناطق مستعد تولید گرد و غبار در محدوده مورد مطالعه، نقشه شیب و توپوگرافی تهیه شد که نتایج آن در شکل (۴-ج) ارائه شده است.

با توجه به نتایج، بیش از ۹۵ درصد مساحت محدوده مورد مطالعه را اراضی کم ارتفاع و هموار تشکیل می‌دهد که شیب کمتر از پنج درصد دارد. گستره این مناطق، از امتداد نوار مرزی در جنوب شرقی استان خراسان جنوبی تا نواحی

شمالی و جنوب شرقی منطقه سیستان را دربرمی‌گیرد که در شکل‌گیری فرسایش بادی و منبع تولید گرد و غبار در منطقه نقش به‌سزایی دارد. علاوه بر پارامترهای ذکر شده، ساختار و سازندهای زمین‌شناسی نیز در مطالعات فرسایش بادی و بروز پدیده گرد و خاک در نواحی خشک و بیابانی نقش کلیدی دارد. با توجه به نتایج، ساختار زمین‌شناسی در استان خراسان جنوبی و در جنوب شرقی شهرستان سربیشه شامل مخروط افکنه جوان، پهنه‌های گراولی، پادگانه‌ها و نهشته‌های سیلابی و آبرفت‌های سخت نشده است که به دوره پلیستوسن - هائوسن بازمی‌گردد. این ساختار زمین‌شناسی همچنین بخش‌هایی از نوار مرزی شهرستان نهبندان از جمله مناطق دورح و دوکوهه را تا نواحی از شهرستان طبسین شامل می‌شود. بخش قابل توجهی از مناطق مرزی در شهرستان بندان (دغال و نصرت‌آباد) نیز از پهنه‌های گلی تشکیل می‌شود. در بخش فرا منطقه‌ای نیز مناطق همجوار نوار مرزی استان خراسان جنوبی که شهر شییکوه (منطقه دمدم تا کاکرتا) و بخش زیادی از شهرستان لشواجوین در استان فراه کشور افغانستان را دربرمی‌گیرد، آبرفت و رسوبات آواری و شن، ماسه و خاک رس تشکیل می‌دهد. در مناطق همجوار با دریاچه هامون نیز رسوبات پلایای و در مناطقی از جمله کوچ و کند تقریباً همه اراضی را گل و لای و خاک رس همراه با ماسه‌سنگ پوشش می‌دهد. در بررسی ساختار زمین‌شناسی منطقه سیستان نیز یافته‌ها بیانگر آن است که $742771/025$ هکتار از وسعت منطقه سیستان (۴۵ درصد مساحت منطقه سیستان) از آبرفت‌های ریز و رسوبات رودخانه‌ای است. بخش عمده‌ای از ساختار زمین در این محدوده مربوط به نهشته‌های سیلابی و آبرفت‌های سخت نشده ($29928/142$ هکتار)، رسوبات رودخانه‌ای موقت، پهنه‌های سیلت - نمکی (۴۰۰ هکتار)، دریاچه‌های فصلی همراه با رسوبات سیلابی ($24624/411$ هکتار)، تپه‌های ماسه‌ای و میدان‌های ماسه‌ای ($44413/272$ هکتار)، پهنه‌های گلی ($8794/65$ هکتار) و دریاچه - که محل انباشت رسوبات سیلابی و آبرفت‌های ریزدانه ($84552/89$ هکتار) است - می‌باشد. این رسوبات به طور کامل در واحد دشت‌سر قرار گرفته‌است، پوشش گیاهی ضعیف دارد و در اکثر نواحی فاقد پوشش گیاهی و نسبت به فرسایش آبی و بادی نیز بسیار حساس است. همچنین یافته‌ها بیانگر آن است که مناطق مرزی در نواحی شمال شرقی تا جنوب شرقی منطقه سیستان (شامل شهرهای کنج، زرنج و چهار برجک در استان نیمروز افغانستان) نیز به‌طور عمده از دریاچه با رسوب پلایای (پلایاها متشکل از زون‌های رسی، مرطوب و نمکی)، گل و لای و خاک رس به همراه ماسه و نهشته‌های بادی تشکیل می‌شود که بخش‌هایی از شهرستان دیشو و خانبشین را در استان هلمند نیز در برمی‌گیرد (۴-د). نتایج حاصل از تلفیق لایه‌های ذکر شده برای تعیین نقشه کانون گرد و خاک در منطقه سیستان، در شکل ۵ ارائه شده‌است. حداکثر مقدار نقشه کانون‌های گرد و غبار برابر با $0/91$ است که با مناطق دارای پوشش گیاهی اندک، دمای بالا، رطوبت اندک، ساختار زمین‌شناسی حساس به فرسایش و شیب کم و مناطق هموار انطباق دارد. در مقابل، کمترین مقدار نیز نزدیک به صفر (نواحی سبز رنگ) است و بیشتر به نواحی کوهستانی و سنگلاخی و در برخی نواحی به مراتب با پوشش گیاهی نسبتاً مناسب و اراضی کشاورزی بازمی‌گردد.



شکل ۴: پارامترهای مکانی نرمال شده: الف) فازی شاخص پوشش گیاهی SAVI، ب) فازی شاخص دمای سطح زمین LST، پ) فازی شاخص رطوبت سطح زمین TVDI، ج) فازی شاخص شیب و د) فازی ساختار زمین شناسی.



