



تعیین شدت بیابان‌زایی بر اساس شاخص‌های طیفی با استفاده از تصاویر سنتینل-۲ (منطقه مورد مطالعه: استان سیستان و بلوچستان)

فرهاد ذوالفقاری، وحیده عبدالهی

دریافت: ۲۴ اردیبهشت ۱۴۰۰ / بازنگری: ۱ مرداد ۱۴۰۰ / پذیرش: ۱۹ مرداد ۱۴۰۰

دسترسی اینترنتی: ۲۵ مرداد ۱۴۰۰

چکیده

در این پژوهش برای اولین بار در منطقه سیستان و بلوچستان بر اساس شاخص‌های طیفی با استفاده از تصاویر سنتینل-۲، بهترین شاخص برای پایش شدت بیابان‌زایی در مناطق خشک معرفی خواهد شد.

مواد و روش‌ها برای ارزیابی شدت بیابان‌زایی و شناخت شاخص مناسب برای تهیه نقشه شدت بیابان‌زایی گام‌های زیر انجام گرفت؛ (۱) انتخاب تصاویر و انجام عملیات پیش‌پردازش تصاویر با استفاده از نرم‌افزار SNAP، (۲) محاسبه شاخص‌های NDVI، TGSi و Albedo، (۳) بررسی رابطه همبستگی بین شاخص‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS[®]24، (۴) تهیه نقشه شدت بیابان‌زایی منطقه و به دست آوردن معادله شدت بیابان‌زایی با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS[®]10.3. در گام اول این پژوهش داده‌های ماهواره Sentinel-2A مربوط به سنسور MSIL-1C ۲۰ اوت سال ۲۰۲۰ انتخاب شد. تصاویر به گونه‌ای انتخاب گردید که فصل رویش گیاهان یک‌ساله و موقتی نباشد و همچنین روزی انتخاب شد که پوشش ابری وجود نداشته باشد تصاویر مورد نیاز از سایت <http://scihub.copernicus.eu/> دانلود و مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج و بحث نتایج حاصل از مدل رگرسیون خطی بین دو شاخص NDVI و Albedo نشان داد که این دو شاخص با یکدیگر دارای همبستگی منفی می‌باشند و به ترتیب میزان ضریب همبستگی در

پیشینه و هدف سطوح مختلف پوشش گیاهی آلبدوی متفاوتی دارند. از طرفی آلبدوی سطحی یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های تعادل تابش سطحی است که با بررسی رفتار آن می‌توان به شدت تخریب و بیابان‌زایی پی برد. پوشش گیاهی به دلیل اینکه عاملی برای پایداری سطح زمین محسوب می‌شود می‌تواند یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های کلیدی در مناطق خشک برای کاهش اثرات فرسایش و بیابان‌زایی به حساب آید. گسترش بیابان‌زایی و تغییر در میزان پوشش گیاهی به نوبه خود از جمله عوامل تغییر در آلبدو به شمار می‌روند. هدف از این مطالعه تعیین شدت بیابان‌زایی بر اساس شاخص‌های طیفی آلبیدو (Albedo)، اندازه دانه خاک سطحی (TGSi) و شاخص نرمال‌شده تفاضل پوشش گیاهی (NDVI) با استفاده از فناوری سنسجش‌ازدور می‌باشد. شناسایی مناطق تخریب شده در کوتاه‌ترین زمان و با کمترین هزینه با استفاده از تصاویر سنتینل-۲ با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متری از اهداف این پژوهش می‌باشد.

فرهاد ذوالفقاری^۱، وحیده عبدالهی^۱ (✉)

۱. استادیار، مجتمع آموزش عالی سراوان، ایران

پست الکترونیکی مسئول مکاتبات : zol.farhad@gmail.com

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1400.12.4.1.8>

کم، ۵۰/۹۷ درصد از منطقه از نظر بیابان‌زایی در کلاس شدت متوسط، ۳۴/۴۸ درصد در کلاس شدید و ۱/۳ درصد از منطقه در کلاس خیلی شدید بیابان‌زایی قرار گرفته است. بیشترین درصد شدت بیابان‌زایی مربوط به کلاس شدت متوسط می‌باشد. نتایج رگرسیون خطی بین دو شاخص TGSi و Albedo نیز نشان داد که یک رابطه مثبت و قوی بین این دو شاخص وجود دارد. نتایج بیانگر این است که رابطه بین شاخص TGSi و Albedo نسبت به رابطه بین دو شاخص NDVI و Albedo قوی‌تر و از ضریب همبستگی بالاتری در هر دو منطقه برخوردار می‌باشد که از دلایل عمده آن می‌توان به پراکندگی پوشش گیاهی در مناطق خشک اشاره نمود. رابطه شاخص TGSi با Albedo خصوصیات فضایی مناطق عاری از پوشش گیاهی و همچنین مناطق با پوشش گیاهی خیلی کم را برای تعیین شدت بیابان‌زایی بهتر نشان می‌دهد. شاخص TGSi منعکس کننده اندازه ذرات درشت خاک سطحی می‌باشد که رابطه مثبتی با ذرات ریز محتوای ماسه خاک سطحی دارد. هر چه اندازه ذرات خاک سطحی درشت‌تر باشد میزان بیابان‌زایی شدت بیشتری خواهد داشت. در مناطقی که محتوای زیاد ماسه ریز در اندازه ذرات خاک سطحی وجود داشته باشد مقادیر بالای شاخص TGSi قابل مشاهده خواهد بود.

نتیجه‌گیری در این پژوهش ما با استفاده از تکنیک سنجش از راه دور و بر اساس تصاویر چند طیفی سنتینل-۲ برای اولین بار در ایران به استخراج شدت بیابان‌زایی در دو منطقه متفاوت از استان خشک سیستان و بلوچستان پرداختیم. بر اساس بازتاب طیفی افتاده از سطح زمین و قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متری شدت بیابان‌زایی را در دو منطقه مورد مطالعه قرار دادیم. بر اساس نتایج این پژوهش پیشنهاد می‌گردد به صورت ترکیبی از دو مدل Albedo-NDVI و Albedo-TGSi برای پایش و تهیه نقشه‌های شدت بیابان‌زایی در مناطق خشک ایران استفاده گردد. نتایج این پژوهش نشان داد که مناطق بدون بیابان‌زایی و شدت کم بیابان‌زایی بر اساس مدل Albedo-TGSi به نحو مطلوب‌تری نشان داده می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: بیابان‌زایی، شاخص‌های طیفی، آلبیدو، اندازه دانه خاک سطحی (TGSi)، شاخص نرمال‌شده تفاضل پوشش گیاهی (NDVI)، سنتینل-۲

منطقه سوران و زابل برابر با ۰/۷۶ و ۰/۶۳ بود. نتایج نشان داد که با افزایش میزان شاخص NDVI از میزان شاخص آلبیدو کاسته می‌شود. همچنین نتایج حاصل از مدل رگرسیون خطی بین دو شاخص TGSi و Albedo نشان داد که این دو شاخص با یکدیگر رابطه قوی و مثبتی داشته و به ترتیب میزان ضریب همبستگی برای منطقه سوران و زابل برابر با ۰/۷۸ و ۰/۸۱ بود. نتایج نشان داد که با افزایش میزان شاخص TGSi بر میزان شاخص آلبیدو افزوده می‌شود.

شدت بیابان‌زایی در مناطق مورد مطالعه بر اساس معادله $I = a \times \text{Index} \pm \text{Albedo}$ تعیین گردید و با استفاده از روش شکست طبیعی جنکس (Natural Breaks Jenks) در نرم‌افزار ArcGIS شدت بیابان‌زایی به ۵ درجه؛ مناطق بدون بیابان‌زایی، مناطق با شدت کم بیابان‌زایی، مناطق با شدت متوسط بیابان‌زایی، مناطق با شدت زیاد بیابان‌زایی، و مناطق با شدت خیلی زیاد بیابان‌زایی تقسیم گردید. در این پژوهش بر اساس داده‌های ماهواره سنتینل-۲ شاخص‌های NDVI، Albedo، و TGSi استخراج گردید. نتایج بررسی رگرسیون خطی بین دو شاخص NDVI و Albedo نشان داد که یک رابطه منفی و قوی بین این دو شاخص وجود دارد که با نتایج پژوهش‌های مشابه مطابقت دارد. نتایج حاصل از همبستگی بالا و منفی بر اساس این دو شاخص به این مفهوم است که هر گونه افزایش در مقدار شاخص پوشش گیاهی NDVI منجر به کاهش در میزان آلبیدوی سطح خواهد شد. از طرفی مناطق با آلبیدوی بالا بیانگر تخریب پوشش گیاهی و برهنه بودن خاک می‌باشد. در مناطقی که کلاس شدت زیاد بیابان‌زایی مشاهده گردید مقدار شاخص آلبیدوی سطحی بالا می‌باشد و مقدار شاخص پوشش گیاهی کم است. طبقه‌بندی شدت بیابان‌زایی در منطقه سیستان بر اساس مدل Albedo-NDVI نشان می‌دهد که ۲۷/۷۳ درصد منطقه در کلاس بدون شدت بیابان‌زایی، ۱۸/۰۳ درصد در کلاس کم شدت، ۳۲/۹۲ درصد از منطقه از نظر بیابان‌زایی در کلاس شدت متوسط بیابان‌زایی، ۲۰/۳ درصد در کلاس شدید و تنها ۱/۰۲ درصد از منطقه در کلاس خیلی شدید بیابان‌زایی قرار گرفته است. همچنین طبقه‌بندی شدت بیابان‌زایی در سوران بر اساس مدل Albedo-NDVI نشان می‌دهد که ۴/۸۲ درصد منطقه بدون شدت بیابان‌زایی، ۸/۴۴ درصد در کلاس

