



جغرافیا و روابط انسانی، پاییز ۱۴۰۲، دوره ۶، شماره ۲، صص ۶۱۰-۶۲۷

## ارزیابی مخاطرات نهشته‌های بادی دشت سیستان و تأثیر آن بر مخازن حیاتی چاه‌نیمه زابل

مهدی جدیدالاسلامی قلعه‌نو<sup>۱</sup>، فریبا اسفندیاری دارآباد<sup>۲\*</sup>، صیاد اصغری سراسکانرود<sup>۳</sup>، موسی عابدینی<sup>۴</sup>، رئوف

مصطفی‌زاده<sup>۵</sup>

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

۲- استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران (نویسنده مسئول):

(esfandyari@uma.ac.ir)

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

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

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

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۱

### چکیده

**هدف:** از انجام این تحقیق ارزیابی مخاطرات رسوبات بادی دشت سیستان و تأثیر آن بر مخازن حیاتی چاه‌نیمه 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. این عرصه قطعی در جهت جنوب شرق به شمال غرب را شامل می‌شود که از نظر ژئومورفولوژی دارای ۲ واحد دشت‌سر و پلایا است. از اهداف مهم این پژوهش ارائه راهکارهای مناسب برای به حداقل رساندن آسیب‌های ناشی از مخاطرات نهشته‌های بادی و خسارات ثانویه آن، در بخش‌های تأسیسات، کشاورزی، جاده‌ها و خسارات وارده به منطقه به‌ویژه بر مخازن آبی چاه‌نیمه است.

**روش‌شناسی پژوهش:** روش انجام این پژوهش، بررسی‌های میدانی، عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای با دوره‌های زمانی مختلف، بررسی مورفولوژی عمومی و بادهای منطقه (۱۲۰ روزه) و مکان‌یابی به لحاظ مطالعه ژئومورفولوژی منطقه انجام شد. در این پژوهش از نقشه‌های توپوگرافی، نقشه‌های زمین‌شناسی، نرم‌افزارهای رایانه‌ای از جمله ENVI و GIS استفاده شد. نمونه‌برداری از رسوبات (رسوب‌شناسی و ترسیم نمودارهای مربوطه) و مطالعات آزمایشگاهی XRF (فلوئورسانس اشعه ایکس)، تحلیل مقایسه‌ای و روش تجزیه و تحلیل داده‌ها صورت خواهد پذیرفت.

**یافته‌ها:** بر اساس نتایج تحقیق، عامل اصلی مخاطرات، 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، 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 داد که سرعت و جهت حرکت تپه‌های ماسه‌ای منطقه متناسب با باد غالب ۱۲۰ روزه و در جهت شمال غربی-جنوب شرقی هستند. علاوه بر آن، ارتفاع تپه‌های ماسه‌ای و حجم ماسه‌ها فاکتور مهمی در سرعت حرکت و میزان پیشروی تپه‌های ماسه‌ای در سطح دشت سیستان و ورود به مخازن چاه‌نیمه هستند.

**کلمات کلیدی:** مخاطرات طبیعی، نهشته‌های بادی، دشت سیستان، مخازن چاه‌نیمه زابل

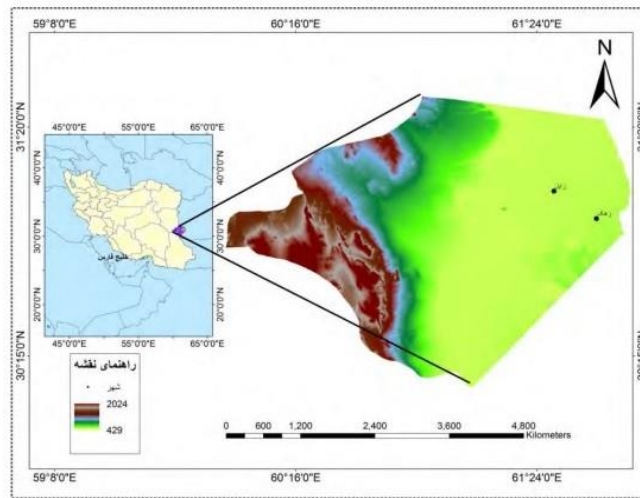
## مقدمه

در مقیاس جهانی وقوع طوفان‌ها و سیلاب‌ها از جمله مخرب‌ترین مخاطرات طبیعی محسوب می‌شوند (Vesterb et al, 2022)، چنان‌که بیش‌ترین حوادث، ناشی از این دو مخاطره است (Yakshin et al, 2022). طوفان‌های ماسه‌ای و گردوخاک نه تنها در ایران بلکه در سایر کشورهای آسیایی، آفریقایی و آمریکایی نیز موجب بروز خسارت‌های مالی و جانی فراوانی می‌شوند (Lin et al, 2022)، 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 (Youlin et al, 2022) و هم‌چنین جابجایی سالانه حداقل ۱۶۱ میلیون تن خاک در کانادا اشاره نمود (Serqiu, 2019). 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 تجزیه و تحلیل شده و با توجه به مسکونی بودن منطقه، مخاطرات ماسه‌ها شناسایی و جهت کاهش مخاطرات راهکار ارائه شود. با توجه بررسی‌های منشایی، منشاء رسوبات موجود در مخازن چاه‌نیمه بر اساس نتایج تحقیق، 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). بدون تردید اصلی‌ترین عامل فرسایش بادی در منطقه مورد مطالعه وقوع طوفان‌های ماسه بر اثر وزش بادهای ۱۲۰ روزه سیستان است. شدت وزش این بادهای ماسه‌ای به حدی است که با ایجاد غلظت گردوغبار در آسمان و هجوم ماسه‌های روان در سطح زمین هرگونه فعالیت را از انسان سلب نموده و اختلالاتی را در وضع عمومی به وجود می‌آورد. تپه‌های ماسه متحرک در منطقه، از خطرات عمده فرسایش بادی هستند که می‌توانند به شبکه‌های حمل و نقل، محصولات کشاورزی، منابع طبیعی و مناطق مسکونی خسارات شدیدی وارد سازند (غفاری و مصطفی‌زاده، ۱۳۹۴؛ احمدی و همکاران، ۱۴۰۰). برای مدیریت و کنترل فرسایش بادی باید عامل فرساینده (باد) و عامل فرسایش پذیر (خاک) مورد بررسی دقیق قرار گیرد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۸ و Armof و همکاران، ۲۰۱۹). در کشور ما حدود ۱۳ میلیون تپه ماسه‌ای وجود دارند که بیش از پنج میلیون هکتار آن را تپه‌های ماسه‌ای فعال و نیمه فعال تشکیل می‌دهد (عباس زاده و همکاران، ۱۳۹۷؛ تقی نژاد و همکاران، ۱۳۹۶ و Raoul و همکاران، ۲۰۱۹). رابطه معنی‌داری بین میانگین سالیانه شاخص تحرک و میانگین سالانه نرخ انتقال رسوبات بادی وجود دارد، این موضوع نشان می‌دهد که شاخص تحرک تپه‌های ماسه‌ای شاخص صحیحی برای سیستم‌های فرسایش بادی در درازمدت است و می‌تواند به‌طور مطمئنی برای اهدافی که به این منظور در نظر گرفته شده است مورد استفاده قرار گیرد (رفاهی و همکاران، ۱۳۹۷؛ فری برگر و همکاران، ۲۰۱۸ و فازی و همکاران، ۲۰۲۰). منطقه سیستان یکی از

