Journal of Natural Environment Hazards
University of Sistan and Baluchestan
Print ISSN: 2676 - 4377 Online ISSN: 2676 - 4385
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

Journal of Natural Environmental Hazards, Vol.13, Issue 42, December 2024

Analysis of Aeolian Deposit Processes and their Hazards in Sistan Plain

Mahdi Jadidoleslami Ghaleno[1*]

1. *Corresponding Author*, PhD in Natural Geography (Geomorphology), Faculty of Social Sciences, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 25 December 2023
Revised: 02 June 2024
Accepted: 22 June 2024

Keywords:
Hazards, Aeolian Deposits, Laboratory Studies (XRD and XRF), Vegetation Cover.

ABSTRACT

This research aims to evaluate the intensity of wind erosion and analyze the deposit processes in the Sistan Plain, focusing on two critical loci, Niatak and Jazink, covering approximately 131,660 hectares in southeastern Zabol, located in northern Sistan and Baluchestan Province in southeastern Iran. The key objectives of the research include providing appropriate solutions to minimize the damage caused by aeolian deposits and their secondary damage and identifying the hazards due to aeolian deposits in construction, agriculture, roads, and the damage incurred in the region. Wind-blown sand hazards as major natural threats in the Sistan Plain have increased in frequency and intensity in recent years. Due to climate change and the droughts of the past two decades, the vegetation cover has weakened in the research area, increasing its susceptibility to erosion. Therefore, it is essential to further evaluate the occurrence of this hazard and the resultant increase in vulnerability and associated financial and human losses. The research uses field studies, aerial photo analysis, satellite image evaluation over different periods, assessment of the regional general morphology and prevailing winds (120-day winds), geomorphological mapping of the area, as well as deposit sampling (sedimentology and related diagram plotting), and laboratory studies (X-ray diffraction (XRD), X-ray Fluorescence (XRF), and granulometry tests, morphoscopy, and statistical parameter determination). Comparative analysis and data analysis will be performed after conducting the relevant tests. Topographic maps, geological maps, and computer software such as ENVI and GIS were used in this research. The research results indicate that sand transport and prevailing wind directions are generally from northwest to southeast. This pattern, along with the centrality of existing dunes and 120-day winds, has the greatest effect on the region. Various factors such as strong and persistent winds, the flat and unobstructed nature of the plain, fine-grained soil, successive droughts, and poor vegetation cover play crucial roles in the extent of sand displacement across the Sistan Plain and the entry into the Chahnimeh reservoirs.

Cite this article: Jadidoleslami Ghaleno, M. (2024). Analysis of Aeolian Deposit Processes and their Hazards in Sistan Plain. Journal of Natural Environmental Hazards, 13(42), 71-90. DOI: 10.22111/jneh.2024.47555.2014

© Mahdi Jadidoleslami Ghaleno
Publisher: University of Sistan and Baluchestan
DOI: 10.22111/jneh.2024.47555.2014

* Corresponding Author Email: Eslami@staff.usb.ac.ir

مخاطرات محیط طبیعی
شاپا چاپی: ۴۳۷۷-۲۶۷۶ شاپا الکترونیکی: ۴۳۸۵-۲۶۷۶
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۳، شماره ۴۲، دی ۱۴۰۳

تحلیل فرایندهای رسوبات بادی و مخاطرات آن در دشت سیستان

مهدی جدیدالاسلامی قلعه‌نو[1*]

۱. دکتری جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل (نویسنده مسئول)

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۰۴

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۳/۱۳

تاریخ پذیرش : ۱۴۰۳/۰۴/۰۲

واژه‌های کلیدی:
مخاطرات، نهشته‌های بادی، مطالعات آزمایشگاهی (XRD وXRF)، پوشش گیاهی.

چکیده

هدف از انجام این پژوهش ارزیابی شدت وقوع فرسایش بادی و تحلیل فرآیندهای رسوب‌گذاری دشت سیستان در دو کانون بحرانی نیاتک و جزینک با وسعتی در حدود ۱۳۱۶۶۰ هکتار در جنوب شرقی زابل واقع در شمال استان سیستان و بلوچستان است. از اهداف مهم این پژوهش، ارائه راه‌کارهای مناسب برای به حداقل رساندن آسیب‌های ناشی از مخاطرات نهشته‌های بادی و خسارت‌های ثانویه آن و نیز بررسی و شناسایی مخاطرات ناشی از نهشته‌های بادی در بخش‌های تأسیسات، کشاورزی، جاده‌ها و خسارت‌های وارده به منطقه است. مخاطرات ماسه‌های روان یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی منطقه دشت سیستان است که در سال‌های اخیر تکرار و شدت وقوع آن بیشتر شده است. ازآنجایی‌که به‌دلیل تغییرات اقلیمی و خشک‌سالی‌های دو دهه اخیر در منطقه موردمطالعه پوشش گیاهی تضعیف شده و منطقه پتانسیل فرسایش‌پذیری زیادی دارد و شدت گرفته است؛ بنابراین ضروری است وقوع این مخاطره و درنتیجه افزایش آسیب‌پذیری و خسارت‌های جانی و مالی ناشی از آن بیشتر مورد بررسی قرار گیرد. بازدیدهای میدانی، بررسی عکس‌های هوایی، بررسی تصاویر ماهواره‌ای با دوره‌های زمانی مختلف، بررسی مورفولوژی عمومی و بادهای منطقه (۱۲۰ روزه) و مکان‌یابی به لحاظ مطالعه ژئومورفولوژی منطقه، نمونه‌برداری از رسوبات (رسوب‌شناسی و ترسیم نمودارهای مربوطه) و مطالعات آزمایشگاهی (آزمایش‌های XRD"دیفراکسیون اشعه ایکس" و XRF "فلوئورسانس اشعه ایکس"، آزمایشات گرانولومتری، مورفوسکوپی و تعیین پارامترهای آماری) انجام شد. در این پژوهش از نقشه‌های توپوگرافی، نقشه‌های زمین‌شناسی، نرم‌افزارهای رایانه‌ای ازجمله ENVI و GIS استفاده شد. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد عامل اصلی مخاطرات، بادهای فرساینده منطقه بوده که جهت باد غالب و جهت انتقال ماسه عموماً شمال غربی به جنوب شرقی با زاویه ۳۳۰ تا ۳۶۰ درجه که با مرکزیت تپه‌های ماسه‌های موجود و بادهای ۱۲۰ روزه بیشترین اثر را در منطقه دارد و عوامل متعددی از قبیل وزش بادهای شدید و دائمی، کم شیب و کم عارضه بودن دشت، ریزدانه بودن خاک، خشک‌سالی‌های متوالی و فقر پوشش گیاهی در میزان جابه‌جایی ماسه‌ها در سطح دشت سیستان و ورود به مخازن چاه‌نیمه نقش اساسی دارد..

استناد: جدیدالاسلامی قلعه نو، مهد ی. (۱۴۰۳). تحلیل فرایندهای رسوبات بادی و مخاطرات آن در دشت سیستان. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۳(۴۲)، ۷۱-۹۰. DOI: 10.22111/jneh.2024.47555.2014

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

© مهدی جدیدالاسلامی قلعه‌نو*.

*- مهدی جدیدالاسلامی قلعه‌نو (نویسنده مسئول) Email: Eslami@staff.usb.ac.ir

مقدمه

در مقیاس جهانی، وقوع طوفان‌ها و سیلاب‌ها ازجمله مخرب‌ترین مخاطرات طبیعی محسوب می‌شوند (وسترب[۱] و همکاران، ۲۰۲۳)، چنانکه بیشترین‌حوادث، ناشی از این دو مخاطره است (یاکشین[۲] و همکاران، ۲۰۲۲). طوفان‌های ماسه‌ای و گردوخاک نه‌تنها در ایران بلکه در سایر کشورهای آسیایی، آفریقایی و آمریکایی نیز موجب بروز خسارت‌های مالی و جانی فراوانی می‌شوند (لین[۳] و همکاران، ۲۰۲۱) که از آن جمله می‌توان به طوفان سیاه شمال چین که باعث کشته شدن ۸۵ نفر و تخریب حدود ۳۷۳۰۰۰ هکتار از محصولات زراعی شد (یولین[۴] و همکاران، ۲۰۱۹) و همچنین‌جابه‌جایی سالانه حداقل ۱۶۱ میلیون تن خاک در کانادا (سرکیو[۵]، ۲۰۱۹)، اشاره نمود. خسروی (۲۰۱۰) توزیع عمودی گردوغبار ناشی از توفان در خاورمیانه را با استفاده از مدلNAAPS[۶] در سیستان موردبررسی قرار داد و اشاره کرد که آلایندگی محیط‌های جغرافیایی به‌وسیله هواویزها و گردوغبار ناشی از توفان در خاورمیانه به‌ویژه در سال‌های اخیر به یکی از معضلات زیست‌محیطی در این منطقه تبدیل شده است. فعال و پویا بودن تپه‌های ماسه‌ای باعث می‌شود تا جابه‌جایی ماسه‌ها مخاطرات متعددی از قبیل تهدید سلامت اهالی، مدفون شدن روستاها، تخریب خاک و تأسیسات عمومی را ایجاد کند و سبب خسارت‌های مالی، مهاجرت اهالی و درنهایت، فاجعه انسانی شود. بنابراین 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. با توجه بررسی‌های منشایابی، منشأ رسوبات منطقه بر اساس نتایج پژوهش، بادهای فرساینده منطقه بوده که جهت شمال تا شمال غربی با زاویه ۳۳۰ تا ۳۶۰ درجه (باد ۱۲۰ روزه سیستان) دارند و مهم‌ترین رخساره‌های برداشت، اراضی رهاشده و کشاورزی نامرغوب، اراضی ماسه‌زار و عرصه‌های شور و پف‌کرده بستر دریاچه هامون و دشت‌های شمالی (کشور افغانستان) می‌باشند (جدیدالاسلامی، ۲۰۲۰). برای تعیین منشأ طی دو مرحله جهت‌یابی و مکان‌یابی که جهت‌یابی شامل جمع‌آوری اطلاعات محلی از وضعیت فرسایش بادی، بررسی و مقایسه عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای با دوره‌های زمانی مختلف، بررسی مورفولوژی عمومی و واحد تپه‌های ماسه‌ای و بررسی بادهای منطقه و مکان‌یابی شامل مطالعه ژئومورفولوژی منطقه و نمونه‌برداری از رخساره‌ها و انجام آزمایشات گرانولومتری، مورفوسکوپی و کانی‌شناسی است، منشأ تپه‌های ماسه‌ای تعیین شد. مهم‌ترین بادهای غالب و تعیین‌کننده حرکت تپه‌های ماسه‌ای در دشت سیستان، بادهای ۱۲۰ روزه است که با وزش خود از اواخر اردیبهشت‌ماه تا اوایل مهرماه نقش مهمی درحرکت تپه‌های ماسه‌ای دارند؛ به‌عبارت‌دیگر، رابطه مستقیمی بین سرعت باد و میزان پیشروی تپه‌های ماسه‌ای وجود دارد (نگارش، ۱۳۹۷). بدون تردید اصلی‌ترین عامل فرسایش بادی در منطقه موردمطالعه، وقوع طوفان‌های ماسه براثر وزش بادهای ۱۲۰ روزه سیستان است. شدت وزش این بادها 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 به‌وجود می‌آورد. تپه‌های ماسه

