



تحقیقات آب و خاک ایران | دوره ۵۲ | شماره ۱۱ | بهمن ۱۴۰۰ (ص ۲۸۵۷-۲۸۴۳)

<https://dx.doi.org/10.22059/ijswr.2021.331741.669092>

(مقاله علمی - پژوهشی)

Investigation of Desertification Trend in the Center of Khuzestan province Using Remote Sensing Time Series Data

SAREH HASHEM GELOOGERDI¹, ABBASALI VALI^{1*}, MOHAMMAD REZA SHARIFI²

1. Department of Combating Desertification, Faculty of Natural Resources and Geoscience, University of Kashan, Kashan, Iran.

2. Department of Hydrology and Water Resources, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

(Received: Oct. 3, 2021- Revised: Nov. 5, 2021- Accepted: Nov. 16, 2021)

ABSTRACT

Aired areas are often affected by rapid soil erosion, land degradation, and desertification. Therefore, continuous monitoring of land cover changes is required. Remote sensing data with spatial and temporal information are suitable for this purpose. In the present study, the time series of TGSI and Albedo remotely sensed indexes were used to monitor desertification in the center of Khuzestan province. After constructing the above-mentioned indexes for the period of 1999-2019 using ETM+ sensor images, the values of 411 randomly selected samples on the images were used to construct the Albedo-TGSI feature space model for each year and the correlation between the variables was calculated 0/48-0/83 in different years. The DDI (Desertification Degree Index) was then obtained based on the slope of the fitted line, and the value of DDI was calculated for each sample in each year. By applying a natural break classification on DDI, different levels of desertification and the break values were obtained and considered as the representative of the class in each year. Therefore, five time series of five desertification degrees were formed. Finally, a Man Kendall trend test was carried out with %95 and %90 confidence levels. The results showed that none of the series, except for the high desertification degree, showed a significant trend at the level of 5%. However, severe and high desertification degrees time series with p-value, 0.090 and 0.050 values showed a significant trend at the level of 10%, respectively. Also, the spatial distribution map of the average changes in the trend of desertification index in different classes, showed that in total, about 81% of the region was in severe and high desertification classes with a significant increasing trend of desertification. The results showed a high desertification degree at %5 significant level, and a severe desertification degree at %10 significant levels, showing increasing desertification trend. Furthermore, the spatial distribution of average DDI index indicated that about %81 of the study area was in severe and high desertification classes with a significant increasing trend.

Keywords: ETM+ Images, DDI Index; Natural Break Classification, Man-Kendall Trend Test.

* Corresponding Author's Email: Vali@Kashanu.ac.ir

بررسی روند بیابان‌زایی در مرکز استان خوزستان با استفاده از داده‌های سری‌های زمانی سنجش از دور

ساره هاشم گلوگردی^۱، عباسعلی ولی^{۱*}، محمدرضا شریفی^۲

۱. گروه بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.

۲. گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۷/۱۱ - تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۸/۱۴ - تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۸/۲۵)

چکیده

مناطق خشک اغلب تحت تأثیر فرسایش سریع خاک، تخریب زمین و بیابان‌زایی قرار می‌گیرند. داده‌های سنجش از دور با داشتن اطلاعات مکانی و زمانی، ابزار مناسبی جهت ارزیابی و بررسی این پدیده‌ها می‌باشند. در پژوهش حاضر از سری‌های زمانی شاخص‌های سنجش از دوری TGSi و آلبدو جهت پایش روند بیابان‌زایی در مرکز استان خوزستان استفاده شد. پس از محاسبه‌ی شاخص‌های ذکر شده با استفاده از تصویر سنجنده‌ی ETM+ برای سال‌های ۲۰۱۹-۱۹۹۹، مقادیر ۴۱۱ نمونه‌ی تصادفی انتخاب شده روی تصاویر، برای ساخت مدل فضای ویژگی Albedo-TGSi در هر سال به کار رفت و همبستگی بین متغیرها به میزان ۰/۴۸-۰/۸۳ در سال‌های مختلف محاسبه گردید. سپس معادله‌ی درجات بیابان‌زایی DDI بر اساس شیب خط برازش داده شده به دست آمد و مقدار شاخص بیابان‌زایی برای هر نقطه در هر سال محاسبه شد. در مرحله‌ی بعد با اعمال طبقه‌بندی شکست طبیعی بر روی شاخص DDI، درجات مختلف بیابان‌زایی و همچنین مقادیر شکست و حدی درجات مختلف برای نمونه‌های تصادفی حاصل شد. سپس میانگین این حدود برای هر طبقه در هر سال محاسبه شد و به‌عنوان نماینده‌ی آن طبقه در همان سال در سری زمانی قرار گرفت. به این ترتیب ۵ سری زمانی از درجات بیابان‌زایی در سال‌های ۱۹۹۹-۲۰۱۹ به دست آمد و در نهایت آزمون روند من‌کندال، برای هر سری زمانی در سطح معنی داری ۰/۱۰ و ۰/۵ انجام شد. نتایج نشان داد هیچ یک از سری‌ها، به غیر از سری زمانی بیابان‌زایی زیاد، در سطح ۰/۵ روند معناداری از خود نشان ندادند. ولی دو طبقه‌ی بیابان‌زایی شدید و بیابان‌زایی زیاد به ترتیب با مقادیر p -value، ۰/۹۰ و ۰/۵۰ روند معناداری در سطح ۰/۱۰ از خود نشان دادند. همچنین نقشه‌ی توزیع مکانی میانگین تغییرات روند شاخص بیابان‌زایی در طبقات مختلف، نشان داد در مجموع، نزدیک ۸۱٪ منطقه در طبقات بیابان‌زایی شدید و زیاد با روند افزایشی بیابان‌زایی معنی‌دار قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: تصاویر ETM+، شاخص درجات بیابان‌زایی، طبقه‌بندی شکست طبیعی، آزمون روند من‌کندال.

مقدمه

هر ساله ۱۲ میلیون هکتار از اراضی، که توانایی تولید ۲۰ میلیون تن غلات را دارند، به خاطر بیابان‌زایی و خشکسالی از دسترس خارج می‌شوند^۱ (UNCCD). از آن‌جا که مناطق خشک، اغلب تحت تأثیر فرسایش سریع خاک، تخریب زمین و بیابان‌زایی قرار می‌گیرند، نظارت مداوم بر کاربری زمین و تغییرات پوشش زمین مورد نیاز است (Tomasella et al., 2018) و تصاویر سنجش از دور با دارا بودن اطلاعات مکانی پیوسته و سری‌های زمانی، منابع ارزشمندی جهت استخراج الگوی زمانی، روند، تغییرات و ... می‌باشند. تا کنون شاخص‌های سنجش از دوری مختلفی جهت بررسی و آنالیز روند تخریب زمین توسعه و به کار برده شده‌اند (Lamqadem et Lanfredi et al., 2016; Lanfredi et al., 2003)

مناطق خشک از یک سو، به طور عمده دارای پوشش گیاهی فقیر یا بدون پوشش هستند و از سوی دیگر پوشش گیاهی با وقوع حتی یک بارندگی، تغییرات معناداری دارد و می‌تواند باعث تفسیر غلط از شرایط بیابان‌زایی شود (Lamchin et al., 2017)، لذا در سال‌های اخیر، شاخص ذرات سطحی خاک که توسط Xiao et al. (2006) توسعه داده شد، به جای شاخص‌های متداول پوشش گیاهی در این مناطق شده است (Wei et al., 2020; Wei et al., 2018; Manjur Gebru et al., 2021) استفاده می‌شود. اندازه‌ی ذرات خاک سطحی، نقش معناداری در پتانسیل فرسایش و دیگر خصوصیات مکانیکی خاک دارد (Leu et al., 1977; Paisley et al., 1991; Williams et al., 1998). درجات مختلف بیابان‌زایی

* نویسنده مسئول: Vali@Kashanu.ac.ir

می‌دهد بیشتر مساحت ایران را اقلیم خشک و نیمه خشک تشکیل داده‌اند که از نظر کلاس طبقه‌بندی بیابان‌زایی در کلاس شدید و بسیار شدید قرار می‌گیرند.

Wang *et al.* (2017) از داده‌های سنجنده‌ی MODIS

بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ استفاده نموده و به بررسی روند بیابان‌زایی تحت تاثیر باد می‌پردازند. آن‌ها ابتدا شاخص پوشش گیاهی^۲ VCI را محاسبه نموده و شاخص^۳ ADI را به دست می‌آورند، سپس آنالیز رگرسیون خطی ساده جهت آنالیز زمانی روند شاخص بیابان‌زایی ADI و فاکتورهای اقلیمی انتخاب شده، به کار برده می‌شود. در نهایت با استفاده از تخمین شیب سن و آزمون روند من‌کندال، تغییرات زمانی و مکانی این شاخص در منطقه‌ی شنی Horqin در قسمت غربی شمال شرقی چین مشخص می‌گردد. Khodaei Gheshlagh *et al.* (2020) جهت پایش بیابان‌زایی در محدوده‌ی دریاچه‌ی ارومیه، بر اساس زوج شاخص‌های طیفی آلبدو- پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده، میزان سبزی‌نگی - ضریب روشنایی و میزان رطوبت - ضریب روشنایی نقشه‌ی شدت بیابان‌زایی را تهیه نموده و سپس با استفاده از الگوریتم کشف تغییرات آماری^۴، تغییرات به وقوع پیوسته، مساحت کلاس‌های خطر و روند وقوع خطر بیابان‌زایی پایش می‌کنند و مشخص می‌شود وقوع بیابان‌زایی در منطقه روند صعودی دارد. جهت بررسی شرایط بیابان‌زایی ناشی از خشکسالی هواشناسی در شمال استان فارس، Soheili *et al.* (2017) در پژوهشی از شاخص خشکسالی هواشناسی بارش استاندارد SPI و شاخص خشکسالی هیدرولوژیک جریان رودخانه SDI استفاده می‌کنند و جهت بررسی روند خشکسالی از آزمون ناپارامتری روند من‌کندال استفاده می‌شود. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که هر دو خشکسالی و هیدرولوژیکی روند افزایشی دارند.

