ارزیابی مخاطرات ناشی از جابجایی تپه‌های ماسه‌ای در دشت سیستان (زابل) و تاثیر آن بر سکونتگاه‌های روستایی

مهدی جدیدالاسلامی قلعه‌نو[۱]، دکتر فریبا اسفندیاری درآباد*[۲]، دکتر صیاد اصغری سراسکانرود[۳]، دکتر موسی عابدینی[٤]، دکتر رئوف مصطفی‌زاده[٥]

۱- دانشجوی دکتری، گروه جغرافیای طبیعی (گرایش ژئومورفولوژی)، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲-استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۳- استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

٤- استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

٥-دانشیار گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

ایمیل نویسنده مسئول: Esfandyari@uma.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۲/۱۳ تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۳/۳

چکیده

وقوع خشکسالی در منطقه سیستان و خشک شدن دریاچه هامون و هم‌چنین بادهای ۱۲۰ روزه، شرایط مناسبی جهت فرسایش بادی مهیا نموده و موجب وارد آوردن خسارات فراوان به حیات طبیعی و انسانی منطقه شده است. این عوامل سبب شده‌اند تا حرکت شن‌های روان در منطقه با سرعت زیادی انجام گیرد و تپه‌های ماسه‌ای گسترش زیادی داشته باشند. مطالعات میدانی حاکی از آن است که 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. مخاطرات ناشی از جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای در سطح روستاها شامل تهدید سلامت اهالی، مدفون شدن روستاها، تخریب خاک و زیرساخت‌های عمومی و غیره است. عوامل متعددی از قبیل وزش بادهای شدید و دائمی، کم شیب و کم عارضه بودن دشت، ریزدانه بودن خاک، خشکسالی‌های متوالی و کمبود پوشش گیاهی در میزان جابه‌جایی ماسه‌ها در سطح دشت سیستان نقش دارند. هدف این مطالعه، بررسی روند تغییرات تپه‌های ماسه‌ای دشت سیستان با استفاده از بررسی کانی‌شناسی سری زمانی و استفاده از داده‌های ماهواره‌ای لندست و پیشنهاد برخی از راه‌حل‌ها برای کاهش حرکت تپه‌های ماسه‌ای و به‌نوبه خود، کاهش اثرات مخرب آن بر زندگی ســـاکنین منطقه است.در این پژوهش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست باقدرت تفکیک ۳۰ متر از سال ۱۹۹۷ تا ۲۰۲۰ به بررسی روند تغییرات تپه‌های ماسه‌ای در منطقهٔ دشت سیستان پرداخته شد. بر اساس نتایج حاصله، وسعت تپه‌های ماسه‌ای در ماه آگوست از ۸/۲۳ درصد در سال ۱۹۹۷ به ۱۱ درصد در سال ۲۰۲۰، و در ماه جوالی از ۸/۸۳ درصد به ۱۲/۹ درصد از سطح کل حوضهٔ موردمطالعه افزایش‌یافته است که تقریباً روند افزایشی چشم‌گیری را نشان می‌دهد. هم‌چنین تغییرات مساحت دریاچه هامون از سال ۱۹۹۷ تا ۲۰۲۰ نشان می‌دهد که وسعت آب دریاچه به‌شدت کاهش‌یافته است و گویای این موضوع است که گسترش تپه‌های ماسه‌ای در سال‌های مختلف ارتباط مستقیمی با تغییرات سطح دریاچه در زمان‌های مختلف دارد و عامل جابجایی تپه‌های ماسه‌ای بادهای فرساینده منطقه بوده که جهت شمال تا شمال غربی با زاویه ۳۳۰ تا ۳٦۰ درجه (باد ۱۲۰ روزه سیستان) دارند و مهم‌ترین رخساره‌های برداشت عرصه‌های شور و پف‌کرده بستر دریاچه هامون و دشت‌های شمالی هستند.

کلمات کلیدی:"ارزیابی مخاطرات"، تپه‌های ماسه‌ای"، دشت سیستان"، بادهای ۱۲۰ روزه"، فرسایش بادی"

۱- مقدمه

در مقیاس جهانی وقوع طوفان‌ها و سیلاب‌ها ازجمله مخرب‌ترین مخاطرات طبیعی محسوب می‌شوند (Vesterb et all, 2022 and)، چنان‌که بیش‌ترین حوادث، ناشی از این دو مخاطره است (Yakshin and et all, 2022). منظور از مخاطرات، یعنی حوادثی طبیعی که به‌صورت بالقوه موجب ایجاد خطر برای انسان و آنچه برای او ارزشمند است، می‌شوند. مخاطره، پتانسیل ایجاد خسارت دارد، برای سلامتی انسان، فعالیت انسانی، اقتصادی، آموزشی، خسارت به اموال، خسارت به محیط، از بین رفتن پوشش گیاهی و جانوری، آلودگی و ناامنی حوادث طبیعی خطرناک‌اند (رحیمی هرآبادی، ۱۳۹۰). فعال و پویا بودن تپه‌های ماسه‌ای باعث می‌شود تا جابه‌جایی ماسه‌ها به سمت سکونتگاه‌ها بیش‌ازپیش باشد و مخاطرات متعددی از قبیل تهدید سلامت اهالی، مدفون شدن روستاها، تخریب خاک و تأسیسات عمومی را ایجاد کند و سبب

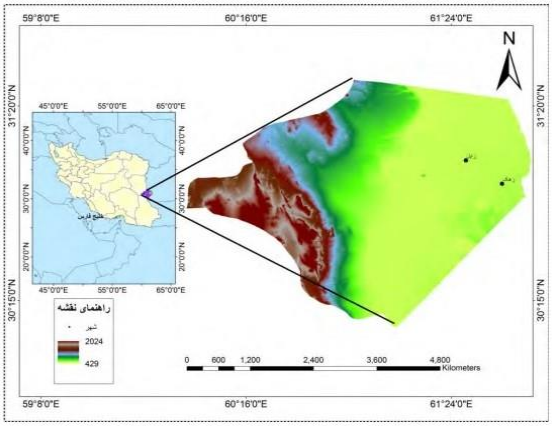
خسارات مالی، مهاجرت اهالی و درنهایت، فاجعه انسانی شود (جدیدالاسلامی، ۱۳۹۹). لذا به‌منظور برنامه‌ریزی اصولی برای رفع مشکل ضروری است تا منشأ ماسه‌ها، نقش پارامترهای مورفومتریک تپه‌های ماسه‌ای در میزان جابه‌جایی آن‌ها تجزیه‌وتحلیل شده و با توجه به مسکونی بودن منطقه، مخاطرات ماسه‌ها شناسایی و جهت کاهش مخاطرات راهکار ارائه شود. تپه‌های ماسه‌ای در قلمرو فرآیند بادی از پویاترین عارضه‌های ژئومورفیک سطح زمین به‌شمار می‌روند که از یک‌سو متأثر از ویژگی‌های سرعت، جهت و فراوانی باد و از سوی دیگر متأثر از ویژگی‌های سطح زمین و مواد رسوبی‌اند (عباس‌نژاد و ذهاب نوری، ۱۳۹۱). نتایج مطالعات در مقیاس:۱:۲۵۰۰۰۰ نشان می‌دهد که تپه‌های ماسه‌ای ایران شامل۱۱ دریا شن و ۳۹ میدان تپه‌ای است که تقریبًا ۱/۱ میلیون هکتار را پوشش می‌دهد (Abbasi et al., 2019). توفان‌های شن و ماسه یکی از پدیده‌های مهم جوی هستند که در بسیاری از بیابان‌ها و مناطق خشک دنیا گسترش دارند و در سال‌های اخیر توجه زیادی به آن‌ها شده است و همه‌ساله این حوادث، خسارات و تلفات فراوانی در تمام نقاط دنیا به وجود می‌آورند. مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد که ١٤ استان کشور تحت تأثیر فرسایش بادی و حرکت تپه‌های ماسه‌ای قرار دارند (نگارش و لطیفی، ۱۳۸۵). طبق آمارهای موجود، ماسه‌های روان ۳۲/۵ میلیون هکتار از اراضی طبیعی کشور را تهدید می‌کنند (فتح‌زاده و هزارخوانی، ۱۳۸۹). منطقه سیستان با میانگین تعداد ۱۲۸/۷ روز در سال طی یک دوره پنج‌ساله (۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰) رتبه دوم وقوع طوفان های ماسه ای در قاره آسیا را داراست. این منطقه یکی از مراکز تولید طوفان است که در آن به‌طور متوسط سالانه بیش از ۷۰ روز طوفان‌های گردوغبار وجود دارد. (Washington et al, 2018). شدت وزش بادهای ۱۲۰ روزه در منطقه به حدی است که با ایجاد غلظت گردوغبار در آسمان و هجوم ماسه‌های روان در سطح زمین هرگونه فعالیتی را از انسان سلب و اختلالاتی را در وضع عمومی به وجود می‌آورد (سلیقه، ۱۳۸۲) و گاهی چاله‌هایی به عمق ۲ تا ۳ متر و عرض ٦ تا ۹ متر ایجاد می‌کنند (نورزهی، ۱۳۷۲). در سال‌های اخیر به‌علت خشکسالی ناشی از قطع آب رودخانه هیرمند به سیستان و وزش بادهای موسمی۱۲۰ روزه برداشت رسوبات از بستر دریاچه‌های خشک آغازشده که نتیجه آن بروز طوفان‌های شن و ماسه در زمین و آسمان منطقه و سپس ترسیب آن در نهرها، اراضی کشاورزی و منازل مسکونی و سبب ایجاد خسارات جبران‌ناپذیر شده است. در منطقه سیستان، شدیدترین بادها در نیمه اول سال (در مدت وزش بادهای ۱۲۰ روزه) و ضعیف‌ترین آن در نیمه دوم سال می‌وزد. سهم عمده سرعت وزش باد، (۹۳/۵ درصد در ایام وزش بادهای ۱۲۰ روزه) است. با آغاز دوره خشکسالی از سال ۱۳۷۵، حداکثر سرعت باد نیز افزایش‌یافته است که این افزایش، ناشی از کمبود رطوبت نسبی، افزایش دما، افزایش شیب تغییرات فشار و بالاخره افزایش سرعت بادهای ۱۲۰ روزه شده که به‌نوبه خود موجب خشکی و گرمی بیش‌تر هوا می‌شود. در سیستان که از میانگین تبخیر سالانه ٤٦٠٠ میلی‌متر برخوردار است، مهم‌ترین عامل در افزایش تبخیر، وزش بادهای گرم و ممتد بر سطح دشت است که موجب خشک شدن منابع آب، اراضی و گیاهانی می‌شود که می‌توانند سطح خاک را از گزند فرسایش بادی حفظ کنند. یکی از بلایای طبیعی که هرساله باعث خسارات زیادی به‌ویژه در مناطق خشک و بیابانی دنیا می‌شود، طوفان‌های ماسه‌ای است (امیدوار، ۱۳۸۵). طوفان‌های ماسه‌ای و گردوخاک نه‌تنها در ایران بلکه در سایر کشورها نیز موجب بروز خسارت‌های مالی و جانی فراوانی می‌شوند (Lin, 2020). که از آن جمله می‌توان به طوفان سیاه شمال چین که در سال ۱۹۹۳ باعث کشته شدن ۸۵ نفر و تخریب حدود ۳۷۳۰۰۰ هکتار از محصولات زراعی شد (Youlin, 2021) و هم‌چنین جابجایی سالانه حداقل ١٦١ میلیون تن خاک در کانادا (Squires, 2019) اشاره نمود. فعال و پویا بودن تپه‌های ماسه‌ای باعث می‌شود تا جابه‌جایی ماسه‌ها به سمت سکونتگاه‌ها بیش‌ازپیش باشد و مخاطرات متعددی از قبیل تهدید سلامت اهالی، مدفون شدن روستاها، تخریب خاک و تأسیسات عمومی را ایجاد کند و سبب خسارات مالی، مهاجرت اهالی و درنهایت، فاجعه انسانی شود. لذا به‌منظور برنامه‌ریزی اصولی برای رفع مشکل ضروری است تا منشأ ماسه‌ها، نقش پارامترهای مورفومتریک تپه‌های ماسه‌ای در میزان جابه‌جایی آن‌ها تجزیه‌وتحلیل شده و با توجه به مسکونی بودن منطقه، مخاطرات ماسه‌ها شناسایی و جهت کاهش مخاطرات راهکار ارائه شود. پیش‌ازاین، پژوهش‌های متعدد صورت گرفته است از قبیل نهرست گری و همکاران (۲۰۰۲) به بررسی و تحلیل طوفان‌های گردوخاک وزیده شده از سال ۱۹۳۷-۱۹۹۹ در مغولستان پرداختند آن‌ها در ابتدا مبادرت به ترسیم نقشه طوفان‌های گردوخاک نمودند و از این مطالعه نتیجه گرفتند که تعداد طوفان‌های گردوخاک کم‌تر از ۵ روز در کوهستان‌های آلـــتای، خنتی، خانگایی اتـــفاق می‌افتد و در صحرای گبی و نواحی نیمه‌بیابانی تعداد طوفان‌ها در سال بین ۳۷-۲۰ مورد در سال اتفاق می‌افتد (Nehrestgry et al, 2002). پاتریک پیز و همکاران بامطالعه بر روی تپه‌های ماسه‌ای و