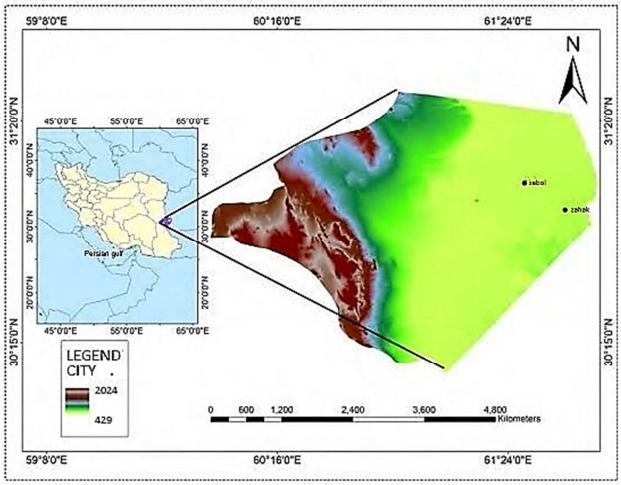
[1] Vesterbe
[2] yakshin
[3] Lin
[4] Youline
[5] Serqui
[6] Naval Aerosol Analysis and Prediction System

متحرک، از خطرات عمده فرسایش بادی هستند که می‌توانند به شبکه‌های حمل‌ونقل، محصولات کشاورزی، منابع طبیعی و مناطق مسکونی خسارت‌های شدیدی وارد سازند (احمدی و همکاران، ۲۰۲۱). برای مدیریت و کنترل فرسایش بادی باید عامل فرساینده (باد) و عامل فرسایش‌پذیر (خاک) موردبررسی دقیق قرار گیرد (محمدی و همکاران، ۲۰۱۹ و آمورف[1] و همکاران، ۲۰۱۹). در کشور ما حدود ۱۳ میلیون تپه ماسه‌ای وجود دارد که بیش از پنج میلیون هکتار آن را تپه‌های ماسه‌ای فعال و نیمه فعال تشکیل می‌دهد (عباس‌زاده و همکاران، ۲۰۱۸؛ تقی‌نژاد و همکاران، ۲۰۱۷ و رائول[2] و همکارن، ۲۰۱۹). رابطه قوی بین میانگین سالیانه شاخص تحرک و میانگین سالانه نرخ انتقال رسوبات بادی وجود دارد، این موضوع نشان می‌دهد که شاخص تحرک تپه‌های ماسه‌ای شاخص مناسبی برای سیستم‌های فرسایش بادی در درازمدت است و می‌تواند به‌طور مؤثری برای اهدافی که به این منظور درنظر گرفته شده است، مورداستفاده قرار گیرد (رفاهی و همکاران، ۲۰۱۸؛ فری برگر[3] و همکاران، ۲۰۱۸ و فازیا[4] و همکاران، ۲۰۲۰). فرایندهای رسوب‌گذاری تابعی از شرایط باد غالب هستند. رژیم بادی با مقدار انرژی باد و تغییرپذیری آن، کنترل قابل‌توجهی روی مورفولوژی و حفظ تغییرات سطح زمین براثر بادها دارد؛ به‌ویژه فراوانی مقدار و جهت بادها که کنترل اصلی روی شکل تپه‌ها و برخورد آن‌ها نشان داده است (صادقی و همکاران، ۲۰۲۰ و باگنولد[5] و همکاران، ۲۰۲۲).

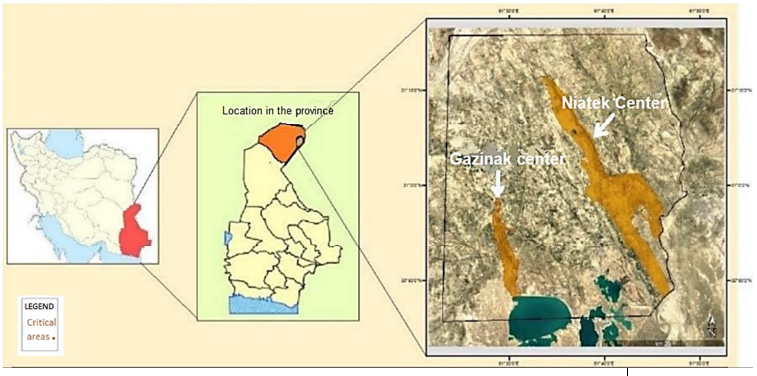
موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه

منطقه موردمطالعه در جنوب غربی مرز مشترک ایران و افغانستان قرار دارد و ازلحاظ موقعیت ریاضی در محدوده جغرافیایی ۳۰ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۵۰ دقیقه عرض شمالی و ۶۱ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۴۵ دقیقه طول جغرافیایی شرقی واقع شده است. (شکل ۱). منطقه موردمطالعه بخشی از محدوده وسیعی است که دشت سیستان نامیده شده و تقریباً بخش غربی حوضه آبریز گسترده‌ای به وسعت حدود ۳۵۰ هزار کیلومتر مربع است. سیستان دارای سه کانون بحرانی فرسایش بادی است که عبارت‌اند از :نیاتک، جزینک و تاسوکی - شیله که درمجموع سطحی معادل ۲۵۲۴۵۳ هکتار را دربرگرفته‌اند. ازآنجاکه کانون تاسوکی - شیله در خارج از محدوده مسکونی سیستان واقع شده و از مخاطرات ناچیزی برخوردار است، بررسی‌ها فقط در کانون‌های نیاتک و جزینک صورت گرفته است (شکل ۲). منطقه موردمطالعه، شرق زهک است که در مسیر کانون بحرانی نیاتک در شرق ایران، شمال استان سیستان و بلوچستان و جنوب شرق سیستان واقع شده و بخشی از مساحتی است که از جنوب به جریکه (Jarica) (محل ورود آن رودخانه هیرمند به ایران) با مختصات ۳۰ درجه و ۴۸ دقیقه و ۶۶ ثانیه عرض شمالی و ۶۱ درجه و ۴۵ دقیقه و ۳۷ ثانیه طول شرقی، از شرق به روستای میلک با مختصات ۳۰ درجه و ۵۸ دقیقه و ۶۶ ثانیه عرض شمالی و ۶۱ درجه و ۴۸ دقیقه و ۳۸ ثانیه طول شرقی و از شمال به نیاتک با مختصات ۳۱ درجه و دو دقیقه و ۱۳ ثانیه عرض شمالی و ۶۱ درجه و ۲۹ دقیقه و ۶۳ ثانیه طول شرقی محدود می‌شود.

[1] Amorfe
[2] Raoul
[3] Friberger
[4] Fazia
[5] Bagnoold



شکل ۱: موقعیت منطقه موردمطالعه در ایران و استان سیستان و بلوچستان و مدل رقومی ارتفاع



شکل ۲: نقشه موقعیت کانون‌های بحرانی منطقه موردمطالعه

داده‌ها و روش‌ها

این پژوهش بر اساس تحلیل آماری و تحلیل فرآیندهای رسوب‌گذاری انجام گرفت. داده‌های رسوب‌دهی متعلق به ایستگاه‌های هیدرومتری (سد زهک با مختصات طول جغرافیایی ۴۲-۴۰-۶۱ و عرض جغرافیایی ۴۶-۵۳-۳۰، جریکه با مختصات طول جغرافیایی ۴۶-۴۵-۶۱ و عرض جغرافیایی ۴۱-۴۸-۳۰) از سازمان آب منطقه‌ای استان سیستان و بلوچستان اخذ گردید و شاخص پوشش گیاهی نیز از تصاویر ماهواره‌های لندست استخراج گردید که از سایت USGS دریافت شد. داده‌های اخذشده بار رسوبی ایستگاه‌های هیدرومتری طی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۴۰۰ در ابتدا مورد بازبینی قرار گرفت. متغیرهای پژوهش شامل مقادیر شاخص پوشش گیاهی (NDVI) به‌عنوان متغیر مستقل و مقادیر کل و ویژه به‌عنوان متغیرهای وابسته است. ابزارهای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و اطاعات شامل نرم‌افزارهای ENVI،GIS و SPSS است. نمونه‌های رسوبی که از مناطق مختلف منطقه با استفاده از روش‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی

(دانه‌بندی، XRD و XRF) برداشت شد مورد آزمایش قرار گرفت که به شرح کامل آن‌ها پرداخته خواهد شد. مراحل انجام پژوهش به شرح زیر بود:

الف- بررسی تأثیر پوشش گیاهی توسط تصاویر ماهواره‌ای لندست و شاخص NDVI

جهت بررسی تأثیر پوشش گیاهی بر جابه‌جایی نهشته‌های بادی از تصاویر ماهواره‌ای لندست و شاخص NDVI در سال‌های ۱۹۹۶، ۲۰۰۱، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۶ استفاده شد. با بررسی انجام‌شده، کاهش پوشش گیاهی در این حوزه از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ به‌وضوح دیده می‌شود و در سال‌های ۱۹۹۶ و ۲۰۱۶ میزان پوشش گیاهی افزایش داشته است. تصاویر از سایت USGS دریافت شد.

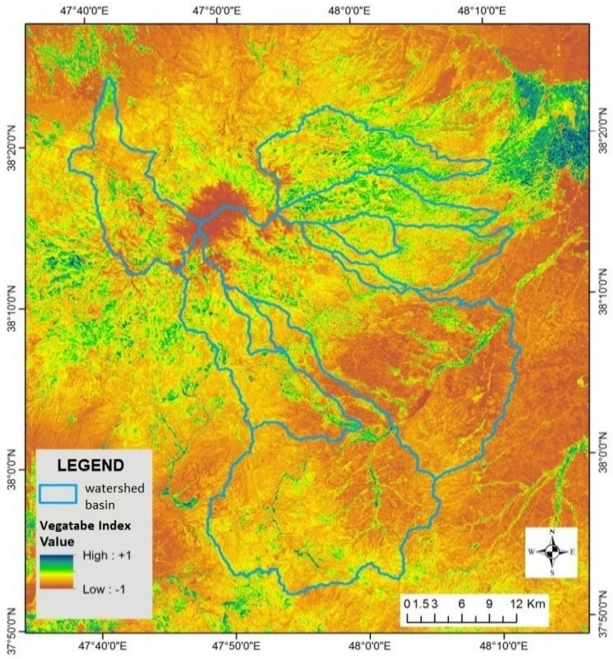
ب- بررسی روابط منطقه‌ای بین رسوب‌دهی و پوشش گیاهی

با در دست داشتن مقادیر رسوب‌دهی کل و ویژه (متغیرهای وابسته) و آماره‌های میانگین، کمینه و بیشینه شاخص NDVI (متغیرهای مستقل) برای هر حوضه، روابط همبستگی میان متغیرها در محیط نرم‌افزار SPSS مورد آزمون واقع شد. پس از آگاهی از کم و کیف روابط همبسته میان متغیرها، آزمون رگرسیونی جهت رسیدن به معادلات برآورد رسوب‌دهی انجام گرفت. با توجه به پیچیدگی روابط میان پوشش گیاهی و رسوب‌دهی، توابع رگرسیونی مختلف شامل خطی، درجه دو، توانی و نمایی به داده‌ها برازش یافت (جدول ۱) تا بهترین مدل انتخاب شود. انتخاب مدل بهینه بر اساس آماره‌های ضریب تعیین و F صورت گرفت. در ضمن، سطح معنی‌داری روابط ۰/۰۵ و کمتر درنظر گرفته شد. همچنین در شکل ۳ نقشه تغییرات فضایی شاخص گیاهی NDVI نشان داده شد.