مراکز طوفان‌زایی است که در آن به‌طور متوسط بیش از نیمی از سال طوفان‌های گردوغبار وجود دارد و شدت وزش بادهای ۱۲۰ روزه به حدی است که با ایجاد غلظت گردوغبار در آسمان و هجوم ماسه‌های روان در سطح زمین هرگونه فعالیت را از انسان سلب و اختلالاتی را در وضع عمومی به وجود می‌آورد. در سال‌های اخیر به‌علت خشکسالی ناشی از قطع آب رودخانه هیرمند به سیستان و وزش بادهای موسمی ۱۲۰ روزه، برداشت رسوبات از بستر دریاچه‌های خشک آغاز شده 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 به‌ویژه به مخازن چاه‌نیمه شده است. با توجه به اینکه از نتایج این پژوهش می‌توان برای کاهش اثرات منفی فعالیت‌های بادی بر زندگی ساکنین منطقه و منابع مهم و حیاتی مخازن چاه‌نیمه استفاده نمود لذا پژوهش‌هایی 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.

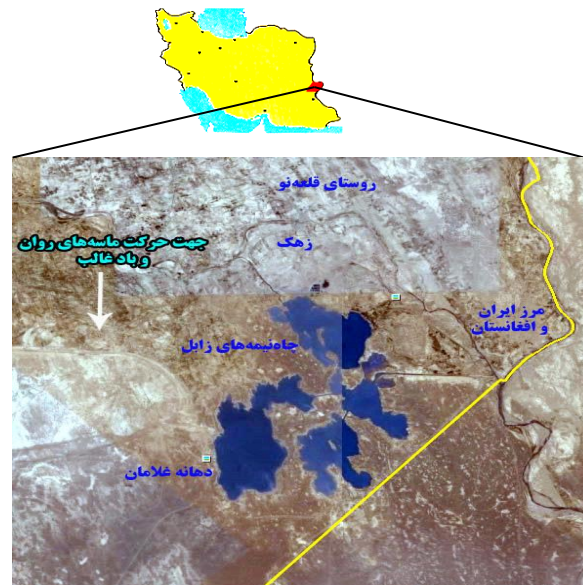
#### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در جنوب شرقی ایران و در شمال شرق دشت بزرگ سیستان و در جنوب غربی مرز مشترک ایران و افغانستان قرار دارد و از لحاظ موقع ریاضی در محدوده جغرافیایی ۳۱ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۱ 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 و ۲). سیستان دارای سه کانون بحرانی فرسایش بادی است که عبارت‌اند از: نیاتک، جزینک و تاسوکی - شیله که در مجموع سطحی معادل ۲۵۳۴۵۴ هکتار را دربر گرفته‌اند؛ از آنجا که کانون تا سوکی - 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. منطقه مورد مطالعه، در شرق زهک است در مسیر کانون بحرانی نیاتک، از جنوب به جزینک با مختصات ۳۰ درجه و ۴۹ دقیقه و ۶۷ ثانیه عرض شمالی و ۶۱ درجه و ۴۴ دقیقه و ۳۸ 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.



شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان سیستان و بلوچستان و مدل رقومی ارتفاع (منبع:

نگارندگان، ۱۴۰۱)



شکل ۲ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه بر اساس تصاویر Google Earth

### مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر بر اساس مطالعات میدانی و آزمایشگاهی XRF "فلوئورسانس اشعه ایکس" صورت پذیرفت. ابزارهای تجزیه و تحلیل داده‌ها و اطلاعات در پژوهش حاضر شامل نرم‌افزارهای GIS، ENVI و SPSS بود. مراحل انجام تحقیق به شرح زیر بوده است:

## الف - بررسی تغییرات کاربری اراضی

برای بررسی تغییرات کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌ای لندست استفاده شد. به منظور تهیه تصاویر ماهواره‌ای با تجزیه و تحلیل مقادیر شاخص جریان رودخانه‌ای (SDI) از تصاویر مربوط به سال‌های عدم وقوع (۲۰۰۴) و وقوع خشکسالی هیدرولوژیک (۲۰۲۰) استفاده شد. برای طبقه‌بندی تصاویر از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده استفاده شد. 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.

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

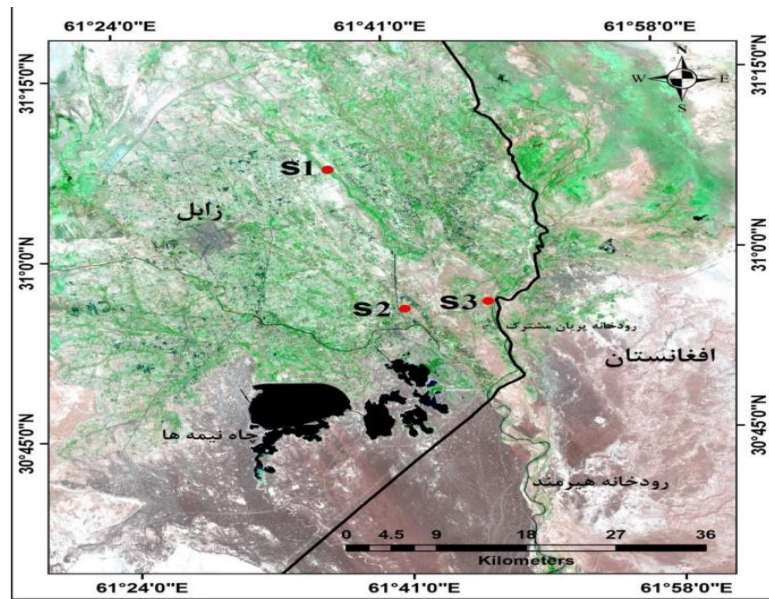
جهت بررسی تأثیر پوشش گیاهی بر جابه‌جایی نهشته‌های بادی از تصاویر ماهواره‌ای لندست و شاخص NDVI در سال‌های ۱۹۹۶، ۲۰۰۱، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۶ استفاده شد. با بررسی انجام‌شده کاهش پوشش گیاهی در این حوزه از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ به وضوح دیده می‌شود و در سال‌های ۱۹۹۶ و ۲۰۱۶ میزان پوشش گیاهی افزایش داشته است. تصاویر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