شناسایی مسیر انتقال آن‌ها با استفاده از داده‌های لندست TM در کشور عمان بدین نتیجه رسیدندکه این داده‌های ماهواره‌ای در تفسیر و شناخت ژئومرفیک بیابان، محیطهای رسوب‌گذاری بادی به لحاظ کانی‌شناسی رسوبات و بسط و گسترش شناخت کانی‌شناسی ماسه‌ها از حالت نقطه‌ای (نمونه‌برداری نقطه‌ای) به حالت سطحی بسیار مفید و مؤثر است (Pease et al, 2014). گودی و میدلتون (۲۰۰۲) نیز درزمینه طوفان‌های شمال آفریقا (صحرا) و اثرات آن پژوهش‌های را به انجام رسانده‌اند و محدوده اثرگذاری گردوخاک ناشی از این طوفان‌ها را تعیین نمودند که تا نواحی مرکزی اروپا و حتی انگلستان گردوغبار گسترش‌یافته است (Goody and Midelton, 2019). هدف این مطالعه، بررسی روند تغییرات تپه‌های ماسه‌ای دشت سیستان و پیشنهاد برخی از راه‌حل‌ها برای کاهش حرکت تپه‌های ماسه‌ای و به‌نوبه خود، کاهش اثرات مخرب آن در زندگی ســـاکنین منطقه است. با توجه به اینکه از نتایج این پژوهش می‌توان برای کاهش اثرات منفی فعالیت‌های بادی بر زندگی ساکنین منطقه علی‌الخصوص سکونتگاه‌ها استفاده نمود لذا پژوهش از نوع کاربردی و نتایج این بررسی می‌تواند در ایجاد استراتژی مدیریت پیشگیری از خسارت و بهره‌برداری بهینه از منابع آبی موجود به‌عنوان بخشی از عوامل ایجاد و تشدید بحران آب کاربرد داشته باشد.

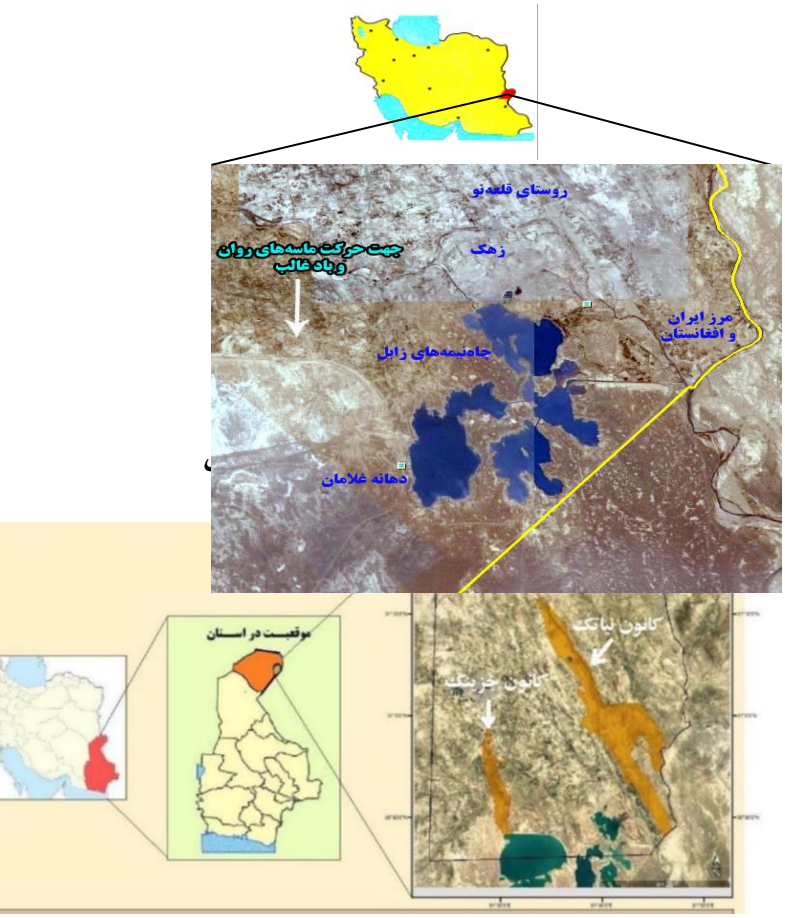
۲- روش انجام تحقیق

- محدوده مورد مطالعه

منطقه موردمطالعه در جنوب شرقی ایران و در شمال شرق دشت بزرگ سیستان و در جنوب غربی مرز مشترک ایران و افغانستان قرار دارد و ازلحاظ موقع ریاضی در محدوده جغرافیایی۳۰ درجه و ٤٥ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۵۰ دقیقه عرض شمالی و ٦١ درجه و ۳۸ دقیقه تا ٦١ درجه و ٤٥ دقیقه طول جغرافیایی شرقی واقع‌شده است (شکل۱و۲). سیستان جلگه‌ای است که شاهرگ حیاتی آن رودخانه معروف هیرمند است. مساحت این دشت ۱۵۱۹۷ کیلومترمربع است که ۵۵٦۰ کیلومترمربع آن را دریاچه هامون و اراضی مشرف‌به دریاچه هامون تشکیل می‌دهد. حوزه سیستان بخشی از حوزه بسیار بزرگ رودخانه هیرمند بوده که حدود ۱۵ هزار کیلومترمربع وسعت دارد و سیستان تنها ۵ درصد آن را تشکیل می‌دهد. مشخصه کانون‌های بحرانی فرسایش بادی، جابه‌جایی و انباشت ماسه‌هاست، ازاین‌رو سیستان دارای سه کانون بحرانی فرسایش بادی است که عبارت‌اند از: نیاتک، جزینک و تاسوکی-شیله که درمجموع سطحی معادل ۲۵۲٤۵۳ هکتار را دربرگرفته اند (مهندسین مشاور سامانه فرآیندهای محیطی، ۱۳۸۱). ازآنجاکه کانون تاسوکی-شیله در خارج از محدوده مسکونی سیستان واقع‌شده و از مخاطرات ناچیزی برخوردار است، بررسی‌ها فقط در کانون‌های نیاتک و جزینک صورت گرفته است (شکل ۳).



شکل ۱-موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان سیستان و بلوچستان و مدل رقومی ارتفاع (منبع: نگارندگان، ۱٤۰۱)



شکل ۳- نقشه موقعیت کانون‌های بحرانی (منبع: نگارندگان، ۱٤۰۱)

- روش پژوهش

جهت انجام این پژوهش ابتدا با مشاهدات مستقیم صحرایی و عملیات میدانی، جهت تعیین مناطق برداشت، از مناطق حمل و مناطق برداشت احتمالی، نمونه‌برداری به

عمل آمد و بر اساس ویژگی‌های کانی‌شناسی و بررسی ارتباط ژنتیکی نمونه‌ها منشاء اولیه رسوبات موردبررسی قرار گرفت. به‌منظور شناسایی مناطق برداشت، از محل انباشت ماسه‌ها، از نقاط مختلف از مناطق احتمالی برداشت، نیز نمونه‌برداری به عمل آمد و ارتباط ژنتیکی (خواص مشابه) مناطق سه‌گانه (برداشت، حمل و رسوب‌گذاری) از طریق آنالیز فیزیکی و شیمیایی رسوبات موردبررسی قرار گرفت. هم‌چنین چهار ایستگاه سینوپتیک (زابل- زهک- هیرمند- هامون) نیز موردمطالعه قرار گرفت.

• داده‌های مورد استفاده در پژوهش

در این پژوهش مطابق استانداردهای جهانی و توصیه سازمان هواشناسی جهانی که حداقل دوره آماری ۲۰ ساله را توصیه می‌نماید (فرج زاده، ۱۳۷٤)، آمار بارش چهار ایستگاه سینوپتیک (زابل- زهک- هیرمند- هامون) از سال ۱۳۷۷-۷۸ تا سال ۱۳۹۸-۱۳۹۹ تهیه شد. به‌منظور بررسی خشکسالی‌های شهرستان زابل آمار به‌صورت ماهیانه برای ٤ ایستگاه هواشناسی شامل ایستگاه‌های سینوپتیک و خودکار از سازمان آب منطقه‌ای اداره کل هواشناسی استان سیستان و بلوچستان اخذ شد. مشخصات ایستگاه‌های موردمطالعه در جدول ۱ آورده شده است. به دلیل تغییرپذیری شدید بارش در این مناطق بازسازی داده‌ها ارزش چندانی نداشته و بهتر آن است که از آن‌ها چشم‌پوشی شود (مسعودیان، ۱۳۷۷ و عطایی، ۱۳۸٤). عدم وجود ایستگاه‌های هم‌جواری که دارای داده‌های بلندمدت باشند دلیل دیگری بود که بازسازی داده‌ها را در این منطقه با مشکل مواجه ساخت. لذا با توجه به این محدودیت‌ها، سعی شد دوره‌ای انتخاب شود که دارای کامل‌ترین داده‌ها باشد و نیازی به بازسازی نداشته باشد.

جدول ۱- موقعیت ایستگاه‌های موردمطالعه در زابل

ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع
زابل	سینوپتیک	29′°61	02′°3	489
زهک	سینوپتیک	41′°61	54′°3	495
هیرمند	خودکار	61′°48	31′°08	492
هامون	خودکار	61′°27	30′°51	473

۳- یافته‌ها و نتایج

•تحلیل خشکسالی فصلی و سالانه

به‌منظور تحلیل خشکسالی فصلی و سالانه، از پنج شاخص درصد نرمال بارندگی (PNPI)، معیار Zاستانداردشده (ZI)، کلاسه‌بندی دامنه بارش (PC)، انحراف از میانگین (SDI) و ناهنجاری بارش (RAI)، استفاده شد. از مجموع ایستگاه‌های موردمطالعه، دو ایستگاه هیرمند و هامون که دارای نواقص آماری بودند، خلأهای آماری با استفاده از داده‌های کامل ایستگاه‌های هم‌جوار و روش نسبت‌ها برای داده‌های بارش و روش تفاضل‌ها برای داده‌های دما، کامل شد. جدول ۲ میانگین فصلی و سالانه پارامترهای اقلیمی دما و بارش را به تفکیک ایستگاه‌های موردمطالعه نشان می‌دهد.