شکل ۵: نقشه فازی توزیع مکانی کانون‌های گرد و غبار در منطقه مطالعاتی

بر اساس بازدیدهای میدانی، اراضی بایر، بستر خشک شده تالاب هامون و اراضی کشاورزی رها شده، بیشترین توان تولید گرد و غبار را در منطقه سیستان دارد. ساختار زمین‌شناسی این اراضی به‌طور عمده مربوط به رسوبات آبرفتی و دارای شیب کم و هموار است. علاوه بر این، نواحی که پوشش گیاهی تنک دارد نیز تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی از قبیل رفت و آمد وسیله نقلیه در بستر تالاب هامون است که به افزایش میزان فرسایش‌پذیری این رسوبات آبرفتی و بروز گرد و غبار محلی در منطقه سیستان منجر می‌شود (شکل ۶).

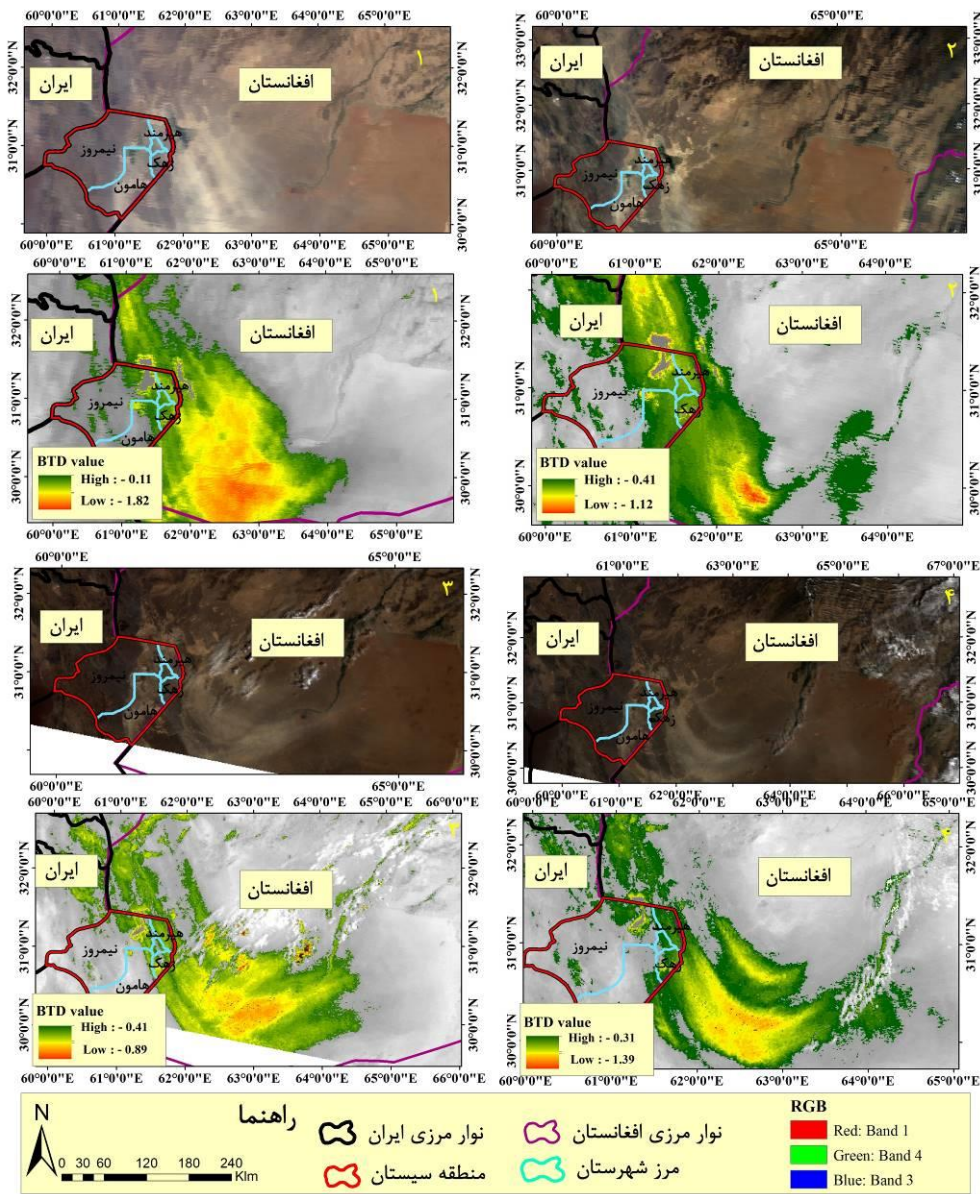


شکل ۶: نمایی از کانون‌های گرد و غبار در بستر تالاب هامون در منطقه نیمروز سیستان

گستره وقوع طوفان‌های گرد و خاک در محدوده مورد مطالعه

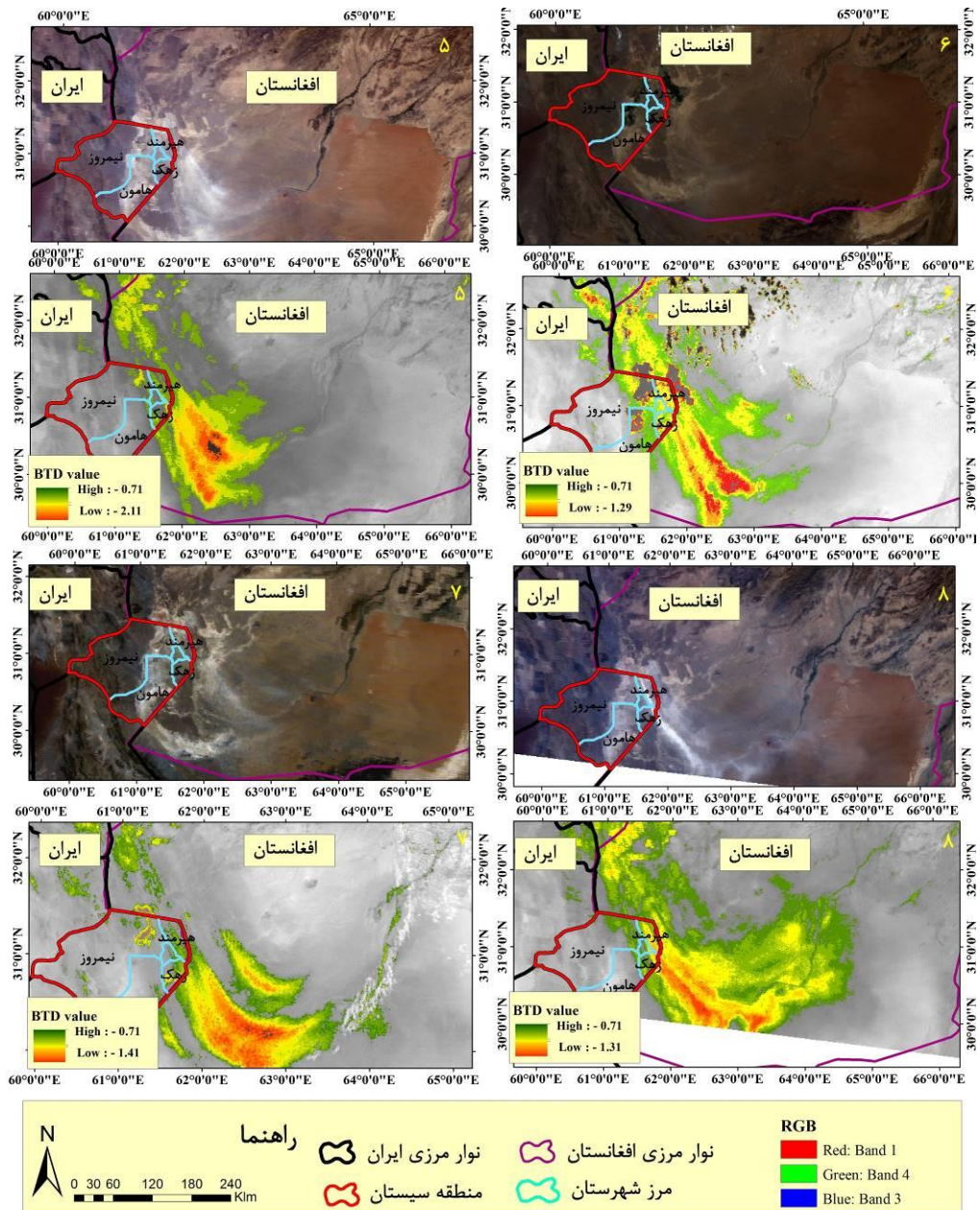
در این پژوهش شاخص اختلاف دمای درخشندگی (BTD) به‌منظور بازسازی پدیده طوفان‌های گرد و خاک برای هشت رخداد طوفان، با بررسی آستانه‌های مختلف و متناسب با شرایط حاکم بر منطقه مورد مطالعه برآورد شد که نتایج آن در شکل‌های ۷ و ۸ ارائه شده‌است. برای بررسی گستره این طوفان‌ها و منشأ وقوع آنها، در ابتدا محدوده گسترش وقوع طوفان‌ها با تفسیر بصری تعیین شد. در ادامه، با استفاده از ابزار mask، لایه رستری مربوط به شاخص اختلاف دمای درخشندگی با توجه به محدوده گسترش طوفان‌های گرد و خاک جدا شد و