

پایش روند تغییرات تپه‌های ماسه‌ای با رویکرد سنجش از دور (مطالعه موردی: دشت سیستان)

فاطمه فیروزی - دانشجوی پست داک گروه سنجش از دور، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
نورالله نیک پور* - دانش آموخته دکتری تخصصی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
زینب رخشانی - کارشناسی ارشد اقلیم شناسی دانشگاه سیستان و بلوچستان.
حمیدرضا غفاریان مالگیری - استادیار دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه یزد.
پیمان محمودی - استادیار گروه جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۲۸ تأیید نهایی: ۱۳۹۹/۰۷/۲۴

چکیده

دشت سیستان از جمله مناطق خشک ایران می‌باشد که دارای بارندگی بسیار کم و پوشش گیاهی ضعیفی می‌باشد. وزش بادهای شدید بر سطح این اراضی لخت باعث تشدید فرسایش خاک شده و خسارت جبران ناپذیری به راه‌های مواصلاتی، اراضی کشاورزی و روستاهای مجاور وارد کرده است. در این پژوهش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست با قدرت تفکیک ۳۰ متر از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۸ به بررسی روند تغییرات تپه‌های ماسه‌ای در منطقه دشت سیستان پرداخته شده است. بر اساس نتایج حاصله از این مطالعه، وسعت تپه‌های ماسه‌ای در ماه آگوست از ۸/۲۳ درصد در سال ۱۹۹۵ به ۱۱ درصد در سال ۲۰۱۸، و در ماه جولای از ۷/۵۵ درصد به ۱۰ درصد از سطح کل حوضه مورد مطالعه افزایش یافته است که تقریباً روند افزایشی چشمگیری را نشان می‌دهد. همچنین تغییرات مساحت دریاچه هامون از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۸ نشان می‌دهد که وسعت آب دریاچه به شدت کاهش یافته است و گویای این موضوع است که گسترش تپه‌های ماسه‌ای در سال‌های مختلف ارتباط مستقیمی با تغییرات سطح دریاچه در زمانهای مختلف دارد. همچنین مطالعات میدانی حاکی از آن است که در طی خشکسالی‌های مکرر منطقه سیستان، حرکت تپه‌های ماسه‌ای به حدی زیاد بوده که باعث مدفون شدن تعداد زیادی از خانه‌های روستایی و از بین رفتن اراضی کشاورزی شده است که این امر خود مهاجرت ساکنان بومی منطقه در سالهای اخیر را به دنبال داشته است. این مسئله همچنین باعث بیکاری بخش زیادی از کشاورزان منطقه گردیده و خسارات شدیدی به تأسیسات و کانال‌های آبرسانی رسانده است، به طوری که جبران آن، مستلزم هزینه و زمان زیادی می‌باشد.

واژگان کلیدی: تپه‌های ماسه‌ای؛ دشت سیستان؛ سری زمانی؛ لندست.

مقدمه

بیش از دو سوم مساحت ایران را محدوده‌ای خشک و نیمه‌خشک فرا گرفته است. در این مناطق به دلیل کمی رطوبت، تنوع پوشش گیاهی محدود است. این موضوع سبب می‌شود که باد به راحتی بر سطح خشک این زمین‌ها تأثیر بگذارد و دانه‌های ماسه را با خود حمل کند و در جایی دیگر رسوب دهد. در محیط‌های بیابانی، پویایی و مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای متأثر از پوشش گیاهی و توان حمل باد هستند (گلی و همکاران، ۱۳۹۸). محیط‌های بیابانی به طور فزاینده‌ای در معرض مخاطرات قریب الوقوع قرار دارند و درخور آسیب‌پذیری در برابر اثرات تغییر اقلیم، شهرنشینی، تخریب زمین، کمبود آب و غیره هستند (بلید^۱، ۲۰۱۰). بیابان‌ها زیستگاه بسیار مهمی برای فلور و فونا‌های بخصوصی هستند. علاوه بر این، بیابان‌ها حاوی مقدار زیادی از مواد معدنی مانند لیتیوم، بور و غیره نیز می‌باشند. کمی‌سازی تغییرات مورفولوژیکی تپه‌های ماسه‌ای علاوه بر اهداف نقشه برداری اطلاعات مهمی در مورد تاریخ زمین‌شناسی منطقه، تغییرات زیست‌محیطی، و پیشروی بیابان‌زایی را نیز فراهم می‌کند. همچنین از طریق تغییرات مرزها و جهت تپه‌های ماسه‌ای، در پیش‌بینی الگوهای باد یک منطقه به پژوهشگران کمک خواهد کرد. از دیدگاه انسانی، اگر تپه‌های ماسه‌ای به سمت مناطق پرجمعیت تغییر جهت دهند، اقدامات پیشگیرانه باید توسط مسئولان مربوطه در این راستا صورت گیرد. از این رو، ضروری است که تدوین نقشه‌های دقیق از رفتار ماسه‌ها و تپه‌های ماسه‌ای برای نظارت بر بیابان‌ها و اجرای فعالیت‌های مختلف مدیریتی، مورد توجه قرار داده شود. طبقه‌بندی تپه‌ها با استفاده از ابزارهای میدانی به طور کلی دشوار است زیرا آنها داده‌های ناقصی را تولید می‌کنند. روش‌های کمی با استفاده از داده‌های سنجش از راه دور برای جمع‌آوری اطلاعات مربوط به تپه‌های ماسه‌ای و نظارت بر آنها، قابل اعتمادتر هستند (وارما^۲ و همکاران، ۲۰۱۴). تپه‌های ماسه‌ای همواره از جمله تهدیدات انسانی می‌باشند. اهمیت مطالعه تپه‌های ماسه‌ای به علت تأثیراتی است که بر روی منابع آب و خاک، حیات گیاهی و جانوری و تأسیسات و راه‌های ارتباطی دارند (فیروزی و همکاران، ۱۳۹۸). ماسه‌هایی که به وسیله باد در سطح زمین در حین حرکت با موانعی در سر راه خود از قبیل گیاهان، قطعات سنگ و یا عوارض طبیعی دیگر برخورد نموده که این عامل سبب کاهش سرعت باد در نتیجه ته نشین شدن بارهای بستر و معلق می‌شود. این ذرات در اطراف این موانع انباشته شده و به تدریج به مقدار آنها افزوده می‌شود. سرانجام اجتماع این ذرات ماسه‌ای منجر به تشکیل تپه‌های ماسه‌ای می‌گردد. البته هرچه این موانع بزرگتر باشند امکان اینکه توده‌های ماسه‌ای به صورت تپه‌های بزرگتری درآیند وجود دارد. نحوه تجمع ماسه‌ها توسط فاکتورهایی مانند سنگ منشاء، مقدار ماسه، نرخ رسوبگذاری، جهت و سرعت باد و وضعیت مورفولوژی و موانع موجود در بستری که ماسه روی آن به حرکت خود ادامه می‌دهد کنترل می‌شود. تپه‌های ماسه‌ای پس از تشکیل در محل خود ثابت نمی‌مانند، بلکه در جهت وزش باد جابجا می‌شوند. با وزش باد، ماسه‌ها در دامنه‌ای که در جهت باد قرار دارد به طرف بالا رانده می‌شوند و پس از رسیدن به قله در دامنه پشتی تپه غلطیده و در آنجا جمع می‌گردند (آحراری رودی، ۱۳۹۶). با توجه به گزارش‌های سازمان زمین‌شناسی آمریکا، تغییرات و حرکات تپه‌های ماسه‌ای مانند تغییرات اقلیمی، رو به افزایش است و از سوی دیگر، تغییر اقلیم نیز به صورت افزایش خشکی ناشی از دماهای زیاد، کمبود پوشش گیاهی و خشکسالی‌های مکرر، منجر به حرکت یا گسترش تپه‌های ماسه‌ای در جهات مختلف و با سرعت‌های متفاوت می‌شود که زندگی و فعالیت‌های انسانی، بهداشت و حمل و نقل را تهدید می‌کند (ایمانی و همکاران، ۱۳۹۲).

1. Belaid

2. Varma

مبانی نظری

مطالعات عمده در رابطه با پویایی مناطق بیابانی عمدتاً پیرامون پوشش گیاهی و یا آب و همچنین تغییرات در رابطه با آنها متمرکز است. پایداری یا تغییر شکل و جهات ماسه های روان می‌توانند به عنوان تابعی از تراکم پوشش گیاهی و قدرت باد در یک منطقه با شد. به طور کلی فرسایش نامحدود و مکرر یکی از ویژگی تپه های ماسه‌ای عریان می‌باشد (لنکستر^۱، ۱۹۸۸؛ پیزلی^۲ و همکاران، ۱۹۹۱). خشکسالی و بیابانزایی ویژگی های مشترک مناطق خشک و نیمه خشک هستند. یکی از انواع مخاطرات طبیعی که هر ساله سبب وارد آمدن خسارات زیادی به ویژه در مناطق خشک و بیابانی دنیا می‌شود، تپه‌های ماسه‌ای است (امیدوار، ۱۳۹۰). تپه‌های ماسه‌ای در قلمرو فرایندهای بادی از پویاترین عارضه‌های ژئومورفیک سطح زمین به شمار می‌روند که از یک سو تحت تاثیر ویژگی‌های سرعت، جهت و فراوانی باد و از دیگر سو متاثر از ویژگی‌های سطح زمین و مواد رسوبی هستند (عباس نژاد و ذهاب نوری، ۱۳۹۱). تپه های ماسه‌ای متحرک از خطرات عمده فرسایش بادی هستند که به شبکه های حمل و نقل، محصولات کشاورزی، منابع آب و مناطق مسکونی خسارات شدیدی وارد می‌سازند (احمدی^۳، ۲۰۰۶). تپه های ماسه‌ای همچنین از مهمترین رخساره های فرسایش بادی بحساب می‌آیند. آگاهی از سرعت و جهت بادهای حاکم بر منطقه می‌تواند به درک ویژگی های مورفومتری تپه های ماسه‌ای کمک بسیاری نماید (پورمند و همکاران، ۱۳۹۴).