در استان خوزستان، تغییرات آب و هوایی در قالب خشکسالی‌های پی در پی، سبب افزایش دما و کاهش رطوبت سطح زمین شده است. این تغییرات در کنار بهره‌برداری از طرح‌های کلان آبی نظیر تونل‌های انتقال آب از سرشاخه‌های رودهای بزرگ استان و احداث سدها و شبکه‌های آبیاری که به برداشت بی‌رویه و غیر اصولی از منابع آب منجر شده، باعث کاهش سطوح آبی و مرطوب و از بین رفتن پوشش گیاهی در بسیاری از مناطق شده است (Heidarian *et al.*, 2015). لذا ارزیابی روند این تغییرات جهت مدیریت و کنترل این وضعیت، امری ضروری می‌باشد. پژوهش حاضر با استفاده از شاخص DDI محاسبه شده از شاخص‌های TGSi و آلبدو و با ایجاد سری‌های زمانی بیابان‌زایی

بافت سطحی متفاوتی دارند و هرچه بافت سطحی درشت‌تر باشد بیابان‌زایی شدیدتر است (Lamchin *et al.*, 2016). همچنین تغییرات سطح زمین ناشی از بیابان‌زایی، منجر به تغییرات آشکار در میزان آلبدو می‌شود. مطابق پژوهش‌های پیشین ارتباط معناداری بین فرایندهای بیابان‌زایی و شاخص‌های Albedo و TGSi وجود دارد (Wei *et al.*, 2018; Wei *et al.*, 2020; Lamchin *et al.*, 2016; Xiao *et al.*, 2006). با افزایش اندازه‌ی ذرات سطحی خاک، میزان آلبدو افزایش می‌یابد، بنابراین ترکیب اطلاعات حاصل از این دو شاخص می‌تواند جهت تشخیص مناطقی که بیابان‌زایی در آن‌ها به وقوع پیوسته و همچنین پایش روند بیابان‌زایی به کار رود.

تا کنون روش‌های آماری متعددی جهت تحلیل روند سری‌های زمانی ارائه گردیده است که می‌توان آن‌ها را در دو دسته‌ی کلی روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک تقسیم‌بندی نمود. مبنای کلیه‌ی این روش‌های آماری مطرح نمودن دو فرض H0 و فرض یک H1 و آزمون نمودن آن‌ها بر اساس روش‌ها و تکنیک‌های خاص آماری است که در نهایت منجر به رد فرض صفر می‌شود و یا اینکه دلایل و شواهد کافی برای رد آن مشاهده نمی‌شود (Alijani *et al.*, 2015). آزمون روند غیرپارامتریک من‌کندال، جز متداول‌ترین و پرکاربردترین روش‌های ناپارامتریک تحلیل روندی سری‌های زمانی به شمار می‌رود. این آزمون ابتدا توسط Mann (1945) ارائه و سپس توسط Kendall (1975) بر پایه رتبه داده‌ها در یک سری زمانی بسط و توسعه داده شد (Maroofnezhad and Ghasemi, 2016). برای بررسی مقدار روند بیابان‌زایی بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴، Guan *et al.* (2017) از تصاویر سنجنده‌ی MODIS استفاده کرده و با انتخاب نقاط تصادفی فضای ویژگی Albedo-NDVI را ایجاد می‌کنند و با استفاده از رابطه‌ی بین آن‌ها شاخص^۱ DDI را تولید و آن را به ۵ درجه تقسیم می‌کنند. سپس جهت برآورد روند بر اساس نمونه‌های تصادفی از شاخص DDI طی ۱۵ سال، از روش حداقل مربعات استفاده نموده و بر اساس شیب خط به دست آمده روند بیابان‌زایی جهانی را تعیین می‌کنند و مشخص می‌شود که رنکینگ بیابان‌زایی جهانی مرتبط با مناطق دمایی است. علیجانی و همکاران (۹۴) با استفاده از داده‌های مربوط به دو پارامتر میانگین دمای سالانه و بارش سالانه‌ی ۴۵ ایستگاه طی یک دوره‌ی ۳۰ ساله، شاخص یونپ را برای کل ایستگاه‌ها حساب نموده و با استفاده از آزمون آماری غیرپارامتریک من‌کندال، روند تغییرات شاخص UNEP را در ایران تعیین می‌نمایند. نتایج نشان

^۳ Aeolian Desertification Index

^۴ Change detection statistic

^۱ Top Soil Grain Size

^۲ Vegetation Cover Index

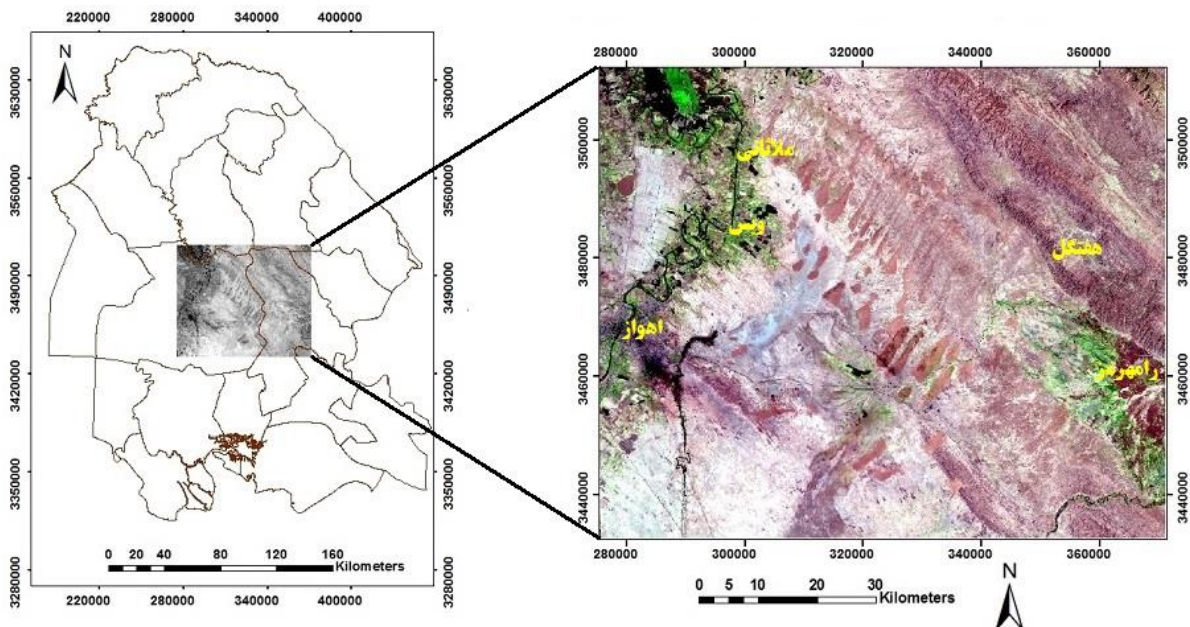
اهواز و رودخانه‌ی کارون و اراضی کشاورزی فاریاب اطراف آن می‌باشد که از شمال شرقی به شهرستان‌های ویس و ملائانی می‌رسد. شهرستان رامهرمز و مناطق کشت شده‌ی اطراف آن در قسمت جنوب شرق منطقه قرار گرفته و منطقه از سمت شمال شرق به شهرستان هفتگل و چین خوردگی‌های زاگرس محدود می‌شود. در بخش‌های مرکزی منطقه بخش غیزانیه و تپه‌های شنی غیزانیه قرار گرفته‌اند. علاوه بر اراضی فاریاب ذکر شده، کاربری‌های اراضی موجود در محدوده‌ی مطالعاتی، شامل اراضی دیم، مراتع با پوشش متوسط و فقیر است و بیشه‌زار و درختچه‌زارهایی نیز بر روی برخی از تپه‌های شنی موجود در منطقه، وجود دارد و خاک سطحی لخت و عاری از پوشش گیاهی، در بخش‌های زیادی از منطقه به چشم می‌خورد.

شاخص مزبور، به ارزیابی روند درجات مختلف بیابان‌زایی اراضی در مرکز استان خوزستان می‌پردازد. مهم‌ترین اهداف این پژوهش، بررسی روابط آماری بین شاخص‌های انتخاب شده جهت ارزیابی بیابان‌زایی، به دست آوردن معادلات بیابان‌زایی در هر سال، تولید سری‌های زمانی شاخص بیابان‌زایی و ارزیابی روند بیابان‌زایی در منطقه با استفاده از روش من کندال می‌باشد.