با تلفیق آن با نقشه‌های تقسیمات سیاسی، پهنه و گستره وقوع این طوفان‌ها بررسی شد. همچنین برای بررسی صحت نتایج حاصل از اعمال شاخص BTD بر باندهای حرارتی تصاویر مودیس نیز با ایجاد ترکیب رنگی حقیقی (RGB143) به تشخیص بهتر پدیده گرد و غبار پرداخته شد که نتایج آن به ترتیب در شکل‌های ۳ تا ۱۲ ارائه شده‌است. با توجه به نتایج فرایند بازسازی غلظت گرد و غبار، اجرای الگوریتم مورد مطالعه به خوبی بیانگر پهنه و گستره وقوع طوفان‌های گرد و خاک در منطقه مورد مطالعه بود. دامنه تغییرات این شاخص در طی رخدادهای مورد مطالعه بین ۰.۴۸- تا ۲.۱- متغیر بود. همچنین داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی سازمان هواشناسی کشور - که در این تحقیق به‌صورت موردی برای تاریخ ۱۴۰۰/۰۳/۰۳ ارائه شده است - نیز بررسی شد و یافته‌ها وقوع طوفان‌های گرد و غبار را در این تاریخ در محدوده شمال و شمال غربی منطقه مطالعاتی نشان داد. منشأ این رخداد نیز با بررسی تصویر سنجنده مودیس با ترکیب رنگی بیانگر آن است که به‌طور کامل، مسیر حرکت این طوفان از شمال غربی به جنوب شرقی بوده‌است. همچنین بررسی پهنه و گستره وقوع طوفان‌های گرد و خاک در منطقه مورد مطالعه، بیانگر آن است که این طوفان‌ها منشأ داخلی و خارجی دارد. گستره

وقوع طوفان‌های گرد و غبار، از نواحی شرقی تا جنوب شرقی استان خراسان جنوبی در ایران و جنوب غربی کشور افغانستان است که نواحی شمالی تا جنوب شرقی منطقه سیستان را نیز در بر می‌گیرد.