جدول ۱: معادلات مربوط به توابع رگرسیونی مورد آزمون

تابع رگرسیونی	معادله
خطی	$Y = a + bx$
درجه ۲	$Y = a + (b_1x) + (b_2x^2)$
توانی	$Y = a\ (x^b)$
نمایی	$Y = a\ (e^{bx})$

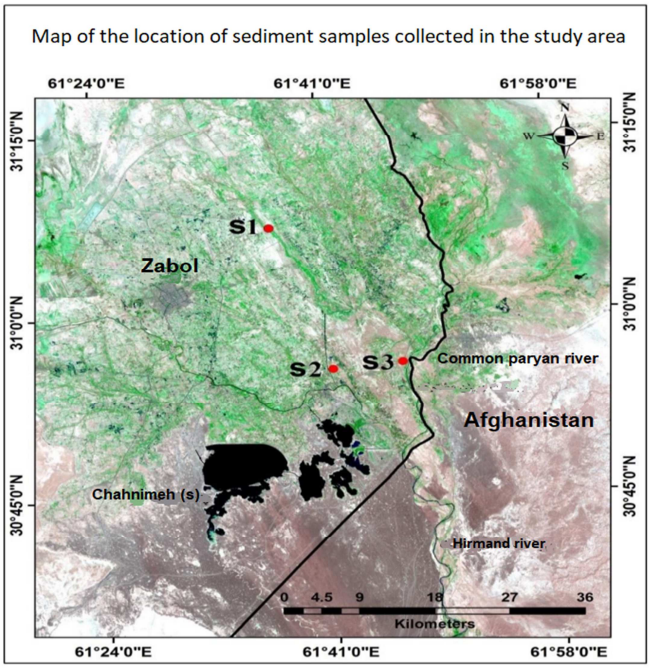
منبع: خودآموز نرم‌افزار SPSS



شکل ۳: نقشه تغییرات فضایی شاخص گیاهی NDVI *(مأخذ: نگارنده)*

ج – آزمایشات XRD و XRF و مورفوسکوپی رسوبات در دو کریدور بحرانی

نمونه‌های رسوبی (S1-S2-S3) از مناطق مختلف منطقه با استفاده از روش‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی (دانه‌بندی، XRD وXRF) برداشت و مورد آزمایش قرار گرفت (شکل ۴). آزمایشات نشان داد ارتباط ژنتیکی بسیار نزدیکی بین رسوبات اراضی برداشت منطقه و ذرات و نهشته‌های تپه‌ها و پهنه‌های ماسه‌ای هست که این امر حکایت از محلی بودن ذرات برداشت‌شده و جابه‌جایی آن‌ها در سطح عرصه دارد. نتایج ناشی از مورفوسکوپی ۳ نمونه نیز نشان داد که دانه‌های کوارتز کم زاویه و پر زاویه بارنگ‌های مختلف و همچنین فلدسپات‌ها، خرده‌سنگ‌ها و میکاها در همین نمونه‌ها مشاهده می‌شود که این خود دلالت و همسانی و مشابهت نمونه‌ها دارد. همچنین مورفوسکوپی نمونه‌ها حکایت از رفتار آبی و بادی در آن‌ها دارد، زیرا که این ذرات توسط رود هیرمند و بادهای ۱۲۰ روزه به‌طور مرتب در یک چرخه بسته همواره جابه‌جا می‌شوند.



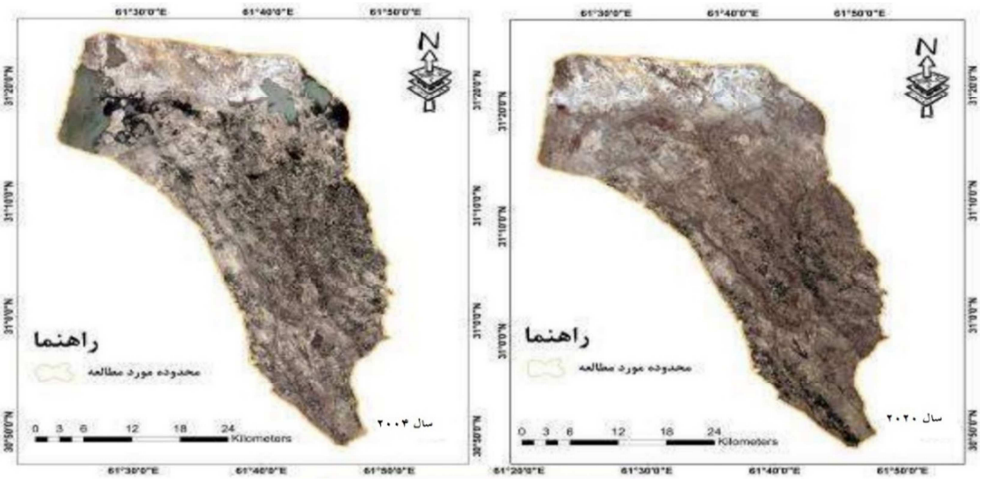
شکل ۴: نقشه موقعیت نمونه‌های رسوبات برداشت‌شده در منطقه موردمطالعه *(منبع: نگارنده، ۱۴۰۲)*

د – تغییرات کاربری اراضی

برای بررسی تغییرات کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌ای لندست استفاده شد. به‌منظور تهیه تصاویر ماهواره‌ای با تجزیه‌وتحلیل مقادیر شاخص جریان رودخانه‌ای (SDI) از تصاویر مربوط به سال‌های عدم وقوع (۲۰۰۴) و وقوع خشکسالی هیدرولوژیک (۲۰۲۰) استفاده شد (شکل ۵). به‌منظور آماده‌سازی و پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای با توجه به اینکه این تصاویر از قبل از زمین مرجع بوده و RMSE آن‌ها کمتر از ۰/۵ پیکسل است (۰/۴۲)، از مرحله تصحیح هندسی در این پژوهش صرف‌نظر و تصحیحات رادیو متری و اتمسفری بر روی تصاویر صورت گرفت (Talebi Khiavi and Mostafazadeh, 2021؛ کیانی و همکاران، ۲۰۱۳). برای طبقه‌بندی تصاویر از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده استفاده شد (Talebi Khiavi et al. 2022). در این طبقه‌بندی با استفاده از یک سری نمونه‌های آموزشی تعلیمی بر اساس روش حداکثر احتمال برای طبقه‌بندی تصاویر استفاده شد. در تعیین نمونه‌های تعلیمی از نقاط برداشت‌شده طی عملیات میدانی برای شرایط کنونی منطقه (تصویر سال ۲۰۲۰) و از نقشه‌های موضوعی و تفسیر چشمی برای بهره‌گیری از تجارب کارشناسان برای شرایط گذشته (سال ۲۰۰۴) با پراکنش مناسب در سطح تصاویر استفاده شد. مشخصات نمونه‌های تعلیمی در جدول (۲) ارائه شده است. برای تعیین نمونه‌ها از ابزار ROI در نرم‌افزار ENVI استفاده شد. به‌منظور ارزیابی صحت طبقه‌بندی صورت‌گرفته ضریب کاپا برای هر یک از تصاویر مورداستفاده بر اساس معادله زیر برآورد شد (پودینه و پویان، ۲۰۱۶).

*100 kappa= po-pc/1-pc (۱)

که در این معادله، po درستی مشاهده‌شده و pc توافق مورد انتظار است. با طبقه‌بندی تصاویر و تهیه نقشه کاربری اراضی به‌منظور تعیین آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی، از توابع cross tab در محیط Idiris Selva استفاده شد.



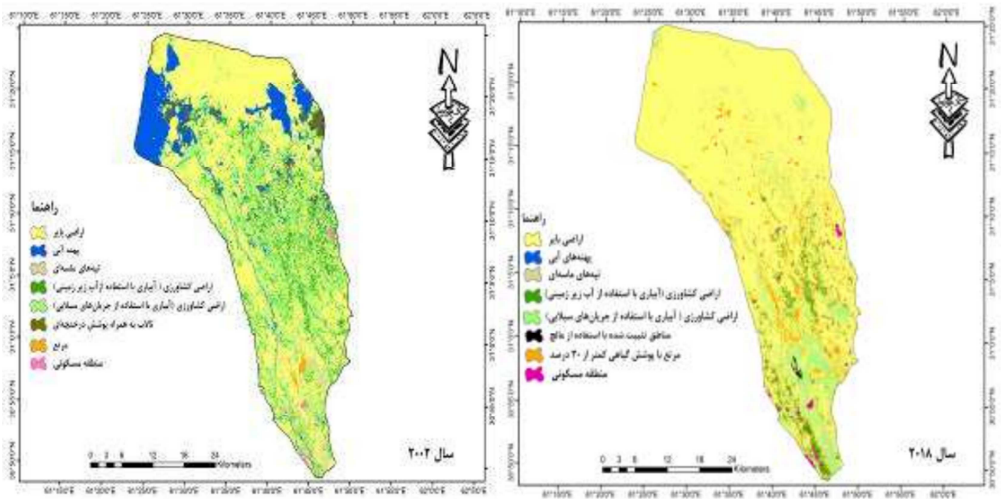
شکل ۵: تصاویر ماهواره‌ای مورداستفاده در تعیین کاربری اراضی *(منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱)*

جدول ۲: تعداد نمونه‌های آموزشی برای هر طبقه کاربری اراضی

کاربری اراضی سال	کشاورزی	کشاورزی (سیلابی)	مرتع	مناطق مسکونی	بایر	پهنه آبی	تپه‌های ماسه‌ای	تالاب/پوشش گیاهی	مناطق تثبیت‌شده با مالچ
۲۰۰۴	۱۲۰	۹۰	۱۰۰	۷۰	۹۰	۴۰	۴۰	۳۰	-
۲۰۲۰	۱۲۰	۹۰	۱۰۰	۷۰	۹۰	۴۰	۴۰	-	۳۰