(Minimum Noise Fraction) کاهش دادند؛ و برای محدود کردن دامنه نهایی از شاخص خلوص پیکسل استفاده نمودند. آن‌ها در این مطالعه بر اساس ویژگی طیفی زمانی مؤلفه‌های پوشش گیاهی و آلودگی سطح زمین که از تصاویر ماهواره لندست به دست آوردند برای ارزیابی وضعیت موجود بیابان‌زایی و تعیین درجه آن استفاده کردند. کارنیلی و همکاران (۱۷) برای درک بهتر پویایی زمانی - مکانی فرآیندهای زیست‌محیطی با استفاده از تکنیک آنالیز خطی تغییرات (Change Vector Analysis) تغییر شاخص‌های NDVI و Albedo را در چهار دوره زمانی بررسی نمودند. آن‌ها برای این منظور از چهار دوره مختلف تصاویر لندست استفاده کردند و تغییرات را برای هر گام زمانی در طول دوره مورد مطالعه به‌خوبی نشان دادند. کوردیرو و همکاران (۵) برای ارزیابی بیابان‌زایی در شهرستان ناتال، ریو گراند دو نورث جهت برآورد شاخص‌های مؤثر در بیابان‌زایی با استفاده از الگوریتم سبال (Surface Energy Balance Algorithm for Land) شاخص‌های آلودگی، پوشش گیاهی و دمای سطح را با استفاده از فناوری سنجش‌ازدور بررسی نمودند. لامچین و همکاران (۱۸) با توسعه یک مدل کمی در مقیاس محلی با کاربرد داده‌های دورسنجی به ارزیابی تغییرات پوشش زمین و بیابان‌زایی پرداختند. آن‌ها برای این منظور با شاخص‌های NDVI و TGSi وضعیت سطح زمین را در خصوص زیست‌توده گیاهی، الگوی چشم‌انداز و آب و هواشناسی در مقیاس کوچک (Micrometeorology) بررسی نمودند. پینا و همکاران (۲۴) به کمک سنجش‌ازدور شاخص‌های NDVI و BSI و Albedo را از تصاویر ماهواره لندست استخراج نمودند. آن‌ها از مدل آنالیز خطی تغییرات برای بررسی تعیین جهت و اندازه این شاخص‌های برای تعیین تخریب یا پیشرفت وضعیت زمین در دوره‌های زمانی مختلف استفاده نمودند. آن‌ها در این مطالعه با استفاده از ارتباط بین NDVI/Albedo شاخص درجه بیابان‌زایی را نشان دادند.

هان و همکاران (۱۱) برای ارزیابی بیابان‌زایی به کمک تصاویر سنجنده لندست و کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی

از عوامل مستقیم تخریب خاک می‌توان به کاهش میزان پوشش گیاهی و همچنین از دست رفتن زیست‌توده اشاره نمود. در مناطق با پوشش گیاهی اندک میزان آلودگی سطح افزایش می‌یابد؛ و به‌صورت کلی می‌توان گفت که میزان آلودگی سطح در مناطق تخریب یافته به دلیل از دست رفتن پوشش گیاهی و برهنه شدن سطح خاک افزایش می‌یابد (۵). سطوح مختلف پوشش گیاهی آلودگی متفاوتی دارند و پوشش گیاهی و طول زبری نسبت به گروه‌های مختلف خاک نیز بر مؤلفه‌های اقلیمی تأثیر بیشتری دارد (۱۵). از طرفی آلودگی سطحی یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های تعادل تابش سطحی است (۳). پوشش گیاهی به دلیل اینکه عاملی برای پایداری سطح زمین محسوب می‌شود (۱۰)، می‌تواند یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های کلیدی در مناطق خشک برای کاهش اثرات فرسایش و بیابان‌زایی به حساب آید (۴). گسترش بیابان‌زایی و تغییر در میزان پوشش گیاهی به‌نوبه خود از جمله عوامل تغییر در آلودگی به شمار می‌روند. آلودگی سطحی عبارت است از نسبت کل تابش خروجی از سطح زمین به کل تابش ورودی خورشیدی که غالباً دامنه طول موج آن بین ۰/۳ تا ۳ میکرومتر می‌باشد و یکی از مهم‌ترین فاکتورهای کنترل مقدار انرژی قابل دسترس در طول روز با فرایندهای تغییرات سطح است (۱۲). تغییر در پوشش گیاهی میزان آلودگی سطحی را تحت تأثیر قرار داده و بیابان‌زایی از این جهت که باعث افزایش چشمگیر آلودگی سطحی می‌شود حائز اهمیت می‌باشد (۲۰). زونگی ما و همکاران (۳۱) جهت پایش بیابان‌زایی مدل Albedo-NDVI را ارائه نمودند. آن‌ها در این مطالعه نشان دادند که این شاخص‌ها به خوبی می‌تواند منعکس‌کننده بیابان‌زایی پوشش سطح زمین، ترکیب آب-گرما و تغییرات آن‌ها باشد؛ و به‌راحتی می‌توان با استفاده از اطلاعات دورسنجی چند طیفی مناطق بیابانی شده را شناسایی نمودند.

پان و لی (۲۲) بر اساس مدل آنالیز ترکیب طیفی سه گروه متفاوت شامل پوشش گیاهی، آب و خاک برهنه را انتخاب نمودند. ابعاد تصاویر ماهواره‌ای را به روش کسر حداقل نویز

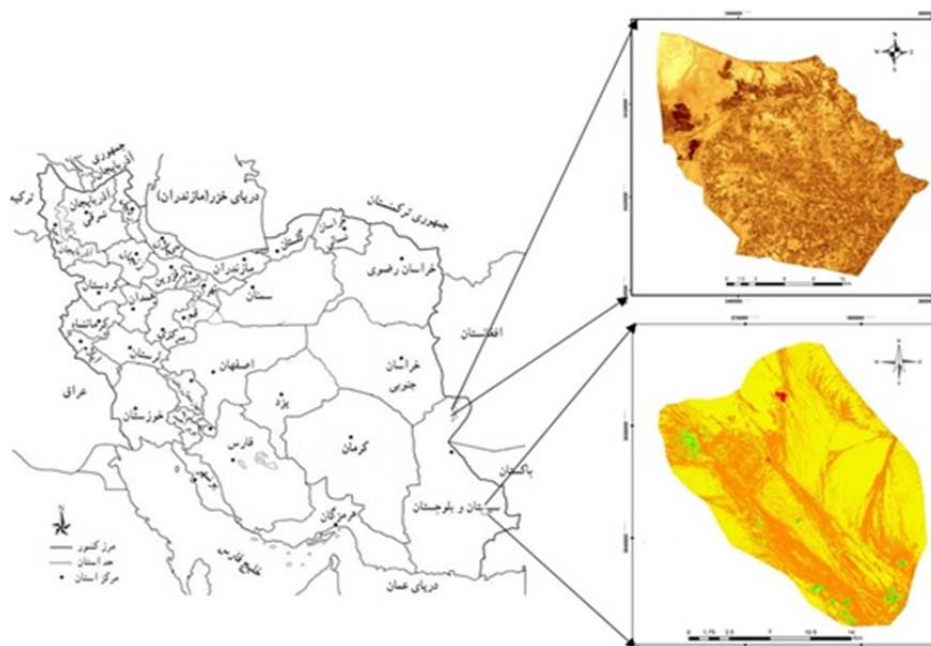
شدت بیابان‌زایی ارایه خواهد شد. استخراج شاخص‌های طیفی با استفاده از تصاویر سنتینل-۲ با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر خواهد بود و شاخص مناسب برای پایش شدت بیابان‌زایی در این منطقه خشک از جغرافیای کشور را نشان داده خواهد شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

تالاب بین‌المللی هامون با مساحت حدود ۱۵۱۹۷ کیلومترمربع در جنوب شرق ایران واقع شده است. این منطقه شامل سرزمینی پست و هموار بوده و بین $5^{\circ} 30'$ تا $28^{\circ} 31'$ عرض شمالی و $15^{\circ} 60'$ تا $50^{\circ} 61'$ طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد (۱۶). تالاب بین‌المللی هامون یکی از مناطق با ارزش‌های اکولوژیک خاص می‌باشد (۲۵)، و از لحاظ شرایط اکولوژیکی جزء مناطق خشک و بحرانی کشور محسوب می‌گردد (۱۳). منطقه مورد مطالعه انتخاب شده در منطقه سیستان بخشی از دشت سیستان به مساحت ۱۴۰۷۲ هکتار و ارتفاع ۴۸۰ متر از سطح دریا در محدوده $49^{\circ} 30'$ تا $40^{\circ} 31'$ عرض شمالی و $13^{\circ} 61'$ تا $32^{\circ} 61'$ طول شرقی می‌باشد (شکل ۱). بر اساس آماره‌های بلندمدت ایستگاه سینوپتیک شهرستان زابل میانگین بلندمدت بارش در این منطقه ۶۱/۰۱ میلی‌متر است که حدود ۴۴ درصد بارندگی‌های آن در فصل زمستان اتفاق می‌افتد. متوسط بلندمدت درجه حرارت هوا ۲۶/۶ درجه سانتی‌گراد و گرم‌ترین ماه سال تیرماه با متوسط ۴۱/۴ درجه سانتی‌گراد و سردترین ماه سال دی‌ماه با ۲/۴ درجه سانتی‌گراد است. حداکثر سرعت بادهای غالب بر اساس دیده‌بانی‌های درازمدت در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور می‌باشد و حداقل متوسط سرعت باد در آذرماه اتفاق می‌افتد (۳۰)؛ و محدوده انتخاب شده در منطقه بلوچستان بخشی از دشت مرادآباد به مساحت ۹۳۹۸ هکتار در بخش شمال غربی شهرستان سوران و ارتفاع ۱۲۶۵ متر از سطح دریا در محدوده بین $24^{\circ} 27'$ تا $38^{\circ} 27'$ عرض شمالی و $36^{\circ} 61'$ تا $13^{\circ} 61'$ طول شرقی محدوده سراوان بزرگ می‌باشد.

