

Determining the Most Suitable Vegetation Index for Mapping of Desertification Intensity in Arid Lands of Sistan Using Sentinel Images

F. Zolfaghari^{1*}, V. Abdollahi¹

1. Assistant Professor, Higher education complex of Saravan, Saravan, Iran.

* Corresponding Author: f.zolfaqari@saravan.ac.ir

Received date: 10/02/2022

Accepted date: 23/04/2022

 [10.22034/JDMAL.2022.548652.1375](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2022.548652.1375)

Abstract

Vegetation is one of the most important key components in arid regions for reducing of the effects of erosion and determining the severity of desertification. Decrease in vegetation leads to increase in surface albedo. Accessing and preparing desertification intensity map at the fastest possible time and at the lowest cost is one of the concerns of governments. In the present study, in order to identify the best vegetation index for preparing the desertification intensity map, MSIL-1C data of Sentinel 2 satellite in the arid region of Sistan has been used. For this purpose, the relationship between surface albedo and each of the different vegetation indices of the NDVI, RVI, DVI, PVI, SAVI and TSAVI were conducted. After determining the linear regression equation between the albedo and each of the mentioned indices, the relevant desertification intensity equation was calculated and the desertification intensity map of the studied area at 5 classes was prepared based on albedo and each of the mentioned indices. The results showed the strongest relationship in the study area was between albedo and NDVI, with a correlation coefficient of 0.63, and the lowest correlation of 0.37 was between the albedo and PVI indices. Based on the present study among the indices studied, the NDVI is the best for the preparation of maps of desertification intensity in the arid region of Sistan. Based on this index, 20.3% of the region was classified as severe and 32.9% of the region grouped into the moderate desertification class.

Keywords: Classification; Remote Sensing; Sentinel 2; NDVI; Albedo





تعیین مناسب‌ترین شاخص پوشش گیاهی برای تهیه نقشه شدت بیابان‌زایی در مناطق خشک به کمک تصاویر ماهواره سنتینل

فرهاد ذوالفقاری^{۱*}، وحیده عبداللهی^۱

۱. استادیار، مجتمع آموزش عالی سراوان، سراوان، ایران.

* نویسنده مسئول: f.zolfaqari@saravan.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۰۳

 [10.22034/JDMAL.2022.548652.1375](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2022.548652.1375)

چکیده

پوشش گیاهی یکی از مهمترین مؤلفه‌های کلیدی در مناطق خشک برای کاهش تاثیر فرسایش و شناخت شدت بیابان‌زایی به حساب می‌آید. کاهش پوشش گیاهی منجر به افزایش سپیدایی (آلبدوی) سطحی می‌شود. تهیه نقشه شدت بیابان‌زایی در سریع‌ترین زمان و کمترین هزینه یکی از دغدغه‌های دولت‌ها برای شناخت سریع مناطق بحرانی و تخریب شده می‌باشد. در پژوهش حاضر برای شناسایی بهترین شاخص پوشش گیاهی برای تهیه نقشه شدت بیابان‌زایی در منطقه خشک سیستان از داده‌های MSIL-1C ماهواره سنتینل ۲ استفاده شده است. برای این هدف رابطه بین میزان سپیدایی سطح زمین و هر یک از شاخص‌های مختلف پوشش گیاهی از جمله NDVI، RVI، DVI، PVI، SAVI و TSAVI مورد ارزیابی قرار گرفت. پس از تعیین رابطه رگرسیون خطی بین سپیدایی و هر یک از شاخص‌های مذکور رابطه شدت بیابان‌زایی مربوطه استخراج و نقشه شدت بیابان‌زایی منطقه مورد بررسی در پنج کلاس طبقه‌بندی گردید. نتایج نشان داد که در منطقه مورد مطالعه قوی ترین رابطه بین دو شاخص NDVI و Albedo وجود دارد به طوری که ضریب همبستگی برابر با ۰/۶۳ بود. کمترین میزان همبستگی بین دو شاخص سپیدایی و PVI به مقدار ۰/۳۷۲ بدست آمد. بر اساس پژوهش حاضر بهترین شاخص پوشش گیاهی از بین شاخص‌های مورد ارزیابی برای تهیه نقشه‌های شدت بیابان‌زایی در منطقه سیستان شاخص NDVI بود. بر اساس این شاخص ۲۰/۳٪ منطقه در کلاس شدید و ۳۲/۹۲٪ منطقه در کلاس متوسط بیابان‌زایی طبقه‌بندی گردید.

واژگان کلیدی: سنجش از دور؛ طبقه‌بندی؛ سپیدایی؛ سیستان؛ شاخص پوشش گیاهی



■ مقدمه

پوشش گیاهی به عنوان عاملی برای پایداری سطح زمین، یکی از مهمترین مؤلفه‌های کلیدی در مناطق خشک برای کاهش تأثیر فرسایش و تعیین شدت بیابان‌زایی به حساب می‌آید (۲۱). کاهش پوشش گیاهی و زیتوده ارتباط مستقیمی با تخریب خاک دارد و منجر به افزایش سپیدایی سطحی^۱ می‌شود (۱۶). میزان سپیدایی در مناطق تخریب یافته و دارای پوشش گیاهی تنک افزایش می‌یابد (۵). با کاهش پوشش گیاهی در سطح زمین در واقع مقدار رطوبت کاهش می‌یابد و مقدار سپیدایی سطح در این مناطق افزایش می‌یابد (۱۹). سپیدایی پتانسیل پایش تغییرات عملکرد بوم‌نظام (اکوسیستم) در مناطق خشک را دارد و به عنوان زنگ خطری برای شروع پدیده بیابان‌زایی است (۲۸). در نقاط مختلف دنیا بررسی‌های زیادی به کمک فناوری سنجش از دور برای تهیه نقشه شدت بیابان‌زایی در مناطق خشک و نیمه خشک پرداخته‌اند، مانند الگوریتم‌های طبقه‌بندی (۲ و ۳) و شاخص‌های طیفی (۱۳) که غالب آن‌ها بر پایه داده‌های ماهواره لندست (سنجنده OLI) بوده است؛ و کمتر از داده‌های ماهواره سنتینل استفاده شده است. برای پایش بیابان‌زایی مدلی بر مبنای شاخص سپیدایی و شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی در سال ۲۰۱۱ توسط پژوهشگران ارائه گردید این شاخص‌ها به خوبی می‌تواند منعکس کننده بیابان‌زایی پوشش سطح زمین، ترکیب آب گرما و تغییرات آنها باشد و با استفاده از اطلاعات دورسنجی چند طیفی به راحتی می‌توان مناطق بیابانی شده را شناسایی نمود (۱۶). مطالعاتی بر اساس مدل تجزیه و تحلیل ترکیب طیفی، سه گروه متفاوت شامل پوشش گیاهی، آب و خاک برهنه نیز صورت گرفته است در این مطالعات ابعاد تصاویر ماهواره‌ای را به روش کسر حداقل نویز (MFN^۲) کاهش و برای محدود کردن دامنه نهایی از شاخص خلوص پیکسل استفاده گردیده است (۱۹). در این پژوهش بر اساس ویژگی‌های