تپه های ماسه‌ای عبارت است از انباشت شن و ماسه که تحت تأثیر گرانش به صورت یک گودال شکل گرفته است. تپه های ماسه‌ای در مناطق خشک با پوشش گیاهی اندک که به طور منظم تحت فرسایش بادی قرار دارند، شکل می‌گیرد. تپه های ماسه‌ای در جهت باد غالب حرکت می‌کنند و به مناطق شهری، محصولات کشاورزی، جنگل‌ها، کانال‌های آبیاری، شبکه های جاده ای و ... آسیب می‌رسانند، برای جلوگیری از خسارات ناشی از آن، بررسی روند پیشروی و تغییرات تپه های ماسه‌ای امری ضروری است (فاضل^۴، ۲۰۱۳). شرایط خشک و فراخش حاکم بر بخش وسیعی از ایران با بارندگی کمتر از ۱۵۰ میلیمتر در سال، موجب شده که حدود ۸۰ میلیون هکتار از مساحت کشور ایران را مناطق کویری، مناطق تحت حاکمیت تپه های ماسه‌ای و مناطقی با پوشش گیاهی ناچیز در برگیرد (رفاهی، ۱۳۸۳). دشت سیستان که در شرق ایران قرار دارد، از اقلیمی خشک و نامساعد برخوردار است و طوفان‌های شن و ماسه و حرکت تپه‌های ماسه‌ای از عوامل تهدیدکننده‌ی آن محسوب می‌شوند. وقوع خشکسالی در منطقه‌ی سیستان و به تبع آن کاهش پوشش گیاهی و خشک شدن دریاچه هامون و همچنین وجود بادهای ۱۲۰ روزه، شرایط مناسبی جهت فرسایش بادی و وقوع طوفان‌های گرد و خاک فراهم آورده‌اند. این عوامل سبب شده‌اند تا حرکت شن‌های روان در منطقه با سرعت زیادی انجام گیرد و اشکال مختلفی از تراکم ماسه‌ها، بخصوص تپه‌های ماسه‌ای فراوانی بر جای گذاشته شود (نگارش و لطیفی، ۱۳۸۷).

استفاده از سنجش از دور در طی چند دهه گذشته به عنوان ابزار برای مطالعه ویژگی های تپه های ماسه‌ای و بررسی تغییرات آن در طول زمان، امکان استخراج رژیم های پیشین اقلیمی و نظارت بر مناطق حاشیه ای را که مستعد ابتلا به بیابان زایی هستند، فراهم می‌سازد (اوترمن^۵، ۱۹۸۱؛ تاکر^۶ و همکاران، ۱۹۹۴). سنجش از دور (RS) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) توسط بسیاری از محققان در بسیاری از نقاط جهان برای بررسی تغییرات تپه های ماسه‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. پردازش تصویر از جمله تکنیک هایی است که در تجزیه و تحلیل داده ها و تفسیر داده های

1. Lancaster

2. Paisley

3. Ahmadi

4. Fadhil

5. Otterman

6. Tucker

ماهواره ای برای مطالعه مخاطرات طبیعی مانند تپه‌های ماسه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. تاکنون مطالعات متعددی در نواحی مختلف دنیا در مورد تپه‌های ماسه‌ای و اثرات سوء زیست محیطی آن انجام گرفته است. حیدری نسب و همکاران (۱۳۹۷)؛ پورمند و همکاران (۱۳۹۴)؛ اصغری لقمجانی و نادریان فر (۱۳۹۴)؛ رامشت و همکاران (۱۳۹۲)؛ نگارش و لطیفی (۱۳۸۷)؛ پیژلی و همکاران (۱۹۹۱)؛ توماس و لیسون^۱ (۲۰۰۵)؛ بالدوزی^۲ و همکاران (۲۰۰۶)؛ دلواله^۳ (۲۰۰۸)؛ احمدی بیرجندی^۴ و همکاران (۲۰۱۷)؛ فاضل (۲۰۱۳)؛ لوین^۵ (۲۰۱۱)؛ یوسف احمدی^۶ (۲۰۱۳)؛ کومار^۷ (۲۰۱۸) از جمله افرادی بودند که در این زمینه پژوهش‌هایی انجام داده‌اند که از جمله آنها اولین تحقیق در ایران در این زمینه توسط ملکوتی (۱۳۵۳: ۴۵) بر روی حرکت تپه‌های ماسه‌ای در سیستان و بلوچستان تحقیقی انجام گرفت که با استفاده از تفسیر و مقایسه عکس‌های هوایی در سال‌های ۱۳۳۴ و ۱۳۳۳ ابتدا جهت توسعه تپه‌های ماسه‌ای و ارتباط آن را با باد غالب مورد بررسی قرار داد و سپس با استفاده از دیدگاه کانی‌شناسی و خواص فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها منشأ تپه‌های ماسه‌ای شرق زابل را معرفی کرده است. نظری سامانی و همکاران (۱۳۹۶) به مدلسازی کمی ارتفاع و فاصله بین تپه‌های ماسه‌ای در بیابانهای داخلی ایران پرداختند و مشاهده نمودند که فعالیت تپه‌های ماسه‌ای محدود به بخش بالایی تپه‌هاست و بخش‌های میانی ریگزارها دارای ارتفاع بیشتری هستند. در جدیدترین پژوهش‌ها در این زمینه نیز، شریفی پیچون و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی تغییرات ریگ‌زیرین با استفاده از سری‌های زمانی تصاویر ماهواره‌ای طی دوره ۲۰۱۷-۱۹۷۷ پرداختند و برای انجام این پژوهش از سری‌های زمانی تصاویر لندست TM و ETM، نقشه رقومی ارتفاعی و تصاویر گوگل ارث استفاده کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که ریگ‌زیرین تحت تأثیر بادهای غالب منطقه‌ای (شمال غرب- جنوب شرق) در حال حرکت به سمت شرق و جنوب شرق است. هدف این مطالعه، بررسی روند تغییرات تپه‌های ماسه‌ای دشت سیستان با استفاده از سری‌های زمانی داده‌های ماهواره‌ای لندست و پیشنهاد برخی از راه‌حل‌ها برای کاهش حرکت تپه‌های ماسه‌ای و به نوبه خود، کاهش اثرات مخرب آن در زندگی ساکنین منطقه می‌باشد.

منطقه مورد مطالعه

موقعیت مکانی دشت سیستان در شرق ایران و در شمال استان سیستان و بلوچستان با طول جغرافیایی ۶۱ درجه و ۳۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۵۵ دقیقه شمالی و ارتفاع ۴۷۸ متر از سطح دریا، در انتهای یک حوضه آبریز بسته به نام حوضه آبریز هیلمند واقع شده است (شکل ۱). مساحت کل این حوضه ۲۰۰۰۰۰ کیلومتر مربع است که بخش وسیعی از آن در کشور افغانستان قرار دارد. بخش ایرانی این حوضه کمتر از ۵ درصد مساحت کل حوضه را به خود اختصاص داده است. این دشت جمعیتی بالغ بر ۴۰۰۰۰۰ نفر دارد و اقتصاد آن به شدت به کشاورزی و محصولات جانبی به دست آمده از تالاب‌ها وابسته است (ون بیک و میجر^۸، ۲۰۰۶). سیستان جلگه‌ای است که شاه‌رگ حیاتی آن رودخانه معروف هیرمند است. مساحت این دشت ۱۵۱۹۷ کیلومتر مربع است که ۵۵۶۰ کیلومتر مربع آن را دریاچه هامون و اراضی مشرف به دریاچه هامون تشکیل می‌دهد. از جمله مناطقی است که از قابلیت‌های قابل توجهی در تولید محصولات کشاورزی برخوردار می‌باشد. به طور کلی بخش شرقی محدوده مورد مطالعه دربرگیرنده اراضی زراعی، مراکز جمعیتی و