در ادامه، نقشه تغییرات کاربری‌های اراضی با کسر از مناطق بدون تغییر جداسازی و با استفاده از روش‌های تلفیق بر روی نقشه دسترسی مناطق به منابع آب سطحی در محیط جی‌آی‌اس قرار گرفت. همچنین، مساحت هر یک از کاربری‌ها با توجه به تقسیمات سیاسی کشور، برای هریک از شهرستان و بخش‌های منطقه موردمطالعه با تبدیل نقشه‌های رستری به فرمت برداری در محیط جی‌آی‌اس برآورد شد. با بررسی مساحت کاربری‌ها، یافته‌ها بیانگر تغییر محسوس سطح کاربری‌ها در سال ۲۰۲۰ است. بر اساس بررسی‌های به‌عمل‌آمده، در طی این دوره ۴۱ ٪ از اراضی منطقه به اراضی بایر اضافه شده است و بیشترین تغییرات مربوط به تبدیل پهنه‌های آبی (معادل با ۱۲۵۸۱ هکتار)، مخلوط تالاب – جنگل (۷۸۴۱/۳)، اراضی کشاورزی سیلابی معادل با (۳۰۷۳/۲۲) هکتار و مراتع ضعیف (معادل با ۴۴۹۵/۸ هکتار) به این کاربری است. از دیگر تغییرات این دوره، تخریب ۶۱ درصدی از اراضی کشاورزی سیلابی است. با توجه به اینکه آبیاری این اراضی از طریق جریان‌های سیلابی ورودی از کشور افغانستان به منطقه سیستان صورت می‌گیرد، ازاین‌رو وقوع خشکسالی‌های اخیر و کاهش تداوم و حجم جریان‌های سیلابی در منطقه، باعث شده

است تا آب موردنیاز برای کشت این اراضی با توجه به حاصلخیزی بالای آن‌ها فراهم نشود که ماحصل آن بایر شدن ۳۰۷۳/۲۲ هکتار از این اراضی بوده است. در شکل (۶) نقشه کاربری اراضی منطقه موردمطالعه نشان داده شده است.



شکل ۶: نقشه کاربری اراضی منطقه موردمطالعه *(منبع: نگارنده، ۱۴۰۱)*

نتایج و بحث

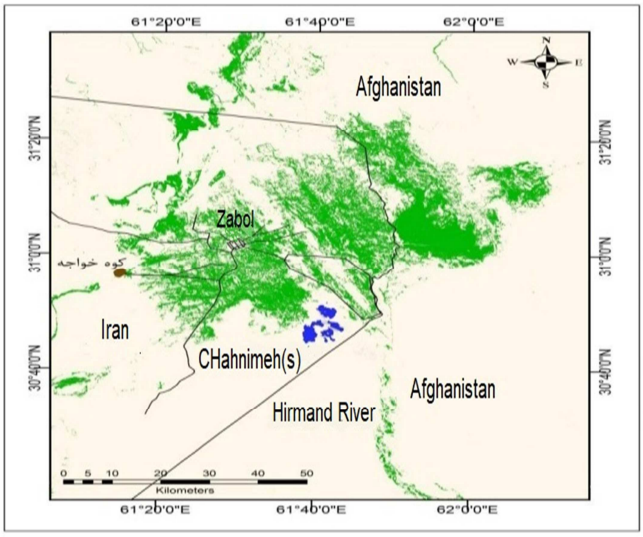
منطقه شرق زهک به‌دلیل شرایط اقلیمی و زمین‌شناسی دارای پوشش گیاهی بسیار کمی است که در سال‌های اخیر نیز به‌دلیل خشک‌سالی و تغییرات و نوسانات شدید بارندگی این میزان در حال کاهش است. با بررسی‌های انجام‌گرفته توسط تصاویر ماهواره‌ای لندست و شاخص NDVI در سال‌های ۱۹۹۶، ۲۰۰۱، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۶، کاهش پوشش گیاهی در این حوزه از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ به‌وضوح دیده می‌شود و در سال‌های ۱۹۹۶ و ۲۰۱۶ میزان پوشش گیاهی افزایش داشته است (اشکال ۷ تا ۱۳). در این اشکال نحوه گسترش پوشش گیاهی و تغییرات آن را در منطقه شرق زهک نشان داده شده است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده مشخص شد که از مساحت کل منطقه شرق زهک که برابر با ۱۸۸ کیلومتر مربع هست در سطح این منطقه در سال ۱۹۹۶، ۴۵,۵ کیلومترمربع دارای پوشش مرتعی بوده که این میزان در سال ۲۰۰۱ روندی کاهشی گرفته و به ۴۲,۸ کیلومتر مربع رسیده است. در سال ۲۰۰۵ میزان پوشش گیاهی ۳۳,۳ کیلومتر مربع، در سال ۲۰۱۰ به ۴۲,۷ کیلومتر مربع و در سال ۲۰۱۶ به ۴۸,۱ کیلومتر مربع رسیده است. میزان جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای و بایر بودن زمین در طی دوره آماری ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ روند افزایشی داشته است. آن هم به خاطر کمبود ورودی آب رودخانه هیرمند به منطقه موردمطالعه و خشک‌سالی‌های مداوم سال‌های اخیر بوده است و در سال‌های ۲۰۱۶ و ۱۹۹۶ به ترتیب میزان پوشش گیاهی افزایش یافته است و علتش این است که چون خشک‌سالی‌های منطقه از سال ۱۹۹۸ شروع شده است و همچنان ادامه دارد. در سال ۲۰۱۶ ورودی آب به دشت سیستان افزایش چشمگیری داشته است که در تصاویر ماهواره‌ای پوشش گیاهی منطقه به‌خوبی مشهود است. بنابراین نتیجه می‌گیریم میزان پوشش گیاهی منطقه، به ورودی آب رودخانه هیرمند به

منطقه بستگی دارد. هرچه آب کاهش یابد پوشش گیاهی کم می‌شود و هرچه آب ورودی افزایش یابد پوشش گیاهی افزایش می‌یابد و از میزان حرکت ماسه‌های روان و افزایش زمین‌های بایر جلوگیری می‌کند.

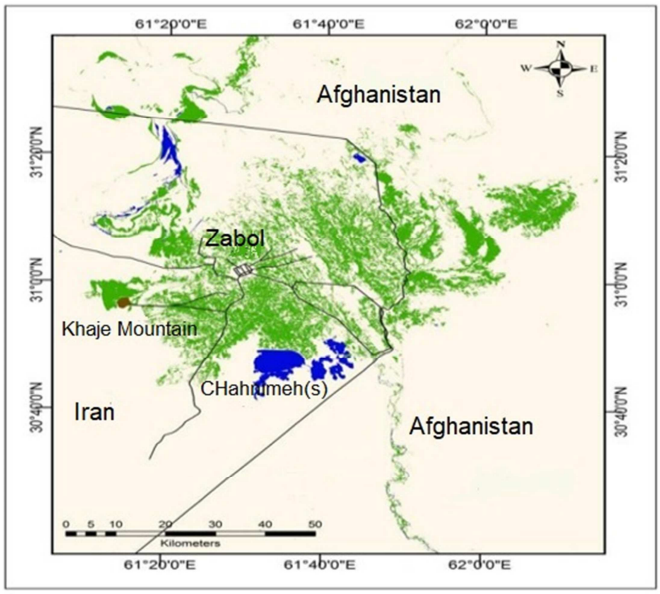
جدول ۳: میزان پوشش گیاهی، تپه های ماسه‌ای و مساحت منطقه موردمطالعه با استفاده از NDVI در سال‌های موردنظر

سال	پوشش گیاهی (کیلومتر مربع)	تپه‌های ماسه‌ای و زمین‌های بایر و غیره (کیلومتر مربع)	مساحت (کیلومتر مربع)
۱۹۹۶	۴۵,۵	۱۴۲,۵	۱۸۸
۲۰۰۱	۴۲,۸	۱۴۵,۲	۱۸۸
۲۰۰۵	۳۳,۳	۱۵۴,۷	۱۸۸
۲۰۱۰	۴۲,۷	۱۴۵,۳	۱۸۸
۲۰۱۶	۴۸,۱	۱۳۹,۹	۱۸۸

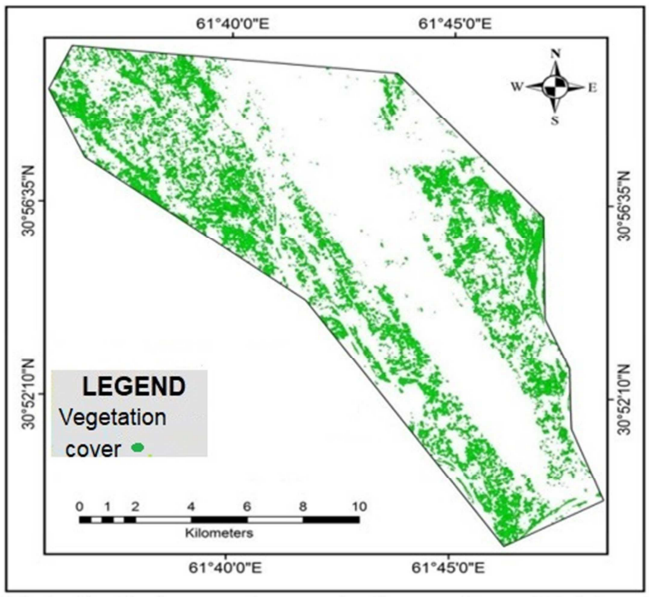
مآخذ: نگارنده



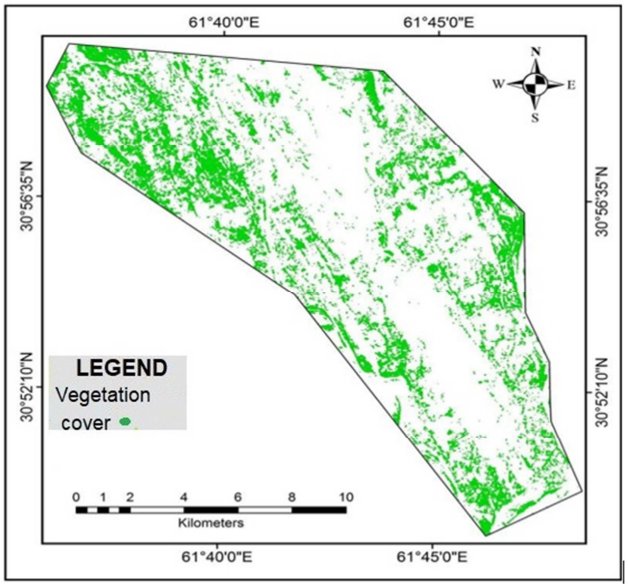
شکل ۷: نقشه میزان پوشش گیاهی منطقه موردمطالعه نسبت به دشت سیستان با استفاده از NDVI در سال ۲۰۰۰ *(منبع: نگارنده، ۱۴۰۲)*