طیفی- زمانی مؤلفه‌های پوشش گیاهی و سپیدایی سطح زمین که از تصاویر ماهواره لندست بدست آوردند، وضعیت و درجه بیابان‌زایی را تعیین نمودند. برای درک بهتر پویایی، زمانی- مکانی فرآیندهای زیست محیطی با استفاده از تکنیک تحلیل بردار تغییر (CVA^۳)، مقدار تغییرات شاخص‌های سپیدایی و شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی در چهار دوره زمانی بررسی و میزان تغییرات بدست آمده برای هر گام زمانی به خوبی نمایش داده شد (۱۲). برای ارزیابی بیابان‌زایی در شهرستان ناتال، ریوگرانده دونورت^۴ جهت تعیین شاخص‌های مؤثر در بیابان‌زایی منطقه با استفاده از الگوریتم سبال^۵ اقدام گردید و به این منظور شاخص‌های سپیدایی، پوشش گیاهی و دمای سطح زمین با استفاده از فناوری سنجش از دور مورد بررسی قرار گرفت و نتایج این پژوهش نشان داد که میزان سپیدایی در حال افزایش بوده و دما و شاخص پوشش گیاهی رفتار مشابهی از خود نشان دادند (۵). تحلیل الگوی مکانی- زمانی بیابان‌زایی با شاخص‌های، MSAVI^۶، FVC^۷ و TVDI^۸، و همچنین درجه حرارت سطح زمین و سپیدایی سطح با استفاده از تصاویر سنجنده لندست و سامانه اطلاعات جغرافیایی^۹ صورت گرفته است (۱۰). نتایج بررسی آنها نشان داد که با استفاده از فناوری سنجش از دور و با محاسبه شاخص‌های مورد اشاره بخوبی می‌توان مناطق بیابانی شده و مناطقی که در آن شدت بیابان‌کاهش یافته است را رصد نمود. آنها در این پژوهش نشان دادند که عوامل انسانی مانند تغییرات جمعیتی و افزایش سطح زیر کشت در دوره مورد مطالعه (۲۰۱۰-۲۰۰۰) از جمله عوامل مؤثر در پدیده بیابان‌زایی بوده است و به کمک فناوری سنجش از دور و شاخص‌های مربوطه به درستی می‌توان اثرات بیابان‌زایی را بررسی کرد.

با استفاده از شاخص‌های NDVI^{۱۰} و TGSII^{۱۱} و Albedo، وضعیت سطح زمین در خصوص زیست توده گیاهی، الگوی سیمای سرزمین و آب و هواشناسی در

^۷ Fractional Vegetation Cover

^۸ Temperature-Vegetation Drought Index

^۹ Geographic Information System

^{۱۰} Normalized Difference Vegetation Index

^{۱۱} Topsoil Grain Size Index

^۱ Surface Albedo

^۲ Minimum Noise Fraction

^۳ Change Vector Analysis

^۴ Natal, Rio Grande do Norte

^۵ Surface Energy Balance Algorithm for Land

^۶ Modified Soil-Adjusted Vegetation Index

به دلایل مسائل امنیتی و خارج از مرز سیاسی ایران با مشکلات عدیده‌ای روبرو بوده است. از طرفی بررسی‌های قبلی صورت گرفته به کمک فن‌آوری سنجش از دور بیشتر بر پایه شاخص NDVI یا دیگر شاخص‌های پوشش گیاهی بوده است و ارتباط بین تغییرات شاخص‌های مختلف پوشش گیاهی و سپیدایی از نگاه بیابان‌زایی کمتر مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفته شده است. با توجه به اینکه تا کنون رابطه بین دیگر شاخص‌های پوشش گیاهی با سپیدایی مورد بررسی و توجه قرار نگرفته است ضروریست تا جهت شناخت مناسب‌ترین شاخص پوشش گیاهی مطالعات مختلفی در نقاط متفاوتی از مناطق خشک کشور صورت پذیرد. لذا پژوهش حاضر با هدف ارزیابی شدت بیابان‌زایی در منطقه خشک سیستان با استفاده از داده‌های ماهواره سنتینل^۴ برای بررسی رابطه شاخص‌های مختلف پوشش گیاهی و سپیدایی برای شناخت شاخص گیاهی که بیشترین همبستگی را با سپیدایی داشته باشد انجام شد و در آخر بر پایه بهترین شاخص نقشه شدت بیابان‌زایی منطقه تهیه شد.

■ مواد و روش

منطقه مورد بررسی

تالاب بین‌المللی هامون با مساحت حدود 15197 km^2 در شرق ایران واقع شده است. این منطقه شامل سرزمینی پست و هموار و یکی از مناطق با ارزش‌های بوم‌شناختی ویژه می‌باشد (۲۳). منطقه سیستان از لحاظ شرایط بوم‌شناختی جزء مناطق خشک و بحرانی کشور است (۹). منطقه مورد بررسی بخشی از دشت سیستان به مساحت 14072 ha و در محدوده $30^\circ 49'$ تا $31^\circ 40'$ عرض شمالی و $61^\circ 13'$ تا $61^\circ 32'$ طول شرقی می‌باشد (شکل ۱). بر اساس آمارهای بلند مدت (۹۵-۱۳۶۲) ایستگاه هم‌دید (سینوپتیک) شهرستان زابل میانگین بلند مدت بارش در این منطقه $61/01 \text{ mm}$ است که حدود 44% بارندگی‌های آن در فصل زمستان اتفاق می‌افتد. میانگین بلند مدت درجه حرارت هوا $26/6^\circ\text{C}$ و گرمترین ماه سال تیرماه با متوسط $41/4^\circ\text{C}$ و سردترین ماه سال دیماه با

مقیاس کوچک^۱ با توسعه یک مدل کمی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است (۱۳). محققان در پژوهش خود هیچ ارتباطی بین شاخص NDVI و سپیدایی و همچنین NDVI و TGSi مشاهده نکردند اما همبستگی زیادی (۰/۷۷ تا ۰/۹۲) بین شاخص سپیدایی و TGSi در مناطق غیر بیابان‌زایی مشاهده نمودند. آنها نشان دادند که بر اساس این شاخص‌ها، بیابان‌زایی منطقه در حال افزایش می‌باشد. همچنین بیان کردند که با شناسایی تغییرات در سطح NDVI، TGSi و سپیدایی سطح می‌توان فرایند بیابان‌زایی را شناسایی کرد و بیشترین ارزش TGSi در مناطقی که بیابان‌زایی شدید رخ داده بود مشاهده شد.

محققینی با استخراج شاخص‌های NDVI و BSI^2 و Albedo از تصاویر ماهواره لندست و با مدل CVA^3 به بررسی تعیین جهت و اندازه شاخص‌ها، به ارزیابی تخریب یا پیشرفت وضعیت زمین در دوره‌های مختلف زمانی پرداخته‌اند (۴). در این مطالعه با استفاده از رابطه بین NDVI و Albedo شاخص درجه بیابان‌زایی نشان داده شد. همچنین محققین دیگری با استفاده از شاخص‌های Albedo و $MSAVI$ به مطالعه تخریب خاک پرداخته و شدت تخریب خاک را با استفاده از این دو شاخص به کمک فناوری سنجش از دور نشان دادند (۷). بررسی و مطالعه یک مدل جغرافیایی منطقه‌ای و بررسی سه شاخص $MSAVI$ ، $NDVI$ ، $TGSi$ و سپیدایی سطح نشان داد که رابطه بین دو شاخص Albedo و $MSAVI$ نسبت به دو شاخص دیگر برای بدست آوردن نقشه شدت بیابان قوی‌تر و مناسب‌تر می‌باشد (۲۵). بررسی شدت بیابان‌زایی بر اساس خصوصیات فضائی Albedo و $NDVI$ و Albedo و $MSAVI$ نشان داد که چنانچه میزان پوشش گیاهی در سطوح مورد بررسی کاهش یابد از میزان شاخص NDVI و $MSAVI$ کاسته شده و بر مقدار Albedo افزوده می‌شود (۱۵، ۲۴).