شاخص‌های MSAVI, FVC, TVDI و همچنین درجه حرارت سطح زمین و آلدوی سطح را محاسبه نمودند؛ و برای آنالیز الگوی مکانی - زمانی بیابان‌زایی در دوره‌های مختلف زمانی از این شاخص‌ها استفاده نمودند. در منطقه مورد مطالعه روش‌های مختلفی جهت ارزیابی بیابان‌زایی و طبقه‌بندی کلاس‌های شدت بیابان‌زایی صورت پذیرفته است (۶، ۸، ۲۳ و ۳۰) که غالب آن‌ها به دلیل صرف هزینه‌های زیاد و وسعت منطقه و همچنین عدم دسترسی به مناطق خارج از مرز سیاسی ایران به دلایل مسائل سیاسی و امنیتی با مشکلات عدیده‌ای روبرو بوده است. از طرفی مطالعات صورت گرفته قبلی که به کمک فناوری سنجنش‌ازدور نیز صورت گرفته، بیشتر بر اساس شاخص NDVI و یا سایر شاخص‌های پوشش گیاهی به تنهایی بوده است. از طرفی در خصوص نقش و ارتباط بین تغییرات پوشش گیاهی و آلدو از نگاه بیابان‌زایی در این منطقه و سایر مناطق مبتلابه در ایران صورت نگرفته و یا کمتر به آن پرداخته شده است. تالاب بین‌المللی هامون به صورت یک کمربند اطراف منطقه سیستان را در برمی‌گیرد. ضروری است جهت پایش تغییرات اراضی و پوشش سطح زمین در این منطقه از روش‌های ارزان و سریع بهره جست. چرا که به دلیل افزایش سریع وسعت مناطق بیابانی شناخت این مناطق برای اجرای طرح‌های مدیریتی مناسب با حداقل هزینه و کمترین زمان از اهداف دولت‌ها و جوامع درگیر پدیده بیابان‌زایی می‌باشد. برای دستیابی به این هدف و شناخت مناطق بیابانی شده در دوره‌های مختلف زمانی، می‌توان با بهره‌گیری از شاخص‌های طیفی TGSi, Albedo و NDVI نسبت به پایش و تهیه نقشه شدت بیابان‌زایی اقدام نمود. این مدل به کمک فناوری سنجنش‌ازدور و با توجه به سادگی و سهولت در شناسایی مناطق تخریب‌شده در کوتاه‌ترین زمان و با کمترین هزینه (۲۸) می‌تواند به عنوان یک روش ساده و نوینی جایگزین بسیاری از متدهای شناسایی مناطق بیابانی شده که نیازمند عملیات گسترده میدانی است گردد. در این پژوهش با استفاده از فناوری سنجنش از راه دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منطقه سیستان و بلوچستان بر اساس شاخص‌های طیفی نقشه



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه

Fig. 1. The study area

روش تحقیق

برای دستیابی به اهداف تعیین شده در این پژوهش برای پیش پردازش و پردازش تصاویر ماهواره ای سنتینل از نرم افزار SNAP استفاده گردید. همچنین تجزیه های آماری و رگرسیون از نرم افزار SPSS و برای خروجی و تهیه نقشه های شدت بیابان زایی از نرم افزار ArcGIS استفاده شده است.

در این پژوهش به طور خلاصه گام های زیر برای ارزیابی شدت بیابان زایی در دو منطقه از استان سیستان و بلوچستان صورت می گیرد.

گام اول تهیه تصاویر ماهواره ای و انجام عملیات آماده سازی تصاویر، گام دوم محاسبه شاخص های TGSi، NDVI و Albedo و گام سوم تهیه نقشه شدت بیابان زایی منطقه و به دست آوردن معادله شدت بیابان زایی.

در گام اول این پژوهش داده های ماهواره Sentinel-2 مربوط به سنسور MSIL-1C ۲۰ اوت سال ۲۰۲۰ انتخاب شد. تصاویر به گونه ای انتخاب گردید که فصل رویش گیاهان یک ساله و موقتی نباشد و همچنین روزی انتخاب شد که

پوشش ابری وجود نداشته باشد تصاویر مورد نیاز از سایت <http://scihub.copernicus.eu/> دانلود و مورد استفاده قرار گرفت. سنجنده چند طیفی سنتینل-۲ دارای ۱۳ باند طیفی بازتابی با رزولوشن ۱۰ متر، ۲۰ متر و ۶۰ متر می باشد (۷)، که حدود ۲۹۰ کیلومتر عرض برداشت آن با دوره زمانی ۱۰ روز کل جهان را برداشت می نماید (۱ و ۱۵).

داده های مربوط به سطح ۱C ماهواره سنتینل-۲ بازتاب بالایی جو را در سیستم جهانی تولید می کند. داده های این سطح از ماهواره سنتینل-۲ داده هایی استاندارد می باشد که بازتابش بالای جو را نشان می دهد و برای دست یافتن به داده های سطوح پایین سطح جو یا محصول A۲ نیازمند یکسری پیش پردازش قبل از استفاده می باشد. برای انجام تصحیحات اتمسفری تصاویر Sentinel-2 با استفاده از جعبه ابزار تصحیح اتمسفریک Sen2cor اقدام گردید که در واقع یک الگوریتم داخلی در برنامه نرم افزار SNAP (Sentinel Application Platform) می باشد (۱).

شاخص‌های تحقیق

استفاده از شاخص اندازه ذرات سطح خاک با آلبدو خصوصیات فضایی مناطق عاری از پوشش گیاهی و پوشش‌های خیلی کم پوشش گیاهی را برای تعیین شدت بیابان‌زایی بهتر نشان می‌دهد (۲۶). شاخص TGSi منعکس کننده اندازه ذرات درشت خاک سطحی می‌باشد که با رابطه مثبتی با ذرات ریز محتوای ماسه خاک سطحی دارد. هر چه اندازه ذرات خاک سطحی درشت‌تر باشد میزان بیابان‌زایی شدت بیشتری خواهد داشت. در مناطق که محتوای زیاد ماسه ریز در اندازه ذرات خاک سطحی وجود داشته باشد مقادیر بالای شاخص TGSi قابل مشاهده خواهد بود. مقادیر بالای شاخص TGSi در مناطقی که ذرات ریز ماسه در خاک سطحی وجود دارد یا نسبت کمی از ذرات سیلت و رس وجود دارد دیده می‌شود.

شاخص آلبدوی سطح (Albedo)

آلبدو به صورت نسبت انرژی الکترومغناطیس انعکاس یافته از سطح خاک و گیاه بر انرژی فرودی بر آن سطح تعریف می‌شود (۲). میزان آلبدوی سطح در این پژوهش بر اساس رابطه ۳ محاسبه گردید (۲۱).

[۳]

$$\text{Albedo} = 0.726b_3 - 0.322b_3^2 - 0.015b_8 + 0.581b_8^2$$

در این رابطه؛ b_3 باند سبز با میانگین طول موج ۰/۵۶ میکرومتر و قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر و b_8 باند مادون‌قرمز نزدیک با میانگین طول موج ۰/۸۴ میکرومتر و قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر در ماهواره سنتینل-۲ است.

در گام سوم جهت تهیه نقشه بیابان‌زایی در ابتدا میزان شاخص‌های NDVI، TGSi و Albedo بر اساس رابطه‌های ۴، ۵ و ۶ نرمال‌سازی می‌شوند (۲۴).

$$\text{NDVI}_N = \left(\frac{\text{NDVI} - \text{NDVI}_{\min}}{\text{NDVI}_{\max} - \text{NDVI}_{\min}} \right) \quad [4]$$

$$\text{TGSi}_N = \left(\frac{\text{TGSi} - \text{TGSi}_{\min}}{\text{TGSi}_{\max} - \text{TGSi}_{\min}} \right) \quad [5]$$

شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI) یکی از روش‌های معمول برای استخراج پوشش گیاهی می‌باشد که به صورت نسبت بین انعکاس اندازه‌گیری شده در باند قرمز مرئی (Visible Red Radiation) و مادون‌قرمز نزدیک (Near-Infrared Reflectance) تعریف می‌گردد؛ و به دلیل اینکه بیشتر تحت تأثیر جذب کلروفیل در پوشش‌های سبز برگ‌دار و تراکم پوشش گیاهی بوده و همچنین در باندهای قرمز و مادون‌قرمز نزدیک، تناقض بین پوشش گیاهی و خاک در بیشترین سطح خود می‌باشد انتخاب گردید (۴). مقادیر شاخص NDVI بین -۱ که بیانگر سطوح پوشیده از آب و برف و +۱ که نشان‌دهنده مناطق دارای پوشش گیاهی هست متفاوت می‌باشد (۹). بر اساس رابطه ۱ برآورد گردید.

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{NIR} - \text{RED})}{(\text{NIR} + \text{RED})} \quad [1]$$

شاخص اندازه ذرات سطح خاک (Topsoil Grain Size Index)

اندازه‌گیری‌های طیفی آزمایشگاهی نشان می‌دهد که بازتاب طیفی سطح رابطه‌ی نزدیکی با ترکیب اندازه ذرات سطح خاک دارد. در مقایسه بازتاب طیفی پوشش گیاهی، تمام منحنی‌های بازتاب طیفی سطح خاک از ویژگی‌های طیفی نسبتاً مشابهی برخوردار هستند، آن‌ها به تدریج در باند مرئی مادون‌قرمز نزدیک به جز مقدار کمی که در طول موج ۶۷۵ نانومتر جذب می‌شود افزایش می‌یابند (۲۹). به طور کلی به صورت گسترده‌ای مشخص شده است که بازتاب سطح خاک به تدریج با طول موج‌های مرئی و مادون‌قرمز نزدیک افزایش می‌یابد، همچنین مقدار جذب و پراکنش انرژی در ذرات خاک بستگی به اندازه ذرات خاک دارد که در مطالعات مختلف نشان داده شده است. شاخص اندازه ذرات سطح خاک با استفاده از رابطه ۲ محاسبه گردید.

$$\text{TGSi} = \left(\frac{\text{RED} - \text{BLUE}}{\text{RED} + \text{BLUE} + \text{GREEN}} \right) \quad [2]$$

۵ درجه بیابانزایی استفاده می‌شود. در این تقسیم‌بندی ۵ کلاس شامل؛ مناطق بدون تأثیر، شدت کم، شدت متوسط، شدت زیاد، و شدت خیلی زیاد در بیابانزایی ارائه می‌شود. محققین زیادی با موفقیت از این مدل برای طبقه‌بندی پدیده‌های طبیعی استفاده کرده‌اند (۱۱ و ۲۴). این روش نقاط شکست را بین دسته‌بندی‌ها با الگوریتم بهینه‌شده جنکس، بر اساس طبیعت داده‌ها و گروه‌بندی ذاتی آن‌ها شناسایی می‌کند.