روش بررسی

منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه به مساحت ۷۶۳۵/۳۶ کیلومتر مربع واقع در استان خوزستان بوده و بین عرض ۳۱ ۰ ۱۷ و ۳۱ ۴۳ ۶۹ شمالی و طول ۴۸ ۳۵ ۵۱ و ۴۹ ۳۹ ۲ شرقی قرار گرفته است (شکل ۱). غرب و جنوب غرب منطقه‌ی مطالعاتی شامل شهرستان



شکل ۱- موقعیت منطقه در استان خوزستان و تصویر ETM+

پیش پردازش‌های انجام شده روی تصاویر

ابتدا خطای رادیومتری تصاویر، در نرم‌افزار با گزینه‌ی تصحیح رادیومتری برطرف شد و انرژی رسیده به سنجنده محاسبه گردید و سپس به منظور تصحیح خطای اتمسفری از الگوریتم QUAC^۳ استفاده شد. این روش، تصحیحات اتمسفری را برای تصاویر چند طیفی و فرا طیفی انجام می‌دهد و از یک رویکرد در صحنه^۴ بهره برده و برای انجام تصحیحات تنها نیاز به مشخصات تقریبی مکان‌های باند سنجنده دارد و به داده‌های دیگر نیاز نیست (Bernstein *et al.*, 2012). بدین ترتیب در نهایت بازتابش خالص مربوط به پدیده‌های مورد نظر بر روی سطح زمین به دست آمد.

داده‌های مورد استفاده

داده‌های مورد استفاده شامل تصاویر سنجنده‌ی ETM+^۱ سال‌های ۲۰۱۹-۱۹۹۹، با مشخصات شماره‌ی گذر ۱۶۵ و ردیف ۳۸ و مربوط به جولای بودند که تصاویر مربوطه با سطح تصحیحات^۱ از سایت سازمان زمین شناسی آمریکا بارگیری شد. (USGS, January 2020). برای حذف اثر هر گونه پوشش گیاهی ناخواسته در تصویر، و برای افزایش کارایی شاخص‌های انتخاب شده، تاریخ اخذ تصویر ذکر شده ماه جولای انتخاب شد و تنها دو تصویر به علت موجود نبودن تصاویر جولای مربوط به ماه آگوست بود.

^۳ QUick Atmospheric Correction

^۴ In-Scene

^۱ Enhanced Thematic Mapper Plus

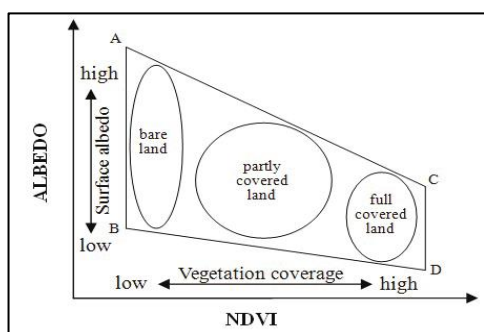
^۲ LITP

آلبدو در نرم‌افزار SPSS پلات شده و مدل فضای طیفی برای هر سال به‌دست آمد. در نهایت آنالیز رگرسیون روی متغیرها اجرا شده و معادلات بهترین خط برازش شده حاصل شد. همچنین مقدار همبستگی مقادیر شاخص‌ها برای سال‌های مختلف توسط رابطه‌ی (۳) محاسبه شد:

$$r = \frac{n \sum(xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n \sum(x^2) - (\sum x)^2][n \sum(y^2) - (\sum y)^2]}} \quad (\text{رابطه‌ی ۳})$$

در این رابطه n تعداد متغیرها، x متغیر مستقل TGSi و y متغیر وابسته‌ی Albedo می‌باشد.

شاخص درجات بیابان‌زایی براساس نظر Verstraete and Pinty. (1996) محاسبه شد. طبق این نظریه، جداسازی انواع درجات مختلف بیابان‌زایی می‌تواند به طور موثری به‌وسیله‌ی تقسیم‌بندی فضای ویژگی NDVI-Albedo در جهت عمود بر روند تغییرات بیابان‌زایی انجام شود (شکل ۲).



شکل ۲- فضای ویژگی Albedo-NDVI (Ma et al., 2011)

لذا معادله‌ی درجات بیابان‌زایی با استفاده از شاخص‌های مذکور طبق رابطه‌ی ۴ تعریف شد و معادلات درجات بیابان‌زایی برای هر سال به‌دست آمد.

$$DDI = \alpha \cdot TGSi - Albedo \quad (\text{رابطه‌ی ۴})$$

در این رابطه DDI درجات مختلف بیابان‌زایی و α شیب خط است.

پس از به‌دست آوردن رابطه‌ی درجه‌ی بیابان‌زایی برای هر سال، با مشخص بودن مقادیر شاخص‌های Albedo و TGSi مقدار بیابان‌زایی نقاط در هر سال، محاسبه گردید.

تولید سری زمانی شاخص بیابان‌زایی

بر اساس پژوهش‌های متعدد (Wei et al., 2020; Wei et al., 2018; Lamqadem et al., 2018; Ma et al., 2011) مقادیر DDI با کاربرد روش طبقه‌بندی شکست طبیعی جنکر به ۵ طبقه‌ی مختلف خیلی شدید، شدید، متوسط، کم و بدون بیابان‌زایی تقسیم‌بندی شد. این نوع طبقه‌بندی بر اساس توزیع نرمال داده‌ها

همچنین در تاریخ ۳۱ می سال ۲۰۰۳، تصحیح‌کننده خط اسکن سنجنده‌ی ETM+ از کار افتاد. از آن تاریخ به بعد تصاویر این سنجنده دارای گپ‌های گوه‌ای شکل در دو طرف تصویر می‌باشند که منجر به از دست رفتن حدود ۲۲ درصد از داده‌ها می‌گردد. بنابراین نیاز بود تا این داده‌های از دست رفته به نحوی جایگزین شده و این خطا برای تصاویر مربوطه تصحیح گردد. این کار با استفاده از افزونه‌ی Landsat_GapFill.sav SLC در نرم‌افزار مربوطه برای تصاویر مورد نظر صورت پذیرفت (ENVI 5.3).

شاخص اندازه‌ی ذرات خاک سطحی (TGSi)

این شاخص با استفاده از باندهای مرئی قرمز، آبی و سبز سنجنده‌ی ETM+ و بر اساس رابطه‌ی (۱) از تصاویر استخراج شد:

$$TGSi = \frac{(RED - BLUE)}{(RED + BLUE + GREEN)} \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این رابطه RED باند قرمز و BLUE باند آبی و GREEN

باند سبز سنجنده‌ی ETM+ می‌باشد.

مقادیر منفی این شاخص نشان دهنده‌ی اراضی دارای پوشش گیاهی و مقادیر مثبت آن نشان دهنده‌ی اراضی بدون پوشش یا دارای پوشش پراکنده است (Xiao et al., 2006).

شاخص آلبدو (Albedo)

آلبدو می‌تواند به عنوان یک شاخص فیزیکی مهم که بیان‌گر بیابان‌زایی باشد، به کار رود. جهت محاسبه‌ی آلبدو از تصاویر ETM+، مدل ارائه شده توسط Liang (2001) به کار برده شد و مقدار آلبدو بر اساس رابطه‌ی (۲) محاسبه شد:

$$Albedo = 0.356BLUE + 0.13RED + 0.373NIR + 0.085SWIR1 + 0.072SWIR2 - 0.0018$$

در این رابطه BLUE و RED به ترتیب باندهای آبی و قرمز طیف مرئی و SWIR باندهای مادون قرمز با طول موج کوتاه می‌باشند.

محاسبات کمی فضای ویژگی^۱ Albedo-TGSi

تعداد ۴۱۱ نقطه بر اساس تعداد کل پیکسل‌های تصویر، به‌طور تصادفی جهت محاسبه‌ی رابطه‌ی بین متغیرها و ایجاد مدل فضای ویژگی، روی تصاویر شاخص‌ها انتخاب شد، سپس ارزش تک تک پیکسل‌های انتخاب شده، از تصاویر شاخص TGSi استخراج شد و مقادیر نظیر آن‌ها نیز از تصاویر شاخص Albedo استخراج گردید و این کار برای ۲۱ سال انجام شد. در مرحله‌ی بعد مقادیر ارزش‌های طیفی شاخص TGSi در مقابل ارزش طیفی شاخص

می‌باشد. (Hirsh and Slack., 1982)

در حالتی که سری فاقد خودهمبستگی باشد واریانس S' با استفاده از رابطه‌ی (۶) و در حالتی که داده‌های ماهیانه دارای خودهمبستگی باشند، واریانس S' با استفاده از رابطه‌ی (۷) تعیین می‌شود

$$\sigma_{S'}^2 = \sum_{j=1}^p \text{Var}(S') \quad (\text{رابطه‌ی ۶})$$

(رابطه‌ی ۷)

که σ_{gh} کوواریانس بین مقادیر آماره‌ی من کندال برای فصل g و h می‌باشد. کوواریانس نیز با استفاده از رابطه‌های (۸، ۹ و ۱۰) تعیین می‌شود

$$R_{ij} = \frac{1}{2} [n + \sum_{k=1}^n \text{sgn}(X_{ij} - X_{kj})] \quad (\text{رابطه‌ی ۸})$$

$$\sigma_{gh}^2 = \frac{1}{3} [K_{gh} + 4 \sum_{i=1}^n R_{ig} R_{ih} - n(n+1)^2] \quad (\text{رابطه‌ی ۹})$$

(رابطه‌ی ۱۰)

$$K_{gh} = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}[(X_{jg} - X_{ig}) - (X_{jh} - X_{ih})]$$

در این آزمون فرض H_0 عدم وجود روند و فرض H_a مبنی بر پذیرش وجود روند در سطح معنی‌داری اتخاذ شده در سری داده‌هاست. محاسبات جهت وجود روند در سری داده‌های شاخص بیابان‌زایی، با استفاده از نرم‌افزار مربوطه (XLSTAT, version 2016) و در محیط اکسل در سطوح معناداری ۵٪ و ۱۰٪ انجام شد.