در منطقه سیستان تاکنون روش‌های مختلفی برای ارزیابی بیابان‌زایی و طبقه‌بندی شدت بیابان‌زایی صورت گرفته است (۶، ۸، ۱۷، ۲۰، ۲۹)، که بیشتر آنها به دلیل صرف هزینه‌های زیاد، وسعت منطقه و عدم دسترسی

³ Change Vector Analysis

⁴ Sentinel

¹ Micrometeorology

² Bare Soil Index

DVI، SAVI و TSAVI و Albedo بود که بر اساس روابط ۱ تا ۷ محاسبه شد (۲۲).

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (۱)$$

$$DVI = NIR - \alpha \times RED \quad (۲)$$

$$RVI = \frac{NIR}{RED} \quad (۳)$$

$$SAVI = \frac{(1 + L) \times (NIR - RED)}{NIR + RED + L} \quad (۴)$$

$$TSAVI = \frac{\alpha \times (NIR - \alpha \times RED - b)}{RED + \alpha \times NIR - \alpha \times b} \quad (۵)$$

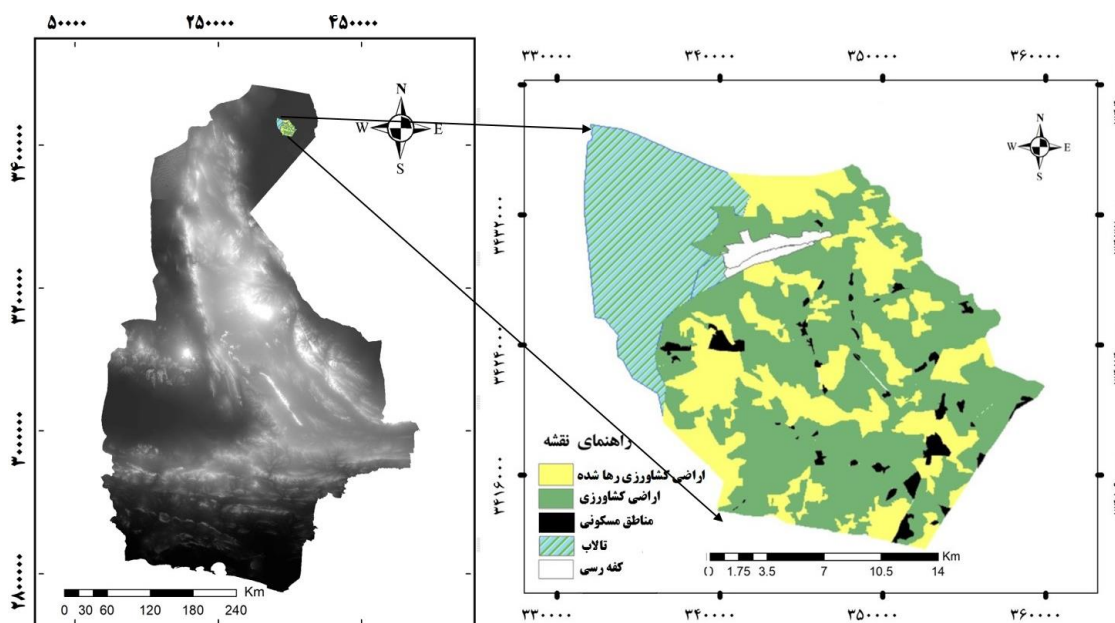
$$PVI = \sin(\alpha) NIR - \cos(\alpha) RED \quad (۶)$$

۲/۴°C است. حداکثر سرعت بادهای غالب بر اساس دیده‌بانی‌های دراز مدت در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور می‌باشد و کمینه متوسط سرعت باد در آذرماه اتفاق می‌افتد (۲۹).

روش پژوهش

برای دستیابی به اهداف تعیین شده در پژوهش حاضر برای پیش پردازش و پردازش تصاویر ماهواره‌ای سنتینل از نرم افزار SNAP^۱ استفاده شد. همچنین برای تجزیه‌های آماری و رگرسیون از نرم افزار SPSS 24 و برای خروجی و تهیه نقشه‌های شدت بیابان‌زایی از نرم افزار Arc GIS 10.3 استفاده شده است. در پژوهش حاضر برای پایش بیابان‌زایی در منطقه سیستان از مناطق خشک استان سیستان و بلوچستان مراحل زیر صورت گرفت:

گام اول تهیه تصاویر ماهواره‌ای و انجام عملیات آماده سازی تصاویر بود، برای این منظور داده‌های ماهواره Sentinel 2A مربوط به سنسور MSIL-1C دوم آگوست سال ۲۰۲۰ انتخاب و کلیه تصاویر از سایت آژانس فضائی اروپا دانلود و مورد استفاده قرار گرفت (۱۱). گام دوم محاسبه شاخص‌های پوشش گیاهی NDVI، RVI، PVI.



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه

^۱ Sentinel application platform

$$I = a * \text{Index} - \text{Albedo} \quad (۸)$$

در این رابطه I شدت بیابان‌زایی، a مقدار ضریب حاصل از رگرسیون بین شاخص سپیدایی و شاخص پوشش گیاهی مربوطه که از تقسیم یک بر ضریب شاخص پوشش گیاهی بدست می‌آید (۴) و Index هریک از شاخص‌های پوشش گیاهی مورد بررسی می‌باشد.

از روش شکست طبیعی جنکس^۳ برای طبقه‌بندی ارزش داده‌ها به ۵ درجه بیابان‌زایی استفاده شد (۱۰، ۴ و ۲۷). در این تقسیم بندی ۵ طبقه مختلف شدت بیابان‌زایی شامل ۱- مناطق بدون بیابان‌زایی، ۲- شدت کم، ۳- شدت متوسط، ۴- شدت زیاد، و ۵- شدت خیلی زیاد در بیابان‌زایی تعریف شد.

■ نتایج

بررسی رابطه بین Albedo و شاخص‌های گیاهی

نتایج حاصل از بررسی رابطه رگرسیون خطی بین دو شاخص NDVI و Albedo نشان داد که بین این دو شاخص رابطه قوی و منفی با ضریب همبستگی ۰/۶۳۳ (در سطح اطمینان ۹۹٪) برقرار می‌باشد (شکل ۲)، به طوری که با افزایش مقدار شاخص NDVI شاخص سپیدایی کاسته می‌شود.

نتایج حاصل از مدل رگرسیون خطی بین دو شاخص PVI و Albedo نشان داد که ضریب همبستگی بین این دو شاخص برای منطقه زابل ۰/۳۷۲ (در سطح اطمینان ۹۹٪) است و رابطه حاصل نیز منفی می‌باشد (شکل ۳). به طوری که با افزایش مقدار شاخص PVI از مقدار شاخص سپیدایی کاسته می‌شود.

نتایج حاصل از مدل رگرسیون خطی بین دو شاخص RVI و Albedo نشان داد که ضریب همبستگی برای منطقه زابل ۰/۵۴۴ (در سطح اطمینان ۹۹٪) است (شکل ۴) و در این شاخص نیز با افزایش مقدار شاخص RVI از مقدار شاخص سپیدایی کاسته می‌شود.