شکل ۷: گستره گرد و غبار بازسازی شده در تاریخ‌های ۱۴۰۰/۰۳/۰۳ (شماره ۱)، ۱۴۰۰/۰۳/۳۰ (شماره ۲)، ۱۴۰۰/۰۴/۰۹ (شماره ۳)،

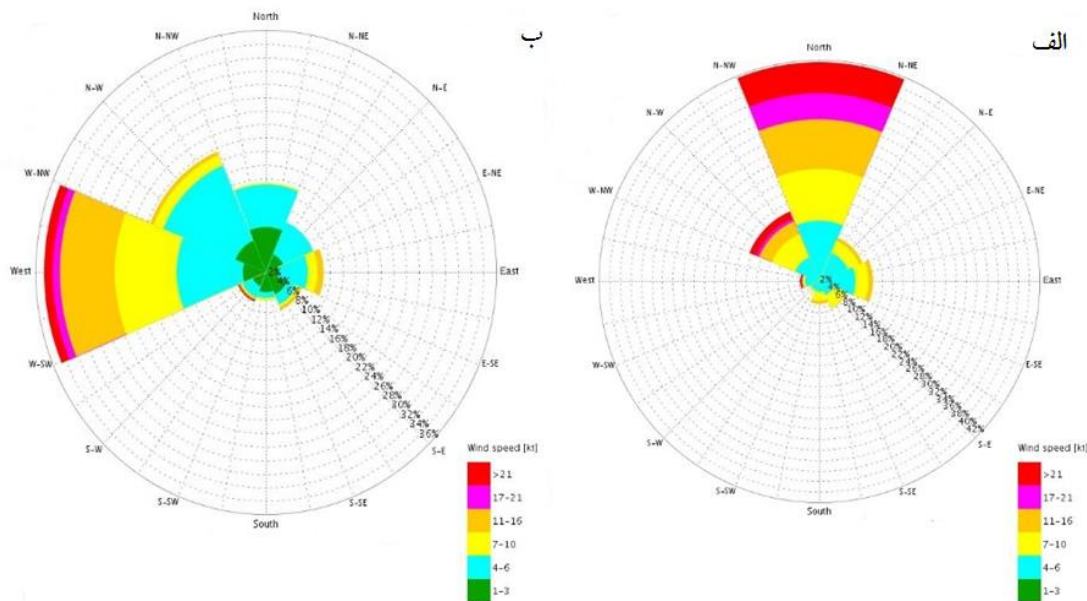
۱۴۰۰/۰۵/۰۴ (شماره ۴)



شکل ۸: گستره گرد و غبار بازسازی شده در تاریخهای ۱۴۰۰/۰۶/۲۴ (شماره ۵)، ۱۴۰۰/۰۷/۱۰ (شماره ۶)، ۱۴۰۰/۰۷/۱۱ (شماره ۷)، ۱۴۰۰/۰۷/۳۰ (شماره ۸)

بررسی گلبادهای سالانه و فصلی دو ایستگاه زابل و زهک نیز نشان داد که بیشترین جهت وزش باد غالب در منطقه مورد مطالعه با فراوانی بیش از ۷۵ درصد و با سرعت یازده تا سی متر بر ثانیه از سمت شمال غربی، با فراوانی بیست درصد و سرعتی بین بیست تا سی متر بر ثانیه از سمت شمال و هم‌جهت با وزش طوفان‌های گرد و خاک در محدوده مورد مطالعه است (شکل ۹)؛ به طوری که جریان‌های شمالی و شمال غربی باد از سمت استان خراسان جنوبی - که بخشی از جنوب غربی کشور افغانستان را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد - به ایجاد توده‌های غلیظ گرد و خاک در بخش‌هایی از مناطق ماخونیک و کورنگ شهرستان بیرجند، و چاه‌رگ و چکاب فراه در کشور افغانستان می‌انجامد که ضمن تشدید آن در منطقه سیستان، شهرستان‌های نیمروز، زابل و زهک را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. علاوه بر این،

بروز این طوفان‌ها به ایجاد توده‌های غلیظ گرد و غبار در بخش‌هایی از زرنج کشور افغانستان منجر می‌شود که منطقه گود زره این کشور را نیز در برمی‌گیرد.



شکل ۹: گلباد سالانه ایستگاه زابل (الف) و زهک (ب)

۵- بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق ضمن آشکارسازی گستره وقوع طوفان‌های گرد و خاک، پهنه‌بندی توزیع مکانی کانون‌های گرد و غبار در نواحی برون مرزی و در داخل منطقه سیستان با استفاده از پارامترهای داده‌های سنجش از دور و مطالعات میدانی بررسی شد. یافته‌ها نشان داد که منشأ وقوع طوفان‌های گرد و غبار، در نواحی شرقی تا جنوب شرقی استان خراسان جنوبی و جنوب غربی کشور افغانستان متمرکز است که ضمن ایجاد توده‌های غلیظ گرد و خاک در نواحی شمالی تا جنوب شرقی منطقه سیستان، نواحی مرزی این منطقه را در کشور افغانستان نیز در برمی‌گیرد. بررسی عوامل مؤثر بر تولید این پدیده بیانگر آن است که کمترین مقادیر شاخص پوشش گیاهی و رطوبت سطحی خاک، مربوط به اراضی بایر و بیابانی است که با کانون‌های بحرانی تولید گرد و غبار انطباق دارد. این نتایج با مطالعات Engelstadler (2001) و Tayba و همکاران (2014) مبنی بر افزایش توان پدیده گرد و غبار با کاهش رطوبت خاک و کاهش پوشش گیاهی در مناطق خشک و بیابانی هم‌خوانی دارد. از آنجا که رطوبت سطح زمین و پوشش گیاهی بر دمای سطح زمین تأثیر به‌سزایی دارد، با کاهش میزان رطوبت خاک و به تبع آن کاهش پوشش گیاهی، میزان دمای سطح زمین افزایش می‌یابد (Jafari and Sanati, 2021). چنین مکانیسمی در مناطق پست و کم ارتفاع با توجه به اقلیم خشک و بیابانی، به وزش بادهای خشک در اکثر نواحی دشت سیستان منجر می‌شود (Tavossi and Raessi poor, 2010). این فرایند به تشدید فرسایش بادی و وقوع پدیده گرد و غبار در نواحی با میزان دمای سطحی بالا و مناطق پست و کم ارتفاع منجر می‌شود. مناطق با شیب پایین، بیشترین تأثیر را در ایجاد فرسایش بادی دارد و بر عکس، میزان این فرسایش در مناطق شیب‌دار به علت کوهستانی بودن به حداقل می‌رسد (Sanati and Jafari, 2021).