نتایج

محاسبه شاخص‌های محیطی Albedo و TGSi

بر اساس رابطه اعمال شده بر روی تصاویر، شاخص‌های Albedo و TGSi محاسبه شد و برای هر سال یک تصویر شاخص Albedo و یک تصویر شاخص TGSi حاصل شد. تصاویر این شاخص‌ها برای برخی سال‌ها به صورت شکل (۳) می‌باشد.

محاسبات کمی فضای ویژگی

فضای ویژگی بین شاخص‌های مورد مطالعه ایجاد شد (شکل ۴) و مقادیر همبستگی این دو شاخص با یکدیگر برای سال‌های مختلف به دست آمد (جدول ۱). این نمودارها نشان داد که متغیر آلبدو رابطه‌ی مستقیم و مثبت با متغیر TGSi دارد و هر چه اندازه ذرات سطحی خاک بزرگ‌تر شوند و یا به عبارتی دیگر مقدار ذرات ریز خاک از دسترس خارج شوند و ذرات شن باقی بمانند، میزان آلبدوی سطحی افزایش پیدا می‌کند.

می‌باشد و نقاط عطف داده‌ها مرز بین طبقات را مشخص می‌نماید. در این روش پس از تعیین تعداد طبقات، نرم افزار با یک الگوریتم محاسباتی، سعی در به حداقل رساندن اختلاف بین داده‌ها در هر طبقه و به حداکثر رساندن اختلاف بین طبقات می‌کند. بدین ترتیب و بر اساس آنچه گفته شد این روش طبقه‌بندی جهت مشخص کردن مقادیر شکست برای طبقات مختلف بیابان‌زایی و همچنین حدود پایین و بالای هر طبقه بر روی مقادیر DDI اعمال گردید. سپس میانگین این حدود برای هر طبقه در هر سال محاسبه شد و به عنوان نماینده‌ی آن طبقه در همان سال، در سری زمانی قرار گرفت. به این ترتیب ۵ سری زمانی بیابان‌زایی شدید، بیابان‌زایی زیاد، بیابان‌زایی متوسط، بدون بیابان‌زایی و بیابان‌زایی کم برای سال‌های ۲۰۱۹-۱۹۹۹ ایجاد شد.

آنالیز روند شاخص بیابان‌زایی DDI

آزمون روند من کندال جهت تجزیه و تحلیل داده‌های جمع آوری شده در طی زمان، برای یافتن روند افزایشی یا کاهشی مداوم یا یکنواخت، در مقادیر متغیر Y استفاده می‌شود. این آزمون یک آزمون غیر پارامتری است به این معنا که لازم نیست داده‌ها از توزیع خاصی پیروی کنند. با توجه به این‌که در این آزمون داده‌ها نیابستی به صورت فصلی جمع آوری شده باشند، مثلاً تنها در ماه‌های تابستان و زمستان، Hirsch and Frans., (2006) و از آنجایی که در پژوهش حاضر، تمامی داده‌ها مربوط به فصل تابستان بودند، لذا نوع دیگری از این آزمون تحت عنوان آزمون من کندال فصلی جهت بررسی روند طبقات بیابان‌زایی به کار برده شد.

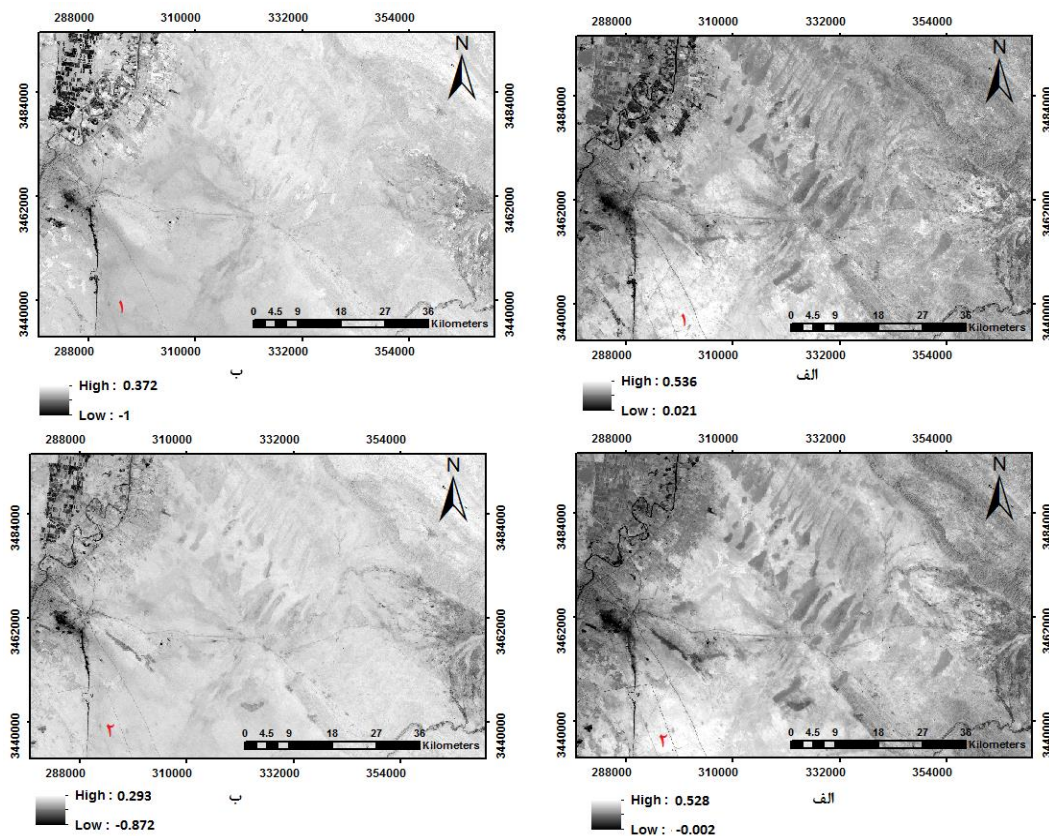
آزمون فصلی من-کندال که توسط Hirsch and Slack. (1982) توسعه داده شد، در تعیین معنا داری آماری روند در تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی محیطی استفاده می‌شود (Zhang et al., 2016). همچنین Hirsch and Slack. (1984)، نوعی از این آزمون را برای سری‌های دارای خود همبستگی ارائه دادند. این آزمون، فصلی بودن را با محاسبه‌ی آزمون من کندال برای p ماه به صورت جداگانه و سپس ترکیب نتایج در نظر می‌گیرد (Helsel et al., 2020). در این روش فرض می‌شود که روند صعودی یا نزولی در داده‌ها وجود دارد و داده‌ها فقط با همان فصل مقایسه می‌شوند. به عنوان مثال، بهار فقط با بهار و تابستان فقط با تابستان مقایسه می‌شود. آمار کلی S_k از جمع بندی آمار Kendall S هر فصل بدست می‌آید:

$$S' = \sum_{j=1}^p S_j \quad (\text{رابطه‌ی ۵})$$

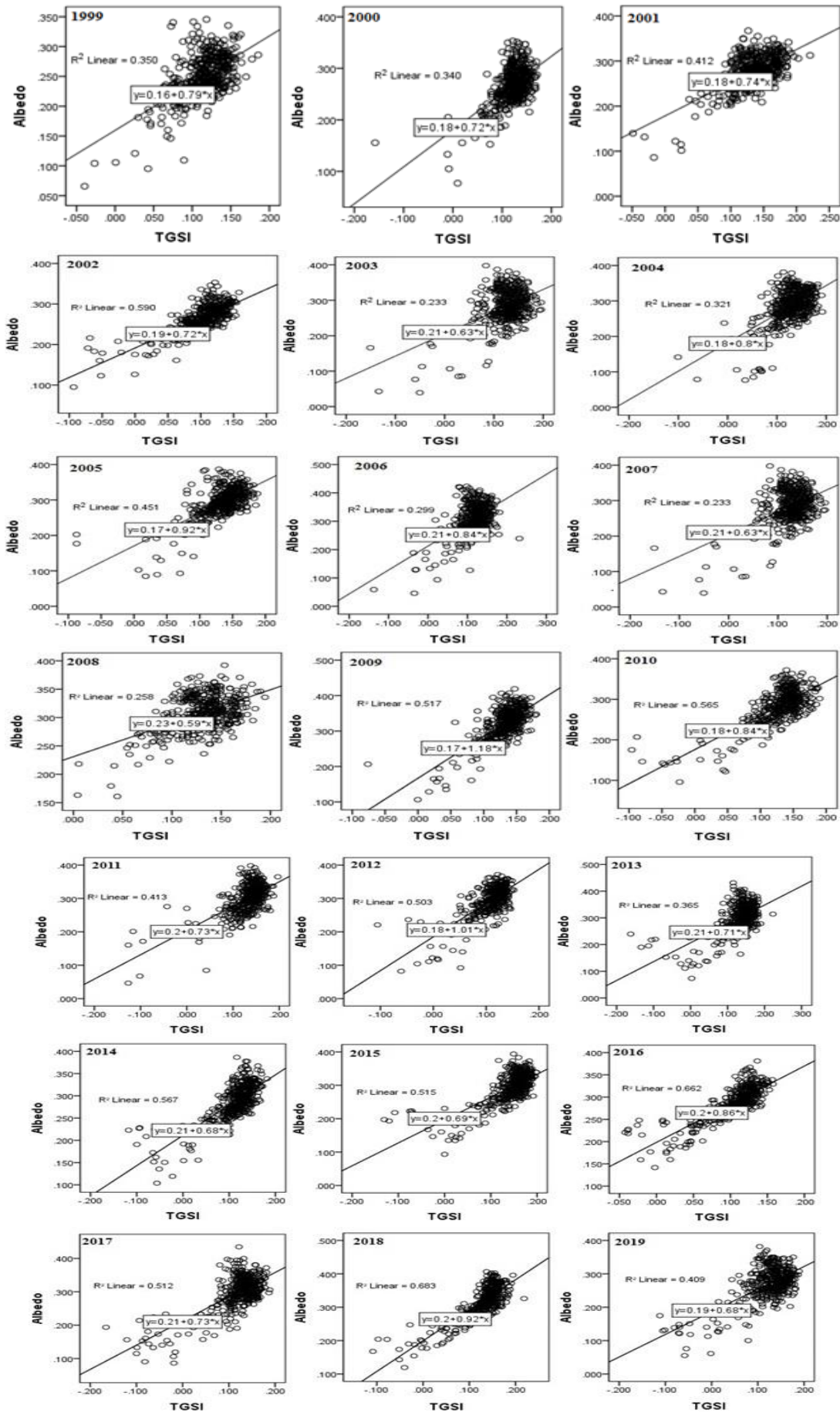
در این رابطه S_j مقادیر S برای فصل j ($j=1,2,3,\dots,p$)

جدول ۱- نتایج آنالیز رگرسیون فضای ویژگی Albedo-TGSI

معادله خط برازش شده	Sig.	Adjusted R Square	R Square	R	شاخص های آماری
					سال
$Albedo = 0.791 TGSI + 0.159$	./. .	.۳۴۹	.۳۵۰	.۵۹	۱۹۹۹
$Albedo = 0.716 TGSI + 0.180$	./. .	.۳۳۸	.۳۴۰	.۵۸	۲۰۰۰
$Albedo = 0.736 TGSI + 0.178$	./. .	.۴۱۱	.۴۱۲	.۶۴	۲۰۰۱
$Albedo = 0.725 TGSI + 0.191$	./. .	.۵۸۹	.۵۹۰	.۷۷	۲۰۰۲
$Albedo = 0.627 TGSI + 0.205$	./. .	.۲۳۱	.۲۳۳	.۴۸	۲۰۰۳
$Albedo = 0.805 TGSI + 0.182$	./. .	.۳۲۰	.۳۲۱	.۵۷	۲۰۰۴
$Albedo = 0.917 TGSI + 0.170$	./. .	.۴۴۹	.۴۵۱	.۶۷	۲۰۰۵
$Albedo = 0.842 TGSI + 0.212$	./. .	.۲۹۷	.۲۹۹	.۵۵	۲۰۰۶
$Albedo = 0.744 TGSI + 0.171$	./. .	.۳۷۱	.۳۷۲	.۶۱	۲۰۰۷
$Albedo = 0.590 TGSI + 0.231$	./. .	.۲۵۶	.۲۵۸	.۵۱	۲۰۰۸
$Albedo = 1.180 TGSI + 0.167$	./. .	.۵۱۶	.۵۱۷	.۷۲	۲۰۰۹
$Albedo = 0.840 TGSI + 0.176$	./. .	.۵۶۴	.۵۶۵	.۷۵	۲۰۱۰
$Albedo = 0.729 TGSI + 0.204$	./. .	.۴۱۱	.۴۱۳	.۶۴	۲۰۱۱
$Albedo = 1.011 TGSI + 0.185$	./. .	.۵۰۲	.۵۰۳	.۷۱	۲۰۱۲
$Albedo = 0.706 TGSI + 0.207$	./. .	.۳۶۳	.۳۶۵	.۶۰	۲۰۱۳
$Albedo = 0.680 TGSI + 0.211$	./. .	.۵۶۶	.۵۶۷	.۷۵	۲۰۱۴
$Albedo = 0.686 TGSI + 0.196$	./. .	.۵۱۴	.۵۱۵	.۷۲	۲۰۱۵
$Albedo = 0.875 TGSI + 0.198$	./. .	.۶۶۱	.۶۶۲	.۸۱	۲۰۱۶
$Albedo = 0.725 TGSI + 0.213$	./. .	.۵۱۰	.۵۱۲	.۷۲	۲۰۱۷
$Albedo = 0.915 TGSI + 0.199$	./. .	.۶۸۲	.۶۸۳	.۸۳	۲۰۱۸
$Albedo = 0.678 TGSI + 0.186$	./. .	.۴۰۸	.۴۰۹	.۶۴	۲۰۱۹



شکل ۳- شاخص الف (Albedo) ب (TGSI) برای سال های (۱) ۲۰۱۸ و (۲) ۲۰۱۷



شکل ۴- نمودار فضای ویژگی و نتایج رگرسیون TGSi - Albedo سال‌های ۲۰۱۹-۱۹۹۹

پایین هر طبقه به دست آمد (جدول ۳). سپس از حد بالا و پایین هر طبقه میانگین گرفته شد و برای هر سال، ۵ مقدار به ازای ۵ درجه‌ی بیابان‌زایی، محاسبه شده و به این ترتیب ۲۱ مقدار، برای هر درجه و در هر سال تعیین شده و ۵ سری زمانی، طبق جدول (۴) و شکل (۵) حاصل شد.

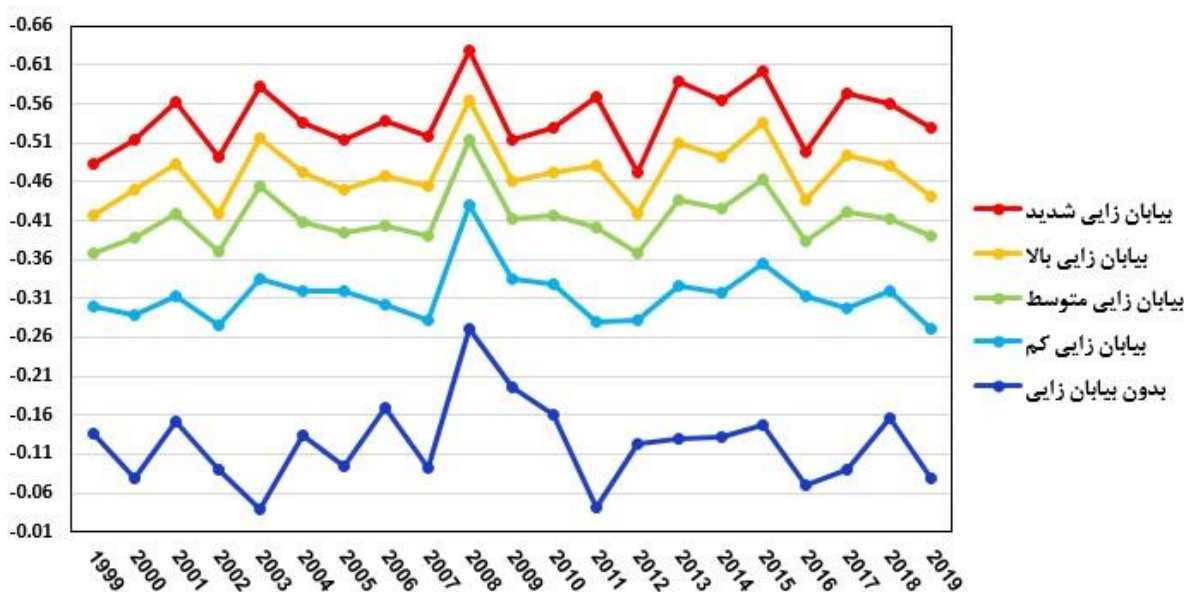
جدول ۲- معادلات شاخص بیابان‌زایی برای سال‌های ۱۹۹۹-۲۰۱۹