در این روابط RED باند قرمز (شماره ۴)، NIR باند مادون قرمز نزدیک (شماره ۸) ماهواره سنتینل ۲ می‌باشد. مقدار ضرایب در روابط ۱ الی ۶ به شرح ذیل مورد استفاده قرار گرفت:

$$\alpha = 0.096916 \quad b = 0.84726 \\ L = 0.5$$

در پژوهش حاضر محاسبه مقدار شاخص سپیدایی سطح بر اساس رابطه لیانگ^۱ که برای تصاویر سنجنده سنتینل ۲ ارائه شده است بر اساس رابطه (۷) انجام شد (۱۸). با توجه به اینکه برای محاسبه مقدار سپیدایی سطح باندهای مورد استفاده دارای دقت مکانی ۱۰ متر و ۲۰ متری می‌باشند ابتدا با دستور بازنمونه برداری^۲ همه باندها به رزولوشن مکانی ۱۰ متری در نرم افزار SNAP تبدیل شد.

$$\alpha = 0.356b_2 + 0.130b_4 + 0.373b_8 + 0.085b_{11} + 0.072b_{12} - 0.0018 \quad (۷)$$

در این رابطه α مقدار سپیدایی سطح و نماد b با اندیس مربوطه نشان دهنده شماره باند ماهواره سنتینل ۲ است. در پژوهش حاضر برای کاهش مقدار خطای ناشی از رطوبت سطحی خاک و همچنین عدم حضور گونه‌های یک‌ساله و موقت، فصل تابستان و ماه میانه آن یعنی مردادماه برای بررسی انتخاب شد، زیرا در این بازه زمانی سطح خاک خشک و فقط گونه‌های دائمی حضور دارند که نقش بسیار مهمی در پایداری و حفاظت خاک دارند.

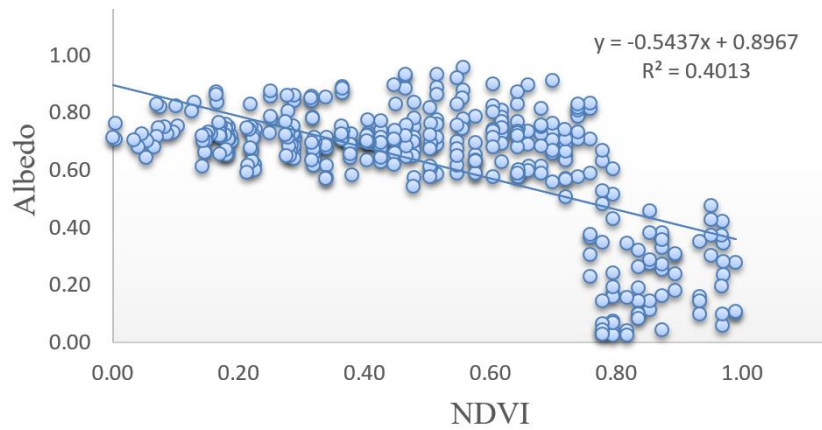
محاسبه شدت بیابان‌زایی

به منظور برآورد رابطه بین شاخص‌های گیاهی NDVI، RVI، PVI، DVI، SAVI، TSAVI و Albedo از مدل رگرسیون خطی بر اساس ۳۶۲ پیکسل تصادفی استفاده شد. همچنین برای دستیابی به رابطه شدت بیابان‌زایی ضریب شیب خط حاصل از رگرسیون بین هریک از شاخص‌های پوشش گیاهی و Albedo محاسبه و رابطه شدت بیابان‌زایی ارائه شد (رابطه ۸).

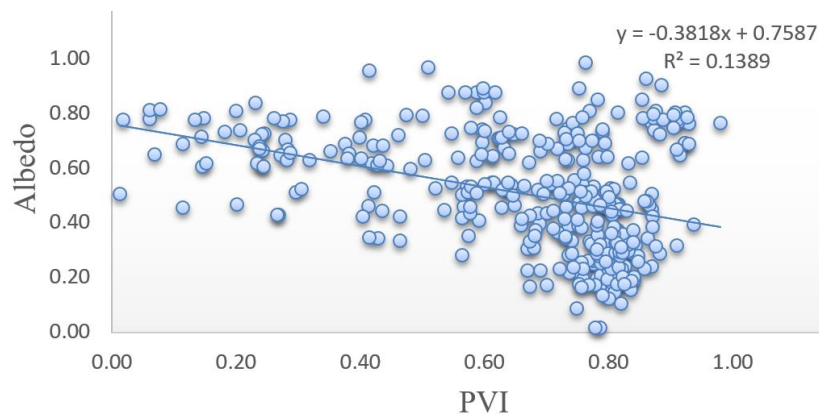
³Natural Breaks (Jenks)

¹ Liang

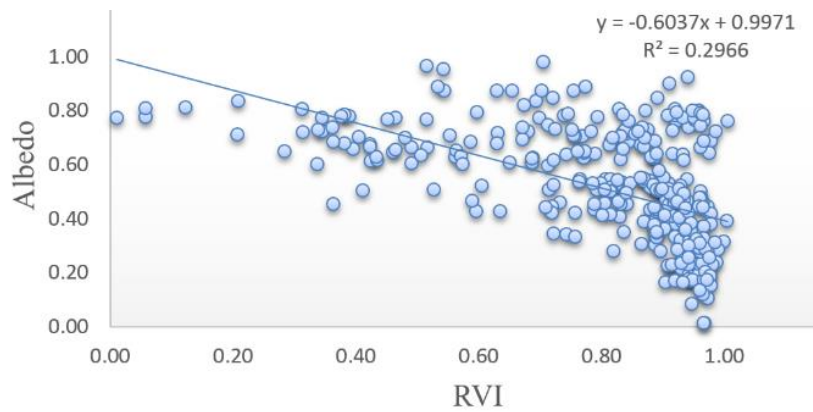
² Resampling



شکل ۲. نتایج حاصل از بررسی رابطه بین Albedo - NDVI به روش رگرسیون خطی



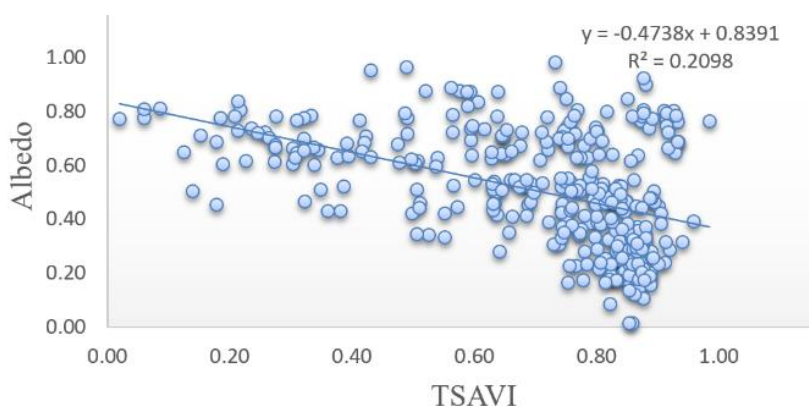
شکل ۳. نتایج حاصل از بررسی رابطه بین Albedo - PVI به روش رگرسیون خطی



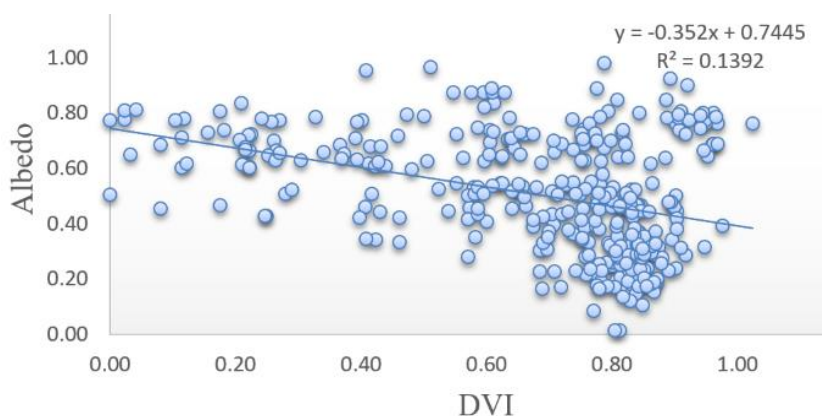
شکل ۴. نتایج حاصل از بررسی رابطه بین Albedo - RVI به روش رگرسیون خطی

نتایج حاصل از مدل رگرسیون خطی بین دو شاخص DVI و Albedo نشان داد که بین این دو شاخص نیز رابطه معکوس و متوسطی وجود دارد و ضریب همبستگی برابر با ۰/۳۷۳ (در سطح اطمینان ۰/۹۹) می‌باشد (شکل ۶).