جدول ۲- میانگین فصلی و سالانه پارامترهای اقلیمی دما و بارش

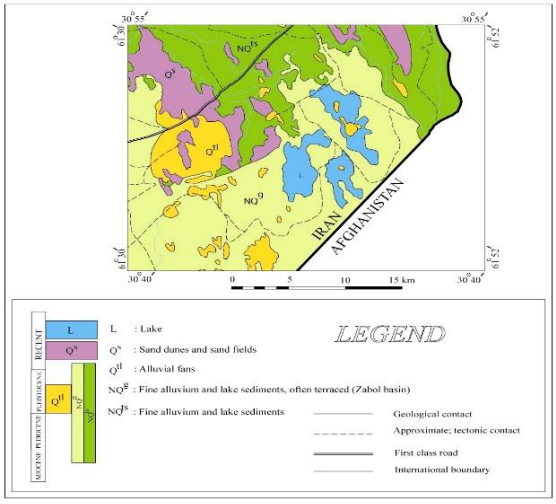
دوره		تابستان	پاییز	زمستان	بهار	سالیانه
ایستگاه	عامل					
زابل	دما (C°)	۳۱/۹	۱۵/۷	۱۲/۱	۲۸/۳	۲۲
	بارش (mm)	۰/۰۱	۱۱/۹	٤۳/٤	٥/۳	٦۰/٦
زهک	دما (C°)	۲٥/۹	۱۳/۳	۱۰/٥	۲٤/۰	۱۸/٤
	بارش (mm)	۲/۱	۱٥/۸	٤۹/۹	۱۲/٥	۸۰/۳
هیرمند	دما (C°)	۲۹/۲	۲٥/٥	۲۳/٤	۲۹/۰	۲٦/۸
	بارش (mm)	۷/٥	۳۰/٥	٦۹/۳	٤/۱	۱۱٤/٤
		۳٥/٤	۲۱/۹	۱۷/۷	۳۲/٤	۲٦/۷
	بارش (mm)	۱۷/٦	۱۷/۳	٦۸/۷	۱۰/۲	۱۱۳/۸
میانگین منطقه	دما (C°)	۳۰/٦	۱۹/۱	۱٥/۸	۲۸/٤	۲۳/٥
	بارش (mm)	٦/۸	۱۸/۹	٥۷/۸	۸/۰	۹۱/٥

جدول ۲ نشان می‌دهد ناهمگونی زمانی و مکانی بارش یکی از ویژگی‌های منطقه سیستان و بلوچستان است. میانگین منطقه‌ای ریزش‌های سالانه استان سیستان و بلوچستان حدود ۹۱/٥ میلی‌متر است که در حدود ۱۷۳ درصد کم‌تر از میانگین ۲٥۰ میلی‌متری کشور است. این امر لزوم ذخیره‌سازی زمستانه و تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. چنین ویژگی اقلیمی و در کنار آن توصیه مدیریتی به ذخیره‌سازی آب با کاهش ۱٦۷/۹ درصدی آورد رودخانه هیرمند طی سال‌های آبی ۷۸-۱۳۷۷ تا ۸۳-۱۳۸۲ و حتی خشک شدن رودخانه در سال آبی ۸۱-۱۳۸۰ که حیات سیستان و بلوچستان به آن وابسته است قابل تائید است. با توجه به مقادیر میانگین بارش چهار ایستگاه مطالعه شده مقادیر کمبود بارندگی از میانگین درازمدت آن به‌عنوان نشانه‌ای از آغاز خشکسالی است. درصد خشکسالی منطقه به‌صورت ترکیبی از تمامی شدت‌های خشکسالی به تفکیک فصل و سال برای هر یک از شاخص‌ها نشان است. بیش‌ترین درصد رخداد خشکسالی را در فصل تابستان و بهار و کم‌ترین درصد را در فصل زمستان داریم. بروز خشکسالی در منطقه با شدت‌های مختلفی مشهود است. با توجه به اینکه درصد رخداد خشکسالی و مقدار بارندگی به‌عنوان دو متغیر وابسته به هم می‌باشند این موضوع را در دو فصل تابستان و بهار بیش‌تر داریم. از دیگر نتایج به‌دست‌آمده کم بودن نسبی درصد خشکسالی‌های سالانه در تمام روش‌ها در مقایسه با درصدهای فصلی است. این نتیجه بیان‌گر لزوم بررسی خشکسالی در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌تر است؛ زیرا ممکن است یک سال خشک و یا تر شامل تعدادی فصل (ماه) خشک و یا مرطوب باشد که در مقیاس سالانه تعدیل شود، به‌طوری‌که قابل‌تشخیص نباشد. بیش‌ترین فراوانی

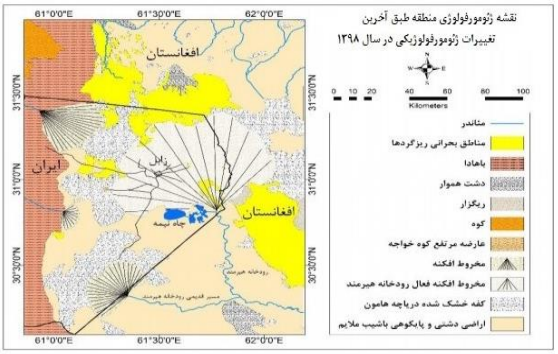
خشکسالی در فصل بهار از شاخص PC و در فصل تابستان به شاخص‌های PNPI، ZI، SD و RAI مربوط است. هم‌چنین بیش‌ترین و کم‌ترین فراوانی وقوع خشکسالی در اکثر روش‌ها به‌ترتیب متعلق به فصول تابستان و زمستان است. مشاهده می‌شود که فصل تابستان همیشه در بین سایر فصل‌ها با خشکسالی مواجه بوده است. در مقیاس سالانه نیز بیش‌ترین و کم‌ترین برآورد فراوانی به‌ترتیب با ٦٤ و٤١ درصد در نمایه‌های روش PC و PNPI مشاهده شد.

•زمین شناسی و ژئومورفولوژی منطقه

از دیدگاه زمین‌شناسی در گستره منطقه موردمطالعه هیچ برون‌زدی از واحدهای سنگی دوران‌های مختلف غیر از رخنمون سنگ‌های بازالتی کوه خواجه متعلق به پلیوسن که گویای اطلاعاتی از شرایط ویژگی‌های پالئوژئوگرافی و رخدادهای تکتونیکی باشد وجود ندارد. منطقه موردنظر پوشیده از رسوبات دریاچه‌ای نئوژن و آبرفت‌های کواترنر است که دارای ضخامت زیادی است. در شمال منطقه موردنظر یک سری فرورفتگی‌ها وجود دارد که به آن‌ها دریاچه هامون گفته می‌شود این چاله‌ها مرکب از سه فرورفتگی به نامهای هامون پوزک در خاک افغانستان، هامون صابوری که خط مرزی ایران و افغانستان از وسط آن می‌گذرد و سومی به نام هامون هیرمند در خاک ایران است. هامون‌ها بیش‌ترین نقش را در رسوب‌زایی و تهیه رسوبات بادی منطقه سیستان دارد (شکل ٤). ژئومورفولوژی عمومی منطقه شامل واحد دشت‌سر و پلایا است. از مهم‌ترین محدودیت‌های ژئومورفولوژی می‌توان به وجود پستی‌وبلندی‌های ناشی از فرسایش آبی و بادی در منطقه و عدم وجود پوشش سنگفرشی جهت مقابله با فرسایش بادی را اشاره کرد. مهم‌ترین قابلیت‌های منطقه نیز وجود خاک یکنواخت در اغلب قسمت‌های منطقه، ساخت‌های رسوبی متنوع، وجود پستی‌وبلندی‌های فوق-العاده و صعب‌العبور، وجود آبراهه‌های زیاد با جهات متنوع و عدم وجود قلوه‌سنگ در سطح خاک است. با توجه به در نظر گرفتن این موضوع که پدیده‌های ژئومورفولوژی متنوعی در حوضه مطالعاتی قابل‌مشاهده نیست، از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ منطقه موردمطالعه استفاده‌شده است (شکل ۵).



شکل ٤- نقشه زمین‌شناسی منطقه موردمطالعه (منبع: نقشه زمین‌شناسی زابل-هامون)



شکل ٥- نقشه ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه (منبع: نگارندگان، ١٤٠١)

•محاسبه تحرک تپه‌های ماسه‌ای (شاخص لنکستر)

با استفاده از شاخص اقلیمی تحرک تپه‌های ماسه‌ای و محاسبه شاخص لنکستر، میزان فعالیت تپه‌های ماسه‌ای برآورد شد (جدول۳). متوسط شاخص تحرک تپه‌های ماسه‌ای (شاخص لنکستر) ایستگاه‌های سینوپتیک زابل نشان می‌دهد که تنها در زهک با بیشینه شاخص لنکستر، میزان فعالیت تپه‌های ماسه‌ای کاملاً فعال بوده است.

جدول ۳- شاخص لنکستر و داده‌های اقلیمی ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه موردمطالعه (منبع: نگارندگان، ١٤٠١)

ایستگاه	درصد فراوانی بادهای فرساینده (w)	بارش (P) میلی‌متر	تبخیر و تعرق پتانسیل میلی‌متر	شاخص لنکستر (M)	میزان فعالیت تپه‌های ماسه‌ای
زابل	۱۳/۸	۱۰۳	۱۱٦٤/۲	۱۲۳/۲	فعال
زهک	۱/۹	١٤٦	۱۲۲۹/۳	۲۰۹/۷	کاملاً فعال
هیرمند	۱۹/٤	۸٥	۱۰۹٤	۱۳/۳	غیرفعال
هامون	۱/۱	۱۱٤	۸۸٤/۲	۷۹/٤	فعال

•خسارات تپه‌های ماسه‌ای

•خسارات پتانسیل

برای برآورد میزان خسارات تپه‌های ماسه‌ای ابتدا اقدام به برآورد نوع خسارات حاصل از تپه‌های ماسه‌ای گردید که ملاحظه شد تپه‌های ماسه‌ای به صور مختلف و غیر یکسان به منابع آسیب می‌رسانند. برای مثال نهشته‌های بادی در بستر آبراهه‌ها و مخازن آبی به‌گونه‌ای ترکیب می‌گردند که ماسه روبی آن نیازمند صرف مبالغ بسیار گزافی است اما رسوبات انباشته‌شده بر روی جاده‌ها و معابر عمدتاً در مرحله حمل و موقتی بوده و ممکن است پس از وقوع یک طوفان شدید مشکل انسداد جاده برطرف شود؛ بنابراین برای برآورد خسارات ابتدا پس از تهیه نقشه منطقه موردمطالعه و شناسایی منابع در معرض خطر برای به دست آوردن درجه آسیب‌پذیری و ضرایب مربوطه ضمن مراجعه به ادارات و سازمان‌های مربوطه هزینه‌های تحمیل‌شده بر هر واحد از عناصر طی یک سال (در صورت وقوع خسارت) برآورد و به هر یک از عناصر ضریب مربوطه تعلق گرفت و آنگاه بر اساس کلاس‌های شدت خطر نقشه پتانسیل خسارت در ۵ کلاس تهیه و به کمک GIS نقشه بندی گردید. در جدول (٤) و (٥) نحوه برآورد خسارات و در جدول (٦) میزان کل خسارات بر اساس رخساره‌های مختلف ارائه‌شده است.

جدول ٤- نحوه برآورد خسارت ناشی از فرسایش بادی

عناصر در معرض خطر	نحوه برآورد خسارت (هزینه بازیابی منابع)	واحد	میزان خسارت در واحد (هزار ریال)
اماکن مسکونی	متوسط هزینه ماسه روبی سالانه، خسارت تخریب دیوار	واحد	۲۵۰۰
جاده‌ها	متوسط هزینه ماسه روبی، نصب علائم خط‌کشی و ترمیم آسفالت یا تسطیح جاده	کیلومتر	۵۳۰۰
انهار و کانال‌ها	هزینه لایروبی سالانه	کیلومتر	۷۲۵۰
اراضی زراعی	خسارت عدم کشت بر اساس متوسط تولید محصول عمده (گندم) و گاهاً هزینه تسطیح	هکتار	۸۷۷۵
مراتع	هزینه بوته کاری مراقبت و آبیاری، ضرر تولید سالانه مرتع	هکتار	۲۷۲۹
جنگل‌ها	هزینه جنگل‌کاری، مراقبت و آبیاری	هکتار	۲۶۳۰

جدول ٥- کل خسارات پتانسیل ناشی از فرسایش بادی در منطقه موردمطالعه

عناصر در معرض خطر	واحد	میزان	خسارت (میلیون ریال)
اماکن مسکونی	واحد	۹۵۳٤	۱٤۳۰۱
جاده‌ها	کیلومتر	٤۳٦/۷۵	۱۸۷۸/۰۳۵
انهار و کانال‌ها	کیلومتر	٤۲۱/۷	۲٦۳۵/٦۲۵
اراضی زراعی	هکتار	۲۱۳٤۳/۳۳۷٤	٦۲٦۸/۵٦۹۸
مراتع	هکتار	۱۱۹۲۰/۰۷۳۳	۲۰٦۰/۸۰٦۷
جنگل‌ها	هکتار	۳۰۲۷۰/٤۹٦۰	٤۹٤۰/۹۰۸٤
جمع کل			۱۸۱٤/۹۳۵۱

جدول ٦- فراوانی کلاس‌های شدت خسارت پتانسیل

کلاس	میزان خسارت در هر هکتار در سال	مساحت	درصد
I	۰-۱۰	۱۱۳۹۹/۵۷	۱۲/٤۵
II	۱۰-۱۰۰	۵۳۲۳٦/۵۵	۵۸/۱۵
III	۱۰۰-۲۰۰	۱۲٦۲۲/۲	۱۳/۸
IV	۳۰۰-۵۰۰	۸٤٤۸/۰۸	۹/۲
V	۸۰۰-۱۰۰۰	۵۸٤۵/٦	٦/٤

- **خسارات واقعی**

خسارات واقعی بر اساس آمار، مشاهدات و یا برآوردهای قابل انجام بر روی نقشه خسارات در ابعاد مختلف به‌صورت کمی ارائه‌شده و مقایسه آن با نقشه پتانسیل خسارت همخوانی قابل قبولی را نشان می‌دهد. در برآورد خسارات واقعی مهم‌ترین منابع تحت تأثیر، نوع خسارات و میزان هزینه‌ها یا خسارات به‌صورت زیر است.