سال	معادله‌ی درجات بیابان‌زایی
۱۹۹۹	$DDI = -1.264 TGSi - Albedo$
۲۰۰۰	$DDI = -1.397 TGSi - Albedo$
۲۰۰۱	$DDI = -1.358 TGSi - Albedo$
۲۰۰۲	$DDI = -1.379 TGSi - Albedo$
۲۰۰۳	$DDI = -1.595 TGSi - Albedo$
۲۰۰۴	$DDI = -1.242 TGSi - Albedo$
۲۰۰۵	$DDI = -1.091 TGSi - Albedo$
۲۰۰۶	$DDI = -1.188 TGSi - Albedo$
۲۰۰۷	$DDI = -1.344 TGSi - Albedo$
۲۰۰۸	$DDI = -1.695 TGSi - Albedo$
۲۰۰۹	$DDI = -0.847 TGSi - Albedo$
۲۰۱۰	$DDI = -1.190 TGSi - Albedo$
۲۰۱۱	$DDI = -1.372 TGSi - Albedo$
۲۰۱۲	$DDI = -0.989 TGSi - Albedo$
۲۰۱۳	$DDI = -1.416 TGSi - Albedo$
۲۰۱۴	$DDI = -1.471 TGSi - Albedo$
۲۰۱۵	$DDI = -1.458 TGSi - Albedo$
۲۰۱۶	$DDI = -1.167 TGSi - Albedo$
۲۰۱۷	$DDI = -1.379 TGSi - Albedo$
۲۰۱۸	$DDI = -1.093 TGSi - Albedo$
۲۰۱۹	$DDI = -1.475 TGSi - Albedo$

بر اساس جدول (۱)، دامنه‌ی میزان معناداری همبستگی بین متغیرها بین ۰/۴۸ تا ۰/۸۳ بود. میزان همبستگی برای دو سال بالای هشتاد درصد، هفت سال بالای هفتاد درصد، شش سال بالای شصت درصد، پنج سال بالای پنجاه درصد و تنها یک سال ۰/۴۸ محاسبه شد. با توجه به همبستگی قوی و معنادار بین شاخص‌ها و همچنین مشخص شدن شیب خط معادله‌ی خط برازش داده شده، از اطلاعات فضای ویژگی جهت استخراج اطلاعات بیابان‌زایی استفاده نموده و معادله‌ی شاخص بیابان‌زایی که نتایج آن در جدول (۲) آورده شده، برای هر سال به دست آمد. با داشتن مقدار شاخص‌های TGSi و Albedo نقاط و با استفاده از معادلات جدول (۲)، مقدار بیابان‌زایی برای این نقاط در هر سال محاسبه شد. بر این اساس و با توجه به اینکه شاخص درجات بیابان‌زایی در جهت عمود بر خط برازش داده شده می‌باشد. با اعمال روش طبقه‌بندی شکست طبیعی معادله‌ی درجات بیابان‌زایی برای سال‌های مختلف طبق جدول (۳) تعریف شد و نقاط شکست بین طبقات مختلف و حدود بالا و پایین آن به دست آمد.

تولید سری‌های زمانی درجات بیابان‌زایی

طبقه‌بندی شکست طبیعی در نرم‌افزار ArcGIS، بر روی مقادیر DDI محاسبه شده در هر سال اعمال شد و به این ترتیب ۵ درجه‌ی بیابان‌زایی شدید، بیابان‌زایی بالا، بیابان‌زایی متوسط، بیابان‌زایی کم و بدون بیابان‌زایی و همچنین مقادیر حدی بالا و



شکل ۴- نمودار سری‌های زمانی شاخص DDI سال‌های ۱۹۹۹-۲۰۱۹



جدول ۲- حدود شکست بالا و پایین طبقات بیابان‌زایی سال‌های ۲۰۱۹-۱۹۹۹

سال	بیابان‌زایی شدید	بیابان‌زایی زیاد	بیابان‌زایی متوسط	بیابان‌زایی کم	بدون بیابان‌زایی
۱۹۹۹	-۰/۵۲۶ - -۰/۴۴۰	-۰/۴۳۹ - -۰/۳۹۴	-۰/۳۹۳ - -۰/۳۴۳	-۰/۳۴۲ - -۰/۲۵۸	-۰/۲۵۷ - -۰/۱۵
۲۰۰۰	-۰/۵۵۱ - -۰/۴۷۵	-۰/۴۷۴ - -۰/۴۲۳	-۰/۴۲۲ - -۰/۳۵۶	-۰/۳۵۵ - -۰/۲۲۲	-۰/۲۲۱ - -۰/۱۰۶۵
۲۰۰۱	-۰/۶۱۲ - -۰/۵۱۳	-۰/۵۱۲ - -۰/۴۵۴	-۰/۴۵۳ - -۰/۳۸۴	-۰/۳۸۳ - -۰/۲۳۹	-۰/۲۳۸ - -۰/۱۰۶۳
۲۰۰۲	-۰/۵۴۷ - -۰/۴۳۴	-۰/۴۳۳ - -۰/۴۰۴	-۰/۴۰۳ - -۰/۳۳۸	-۰/۳۳۷ - -۰/۲۱۴	-۰/۲۱۳ - -۰/۱۰۳۴
۲۰۰۳	-۰/۶۲۱ - -۰/۵۴۲	-۰/۵۴۱ - -۰/۴۸۹	-۰/۴۸۸ - -۰/۴۱۹	-۰/۴۱۸ - -۰/۲۵۱	-۰/۲۵۰ - -۰/۱۷۰
۲۰۰۴	-۰/۵۷۴ - -۰/۴۹۸	-۰/۴۹۷ - -۰/۴۴۵	-۰/۴۴۴ - -۰/۳۷۲	-۰/۳۷۱ - -۰/۲۶۶	-۰/۲۶۵ - -۰/۱۰۰۲
۲۰۰۵	-۰/۵۵۲ - -۰/۴۷۵	-۰/۴۷۴ - -۰/۴۲۴	-۰/۴۲۳ - -۰/۳۶۶	-۰/۳۶۵ - -۰/۲۷۲	-۰/۲۷۱ - -۰/۱۰۸۱
۲۰۰۶	-۰/۵۸۲ - -۰/۴۹۶	-۰/۴۹۵ - -۰/۴۴۰	-۰/۴۳۹ - -۰/۳۶۸	-۰/۳۶۷ - -۰/۲۳۸	-۰/۲۳۷ - -۰/۱۰۴
۲۰۰۷	-۰/۵۵۳ - -۰/۴۸۳	-۰/۴۸۲ - -۰/۴۲۹	-۰/۴۲۸ - -۰/۳۵۱	-۰/۳۵۰ - -۰/۲۱۲	-۰/۲۱۱ - -۰/۱۰۲۷
۲۰۰۸	-۰/۶۶۸ - -۰/۵۸۸	-۰/۵۸۷ - -۰/۵۴۳	-۰/۵۴۲ - -۰/۴۸۶	-۰/۴۸۵ - -۰/۳۷۵	-۰/۳۷۴ - -۰/۱۷۰
۲۰۰۹	-۰/۵۴۳ - -۰/۴۸۳	-۰/۴۸۲ - -۰/۴۴۱	-۰/۴۴۰ - -۰/۳۸۷	-۰/۳۸۶ - -۰/۲۸۶	-۰/۲۸۵ - -۰/۱۰۶
۲۰۱۰	-۰/۵۶۳ - -۰/۴۹۵	-۰/۴۹۴ - -۰/۴۴۹	-۰/۴۴۸ - -۰/۳۸۶	-۰/۳۸۵ - -۰/۲۷۰	-۰/۲۶۹ - -۰/۱۰۵۱
۲۰۱۱	-۰/۶۲۴ - -۰/۵۱۵	-۰/۵۱۴ - -۰/۴۴۸	-۰/۴۴۷ - -۰/۳۵۶	-۰/۳۵۵ - -۰/۲۰۴	-۰/۲۰۳ - -۰/۱۲۱
۲۰۱۲	-۰/۵۰۱ - -۰/۴۴۲	-۰/۴۴۱ - -۰/۳۹۸	-۰/۳۹۷ - -۰/۳۴۰	-۰/۳۳۹ - -۰/۲۲۴	-۰/۲۲۳ - -۰/۱۰۲۲
۲۰۱۳	-۰/۶۳۵ - -۰/۵۴۲	-۰/۵۴۱ - -۰/۴۷۷	-۰/۴۷۶ - -۰/۳۹۵	-۰/۳۹۴ - -۰/۲۵۷	-۰/۲۵۶ - -۰/۱۰۰۱
۲۰۱۴	-۰/۶۰۶ - -۰/۵۲۳	-۰/۵۲۲ - -۰/۴۶۲	-۰/۴۶۱ - -۰/۳۸۹	-۰/۳۸۸ - -۰/۲۴۵	-۰/۲۴۴ - -۰/۱۰۲۱
۲۰۱۵	-۰/۶۴۰ - -۰/۵۶۵	-۰/۵۶۴ - -۰/۵۰۶	-۰/۵۰۵ - -۰/۴۲۱	-۰/۴۲۰ - -۰/۲۸۷	-۰/۲۸۶ - -۰/۱۰۰۷
۲۰۱۶	-۰/۵۴۰ - -۰/۴۵۸	-۰/۴۵۷ - -۰/۴۱۴	-۰/۴۱۳ - -۰/۳۵۳	-۰/۳۵۲ - -۰/۲۷۴	-۰/۲۷۳ - -۰/۱۰۳۴
۲۰۱۷	-۰/۶۲۲ - -۰/۵۲۵	-۰/۵۲۴ - -۰/۴۶۴	-۰/۴۶۳ - -۰/۳۷۸	-۰/۳۷۶ - -۰/۲۱۷	-۰/۲۱۶ - -۰/۱۰۳۵
۲۰۱۸	-۰/۶۰۶ - -۰/۵۱۱	-۰/۵۱۰ - -۰/۴۵۲	-۰/۴۵۱ - -۰/۳۷۵	-۰/۳۷۴ - -۰/۲۶۳	-۰/۲۶۲ - -۰/۱۰۴۹
۲۰۱۹	-۰/۶۱۰ - -۰/۴۵۰	-۰/۴۴۹ - -۰/۴۳۵	-۰/۴۳۴ - -۰/۳۴۸	-۰/۳۴۷ - -۰/۱۹۲	-۰/۱۹۱ - -۰/۱۰۳۱