1. Thomas & Leason

2. Balduzzi

3. Del Valle

4. Ahmady-Birgani

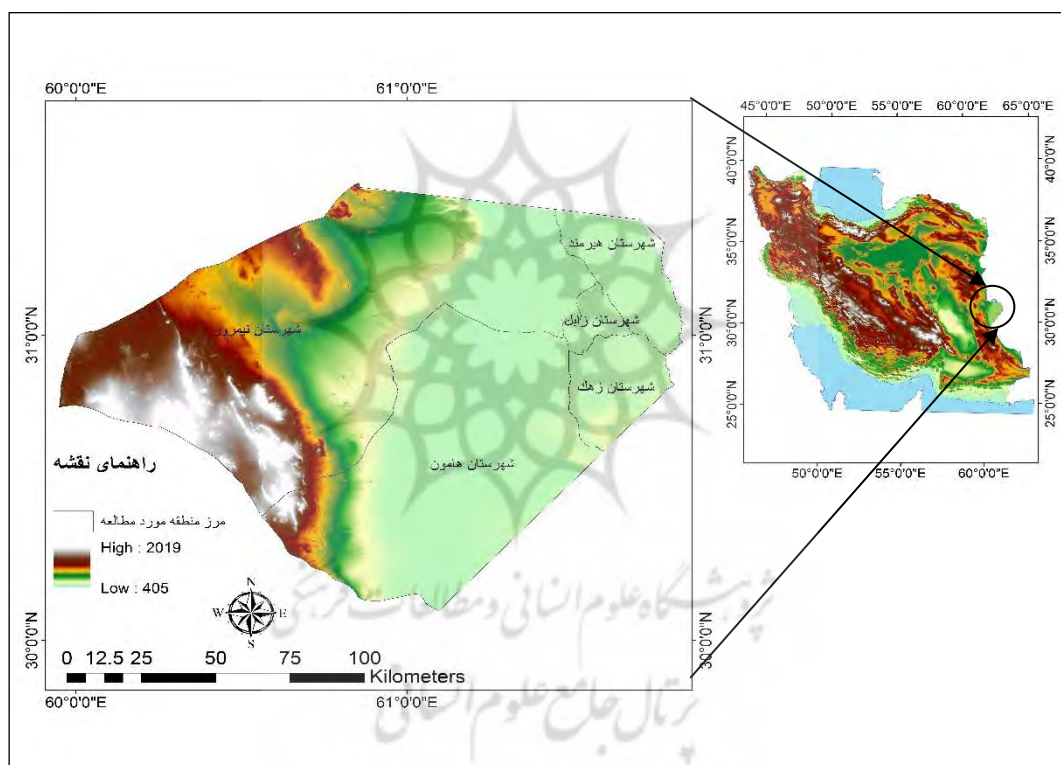
5. Levin

6. Youssef Ahmed

7. Kumar

8. Van Beek and Meijer

فعالیت های اقتصادی است (طهماسبی و سامانی، ۱۳۸۷). تالاب بین المللی هامون یکی از تالاب های مهم دنیا و بزرگترین دریاچه آب شیرین در سرا سر فلات ایران محسوب می شود که با دامنه عمقی ۱ تا ۵ متر در ناحیه کویری و بیابانی شرق کشور، در منطقه سیستان واقع گردیده است (نوری، ۱۳۸۶ و فیروزی و همکاران، ۲۰۲۰). میانگین بارش سالانه این دشت ۵۷ میلی متر می باشد و دمای آن از $9/5-$ تا 49 درجه سانتیگراد متغیر است (پیری و انصاری، ۱۳۹۲). میزان تبخیر سالانه آن بسیار بالا و در حدود ۴۸۰۰ میلیمتر گزارش شده است. مهمترین مشخصه آب و هوایی دشت سیستان بادهای ۱۲۰ روزه آن است که از اواسط خرداد ماه شروع به وزیدن می کند و تا اوایل مهر ماه ادامه دارد و جهت آن از شمال غربی به جنوب شرقی است و سرعت آن گاه تا بالای ۱۰۰ کیلومتر در ساعت نیز می رسد. با توجه به داده های هوا شناسی مربوط به بارش، چنین نتیجه گرفته می شود که خشکسالی های دشت سیستان از نوع هیدرولوژیکی است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

مواد و روش

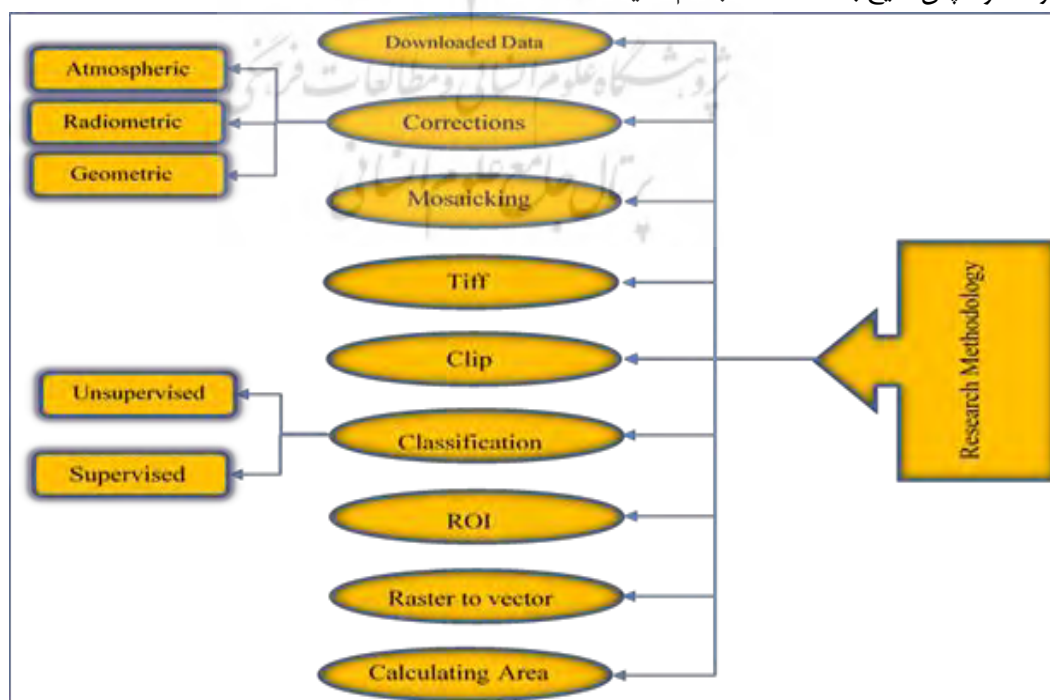
در این مطالعه برای پایش روند تغییرات تپه های ماسه‌ای دشت سیستان و اثرات آن بر زندگی اجتماعی مردم از سری زمانی داده های ماهواره ای لندست استفاده شده است. برای این کار از تصاویر ماهواره ای لندست ۵ و ۷ (تصاویر جولای و آگوست بین سالهای ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۸) استفاده شده است. بعد از اخذ داده های مورد نظر از سایت USGS و تشکیل بانک اطلاعاتی، مراحل تصحیحات و تجزیه و تحلیل با کمک نرم افزارهای GIS و ENVI بر روی آنها اعمال شد و سپس چهار کاشی ماهواره ای لندست برای پوشش کامل منطقه مورد مطالعه با هم موزاییک شدند.

در مرحله پیش پردازش، با یک سری عملیات بر روی داده های خام (قبل از هر گونه پردازش بصری یا رقومی)، خطاهای رادیومتری، اتمسفری، هندسی و غیره مورد توجه قرار می گیرند. بنابراین شناسایی و تشخیص خطاهای احتمالی موجود در داده های ماهواره ای اهمیت زیادی دارد. لازم است پس از دریافت داده ها، بررسی دقیقی در مورد

آنها از نظر هندسی و رادیومتری به عمل آید. حتی اگر قبلاً تصحیحاتی روی این داده‌ها به عمل آمده باشد، باید به طور کامل از خطاهای چنین داده‌هایی آگاهی داشت (علوی پناه و همکاران، ۱۳۸۷). تصحیحات رادیومتری شامل آن دسته از تصحیحات می‌باشند که تنها بر روی درجات خاک ستری اعمال شده و فقط با تغییر مقادیر آنها به صورت مجزا (به صورت پیکسل به پیکسل)، سعی در جبران بعضی خطاهای موجود دارند (فاطمی و رضایی، ۱۳۸۹). تصحیحات رادیومتری در قبال تغییرات منظر، نوردهی، دید هندسی، شرایط جوئی و نویز سنجنده باید صورت گیرند. هر کدام از این شرایط به خصوصیات سنجنده‌ها و شرایط زمان اخذ داده‌ها بستگی دارند و شامل تصحیحات و یا روش‌های حذف می‌باشند.

تصحیح اتمسفری در مواردی که به مقادیر انرژی ساطع شده از اشیاء نیاز است و یا هنگامی که شدت سیگنال ارسالی از طرف اشیاء از اثرات اتمسفری کمتر باشد، ضروری است (علوی پناه و همکاران، ۱۳۸۷). تصحیح اتمسفری مهمترین بخش قبل از پردازش‌های تصاویر ماهواره‌ای از راه دور است. این تصحیح به خصوص در مواردی که مقایسه و تجزیه و تحلیل تصاویر چند زمانه مد نظر است، استفاده می‌شود. پس از انجام تصحیحات بر روی تصاویر لندست و موزاییک کردن تصاویر، با استفاده از مرز منطقه محدوده مورد مطالعه کلیپ شد و سپس برای شناسایی موقعیت تپه‌ها و دیگر اشکال ماسه‌ای از منطقه بازدید میدانی به عمل آمد و طبقه بندی نظارت شده (maximum likelihood classification) در محیط نرم افزار Envi.5.3 صورت گرفت. تکنیک‌های طبقه بندی تصویر دیجیتال، پیکسل‌ها را به منظور نشان دادن پوشش‌های مختلف اراضی، گروه بندی می‌کنند. پوشش زمین می‌تواند جنگلی، شهری، کشاورزی و سایر انواع پوشش باشد. سپس نرم افزار طبقه بندی تصویر تعیین می‌کند که هر کلاسی به کدامیک از کلاس‌ها در نمونه‌های آموزشی بیشترین شباهت را دارد. از همین طریق

مناطق تحت تأثیر تپه‌ها و دیگر اشکال ماسه‌ای مشخص و تغییرات این پدیده در طی سری زمانی ۲۳ با فواصل پنج سال، در سال‌های ۱۹۹۵، ۲۰۰۰، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۸ در دو ماه اگوست و جولای هر سال، مورد بررسی قرار گرفتند و سپس نتایج به دست آمده با هم مقایسه شد.