- **خسارات به کانال‌ها و انهار آب‌رسانی**

بر اساس بررسی‌های ممکن میزان کل آبراهه‌ها و کانال‌های موجود در منطقه موردمطالعه ٤۲۱/۷ کیلومتر است که حدود ٤۵ کیلومتر را کانال‌های درجه‌یک و دو و بقیه انهار درجه ۳ و ٤ می‌باشد. کانال‌های درجه‌یک و دو که در محدوده موردمطالعه قرار دارند با توجه به‌سرعت آب و عرض کانال‌ها و نوع استفاده از آن نیازی به لایروبی نداشتند اما سایر انهار در سال زراعی جاری حداقل یک‌بار لایروبی گردیدند درصورتی‌که متوسط میزان خاک‌برداری از انهار درجه ۳ به بعد ۲ مترمکعب در متر باشد میزان حجم کل خاک‌برداری موردنیاز توسط بیل مکانیکی حدود ۱۱۰۳۰۰۰

مترمکعب می‌باشد که با احتساب هزینه لایروبی به ازای هر مترمکعب ۵۰۰۰ ریال رقمی حدود معادل ۵۵۱۵ میلیون ریال هزینه این بخش بوده است.

• خسارت به محورهای مواصلاتی

راه‌های مواصلاتی واقع در منطقه موردمطالعه بیش از ۲۰۰ روستای واقع در محدوده طرح و همچنین صدها روستای خارج از محدوده طرح را به هم متصل می‌کند و با توجه به میزان بار ترافیکی تردد و سرعت تردد در مواقع مختلف ازجمله مواقع طوفانی گشایش راه‌ها اهمیت فوق‌العاده‌ای دارد. به‌گونه‌ای که تنها در یک مورد وزش طوفان در میبد یزد باعث وقوع تصادف و هزینه‌ای بالغبر بیش از یک میلیارد ریال شده است (اختصاصی، ۱۳۸۳). راه‌های ارتباطی موجود واقع در محدوده موردمطالعه بر اساس بررسی‌های دقیق و کارشناسی ٤٣٦/٧٥ کیلومتر می‌باشد. بر اساس طرح شناسایی کانون‌های بحران فرسایش بادی در سال ۱٤۰۰ هزینه نگهداری، خط‌کشی، نصب تابلو و روکش آسفالت تخریب‌شده در اثر فرسایش بادی به ازای هر کیلومتر سالانه ۷ میلیون ریال برآورد شده است که بر این اساس میزان خسارت کلی به جاده‌های آسفالته ۹۳۰ میلیون ریال می‌باشد تا در مواقع وزش باد اقدام به بازگشایی جاده نمایند.

• خسارت به اراضی کشاورزی

تپه‌های ماسه‌ای موجود در اراضی کشاورزی با توجه به محاسبات میدانی، نظرات کارشناسی و بر اساس نقشه‌های موضوعی رقمی حدود ۳ هزار هکتار را شامل می‌شود. این سطح با توجه به اینکه در مورد تپه‌های ماسه‌ای با ارتفاع بیش از دو متر مطرح است که درنتیجه استقرار آن اراضی کشاورزی از کشت بازمی‌ماند بنابراین علاوه بر هزینه حماسه روبی باید خسارت عدم کشت زمین زراعی را نیز اضافه نمود. بر اساس مطالعات انجام‌شده به‌طور متوسط دو و نیم تن محصول دانه سه تا چهار تن کاه از هر هکتار زمین در سیستان برداشت می‌شود (جعفردخت، ۱۳۷٦). اگر این میزان را بر اساس محصول عمده منطقه (گندم) محاسبه نماییم باقیمت واحد هر کیلو گندم ۲۰۰۰ ریال و قیمت واحد منطقه‌ای هر کیلو کاه ۵۰۰ ریال به ازای هر هکتار ٦٥٢٥٠ میلیون ریال خسارت عدم کشت محصول و جهت جابجایی تپه‌ها و ارتفاع متوسط ۲ متر با هزینه جابجایی هر مترمکعب ۵۰۰۰ ریال رقمی حدود وجود ۳۰۰ هزار میلیون ریال هزینه مصرف می‌شود و در صورت تصحیح اصولی این رقم باید به عدد ۳٦/۰۰۰ هزار میلیون ریال اضافه شود. بنابراین کل میزان خسارت به اراضی زراعی بدون هزینه تسطیح اصولی محدوده موردمطالعه ۳٦٥۲ ۵۰ میلیون ریال محاسبه می‌شود.

• خسارت به اراضی جنگلی و مرتعی

با مقایسه نقشه پیشروی ماسه‌های روان و نقشه کاربری اراضی، همچنین عملیات میدانی مشاهده شد حدود ۲۰۰۰ هکتار از ماسه‌های روان در مراتع و جنگل‌های منطقه مستقرشده است. با توجه به ارزش ریالی این منابع در تنظیم گازها (ترسیب کربن)، تنوع ژنتیکی (ذخایر توارثی گیاهی)، گرده‌افشانی، خاک‌زایی، تنظیم جریانات هیدرولوژیکی کنترل سیل و کنترل فرسایش بادی که به ترتیب به ازای هر هکتار در سال در ناحیه رویشی ایران و تورانی ۰/۸۹٦، ۱۲۳۹۹۸، ۲۹۱۷٤۰، ٤۰۳۳۷۸، ۲۰۵۸۰۰، ۲۰۱۷، ۷۰۰ ریال برآورد شده است. می‌توان ارزش این منابع را ۲۰۵۰ میلیون ریال عنوان نمود. ضمن اینکه تولید چوب و علوفه، کنترل گردوغبار، زیستگاه حیات‌وحش، جلوگیری از مصرف سموم، کنترل آفات و خدمت به‌سلامتی انسان و محیط‌زیست در این برآوردها به‌حساب نیامده است.

• خسارت به اماکن مسکونی

هجوم ماسه‌های روان به مناطق مسکونی و گیر افتادن در ناهمواری‌های مراکز جمعیتی محتاج صرف هزینه‌های گزافی جهت بازگشایی کوچه‌ها و تخلیه منازل است. انجام چنین کاری علاوه بر هزینه‌های مستقیم ماسه روبی هزینه‌های دیگری چون تخریب دیوارها و اماکن مسکونی و نیز خسارت ماسه در مدت استقرار را نیز به همراه دارد که برآورد دقیق آن نیاز به عملیات میدانی تفصیلی دارد. علاوه بر هزینه‌های گزافی که روستاییان جهت ماسه روبی منازل صرف می‌کنند که در محاسبات آماری به‌حساب نمی‌آید دولت نیز متحمل پرداخت هزینه از محل ستاد حوادث غیرمترقبه استان شده است. میزان کل اعتبار هزینه شده در منطقه موردمطالعه جهت ماسه روبی توسط بنیاد مسکن انقلاب اسلامی رقمی بالغبر 9000 میلیون ریال بوده است. از ۲۰۹ روستای واقع در منطقه موردمطالعه در بیش از ۳۰ روستا ماسه روبی صورت گرفته است اگر هر روستا به‌طور متوسط ۵۰ خانوار (۵۰ منزل مسکونی) و میزان ماسه روبی هر منزل مسکونی ۱۰۰ مترمکعب با هزینه جابجایی هر مترمکعب عدد هزار ریال محاسبه شود این میزان به رقمی بالغبر ۱۵۰۰ میلیون ریال خواهد رسید. ضمن اینکه برای جلوگیری از ورود ماسه به روستاهای مذکور در منطقه موردمطالعه حدود ۳۸٦ کیلومتر رسوب‌گیر احداث‌شده است بی‌شک در این محاسبات خسارات ناشی از بیماری‌های

چشمی، گوارشی، تنفسی و روحی و روانی حاصل از وقوع طوفان‌ها و ورود ماسه به اماکن مسکونی و منازل به‌حساب نیامده است که خود رقمی بسیار زیاد خواهد بود؛ بنابراین موارد فوق را می‌توان به‌صورت جدول (۷) خلاصه کرد.

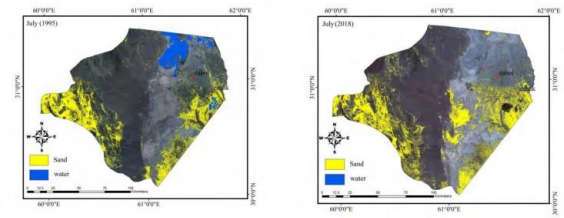
جدول ۷- برآورد میزان خسارت وارده به منابع زیستی و اقتصادی در منطقه موردمطالعه (سال ۱۴۰۱)

نوع منبع	مقدار	واحد	میزان خسارت (میلیون ریال)
کانال‌ها و انهار آب‌رسانی	۴۲۱/۷	کیلومتر	۵۵۱۵
راه‌های مواصلاتی	۴۳۶/۷۵	کیلومتر	۵۵۸
اراضی کشاورزی	۳۰۰۰	هکتار	۳۶۵۲۵۰
اراضی مرتعی و جنگلی	۲۰۰۰	هکتار	۲۰۵۰
اماکن مسکونی	۱۵۰۰	واحد	۶۱۳۲
جمع			۳۷۹۵۰۵

مآخذ: نگارندگان، ۱۴۰۱

• گسترش تپه های ماسه ای در منطقه مورد مطالعه

نقشه های گسترش تپه های ماسه ای حاصل از پردازش سنجده لندست برای تیر ماه که پرتلاطم ترین ماه از نظر وزش باد می باشد، در سال های ۱۹۹۵ و ۲۰۲۰ برای منطقه مورد مطالعه تهیه شدند (شکل ۶). در این تصاویر به روشنی پویایی تپه های ماسه ای در دو سال مختلف قابل مشاهده است. مهمترین عواملی که در میزان انتقال ماسه های بادی نقش عمده ای دارند باد، رطوبت، پوشش گیاهی می باشند. بدون شک عوامل متعددی باعث حرکت ماسه های روان در منطقه سیستان شده که با خشک شدن تالاب هامون به همراه باد ۱۲۰ روزه در فصول خشک که سرعت آن را بین ۱۱۰ تا ۱۷۰ کیلومتر در ساعت می باشد می توان آن ها را جز عوامل گسترش تپه های ماسه ای دانست. در این تصاویر گسترش تپه های ماسه ای با از بین رفتن تالاب هامون به خوبی قابل مشاهده می باشد. میزان گسترش تپه های ماسه ای از ۸ درصد در سال ۱۹۹۵ به ۱۲.۳ درصد در سال ۲۰۲۰ رسیده است.