جدول ۳- سری‌های زمانی درجات مختلف بیابان‌زایی

سال	بیابان‌زایی شدید	بیابان‌زایی زیاد	بیابان‌زایی متوسط	بیابان‌زایی کم	بدون بیابان‌زایی
۱۹۹۹	-۰/۴۸۳	-۰/۴۱۷	-۰/۳۶۸	-۰/۳	-۰/۱۳۷
۲۰۰۰	-۰/۵۱۳	-۰/۴۴۹	-۰/۳۸۹	-۰/۲۸۹	-۰/۱۰۷۸
۲۰۰۱	-۰/۵۶۲	-۰/۴۸۳	-۰/۴۱۹	-۰/۳۱۲	-۰/۱۵۱
۲۰۰۲	-۰/۴۹۱	-۰/۴۱۸	-۰/۳۷	-۰/۲۷۶	-۰/۰۹
۲۰۰۳	-۰/۵۸۲	-۰/۵۱۵	-۰/۴۵۴	-۰/۳۳۴	-۰/۰۴
۲۰۰۴	-۰/۵۳۶	-۰/۴۷۱	-۰/۴۰۸	-۰/۳۱۹	-۰/۱۳۴
۲۰۰۵	-۰/۵۱۴	-۰/۴۴۹	-۰/۳۹۵	-۰/۳۱۹	-۰/۰۹۵
۲۰۰۶	-۰/۵۳۹	-۰/۴۶۸	-۰/۴۰۴	-۰/۳۰۲	-۰/۱۷
۲۰۰۷	-۰/۵۱۸	-۰/۴۵۵	-۰/۳۹	-۰/۲۸۱	-۰/۰۹۲
۲۰۰۸	-۰/۶۲۸	-۰/۵۶۵	-۰/۵۱۴	-۰/۴۳	-۰/۲۷۲
۲۰۰۹	-۰/۵۱۳	-۰/۴۶۱	-۰/۴۱۳	-۰/۳۳۶	-۰/۱۹۶
۲۰۱۰	-۰/۵۲۹	-۰/۴۷۲	-۰/۴۱۷	-۰/۳۲۸	-۰/۱۶
۲۰۱۱	-۰/۵۷	-۰/۴۸۱	-۰/۴۰۲	-۰/۲۸	-۰/۰۴۲
۲۰۱۲	-۰/۴۷۱	-۰/۴۱۹	-۰/۳۶۸	-۰/۲۸۲	-۰/۱۲۳
۲۰۱۳	-۰/۵۸۹	-۰/۵۰۹	-۰/۴۳۶	-۰/۳۲۶	-۰/۱۲۹
۲۰۱۴	-۰/۵۶۲	-۰/۴۹۲	-۰/۴۲۵	-۰/۳۱۷	-۰/۱۳۳
۲۰۱۵	-۰/۶۰۳	-۰/۵۳۵	-۰/۴۶۳	-۰/۳۵۴	-۰/۱۴۷
۲۰۱۶	-۰/۴۹۹	-۰/۴۳۶	-۰/۳۸۳	-۰/۳۱۳	-۰/۰۷
۲۰۱۷	-۰/۵۷۳	-۰/۴۹۴	-۰/۴۲۱	-۰/۲۹۷	-۰/۰۹۱
۲۰۱۸	-۰/۵۶	-۰/۴۸۱	-۰/۴۱۳	-۰/۳۱۹	-۰/۱۵۶
۲۰۱۹	-۰/۵۳	-۰/۴۴۲	-۰/۳۹۱	-۰/۲۷	-۰/۰۸
میانگین	-۰/۵۴۱	-۰/۴۷۲	-۰/۴۱۲	-۰/۳۱۴	-۰/۱۲۳
حدود طبقات	-۰/۵۴۱ - -۰/۴۷۲	-۰/۴۷۱ - -۰/۴۱۲	-۰/۴۱۱ - -۰/۳۱۴	-۰/۳۱۳ - -۰/۱۲۳	-۰/۱۲۲ - -۰/۰۴

نشان داد، در سطح معناداری ۵٪، تنها طبقه‌ی بیابان‌زایی زیاد دارای روند معنادار بوده و بقیه‌ی طبقات، روند معناداری از خود

نتایج آنالیز روند
نتایج آنالیز روند من کندال فصلی برای طبقات مختلف بیابان‌زایی

بیابان‌زایی از روند معناداری برخوردار نبودند. نتایج در سطح ۵٪ و ۱۰٪ در جدول (۵) آورده شده است.

نشان ندادند. اما در سطح ۱۰٪ طبقات بیابان‌زایی شدید و بالا دارای روند معنادار بودند و طبقات بیابان‌زایی متوسط، کم و بدون

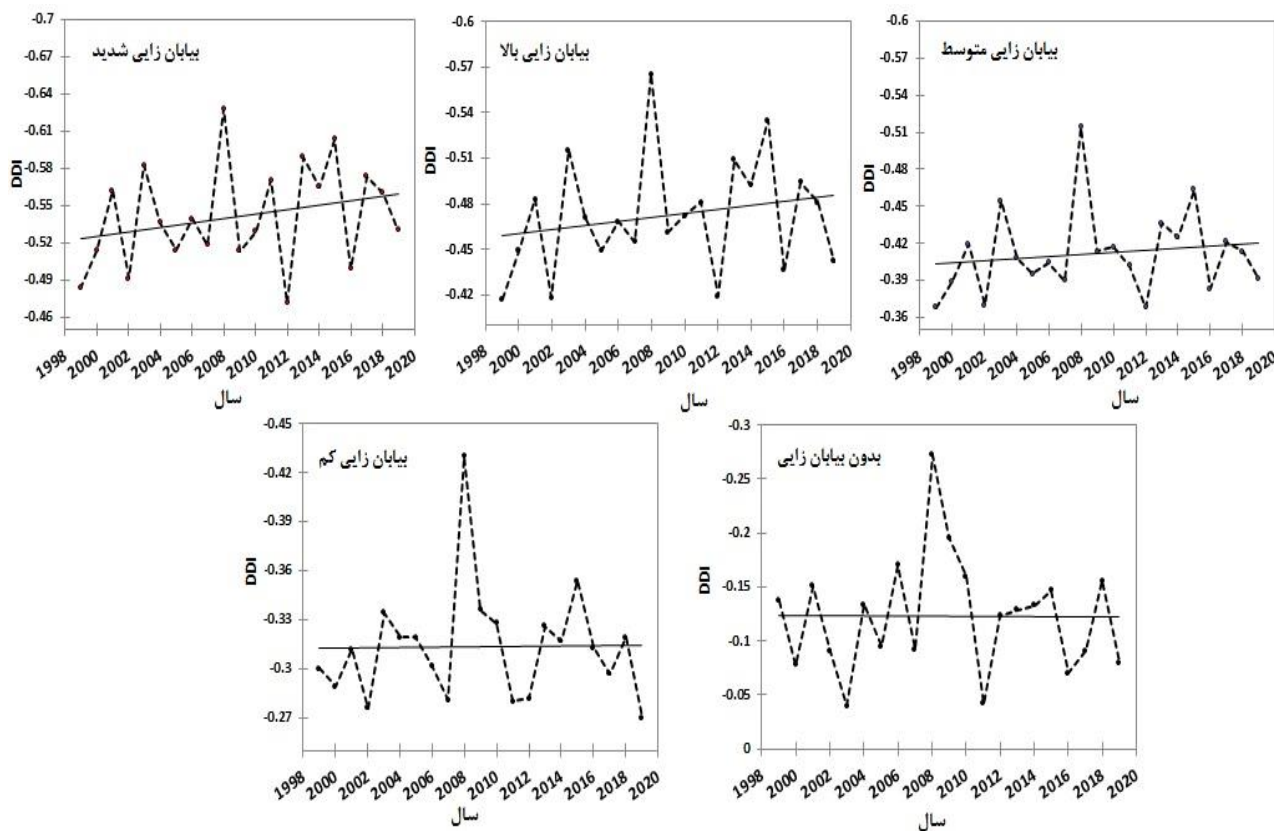
جدول ۵- نتایج آنالیز روند من‌کنندال فصلی طبقات بیابان‌زایی