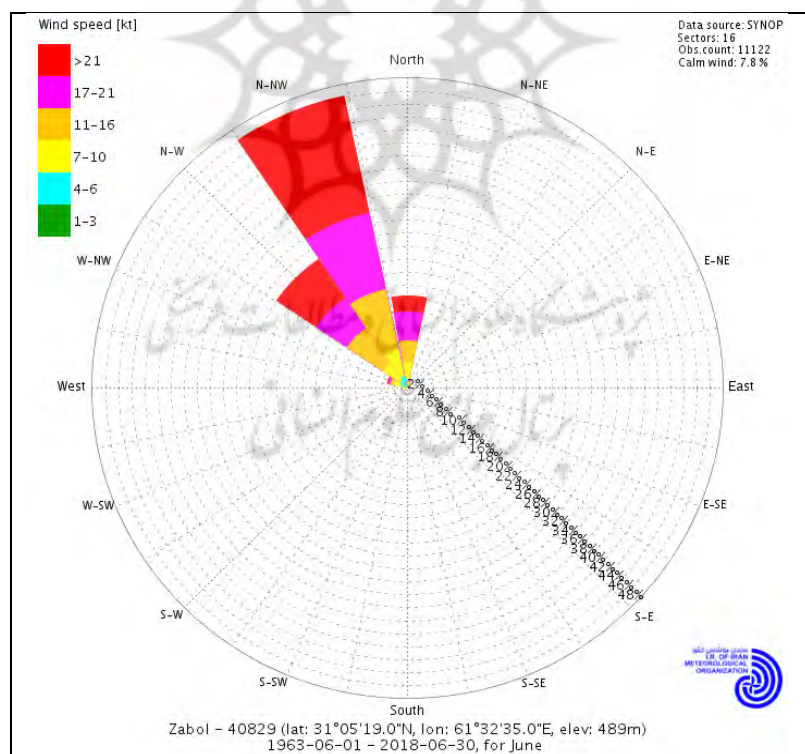


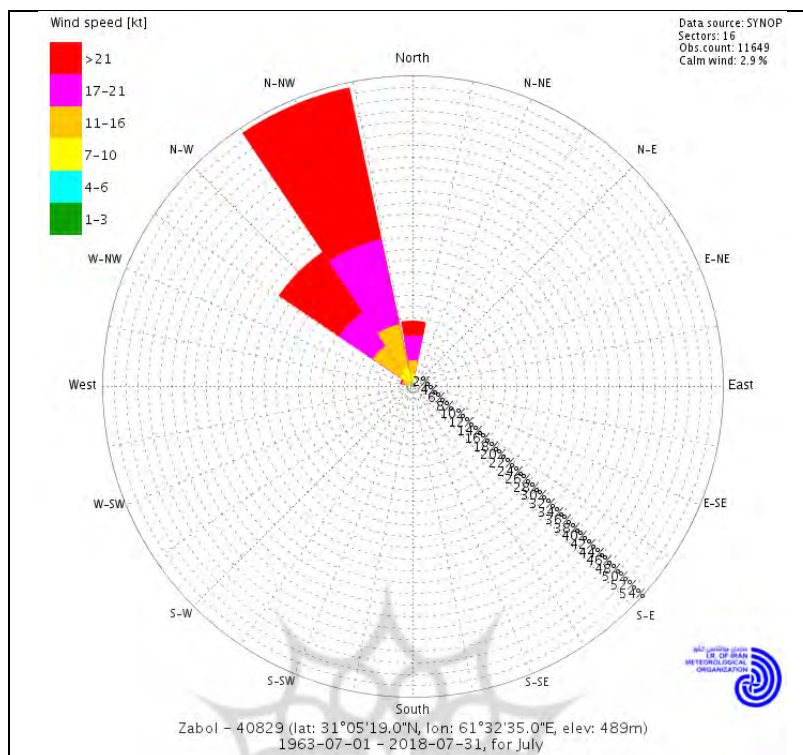
شکل ۲: فلوچارت روش تحقیق

تقریباً در تمام سال در دشت سیستان بادهای با دلایل موجه سینوپتیکی می‌وزند (خسروی، ۱۳۸۴). در این میان وزش بادهای ۱۲۰ روزه که به مدت ۴ ماه از گرم‌ترین و خشک‌ترین فصول دشت سیستان در منطقه حاکمیت دارد، با توجه به کاهش رطوبت، کمبود پوشش گیاهی و بالا بودن شدت و فراوانی این بادهای فشار مضاعفی را بر محیط طبیعی دشت وارد می‌کند. به همین دلیل، در ادامه جهت تجزیه و تحلیل بادهای حاکم بر منطقه و تأثیر آنها بر تپه‌های ماسه‌ای و اثرات آن بر زندگی مردم، از روش ترسیم گلباد استفاده شد. بدین منظور آمار جهت و سرعت باد در دوره آماری (۱۹۹۶-۲۰۱۵)، از داده‌های سازمان هواشناسی کشور استخراج گردید. برای بررسی داده‌های باد و رسم گلباد، نرم افزار Ray Man استفاده شد.

یافته‌ها (نتایج)

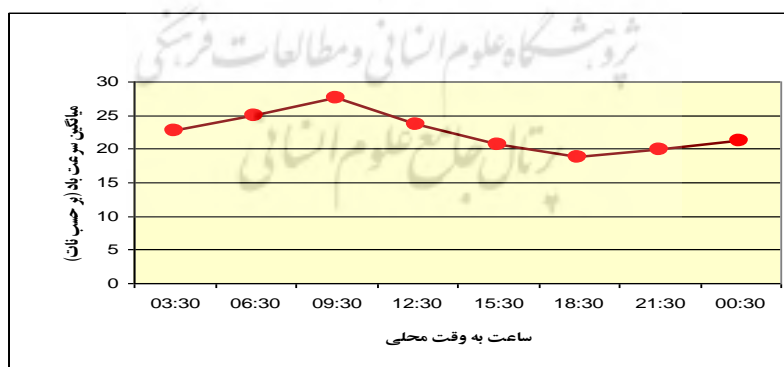
عوامل متعددی در حرکت ماسه‌های روان در دشت سیستان مؤثر هستند. یکی از مهمترین آنها بادهای ۱۲۰ روزه در فصول خشک سال می‌باشد که با سرعت ۱۱۰ تا ۱۷۰ کیلومتر بر ساعت می‌وزند. شدت این بادهای قدری است که غلظت غبار موجود در هوا در اکثر روزهای فصل گرم بیشتر از حد مجاز گزارش می‌شود که این امر موجب توقف هرگونه فعالیت انسانی است. نتایج حاصل از رسم گلباد برای ماه جولای در شکل ۳ نشان داده شده است. ماه جولای هم‌چون ماه ژوئن که متاثر از وزش بادهای ۱۲۰ روزه سیستان می‌باشد الگوی مشابهی را هم از لحاظ جهت و هم از لحاظ سرعت وزش باد ارائه می‌کند. به طوریکه جهت باد غالب این ماه نیز باد شمال غربی به جنوب شرقی است.





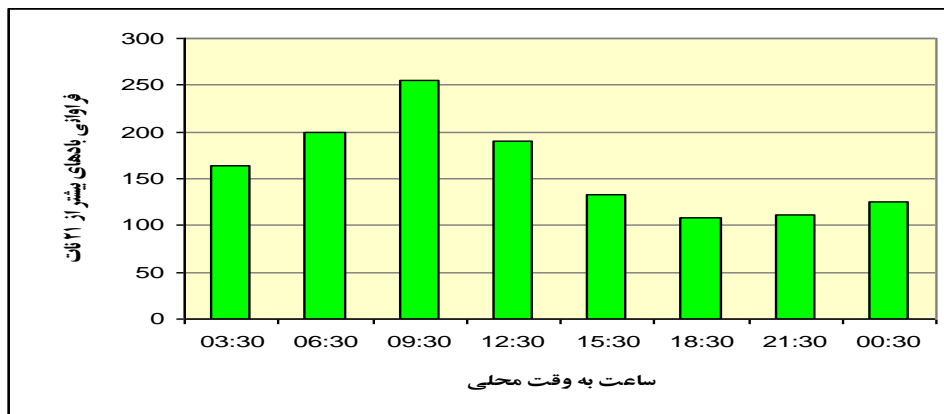
شکل ۳: گلباد ماه ژوئن و جولای ایستگاه هواشناسی سینوپتیک زابل (۲۰۱۸-۱۹۶۳)

این ماه یکی از باد خیزترین ماه‌های شمال استان سیستان و بلوچستان است به طوری که در کل ماه در تمام ساعات روز وزش باد با سرعت‌های مختلف ثبت شده است. میزان باد آرام این ماه در بعضی ساعات روز به صفر می‌رسد. میانگین وزش باد این ماه ۲۲/۴ نات است که بالاترین میانگین سرعت وزش باد در بین ماه‌های دیگر بوده است (شکل ۴).