شکل۶- تصاویر تهیه شده گسترش شن از تصاویر لندست سمت راست (۲۰۲۰) و سمت چپ (۱۹۹۵)

بدون شک گسترش تپه های ماسه ای و خشک شدن تالاب هامون باعث تخریب شدن و مدفون ساختن روستاها و آبادی ها در زیر ماسه و خاک، از بین بردن زمین ها و مزارع کشاورزی، مسدود شدن قنات ها و کانال های آبیاری، گسترش بیابان ها و نواحی خشک، ایجاد مشکلاتی در رفت و آمد و بیکاری مردم منطقه، مهاجرت و شده است،غیره که برخی از مشکلات در تصاویر تهیه شده از منطقه قابل مشاهده می باشد (شکل۷).

شکل۷- تصاویر تهیه شده از منطقه مورد مطالعه

•پیشروی ماسه‌های روان و اثر آن بر سکونتگاه‌های روستایی منطقه

حرکت و پیشروی ماسه‌های بادی، سکونتگاه‌های روستایی منطقه شرق زهک را تهدید و خطر عمده‌ای در زندگی مردم محسوب می‌شود. با توجه به شرایط جغرافیایی و محیطی منطقه فرسایش، جابجایی و پیش‌روی ماسه‌های بادی، منابع زیستی، تأسیسات اقتصادی و زیربنایی و به‌ویژه سکونتگاه‌های روستایی منطقه را تهدید و خطر عمده‌ای در زندگی مردم محسوب می‌شوند. فعال و پویا بودن تپه‌های ماسه‌ای باعث می‌شود سالیانه اراضی کشاورزی، روستاها و جاده‌ها در زیرخاک مدفون شوند و فقدان واکنش واقع‌بینانه و علمی در برابر این پدیده مزید بر علت شده و دامنه آسیب‌ها و خسارت‌ها را گسترده‌تر نموده است. سالانه حجم عظیمی از ماسه‌های بادی، مناطق مسکونی و روستاها را مورد هجوم قرار می‌دهند. در روستاهایی که در مسیر حرکت ماسه‌ها قرار دارند، مقدار حجم رسوبات به‌گونه‌ای است که سبب دفع واحدهای مسکونی شده و بعضی از روستاییان به‌ناچار مجبور به‌ترتیب روستاها و خانه‌های خود می‌شوند. در سال‌های اخیر، کاهش یا توقف جریان آب ورودی رودخانه هیرمند به سیستان، موجب وقوع

خشکسالی‌های پی‌درپی، خشک شدن تالاب هامون، کاهش پوشش گیاهی و افزایش فرسایش خاک شده است. این عوامل در کنار وزش بادهای ۱۲۰ روزه، شرایط مناسبی را جهت افزایش طوفان‌های گردوغبار و حرکت ماسه‌های روان به‌سوی روستاهای شرق زهک مهیا نموده است. از طرف دیگر، تخلیه شدن جمعیت یا روند کاهشی جمعیت در بسیاری از روستاهای مجاور نیاتک به‌علت هجوم ماسه‌های روان حاصل از فرسایش آن، بیانگر وجود شرایط بحرانی حاکم در این روستاها است. هم‌چنین موقعیت روستاها نسبت به شاخه سیل بر نیاتک و تالاب هامون برشدت اثرات ماسه‌های روان در این روستاها افزوده است.مهم‌ترین عوامل ایجاد چنین پدیده‌ای در سطح منطقه، تغییرات اقلیمی، وابستگی منطقه به آب رودخانه هیرمند، دارا بودن خاک آبرفتی با لایه‌های متناوب ماسه و رس، وزش بادهای ۱۲۰ روزه، پایین بودن ریزش‌های جوی، دما و تبخیر بالا، فقر پوشش گیاهی، بروز خشکسالی‌های اخیر و فعالیت‌های نامناسب انسانی، چرای بیش‌ازحد مراتع، کندن بوته‌ها، قطع درختان گز و تاغ و رفت‌وآمد وسایل نقلیه در بستر تالاب هامون و نیاتک است که منطقه را به‌صورت عرصه‌ای مناسب برای حرکت ماسه‌های روان درآورده است. هم‌چنین در طی خشکسالی‌های اخیر، این روستاها به دالان‌های گردوغبار تبدیل‌شده و به‌تبع آن بروز بیماری‌های چشمی، تنفسی، فشارهای عصبی و استرس ناشی از آن در ساکنین این قبیل روستاها و سایر روستاهای واقع در مسیر دالان‌های گردوغبار افزایش‌یافته است. بررسی شدت اثرات ماسه‌های روان در روستاهای موردمطالعه حاکی از آن است که با کاهش فاصله روستاهای شرق زهک از بستر رودخانه نیاتک، شدت اثر ماسه‌های روان در سطح این روستاها افزایش می‌یابد. بر اساس نگرش سیستمی، کاهش یا توقف جریان آب ورودی رودخانه هیرمند به تالاب هامون و منطقه موردمطالعه، نقش اساسی در بروز و تشدید فعالیت‌های ماسه‌های روان ایفا می‌نماید. به‌طوری‌که با کم شدن آب رودخانه هیرمند و خشک شدن رودخانه نیاتک و تالاب هامون، عملاً بستر آن به یکی از کانون‌های بحرانی فرسایش بادی تبدیل می‌شود؛ زیرا به‌علت نرم بودن سطحی منطقه (رس و سیلت و ماسه ریز) از یک‌سو و وزش بادهای ۱۲۰ روزه از سوی دیگر، ذرات خاک به‌راحتی جدا، حمل و در مناطق مختلف رسوب یافته و شرایط سخت محیطی را در سطح روستاهای محدوده موردمطالعه فراهم نموده است. به‌گونه‌ای که در تخلیه روستاهای واقع در منطقه شرق زهک نقش بسزایی را داراست. در تحقیقات میدانی و صحبت با معتمدین محلی و در بررسی اثرات ماسه‌های بادی و روستاهای منطقه موردمطالعه باعث بروز و چالش‌های متعددی به ابعاد اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و کالبدی روستاهای این منطقه شده است و اثرات زیانباری را به مردم روستاها تحمیل کرده است که در جدول (۸) به بعضی از ابعاد و شاخص‌های اثرات ماسه‌های روان و روستاهای موردمطالعه پرداخته شده است.

جدول ۸- ابعاد، مؤلفه‌ها و شاخص‌های تأثیرگذار اثرات ماسه‌های روان و روستاهای شرق زهک

ابعاد	مؤلفه‌ها	شاخص‌ها	ابعاد	مؤلفه‌ها	شاخص‌ها
اقتصادی	درآمدها	اثر ماسه‌ها بر درآمد حاصل از تولید زراعی	اجتماعی	رضایت از زندگی	تمایل روستاییان به سرمایه‌گذاری در روستا
		اثر ماسه‌ها بر درآمد حاصل از تولید باغی			تمایل خانوارهای روستایی برای مهاجرت
		اثر ماسه‌ها بر درآمد حاصل از فعالیت‌های دامداری			رضایت از محل زندگی
		کاهش کمیت و کیفیت تولید زراعی			ازهم‌گسیختگی خانوار
		کاهش کمیت و کیفیت تولید باغی		روحی و جسمی	بروز استرس و فشار عصبی
		کاهش کمیت و کیفیت منابع تغذیه دام			بروز بیماری‌های جسمی
		کاهش بهره‌وری دام		مشارکت	سطح مشارکت روستاییان در کنترل یا پاک‌سازی ماسه
	هزینه‌ها	هزینه‌های تسطیح اراضی			سطح مشارکت نهاده‌ای دولتی در پاک‌سازی ماسه
		افزایش هزینه‌های رفت‌وآمد			سطح مشارکت مردمی در امور روستا
		افزایش هزینه‌های درمان		امنیت	افزایش میزان سرقت در روستا
		افزایش هزینه‌های بهداشتی	کالبدی - فضایی	کاربری اراضی	درصد اراضی کشاورزی رهاشده

	سرمایه‌ها	کاهش سرمایه‌گذاری‌های دولت در طرح‌های عمرانی		تخریب سکونتگاه	در سد منازل مسکونی آسیب‌دیده از ماسه‌ها
		کاهش قیمت مساکن روستاییان		تأسیسات	مشکلات لایروبی انهار و کانال‌ها
		کاهش قیمت زمین کشاورزی			بروز مشکلات عبور و مرور
زیست‌محیطی	پسرفت زیست‌محیطی	افزایش گردوغبار هوا			سابقه مسدود شدن جاده در معابر روستاها
		کاهش سطح بهداشت در محیط زندگی			
		گسترش اراضی بلااستفاده			

مساکن بومی سیستان، هماهنگ با اقلیم‌اند که این هماهنگی در خشت و گلی بودن، ساخت بادگیر در سقف و دیوار ضلع شمالی مساکن و ساخت خارخانه جهت استفاده از نسیم خنکی که از سمت شمال و از روی پهنه آبی دریاچه می‌آید به چشم می‌خورد (نگارش و حیدری نسب، ۱۳۸٦). در خشکسالی‌های اخیر، جابه‌جایی بیش‌ازپیش ماسه‌ها به سمت روستاها، موجب فرسایش و تخریب منازل شده است (شکل ۸). نیمی از روستاهای بازدید شده، بیش‌تر منازل با مصالح و به سبک جدید ساخته‌شده و تقریباً در ۳۰ درصد روستاها، بیش‌تر مساکن با ساختار بومی و با خشت و گل ساخته شده‌اند که استقامت کافی را در مقابل ضربات بشمار دانه‌های ماسه ندارند و تداوم ضربات ماسه‌ها موجب فرسایش دیوار، سقف و بادگیر مساکن می‌شود (شکل‌های ۹ تا ۱۲).

شکل ۸- تخریب دیوار شمالی و سقف توسط ضربات ماسه‌ها

شکل ۹- تخریب قسمت ورودی توسط ضربات ماسه‌ها

شکل ۱۰- سایش سقف مساکن بومی توسط ماسه‌ها

شکل ۱۱- انباشته شدن ماسه‌ها در معابر روستاها

شکل ۱۲- انباشت ماسه‌ها در محل منازل مسکونی

٤- رسوب شناسی

• کانی‌شناسی نمونه‌ها و بررسی ارتباط ژنتیکی عناصر تپه‌های ماسه‌ای

کانی‌شناسی نمونه‌ها و بررسی ارتباط ژنتیکی بین آن‌ها می‌تواند اطلاعات مفیدی در رابطه با شناسایی و کنترل دقیق مناطق برداشت در اختیار بگذارد. در کانی‌شناسی معمولاً باید به دنبال کانی‌هایی باشیم که شاخص یا نادر بوده و بیانگر پارامترهای مورفودینامیکی ویژه‌ای هستند به‌عنوان‌مثال وجود کانی‌های سنگین مثل روتیل و زیرکن در رسوبات نشان‌دهنده دور بودن منشأ و کانی‌های سبک مثل بیوتیت و مسکوویت و ژیپس نشان‌دهنده محلی (نزدیک) بودن منشاء یا مناطق برداشت است. کانی‌شناسی ذرات بزرگ‌تر از ۲۵۰ میکرون به‌صورت میکروسکوپی و ماکروسکوپی (چشمی) و کانی‌شناسی ذرات کوچک‌تر از ٦٤ میکرون (رس و لیمون) از طریق دیفراکسیون اشعه ایکس صورت گرفت که نشان می‌دهد بیشترین کانی‌ها به ترتیب کوارتز (۲٤/۳ درصد)، کانی‌های آهن‌دار (۱۵/۰٦ درصد) و کلسیت (۱٤/۹۱ درصد) می‌باشند. سایر کانی‌ها دارای درصد کمتری می‌باشند که میزان آن در جدول (۹) ذکرشده است. در پایان با تخمین نتایج به‌دست‌آمده ضمن معرفی نقاط منشاء اولویت عملیات مبارزه با فرسایش بادی در هر یک از رخساره‌ها تعیین می‌شود.