## ج - استفاده از داده‌های هواشناسی، تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های زمین‌شناسی

با استفاده از داده‌های هواشناسی و نقشه‌های زمین‌شناسی به مطالعه موقعیت، خصوصیات و ویژگی‌های منطقه پرداخته، و سپس با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مادیس (۲۰۰۴ و ۲۰۲۰) به بررسی بادهای ۱۲۰ روزه و مخاطرات ناشی از آنها که بیش‌ترین تأثیر را در ایجاد تپه‌های ماسه‌ای و ایجاد مخاطره بر سکونتگاه‌های منطقه و مخازن حیاتی چاه‌نیمه رادارند پرداخته شد. با انجام این موضوع، تپه‌های ماسه‌ای به‌عنوان یک مخاطره محیطی مورد بررسی قرار گرفت و از ابعاد گوناگون مطالعه شد.

## د - آزمایشات XRF و مورفوسکوپی رسوبات در دو کریدور بحرانی

نمونه‌های رسوبی (S1-S2-S3)، از مناطق مختلف مخازن چاه‌نیمه برداشت و با استفاده از روش XRF مورد آزمایش قرار گرفت. آزمایشات نشان داد ارتباط ژنتیکی بسیار نزدیکی بین رسوبات اراضی برداشت منطقه و ذرات و نهشته‌های تپه‌ها و پهنه‌های ماسه‌ای می‌باشد که این امر حاکی از محلی بودن ذرات برداشت‌شده و جابجایی آنها در سطح عرصه است. 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 دائماً جابجا می‌شوند.



شکل ۳ نقشه موقعیت نمونه‌های رسوبات برداشت شده در منطقه مورد مطالعه (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱)

### یافته‌ها ( نتایج )

#### بررسی تغییرات کاربری اراضی

برای بررسی تغییرات کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌ای لندست استفاده شد. به منظور تهیه تصاویر ماهواره‌ای با تجزیه و تحلیل مقادیر شاخص جریان رودخانه‌ای (SDI) از تصاویر مربوط به سال‌های عدم وقوع (۲۰۰۴) و وقوع خشکسالی هیدرولوژیک (۲۰۲۰) استفاده شد (جدول ۱ و شکل ۴). با توجه به زمان ورود جریان‌های سیلابی به منطقه سیستان و نیز مراحل فنولوژیکی گیاهی در این منطقه از تصاویر مربوط به ماه آوریل استفاده شد (خوارزمی و همکاران، ۲۰۱۶). به منظور 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 تحقیق صرف نظر و تصحیحات رادیومتری 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 برداشت شده 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. به منظور ارزیابی صحت طبقه‌بندی صورت گرفته ضریب کاپا برای هر یک از تصاویر مورد استفاده بر اساس معادله زیر برآورد شد (پودینه و پویان، ۲۰۱۶).



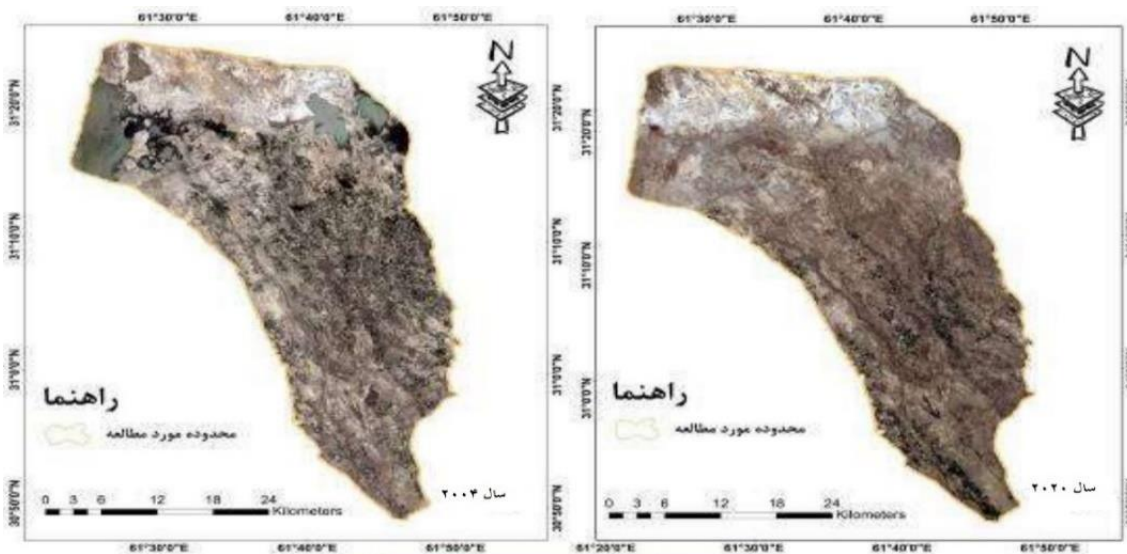
\*100 kappa= po-pc/1-pc

(۱)

که در این معادله، po درستی مشاهده شده و pc توافق مورد انتظار است. با طبقه بندی تصاویر و تهیه نقشه کاربری اراضی به منظور تعیین آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی از توابع cross tab در محیط Idris Selva استفاده شد.