نتایج

رابطه بین Albedo - NDVI به روش رگرسیون خطی

نتایج حاصل از مدل رگرسیون خطی بین دو شاخص NDVI و Albedo در دو منطقه سوران و زابل نشان داد که این دو شاخص با یکدیگر دارای رابطه همبستگی منفی می‌باشند. میزان ضریب همبستگی در منطقه سوران برابر با ۰/۷۶۴ حاصل گردید (شکل ۲). همچنین میزان ضریب همبستگی در زابل مقدار ۰/۶۳۳ بدست آمد (شکل ۳). نتایج بیانگر این است که با افزایش میزان شاخص NDVI از میزان شاخص آلبدو کاسته می‌شود.

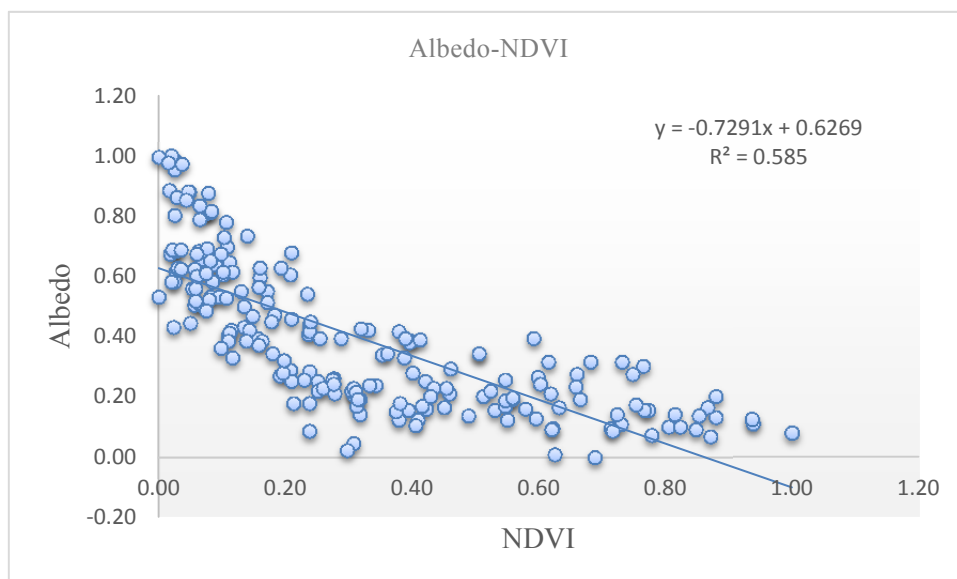
$$Albedo_N = \left(\frac{Albedo - Albedo_{min}}{Albedo_{max} - Albedo_{min}} \right) \quad [6]$$

جهت دستیابی به معادله شدت بیابانزایی ضریب شیب خط حاصل از رگرسیون بین شاخص Albedo-NDVI و Albedo-TGSI محاسبه می‌گردد. بر اساس ضریب حاصل شده از رگرسیون خطی بین دو شاخص Albedo-NDVI و Albedo-TGSI برای هر یک از مناطق مورد مطالعه معادله شدت بیابانزایی بر اساس رابطه ۷ تعیین می‌گردد.

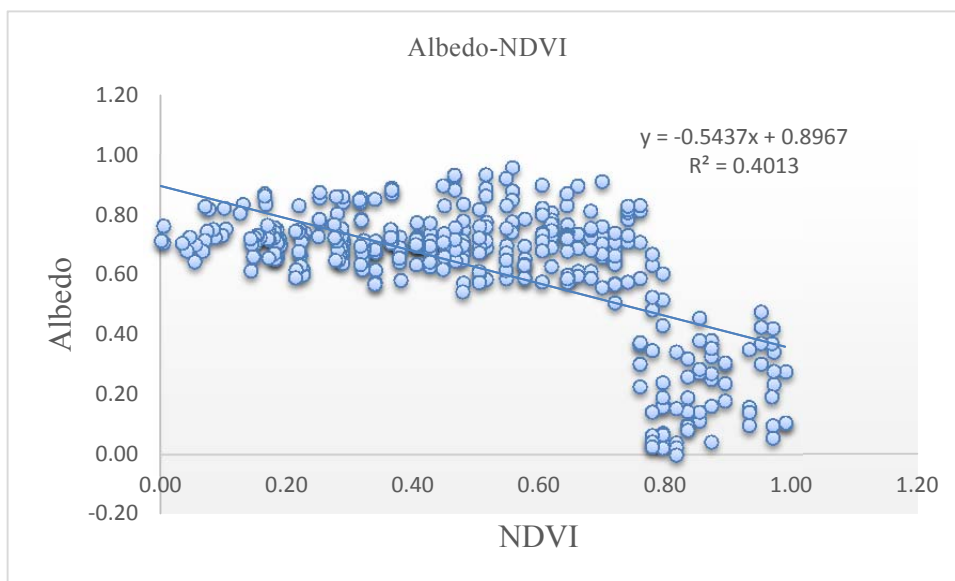
$$I = a \times Index \pm Albedo \quad [7]$$

در رابطه تعیین شدت بیابان زایی نشان داده شده در رابطه ۷ برای شاخص‌هایی که رابطه همبستگی مثبتی با Albedo دارند مثل شاخص TGSI از علامت + در رابطه ۷ استفاده می‌شود و چنانچه همبستگی بین آلبدو و آن شاخص منفی باشد مانند شاخص NDVI در این پژوهش از علامت - در این رابطه استفاده می‌گردد.

از روش شکست طبیعی جنکس (Natural Breaks Jenks) در نرم‌افزار ArcMap برای طبقه‌بندی ارزش داده‌ها به



شکل ۲. رابطه رگرسیون خطی بین دو شاخص Albedo-NDVI در منطقه سوران
Fig. 2. Linear regression between NDVI and Albedo in souran region

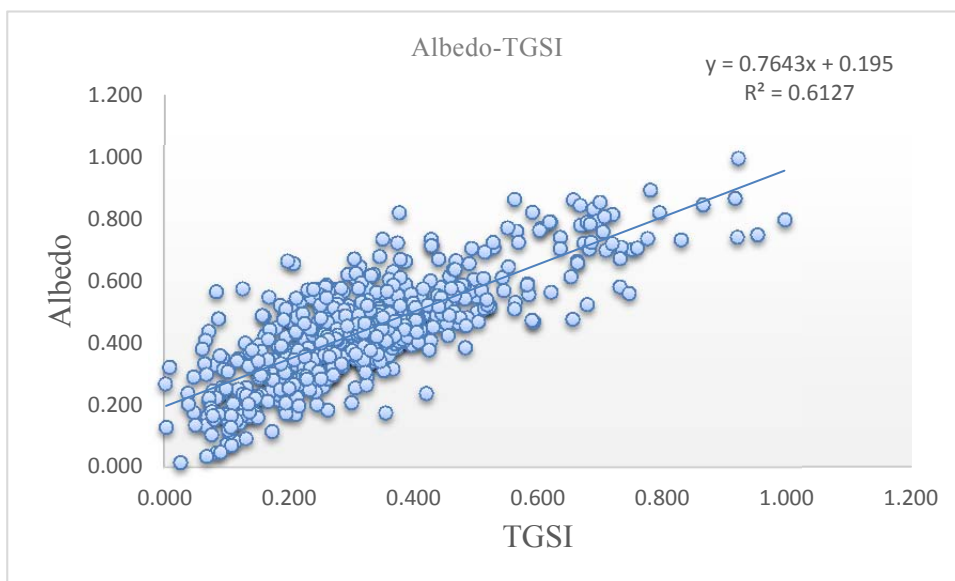


شکل ۳. رابطه رگرسیون خطی بین دو شاخص Albedo-NDVI در منطقه زابل
 Fig. 3. Linear regression between NDVI and Albedo in zabol region

دارند؛ و به ترتیب میزان ضریب همبستگی برای منطقه سوران برابر با ۰/۷۸۲ (شکل ۴) و در منطقه زابل برابر با ۰/۸۱ می‌باشد (شکل ۵). نتایج بیانگر این است که با افزایش میزان شاخص TGSi بر میزان شاخص آلبدو نیز افزوده می‌شود. و رابطه خطی مثبتی بین این دو شاخص برقرار می‌باشد.

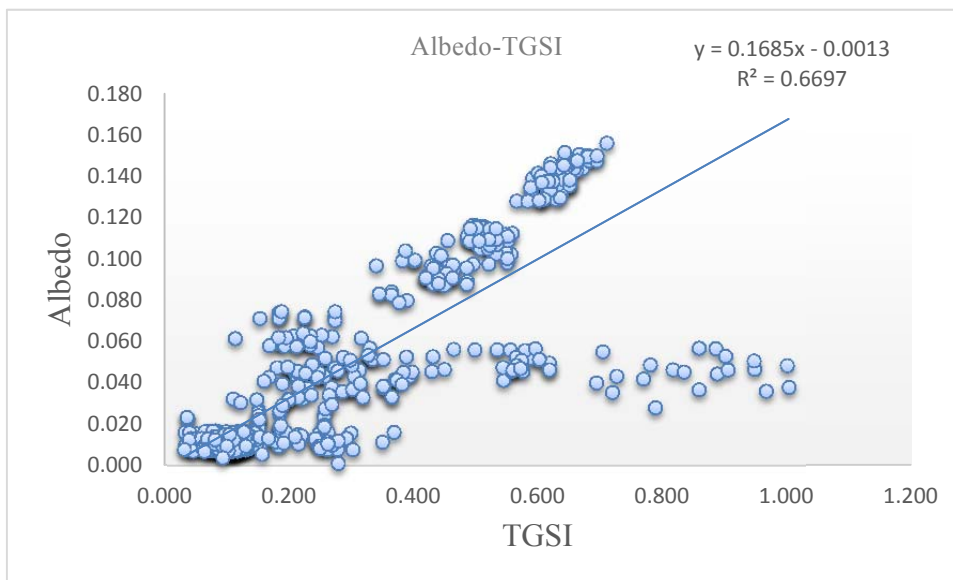
رابطه بین Albedo – TGSi به روش رگرسیون خطی

نتایج حاصل از مدل رگرسیون خطی بین دو شاخص Albedo و TGSi برای دو منطقه مورد بررسی سوران و زابل نشان داد که این دو شاخص با یکدیگر رابطه قوی و مثبتی