نتایج حاصل از مدل رگرسیون خطی بین دو شاخص Albedo و TSAVI نشان داد که مقدار ضریب همبستگی ۰/۴۵۸ (در سطح اطمینان ۰/۹۹) برای منطقه زابل می‌باشد (شکل ۵)، که بیانگر وجود یک رابطه منفی بین این دو شاخص است. به طوری که با افزایش شاخص TSAVI، از شاخص سپیدایی کاسته می‌شود.



شکل ۵. نتایج حاصل از بررسی رابطه بین Albedo - TSAVI به روش رگرسیون خطی

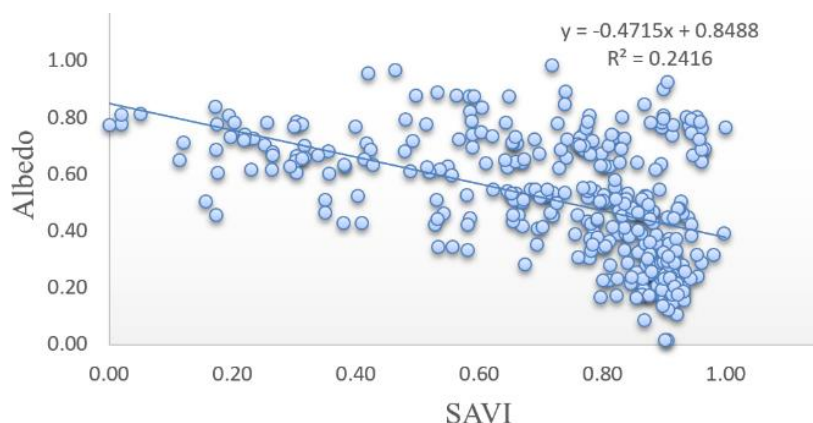


شکل ۶. نتایج حاصل از بررسی رابطه بین Albedo - DVI به روش رگرسیون خطی

همبستگی در منطقه مورد مطالعه بین شاخص NDVI-Albedo به مقدار $0/633$ وجود دارد، همچنین کمترین همبستگی بین شاخص PVI-Albedo به مقدار $-0/372$ در منطقه مورد مطالعه وجود دارد که در جدول (۱) برای منطقه مورد مطالعه به تفکیک رابطه بین شاخص سپیدایی با هر یک از شاخص‌های پوشش گیاهی نشان داده شده است.

نتایج حاصل از مدل رگرسیون خطی بین دو شاخص SAVI و Albedo نشان داد که ضریب همبستگی بین این دو شاخص برابر با $0/491$ (در سطح اطمینان $0/99$) است (شکل ۷) و رابطه بین این دو شاخص نیز یک رابطه معکوس می‌باشد.

نتایج حاصل از بررسی رابطه بین شاخص Albedo با هر یک از شاخص‌های مورد بررسی پوشش گیاهی، NDVI, SAVI, RVI, PVI, TSAVI و DVI نشان داد که بالاترین



شکل ۷. نتایج حاصل از بررسی رابطه بین Albedo - SAVI به روش رگرسیون خطی

جدول ۱. نتایج حاصل از رابطه رگرسیون خطی بین شاخص سپیدایی با هر یک از شاخص‌های پوشش گیاهی

نام شاخص	معادله رگرسیون	ضریب تبیین	(r)	p
NDVI-Albedo	$\text{Albedo} = -0.5437 \times \text{NDVI} + 0.8967$	۰/۴۰۱	-۰/۶۳۳	۰/۰۰۰۱
SAVI-Albedo	$\text{Albedo} = -0.4715 \times \text{SAVI} + 0.8488$	۰/۲۴۱	-۰/۴۹۱	۰/۰۰۰۱
RVI-Albedo	$\text{Albedo} = -0.6037 \times \text{RVI} + 0.9971$	۰/۲۹۶	-۰/۵۴۴	۰/۰۰۰۱
PVI-Albedo	$\text{Albedo} = -0.3818 \times \text{PVI} + 0.7587$	۰/۱۳۸	-۰/۳۷۲	۰/۰۰۰۱
TSAVI-Albedo	$\text{Albedo} = -0.4738 \times \text{TSAVI} + 0.8391$	۰/۲۰۹	-۰/۴۵۸	۰/۰۰۰۱
DVI-Albedo	$\text{Albedo} = -0.352 \times \text{DVI} + 0.7445$	۰/۱۳۹	-۰/۳۷۳	۰/۰۰۰۱

۸/۴۳٪ منطقه در طبقه کم بیابان‌زایی طبقه‌بندی شده است (شکل ۸-ج).

تعیین شدت بیابان‌زایی بر اساس مدل Albedo-SAVI نشان داد که در منطقه مورد مطالعه بیشترین سطح منطقه در طبقه خیلی شدید با ۴۸/۵٪ و کم‌ترین سطح منطقه با ۲/۱۹٪ منطقه در طبقه کم بیابان‌زایی طبقه‌بندی شده است (شکل ۸-د).

تعیین شدت بیابان‌زایی بر اساس مدل Albedo-TSAVI نشان داد که در منطقه مورد بررسی بر اساس این شاخص بیشترین سطح منطقه در طبقه خیلی شدید با ۴۶/۰۵٪ و کم‌ترین سطح منطقه با ۲/۶۴٪ در طبقه مناطق بدون بیابان‌زایی طبقه‌بندی شده است (شکل ۸-ر).

تعیین شدت بیابان‌زایی بر اساس مدل Albedo-DVI نشان داد که بیشترین سطح منطقه در طبقه خیلی شدید با ۴۸/۴٪ و کم‌ترین سطح منطقه با ۲/۳۸٪ منطقه در طبقه کم بیابان‌زایی طبقه‌بندی شده است (شکل ۸-ز).

نتایج حاصل از درصد تعیین شدت بیابان‌زایی بر پایه مدل سپیدایی و هر یک از شاخص‌های پوشش گیاهی برای منطقه مورد بررسی در جدول (۴) نشان داده شده است.

بر اساس ضریب حاصل شده از رگرسیون خطی بین شاخص Albedo و هر یک از شاخص‌های مختلف پوشش گیاهی که در جدول (۱) ارائه شده است معادله شدت بیابان‌زایی استخراج گردید که در جدول (۲) برای هر یک از شاخص‌های مورد بررسی نشان داده شده است.