جدول ۹- نتایج کانی‌شناسی ماسه به روش میکروسکوپی

شماره نمونه	درصد کانی در نمونه								
	آلبیت	آمفیبول	کانی آهن‌دار	ژیپس	پیروکسن	میکروکلین	کوارتز	کلسیت	جمع
۱	۷/۵	/٤٥ ۲	/۸ ۱۹	۰	٤/۸	/۸ ۱٤	/۵ ۱۷	/۸ ۱۹	/٦۵ ۸٦
۲	۷/۲	۲/۳	۹/۸	/٤۵ ۲	۲/٤	/۷ ۲۲	۱۹	/۵ ۱٦	/۷ ۷۷
۳	۰	۰	/۸ ۱٤	/٤۸ ۲	۲/٤	۷/٤	۳٤	/۸ ۱۹	/۸۳ ۷۹
٤	۷/۲	۲/۳	/۵ ۲۱	۰	٤/۸	٤/۸	/۵ ۳٤	/۵ ۲۱	/۱۵ ۷۹
۵	٤/۹	/٤۵ ۲	/۸ ۱۹	۰	/۳ ۱۲	/۵ ۱۲	/۵ ۱۹	۷/۷	/۱۸ ۹۸
٦	۳/۲	۳/۵	/۳ ۱۳	/۳۳ ۳	۳/۲	/۸ ۱۷	۲۷	/۳ ۱٦	/۸۳ ۷۹
۷	۳/٦	۲/۱	۲/۹	٤/۷	۲/۵	۲/٤	/٦ ۲۸	/۹ ۱۲	۸/۲
۸	۲/٤	۰	/٤ ۱۷	/٤۸ ۲	٤/۸	/۳ ۱۷	/۵ ۲۹	/۵ ۱۲	/۳۸ ۸٦
۹	۷/٤	/٤۵ ۲	٤/۸	۰	۰	/۳ ۱۷	/۵ ۳٤	/۸ ۱۹	/۲۵ ۸٦
۱۰	٤/۹	/٤۵ ۲	۸	/۹۵ ٤	۷/۲	/۷ ۱۹	/۵ ۲۲	۸	/۷ ۷۷
۱۱	۲/٤	/٤۵ ۲	/٤ ۱۷	/۹۵ ٤	٤/۹	/۳ ۱۷	/۵ ۲۹	/٤ ۱۷	/٤ ۸٦
۱۲	۷/۵	٤/۹	/۸ ۱٦	۰	۷/۲	۰	/۵ ۲٤	/۸ ۱٦	۹۵
میانگین	/۸٤ ٤	/۲۷ ۲	/۸۵ ۱۳	۲/۱	٤/۷	/۵۷ ۱۳	/۷۱ ۲٦	/۸۲ ۱٦	/۸٦ ۸٤

در جدول (۱۰) مقایسه ترکیب کانی‌ها در نمونه‌ها به ترتیب فراوانی به روش دیفراکسیون اشعه ایکس بیان‌شده است.

جدول ۱۰- مقایسه ترکیب کانی‌ها در نمونه‌ها به روش دیفراکسیون اشعه ایکس

نمونه	کانی‌های موجود به ترتیب فراوانی	نمونه	کانی‌های موجود به ترتیب فراوانی
۱	کوارتز، کانی آهن‌دار، کلسیت	۷	کوارتز، کانی آهن‌دار، کلسیت
۲	میکروکلین، کوارتز، کانی آهن‌دار، کلسیت	۸	میکروکلین، کوارتز، کلسیت، کانی آهن‌دار
۳	کوارتز، کلسیت، میکروکلین	۹	کوارتز، کلسیت، میکروکلین
٤	کوارتز، کلسیت، کانی آهن‌دار، میکروکلین	۱۰	میکروکلین، کوارتز، کانی آهن‌دار، کلسیت
٥	میکروکلین، کانی آهن‌دار، کوارتز، کلسیت	۱۱	کوارتز، کلسیت، میکروکلین
٦	کوارتز، کانی آهن‌دار، کلسیت، میکروکلین	۱۲	کوارتز، کلسیت، میکروکلین

• بررسی تأثیر خصوصیات بافت رسوبی آبی و بادی شرق زهک با استفاده از روش گرانولومتری

به اندازه‌گیری قطر ذرات رسوبی و تعیین درصد وزنی آن‌ها دانه سنجی یا گرانولومتری گفته می‌شود (سعادتمند و همکاران ۱۳۹۲)؛ بنابراین جهت تحلیل رسوبات بادی و جریان آب سطحی و رژیم طغیانی رودخانه هیرمند و نیاتک درگذشته و زمان حاضر، اقدام به بررسی رسوبات بادی شرق زهک می‌شود. این فرآیند شامل سه مرحله برداشت میدانی، مرحله آزمایشگاهی و مراحل تحلیلی است. این مراحل در یک نوبت بررسی رسوبات شرق که در وضعیت کنونی و نیز بررسی رسوبات این منطقه در یک مقطع عرضی انجام‌شده و نتایج مورد تحلیل قرارگرفته است. هم‌چنین به‌منظور شناخت بهتر از ویژگی‌های رسوبات برداشت‌شده در این منطقه، اقدام به محاسبه شاخص‌های رسوبی می‌شود که موارد زیر را شامل شده است:

اندیس کودفی کلاسمان (اندیس کرومبین): برای تعیین درجه منظم بودن یا نامنظم بودن رسوب از این شخص استفاده‌شده که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Q=Q75-Q25\ /2 \quad (۱)$$

که در آن، Q اندیس کودفی کلاسمان و Q75 و Q25 به‌ترتیب ۷۵ و ۲۵ درصد قدر ذرات رسوب است. در این شاخص هرچه عدد به‌دست آمده کوچک‌تر باشد، منحنی منظم‌تر است (معتمد، ۱۳۸۲: ۹۵).

اندیس قطر مؤثر (ضریب نامنظمی رسوب): جهت تعیین میزان تخلخل رسوبات از این شاخص به شرح زیر استفاده می‌شود.

$$I=Q60/Q10 \quad (۲)$$

در این رابطه اندیس تراکس و Q60 و Q10 و به‌ترتیب ٦۰ و ۱۰ درصد قطر ذرات رسوب است. هرگاه عدد به‌دست‌آمده از دو بزرگ‌تر باشد رسوبات منظم خواهد بود (موسوی حرمی، ۱۳۹۱).اندیس تراکس: این شاخص برای بررسی پلاژهای دریایی، دریاچه‌ای و رودخانه‌ای بوده و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$Q75/(Q50) \times So=Q25 \quad (۳)$$

این رابطه So اندیس تراکس و Q75 و Q25 و Q50 به‌ترتیب ۷۵ و ۲۵ و ۵۰ درصد قطر ذرات رسوب است (موسوی حرمی، ۱۳۹۱).

اندیس نظام‌یافتگی رسوب: این شاخص نحوه انتشار و اندازه دانه‌های رسوبی را نسبت به متوسط آن معلوم می‌دارد. این شاخص از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\&I=\&84-\&16/4+\&95-5/6.6 \quad (٤)$$

در این رابطه &Iشاخص نظام‌یافتگی رسوب، &84، &16، &95، &5 به‌ترتیب ۸٤، ۱٦، ۹۵ و ۵ درصد قطر ذرات رسوبات است. درصورتی‌که عدد به‌دست‌آمده بین صفر تا ۰/۳۵ باشد رسوبات خیلی منظم، بین ۰/۳۵ تا ۰/۵۰ منظم، بین ۰/۷۱ تا ۱ منظم متوسط، بین ۱ تا ۲ نامنظم و بین دو تا ٤ بسیار نامنظم خواهند بود (معتمد، ۱۳۸۲).

اندیس نامتقارنی: در این شاخص غلبه ذرات درشت و یا ریز در مجموعه رسوبی نسبت به متوسط اندازه دانه‌ها مشخص می‌شود که از فرمول زیر به دست می‌آید.

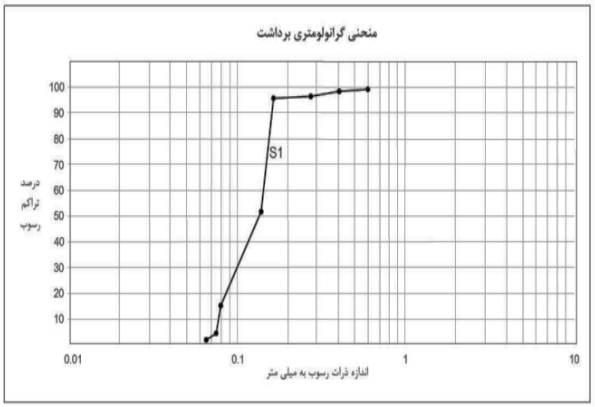
$$Ski=\frac{\&16+\&84-2\&50}{2(\&84-\&16)}+\frac{\&16+\&5+\&95-2\&50}{2(\&95-\&5)} \quad (۵)$$

در رابطه فوق Ski اندیس نامتقارنی، &95، &84، &50 و &5به‌ترتیب ۹۵، ۸٤،۵۰، ۱٦ و ۵ درصد قطر ذرات رسوب است. عدد به‌دست‌آمده در صورت مثبت بودن فراوانی ذرات ریز و در صورت منفی بودن فراوانی ذرات درشت را نشان می‌دهد. هم‌چنین درصورتی‌که عدد به‌دست‌آمده بین ۰/۳۰ تا ۱ باشد نامتقارنی شدید به‌طرف ذرات ریز، بین ۰/۱۰ تا ۳ نامتقارنی متوسط به‌طرف ذرات ریز، بین ۰/۱۰ - تا ۰/۱۰ دانه‌بندی نمونه و متقارن یا متعادل، بین ۰/۱۰- تا ۰/۳۰- نامتقارنی زیاد به‌طرف ذرات درشت و بین ۰/۳۰- تا ۰/۱۰- نامتقارنی بسیار زیاد به‌طرف ذرات درشت‌دانه است (نگارش، فتوحی، سیستانی، ۱۳۹۳).

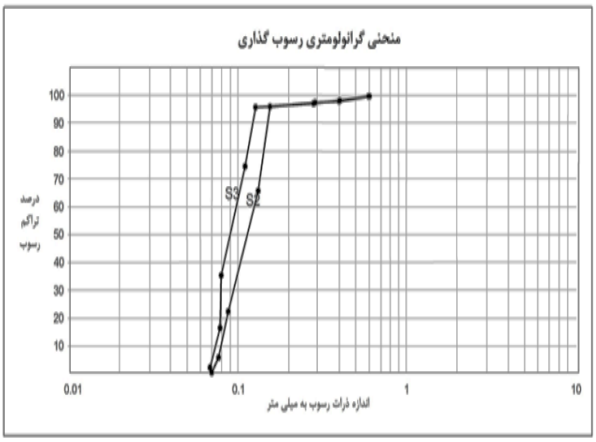
•گرانولومتری رسوبات بادی شرق زهک

برای بررسی رسوبات بادی شرق زهک از سه‌نقطه این منطقه، برداشت نمونه‌های رسوب صورت گرفته است. از نیاتک به‌عنوان نقطه برداشت و حرکت رسوبات بادی به

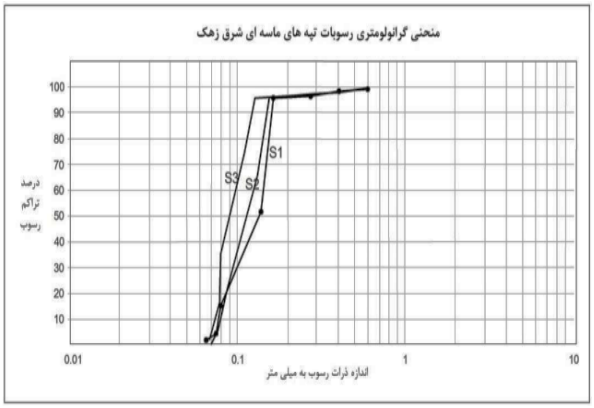
منطقه یک نمونه (S1)، دومین نمونه را از برخان‌های روستای جهانگیر در قسمت جنوبی منطقه موردمطالعه (S2)، و سومین نمونه را از تپه‌های ماسه‌ای نوار مرزی شاهگل (S3)، به‌عنوان نقاط رسوب‌گذاری رسوبات بادی منطقه موردمطالعه برداشت‌شده و سپس اقدام به‌رسم منحنی گرانولومتری شده است (اشکال ۱۳، ۱۴ و۱۵).