**جدول ۱ ویژگی های تصاویر ماهواره لندست مورد استفاده در تعیین کاربری اراضی**

ردیف	تاریخ میلادی	تاریخ هجری شمسی	ماهواره	سنجنده	اندازه پیکسل	تعداد باندها
۱	۲۰۰۴/۴/۲۸	۱۳۸۳/۲/۹	Landsat7	ETM	۲۸/۵	۸
۲	۲۰۲۰/۴/۲۵	۱۳۹۹/۲/۶	Landsat7	OLI	۳۰	۱۱

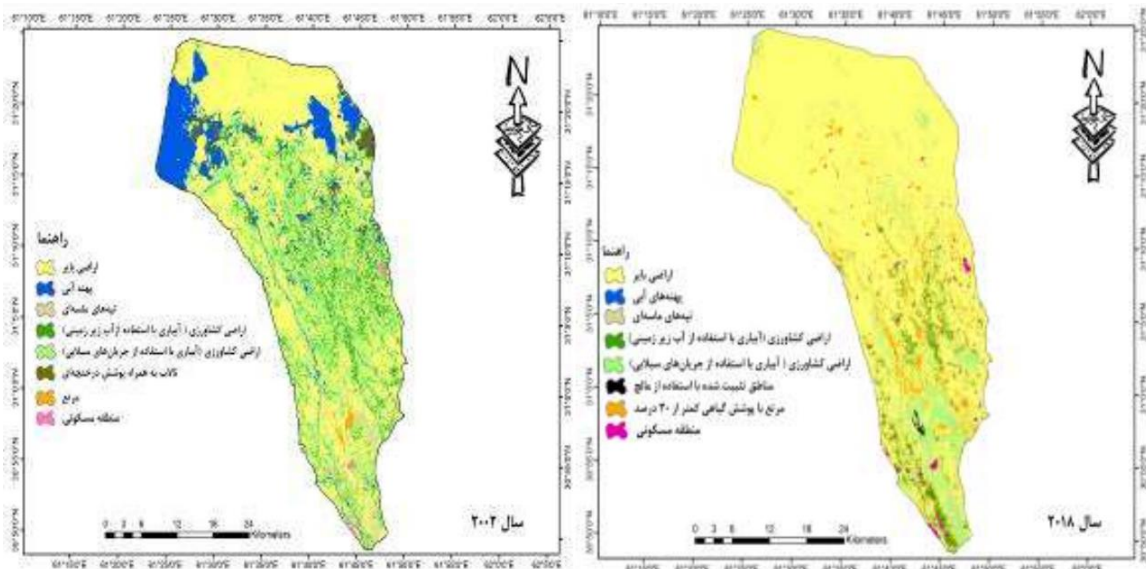


شکل ۴ تصاویر ماهواره ای مورد استفاده در تعیین کاربری اراضی (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱)

**جدول ۲ تعداد نمونه های آموزشی برای هر طبقه کاربری اراضی**

کاربری اراضی سال	کشاورزی	کشاورزی (سیلابی)	مرتع	مناطق مسکونی	بایر	پهنه آبی	تپه های ماسه ای	تالاب/پوشش گیاهی	مناطق تثبیت شده با مالچ
۲۰۰۴	۱۲۰	۹۰	۱۰۰	۷۰	۹۰	۴۰	۳۰	-	
۲۰۲۰	۱۲۰	۹۰	۱۰۰	۷۰	۹۰	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 هریک از کاربری‌های با توجه به تقسیمات سیاسی کشور برای هریک از شهرستان و بخش‌های منطقه مورد مطالعه با تبدیل نقشه‌های رستری به فرمت Shapefile 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 سیستم صورت می‌گیرد، از این رو وقوع خشکسالی‌های اخیر و کاهش تداوم و حجم جریان‌های سیلابی در منطقه، باعث شده است تا آب مورد نیاز برای کشت این اراضی با توجه به حاصلخیزی بالای آن‌ها فراهم نشود که حاصل آن بایر شدن ۳۰۷۳/۲۲ هکتار از این اراضی بوده است. در شکل (۵) نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل ۵ نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱)