شکل ۴. رابطه رگرسیون خطی بین دو شاخص Albedo-TGSI در منطقه سوران

Fig. 4. Linear regression between TGSI and Albedo in souran region



شکل ۵. رابطه رگرسیون خطی بین دو شاخص Albedo-TGSI در منطقه زابل

Fig. 5. Linear regression between TGSI and Albedo in zabol region

تعیین شدت بیابان‌زایی

نتایج حاصل از رگرسیون خطی تشکیل شده بین شاخص Albedo و هر یک از شاخص‌های NDVI و TGSI نشان داد ضریب همبستگی بین شاخص Albedo-TGSI در هر دو منطقه

از همبستگی قوی و مثبتی برخوردار می‌باشد که به ترتیب در منطقه زابل و سوران برابر بود با ۰/۸۱ و ۰/۷۸ بود که خلاصه نتایج در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. نتایج حاصل از رابطه رگرسیون بین شاخص‌های مورد بررسی

Table 1. Results of the regression relationship between the studied indicators

منطقه مورد مطالعه	ضریب همبستگی	رابطه رگرسیون خطی	نام شاخص
زابل	۰/۶۳	$\text{Albedo} = -0.5437 \times \text{NDVI} + 0.8967$	NDVI-Albedo
زابل	۰/۸۱	$\text{Albedo} = +0.1685 \times \text{TGSI} - 0.0013$	TGSI-Albedo
سوران	۰/۷۶	$\text{Albedo} = -0.729 \times \text{NDVI} + 0.6269$	NDVI-Albedo
سوران	۰/۷۸	$\text{Albedo} = +0.7643 \times \text{TGSI} + 0.195$	TGSI-Albedo

مناطق مورد مطالعه معادله شدت بیابان‌زایی بصورت جدول ۲ استخراج گردید.

بر اساس ضریب حاصل شده از رگرسیون خطی بین دو شاخص Albedo-TGSI و Albedo-NDVI برای هر یک از

جدول ۲. نتایج حاصل از تشکیل معادله شدت بیابان‌زایی در مناطق مورد مطالعه

Table 2. Results of the formation of desertification intensity equation in the study areas

نام شاخص	رابطه رگرسیون خطی	منطقه مورد مطالعه
DDI-NDVI-Albedo	$I = 1.839 \times NDVI - Albedo$	زابل
DDI-TGSI-Albedo	$I = 5.93 \times TGSI + Albedo$	زابل
DDI-NDVI-Albedo	$I = 1.371 \times NDVI - Albedo$	سوران
DDI-TGSI-Albedo	$I = 1.308 \times TGSI + Albedo$	سوران

نتایج حاصل از طبقه بندی شدت بیابان‌زایی بر اساس دامنه تعیین شده به روش شکست طبیعی جنکس (Natural Breaks Jenks) برای منطقه سوران و زابل در جدول ۳ ارائه شده است.

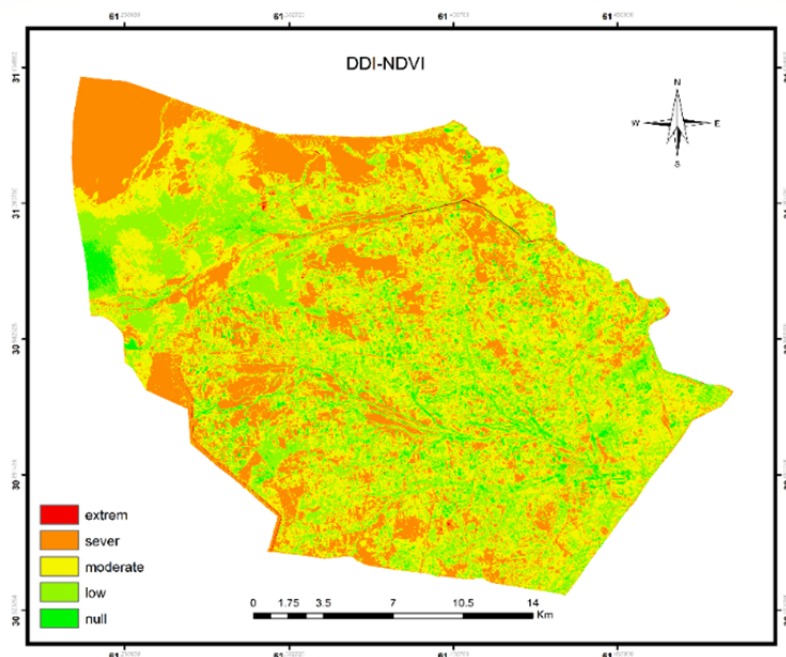
جدول ۳. نتایج حاصل از طبقه بندی شدت بیابان‌زایی بر اساس شکست طبیعی جنکس

Table 3. Results of the classification of desertification intensity based on Natural Break Jenks

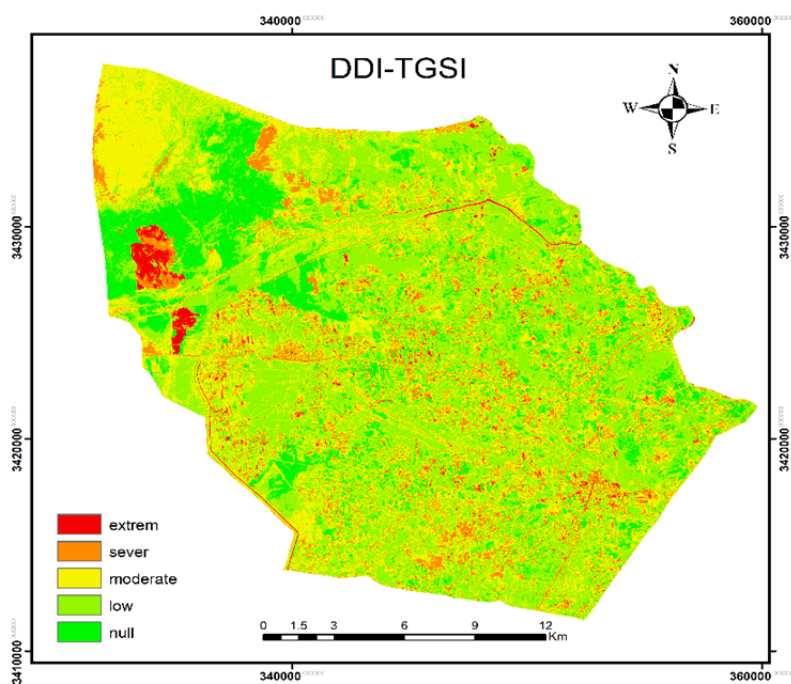
نماد شدت	مفهوم نماد	دامنه تقسیم بندی بر اساس شکست طبیعی جنکس	
		زابل	سوران
null	مناطق بدون بیابان‌زایی	۰/۴۳۸ - ۱/۹	-۰/۰۴۹ - ۰/۱۰۷
low	مناطق با شدت کم بیابان‌زایی	۰/۲۸۲ - ۰/۴۳۸	-۰/۰۶۸ - -۰/۰۴۹
moderate	مناطق با شدت متوسط بیابان‌زایی	۰/۱۲۶ - ۰/۲۸۲	-۰/۰۹۸ - -۰/۰۶۸
sever	مناطق با شدت زیاد بیابان‌زایی	-۰/۱۵۴ - ۰/۱۲۶	-۰/۱۸۲ - -۰/۰۹۸
extreme	مناطق با شدت خیلی زیاد بیابان‌زایی	-۲/۰۵۸ - -۰/۱۵۴	-۰/۰۴۹ - -۰/۱۸۲

در این تقسیم‌بندی پنج کلاس شدت بیابان‌زایی بر اساس شکست طبیعی جنکس که برای طبقه بندی پدیده‌های طبیعی استفاده می‌گردد (۱۱ و ۲۴)، نشان داده شده است. روش شکست طبیعی جنکس، نقاط شکست را بین دسته‌بندی‌ها با الگوریتم بهینه شده جنکس، بر اساس طبیعت داده‌ها و گروه‌بندی ذاتی آن‌ها شناسایی می‌کند. نتایج حاصل از نقشه شدت بیابان‌زایی بر اساس طبقه بندی دامنه حاصل از شکست طبیعی جنکس در ۵ کلاس بر اساس مدل Albedo-NDVI برای منطقه زابل نشان داد که بیشترین سطح منطقه با ۳۲/۹۲ درصد در کلاس بیابان‌زایی متوسط قرار گرفته است و تنها ۲۷/۷۳ درصد از منطقه فاقد کلاس بیابان‌زایی می‌باشد (شکل ۶). و بر اساس مدل Albedo-TGSI در ۷ کلاس و همچنین نقشه شدت بیابان‌زایی بر اساس مدل Albedo-NDVI در منطقه سوران نشان داد که ۵۰/۹۷ درصد از مساحت منطقه که بیشترین سطح منطقه می‌باشد در کلاس متوسط از نظر شدت بیابان‌زایی قرار گرفته و ۱/۳ درصد از منطقه در کلاس خیلی شدید بیابان‌زایی بر اساس این مدل قرار گرفته است (شکل ۸). نقشه حاصل از مدل Albedo-TGSI نیز در منطقه سوران نشان داد که بیشترین سطح منطقه با ۵۳/۴ درصد در کلاس متوسط بیابان‌زایی قرار گرفته است و ۱/۱ درصد از منطقه در کلاس خیلی شدید بیابان‌زایی طبقه بندی گردیده است (شکل ۹).