شکل ۱۳- منحنی گرانولومتری برداشت رسوب نیاتک



شکل ۱۴- منحنی گرانولومتری رسوب‌گذاری روستای جهانگیر و نوار مرزی شاهگل



شکل ۱۵- منحنی گرانولومتری رسوبات تپه‌های ماسه‌ای شرق زهک

در جدول (۱۱) تعیین شاخص‌های رسوبات شرق زهک با استفاده از شاخص‌های تعیین‌شده منحنی گرانولومتری بیان‌شده است.

جدول ۱۱- تعیین شاخص‌های رسوبات شرق زهک با استفاده از منحنی گرانولومتری

نقطه	اندیس کودفی کلاسمان	اندیس تراکس	اندیس قطر مؤثر	اندیس نظام‌یافتگی رسوب	اندیس نامتقارنی
S1	۰/۰۲	۰/۸۱	۱/۸۷	۰/۰۲۸	۰/۱۵۹
S2	۰/۰٤	۰/۹۷	۱/۳۷	۰/۰۲۱	۰/۰۹۳
S3	۰/۰۲	۰/۹٦	۱/٤٦	۰/۰۲۷	۰/۲۳۱

نتایج به‌دست‌آمده از منحنی‌های گرانولومتری نشان می‌دهد به دلیل اینکه دارای خمیدگی زیادی در وسط منحنی است، جنس بیش‌تر این نوع رسوبات با مشاهدات میدانی و انجام‌گرفته و بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی از نوع رس، سیلت و ماسه ریزبافت است که به دلیل آبرفتی بودن، در برابر فرسایش بادی و آبی بسیار فرسایش پذیر هستند. در موقع سیلاب رودخانه، رسوبات از محیط دیگری به منطقه وارد می‌شوند و پس از فرونشینی سیلاب در یک محیط آرام، رسوب‌گذاری کرده است و ازآنجایی‌که به دلیل ریزدانه بودن خاک، مانع نفوذپذیری در زمین می‌شود، در موقع خشک شدن آب به‌وسیله باد، جابجا و فرسایش پیدا می‌کنند. هم‌چنین انحنای این منحنی‌ها به سمت بالا به دلیل افزایش ذرات درشت در رسوبات بوده که نشان از طغیانی و نامنظم بودن جریان آب در سرشاخه نیاتک و رودخانه هیرمند و حمل آن‌ها از کوه‌های هندوکش افغانستان است و ذرات درشت را در ابتدای رودخانه هیرمند ته‌نشین می‌کند و ذرات ریز را با خود به دشت سیستان و دریاچه هامون می‌آورد. در قسمت بالای منحنی‌ها خطوط به هم متصل و نزدیک به هم شده‌اند که علت افزایش ذرات ماسه در رسوبات بوده و نشان از طغیانی و نامنظم بودن جریان آب در منطقه دارد درنتیجه آب ورودی به منطقه نامنظم و زودگذر و به‌صورت سیلابی است و به‌علت ریزبافت بودن خواب بعد از خشک شدن آب سریع توسط باد جابجا می‌شود. هم‌چنین بررسی‌ها و محاسبات انجام‌شده درروی منحنی گرانولومتری این رسوبات نیز مشخص می‌کند که در سه نمونه فوق، دانه‌بندی نسبتاً منظم رسوبات و متمایل به ذرات ریز، قطر ذرات نامنظم و نامتقارنی متوسط به‌طرف ذرات ریز است که وضعیت نفوذپذیری و افزایش فرسایش آبی و بادی را مشخص می‌نماید.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

همواره در مناطق خشک و نیمه‌خشک فعالیت تپه‌های ماسه‌ای مشکلات فراوانی را برای مردم محلی ایجاد کرده است؛ بنابراین، به‌منظور کاهش خسارات ناشی از آن، شناسایی تپه‌های ماسه‌ای فعال و تثبیت آن‌ها امری ضروری است. مساحت این پهنه‌ها روزبه‌روز در حال

افزایش است. در بسیاری از مناطق، جهت گسترش آن‌ها به سمت شهرها، روستاها و تأسیسات است. علاوه بر این، طوفان‌های ماسه‌ای در این مناطق خود معضلی انکارناپذیر به‌شمار می‌رود که سالانه خسارت‌های جبران‌ناپذیری را برای کشاورزی، صنعت و حتی سلامت ساکنان محل به همراه دارد. مشکلات ناشی از فرسایش تشدیدی خاک و رسوب ناشی از آن، تنها به مشکلات درون منطقه‌ای در تخریب منابع طبیعی پایه مانند کاهش عمق و میزان مواد آلی خاک، تخلیه مواد موردنیاز و در دسترس گیاه ختم نمی‌شود، بلکه مشکلات برون منطقه‌ای مانند رسوب‌گذاری در مزارع، دشت‌های سیلابی و مجموعه‌های آبی، افزایش گل آلودگی آبراهه‌ها، کاهش کیفیت آب، خسارت به آبزیان و اختلال در فرایند ژئومورفولوژیکی سیستم‌های رودخانه‌ای را نیز در برمی‌گیرد. (Collins et al, 2003 & Russell et al, 2001 & Collinset al, 2001 & Zapata, 2003 & Owens and Collins, 2006 & Juracek and Ziegler, 2009)؛ به‌طوری‌که طبق برآوردهای صورت گرفته، سالانه بیش از ۲۳ میلیارد تن خاک حاصل‌خیز زمینه‌ای زراعی از دسترس خارج می‌شود که این به معنی تخریب خاک موجود در جهان با نسبت هفت درصد در هر دهه است. بنابراین، پیش‌بینی می‌شود که بیش از یک ربع از خاک‌های جهان طی ٤٥ سال آینده حاصل‌خیزی خود را از دست دهند(Zapata, 2013). مخاطرات ناشی از جابجایی تپه‌های ماسه‌ای از حوادث استثنائی و تأسف باری است که همواره جوامع انسانی، گیاهی و به‌طورکلی اکولوژی محیط را دستخوش تغییرات شگرف قرار می‌دهد نتایجی که از تحقیق حاضر به‌دست‌آمده عبارت‌اند از:

تجزیه‌وتحلیل مشاهدات باد در ایستگاه‌های سینوپتیک موردبررسی زابل، زهک، هامون، هیرمند در دوره اقلیمی موردنظر نشان داد که مهم‌ترین بادهای غالب و تعیین‌کننده حرکت تپه‌های ماسه‌ای در دشت سیستان بادهای ۱۲۰ روزه هستند که با وزش خود از اواخر اردیبهشت‌ماه تا اوایل مهرماه نقش مهمی درحرکت رسوبات به درون مخازن آبی چاه نیمه دارند. بررسی‌های میدانی نشان داد که در خشکسالی چندساله اخیر حرکت تپه‌های ماسه‌ای به‌اندازه‌ای زیاد بوده که باعث مدفون شدن تعداد زیادی از خانه‌های مسکونی شده و اراضی کشاورزی مورد هجوم قرارگرفته است. خسارات وارده به تأسیسات و کانال‌های آب‌رسانی کم‌تر از مراکز دیگر نبوده به‌طوری‌که جبران این‌همه خسارت هزینه و زمان زیادی را بر جامعه تحمیل خواهد نمود.با توجه به مطالعات میدانی، ۳ سه نوع رسوب در منطقه گسترده شده است. رسوبات دانه‌درشت در (جنوب شرق سیستان) رسوبات متوسط (بین رسوبات رودخانه و دریاچه) و رسوبات دانه ریزتر دریاچه‌ای، که هرچه از دریاچه دورتر می‌شویم رسوبات ریزتر می‌شوند. رسوبات ماسه‌بادی به دلیل قلت نزولات جوی، خشکی هوا، فقر پوشش گیاهی، ریزدانه بودن خاک و فعالیت باد شدید به‌سرعت جابجا می‌گردند.ریزبافت بودن ذرات به‌علت آبرفتی بودن خاک دشت سیستان سبب شده تا این ذرات با یک وزش باد ملایم حرکت نمایند. با توجه به این‌که رسوبات منطقه ریزدانه بوده و از حدود ٦٠٪ رس، ۳۰ ٪ سیلت و ۱۰ ٪ ماسه تشکیل‌شده، لذا بستر بسیار مناسبی برای طوفان‌های گردوخاک و ماسه فراهم‌شده است.گرچه در سال‌های اخیر به‌علت خشکسالی، باد اثرات منفی زیادی به منطقه وارد نموده، ولی بالقوه می‌تواند به‌عنوان منبع عظیم استحصال انرژی محسوب شود.جابه‌جایی ماسه‌ها به سمت جنوب و جنوب شرق رودخانه‌های نیاتک و سیستان موجب می‌شود تا روستاهای شرق شهر زهک، غرب دهستان جزینک و نیز چاله‌های چاه نیمه دائماً در معرض ماسه‌های روان باشند.از دیگر مخاطرات ماسه‌ها، تخریب مساکن و مدفون شدن روستاها، چاله شدن یا انباشته شدن ماسه در اراضی، تهدید تأسیسات زیربنایی است از قبیل جاده‌ها، آبراه‌ها و به‌ویژه مخازن چاه نیمه که منبع حیات منطقه‌اند.هم‌چنین عملیات میدانی در منطقه موردمطالعه مشخص نمود، رسوبات بستر دریاچه‌های سه‌گانه هامون طی دوره خشکسالی به‌عنوان مهم‌ترین کانون‌های تغذیه طوفان‌های گردوغباری بوده که از این میان بستر خشکیده هامون پوزک نقش مهم‌تری در انتقال بیش‌تر رسوبات به داشته است. با توجه به بادهای۱۲۰روزه سیستان و شدت آن و خشک بودن سطح دریاچه در فصل تابستان، فرسایش بادی در شمال چاه نیمه چهارم از شدت زیادی برخوردار است و باعث پراکندگی رسوبات و افزایش گردوغبار در سطح منطقه می‌شود. منشاء رسوبات موجود منطقه بر اساس نتایج تحقق بادهای فرساینده منطقه بوده که جهت شمال تا شمال غربی با زاویه ۳۳۰ تا ۳٦۰ درجه (باد۱۲۰روزه سیستان) دارند و مهم‌ترین رخساره‌های برداشت، اراضی رهاشده، اراضی ماسه‌زار و عرصه‌های شور و پف‌کرده بستر دریاچه هامون و دشت‌های شمالی (کشور افغانستان) هستند. تفسیر نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای در سال‌های مختلف نشان می‌دهد که سرعت و جهت حرکت تپه‌های ماسه‌ای منطقه متناسب با باد غالب ۱۲۰روزه و در جهت شمال غربی - جنوب شرقی است و علاوه برآن، ارتفاع تپه‌های ماسه‌ای نقش دارد.بررسی میزان خسارات وارده به مناطق روستایی نشان می دهد که سالانه مناطق وسیعی از جمله روستاها، جاده ها و تاسیسات تحت تاثیر ماسه های

روان قرار می‌گیرد که این روند در سال‌های آتی مناطق بیشتری را در بر می گیرد. میزان جابجایی تپه های ماسه ای به اندازه زیاد بوده که باعث مدفون شدن تعداد زیادی از روستاهای منطقه مورد مطالعه، تاسیسات، زمین‌های کشاورزی، جاده ها و باعث بیکار شدن تعداد زیادی از کشاورزان منطقه شده است. خسارات وارده به سکونتگاه-های روستایی کمتر از بخش های کشاورزی و تاسیسات نبوده است؛ بنابراین بر اثر حرکت ماسه‌های روان در طی سال های اخیر چندین روستا در معرض نابودی ناشی از هجوم شن‌ها و ماسه‌های روان قرار گرفته است.

جبران این همه خسارت هزینه بر و زمان زیادی را بر جامعه تحمیل کرده است. کمی بارش، تبخیر زیاد، سفت و دانه ریز بودن رسوبات، نبود موانع ارتفاعی و درصد بالای وزش بادهای بیش از آستانه در منطقه، نبود گونه پوشش گیاهی روی تپه‌های ماسه‌ای و خشکسالی‌های چند ساله اخیر، تغییرات زیاد تپه‌های ماسه‌ای به سمت روستاها را تایید می‌کنند.