بررسی پوشش گیاهی توسط تصاویر ماهواره‌ای لندست و شاخص NDVI

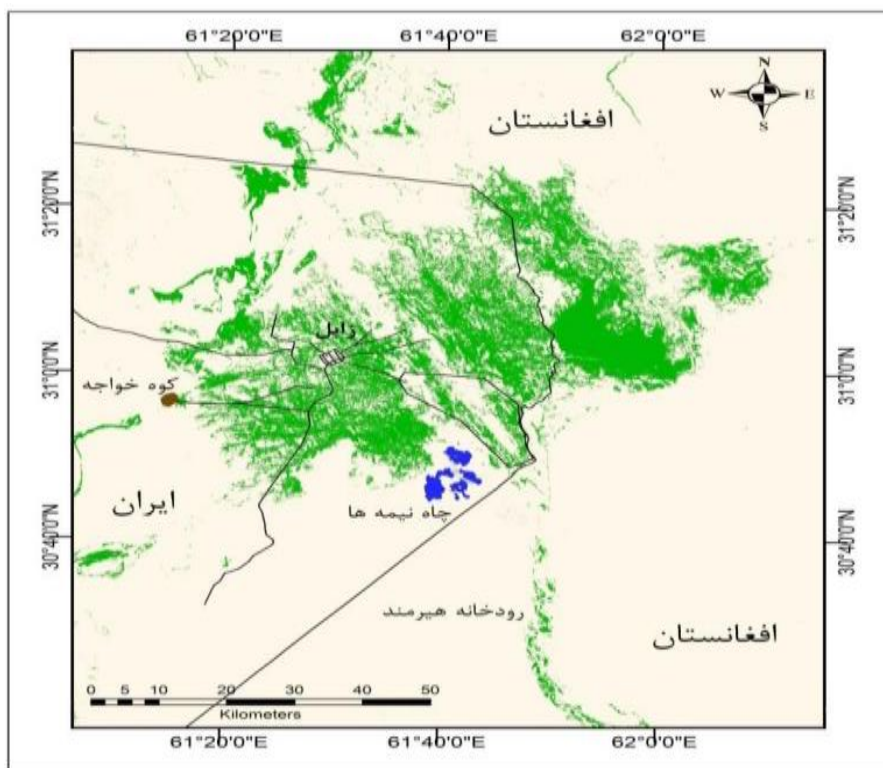


منطقه شرق زهک به دلیل شرایط اقلیمی و زمین‌شناسی دارای پوشش گیاهی بسیار کمی است که در سال‌های اخیر نیز به دلیل خشکسالی و تغییرات و نوسانات شدید بارندگی این میزان در حال کاهش است. با بررسی‌های انجام‌گرفته توسط تصاویر ماهواره‌ای لندست و شاخص NDVI در سال‌های ۱۹۹۶، ۲۰۰۱، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۶ کاهش پوشش گیاهی در این حوزه از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ به‌وضوح دیده می‌شود و در سال‌های ۱۹۹۶ و ۲۰۱۶ میزان پوشش گیاهی افزایش داشته است. (اشکال ۶ تا ۱۲). 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 کیلومترمربع می‌باشد 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 کیلومترمربع رسیده است. در سال ۲۰۰۵ میزان پوشش گیاهی ۳۳/۳ کیلومترمربع، در سال ۲۰۱۰ به ۴۲/۷ کیلومترمربع و در سال ۲۰۱۶ به ۴۸/۱ کیلومترمربع رسیده است. میزان جابجایی تپه‌های ماسه‌ای و بایر بودن زمین در طی دوره آماری ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ روند افزایشی داشته است. آن‌هم به خاطر کمبود ورودی آب رودخانه هیرمند به منطقه مورد مطالعه 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. لذا 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.

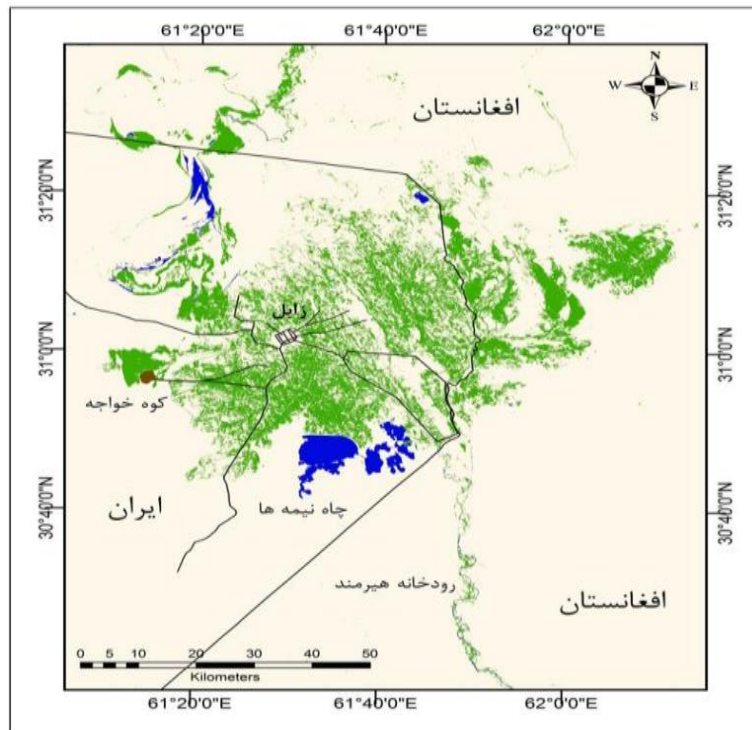
جدول ۳ میزان پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه با استفاده از NDVI در سال‌های مورد مطالعه (منبع):

#### نگارندگان

سال	پوشش گیاهی (کیلومترمربع)	تپه‌های ماسه‌ای و زمین‌های بایر و غیره (کیلومترمربع)	مساحت (کیلومترمربع)
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

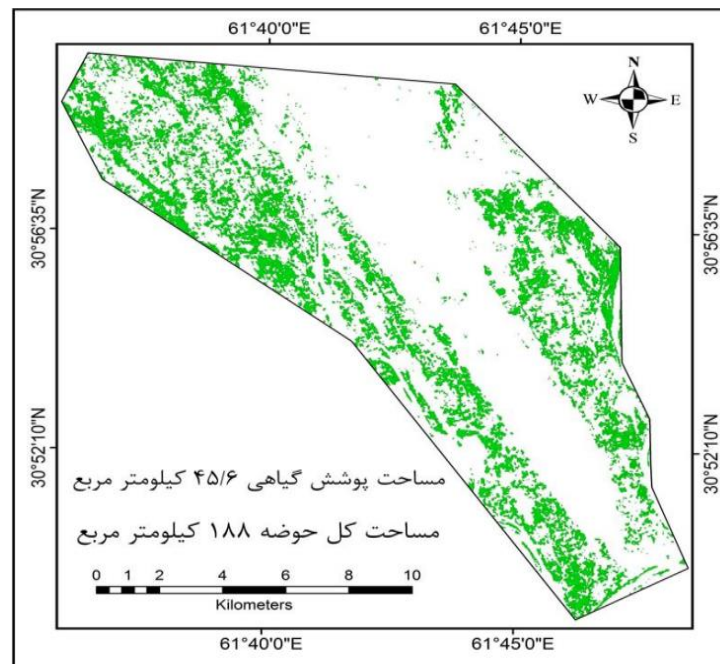


شکل ۶ نقشه پراکنش پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه نسبت به دشت سیستان با استفاده از NDVI در سال ۲۰۰۰ (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱)



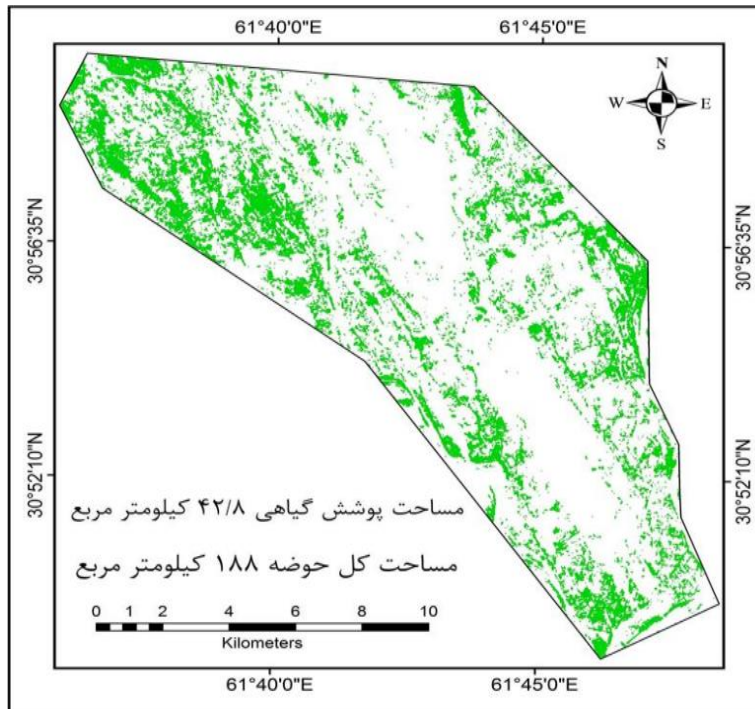
شکل ۷ نقشه میزان پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه نسبت به دشت سیستان با استفاده از NDVI در سال