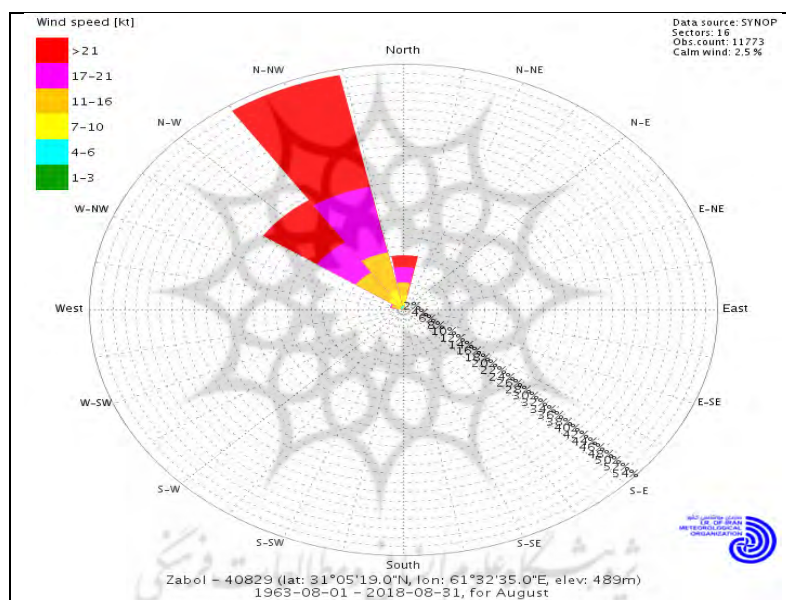


شکل ۴: میانگین ساعتی باد فرودگاه زابل در ماه ژوئن (۲۰۱۵-۱۹۹۶)

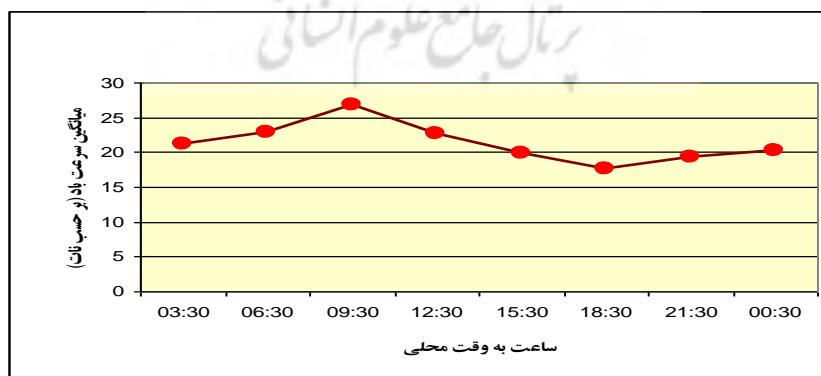
اما در مورد بادهای شدید می‌بایستی گفت که از لحاظ پرواز این ماه جزء خطرناک‌ترین ماه‌ها می‌باشد به طوری که بیشترین فراوانی این نوع بادهای با ۲۵۵ مورد متعلق به حوالی ساعت‌های ۹:۳۰ دقیقه صبح و کمترین مقدار آن با ۱۰۸ مورد متعلق به ساعت‌های حوالی ۱۸:۳۰ دقیقه بعد از ظهر است (شکل ۵). جهت باد غالب در ماه آگوست نیز در تمام ساعات روز جهت شمال غربی - جنوب شرقی است (شکل ۶).



شکل ۵: ساعات فراوانی بادهای بیش از ۲۱ نات فرودگاه زابل در ماه جولای (۲۰۱۵-۱۹۹۶)

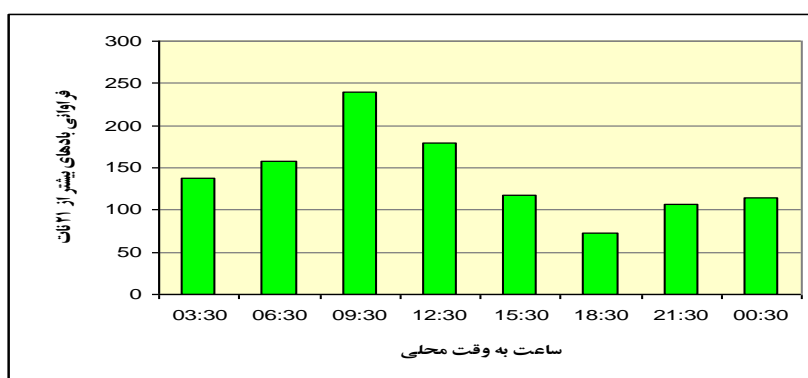


شکل ۶: گلبادهای ساعتی ماه آگوست ایستگاه هواشناسی سینوپتیک زابل (۲۰۱۵-۱۹۹۶)



شکل ۷: میانگین ساعتی باد فرودگاه زابل در ماه آگوست (۲۰۱۵-۱۹۹۶)

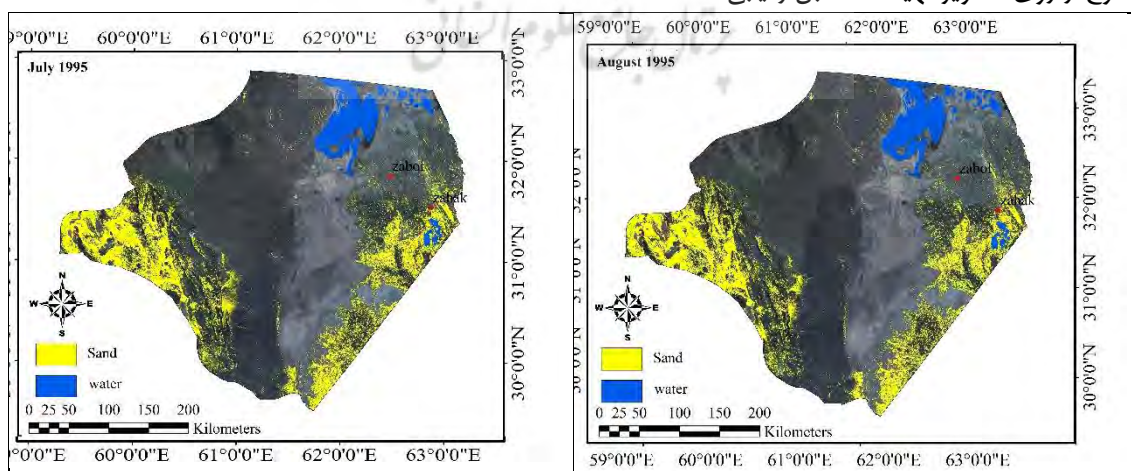
فراوانی بادهای بیش از ۲۱ نات در کل روز اما با فراوانی های کم و زیاد قابل مشاهده است. بیشترین فراوانی متعلق به ساعت ۹:۳۰ صبح با ۲۴۰ مورد ثبت شده و کمترین فراوانی متعلق به ساعت ۱۸:۳۰ بعد از ظهر با ۷۲ مورد می باشد (شکل ۸).