بررسی نقشه‌های جهت شیب و توپوگرافی نیز بیانگر کاهش محسوس مقادیر این عوامل در تمامی پهنه‌های جنوب غربی کشور افغانستان، جنوب شرقی خراسانی جنوبی و نواحی شمالی تا جنوب شرقی منطقه سیستان است که شرایط مساعدی را برای ایجاد فرسایش بادی - با توجه به هموار و مسطح بودن سطح اراضی و فقدان مانع توپوگرافی در مقابل باد - فراهم می‌کند. با توجه به نتایج، موقعیت مکانی این نواحی به طور عمده با گستره وقوع گرد و غبار در منطقه مورد مطالعه انطباق دارد. این تغییرات توپوگرافی در شکل‌دهی جهت جریان‌های جوی نیز نقش مؤثری دارد و به ایجاد بادهایی با جهت شمال غربی و شمال در محدوده مورد مطالعه منجر می‌شود؛ به طوری که بررسی گلباد سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه نیز این امر را تأیید می‌کند. این نتایج با مطالعات Rayegani و همکاران (2019) و Shayesteh و همکاران (2020) هم‌خوانی دارد. آنان مناطق پست و هموار را به دلیل فقدان مانع فیزیکی در برابر باد، به‌عنوان مناطق مستعد تولید گرد و غبار معرفی کردند. علاوه بر پارامترهای ذکر شده در بالا، سازندهای زمین‌شناسی حساس به فرسایش نیز در ایجاد کانون‌های برداشت گرد و غبار نسبت به سایر سازندها و خاک‌های مقاوم به فرسایش نقش به‌سزایی ایفا می‌کند (Sissakian et al, 2013). همچنین یافته‌ها نشان می‌دهد که بخش قابل توجهی از این کانون‌ها از سازندهای حساس به فرسایش از جمله آبرفت‌های ریز و رسوبات رودخانه‌ای تشکیل می‌شود. در مطالعات رسوب‌شناسی، اندازه ذرات این رسوبات سیلابی در حد سیلت ریزدانه ۰/۰۳ میلی‌متر قطر تا سیلت ریزدانه ۰/۰۷۸ میلی‌متر قطر گزارش شده‌است که توان فرسایش‌پذیری بالایی دارد (Atlas of Mineral Resources of the ESCAP Region, 1995 & Theng, 1979 & AIMS, 2005 & Geological Survey, 2008 & Afghanistan UNEP, 2008 & Abdul Alim Mohammadi et al, 2019 & Jahantigh and Jahantigh, 2019 & Suleman, 2016). علاوه بر آن، وجود پهنه‌های سیلت - نمکی، تپه‌های ماسه‌ای و میدان‌های ماسه‌ای در داخل و خارج از کشور، از دیگر منابع تغذیه گرد و غبار در محدوده مورد مطالعه است که قابلیت فرسایش‌پذیری بالایی دارد. تجزیه و تحلیل فراوانی وزش باد در منطقه سیستان نیز نشان داد که این منطقه تحت تأثیر بادهایی با فراوانی بیش از ۷۵ درصد و با سرعت یازده تا سی متر بر ثانیه از سمت شمال غربی و با فراوانی بیست درصد و سرعتی بین بیست تا سی متر بر ثانیه و از سمت شمال (منطبق با منشأ و گستره وقوع طوفان‌های گرد و غبار) است که با توجه به حمل ذرات با قطر دو میلی‌متر با وزش بادهایی با سرعت بیش از ده متر بر ثانیه (Yamani et al, 2011)، این منطقه دارای بیشترین فراوانی رخداد باد با سرعت بیش از سرعت آستانه فرسایشی ساختار زمین‌شناسی مناطق مولد گرد و غبار است؛ به طوری که آشکارسازی پدیده گرد و غبار در محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد که وزش باد در اکثر نواحی دشت سیستان به افزایش غلظت گرد و غبار در این منطقه منجر می‌شود.

بررسی کانون‌های تولید گرد و غبار در منطقه سیستان نیز نشان داد که موقعیت جغرافیایی این منطقه و همسایگی آن با مناطق مولد گرد و غبار از جمله بستر خشک شده تالاب هامون صابوری در شهرهای اشواجین استان فراه و هامون پوزک در شهرستان کنج استان نیمروز افغانستان - که از جمله مهم‌ترین کانون‌های تولید گرد و غبار و در مسیر جریان‌های جوی ورودی به منطقه سیستان است - یکی از دلایل اصلی فراوانی وقوع این رخداد به‌ویژه در نواحی شمالی منطقه سیستان می‌باشد. در مطالعات صورت گرفته مانند Boroughani (2020)، سطوح خشک شده دریاچه هامون با توجه به ساختار زمین‌شناسی حساس آن به فرسایش بادی، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین کانون‌های برداشت گرد و غبار در جنوب غربی افغانستان و شمال منطقه سیستان معرفی شد که به افزایش فراوانی وقوع طوفان‌های گرد و غبار