۲۰۱۵ (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱)



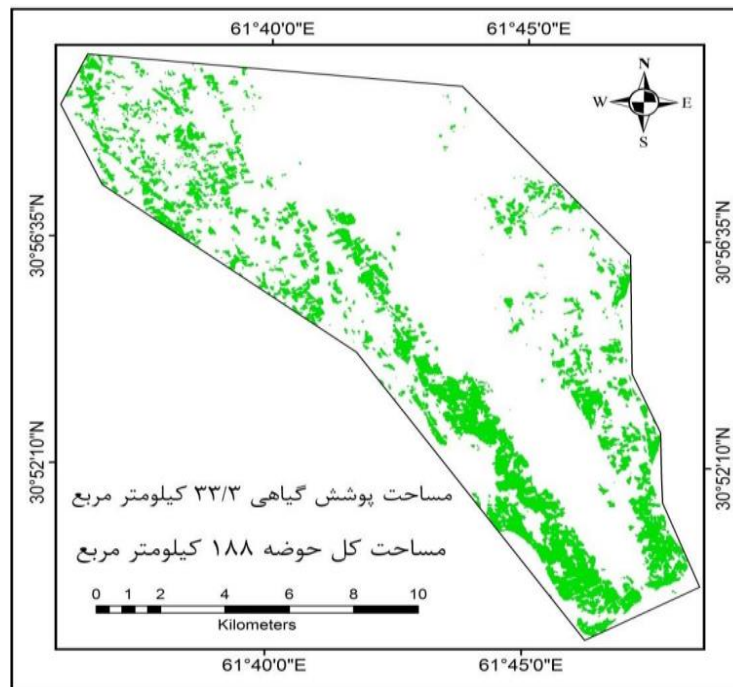
شکل ۸ نقشه میزان پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه نسبت به دشت سیستان با استفاده از NDVI در سال

۱۹۹۶ (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱)



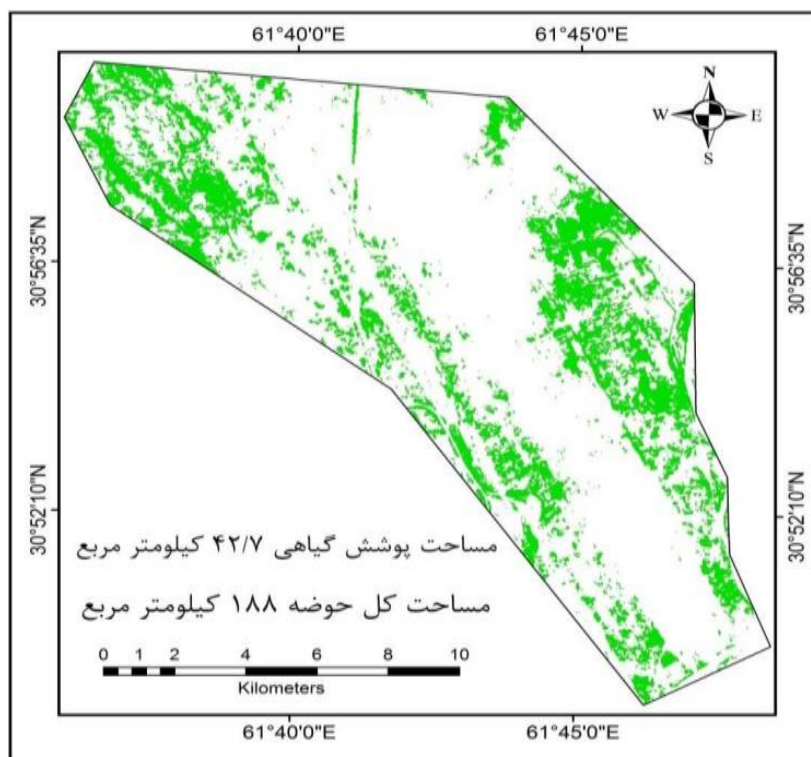
شکل ۹ نقشه میزان پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه نسبت به دشت سیستان با استفاده از NDVI در سال

۲۰۰۱ (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱)

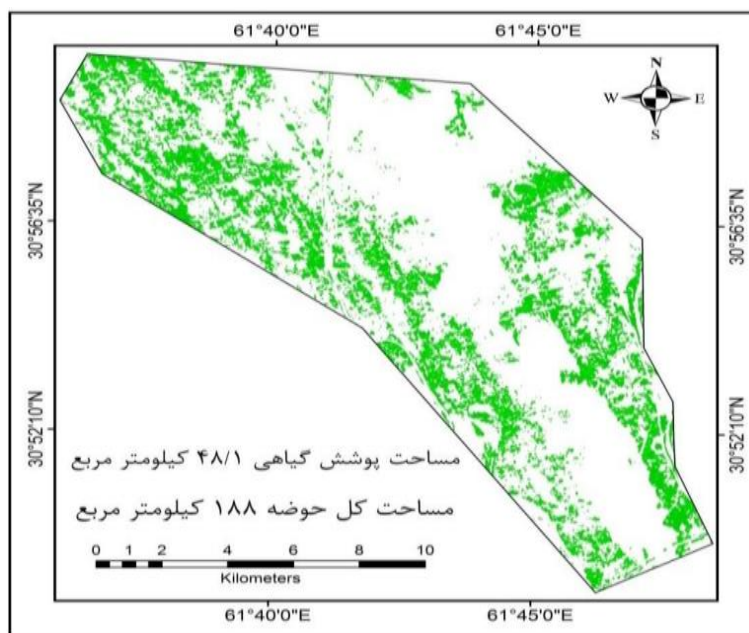


شکل ۱۰ نقشه میزان پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه نسبت به دشت سیستان با استفاده از NDVI در سال

۲۰۰۵ (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱)



شکل ۱۱ نقشه میزان پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه نسبت به دشت سیستان با استفاده از NDVI در سال ۲۰۱۰ (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱)



شکل ۱۲ نقشه میزان پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه نسبت به دشت سیستان با استفاده از NDVI در سال

۲۰۱۶



تجزیه و تحلیل شیمیایی رسوبات بادی شرق منطقه مورد مطالعه (زهک) با استفاده از XRF  
 آنالیز شیمیایی رسوبات بادی نیاتک به روش XRF  
 در جدول (۵) نتایج حاصل از آزمایشات XRF رسوبات بادی نیاتک ارائه شده است.