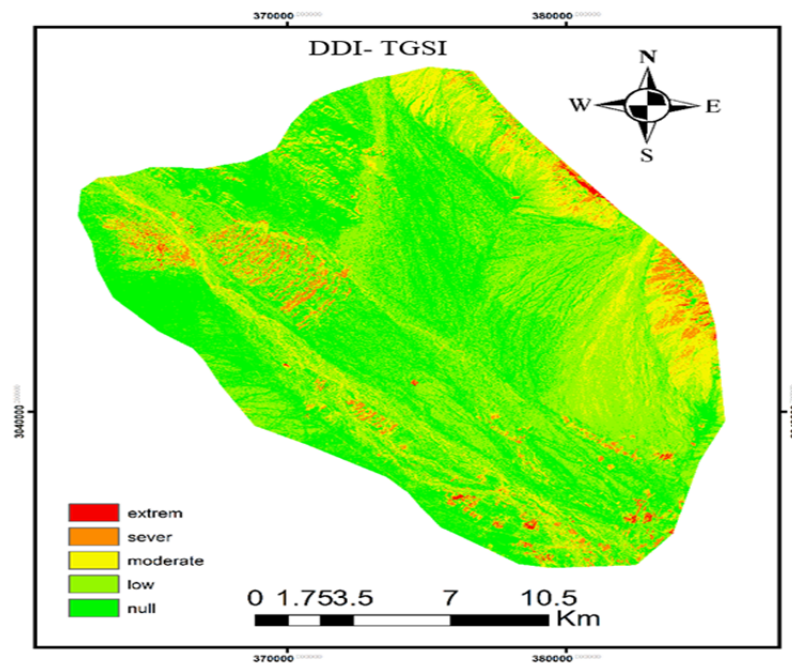
نتایج حاصل از نقشه شدت بیابان‌زایی بر اساس طبقه بندی دامنه حاصل از شکست طبیعی جنکس در ۵ کلاس بر اساس مدل Albedo-NDVI برای منطقه زابل نشان داد که بیشترین سطح منطقه با ۳۲/۹۲ درصد در کلاس بیابان‌زایی متوسط قرار گرفته است و تنها ۲۷/۷۳ درصد از منطقه فاقد کلاس بیابان‌زایی می‌باشد (شکل ۶). و بر اساس مدل Albedo-TGSI در ۷ کلاس و همچنین نقشه شدت بیابان‌زایی بر اساس مدل Albedo-NDVI در منطقه سوران نشان داد که ۵۰/۹۷ درصد از مساحت منطقه که بیشترین سطح منطقه می‌باشد در کلاس متوسط از نظر شدت بیابان‌زایی قرار گرفته و ۱/۳ درصد از منطقه در کلاس خیلی شدید بیابان‌زایی بر اساس این مدل قرار گرفته است (شکل ۸). نقشه حاصل از مدل Albedo-TGSI نیز در منطقه سوران نشان داد که بیشترین سطح منطقه با ۵۳/۴ درصد در کلاس متوسط بیابان‌زایی قرار گرفته است و ۱/۱ درصد از منطقه در کلاس خیلی شدید بیابان‌زایی طبقه بندی گردیده است (شکل ۹).



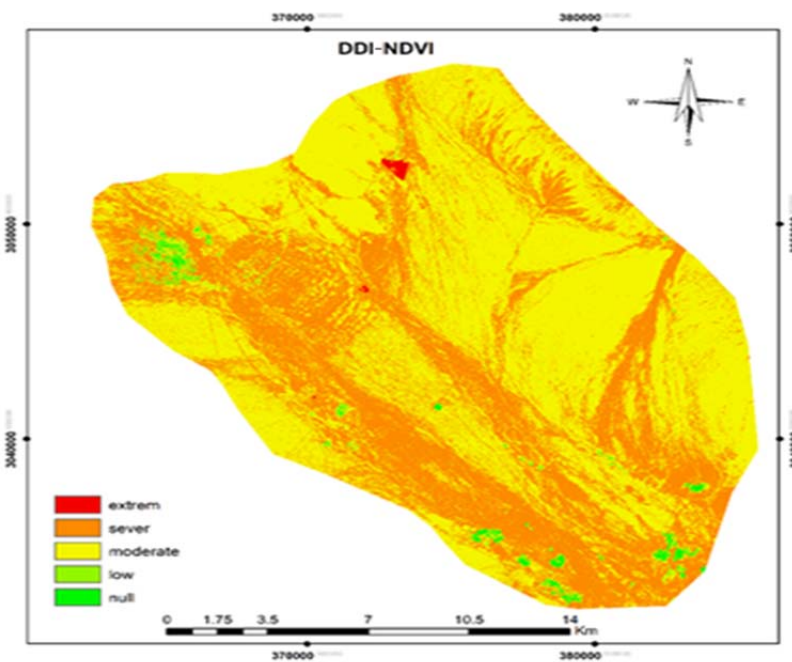
شکل ۶. نقشه شدت بیابان‌زایی بر اساس شاخص Albedo-NDVI در منطقه زابل
Fig. 6. Desertification intensity map based on Albedo-NDVI in Zabol region



شکل ۷. نقشه شدت بیابان‌زایی بر اساس شاخص Albedo-TGSI در منطقه زابل
Fig. 7. Desertification intensity map based on Albedo-TGSI in Zabol region



شکل ۸. نقشه شدت بیابان‌زایی بر اساس شاخص Albedo-TGSI در منطقه سوران
 Fig. 8. Desertification intensity map based on Albedo-TGSI in Souran region



شکل ۹. نقشه شدت بیابان‌زایی بر اساس شاخص Albedo-NDVI در منطقه سوران
 Fig. 9. Desertification intensity map based on Albedo-NDVI in Souran region

تفکیک در دو منطقه مورد مطالعه در جدول ۴ نشان داده شده است.

نتایج حاصل از درصد کلاس شدت بیابان‌زایی بر اساس مدل Albedo و هریک از شاخص‌های NDVI و TGSI به

جدول ۴. نتایج حاصل از بررسی شدت بیابان‌زایی در مناطق مورد مطالعه

Table 4. Results of the desertification intensity in the study areas

سوران	سوران	زابل	زابل	مفهوم نماد	نماد شدت
%DDI-AN	%DDI-AT	%DDI-AN	%DDI-AT		
۴/۸۲	۱۶/۷	۲۷/۷۳	۴۱/۹	مناطق بدون بیابان‌زایی	null
۸/۴۴	۱۵/۱	۱۸/۰۳	۱۴/۳	مناطق با شدت کم بیابان‌زایی	low
۵۰/۹۷	۵۳/۴	۳۲/۹۲	۱۰/۶	مناطق با شدت متوسط بیابان‌زایی	moderate
۳۴/۴۸	۱۳/۷	۲۰/۳۰	۲۸/۱	مناطق با شدت زیاد بیابان‌زایی	sever
۱/۳۰	۱/۱	۱/۰۲	۵/۲	مناطق با شدت خیلی زیاد بیابان‌زایی	extreme

DDI-AT: شدت بیابان‌زایی بر اساس شاخص Albedo-TGSI DDI-AN: شدت بیابان‌زایی بر اساس شاخص Albedo-NDVI

بحث و نتیجه‌گیری

تحلیل بردار تغییرات، تخریب یا پیشرفت وضعیت زمین در دوره‌های زمانی مختلف را بررسی نمودند. در مطالعه خود با استفاده از ارتباط بین NDVI/Albedo درجه شدت بیابان‌زایی را در ۵ کلاس بیان و رابطه قوی بین این دو شاخص را نشان دادند، مطابقت دارد. نتایج حاصل از همبستگی بالا و منفی بر اساس این دو شاخص به این مفهوم است که هرگونه افزایش در مقدار شاخص پوشش گیاهی NDVI منجر به کاهش در میزان آلودگی سطح خواهد شد؛ و مناطق با آلودگی بالا بیانگر تخریب پوشش گیاهی و برهنه بودن خاک می‌باشد؛ و در مناطق مورد مطالعه در بخش‌هایی که کلاس شدت زیاد بیابان‌زایی مشاهده گردید مقدار شاخص آلودگی سطحی بالا و مقدار شاخص پوشش گیاهی مقدار اندکی می‌باشد.

طبقه‌بندی شدت بیابان‌زایی در منطقه سیستان بر اساس مدل Albedo-NDVI نشان می‌دهد که ۲۷/۷۳ درصد منطقه در کلاس بدون شدت بیابان‌زایی، ۱۸/۰۳ درصد در کلاس کم شدت، ۳۲/۹۲ درصد از منطقه از نظر بیابان‌زایی در کلاس شدت متوسط بیابان‌زایی، ۲۰/۳۰ درصد در کلاس شدید و تنها ۱/۰۲ درصد از منطقه در کلاس خیلی شدید بیابان‌زایی قرار گرفته است. همچنین طبقه‌بندی شدت بیابان‌زایی در منطقه بلوچستان (سوران) بر اساس مدل Albedo-NDVI نشان می‌دهد که ۴/۸۲ درصد منطقه بدون شدت بیابان‌زایی، ۸/۴۴ درصد در کلاس کم، ۵۰/۹۷ درصد از منطقه از نظر بیابان‌زایی در کلاس شدت متوسط، ۳۴/۴۸ درصد در کلاس شدید و ۱/۳۰ درصد از منطقه در کلاس خیلی شدید بیابان‌زایی قرار گرفته

در این پژوهش جهت دستیابی به نقشه شدت بیابان‌زایی بر اساس داده‌های ماهواره سنتینل-۲ پس از پیش‌پردازش و تهیه شاخص‌های NDVI، Albedo، و TGSI به تجزیه و تحلیل این شاخص‌ها اقدام گردید. نتایج بررسی رگرسیون خطی بین دو شاخص NDVI و Albedo در هر دو منطقه مورد بررسی در استان سیستان و بلوچستان نشان داد که یک رابطه منفی و قوی بین این دو شاخص وجود دارد که مقدار ضریب همبستگی در منطقه زابل و سوران به ترتیب برابر با ۰/۶۳ و ۰/۷۶ به دست آمد که با نتایج پژوهش‌های مورد بررسی که به ارزیابی این دو شاخص پرداختند از جمله پن و لی (۲۲) که بر اساس مدل تجزیه و تحلیل ترکیب طیفی سه گروه متفاوت شامل پوشش گیاهی، آب و خاک برهنه را به کمک فناوری سنجش از دور، مورد ارزیابی قرار دادند و بر اساس ویژگی طیفی زمانی مولفه‌های پوشش گیاهی و آلودگی سطح زمین را از تصاویر لندست استخراج و مطالعه نمودند و همبستگی منفی بین شاخص پوشش گیاهی و آلودگی را نشان دادند و درجه شدت بیابان‌زایی را تعیین نمودند، کارنیلی و همکاران (۱۷) بر اساس تکنیک تحلیل بردار تغییر (Change Vector Analysis) شاخص‌های NDVI و Albedo در دوره‌های زمانی مختلف بررسی و رابطه بین این دو شاخص و شدت بیابان‌زایی را در دوره‌های مختلف زمانی نشان دادند. پینا و همکاران (۲۴) به کمک فناوری سنجش از دور و استخراج شاخص‌های NDVI و BSI و Albedo از تصاویر ماهواره لندست بر اساس مدل

بیابان‌زایی شدت بیشتری خواهد داشت. در مناطقی که محتوای زیاد ماسه ریز در اندازه ذرات خاک سطحی وجود داشته باشد مقادیر بالای شاخص TGSi قابل مشاهده خواهد بود. مقادیر بالای شاخص TGSi در مناطقی که ذرات ریز ماسه در خاک سطحی وجود دارد یا نسبت کمی از ذرات سیلت و رس وجود دارد دیده می‌شود.