در این منطقه نیز منجر می‌شود. همچنین نتایج بیانگر آن است که شرایط آب و هوایی خشک و بیابانی، پوشش گیاهی ضعیف و کاهش رطوبت در مناطق پست و هموار - که ساختار زمین‌شناسی حساس به فرسایش دارد و تحت تأثیر وزش بادهایی با قدرت فرساینده بالاست - از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر ایجاد کانون‌های بحرانی گرد و غبار است که با نتایج مطالعات صورت گرفته همچون Lee و همکاران (2012)، Zender و Parajuli (2017)، Hahnenberger و Kathleen (2014) همخوانی دارد. با توجه به بازدیدهای میدانی صورت گرفته، آثار فرسایشی در این سازندها محسوس و به‌طور عمده به ایجاد بادکندهایی با بیش از یک متر عمق در این مناطق منجر شده‌است. پوشش گیاهی در این مناطق نیز به‌صورت لکه‌ای و به‌طور عمده شامل گونه‌های گیاهی مقاوم به شوری و خشکی از جمله گز شاهی، سیاه شور، علف شور، زرد تاغ و سیاه تاغ است و در اکثر نواحی فاقد پوشش گیاهی می‌باشد.

در مجموع با توجه به نتایج به دست آمده از این تحقیق، طوفان‌های گرد و غبار در محدوده مورد مطالعه منشأ داخلی و خارجی دارد و مهم‌ترین کانون تولید گرد و غبار، در بخش جنوبی غربی کشور افغانستان و بخش شمالی منطقه سیستان (بستر خشک شده تالاب هامون در کشور افغانستان و ایران) متمرکز است که کنترل آن به برنامه‌ها و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی در سطح منطقه‌ای و فرا منطقه‌ای نیازمند است. همچنین تلفیق پنج پارامتر شاخص پوشش گیاهی، رطوبت خاک، دمای سطح زمین، شیب، توپوگرافی و ساختار زمین‌شناسی، در شناسایی کانون‌های بحرانی گرد و غبار در منطقه مورد مطالعه قابلیت زیادی دارد که با توجه به اثرات سوء این پدیده مخرب بر محیط زیست و زندگی ساکنان این منطقه، تشدید آن طی سال‌های اخیر و لزوم پایش مستمر آن در منطقه سیستان، استفاده از این نقشه‌های تولیدی بستری مناسب برای ارائه راهکارهای مدیریتی مناسب برای کنترل آن در منطقه سیستان است. همچنین با توجه به مطالعات میدانی، اجرای طرح‌های زیربنایی از جمله احیای پوشش گیاهی با استقرار گونه‌های گیاهی سازگار در مناطق مستعد فرسایش بادی، ایجاد بادشکن، قرق مراتع تخریب‌یافته و عملیات ذخیره‌نزولات جوی، برای کنترل سطوح شناسایی شده تولید گرد و غبار در محدوده مورد مطالعه ضروری است.

منابع

1. Afghanistan Geological Survey, 2008. Geology and Mineral Resources of Afghanistan, Report Series Book 1, Chapter 3, 69-71.
2. Afghanistan Information Management Service (AIMS), 2005. Flood zoning at National Level.
3. Ahmadi, H., 2012. Applied geomorphology, 2, Desert and Wind Erosion, University of Tehran, third edition. (In Persian).
4. Albarakat, R., & V. Lakshmi., (2019). Monitoring Dust Storms in Iraq Using Satellite Data. *Sensors*. 19(17), 3687.
5. Alim Mohammadi, A.; Hasib Halimi, A.; & R. Atefi, 2019. Correlation and Evaluation of Applicability of Soil Classification Data According to World References Base for Soil Resources (WRB): The Comparative Study of Farah Province, Afghanistan, *Journal of Agriculture & Environmental Science*, 6(3), 12-24.
6. Atlas of Mineral Resources of the ESCAP Region: Geology and Mineral Resources of Afghanistan, 11. 1995UN Paperback 85pp.