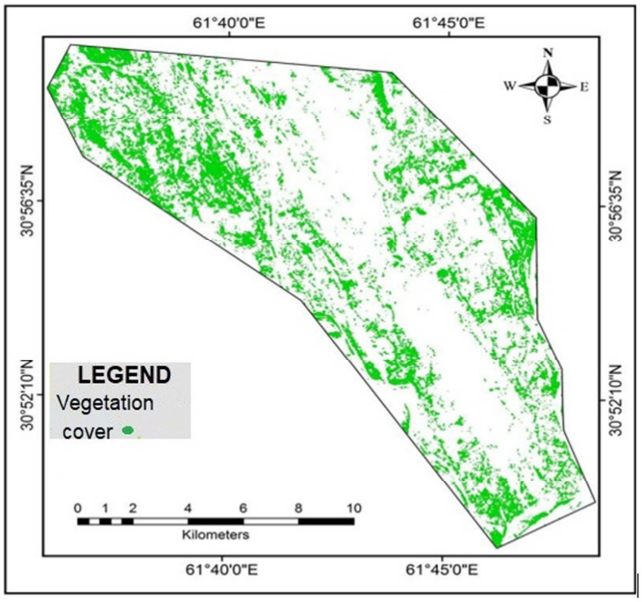
شکل ۸: نقشه میزان پوشش گیاهی منطقه موردمطالعه نسبت به دشت سیستان با استفاده از NDVI در سال ۲۰۱۵ *(منبع: نگارنده، ۱۴۰۲)*



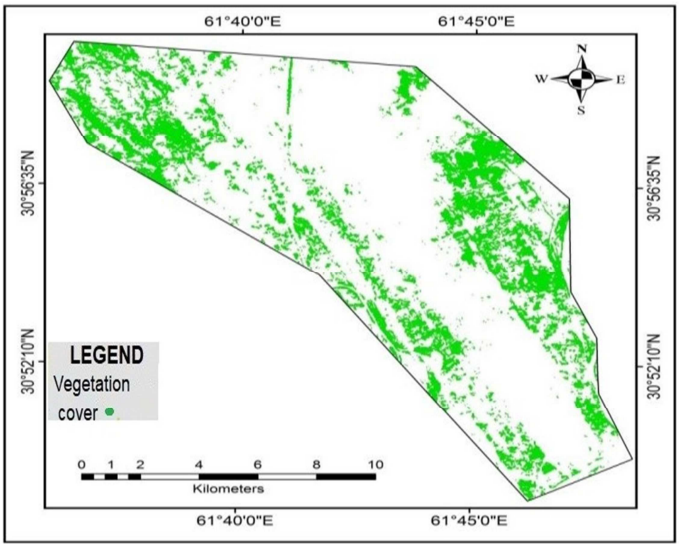
شکل ۹: نقشه میزان پوشش گیاهی منطقه موردمطالعه نسبت به دشت سیستان با استفاده از NDVI در سال ۱۹۹۶ *(منبع: نگارنده، ۱۴۰۲)*



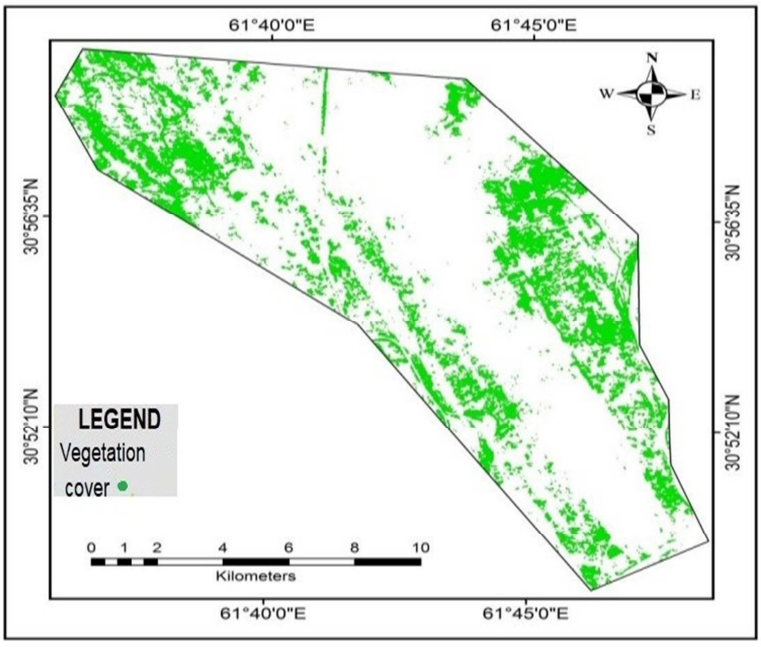
شکل ۱۰: نقشه میزان پوشش گیاهی منطقه موردمطالعه نسبت به دشت سیستان با استفاده از NDVI در سال ۲۰۰۱ *(منبع: نگارنده، ۱۴۰۲)*



شکل ۱۱: نقشه میزان پوشش گیاهی منطقه موردمطالعه نسبت به دشت سیستان با استفاده از NDVI در سال ۲۰۰۵ *(منبع: نگارنده، ۱۴۰۲)*



شکل ۱۲: نقشه میزان پوشش گیاهی منطقه موردمطالعه نسبت به دشت سیستان با استفاده از NDVI در سال ۲۰۱۰ *(منبع: نگارنده، ۱۴۰۲)*



شکل ۱۳: نقشه میزان پوشش گیاهی منطقه موردمطالعه نسبت به دشت سیستان با استفاده از NDVI در سال ۲۰۱۶ *(منبع: نگارنده، ۱۴۰۲)*

آزمون رگرسیونی و تهیه معادلات برآورد رسوب‌دهی

با توجه به اینکه روابط همبسته معنی‌داری بین مقادیر رسوب‌دهی ویژه و مقادیر شاخص NDVI حاصل نشد، نمی‌توان بین مقادیر دو متغیر روابط رگرسیونی برقرار ساخت. بنابراین با توجه به وجود روابط معنی‌داری متغیرهای

مستقل متوسط و کمینه NDVI با میزان رسوب‌دهی کل، نسبت به برازش توابع رگرسیونی مختلف به داده‌های متغیرهای یادشده اقدام شد تا کم‌وکیف تبیین متغیر وابسته توسط دو متغیر مستقل مشخص شود. نتایج آزمون مدل‌های رگرسیونی مختلف در روابط شاخص گیاهی با رسوب‌دهی حوضه‌ها طبق جدول ۴ مشاهده می‌شود. در خصوص متغیر مستقل متوسط NDVI به غیر از مدل نمایی، سایر مدل‌ها معنی‌دار بودند. در بین توابع رگرسیونی، بالاترین مقادیر ضریب تعیین (۰,۷۵) و آماره F (۱۰,۲۹) به تابع درجه ۲ تعلق دارد. بنابراین مدل حاصل از برازش این تابع به‌عنوان بهترین مدل رگرسیونی جهت برآورد رسوب‌دهی کل انتخاب می‌شود. رابطه خطی نیز بر طبق میزان ضریب تعیین بالا (۰,۵۷) از توان پیش‌بینی خوبی برخوردار بوده و قادر به توضیح درصد قابل‌توجهی از واریانس رسوب‌دهی کل است؛ اما در خصوص متغیر مستقل کمینه NDVI می‌توان گفت که تابع خطی برازش بهتری داشته و بالاترین مقادیر ضریب تعیین (۰,۸۶) و آماره F (۵۰,۸۱) را کسب نمود. همچنین تابع درجه ۲ نیز با توجه به مقادیر ضریب تعیین (۰,۸۲) و آماره F (۲۸,۳۲)، مدل خوبی محسوب می‌شود. تابع توانی به‌دلیل وجود مقادیر منفی متغیر مستقل برازش نیافت؛ اما مدل حاصل از تابع نمایی هم مدل مناسبی هست.

جدول ۴: آماره‌ها و معادلات آزمون‌های رگرسیونی بین متوسط شاخص NDVI و رسوب‌دهی کل در منطقه موردمطالعه

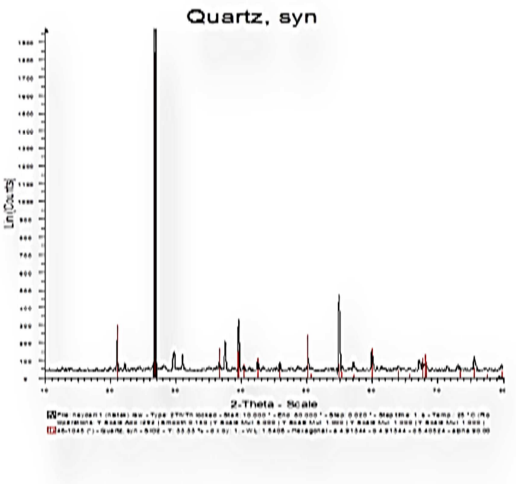
تابع رگرسیونی	ضریب تعیین	آماره F	معنی‌داری	معادله رگرسیونی
خطی	۰,۵۷	۷,۸۳	۰,۰۱۱	$Y = 8585/47 - 20566/91x$
درجه ۲	۰,۷۵	۱۰,۲۹	۰,۰۰۸	$Y = 29652/76 - 144606/57x + 177896/09x^2$
توانی	۰,۴	۵,۳۲	۰,۰۰۵	$Y = 5/29\ x^{-4/65}$
نمایی	۰,۳۶	۴,۴۳	۰,۰۶۸	$Y = 68729/32\ (e^{-12/92x})$

تجزیه‌وتحلیل شیمیایی رسوبات بادی شرق منطقه موردمطالعه (زهک) با استفاده از XRD و XRF

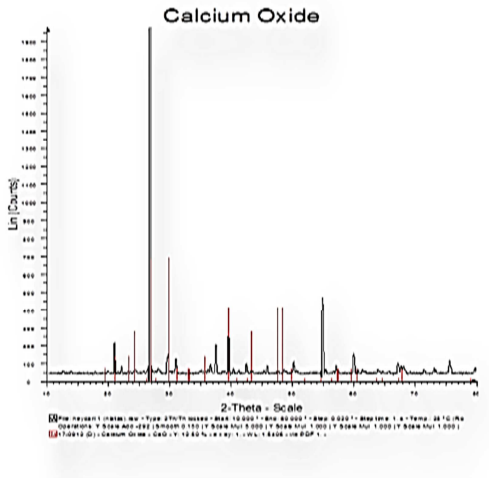
نمونه‌های برداشت‌شده از ۳ نقطه منطقه موردمطالعه برداشت شد و سپس جهت انجام آزمایشات XRD و آزمایشات XRF آماده‌سازی شد که نتایج نهایی آن‌ها به‌صورت جدول و نمودار در زیر شرح داده خواهد شد. در ابتدا تمامی نتایج به‌صورت نمودار و جدول آورده شده‌اند که در دو بخش XRD و XRF است و در انتها به تفسیر کلی آن‌ها خواهیم پرداخت.