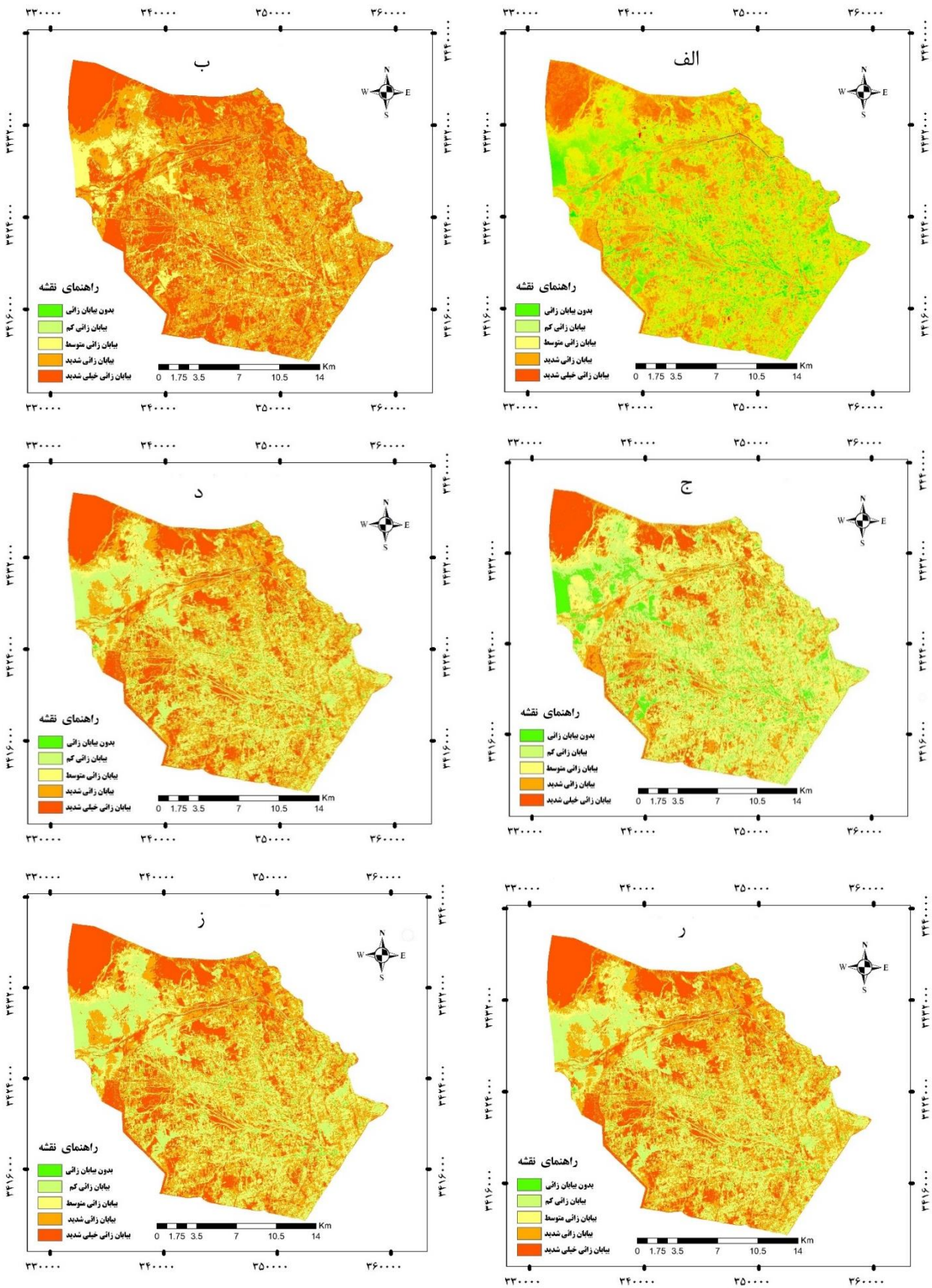
نتایج حاصل از نقشه شدت بیابان‌زایی بر اساس طبقه‌بندی دامنه حاصل از شکست طبیعی جنکس در ۵ طبقه بر اساس مدل Albedo-NDVI برای منطقه مورد مطالعه نشان داد که بیشترین سطح منطقه با ۳۲/۹۲٪ در کلاس بیابان‌زایی متوسط قرار گرفته است و تنها ۲۷/۷۳٪ از منطقه فاقد کلاس بیابان‌زایی می‌باشد (شکل ۸-الف).

تعیین شدت بیابان‌زایی بر اساس مدل Albedo-RVI نشان داد که در منطقه زابل بیشترین سطح منطقه در طبقه خیلی شدید با ۶۲/۹۲٪ و کم‌ترین سطح منطقه با ۰/۱۶٪ منطقه در طبقه مناطق بدون بیابان‌زایی طبقه‌بندی شده است (شکل ۸-ب).

تعیین شدت بیابان‌زایی بر اساس مدل Albedo-PVI نشان داد که در منطقه مورد مطالعه بیشترین سطح منطقه در طبقه خیلی شدید با ۴۹/۹٪ و کم‌ترین سطح منطقه با

جدول ۲. نتایج حاصل از تعیین معادله شدت بیابان‌زایی بین شاخص سپیدایی با هر یک از شاخص‌های پوشش گیاهی

نام شاخص	معادله شدت بیابان‌زایی
NDVI-Albedo	$I = 1.839 * \text{NDVI} - \text{Albedo}$
SAVI-Albedo	$I = 2.12 * \text{SAVI} - \text{Albedo}$
RVI-Albedo	$I = 1.656 * \text{RVI} - \text{Albedo}$
PVI-Albedo	$I = 2.619 * \text{PVI} - \text{Albedo}$
TSAVI-Albedo	$I = 2.11 * \text{TSAVI} - \text{Albedo}$
DVI-Albedo	$I = 2.84 * \text{DVI} - \text{Albedo}$



شکل ۸. نقشه حاصل از تعیین شدت بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه؛ الف- بر اساس شاخص سپیدایی و NDVI؛ ب- بر اساس شاخص سپیدایی و RVI؛ ج- بر اساس شاخص سپیدایی و PVI؛ د- بر اساس شاخص سپیدایی و SAVI؛ ر- بر اساس شاخص سپیدایی و TSVDI؛ ز- بر اساس شاخص سپیدایی و DVI

جدول ۴. نتایج حاصل از درصد طبقه‌های مختلف شدت بیابان‌زایی بر اساس مدل $I = a * \text{Index} - \text{Albedo}$

شدت بیابان‌زایی بر اساس شاخص‌های						طبقه شدت بیابان‌زایی
NDVI	SAVI	RVI	PVI	TSAVI	DVI	
۱/۰۲	۴۸/۵۰	۶۲/۹۲	۴۰/۹۰	۴۶/۰۵	۴۸/۴۰	خیلی شدیدی
۲۰/۳۰	۸/۸۸	۱۷/۵۰	۸/۹۴	۸/۰۱	۸/۲۲	شدید
۳۲/۹۲	۶/۰۶	۱۴/۰۴	۱۳/۱۱	۶/۸۲	۶/۰۱	متوسط
۱۸/۰۳	۳۳/۶۶	۴/۹۴	۸/۴۳	۳۶/۴۸	۳۴/۹۹	کم
۲۷/۷۳	۲/۹۰	۰/۶۰	۲۸/۶۲	۲/۶۴	۲/۳۸	بدون بیابان‌زایی

■ بحث و نتیجه‌گیری

سپیدایی سطح زمین با کارکردهای چند منظوره بوم‌نظام رابطه منفی دارد. ممتزین علت علمی این رابطه به میزان نور منعکس شده از سطح زمین در محدوده طول موج ۰/۲۸ تا ۰/۶ میکرومتر برمی‌گردد که به دلیل کاهش پوشش گیاهی افزایش می‌یابد (۲۸). نتایج بررسی رگرسیون خطی بین دو شاخص Albedo و هریک از شاخص‌های پوشش گیاهی مانند PVI, TSAVI, NDVI, SAVI, RVI, DVI در منطقه مورد مطالعه در دشت سیستان واقع در استان سیستان و بلوچستان نشان داد که رابطه معکوس بین شاخص سپیدایی و شاخص‌های مختلف پوشش گیاهی مورد مطالعه وجود دارد، و مقدار ضریب همبستگی برای این منطقه بین دو شاخص سپیدایی و شاخص NDVI برابر با ۰/۶۳- به دست آمد که با نتایج پژوهش‌های صورت گرفته دیگر محققان در مناطق خشک (۱۹) هم‌خوانی دارد. همچنین در بررسی‌هایی که بر اساس فن‌آوری تحلیل بردار تغییرات (CVA) انجام شده است، استفاده از دو شاخص NDVI و Albedo برای تعیین شدت بیابان‌زایی در دوره‌های مختلف زمانی تأیید گردید (۱۲).