7. Cao, H.; Amiraslani, F.; Liu, J.; & N. Zhou, 2015. Identification of dust storm source areas in West Asia using multiple environmental datasets, *Science of the Total Environment*, 502, 224-235.
8. Boroughani, M.; Pourhashemi, S.; Gholami, H.; & et al, 2021. Predicting of dust storm source by combining remote sensing, statistic-based predictive models and game theory in the Sistan watershed, southwestern Asia, *J. Arid Land*, 13, 1103-1121. [https:// doi.org/ 10.1007/s40333-021-0023-3](https://doi.org/10.1007/s40333-021-0023-3).
9. Damizadeh, M.; Miri, M.; & M. Zand, 2021. Dust Storms Trajectories and Identification of the Internal Sources over Hormozgan Province: A Case Study on Kohestak- Bandar Abbas, south of Iran, *Journal of the Earth and Space Physics*, 47(3), 501-519.
10. Dahmardeh Behrooz, R.; Gholami, H.; John, T.; & D. Jansen, 2019. Aboalhasan Fathabadi, Using GLUE to pull apart the provenance of atmospheric dust, *Aeolian Research*, 37, 1-13.
12. Eklund, L.; Degerald, M.; Brandt, M.; Prishchepov, A. V.; & P. Pilesjo, 2017. How conflict affects land use: agricultural activity in areas seized by the Islamic State, *Environmental Research Letters*, 12, 054004.
13. Engelstadler, S., 2001. Dust storm frequencies and their relationships to land surface conditions. Freidrich-Schiller university press, Jena.Germany. 26p.
14. Fallah zazuli, M.; Vafaeinezhad, A.; Kheirkhah zarkesh, M. M.; & F. Ahmadi dehka, 2014. Source routing of dust haze phenomenon in the west and southwest of Iran and its synoptic analysis by using remote sensing and GIS, *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 5(4), 61-78.
15. Fallah-Ghalhari, G.; Aliabadi, K.; & M. Moghiseh, 2017. Determination of Geomorphological and Land Use Features of Dust Harvesting Sources (Case Study: Khorasan Razavi Province), *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, 8(30), 1-20.
16. Jahantigh, M., & M. Jahantigh., (2019). Study effect of flood productivity on vegetation changes using field work and Landsat satellite images (Case study: Shandak of Sistan region). *RS & GIS for Natural Resources*. 10(4), 57-73.
17. Jahantigh, M., & M. Jahantigh., (2019). The effect of 120 days winds on flood deposits in Sistan region by sediment characteristics analyze. *E. E. R.* 9(1), 85-104
18. Gowan, H. A.; Sturman, A. P.; & I. F. Owens, 1996. Aeolian dust transport and deposition by foehn winds in an alpine environment, Lake Tekapo, New Zealand, *Geomorphology*, 15, 135-146.
19. Hahnenberger, M., & N. Kathleen., (2014). Geomorphic and land cover identification of dust sources in the eastern Great Basin of Utah, *U.S.A. Journal of Geomorphology*, 204(2), 657-672.
20. Hamidian Pour, M.; Mofidi, A.; & M. Salighe, 2016. Analysis of the nature and structure of Sistan wind, *Iranian journal of Geophysics*, 10(2), 83-109.
21. Hamzeh, M. A.; Mahmudy Gharaie, M. H.; Alizadeh Lahijani, H.; Moussavi Harami, R.; & M. Jamali, 2017. Aeolian sediments deposited in Lake Hamoun; the proxy of frequency and severity of dust storms in Sistan since the late glacial, *Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches*, 33(1), 1-24.
22. Hesse, P. P., & R. L. Simpson., (2006). Variable vegetation covers and episodic sand movment on longitudinal desert sand dunes. *Geomorphology*. 81, 291-276.
23. Lau, K., & K. Kim., (2006). Observational relationships between aerosol and Asian monsoon rainfall, and circulation, *Geophys. Res. Lett.* 33(21), 11-24.
24. Lee, H.; Kim, H.; Honda, Y.; Lim, Y.-H.; & S. Yi, 2013. Effect of Asian dust storms on daily mortality in seven metropolitan cities of Korea, *Atmos. Environ*, 79, 510- 517.

25. Lee, J.; Baddock, M.; Mbuh, M.; & T. Gill, 2012. Geomorphic and land cover characteristics of aeolian dust sources in West Texas and eastern New Mexico, USA, *Journal of Aeolian Research*, 3(4), 459-466.
26. Li, J.; Kandakji, T.; Lee, J.; Tatarko, J.; Blackwell, J.; Gill, T.; & J. Collins, 2018. Blowing dust and highway safety in the southwestern United States: Characteristics of dust emission “hotspots” and management implications, *Science of the Total Environment*, 621, 1023-1032.
27. Papi, R.; Argany, M.; Moradipour, S.; Soleimani, M.; 2021. Modeling the potential of Sand and Dust Storm sources formation using time series of remote sensing data, fuzzy logic and artificial neural network (A Case study of Euphrates basin), *Jgit*, 8 (3), 61-82.
28. Parajuli, S. P., & C. Zender., (2017). Connecting geomorphology to dust emission through high-resolution mapping of global land cover and sediment supply. *Journal of Aeolian Research*. 27, 47-65.
29. Rahman, M., 2014. Assessment of Potentials of Climate Amenity in South Khorasan Province Utilizing TCI Method, *journal of Geographic since*, 21, 60-69.
30. Rayegani, B., 2019. Identification of potential dust sources using remote sensing data (Case Study: Alborz Province), *Journal of Natural Environmental Hazards*, 08, 20, 1-20.
31. Rayegani, B.; Barati Ghahfarokhi, S.; & A. Khoshnava, 2019. Dust and Sand Source Identification Using Remotely Sensed Data: a comprehensive Approach, *Journal of Range and Watershed Management*, 72(1), 83-105. (In Persian).
32. Schepanski, K.; Tegen, I.; & A. Macke, 2012. Comparison of satellite based observations of Saharan dust source areas, *Remote Sensing of Environment*, 123, 90-97.
33. Shahraiyini, H. T.; Karimi, K.; Nokhandan, M. H.; & N. H. Moghadas, 2015. Monitoring of dust storm and estimation of aerosol concentration in the Middle East using remotely sensed images, *Arabian Journal of Geosciences*, 8, 2095-2110.
34. Sissakian, V.; Al-Ansari, N.; & S. Knutsson, 2013. Sand and dust storm events in Iraq, *Journal of Natural Science*, 5(10), 1084-1094.
35. Suleman, Y., 2016. Afghanistan’s Mineral Resource Potential: A Boon or Bane, *Journal of Current Affairs*, 2, 86-109.
36. Tavossi, T., & Raessi poor, K., (2010). Statistical analysis and prediction of the probability of occurrence of severe storms using partial series analysis (case study of Sistan area). *Iranian Journal Geographical studies of arid regions*. 1(2), 93 - 105.
37. Tayba, A.; Qaragozlu, A.; Almodaresi, S. A.; & H. Abdollahi, 2014. Detection and Monitoring of Dust, 21th National Geomatics Conference. 21.
38. Theng, B. K., 1979. Formation and properties of clay polymer complexes, 9, in *Developments in soil*.
39. United Nations Environment Programm (UNEP), 2008. Afghanistan’s environment report.
40. Waggoner, D. G., & I. N. Sokolik., (2010). Seasonal dynamics and regional features of MODIS-derived land surface characteristics in dust source regions of East Asia. *Remote Sensing of Environment*. 114, 2126-2136.
41. Wang, H., & T. Niu., (2013). Sensitivity studies of aerosol data assimilation and direct radiative feedbacks in modeling dust aerosols. *Journal of Atmospheric Environment*. 64(1), 208-218.
42. Webb, N. P., & C. L. Strong., (2011). Soil credibility dynamics and its representation for wind erosion and dust emission models. *Aeolian Research*. 3, 165-179.
43. Whitney, J. W., 2007. Geology, Water, and Wind in the Lower Helmand Basin, Southern Afghanistan. Scientific Investigations Report 2006–5182. USGS, Virginia, 40p.