طبقه‌بندی شدت بیابان‌زایی در منطقه سیستان بر اساس مدل Albedo-TGSi نشان می‌دهد که ۴۱/۹ درصد منطقه بدون شدت بیابان‌زایی، ۱۴/۳ درصد در کلاس کم شدت، ۱۰/۶ درصد از منطقه از نظر بیابان‌زایی در کلاس شدت متوسط بیابان‌زایی، ۲۸/۱ درصد در کلاس شدید و ۵/۲ درصد از منطقه در کلاس خیلی شدید بیابان‌زایی قرار گرفته است. همچنین طبقه‌بندی شدت بیابان‌زایی در منطقه بلوچستان بر اساس مدل TGSi-Albedo نشان می‌دهد که ۱۶/۷ درصد منطقه بدون شدت بیابان‌زایی، ۱۵/۱ درصد در کلاس کم، ۵۳/۴ درصد از منطقه از نظر بیابان‌زایی در کلاس شدت متوسط، ۱۳/۷ درصد در کلاس شدید و ۱/۱ درصد از منطقه در کلاس خیلی شدید بیابان‌زایی قرار گرفته است که با نتایج ذوالفقاری و همکاران (۳۱) همخوانی دارد. بر اساس این مدل (Albedo-TGSi) بیش از ۳۱ درصد از منطقه مورد مطالعه در بلوچستان در طبقه مناطق بدون بیابان‌زایی و شدت کم بیابان‌زایی قرار می‌گیرد. همچنین بر اساس این مدل بیش از ۵۵ درصد اراضی در منطقه مورد مطالعه در سیستان نیز در طبقه مناطق بدون بیابان‌زایی و شدت کم بیابان‌زایی طبقه‌بندی گردید. در صورتی که در مدل Albedo-NDVI در هر دو منطقه مورد مطالعه نتایج نشان داد که اراضی بدون شدت بیابان‌زایی و شدت کم بیابان‌زایی درصد پائین تری از سطح کل منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص می‌دهند که این امر به دلیل پراکنندگی پوشش گیاهی در مناطق خشک می‌باشد. شاخص TGSi بر اساس مطالعات لامچین و همکاران (۱۹) منعکس‌کننده ذرات درشت دانه در خاک سطحی می‌باشد که رابطه مثبتی با محتوای ذرات ماسه ریز در خاک سطحی دارد و هر چه اندازه ذرات سطحی خاک درشت دانه‌تر باشد، شدت بیابان‌زایی بیشتر خواهد بود. از طرفی

است؛ و بیشترین درصد شدت بیابان‌زایی مربوط به کلاس شدت متوسط می‌باشد که با مطالعات کفاش و همکاران، ۱۳۹۷ که بر اساس مدل IMDPA شدت بیابان‌زایی منطقه مرادآباد سراوان را مورد ارزیابی قرار دادند و نشان دادند که بیشترین سطح منطقه در کلاس متوسط بیابان‌زایی قرار گرفته است، همخوانی دارد (۱۴). بر اساس این مدل (Albedo-NDVI) بیش از ۸۰ درصد از منطقه مورد مطالعه در بلوچستان دارای شدت متوسط و زیاد بیابان‌زایی می‌باشد. همچنین بر اساس این مدل بیش از ۵۰ درصد اراضی در منطقه مورد مطالعه در سیستان نیز دارای کلاس متوسط و شدید بیابان‌زایی می‌باشند.

همچنین بررسی رگرسیون خطی بین دو شاخص TGSi و Albedo نیز در هر دو منطقه سیستان و بلوچستان نشان داد که یک رابطه مثبت و قوی بین این دو شاخص وجود دارد که مقدار ضریب همبستگی در منطقه زابل و سوران به ترتیب برابر با ۰/۸۱ و ۰/۷۸ به دست آمد. نتایج بیانگر این است که رابطه بین شاخص TGSi و Albedo نسبت به رابطه بین دو شاخص NDVI و Albedo قوی‌تر و از ضریب همبستگی بالاتری در هر دو منطقه برخوردار می‌باشد که از دلایل عمده آن می‌توان به پراکنندگی پوشش گیاهی در مناطق خشک اشاره نمود که با مطالعات وی و همکاران (۲۷) که برای استخراج اطلاعات بیابان‌زایی در بخشی از راه آهن مونگلیای چین بر اساس منابع چندگانه طیفی و مدل منطقه‌ای جغرافیایی به مطالعه پرداختند و نشان دادند که به دلیل پراکنش پوشش گیاهی مدل Albedo-TGSi از کارایی بهتری برخوردار می‌باشد و بهتر است که در مناطق فاقد پوشش گیاهی و پوشش بسیار پراکنده مناطق خشک از ترکیبی از مدل‌های Albedo-NDVI و TGSi-Albedo استفاده نمود، همخوانی دارد. رابطه شاخص TGSi با Albedo خصوصیات فضایی مناطق عاری از پوشش گیاهی و همچنین مناطق با پوشش گیاهی خیلی کم را برای تعیین شدت بیابان‌زایی بهتر نشان می‌دهد. شاخص TGSi منعکس‌کننده اندازه ذرات درشت خاک سطحی، می‌باشد که رابطه مثبتی با ذرات ریز محتوای ماسه خاک سطحی دارد. هر چه اندازه ذرات خاک سطحی درشت دانه‌تر باشد میزان

همچنین فقط گونه‌های دائمی حضور داشته باشند که نقش بسیار مهمی در پایداری و حفاظت خاک دارند. به نظر می‌رسد که توسعه و استفاده از این مدل در آینده می‌تواند گامی نوین در راستای شناخت و پایش بیابان‌زایی در مناطق دور از دسترس و همچنین منابع تولید گردوغبار و مستعد فرسایش بادی از کارایی مناسبی برخوردار خواهد بود.

تقدیر و تشکر

بدین وسیله از حمایت مالی مجتمع آموزش عالی سراوان برای انجام این طرح پژوهشی تحت شماره ۱۴۲۰۱ تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

1. Ait LA, 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. doi:https://doi.org/10.3390/rs10121862.
 2. Allen R, Tasumi M, Trezza R. 2002. Surface Energy Balance Algorithms for Land. *Advanced Training and User's Manual Idaho Implementation*, 240 p.
 3. Bernardo SBd, Braga AC, Braga CC, de Oliveira LM, Montenegro SM, Barbosa Junior B. 2016. Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: Application to the Brazilian semi-arid. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20: 3-8. doi:https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n1p3-8
 4. Cai G, Du M, Liu Y. 2011. Regional Drought Monitoring and Analyzing Using MODIS Data — A Case Study in Yunnan Province. In, Berlin, Heidelberg, Computer and Computing Technologies in Agriculture IV. Springer Berlin Heidelberg, pp 243-251. doi:https://doi.org/210.1007/1978-1003-1642-18336-18332_18329.
 5. Cordeiro MC, dos Santos NA, Silva VMA, de Melo Luiz D, da Silva VdPR. 2015. Case study: identification of desertification in the years 1999, 2006 and 2011 in Mossoró-RN. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 5(4): 101-106. doi:https://doi.org/10.29150/jhrs.v5.4.p101-106.
 6. Eftekhari R, Shahriyari A, Ekhtesasi M. 2015. Assessment and mapping of current and potential of desertification using MICD Model with emphasis on wind erosion criteria in southwest of
- مقادیر بالای شاخص TGSI در مناطقی دیده می‌شود که خاک سطحی حاوی ذرات ریز ماسه باشد و یا اینکه نسبت ذرات رس و سیلت در خاک سطحی اندک باشد.
- در این پژوهش ما با استفاده از تکنیک سنجش از راه دور و بر اساس تصاویر چند طیفی سنتینل-۲ به استخراج شدت بیابان‌زایی در دو منطقه متفاوت از استان خشک سیستان و بلوچستان پرداختیم؛ و بر اساس بازتاب طیفی اتفاق افتاده از سطح زمین و قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متری شدت بیابان‌زایی را در دو منطقه مورد مطالعه قرار دادیم. با توجه به رزولوشن بالای تصاویر سنتینل-۲ در مطالعه و تهیه نقشه‌های شدت بیابان‌زایی و شناخت مناطقی که دچار بیابان‌زایی شده است، بر اساس مطالعات این پژوهش پیشنهاد می‌گردد به صورت ترکیبی از دو مدل Albedo-TGSI و Albedo-NDVI برای پایش و تهیه نقشه‌های شدت بیابان‌زایی در مناطق خشک ایران استفاده گردد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که مناطق بدون بیابان‌زایی و شدت کم بیابان‌زایی بر اساس مدل Albedo-TGSI 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 در مطالعات تهیه نقشه شدت بیابان‌زایی بر اساس شاخص‌ها و معیارهای بیابان‌زایی امری دشوار و هزینه‌بر می‌باشد و همچنین مستلزم انجام 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 مطالعات برای تهیه نقشه‌های بیابان‌زایی از واحدهای ژئومورفولوژیک به‌عنوان واحدهای کاری استفاده می‌گردد، 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 می‌باشند.
- در این تحقیق جهت کاهش میزان خطای ناشی از رطوبت سطحی خاک و همچنین عدم حضور گونه‌های یک‌ساله و موقت، فصل تابستان و ماه میانه آن یعنی مردادماه انتخاب گردید. به این دلیل که سطح خاک خشک بوده و