جدول ۵ نتایج حاصل از آزمایشات XRF در رسوبات بادی نیاتک

Sample	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	So <sub>3</sub>
۰/۰	۴۹/۱۷	۸/۸۲	۴/۰۴	۱۷/۶۲	۲/۵۵	۰/۰۰
Sample	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CL	LoI	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
۰/۰	۲/۰۰	۱/۳۴	۰/۰۰۹	۹/۷۱	۰/۴۸	۰/۱۲

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

جدول ۶- نتایج حاصل از آزمایشات XRF رسوبات بادی جزینک

Sample	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	So <sub>3</sub>
۰/۰	۴۹/۱۷	۸/۸۲	۴/۰۴	۱۷/۶۲	۲/۵۵	۰/۰۰
Sample	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CL	LoI	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
۰/۰	۲/۰۰	۱/۳۴	۰/۰۰۹	۹/۷۱	۰/۴۸	۰/۱۲

تفسیر و تحلیل آنالیز شیمیایی رسوبات بادی به روش XRF  
 نتایج حاصل از تمام تکنیک‌های فوق 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 می‌باشد که این امر حکایت از محلی بودن ذرات برداشت شده و جابجایی آن‌ها در سطح عرصه دارد. به عبارت دیگر 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 خشک شده و نهشته‌های دلتایی رودخانه‌های سیستان، نیاتک و اراضی کشاورزی رها شده، منشاء اصلی و محدوده برداشت رسوبات منطقه. بررسی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌ها نشان داد که وجود عناصر مشترک فراوان در نمونه‌های ۱ تا ۳ بر یکسان



بودن منشاء آن‌ها دلالت دارد. به‌طورکلی رسوبات منطقه تقریباً شبیه به هم بوده که نشان از محلی بودن ذرات و یکسان بودن منطقه برداشت دارد.

### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

مطالعات انجام‌شده در دو کریدور بحرانی نیاتک و جزینک بر اساس تفسیر تصاویر ماهواره‌ای و کارهای میدانی نشان داد که تغییرات کاربری‌های موجود در منطقه بیش‌ترین افزایش به نفع تپه‌های ماسه‌ای بوده است. پوشش گیاهی که میزان آن در سال ۱۹۹۶، ۴۵/۵ کیلومترمربع بوده و در طی سال‌های ۲۰۰۱ به ۴۲/۵ کیلومترمربع و در سال ۲۰۰۵ به ۳۳/۳ کیلومترمربع و در سال ۲۰۱۰ به ۴۲/۷ و در سال ۲۰۱۶ به ۴۸/۱ رسیده است و نشان از آن دارد که پوشش گیاهی منطقه بستگی به ورود آب رودخانه هیرمند دارد. بر اساس کارهای میدانی محقق که در منطقه مورد مطالعه انجام گرفت، نشان داد که میزان جابجایی تپه‌های ماسه‌ای در تمام ماه‌های سال از سمت شمال غربی به سمت جنوب شرقی است و در ماه‌های تابستان، اوج جریانات طوفانی، بخاطر شرایط اقلیمی منطقه می‌باشد. بر اساس نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل جهت و سرعت باد در ایستگاه‌های سینوپتیک محدوده مورد مطالعه (زابل و زهک) در دوره اقلیمی مورد نظر، مهم‌ترین بادهای غالب و طوفانی در حداکثر مواقع سال، به‌خصوص در فصل تابستان به خاطر وجود جریانات اقلیمی هستند، که تپه‌های ماسه‌ای در منطقه شرق زهک حاصل همین طوفان‌ها هستند که از سمت شمال غربی و جنوب شرقی می‌وزد و در اکثر ماه‌های سال که با وزش خور نقش مهمی در حرکت و تغییرات تپه‌های ماسه‌ای دارند، به‌عبارت‌دیگر رابطه مستقیمی بین بادهای غالب (۱۲۰ روزه) و میزان پیش‌بینی تپه‌های ماسه‌ای وجود دارد. مطالعات رسوب‌شناسی رسوبات مخازن چاه‌نیمه 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 درون مخازن چاه‌نیمه داشته است. با توجه به بادهای ۱۲۰ روزه سیستان و شدت آن و خشک بودن سطح دریاچه در فصل تابستان، فرسایش بادی در شمال چاه‌نیمه چهارم از شدت زیادی برخوردار است و باعث پراکندگی رسوبات و افزایش گردوغبار در سطح منطقه می‌شود. مخازن چاه‌نیمه که عاملی مهم برای ماندگاری مردم در این منطقه به شمار می‌روند، هم‌اکنون در تهدید جدی شن‌های روان قرار دارند، که اگر از هجوم شن‌ها و ماسه‌های روان به این مخازن جلوگیری نشود، موجودیت این منابع آب بسیار حساس و مهم به خطر خواهد افتاد و زندگی مردم این منطقه با مشکل مواجه می‌شود. بنابراین با توجه به اینکه حرکت تپه‌های ماسه‌ای به‌طرف جنوب شرق می‌باشد و چاه‌نیمه‌ها که تأمین‌کننده آب منطقه هستند تا چند سال آینده مقصد نهایی تپه‌های ماسه‌ای خواهند بود و متأسفانه در صورت پرشدن مخازن چاه‌نیمه‌ها از رسوبات بادی، خطر و بحران عظیمی این سرزمین را تهدید خواهد نمود. گرچه پیش‌بینی دقیق زمان پر شدن چاه‌نیمه‌ها کاری سخت و دشوار است ولی با توجه به نزدیک بودن تپه‌های ماسه‌ای

به چاه‌نیمه‌ها و میانگین سرعت جابجایی تپه‌های ماسه‌ای که بین ۳۰ تا ۱۰۰ متر در سال برآورد شده است، به نظر می‌رسد طی ۲ تا ۳ سال آینده تپه‌های ماسه‌ای به حریم چاه‌نیمه‌ها برسند و در صورت ریزش شن و ماسه در آب چاه‌نیمه‌ها ضمن کاهش عمق آن‌ها کیفیت آب نیز کاهش پیدا خواهد کرد، ولی پر شدن چاه‌نیمه‌ها مستلزم تکرار و تداوم خشکسالی‌ها، عدم ورود آب هیرمند به هامون‌ها و تشدید طوفان‌های شن و ماسه و کم یا خالی شدن چاه‌نیمه‌ها از آب خواهد بود که این امر نیاز به ده‌ها و شاید قرن‌ها زمان دارد. در هر حال تهدید را نباید دست‌کم گرفت و به مصداق علاج واقعه را قبل از وقوع باید کرد، باید از هم‌اکنون به فکر چاره‌ای برای آن بود.