همچنین نتایج پژوهش‌های دیگری که بر اساس شاخص سپیدایی و شاخص پوشش گیاهی انجام شده است (۴) ارتباط قوی بین شاخص‌های Albedo-NDVI را نشان می‌دهد؛ که با یافته‌های پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد. نتایج حاصل از همبستگی زیاد و معکوس بر اساس این دو شاخص به این مفهوم است که هرگونه افزایش در مقدار شاخص پوشش گیاهی NDVI منجر به کاهش در میزان سپیدایی سطح خواهد شد؛ و مناطق با سپیدایی بالا بیانگر تخریب در پوشش گیاهی و برهنه شدن سطح خاک

می‌باشد. در منطقه مورد مطالعه در بخش‌هایی از منطقه که در طبقه شدت زیاد بیابان‌زایی قرار گرفته است، میزان شاخص سپیدایی سطحی بالا و شاخص پوشش گیاهی مقدار اندکی را نشان می‌دهد، که یکی از دلایل عمده‌ی آن به دلیل خشک شدن تالاب بین المللی هامون و از بین رفتن پوشش گیاهی تالاب می‌باشد. در نقشه‌های ارائه شده نیز این مناطق در طبقه خیلی شدید از نظر شدت بیابان‌زایی قرار گرفت که با نتایج مطالعات صورت گرفته در سایر نقاط دنیا هم‌خوانی دارد (۱۶).

بررسی‌های صورت گرفته محققان در بخشی از مغولستان چین که به بررسی رابطه بین سه شاخص NDVI, TGSi, MSAVI برای تهیه نقشه شدت بیابان‌زایی پرداختند (۲۶) با نتایج حاصل از پژوهش حاضر متفاوت بود. آنها در مطالعه خود نشان دادند که رابطه بین دو شاخص Albedo-MSAVI نسبت به دو شاخص NDVI و TGSi با سپیدایی برای تعیین نقشه شدت بیابان‌زایی قوی‌تر و مناسب‌تر می‌باشد. به نظر می‌رسد این اختلاف به دلیل استفاده از تصاویر با دقت مکانی بهتر (تصاویر ۱۰ متری سنتینل) نسبت به تصاویر لندست با رزولوشن ۳۰ متری می‌باشد. که نیازمند بررسی‌های بیشتری در این زمینه و مقایسه دو تصویر سنتینل و لندست از یک موقعیت مکانی می‌باشد. طبقه‌بندی شدت بیابان‌زایی در منطقه سیستان بر اساس مدل Albedo-NDVI نشان می‌دهد که ۲۷/۷۳٪ منطقه در طبقه بدون شدت بیابان‌زایی، ۱۸/۰۳٪ در طبقه کم شدت، ۳۲/۹۲٪ از منطقه از نظر بیابان‌زایی در طبقه شدت متوسط بیابان‌زایی، ۲۰/۳٪ در طبقه شدید و تنها ۱/۰۲٪ از منطقه در طبقه خیلی شدید بیابان‌زایی قرار گرفته است. که با مطالعات

سیستان پرداخته شد؛ و بر اساس بازتاب طیفی اتفاق افتاده از سطح زمین و قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متری شدت بیابان‌زایی مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به قدرت تفکیک مکانی بالای تصاویر سنتینل ۲ در پژوهش حاضر و تهیه نقشه‌های شدت بیابان‌زایی و شناخت مناسب مناطقی که دچار بیابان‌زایی شده است، بر اساس نتایج پژوهش حاضر پیشنهاد می‌گردد به صورت ترکیبی از دو مدل Albedo و سایر شاخص‌های طیفی نیز برای پایش و تهیه نقشه‌های شدت بیابان‌زایی در مناطق خشک ایران استفاده گردد. نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که مناطق بدون بیابان‌زایی و با شدت کم بیابان‌زایی بر اساس مدل Albedo-NDVI به نحو مطلوب‌تری نشان داده می‌شود. با توجه به اینکه پایش و کنترل مناطق تخریب یافته و بیابانی شده و تهیه نقشه‌های شدت بیابان‌زایی بر اساس مدل‌های رایج امری دشوار و هزینه‌بر و همچنین مستلزم فعالیت‌های بسیار زیاد میدانی است، لذا استفاده از مدل‌هایی سریع و دقیق بسیار ضروری به نظر می‌رسد. از طرفی با توجه به اینکه در اغلب بررسی‌ها برای تهیه نقشه‌های بیابان‌زایی از واحدهای ژئومورفولوژی به‌عنوان واحدهای کاری استفاده می‌شود، نمی‌توان گفت که نقشه شدت بیابان‌زایی حاصل از آن مدل‌ها به دلیل ویژگی خاص زمین، نوع پوشش و رطوبت خاک در مقیاس‌های کوچک از دقت کافی برخوردار باشند. به نظر می‌رسد که توسعه و استفاده از این مدل در آینده می‌تواند گامی نوین در راستای شناخت و پایش سریع بیابان‌زایی در مناطق دور از دسترس باشد.

■ سپاسگزاری

بدین‌وسیله از حمایت مالی مجتمع آموزش عالی سراوان برای انجام این طرح پژوهشی با شماره ۱۴۲۰۱ تشکر و قدردانی می‌گردد.

■ References

1. Ait Lamqadem, A., Saber, H., & Pradhan, B. (2018). Quantitative assessment of desertification in an arid Oasis using remote sensing data and spectral index techniques. *Remote Sensing*, 10(12), 1862.
2. Afrasinei, G. M., Melis, M. T., Buttau, C., Bradd, J. M., Arras, C., & Ghiglieri, G. (2017). Assessment of remote sensing-based classification methods for change detection of salt-affected areas (Biskra area, Algeria). *Applied Remote Sensing*, 11(1), 016025.

صورت گرفته در منطقه مورد مطالعه که بر اساس دیگر مدل‌های رایج تهیه نقشه شدت بیابان‌زایی در منطقه سیستان صورت گرفته است و یکی از علت‌های اصلی بیابان‌زایی منطقه را نبود و از بین رفتن پوشش گیاهی برآورد نمودند (۲۰ و ۲۹) هم‌خوانی دارد. در منطقه مورد بررسی به علت خشکسالی‌های مکرر و خشک شدن دریاچه هامون و بالا بودن درجه حرارت پوشش گیاهی یکی از نکات کلیدی در مبحث بیابان‌زایی می‌باشد (۳۰)، نتایج حاصل از تعیین شدت بیابان‌زایی بر اساس مدل IMDPA در منطقه مورد مطالعه (۲۹) نشان داد که یکی از مهمترین فاکتورهای کلیدی نبود و از بین رفتن پوشش گیاهی می‌باشد و می‌توان گفت بر اساس نتایج بدست آمده بهترین شاخص پوشش گیاهی برای مطالعات تهیه نقشه شدت بیابان‌زایی که نشان دهنده شدت تخریب باشد استفاده از شاخص پوشش گیاهی NDVI می‌باشد که بیشترین همبستگی را با شاخص Albedo از بین شاخص‌های گیاهی مورد مطالعه دارد. لذا می‌توان گفت یافته‌های حاصل از طبقه‌بندی شدت بیابان‌زایی منطقه در پژوهش حاضر و بر اساس بررسی شدت بیابان‌زایی بر اساس مدل Albedo و هریک از شاخص‌های پوشش گیاهی به خصوص شاخص NDVI از جایگاه بالایی برای شناسایی مناطق و طبقه‌های شدت بیابان‌زایی برخوردار می‌باشد و استفاده از دسته‌بندی‌های صورت گرفته با الگوریتم جنکس از کارایی مناسب برخوردار است. محققین زیادی با موفقیت از این مدل برای طبقه‌بندی پدیده‌های طبیعی استفاده کرده‌اند (۱۰، ۴، ۲۷). این روش نقاط شکست را بین دسته‌بندی‌ها با خوارزمیک بهینه شده جنکس، بر اساس طبیعت داده‌ها و گروه‌بندی ذاتی آنها به‌خوبی شناسایی می‌کند. در پژوهش حاضر با استفاده از فن‌آوری سنجش از راه دور و بر اساس تصاویر چند طیفی سنتینل ۲ به استخراج شدت بیابان‌زایی در منطقه خشک