44. Yamani, M.; Lak, R.; Goorabi, A.; Shahbazi, R.; & A. Shabanieraghi, 2020. Investigating the potential of wind erosion and dust production areas in Jazmourian Playa, *Environmental Erosion Research Journal*, 10(1), 21-38. (In Persian).
45. Zhang, B.; Tsunekawa, A.; & M. Tsubo, 2015. Identification of Dust Hot Spots from Multi-Resolution Remotely Sensed Data in Eastern China and Mongolia, *Water, Air, & Soil Pollution*, 12(1), 23-34.
46. Zobeck, T.; Parker, N.; Haskell, S.; & K. Guoding, 2000. Scaling up from field to region for wind erosion prediction using a field-scale wind erosion model and GIS, *Agriculture, ecosystems & environment*, 82, 247-259.

Identification of Storms and Centers of Dust Production in Southeast of Iran (Case Study: Sistan Region)

Moien Jahantigh¹: Ph. D, in Watershed Management, University of Gorgan, Gorgan, Iran

Mansour Jahantigh¹: Associate professor, Department of Soil Conservation and Water Management, Sistan Agriculture and edition Natural Resources Research Center, AREEO, Zabol, Iran

Fazel Iranmanesh: Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Organization (AREEO), Tehran, Iran

Article History (Received: 22/1/2023

Accepted: 11/4/2023)



Extended abstract

1- Introduction

Wind erosion is affected by climate change and several droughts have caused environmental degradation in arid regions. This process causes sand and dust storm (SDS) phenomenon which is one of the most important challenges in fragile areas. This phenomenon is harmful for human health and causes socio-economic problems. Over the past two decades, SDS have been increasing in Iran, particularly in the south-east of the country. Therefore, in order to manage this environmental phenomenon in arid areas, it is an urgent need to identify the dust storm sources. The changes of factors such as vegetation, soil moisture, slope, land temperature, and geological units have effective roles in the occurrence of dust storms. So, investigating the changes in these factors is an effective solution to identify dust storm sources. In this regard, using remote sensing data is one of the effective methods for the detection and mapping of dust storms resource, which combined with field methods, provides a coherent approach to manage and control this phenomenon. This study aimed to identify dust sources and storms in the southeast of Iran with emphasis on the Sistan dust storm by using field work and remote sensing data.

2- Methodology

The study area is located in the south east of Iran and contains some of the border areas of Iran and Afghanistan (including some parts of the south Khorasan and Sistan and Baluchestan province in Iran as well as Farah and Nimroz province in Afghanistan with coordinates of 60° 16' - 61° 36' east longitude and 29° 8' - 32° 32' north latitude). In north of the study area, the mountainous and low-altitude areas are intertwined but the southern area is mostly flat and lacks topography and natural features. The most important characteristics of this area is 120-day winds, which sometimes reach speeds of more than 120 kilometers per hour and is accompanied by high intensity of sand and dust storms. In this study, to identify dust storm sources, the combination of remote sensing, field study and wind analysis methods are used. To achieve this purpose, at first effective factors in the occurrence of dust storms such as vegetation, soil moisture, slope, land temperature, and geological units were prepared. In this regard, by using Modis satellite images, map of vegetation, soil moisture and land temperature were prepared by applying Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI), integrating temperature vegetation dryness index (TVDI) and Land surface temperature (LST), respectively. Also slope map (using Aster satellite) and geological units were prepared. In the next stage, the fuzzy logic method was employed to combine layers and prepare the map of dust storms source, which is assessed by an error matrix and available dust source map. Detection of sand dust storms were performed by using BTD dust detection indicator. For winds analysis, we used WRplot view 8 Software. In the field study, several dust storms sources were determined and their characteristics were recorded.

¹ Corresponding Author: Mjahantigh2000@yahoo.com

3- Results

The results showed that the ranges of SAVI index are + 0.6 to -1 and the highest amount of this index coordinate with highest soil moisture (TVDI) and the lowest land surface temperature (LST) area. This area is mostly related to rangeland, combination of wetland-rangeland, hand-planted forests and agricultural lands. The amount of SAVI index and soil moisture reaches its minimum value in the salt marsh lands, abandoned agricultural lands, desert areas and degraded rangeland. By merging the layers and preparing the map of dust storm sources, it was found that the critical dust storms resources coordinate with high land surface temperature and low vegetation and soil moisture areas. In addition, the highest dust source area is in the slopes of 0 to 4 % with geological units such as playa deposits, eolian deposits, alluvium sediment and wet playa deposit. According to the results, the incoming dust storms into the study area come from the east and southeast of south Khorasan province in Iran and the southwest of Farah province in Afghanistan.

4- Discussion & Conclusions

In this study by using effective factors including vegetation, soil moisture, land surface temperature, slope and geological units, the sources of dust production were identified. According to the results, poor vegetation and low soil moisture in flat areas with sensitive formations are the key factors to create dust storm resources in the study area. Also, the most important active hot-spot areas for dust storm is concentrated in the southwest of Afghanistan and north of sistan region (dry lake bed of Hamoon). Therefore, it can be concluded that using satellite images and the studied factors, the dust sources can be properly identified. Furthermore, by using Time series images of modis and the updated dust source maps, a coherent approach can be provided in order to manage and control this phenomenon.

Key Words: Aster, BTM, Modis, Sistan area, sources of dust production.