آنالیز شیمیایی رسوبات بادی نیاتک به روش XRD

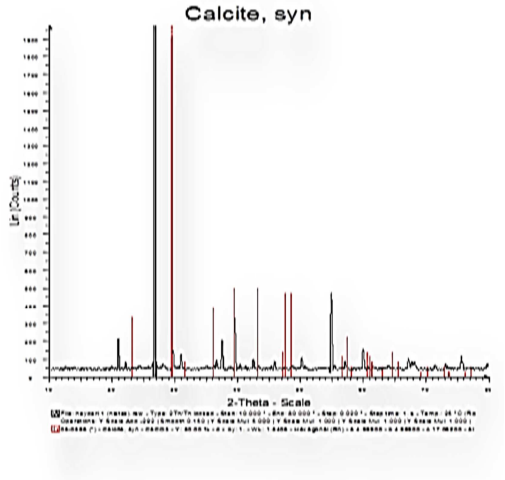
در شکل (۱۴) تا (۱۷) نمودار حاصل از آنالیز شیمیایی XRD رسوبات بادی نیاتک نمایش داده شده است که در ادامه به تفسیر آن خواهیم پرداخت.



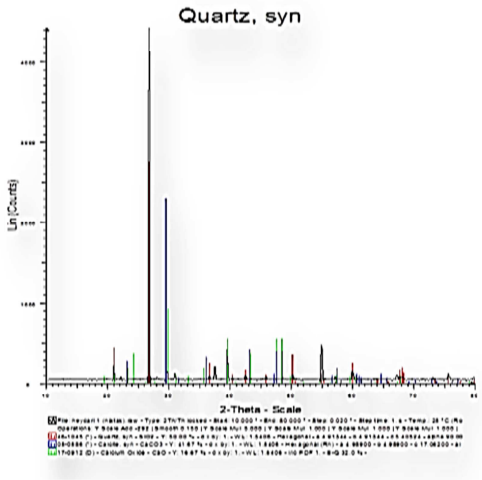
شکل ۱۴: نمودار XRD (کوارتز) رسوبات بادی نیاتک



شکل ۱۵: نمودار XRD (کلسیم اکسید) رسوبات بادی نیاتک



شکل ۱۶: نمودار XRD (کلسیت) رسوبات بادی نیاتک



شکل ۱۷: نمودار XRD رسوبات بادی نیاتک

در جدول (۵) نتایج حاصل از آنالیز شیمیایی XRD رسوبات بادی نیاتک ثبت شده است که در ادامه به تفسیر آن خواهیم پرداخت.

جدول۵: نتایج حاصل از آنالیز شیمیایی XRD رسوبات بادی نیاتک

فاز اصلی	کوارتز	کلسیت	کلسیم اکسید
فاز فرعی	کلریت	بیوتیت	فلوگوپیت
	هورنبلند	پیروکسن	سیلیکات کلسیم

آنالیز شیمیایی رسوبات بادی نیاتک به روش XRF

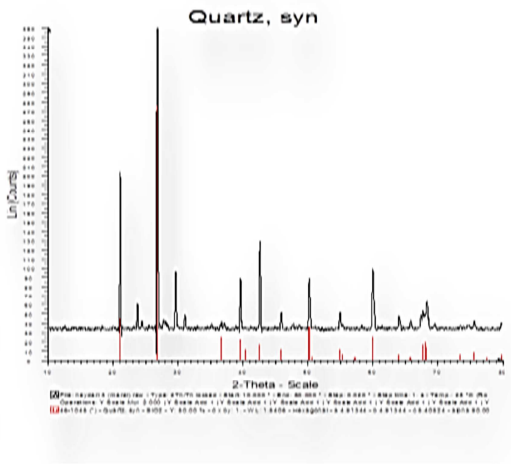
در جدول (۶) نتایج حاصل از آزمایشات XRF رسوبات بادی نیاتک ثبت شده است که در ادامه به تفسیر آن خواهیم پرداخت.

جدول ۶: نتایج حاصل از آزمایشات در رسوبات بادی نیاتک

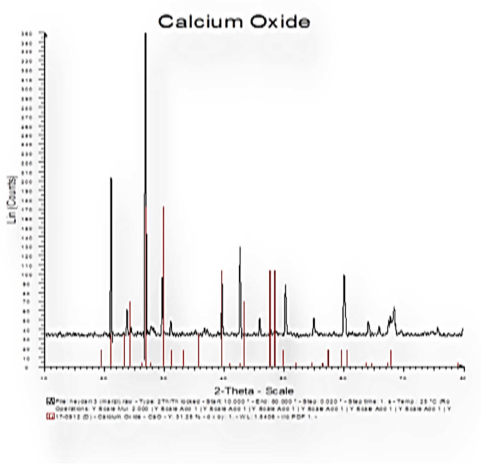
Sample	Sio2	Al2o3	Fe2o3	Cao	Mgo	So3
۰,۰	٤٩,١٧	٨,٨٢	٤,٤٢	١٧,٦٢	٢,٥٥	۰,۰۰
Sample	**Na2o**	**K2o**	**CL**	**LoI**	**Tio2**	**P2o5**
۰,۰	٢,٠٠	١,٣٤	۰,۰۰۹	٩,٧١	۰,٤٨	۰,١٢

آنالیز شیمیایی رسوبات بادی جزینک به روش XRD

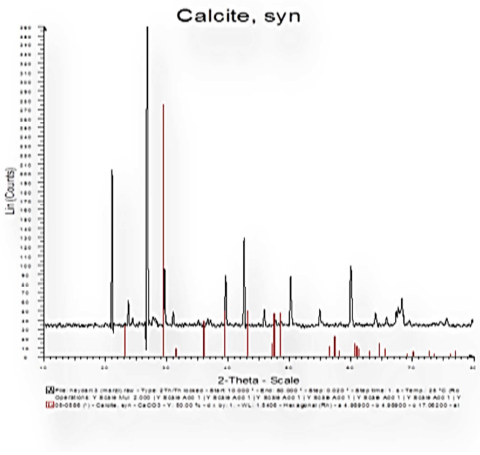
در شکل (۱۸) تا (۲۱) نمودار حاصل از آنالیز شیمیایی رسوبات بادی جزینک نمایش داده شده است که در ادامه به تفسیر آن خواهیم پرداخت.



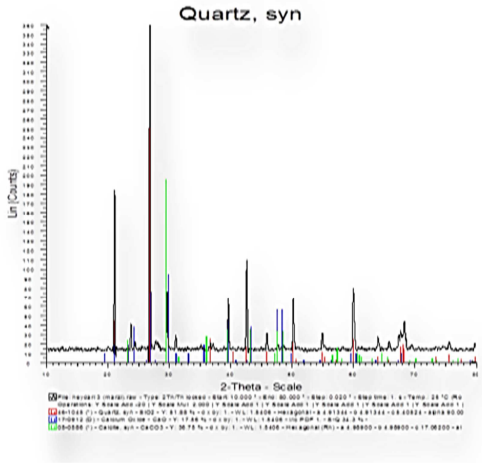
شکل ۱۸: نمودار XRD رسوبات بادی جزینک



شکل ۱۹: نمودار XRD (کلسیم اکسید) رسوبات جزینک



شکل ۲۰: نمودار XRD (کلسیت) رسوبات بادی جزینک



شکل ۲۱: نمودار XRD رسوبات بادی جزینک

آنالیز شیمیایی رسوبات بادی جزینک به روش XRF

در جدول (۷) نتایج حاصل از آزمایشات XRF رسوبات بادی جزینک ثبت شده است که در ادامه به تفسیر آن خواهیم پرداخت.

جدول۷: نتایج حاصل از آزمایشات XRF در رسوبات بادی جزینک

Sample	Sio2	Al23	Fe2o3	Cao	Mgo	So3
۰,۰	٤۹,۱۷	۸,۸۲	٤,٤۲	۱۷,٦۲	۲,٥٥	۰,۰۰
Sample	**Na2o**	**K2o**	**CL**	**LoI**	**Tio2**	**P2o5**
۰,۰	۲,۰۰	۱,۳٤	۰,۰۰۹	۹,۷۱	۰,٤۸	۰,۱۲

نتایج حاصل از تمام فن‌های بالا نشان می‌دهد که شباهت بین نمونه‌ها بسیار زیاد است. تجزیه فیزیکی و شیمیایی رسوبات نشان می‌دهد که ارتباط ژنتیکی بسیار نزدیکی بین رسوبات اراضی برداشت منطقه و ذرات و نهشته‌های تپه‌ها و پهنه‌های ماسه‌ای هست که این امر حکایت از محلی بودن ذرات برداشت شده و جابه‌جایی آن‌ها در سطح عرصه دارد. به‌عبارت‌دیگر، رخساره‌های فرسایش سطح منطقه از دریاچه هامون گرفته تا اراضی شور و اراضی کشاورزی منطقه همه و همه در تولید بار رسوبی ناشی از فرسایش بادی و سپس حرکت تپه‌های ماسه‌ای در منطقه نقش دارند. بنابراین به‌طور خلاصه می‌توان گفت که رسوبات بستر هامون‌های خشک‌شده و نهشته‌های دلتایی رودخانه‌های سیستان، نیاتک و اراضی کشاورزی رهاشده، منشأ اصلی و محدوده برداشت رسوبات منطقه می‌باشند. بررسی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌ها نشان داد که وجود عناصر مشترک فراوان در نمونه‌های ۱ تا ۳ بر یکسان بودن منشأ آن‌ها دلالت دارد. به‌طورکلی رسوبات منطقه تقریباً شبیه به هم بوده که نشان از محلی بودن ذرات و یکسان بودن منطقه برداشت دارد.

تعیین شاخص‌های رسوبات شرق زهک با استفاده از شاخص‌های تعیین‌شده منحنی گرانولومتری

نتایج به‌دست‌آمده جهت بررسی رسوبات بادی شرق زهک از سه‌نقطه این منطقه، برداشت نمونه‌های رسوب صورت گرفت. از نیاتک به‌عنوان نقطه برداشت و حرکت رسوبات بادی به منطقه یک نمونه (S1)، دومین نمونه را از برخان-های 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 برداشت شده و سپس اقدام به رسم منحنی گرانولومتری شده است که در جدول (۸) تعیین شاخص‌های رسوبات شرق زهک با استفاده از شاخص‌های تعیین‌شده منحنی گرانولومتری بیان شده است.