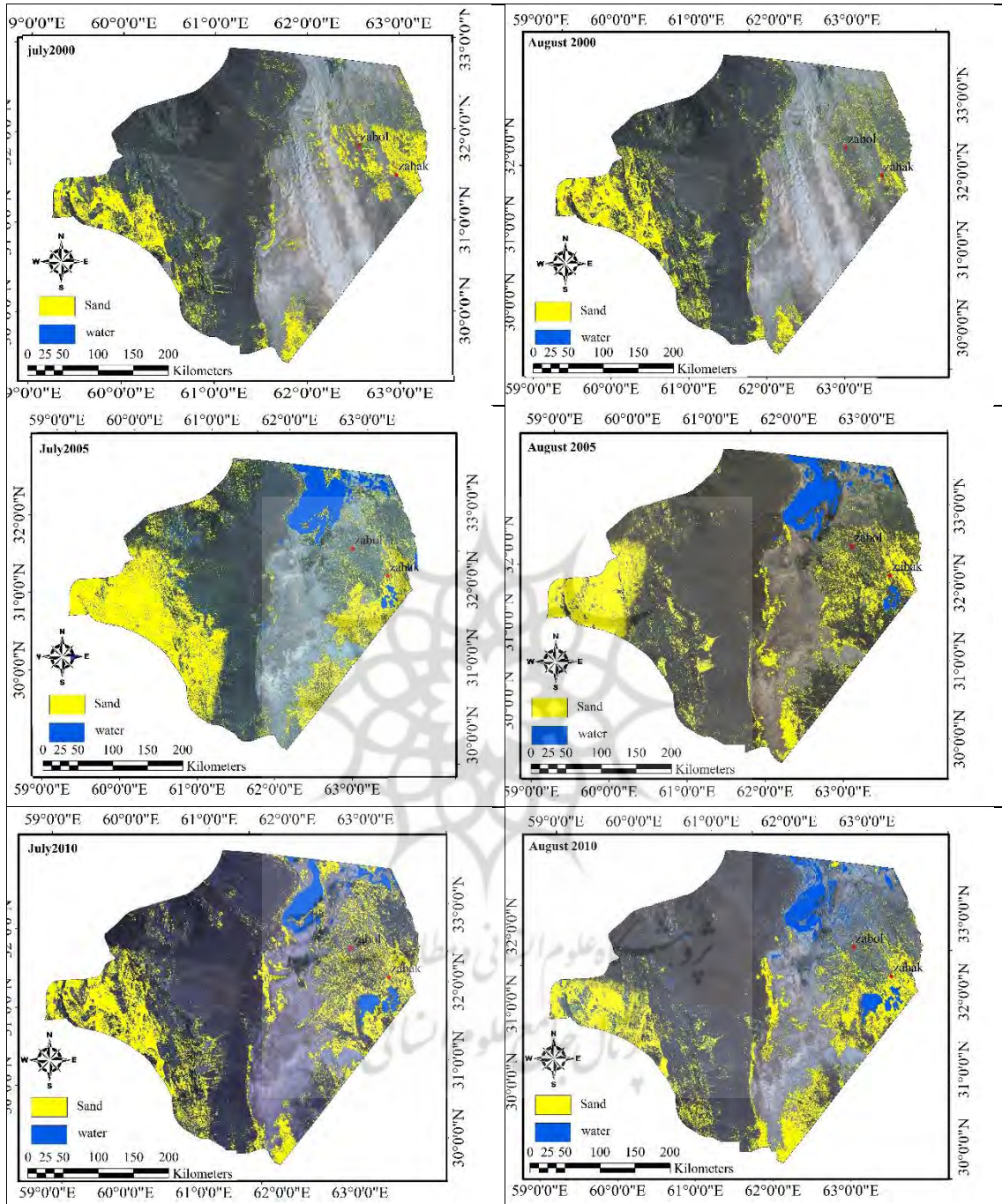


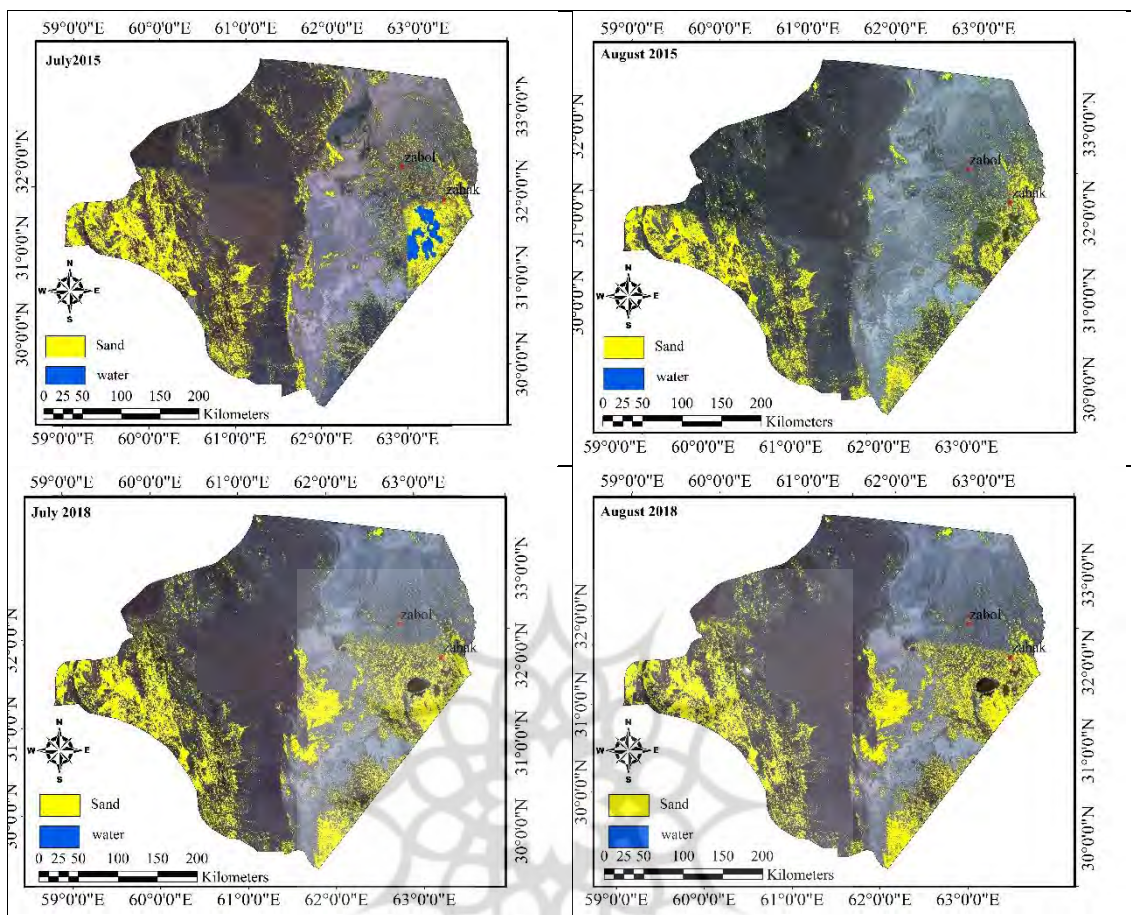
شکل ۸: ساعات فراوانی بادهای بیش از ۱۰ سانت ۲۱ فرودگاه زابل در ماه آگوست (۲۰۱۵-۱۹۹۶)

با توجه به خشک بودن منطقه این بادهای ذرات ریز خاک را با خود جابجا نموده و چاله‌هایی را ایجاد می‌کنند. همانطور که بیان شد باد یکی از عوامل تأثیرگذار بر ایجاد یا تغییر تپه‌های ماسه‌ای می‌باشد، بدین منظور با توجه به اینکه ماههای جولای و آگوست از پر تلاطم‌ترین ماههای سال از نظر وزش باد در منطقه سیستان هستند، نقشه‌های حاصل از پردازش داده‌های سنجنده لندست برای این ماه‌ها، برای سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۸ تهیه شدند (شکل ۹). در این تصاویر به روشنی پویایی تپه‌های ماسه‌ای در سال‌های مختلف در منطقه قابل مشاهده است.

تصاویر ماهواره‌ای در ۶ دوره زمانی به منظور بررسی چگونگی توسعه و گسترش تپه‌های ماسه‌ای در ماه‌های جولای و آگوست منطقه تهیه شد. در بازه زمانی ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۰ با خشک شدن تالاب هامون، گسترش تپه‌های ماسه‌ای در حاشیه این دریاچه به وضوح قابل مشاهده می‌باشد. هر چند در تصاویر مربوط به سال ۲۰۱۵ دریاچه هامون آبیگری شده ولی باز هم گسترش تپه‌های ماسه‌ای تحت تأثیر خشکی دریاچه در گذشته، همچنان قابل مشاهده است، علت این امر وزش بادهای شدید و از بین رفتن پوشش گیاهی در دوره خشکی قبل از این بازه زمانی می‌باشد. در تصاویر مربوط به سال ۲۰۱۰، آبیگری دریاچه در این دوره، اثر مثبتی بر تثبیت و کاهش سطح تپه‌های ماسه‌ای داشته است. اما در سال‌های پس از آن به مرور با کم شدن سطح آب دریاچه دوباره بر میزان تپه‌های ماسه‌ای دشت سیستان افزوده شده است که به وضوح از روی تصاویر تهیه شده قابل ردیابی است.





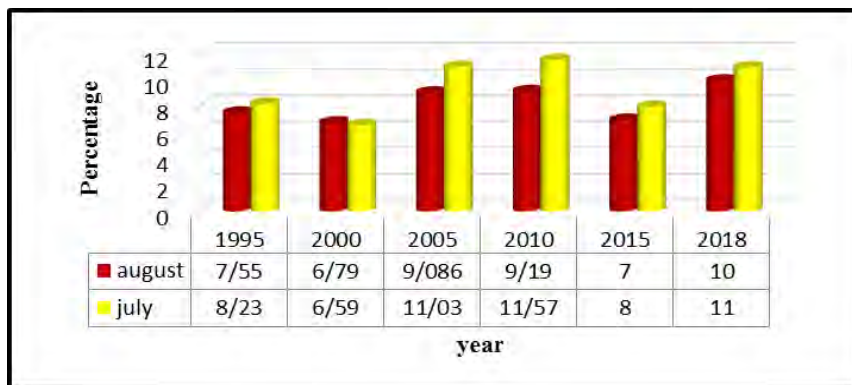


شکل ۹: تصاویر تهیه شده گسترش شن از تصاویر لندست سمت راست (اگوست)، سمت چپ (جولای)

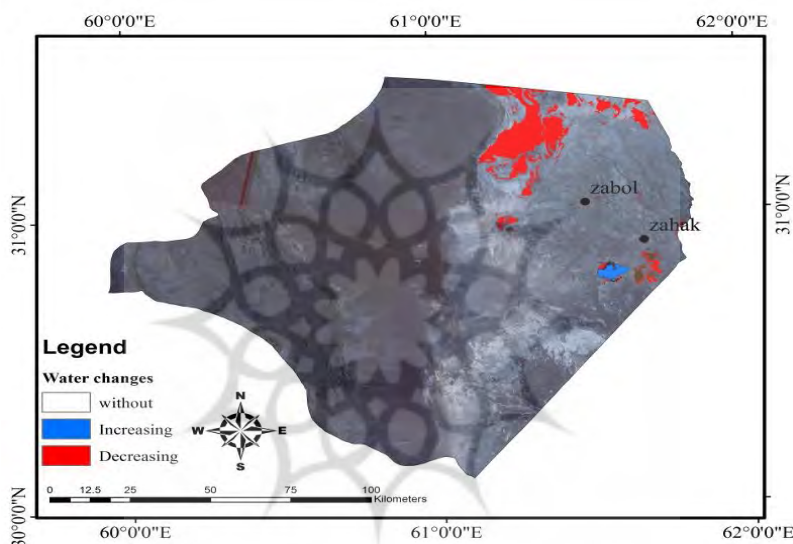
با توجه به اطلاعات بدست آمده از جدول (۱) میزان گسترش تپه های ماسه‌ای در ماه آگوست از ۸/۲۳ درصد در سال ۱۹۹۵ به ۱۱ درصد در سال ۲۰۱۸ و در ماه جولای از ۷/۵۵ درصد به ۱۰ درصد از سطح منطقه مورد مطالعه افزایش پیدا کرده است. این افزایش در ماه آگوست هر سال نسبت به جولای نیز به خوبی از روی شکل شماره (۱۰) قابل مشاهده است.