## منابع

- احمدی، حسن، ۱۳۷۰. ژئومورفولوژی کاربردی. جلد دوم، بیابان - فرسایش بادی، انتشارات دانشگاه تهران، شماره ۲۳۹۶ صفحه ۵۷۰.
- احمدی، حسن، فیض نیا، سادات، ۱۳۸۵. سازندهای دوره کواترنر (مبانی نظری و کاربردی آن در منابع طبیعی)، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران.
- اختصاصی، محمد رضا، دادفر، صدیقه، تجملیان، مهدیه، شاه بندری، راضیه. ۱۳۹۸. بررسی رابطه شاخص همگنی حمل ماسه با شکل تپه‌های ماسه‌ای (UDI)، دومین همایش ملی فرسایش بادی و طوفان‌های گردوغباری. ص ۳۵ - ۴۵.
- 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 تکل، 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، شماره ۳، ص ۱-۱۵.
- اسمیت، کیت. ۱۳۹۲. مخاطرات محیطی، ترجمه ابراهیم مقیمی و شاپور گودرزی، تهران، انتشارات سازمان سمت، صفحه ۳۸۳.
- بهزاد، علی. ۱۳۳۳. رسوب‌شناسی، انتشارات دانشگاه تربیت‌معلم تهران، شماره ۸۳، صفحه ۱۹۴.
- پودینه، اسماعیل، صلاحی، برومند، خسروی، محمود، حمیدیان پور، محسن. ۱۳۹۷. تحلیل روند تغییرات بیشینه سرعت بادهای ۱۲۰ روزه سیستان با آزمون‌های من-کندال و شیب تخمین سن. پژوهش‌های دانش زمین، ۹(۳۴)، ۱۲۸-۱۱۴.
- پویان، سهیلا، زارع، محمد، اختصاصی، محمد رضا. ۱۳۹۸. بررسی توزیع مکانی و دسته‌بندی شاخص توفان‌های گردوغبار (DSI) با استفاده از روش گشتاور خطی. مرتع و آبخیزداری (منابع طبیعی ایران)، ۷۲(۱)، ۴۳-۲۹.
- 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.
- حیدری نسب، مهدی. ۱۳۸۶. نقش باد در ایجاد لندفرم‌های بادی در منطقه نیاتک سیستان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- خسروی، محمود. ۱۳۸۴. طرح پژوهشی اثرات اکولوژیکی و زیست‌محیطی بادهای ۱۲۰ روزه در سیستان، سازمان حفاظت محیط‌زیست استان سیستان و بلوچستان، مشاور طرح پژوهشکده علوم زمین و جغرافیای دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- رفاهی، حسینقلی. ۱۳۸۳. فرسایش بادی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران. ص ۲۳.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، نقشه‌های توپوگرافی منطقه با مقیاس‌های ۱:۵۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰.

- 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.
- شرکت سهامی آب منطقه‌ای سیستان و بلوچستان، ۱۳۸۳. گزارش وضعیت منابع آبی استان سیستان و بلوچستان در سال ۱۳۸۲. ۹۴ ص، ۵۷-۸۳.
- عباسی، مرضیه، فیض نیا، سادات، احمدی، حسن، کاظمی، یونس. ۱۳۸۹. منشایابی رسوبات بادی نیاتک با استفاده از ردیابی عناصر ژئوشیمیایی. خشک بوم، (۱)۱، ۴۴-۳۴.
- غفاری، دیمین، مصطفی‌زاده، ر. (۱۳۹۴). بررسی منشاء، اثرات و راهکارهای پدیده گرد و غبار در ایران. حفاظت و بهره‌برداری از منابع طبیعی، ۴(۲): ۱۰۷-۱۲۵.
- معتمد، احمد (۱۳۷۹). ژئومورفولوژی، انتشارات سازمان سمت. جلد سوم. تهران.
- مهندسین مشاور جامع ایران، ۱۳۸۳. اداره کل منابع طبیعی استان سیستان و بلوچستان.
- موسوی حرمی، رضا. ۱۳۷۷. رسوب‌شناسی، انتشارات آستان قدس رضوی، چاپ پنجم، مشهد.
- 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)، ۸۷-۷۳.
- 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)، ۲۲-۱.
- 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.
- Ahmadi, H. and Mesbahzadeh T. (2012). Investigation of sand drift potential (case study: Yazd-Ardakan plain). *Journal of Agriculture Sciences Technology*, 14: 919-928.
- Ahmadi, H. and Mesbahzadeh, T. (2010). Evaluation of flow rate of and sediment for sand 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.
- 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*, 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.
- 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 deposition on a parabolic dune on the southeastern shore of Lake Michigan, *Geomorphology*. 10(5): 147-157.
- 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.
- IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change, (2007). 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). *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.
- Lin, E. Leprince, S. and 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
- Lin, T.P., F. Matzarakis, A. (2008). Tourism climate and thermal comfort in Sun Moon Lake, aiwan, *International Journal of Biometeorology*, Vol. 5(2): pages 281-290.
- NOAA, Dust storms, Sand storms and related, NOAA activities in the middle East, NOAA, 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.
- Talebi Khiavi, H., & Mostafazadeh, R. (2021). Land use change dynamics assessment in the Khiavchai region, the hillside of Sabalan mountainous area. *Arabian Journal of Geosciences*, 14, 1-15.
- Talebi Khiavi, H., Mostafazadeh, R., Asaadi, M. A., & Asbaghian Namini, S. K. (2022). Temporal land use change and its economic values under competing driving forces in a diverse land use configuration. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(20), 1597.
- 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.
- 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.
- 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 5<sup>th</sup> 1993, *Global Alarm: Dust and sand storm from the world’s drylands*, United Nations, 45(13):69