جدول۸: 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	۰,۱۵۱
S2	۰,۰۴	۰,۹۷	۱,۳۷	۰,۰۲۱	۰,۰۹۳
S3	۰,۰۲	۰,۹۶	۱,۴۶	۰,۰۲۷	۰,۲۳۱

نتیجه‌گیری

بررسی تصاویر ماهواره‌ای TERRA – MODIS مودیس، نشان می‌دهد که طوفان‌های گردوغباری ابتدا در شمال منطقه سیستان (کشور افغانستان) شروع شده و پس از ورود به منطقه سیستان با امتدادی منطبق بر امتداد بادهای ۱۲۰ روزه در جنوب منطقه سیستان به کشورهای افغانستان و پاکستان وارد می‌شوند. بررسی‌ها نشان داد، بستر رودخانه هیرمند و شاخه نیاتک و جزینک منشأ بیشترین برداشت ذرات ماسه بوده، به‌طوری‌که این ذرات در جهت حرکت باد طی مسیر نموده و بعد از رسوب در برابر هر مانعی تپه‌های ماسه‌ای را ایجاد می‌کنند. از عوامل مهم و انسانی تأثیرگذار در جابه‌جایی رسوبات بادی در منطقه موردمطالعه، قطع درختان و تخریب مراتع، مدیریت چرا و کنترل ورود و خروج دام بر اساس ظرفیت منطقه به‌دلیل ازبین‌رفتن پوشش گیاهی است و نیز با توجه به پژوهش‌های میدانی و تصاویر ماهواره‌ای بررسی‌شده، سرعت و جهت حرکت تپه‌های ماسه‌های متناسب با بادهای غالب (۱۲۰ روزه) بوده و علاوه بر بادهای غالب، ارتفاع و حجم ماسه‌ها به‌عنوان یک فاکتور مهم در سرعت و جهت حرکت و میزان پیشروی تپه‌های ماسه‌ای به شمار می‌رود. به‌طورکلی نتایج حاصل از مطالعات این پژوهش از ناپایداری و وضعیت نامطلوب نهشته‌های بادی در شرق زهک حکایت می‌کند. با توجه به اینکه احتمال بروز خسارت‌های مالی و جانی روستاهای محدوده موردمطالعه وجود دارد، جهت اجرا و پیشبرد برنامه‌های توسعه در منطقه به نظر می‌رسد انجام اقدامات کنترلی دقیق و مستمر و برنامه‌ریزی‌شده برای مقابله با شرایط محدودکننده محیطی بالاخذ فرسایش بادی و پیشروی ماسه‌ها موردنیاز است و بررسی‌ها حاکی از این است که منشأ ماسه‌های کانون‌های بحرانی، بستر خشک رودخانه‌های منطقه است. خروج ماسه‌ها از بستر رودخانه‌ها و جابه‌جایی آن‌ها بر روی خاک اراضی مرتعی یا اراضی زراعی رهاشده، موجب ایجاد چاله در اراضی و تولید ماسه بیشتر می‌شود. 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 قرار گرفته است. از دیگر مخاطرات ماسه‌ها تخریب مساکن و مدفون شدن روستاها، چاله یا انباشته شدن ماسه در اراضی و تهدید تأسیسات زیربنایی از قبیل جاده‌ها، آبراهه‌ها و به‌ویژه مخازن چاه‌نیمه که منبع حیاتی منطقه‌اند. با مقایسه نتایج مطالعات قبلی و پژوهش انجام‌شده، به‌طورکلی فعالیت رسوبات بادی در منطقه‌ی سیستان بیشتر تحت تأثیر بادهای ۱۲۰ روزه است که از سطح هامون‌ها و بر اساس توپوگرافی سطح زمین در داخل چهار دالان فرسایشی صورت می‌گیرد. مقدار فرسایندگی بادها براساس پتانسیل حمل ماسه در مناطق شمالی دشت سیستان و روی هامون‌های صابری و برینگک دارای بیشترین مقدار و هرچه به‌سوی مرز شرقی و جنوبی پیش می‌رود از شدت آن کاسته می‌شود. بیشتر اشکال تپه‌های ماسه‌ای در سیستان در اثر باد یک جهته شکل‌گرفته‌اند که شامل بارخان، رشته‌ی عرضی و پهنه ماسه‌ای است.

تقدیر و تشکر

از مساعدت‌های بی‌شائبه اساتید محترم جناب آقای دکتر خسروی استاد گروه جغرافیا طبیعی (اقلیم‌شناسی) دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی دانشگاه سیستان و بلوچستان و ریاست محترم دانشکده و آقای دکتر

مصطفی‌زاده، دانشیار گروه منابع طبیعی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیل که همواره نگارنده را مورد لطف و محبت خود قرار داده‌اند، کمال تشکر را دارم.

منابع

احمدی، حسن؛ فیض نیا، سادات. (۱۳۸۵). سازندهای دوره کواترنر (مبانی نظری و کاربردی آن در منابع طبیعی)، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران.

اداره کل منابع طبیعی استان سیستان و بلوچستان، دفتر تثبیت شن و بیابان‌زدایی سازمان جنگل‌ها و مراتع و آبخیزداری کشور. (۱۳۸۱). طرح شناسایی کانون‌های بحرانی فرسایش بادی و اولویت‌های اجرایی آن، ۱۲۷ صفحه.

اسفندیاری درآباد، فریبا؛ نظافت تکله، بهروز؛ شهبازی شرفه، زهرا. (۱۴۰۱). شبیه‌سازی تغییرات رودخانه بالیخلی چای با استفاده از مدل سزار (CAESAR)، نشریه جغرافیا و روابط انسانی، زمستان ۱۴۰۱، دوره ۵، شماره۳، صص۱-۱۵.
10.22034/jess.2022.371228.1913

جدیدالاسلامی، مهدی. (۱۳۸۹). بررسی ارتباط ژنتیکی و کانی‌شناسی عناصر تشکیل‌دهنده تپه‌های ماسه‌ای (شرق دشت سیستان)، چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

جدیدالاسلامی، مهدی؛ اسفندیاری درآباد، فریبا؛ اصغری، صیاد؛ عابدینی، موسی؛ مصطفی‌زاده، رئوف. (۱۴۰۲). ارزیابی مخاطرات نهشته‌های بادی دشت سیستان و تأثیر آن بر مخازن حیاتی چاه‌نیمه زابل. جغرافیا و روابط انسانی، بهار ۱۴۰۲، دوره ۵، شماره۳، صص۱-۱۵.
10.22034/gahr.2023.392582.1841

خسروی، محمود. (۱۳۸۴). طرح پژوهشی اثرات اکولوژیکی و زیست‌محیطی بادهای ۱۲۰ روزه در سیستان، سازمان حفاظت محیط زیست استان سیستان و بلوچستان، مشاور طرح پژوهشکده علوم زمین و جغرافیای دانشگاه سیستان و بلوچستان.

نگارش، حسین؛ لطیفی، لیلا. (۱۳۸۸). بررسی خسارت‌های ناشی از حرکت ماسه‌های روان در شرق زابل با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی (پژوهش‌های جغرافیایی)، ۴۱(۶۷)، ۷۳-۸۷.

نگارش؛ حسین، لطیفی، لیلا. (۱۳۸۸). منشایابی نهشته‌های بادی شرق زابل از طریق مورفوسکپی و آنالیز فیزیکی و شیمیایی رسوبات. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی (مجله پژوهشی علوم انسانی دانشگاه اصفهان)، ۲۰ (۳۳)، ۱-۲۲.

Armof, K., Tsoar, H., Lumberg, D.G., (2019). Dynamics if nebkhas superimposed on a parabolic dune and their effect on the dune dynamics, Journal of Arid environments, 73(11):1014–1022. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2009.04.021

Al-Awadhi, J.M., Al-Helal A. and Al-Enezi, M. (2005). Sand drift potential in the desert of Kuwait. Journal of Arid Environment, 6(3): 425- 438. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.03.011

Bagnold, R. A., (2022). The Physics of Blown Sand and Desert Dunes. 265 p. Methuen, London. 3(9): 273-284.

Boroughani, M., Pourhashemi, S., and Zarei, M. (2019). Identification of Dust Source Areas and its Characteristics in Eastern Iran. Desert Ecosystem Engineer, 25: 39-52.

Bielders, C. L., Lamers, J. P., & Michels, K. (2001). Wind erosion control technologies in the West African Sahel: the effectiveness of windbreaks, mulching, and soil tillage, and the perspective of farmers. Annals of Arid Zone, 40(3), 369-394.

Baroughani, L., Bielders. P.A., Lamers, F., 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. 40(3): 57-63.

Country Management and Planning Organization, (2022). Criteria and guidelines for digital processing of ETM+ satellite images in extracting land use and land cover maps, plains organization studies, Ministry of Jihad Agriculture, p. 184.

Darvishzadeh, A., and Mohammadi, M. 1386. Geology of Iran, Tehran, Tehran University Press, page 383.

Environmental Process System Consulting Engineers, (2016). Zabol Dam Environmental Assessment Study Plan, Sistan Water and Soil Resources Development Joint Stock Company, 207 pp., 85-41. 10.22125/iwe.2020.107099

Fryberger, S. G., and Dean G. (2008). Dune forms and wind regimes and Study of Global Sand Seas. Geological Survey Professional. 9(45)137-169.

Fryberger, E. Devrieszim, S. Vandijk, D. and Yurk, B. (2018). Patterns of wind flow and Aeolian deposition on a parabolic dune on the southeastern shore of Lake Michigan, Geomorphology. 10(5): 147-157.

Fawzia, R., VanPelt, R. S., Zobeck, T.M., and Ritchie, G. (2020). Source of dunes of southern California and northwestern Sonora, Mexico, Geological Society of American Bulletin. 8(12): 531-634. https://doi.org/10.1130/0016-7606 (1969)80[531: SOSDOS] 2.0.CO;2.

Fawzia, I., Moursy, F., Gaber E. I., and Samak, M. (2007).Sand drift potential in El-Khanka area. Egypt. Department of Natural Resources. Institute of African Research and Studies. Cairo University. Giza. Egypt. Water, Air and Soil Pollution. 13(6): 225-242.

General Directorate of Natural Resources of Sistan and Baluchistan Province, Office of Sand Stabilization and Desertification of Iran's Forests, Ranges and Watershed Organization, 2002. Identification plan for wind erosion critical foci and its implementation priorities, 127 pages.

Imani, R., Abdullahi, M., & Abbas, A, (2012). Investigating the morphometric changes of dunes using remote sensing technique (case study: Southeast of Ashgabat), Journal of Quantitative Geomorphology Research, second year, number 3 (7) p. 14.

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 Intergovernmental Panel on Climate Change, (2007). Summary for Policymakers. The Physical Science Basis.Camb.Univ. Press. ISBN 0-444-42753-8, 7: 165-177.

Omidvar, K. (2018). Natural Hazards, Yazd University Press, p. 312.

Lin, T.P., F. Matzarakis, A. (2008). Tourism climate and thermal comfort in Sun Moon Lake, Taiwan. International journal of biometeorology, 52, 281-290.

Lin, E., Leprince, S., & El-Magd, A. (2021). Retrieving Sand Dune Movements Using Sub-Pixel Correlation of Multi-Temporal Optical Remote Sensing Imager Northwest Sinai Peninsula, Egypt, Remote Sensing of Environment, 121(3): 51-60

Li, M. (2016). Study of Accuracy Assessment Techniques for Classification of Remotely Sensed Data, MSc Thesis, K.N, Toosi University, 1(2): 42-63.

Refahi, H. Gh, (2006). Wind Erosion and Conservation. Tehran University Press, Fourth edition. Tehran. 319 pp.

Squires, H,. Victor, R. (2012). Dust and sand storms: An early warning of impending disaster, Global Alarm: Dust and sand storms from the world's dry lands, United Nations.6 (1):47-54

Serqui, J, R., Levin, L. and Karnieli, G. (2019). An analysis of the current stability of the Dune Field at Great Sand Dunes National Monument using temporal TM imagery. J. Remote Sensing of Environment, 83(4): 488-497.