جدول ۱: درصد گسترش تپه های ماسه‌ای در ماه های جولای و آگوست در محدوده مورد مطالعه

| سال | میزان گسترش تپه های ماسه‌ای استخراج شده با تصاویر لندست (اگوست) | میزان گسترش تپه های ماسه‌ای استخراج شده با تصاویر لندست (جولای) |
|------|---|---|
| ۱۹۹۵ | ۸/۲۳ | ۷/۵۵ |
| ۲۰۰۰ | ۶/۵۹ | ۶/۷۹ |
| ۲۰۰۵ | ۱۱/۰۳ | ۹/۰۸۶ |
| ۲۰۱۰ | ۱۱/۵۷ | ۹/۱۹ |
| ۲۰۱۵ | ۸ | ۷ |
| ۲۰۱۸ | ۱۱ | ۱۰ |



شکل ۱۰: درصد گسترش تپه های ماسه‌ای در ماه های جولای و آگوست در محدوده مورد مطالعه



شکل ۱۱: نقشه تغییرات آب از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۸

تالاب بین المللی هامون یکی از تالاب های مهم دنیا که خشک شدن آن باعث گسترش تپه های ماسه‌ای و اثرات مخربی بر محیط زیست این منطقه بر جایی گذاشته است. طبق بررسی های میدانی و مصاحبه با ساکنان محلی منطقه، این موضوع شرایط زندگی را برای ساکنین طاقت فرسا نموده و همین امر مهاجرت بومیان منطقه را در پی داشته است. گسترش سالانه حجم ماسه های روان حاصل از فرسایش بستر خشک تالاب هامون، باعث مدفون شدن زمین های کشاورزی و از بین رفتن خاک حاصلخیز مزارع، مسدود شدن کانال های انتقال آب، مدفون شدن منازل مسکونی در زیر انبوهی از ماسه، مشکل در تردد ساکنین به دلیل مسدود شدن خیابان ها و کوچه ها و همچنین گسترش مناطق بیابانی و خشک را به همراه داشته است. عدم رسیدگی به موقع به این مخاطره طبیعی_ انسانی باعث مهاجرت روز افزون ساکنان این منطقه خواهد شد (شکل ۱۲).

همانطور که بیان شد به دلیل خشکسالی های مکرر و همچنین قطع آب رودخانه هیرمند در اثر سد سازی در افغانستان، این تالاب خشک شده و عملاً بستر خشک آن به یکی از کانون های بحرانی فرسایش بادی تبدیل شده است و گسترش بیشتر تپه های ماسه‌ای را در پی داشته است. اثرات مخرب این مخاطره زیست محیطی در آینده نچندان دور علاوه بر کشور ایران دامن کشور افغانستان را نیز خواهد گرفت. عدم همکاری کشور همسایه با ایران باعث خسارات فراوانی به مردم و سرزمین سیستان که در گذشته انبار غله ایران و آسیا بوده، تحمیل نموده است. بسیاری از مردم منطقه برای فرار

از شرایط مذکور دست به مهاجرت زده و جمع کثیری از آنها نیز برای تأمین معیشت خود به مشاغل کاذب از جمله قاچاق سوخت، قاچاق کالا و دوره گردی روی آورده اند. افراد مهاجر در شهرهای دیگر باعث فشار بر روی شالوده اجتماعی می‌گردند و فقر، حاشیه نشینی و اضطراب اجتماعی را افزایش داده و باعث شکل‌گیری مشکلات امنیتی و اجتماعی در شهرها می‌شوند. عدم توسعه اقتصادی یا نرخ پایین توسعه و رشد اقتصادی، امنیت غذایی، رفاه اجتماعی و اقتصادی را به مخاطره می‌اندازد و در نهایت منجر به فروپاشی اجتماعی، اقتصادی و سیاسی جوامع می‌گردد. و این مشکلات اجتماعی ریشه در مخاطرات زیست محیطی و ژئومورفولوژیکی دارد که باید بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد.



شکل ۱۲: تصاویر تهیه شده از منطقه مورد مطالعه

نتیجه‌گیری

عوامل متعددی در حرکت ماسه‌های روان در دشت سیستان مؤثر هستند. مهمترین عامل، بادهای ۱۲۰ روزه سیستان است که از اواسط خرداد ماه شروع و تا اوایل مهرماه با جهت شمال غربی - جنوب شرقی ادامه دارد و سرعت آن گاه به بالای ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت نیز می‌رسد. تجزیه و تحلیل داده‌های هواشناسی سمت و سرعت باد در این منطقه نشان داد که بادهای غالب و تعیین‌کننده حرکت تپه‌های ماسه‌ای، بادهای ۱۲۰ روزه می‌باشد و ارتباط مستقیمی بین سرعت باد و میزان جابجایی و پیشروی تپه‌های ماسه‌ای وجود دارد. نقشه‌های گسترش تپه‌های ماسه‌ای حاصل از پردازش سنجده

لندست برای ماه های جولای و آگوست که پرتلاطم ترین ماه ها از نظر وزش باد می باشد، در سال های ۱۹۹۵ و ۲۰۱۸ برای پایش تغییرات تپه های ماسه ای منطقه تهیه شد. که به روشنی پویایی تپه های ماسه‌ای در سال های مختلف را به تصویر کشیده‌اند. بر اساس نتایج حاصله از مطالعه داده های سنجش از دور ماهواره لندست، وسعت تپه های ماسه‌ای در ماه آگوست از ۸/۲۳ درصد در سال ۱۹۹۵ به ۱۱ درصد و در سال ۲۰۱۸ ماه جولای از ۷/۵۵ درصد به ۱۰ درصد از سطح محدوده مورد مطالعه را پوشش داده است. که نشان از افزایش تقریباً چشمگیر تپه های ماسه ای داشته است. این میزان افزایش مساحت تپه های ماسه ای در شرایطی رخ می دهد که مدیریت صحیح و کارآمد در جهت تثبیت ماسه های روان صورت نگرفته است. همچنین تغییرات شدید وسعت دریاچه هامون از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۸ بخوبی در نقشه های تهیه شده قابل مشاهده است و گویای این موضوع است که گسترش تپه های ماسه‌ای در سال های مختلف ارتباط مستقیمی با تغییرات سطح دریاچه در زمانهای مختلف دارد.

تالاب بین المللی هامون یکی از تالاب های مهم دنیا که خشک شدن آن باعث گسترش تپه های ماسه‌ای شده و اثرات مخربی روی محیط زیست منطقه بر جای گذاشته است. مطالعات میدانی حاکی از آن است که در طی خشکسالی های مکرر منطقه سیستان، حرکت تپه های ماسه‌ای به حدی زیاد بوده که باعث مدفون شدن تعداد زیادی از خانه های روستایی و از بین رفتن اراضی کشاورزی شده است. این مسئله باعث بیکاری بخش زیادی از کشاورزان منطقه گردیده و خسارات شدیدی به تأسیسات و کانال های آبرسانی وارد آورده است، به طوری که جبران آن، مستلزم هزینه و زمان زیادی می باشد. بسیاری از مردم منطقه برای فرار از شرایط مذکور دست به مهاجرت زده و جمع کثیری از آنها نیز برای تأمین معیشت خود به مشاغل کاذب از جمله قاچاق سوخت، قاچاق کالا و دوره گردی روی آورده اند. نگارش (۱۳۸۸) با بررسی خسارت های ناشی از جا به جایی تپه های ماسه‌ای در شرق زابل نیز این نتایج را به دست آورده اند. مقایسه نتایج این مطالعه با نتایج مطالعه نگارش در سال ۱۳۸۸ تقریباً نتایج یکسانی را نشان می دهد، با این تفاوت که این مطالعه به صورت کلی دشت سیستان را مد نظر قرار داده و یک مطالعه کامل از روند تغییرات تپه های ماسه‌ای در دشت سیستان را نشان می دهد، ولی مطالعه نگارش در سال ۱۳۸۸ فقط تمرکز روی تپه های ماسه‌ای شرق شهر زابل بوده است. پیروزاده و همکاران (۱۳۹۷) به پیش بینی تغییرات تپه های ماسه ای ناشی از طوفان دریایی در سواحل مکران پرداختند نتایج نشان داد که گسترش تپه های ماسه ای باعث تخلیه برخی روستاها شده است که این اتفاق در دشت سیستان نیز رخ داده است و برخی روستاها خالی از سکنه شده اند.

نتیجه مخرب این مخاطره محیطی در دشت سیستان باعث شده که افراد مهاجر در شهرهای دیگر روی شالوده اجتماعی فشار حداکثری وارد نمایند و فقر و اضطراب اجتماعی را افزایش دهند. همچنین این مسأله باعث شکل گیری مشکلات امنیتی و اجتماعی در دیگر شهرها شده است. به طور کلی عدم توسعه اقتصادی یا نرخ پایین توسعه و رشد اقتصادی، امنیت غذایی، رفاه اجتماعی و اقتصادی را به مخاطره می اندازد و در نهایت منجر به فروپاشی اجتماعی، اقتصادی و سیاسی جوامع می گردد.

منابع

- اصغری لقمجانی، صادق، نادریان فر، مهدی، ۱۳۹۴، تحلیل فضایی اثرات ماسه های روان در روستاهای شهرستان هیرمند، مجله آمایش جغرافیایی فضا، سال پنجم، شماره ۱۸، صص ۱۷ تا ۲۹.
- امیدوار، کمال، ۱۳۹۰، مخاطرات طبیعی، چاپ اول، انتشارات دانشگاه یزد، یزد.
- ایمانی، رسول، عبدالهی، مهدی، ولی، عباسعلی، آلبوعلی، علی، ۱۳۹۲، بررسی تغییرات مورفومتری تپه ماسه‌ای با استفاده از روش سنجش از دور (مطالعه موردی: جنوب شرقی عشق آباد)، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال دوم، شماره ۳، صص ۱۴۰-۱۲۹.