- Hirmand city. *Journal of Development and Geography*, 38: 139- 150. (In Persian).
7. Eskandari S. 2019. Comparison of different algorithms for land cover mapping in sensitive habitats of Zagros using Sentinel-2 satellite image:(Case study: a part of Ilam province). *RS & GIS for Natural Resources* 10(1): 72-86. (In Persian).
 8. Fozuni L. 2007. Evaluation of the current status of desertification Sistan plain using modify MEDALUS Model with emphasis on wind and water erosion criteria. Master degree of desertification, University of Zabol. 215 p. (In Persian).
 9. Gillespie TW, Ostermann-Kelm S, Dong C, Willis KS, Okin GS, MacDonald GM. 2018. Monitoring changes of NDVI in protected areas of southern California. *Ecological Indicators*, 88: 485-494. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.01.031>.
 10. Goudie AS, Middleton NJ. 2006. Desert dust in the global system. Springer Science & Business Media. 288 p.
 11. 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. doi:<https://doi.org/10.1007/s11069-014-1457-0>.
 12. Houldcroft CJ, Grey WM, Barnsley M, Taylor CM, Los SO, North PR. 2009. New vegetation albedo parameters and global fields of soil background albedo derived from MODIS for use in a climate model. *Journal of Hydrometeorology*, 10(1): 183-198. doi:<https://doi.org/10.1175/2008JHM1021.1>.
 13. 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 Persian).
 14. Kaffash A, Rouhimoghadam E, Afshari A, Zolfaghari F. 2018. Investigation the effects of Climate, Vegetation, Wind Erosion and Soil Criteria on desertification Potential Using GIS (Case Study: Moradabad Saravan Regio). *Journal of Geographical New Studies Architecture and Urbanism*, 2(14): 15-29. (In Persian).
 15. Kang HS, Hong SY. 2008. An assessment of the land surface parameters on the simulated regional climate circulations: The 1997 and 1998 east Asian summer monsoon cases. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113(D15). doi:<https://doi.org/10.1029/2007JD009499>.
 16. Kariminazar M, Mosaaedi A, Moghadamnia A. 2010. Investigation of climatic factors affecting occurrence of drought (Case Study of Zabol Region). *Journal of Water and Soil Conservation*, 17(1): 145- 158. (In Persian).
 17. 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. doi:<https://doi.org/10.3390/rs6109316>.
 18. Lamchin M, Lee J-Y, Lee W-K, Lee EJ, 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. doi:<https://doi.org/10.1016/j.asr.2015.10.006>.
 19. Lamchin M, Lee W-K, Jeon SW, Lee J-Y, Song C, Piao D, Lim CH, Khaulenbek A, Navaandorj I. 2017. Correlation between desertification and environmental variables using remote sensing techniques in Hogno Khaan, Mongolia. *Sustainability*, 9(4): 581. doi:<https://doi.org/10.3390/su9040581>.
 20. Myhre G, Myhre A. 2003. Uncertainties in radiative forcing due to surface albedo changes caused by land-use changes. *Journal of Climate*, 16(10): 1511-1524. doi:[https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2003\)016<1511:UIRFDT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016<1511:UIRFDT>2.0.CO;2).
 21. 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. doi:<https://doi.org/10.3390/rs9020110>.
 22. 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. doi:<https://doi.org/10.1007/s11069-013-0665-3>.
 23. Parvariasl H, Pahlavanravi A, Moghaddamnia A. 2010. Assessing desertification hazard in Neiyatak region using ESAs Model. *Journal of Iran Natural Resources*, 2: 42- 54. (In Persian).
 24. Piña RB, Díaz-Delgado C, Mastachi-Loza CA, González-Sosa E. 2016. Integration of remote sensing techniques for monitoring desertification in Mexico. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 22(6): 1323-1340. doi:<https://doi.org/10.1080/10807039.2016.1169914>.
 25. Scott D, Smart M. 1999. Wetlands of the Sistan Basin, South Caspian and Fars, Islamic Republic of Iran, Ramsar Convention Monitoring Procedure Report No.26. 110 p.
 26. 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. doi:<https://doi.org/10.3390/rs10101614>.

27. Wei H, Wang J, Han B. 2020. Desertification information extraction along the China–Mongolia railway supported by multisource feature space and geographical zoning modeling. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13: 392-402. doi:<https://doi.org/10.1109/JSTARS.2019.296283>.
28. Wulder MA, Hilker T, White JC, Coops NC, Masek JG, Pflugmacher D, Crevier Y. 2015. Virtual constellations for global terrestrial monitoring. *Remote Sensing of Environment*, 170: 62-76. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.09.001>.
29. Xiao J, Shen Y, Tateishi R, Bayaer W. 2006. Development of topsoil grain size index for monitoring desertification in arid land using remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 27(12): 2411-2422. doi:<https://doi.org/10.1080/01431160600554363>.
30. Zolfaghari F, Shahriyari A, Fakhireh A, Rashki A, Noori S, Khosravi H. 2011. Assessment of desertification potential using IMDPA model in Sistan plain. *Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi)*, 91: 97-107. (In Persian).
31. Zongyi M, Xie Y, Jiao J, li L, Wang X. 2011. The Construction and Application of an Aledo-NDVI Based Desertification Monitoring Model. *Procedia Environmental Sciences*, 10: 2029-2035. doi:<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.09.318>.



Determining the desertification intensity based on spectral indices using Sentinel-2 images (Case study: Sistan and Baluchestan province)

Farhad Zolfaghari, Vahideh Abdollahi

Received: 14 May 2021 / Received in revised form 23 July 2021 / Accepted: 10 August 2021
Available online 16 August 2021

Abstract

Background and Objective Different vegetation covers have different albedo levels. On the other hand, surface albedo is one of the most important components of surface radiation balance, which can be used to identify severely degraded and desertified regions. Vegetation can be considered as one of the most important key components in arid regions to reduce the effects of erosion and desertification due to the effects of vegetation for land surface stability. Expansion of desertification and also changes in vegetation cover, could be change the surface Albedo. The purpose of this study is to determine the desertification intensity based on spectral indices, Albedo, Topsoil Grain Size Index (TGSI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) using remote sensing technology. Identification the damaged areas with the lowest cost in the shortest time, using Sentinel-2 images with a spatial resolution of 10 meters is one of the objectives of this study.

Also, this study will introduce the best indicator for monitoring desertification intensity in arid regions for the first time in the Sistan and Baluchestan region based on spectral indices using Sentinel-2 images.

Materials and Methods The following steps were performed to evaluate the intensity of desertification and identify the appropriate indicator in order to mapping the desertification intensity: 1) Selection the images and perform image preprocessing operations using SNAP software; 2) Calculation of TGSI, NDVI and Albedo indices; 3) Investigation the correlation between indices using SPSS[®]24 software. 4) Preparation of desertification intensity map of the region and obtaining the equation of desertification intensity using ArcGIS[®]10.3 software. In the first step of this research, Sentinel-2A satellite data related to MSIL-1C sensor was selected on August 20, 2020. The images were selected in such a way that the growing season of the plants is not annual and temporary, and also the day was selected when there is no cloud cover. The required images were downloaded and used from the URL address: <http://scihub.copernicus.eu/>.

F. Zolfaghari¹, V. Abdollahi^(✉)¹

1. Assistant Professor, Higher Education Complex of Saravan, Iran

e-mail: zol.farhad@gmail.com

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1401.13.1.6.4>

Results and Discussion The results of linear regression between NDVI and Albedo indices showed that, these two indices had negative correlation, and the correlation coefficient in Souran and Zabol was 0.76 and 0.63, respectively. The results showed that with increasing NDVI, decreased of the albedo index occurred. Also, the results of linear regression model showed strong and positive relationship between TGSI and Albedo indices, as the correlation coefficient of Souran and Zabol was 0.78 and 0.81, respectively. The results showed that the TGSI and the albedo simultaneously decreased or increased. Desertification intensity in the study areas was determined based on the equation $I = a \times \text{Index} \pm \text{Albedo}$ and also by using Natural Breaks (Jenks) method in ArcGIS software, desertification intensity of study areas classified to 5 degrees, 1. Without desertification, 2. Low desertification, 3. Moderate desertification, 4. Severe desertification, and 5. Extremely desertification. In this study Albedo, NDVI and TGSI indices were extracted based on Sentinel-2 satellite data. The results of linear regression between NDVI and Albedo showed that there is strong negative relationship between these indices that was consistent with the results of similar studies. The high and negative correlation, means that any increase in the vegetation cover will lead to decrease the Albedo. On the other hands the areas with high Albedo, indicate degradation of vegetation cover and bare soil. In the regions with sever desertification intensity, the value of surface Albedo was high and the vegetation cover was low. Classification of desertification intensity in Sistan region based on Albedo-NDVI model showed that 27.73% of the area were in the class of without desertification intensity, 18.03% in the low class, 32.92% in the moderate class, 20.3% were in the severe class and only 1.02% of the area were in the very severe desertification intensity class. Also, the classification of desertification intensity in Souran based on Albedo-NDVI model showed 4.82% of the area without desertification, 8.44% in low class, 50.97% in moderate class, 34.48% in severe class and

1.3% of the area were in very severe desertification class. The highest percentage of desertification intensity of the area were in the moderate class. The results of linear regression between TGSI and Albedo indices also showed that there is a positive and strong relationship between these indices. The results showed that the relationship between TGSI and Albedo indices was stronger than the relationship between NDVI and Albedo indices and in both regions the correlation coefficient was higher. One of the main reasons for this is the dispersion of vegetation cover in arid areas. The relationship between TGSI and Albedo better shows the spatial characteristics of vegetation-free areas as well as areas with very low vegetation cover to determine the intensity of desertification. The TGSI index reflects the coarse particle size of the topsoil, which has a positive relationship with the fine sand content of the topsoil. Whatever the larger particle size of the topsoil, will have the greater desertification intensity. In the areas where the content of fine sand in the topsoil is high, the high range of TGSI index will be seen.

Conclusion In this study, using Sentinel-2 multispectral images and remote sensing technique, we extracted the intensity of desertification in different arid regions of the Sistan and Baluchestan province, for the first time in Iran. Based on the spectral reflection that occurred from the ground and the spatial resolution of 10 meters, we studied the intensity of desertification in two areas. Based on the results of this research, we suggest to use the combination of Albedo-NDVI and Albedo-TGSI models in order to monitoring the desertification intensity in arid regions of Iran. The results of this study showed that areas without desertification and low intensity of desertification are better identified based on Albedo-TGSI model.

Keywords: Desertification, Spectral index, Albedo, Topsoil Grain Size Index (TGSI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Sentinel-2