Smith, K. (2012). Environmental Hazards, translated by Ebrahim Moghimi and Shapour Guderzi, Tehran, Samt Organization Publications, page 383.

Sistan and Baluchestan Regional Water Joint Stock Company, (2004). Report on the status of water resources in Sistan and Baluchestan province in 2003. 94 pp., 57-83.

International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 13(7): 965-970.

USGS, satellite images related to the years 1998, 2000, 2002, 2004, 2005.

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.

WG, I. (2013). The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 1535.

Writing, H. Fatuhi, p. and R. Soraya, (2019). Identification of the effective factors in the vulnerability and the difference in the amount of wind sediments collected in rural schools of Nimroz city. Spatial Analysis of Environmental Hazards, 7(1), 33-48.

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

Youbin, S. Huayu, L. And Zhisheng, A. (2000). Grain size distribution of quartz isolated from Chinese loess1 paleosol, Chinese Science Bulletin, 45 (24): 2296-2298.

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.

Yakshin, 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.

University of Sistan and Baluchestan
Journal of Natural Environment Hazards
Print ISSN: 2676 - 4377 Online ISSN: 2676 - 4385
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

References

References (in Persian)

Ahmadi, H. and S. Faiznia, 2015. Formations of the Quaternary period (its theoretical and practical foundations in natural resources), first edition, Tehran University publications. [In Persian].
Ahmadi, H. 2017. Applied geomorphology, second volume of the desert - wind erosion, third edition, and Tehran University publications. p. 637. [In Persian].
Ahmadi H. and Mesbahzadeh, T. 2011. Comparison of Sand Drifts Potential Stimating, using momentum method and Fryberger velocity classes method (Case Study: Jask and Kerman). Journal of Soil and Water, 25(1): 11-18. [In Persian].
Ahmadi, H. and Mesbahzadeh, T. 2010. Evaluation of flow rate of sediment for dunes Jask region. Articles Collections of Sixth National Conference on Science and the Fourth National Conference on erosion and sedimentation. 8 and 9 May, Department of Natural Resources. Watershed Engineering, Tarbiat Modarres University, 4: 156-167. [In Persian].
Ahmadi, H. and Mesbahzadeh T. 2012. Investigation of sand drift potential (case study: Yazd–Ardakan plain). Journal of Agriculture Sciences Technology, 14: 919-928. [In Persian].
Ameri, A. Kh., Abdollahi, M. and Rezaian SH. 2010. A interpolation methods comparison zone classification drought in Kerman province by using GIS. 2 nd National Conference on Integrated Water Resources management, 21-22, Kerman, Iran. [In Persian].
Abbasi, M. Faiz Nia, S. Ahmadi, H. and Y. Kazemi, 2009. Origination of Niatek wind sediments using geochemical trace elements. Dry Earth, 1(1), 34-44. [In Persian].
Heydari Nesab, M. Karam, A. Negaresh, H. A. Pahlavanroi, 2018. Morphometric analysis of dunes and their movement speed in Sistan plain. Geographical Explorations of Desert Regions, 7(1), 149-164. [In Persian].
Khosravi, M. 2013. Investigating the relationship between the patterns of macro-scale atmospheric circulation in the Northern Hemisphere and the annual droughts of Sistan and Baluchistan. Geography and Development, 2(3), 167-188. [In Persian].
Khosravi, M. Mofidi, A. and R. Pourkrim Barabadi, 2015. Investigating the relationship between the one hundred and twenty-day wind of Sistan and the winds of East Khorasan. Natural Geography, 19(31), 19-37. [In Persian].
Khosravi, M. and H. Nazaripour, 2012. A synoptic study of the prevailing weather patterns in the Sistan region (Zabol station). Natural Geography Research (Geographic Research), 44(81), 39-62. [In Persian].
Khosravi, M. 2017. Environmental effects of the interaction of fluctuations of the Hirmand River with the 120-day winds of Sistan. Geographical Research, 23(91), 19-48. [In Persian].
Mohammadi, H. 2018. Atmospheric hazards of Tehran, Tehran University Press. Page 217. [In Persian].
Mousavi Harami, R. 1997. Sedimentology, Astan Quds Razavi Publications, 476 p. [In Persian].
Mohammadnia, M. Amir Ahmadi, A. and M., A. Zanganeh Asadi, 2022. Investigating the granulometric parameters of sediments in wind erosion studies (case study: Gonabad city), Applied Research in Geographical Sciences (Geographical Sciences), 22(66), 159-169. [In Persian].
Mousavi Harami, Reza, 1988, Sedimentology, Astan Quds Razavi Publications. [In Persian].
Nagaresh, Hossein, and Latifi, Laila. 2008. Investigating the damage caused by the movement of quicksand in the east of Zabol using satellite images. Natural Geography Research (Geographic Research), 41(67), 73-87. [In Persian].
Nagaresh, H. and L. Latifi, 2008. Geomorphological analysis of the progress of the dunes in the east of the Sistan plain in recent droughts, the scientific research quarterly of geography and development, University of Sistan and Baluchistan, year 6 (12): 43-60. [In Persian].
Refahi, H. (2013). Wind erosion and its control, Tehran University publications. P. 23. [In Persian].
Writing, H. Khosravi, M. Shahhosseini, M. and P. Mahmoudi, 2010. A study of short-term droughts in Zahedan city. Geography and Development, 8(serial 18), 109-134. [In Persian].

References (in English)

Armof, K., Tsoar, H., Lumberg, D.G., (2019). Dynamics if nebkhas superimposed on a parabolic dune and their effect on the dune dynamics, Journal of Arid environments, 73(11):1014–1022. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2009.04.021
Al-Awadhi, J.M., Al-Helal A. and Al-Enezi, M. (2005). Sand drift potential in the desert of Kuwait. Journal of Arid Environment, 6(3): 425- 438. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.03.011
Bagnold, R. A., (2022). The Physics of Blown Sand and Desert Dunes. 265 p. Methuen, London. 3(9): 273-284.
Boroughani, M., Pourhashemi, S., and Zarei, M. (2019). Identification of Dust Source Areas and its Characteristics in Eastern Iran. Desert Ecosystem Engineer, 25: 39-52.
Bielders, C. L., Lamers, J. P., & Michels, K. (2001). Wind erosion control technologies in the West African Sahel: the effectiveness of windbreaks, mulching, and soil tillage, and the perspective of farmers. Annals of Arid Zone, 40(3), 369-394.
Baroughani, L., Bielders. P.A., Lamers, F., 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. 40(3): 57-63.
Country Management and Planning Organization, (2022). Criteria and guidelines for digital processing of ETM+ satellite images in extracting land use and land cover maps, plains organization studies, Ministry of Jihad Agriculture, p. 184.
Darvishzadeh, A., and Mohammadi, M. 1386. Geology of Iran, Tehran, Tehran University Press, page 383.

Environmental Process System Consulting Engineers, (2016). Zabol Dam Environmental Assessment Study Plan, Sistan Water and Soil Resources Development Joint Stock Company, 207 pp., 85-41. 10.22125/iwe.2020.107099
Fryberger, S. G., and Dean G. (2008). Dune forms and wind regimes and Study of Global Sand Seas. Geological Survey Professional. 9(45)137-169.
Fryberger, E. Devrieszim, S. Vandijk, D. and Yurk, B. (2018). Patterns of wind flow and Aeolian deposition on a parabolic dune on the southeastern shore of Lake Michigan, Geomorphology. 10(5): 147-157.
Fawzia, R., VanPelt, R. S., Zobeck, T.M., and Ritchie, G. (2020). Source of dunes of southern California and northwestern Sonora, Mexico, Geological Society of American Bulletin. 8(12): 531-634. https://doi.org/10.1130/0016-7606 (1969)80[531: SOSDOS] 2.0.CO;2.
Fawzia, I., Moursy, F., Gaber E. I., and Samak, M. (2007).Sand drift potential in El-Khanka area. Egypt. Department of Natural Resources. Institute of African Research and Studies. Cairo University. Giza. Egypt. Water, Air and Soil Pollution. 13(6): 225-242.
General Directorate of Natural Resources of Sistan and Baluchistan Province, Office of Sand Stabilization and Desertification of Iran's Forests, Ranges and Watershed Organization, 2002. Identification plan for wind erosion critical foci and its implementation priorities, 127 pages.
Imani, R., Abdullahi, M., & Abbas, A, (2012). Investigating the morphometric changes of dunes using remote sensing technique (case study: Southeast of Ashgabat), Journal of Quantitative Geomorphology Research, second year, number 3 (7) p. 14.
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 Intergovernmental Panel on Climate Change, (2007). Summary for Policymakers. The Physical Science Basis.Camb.Univ. Press. ISBN 0-444-42753-8, 7: 165-177.
Omidvar, K. (2018). Natural Hazards, Yazd University Press, p. 312.
Lin, T.P., F. Matzarakis, A. (2008). Tourism climate and thermal comfort in Sun Moon Lake, Taiwan. International journal of biometeorology, 52, 281-290.
Lin, E., Leprince, S., & El-Magd, A. (2021). Retrieving Sand Dune Movements Using Sub-Pixel Correlation of Multi-Temporal Optical Remote Sensing Imager Northwest Sinai Peninsula, Egypt, Remote Sensing of Environment, 121(3): 51-60
Li, M. (2016). Study of Accuracy Assessment Techniques for Classification of Remotely Sensed Data, MSc Thesis, K.N, Toosi University, 1(2): 42-63.
Refahi, H. Gh, (2006). Wind Erosion and Conservation. Tehran University Press, Fourth edition. Tehran. 319 pp.
Squires, H,. Victor, R. (2012). Dust and sand storms: An early warning of impending disaster, Global Alarm: Dust and sand storms from the world's dry lands, United Nations.6 (1):47-54
Serqui, J, R., Levin, L. and Karnieli, G. (2019). An analysis of the current stability of the Dune Field at Great Sand Dunes National Monument using temporal TM imagery. J. Remote Sensing of Environment, 83(4): 488-497.
Smith, K. (2012). Environmental Hazards, translated by Ebrahim Moghimi and Shapour Guderzi, Tehran, Samt Organization Publications, page 383.
Sistan and Baluchestan Regional Water Joint Stock Company, (2004). Report on the status of water resources in Sistan and Baluchestan province in 2003. 94 pp., 57-83.
International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 13(7): 965-970.
USGS, satellite images related to the years 1998, 2000, 2002, 2004, 2005.
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.
WG, I. (2013). The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 1535.
Writing, H. Fatuhi, p. and R. Soraya, (2019). Identification of the effective factors in the vulnerability and the difference in the amount of wind sediments collected in rural schools of Nimroz city. Spatial Analysis of Environmental Hazards, 7(1), 33-48.
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
Youbin, S. Huayu, L. And Zhisheng, A. (2000). Grain size distribution of quartz isolated from Chinese loess1 paleosol, Chinese Science Bulletin, 45 (24): 2296-2298.
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.
Yakshin, 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.