3. Afrasinei, G. M., Melis, M. T., Arras, C., Pistis, M., Buttau, C., & Ghiglieri, G. (2018). Spatiotemporal and spectral analysis of sand encroachment dynamics in southern Tunisia. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1), 352–374.
4. Bercerril-Pina, R., Diaz-Delgado, C., Mastachi-Loza, C. A., & Gonzales-Sosa, E. (2016). Integration of remote sensing techniques for monitoring desertification in Mexico. *Human and Ecological Risk Assessment*, 22(6), 1323-1340.
5. Cordeiro, M. C., Santos, N. A., Alcantra Silva, V. M., Melo Luiz, D., & Silva, V. P. R. (2015). Case Study: Identification of desertification in the years 1999, 2006 and 2011 in Mossoró-rn. *Hyperspectral Remote Sensing*, 5(4), 101-106.
6. Eftekhari, R., Shahriyari, A. R., & Ekhtesasi, M. R. (2015). Assessment and preparation of map for the potential and actual condition of desertification by emphasizing on wind erosion using MICD Model at the southwest of Hirmand township. *Geography and Development*, 13(38), 139- 150. (in Farsi)
7. Feng, J., Ding, J. L., & Wei, W. Y. (2018). A study of soil salinization in Weigan and kuqa rivers Oasis based on Albedo-MSAVI. feature space. *China Rural Water Hydropower*, 2, 147–152.
8. Fozuni, L. Fakhireh, A., & Ekhtesasi, M. R. (2012). Asessmaent of desertification using of modify MEDALUS Model in Sistan plain (The east of Iran). *Elixir Geoscience*, 47, 8950-8955.
9. Jahantigh, M., & Jahantigh, M. (2020). Study effect of flood productivity on vegetation changes using field work and LANDSAT satellite images (Case study: Shandak of Sistan region). *RS & GIS for Natural Resources*, 10(4), 57-73. (in Farsi)
10. Han, L., Zhang, Z., Zhang, Q., & Wan, X. (2015). Desertification assessments in the Hexi corridor of northern China's Gansu province by remote sensing. *Natural Hazards*, 75(3), 2715–2731.
11. <http://scihub.copernicus.eu/>
12. Karnieli, A., Qin, Z., Wu, B., Panov, N., & Yan, F. (2014). Spatio-temporal dynamics of land-use and land-cover in the mu us sandy land, China, using the change vector analysis technique. *Remote Sensing*, 6(10), 9316-9339.
13. Lamchin, M., Lee, J. Y., Lee, W. K., Lee, E. J., Kim, M., Lim, C. H., Choi, H. A. & Kim, S. R. (2016). Assessment of land cover change and desertification using remote sensing technology in a local region of Mongolia. *Advances in Space Research*, 57(1), 64–77.
14. Lamchin, M., Lee, W. K., Jeon, S. W., Lee, J. Y., Song, C., Piao, D., Lim, C. H., khaulenbek, A., & Navaandorj, I. (2017). Correlation between desertification and environmental variables using remote sensing techniques in Hogno Khaan, Mongolia. *Sustainability*, 9(4), 581.
15. Li, S. G., Harazono, Y., Oikawa, T., Zhao, H. L., He, Z.Y., & Chang, X. L. (2000). Grassland desertification by grazing and the resulting micrometeorological changes in Inner Mongolia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 102, 125–137.
16. Ma, Z., Xie, Y., Jiao, J., Li, L., & Wang. X. (2011). The Construction and application of an Albedo-NDVI based desertification monitoring model. *Procedia Environmental Sciences*, 10(Part C), 2029 – 2035.
17. Mohammad Ghasemi, S., Zehtabian, Gh. R., & Ahmadi, H. (2008). Assessment of desertification intensity based on water index using Medalus methodology. *Pajouhesh & Sazandgi in natural resources*, 21(3-80), 59-67. (in Farsi)

18. Naegeli, K., Damm, A., Huss, M., Wulf, H., Schaepman, M., & Hoelzle, M. (2017). Cross-comparison of Albedo products for glacier surfaces derived from airborne and satellite (Sentinel-2 and LANDSAT 8) optical data. *Remote Sensing*, 9(2), 110.
19. Pan, J., & Li, T. (2013). Extracting desertification from LANDSAT TM imagery based on spectral mixture analysis and Albedo- vegetation feature space. *Natural Hazards*, 68(2), 915–927.
20. Parvari Asl, S. H., Pahlavanravi, A., & Moghaddam Nia, A. R. (2010). Classification of desertification intensity using ESAs model in Neiyatak region (Sistan, Iran). *Range and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resources*, 63(2), 149-163. (in Farsi)
21. Querino, C.A.S., Beneditti, C.A., Machado, N.G., da Silva, M.J.G., da Silva Querino, J.K.A., dos Santos Neto, L.A., & Biudes, M. S. (2016). Spatiotemporal NDVI, LAI, Albedo, and surface temperature dynamics in the southwest of the Brazilian Amazon forest. *Applied Remote Sensing*, 10(2), 026007.
22. Rahimi, M., Damavandi, A. A., & Jafarian, V. (2014). Investigating remote sensing applications in evaluating and monitoring land degradation and desertification. *Geographical Data (SEPEHR)*, 22(88), 115-128. (in Farsi)
23. Scott, D. A., & Smart, M. (1999). *Wetlands of the Sistan basin, south Caspian and Fars*, Islamic Republic of Iran, Ramsar Convention Monitoring Procedure Report No.26.
24. Wang, Y., Zhang, J., Tong, S., & Guo, E. (2017). Monitoring the trends of aeolian desertified lands based on time-series remote sensing data in the Horqin Sandy Land, China. *Catena*, 157, 286–298.
25. Wei, H., Wang, J., Cheng, K., Li, G., Ochir, A., Davaasuren, D., & Chonokhuu, S. (2018). Desertification information extraction based on feature space combinations on the Mongolian plateau. *Remote Sensing*, 10(10), 1614.
26. Wei, H., Wang, J., & Han, B. (2020). Desertification information extraction along the China–Mongolia railway supported by multisource feature space and geographical zoning modeling. *Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 392-402.
27. Yaduvanshi, A., Srivastava, P. K., & Pandey, A. C. (2015). Integrating TRMM and MODIS satellite with socio-economic vulnerability for monitoring drought risk over a tropical. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 83(84), 14-27.
28. Zhao, Y., Wang, X., Novillo, C. J., Arrogante-Funes, P., Vázquez-Jiménez, R., & Maestre, F. T. (2018). Albedo estimated from remote sensing correlates with ecosystem multifunctionality in global drylands. *Arid Environment*, 157, 116–123.
29. Zolfaghari, F., Shahriyari, A., Fakhireh, A., Rashki, A. R., Noori, S., & Khosravi, H. (2011). Assessment of desertification potential using IMDPA model in Sistan plain. *Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi)*, 24(2-91), 97-107. (in Farsi)
30. Zolfaghari, F., Shahriyari, A., Fakhireh, A. (2013). Evaluate the effect of vegetation cover on land degradation process using IMDPA model and GIS (Case study: Sistan plain). *Applied RS & GIS Techniques in Natural Resource Science*, 4(1), 69-77. (in Farsi)