منابع

- احمدی، ح.، ۱۳۷۰. ژئومورفولوژی کاربردی. جلددوم، بیابان – فرسایش بادی، انتشارات دانشگاه تهران، شماره ۲۳۹۶ صفحه ۵۷۰.
- اختصاصی، م، ر.، دادفر، ص.، تجملیان، م.، شاه بندری، ر.، ۱۳۹۸. بررسی رابطه شاخص همگنی حمل ماسه با شکل تپه‌های ماسه‌ای (UDI)، دومین همایش فرسایش بادی و طوفان‌های گردوغباری. ص ۳۵ – ۴۵.
- اداره کل منابع طبیعی استان سیستان و بلوچستان، طرح اجرایی تثبیت شن و بیابان زدایی زابل در سال های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳.
- اسفندیاری درآباد، ف.، نظافت تکله، ب.، شهبازی شرفه، ز.، ۱۴۰۱. شبیه سازی تغییرات رودخانه بالیخلی چای با استفاده از مدل سزار (CAESAR)، نشریه جغرافیا و روابط انسانی، زمستان ۱۴۰۱، دوره ۵، شماره۳، صص۱-۱۵.
- جدیدالاسلامی، م.، ۱۳۸۹. بررسی ارتباط ژنتیکی وکانی شناسی عناصر تشکیل دهنده تپه‌های ماسه‌ای (شرق دشت سیستان)، چهارمین کنگره بین المللی جغرافیدانان جهان اسلام، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- جدیدالاسلامی، م.، اسفندیاری درآباد، ف.، اصغری سراسکانرود، ص.، عابدینی، موسی، مصطفی‌زاده، ر.، ۱۴۰۲. ارزیابی مخاطرات نهشته‌های بادی دشت سیستان و تأثیر آن بر مخازن حیاتی چاه نیمه زابل. جغرافیا و روابط انسانی، بهار ۱۴۰۲، دوره ۵، شماره۳، صص۱-۱۵.
- حیدری نسب، م.، ۱۳۸۶. نقش باد در ایجاد لندفرم‌های بادی در منطقه نیاتک سیستان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا وبرنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- خسروی، م.، ۱۳۸۴. طرح پژوهشی اثرات اکولوژیکی و زیست محیطی بادهای ۱۲۰ روزه در سیستان، سازمان حفاظت محیط زیست استان سیستان و بلوچستان، مشاور طرح پژوهشکده علوم زمین و جغرافیای دانشگاه سیستان و بلوچستان. سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، نقشه های توپوگرافی منطقه با مقیاس های ۱:۵۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰۰
- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۴۰۱. ضوابط و دستورالعمل‌های پردازش رقومی تصاویر ماهواره‌ای +ETM در استخراج نقشه کاربری اراضی و پوشش اراضی، مطالعات ساماندهی دشت، وزارت جهاد کشاورزی، ص ۱۸۴.
- سلیقه، م.، ۱۳۸۲. توجه به باد در ساخت کالبد فیزیکی شهر زابل، مجله جغرافیا و توسعه. شماره۲.
- معتمد، ا.، ۱۳۷۹. ژئومورفولوژی، انتشارات سازمان سمت. جلد سوم. تهران.
- مهندسین مشاور جامع ایران، ۱۳۸۳. اداره کل منابع طبیعی استان سیستان و بلوچستان.
- موسوی ح، ر.، ۱۳۷۷. رسوب شناسی، انتشارات آستان قدس رضوی، چاپ پنجم، مشهد.
- نورزهی، ف.، ۱۳۸۲. بررسی اثرات تخریبی سیلاب‌های رودخانه هیرمند، پایان نامه کارشناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

- Armof, K. Tsoar, H. and Lumberg, D.G., (2019). Dynamics if nebkhas superimposed on a parabolic dune and their effect on the dune dynamics, Journal of Arid environments, and 72(10): 21-29.
- Bruner, U. and Koch, J. 2018. A Synoptic analysis of the meteorological conditions affecting dispersion of pollutants emitted from tallstacksin the coastal plain of Israel. 27(40): 537 – 543.
- Downing, T. E., and Bakker, K., 2019. Drought Discourse and Vulnerability, Environmental change unit, University of Oxford, Oxford OX 13 TB, UK.
- Fawzia, I. Moursy, F. Gaber E. I., and Samak, M. (2007).Sand drift potential in El-Khanka area. Egypt. Department of Nathural Resources. Institute of African Research and Studies. Cairo University. Giza. Egypt. Water, Air and Soil Pollution. 13(6): 225-242.
- Fawzia, R. VanPelt, R. S., Zobeck, T.M., and Ritchie, G. (2020). Source of sand dunes of southern California and northwestern Sonora, Mexico, Geological society of American Bulletin. 8(12): 531-634.
- Fryberger, E. Devrieszim, S. Vandijk, D. and Yurk, B. (2018). Patterns of wind flow and Aeolian eposition on a parabolic dune on the southeastern shore of Lake Michigan, Geomorphology. 10(5): 147-157.
- IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change, (2007). Summary for PolicyMakers. The Physical Science Basis.Camb.Univ. Press. ISBN 0-444-42753-8, 7: 165-177.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, (2007). Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Summary for Policy Makers. The Physical Science Basis. Camb.Univ. Press. ISBN 0-444-42753-8, 7: 165-177.
- IPCC, Solomon, S, Qin, D. and Manning, M. Chen, Z. Marquis, M. Climate change, 2007. The physical science basis, Working Group I Contribution to the IPCC fourth assessment report.
- NOAA, Dust storms, Sand storms and related, NOAA activites in the middle East, NOOAA, Magazine Online, pp: 1- 4:2003
- Raoul, L. Bielders, P.A., Lamers, W. and Karlheinz, M. (2019). Wind erosion control technologies in the west of Rican Sahel: the Effectiveness of windbreaks- Mulehing and soil tillage- and the Perspective of farmers – Anna arid zone. 3(40): 440-457.
- Vesterbe, H.k., Juonsef, M.L., and Birmafa, Y. (2022). The most destructive environmental hazards on a global scale. Mountain Research and Development. 14(25): 6-11.
- Washington, R. M. Tood, N. J Middleton and A. S. Goudie. 2000. Global dust storm source areas determined by total ozone monitoring spectrometer and ground observations. School of Geography and the Environment University of Oxford. Akshin, Z. SH., Harazono, Y. and Leprince, D. (2022). Wind-Sandy Environment and the effects of Vegetation on Wind Breaking and Dune Fixation in Horqin Sandy Land, China, 41(5): 1-21.
- Youlin, H. Overton, M. and Harmon, R., S. (2019). Geospatial Analysis of a Coastal Sand Dune Field Evolution: Jockeys Ridge, North Carolina Geomorphology, 72(1): 204-221.
- Youlin, Y. (2012). Black windstorm in northwest Chin: A case study of the strong sand – dust storms on May 5th 1993, Global Alarm: Dust and sand storm from the world's drylands, United Nations, 45(13):69

Assessing the hazards caused by the movement of sand dunes in the Sistan plain (Zabol) and its impact on rural settlements

Mahdi jadidoleslami ghaleno[1]; Fariba Esfandiari Dorabad[2*]; Sayyad Asghari Seraskanroud[3]; Mousa Abedini[4]; Raoof Mostafazadeh[5]

1- PhD student in Professor of Geomorphology, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Iran
2- Professor of Geomorphology, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili Ardabil, Iran
3- Professor of Geomorphology, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
4- Professor of Geomorphology, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
5- Associate Professor of Natural Resources Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

*Email Address: Esfandyari@uma.ac.ir

Abstract

The occurrence of drought in the Sistan region and the drying up of the Hamon Lake, as well as the 120-day winds, have created suitable conditions for wind erosion and caused a lot of damage to the natural and human life of the region. These factors have caused the movement of loose sand in the region at a high speed and the sand dunes to expand a lot. Field studies indicate that during frequent droughts in the Sistan region, the movement of sand dunes has been so great that it has caused the burial of a large number of rural houses and the loss of agricultural land, which has led to the migration of the natives of the region in recent years. has followed The dangers caused by the displacement of sand dunes at the level of villages include threats to the health of residents, burial of villages, destruction of soil and public infrastructure, etc. Several factors such as strong and permanent winds, the low slope and low complexity of the plain, the fineness of the soil, successive droughts and the lack of vegetation play a role in the amount of sand movement in the Sistan plain. The aim of this study is to investigate the changes in the sand dunes of Sistan plain by using time series mineralogy and using Landsat satellite data and to propose some solutions to reduce the movement of sand dunes and in turn, reduce its destructive effects on the lives of the residents of the area. The research was conducted using Landsat satellite images with resolution of 30 meters from 1997 to 2020 to investigate the changes of sand dunes in the Sistan plain. According to the results, the extent of sand dunes in August increased from 8.23% in 1997 to 11% in 2020, and in July from 8.83% to 12.9% of the total area of the studied basin, which is almost the trend. It shows a significant increase. Also, the changes in the area of Hamon Lake from 1997 to 2020 show that the lake's water volume has decreased greatly, and this indicates that the expansion of sand dunes in different years is directly related to the changes in the lake level in different times, and the reason for the displacement of sand dunes is the erosive winds of the region. Which have a north to northwest direction with an angle of 330 to 360 degrees (the 120-day wind of Sistan) and the most important facies of harvesting are the saline and puffy areas of the Hamun lake bed and the northern plains.

Introduction

On a global scale, the occurrence of storms and floods are among the most destructive natural hazards (Vesterb and et all, 2022), as most accidents are caused by these two hazards (Yakshin and et all, 2022). Hazards mean natural events that potentially cause danger to humans and what is valuable to them. Hazard has the potential to cause damage, for human health, human, economic, educational activity, damage to property, damage to the environment, loss of flora and fauna, pollution and insecurity of natural disasters are dangerous (Rahimi Harabadi, 2019). The active and dynamic nature of the sand dunes causes the movement of sands towards the settlements to be more frequent and creates many dangers such as threats to the health of residents, burial of villages, destruction of soil and public facilities, and causes financial losses, migration of residents, and finally, a human disaster. (Jadidoleslami, 2019). Therefore, in order to plan fundamentally to solve the problem, it is necessary to analyze the origin of the sands, the role of the morphometric parameters of the sand dunes in the extent of their displacement, and considering the fact that the area is residential, the risks of the sands are identified and solutions are provided to reduce the risks. Sand dunes in the realm of the wind process are considered to be one of the most dynamic geomorphic phenomena on the earth's surface, which are affected by the characteristics of wind speed, direction and frequency on the one hand, and on the other hand by the characteristics of the earth's surface and sedimentary materials (Abbasnejad

and Zahab Nouri, 2013). The results of studies on a scale of 1:250,000 show that the sand dunes of Iran include 11 sand seas and 39 hill fields that cover approximately 1.1 million hectares (Abbasi et al., 2019). Sandstorms are one of the most important weather phenomena that spread in many deserts and dry areas of the world, and in recent years, they have received a lot of attention, and every year these incidents cause a lot of damage and casualties in all parts of the world.

Methodology

In order to carry out this research, first, with direct field observations and field operations, to determine the harvesting areas, sampling was done from the transport areas and possible harvesting areas, and based on the mineralogical characteristics and the examination of the genetic relationship of the samples, the primary origin of the sediments was investigated. In order to identify the harvesting areas, sampling was done from the place of accumulation of sands, from different points of possible harvesting areas, and the genetic relationship (similar properties) of the three areas (harvesting, transportation and sedimentation) was investigated through the physical and chemical analysis of the sediments. Took Also, four synoptic stations (Zabol-Zahak-Hirmand-Hamon) were also studied.

Conclusion

According to the presented results, the level of heavy metals in the air of Enqelab Street is not hazardous to the health of the residents. Therefore, there is no need to spend enormous expenses in this area. Nevertheless, the health of permanent and temporary residents is threatened by chromium and arsenic due to their high rate of carcinogenesis. The outcome of these investigations indicates that despite recording few different values in some places, the air pollution levels are equal in whole the area, from Enqelab Square to Imam Hossein Square. However, the air pollution level of ValiasCr rossroads is relatively considerable. This difference only has resulted from high volume of traffic in the crossroads. Unfortunately, traffic of students in this area is so heavy that solving Valiasr Crossroad’s traffic issues are considered as an important priority.

Key words: risk assessment; sand dunes; Sistan plain; 120-day winds; wind erosion