- آحراری رودی، محی الدین، ۱۳۹۶، بررسی نحوه تشکیل و گسترش تپه‌های ماسه‌ای و تأثیر آن بر مورفولوژی محیط ساحلی دریای عمان، مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ششم، شماره ۳، صص ۱۷۵-۱۶۳.
- پورمند، سکینه، غلامعلی زاده آهنگر، احمد، دهواری، عبدالحمید، ۱۳۹۴، بررسی توان جابجایی ماسه توسط باد در دشت شيله سيستان، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۹، شماره ۱، صص ۱۳۹ تا ۱۵۰.
- پیری، حلیمه، انصاری، حسین، ۱۳۹۲، بررسی خشکسالی دشت سیستان و تأثیر آن بر تالاب بین المللی هامون، فصلنامه علمی پژوهشی تالاب، سال چهارم، شماره ۱۵، صص ۶۳ تا ۷۴.
- حیدری‌نسب، مهدی، کرم، امیر، نگارش، حسین، پهلوانروی، احمد، ۱۳۹۷، تحلیل مخاطرات ناشی از جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای در دشت سیستان، مجله مخاطرات جغرافیایی مناطق خشک، دوره ۹، شماره ۳۴، صص ۵۹ تا ۷۵.
- خسروی، محمود، ۱۳۸۴، طرح پژوهشی اثرات اکولوژیکی و زیست محیطی بادهای ۱۲۰ روزه سیستان اداره کل حفاظت محیط زیست استان سیستان و بلوچستان، پژوهشکده علوم زمین و جغرافیای دانشگاه سیستان و بلوچستان، سازمان حفاظت محیط زیست استان سیستان و بلوچستان.
- رامشت، محمدحسین، سیف، عبدالله، محمودی، شبنم، ۱۳۹۲، بررسی میزان گسترش تپه‌های ماسه‌ای شرق جاسک در بازه‌ی زمانی (۱۳۸۳-۱۳۶۹) با استفاده از GIS و RS، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۱، صص ۱۲۱ تا ۱۳۶.
- رفاهی، حسینقلی، ۱۳۸۳، فرسایش بادی و کنترل آن، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- شریفی پیچون، محمد، غفاریان، حمیدرضا، میری، زینب، ۱۳۹۹، بررسی تغییرات ارتفاعی ریگ زرین با استفاده از سری‌های زمانی تصاویر ماهواره‌ای (طی دوره ۲۰۱۷-۱۹۷۷)، مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال هشتم، شماره ۴، صص ۲۰۶ - ۱۹۲.
- طهماسبی، علیرضا، سامانی، جمال محمدولی، ۱۳۸۷، منابع آب دشت سیستان، مطالعات زیر بنایی-مطالعات حقوقی.
- عباس نژاد، احمد، ذهاب نوری، سمیه، ۱۳۹۱، شناسایی اشکال فرسایش بادی دشت رفسنجان، مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۲، صص. ۱۲۷ - ۱۴۴.
- علوی پناه، سید کاظم، ۱۳۸۷، سنجش از دور حرارتی، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دوم.
- فاطمی، سیدباقر، رضایی، یوسف، ۱۳۹۱، مبانی نظری سنجش از دور، انتشارات آزاده.
- فیروزی، فاطمه، نیکپور، نورالله، رخشانی، زینب، ۱۳۹۸، بررسی پیشرفت تپه‌های ماسه‌ای در دشت سیستان و تأثیر آن بر زندگی مردم، کنفرانس بین المللی گرد و غبار در جنوب غرب آسیا، زابل، دانشگاه زابل، https://www.civilica.com/Paper-DUSTSTORM01-DUSTSTORM01_001.html
- گلی، طاهر، کاویان، حسام، کدخدایی ایلخچی، رحیم، نوری مخوری، احد، ۱۳۹۸، تعیین پارامترهای رسوب شناسی و ژئومورفولوژیکی رسوبات تپه‌های ماسه‌ای قوم تپه، شمال غرب تبریز (صوفیان)، مجله هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱۹، سال ۵، صص ۱۹-۳۶.
- ملکوتی، محمد جعفر، ۱۳۵۳، بررسی چگونگی حرکت تپه‌های شنی در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از عکس‌های هوایی. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران.
- نظری سامانی، علی اکبر، عباسی، حمیدرضا، احمدی، حسن، راهداری، محمدرضا، ۱۳۹۶، مدل سازی کمی ارتفاع و فاصله بین تپه‌های ماسه‌ای با استفاده از مطالعات ژئومورفومتریکی در بیابانهای داخلی ایران، تحقیقات مرتع و بیابان ایران، دوره ۲۴، شماره پیاپی ۶۶، صص. ۲۲۳ - ۲۱۰
- نگارش، حسین، لطیفی، لیلا، ۱۳۸۷، تحلیل ژئومورفولوژیکی روند پیشروی تپه‌های ماسه‌ای شرف دشت سیستان در خشکسالی‌های اخیر، جغرافیا و توسعه، شماره ۱۲، صص ۳۳ تا ۶۰

- نگارش، حسین، لطیفی، لیلا، ۱۳۸۸، بررسی خسارت های ناشی از جا به جایی تپه های ماسه‌ای در شرق زابل با استفاده از تصاویر ماهواره ای، مجله پژوهش های جغرافیای طبیعی، دوره ی ۴۱، شماره ۶۷، صص ۷۳ تا ۸۷.
- نوری، غلامرضا، ۱۳۸۶، تالاب هامون امید سیستان، طرح پژوهشی سازمان حفاظت محیط زیست استان سیستان و بلوچستان.
- Ahmadi, H., 2006. *The desert - wind erosion. 2nd edition. Tehran University Press. Tehran.300p. (Persian)*
- Ahmady-Birgani, H., McQueen K.G., Moeinaddini, M., and Naseri, H., 2017. *Sand Dune Encroachment and Desertification Processes of the Rigboland Sand Sea, Central Iran, Scientific Reports, 7: 1-9 DOI:10.1038/s41598-017-01796-z*
- Balduzzi, I., Bozzano, A., Corradi, N., Mariotti, L.M., and Vagge, I., 2006. *The evolution of the dune fields of Platmona-Marritza (northern Sardinia): Application of remote-sensing methods, Chem. Ecol. 22(1): 371-381.*
- Belaid, M.A., 2010. *Remote Sensing of Desert Cities in Developing Countries. In: Tarek R and Carsten, Remote Sensing of Urban and Suburban Areas. 10 (2): 245-265.*
- Del Valle, H.F., Rostagno, C.M., Coronato, F.R., Bouza, P.J., and Blanco, P.D., 2008. *Sand dune activity in north-eastern Patagonia, Arid Environ. 72: 411-422.*
- Fadhil, A. M., 2013. *Sand dunes monitoring using remote sensing and GIS techniques for some sites in Iraq, Conference Paper in Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 1-10. DOI: 10.1117/12.2019735.*
- Firoozi, F., Mahmoudi, P., Amir Jahanshahi, S. M., Tavousi, T., Liu, Y., Liang, Z., 2020. *Modeling changes trend of time series of land surface temperature (LST) using satellite remote sensing productions (case study: Sistanplain in east of Iran), Arabian Journal of Geosciences, doi.org/10.1007/s12517-020-05314*
- Kumar.B., Pradeep Babu.k., Rajasekhar.M., Ramachandra.M., Reddy, P., 2018. *Assessment of Land Degradation and Desertification due to Migration of Sand Dunes – A case study in Bommanahal Mandal, Anantapur District, Andhra Pradesh, India using Remotesensing and GIS Techniques, International Journal of Research in Advent Technology, 6(6):2321-9637.*
- Lancaster, N., 1988. *Development of Linear Dunes in the Southwestern Kalahari, Southern Africa. Journal of Arid Environments. 14(2): 233-244.*
- Levin, N., 2011. *Climate-driven changes in tropical cyclone intensity shape dune activity on Earth's largest sand island. Geomorphology. 125: 239-252.*
- Otterman, J., and Tucker, C.J., 1981. *Plane with protrusions as an atmospheric boundary, Journal Geophys. Res. 86 (7): 6627-6630.*
- Paisley, E.C.I., Lancaster, N., Gaddis, L.R., and Greeley, R., 1991. *Discrimination of Active and Inactive Sand from Remote Sensing: Kelso Dunes, Mojave Desert-California. Remote Sensing of Environment. 37: 153-166. http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(91)90078-K*
- Thomas, D.S.G., and Leason, H.C., 2005. *Dunefield activity response to climate variability in the SW Kalahari, Geomorphology. 64: 117-132.*
- Van Beek, E., and Meijer, K., 2006. *Integrated water resources management for the Sistan closed inland delta, Iran. Delft, Netherlands: Delft hydraulics. www.wldelft.nl/cons/area/rbm/wrpl/pdf/main_report_sistan_irwm.pdf.100.*
- Varma, S., Shah, V., Banerjee, B., and Buddhiraju, K.M., 2014. *Change Detection of Desert Sand Dunes: A Remote Sensing Approach. Advances in Remote Sensing, 3(2):10-22. http://dx.doi.org/10.4236/ars.2014.31002.*
- Youssef Ahmed, M., 2013. *Mapping of Sand Dunes/Sheets/Accumulations Using Remote Sensing and their Potential Hazards in the New Projects West of El-Kawamel Area, Sohag, Egypt, Journal of King Abdulaziz University. 5(5):24-36.*