سطح ۱۰ درصد					سطح ۵ درصد					شاخص درجات بیابان‌زایی
Sen's slope	alpha	p-value	S'	Kendall's tau	Sen's slope	alpha	p-value	S'	Kendall's tau	
-۰/۰۰۷	۰/۱	۰/۰۹*	-۲۸	-۰/۳۱۱	-۰/۰۰۷	۰/۰۵	۰/۰۹	-۲۸	-۰/۳۱۱	بیابان‌زایی شدید
-۰/۰۰۵	۰/۱	۰/۰۵۰*	-۳۲	-۰/۳۵۶	-۰/۰۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵*	-۳۲	-۰/۳۵۶	بیابان‌زایی زیاد
-۰/۰۰۴	۰/۱	۰/۱۵	-۲۴	-۰/۲۶۷	-۰/۰۰۴	۰/۰۵	۰/۱۵	-۲۴	-۰/۲۶۷	بیابان‌زایی متوسط
-۰/۰۰۳	۰/۱	۰/۴	-۱۵	-۰/۱۶۸	-۰/۰۰۳	۰/۰۵	۰/۳۸	-۱۵	-۰/۱۶۸	بیابان‌زایی کم
-۰/۰۰۳	۰/۱	۱	۰	۰	-۰/۰۰۳	۰/۰۵	۱	۰	۰	بدون بیابان‌زایی

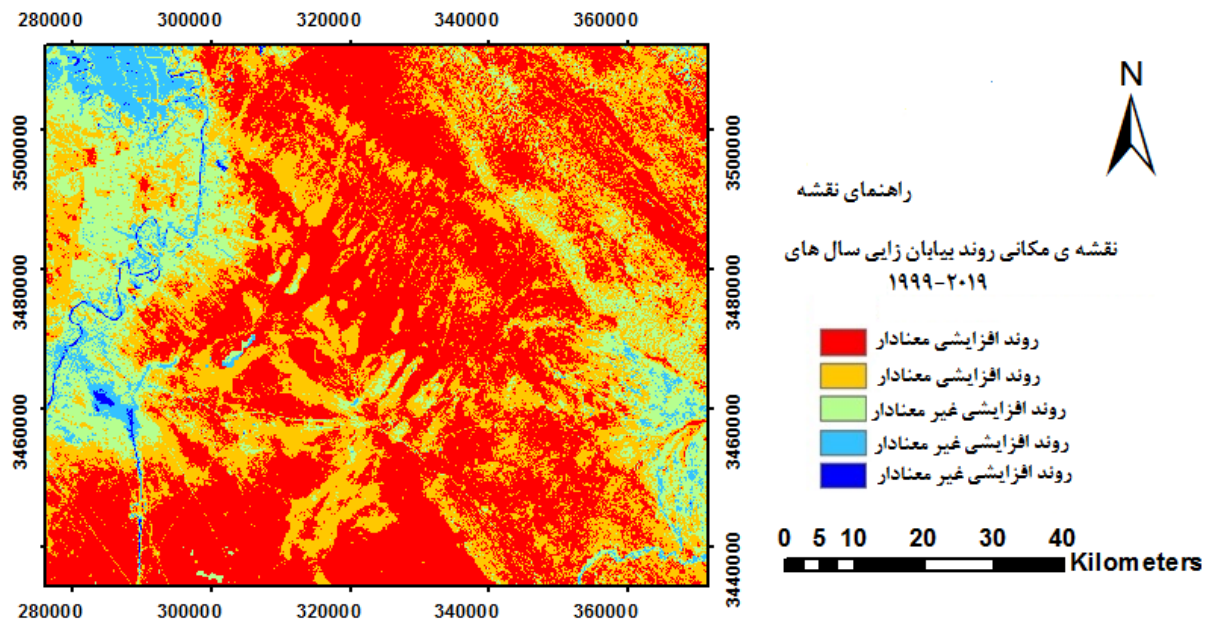
طبقات در هیچ‌کدام از سطوح معناداری هیچ‌گونه روندی از خود نشان ندادند. نتایج نشان داد که روند بیابان‌زایی شدید و زیاد، در طول سال‌های ۱۹۹۹-۲۰۱۹ افزایشی بود. شکل (۶) روند را در هریک از طبقات نشان می‌دهد.

همچنین توزیع مکانی میانگین تغییرات روند شاخص بیابان‌زایی در طبقات مختلف در شکل (۷) آورده شده است.

همانطور که در جدول (۵) مشاهده می‌شود طبقه‌ی بیابان‌زایی شدید با مقدار p-value برابر ۰/۰۹ در سطح معناداری ۱۰٪ معنادار بود ولی در سطح معناداری ۵٪، روند معناداری از خود نشان نداد. بنابراین فرض صفر تنها در سطح ۵٪ رد می‌شود. در حالی که طبقه‌ی بیابان‌زایی بالا یا زیاد با مقدار p-value برابر ۰/۰۵۰ در هر دو سطح دارای روندی معنادار بود و فرض صفر که بیانگر عدم وجود روند است، در هر دو سطح رد گردید. بقیه‌ی



شکل ۶- روند درجات مختلف بیابان‌زایی طی سال‌های ۱۹۹۹-۲۰۱۹



شکل ۵- توزیع مکانی میانگین تغییرات روند شاخص بیابان‌زایی سال‌های ۱۹۹۹-۲۰۱۹

جدول ۶- مساحت مربوط روند هر کدام از طبقات بیابان‌زایی

طبقات	مساحت km ²	مساحت %
بیابان‌زایی شدید	۳۷۱۸/۶	% ۴۸/۷
بیابان‌زایی زیاد	۲۴۵۷	% ۳۲/۲
بیابان‌زایی متوسط	۱۱۱۶/۳	% ۱۴/۶
بیابان‌زایی کم	۳۱۸/۲	% ۴/۲
بدون بیابان‌زایی	۲۴/۶	% ۰/۳
کل	۷۶۳۴/۷	% ۱۰۰

بیابانی با پوشش بسیار کم به کار رفته است. چنانچه در پژوهشی که توسط Wei *et al.* (2018) که با هدف با تشخیص شاخص‌های مناسب برای ارزیابی بیابان‌زایی، در شمال غرب کشور مغولستان که عمدتاً منطقه‌ای عاری از پوشش گیاهی است، انجام می‌شود، این شاخص با مقدار همبستگی ۰/۷۲ با شاخص Albedo به عنوان شاخص مناسبی جهت ارزیابی بیابان‌زایی در این مناطق معرفی می‌شود. همچنین کارایی این شاخص، در تحقیق دیگری در سال ۲۰۲۰، جهت ارزیابی بیابان‌زایی در مناطق اطراف راه آهن چین مغولستان در بخشی با پوشش گیاهی بسیار ضعیف، با به دست آمدن همبستگی برابر ۰/۷۲ با شاخص آلبدو مورد تأیید قرار می‌گیرد. لذا از این دو شاخص استفاده شد و شاخص بیابان‌زایی DDI جهت بررسی روند بیابان‌زایی در سال‌های مورد نظر استخراج گردید. آنالیز روند انجام شده بر روی سری‌های زمانی نشان داد ۸۰ درصد منطقه دارای روند بیابان‌زایی شدید و زیاد بودند. تحقیق مشابهی که توسط Guan *et al.* (2017) جهت ارزیابی بیابان‌زایی جهانی با استخراج شاخص DDI، از فضای ویژگی شاخص‌های شاخص‌های NDVI و Albedo و پایش مقادیر

طبق نقشه‌ی حاصل شده شکل (۷) و جدول (۶) نزدیک ۸۱ درصد منطقه در طبقات بیابان‌زایی شدید و زیاد با روند افزایشی بیابان‌زایی معنادار قرار گرفت و بزرگی این تغییرات بر اساس شیب سن محاسبه شده (جدول ۵) برای طبقه‌ی بیابان‌زایی شدید برابر ۰/۰۷-، و برای طبقه‌ی بیابان‌زایی بالا برابر ۰/۰۵- بود. ۱۹٪ منطقه که در طبقات بیابان‌زایی متوسط، کم و بدون بیابان‌زایی قرار گرفت که روند معناداری از نظر بیابان‌زایی نداشت.

بحث

پژوهش حاضر به ارزیابی روند بیابان‌زایی با استفاده از سری‌های زمانی تولید شده از شاخص‌های سنجش از دور پرداخت و جهت تولید سری‌های زمانی از شاخص TGSi استفاده شد. بالا بودن معناداری همبستگی بین شاخص‌های اندازه‌ی ذرات خاک و میزان آلبدو در تمامی سال‌ها نشان داد که شاخص مزبور، می‌تواند به عنوان معیاری جهت ارزیابی و پایش بیابان‌زایی مناطق با پوشش گیاهی بسیار کم به کار رود. این شاخص در پژوهش‌های سال‌های اخیر به جای شاخص‌های مرتبط با پوشش گیاهی در مناطق

سالیان طولانی که در تحقیق حاضر ۲۱ سال بود منجر به افزایش بیابان‌زایی در حدود ۸۱٪ منطقه شد که مطمئناً نتایج ناگواری از لحاظ منابع و خاک داشته است.

نتیجه‌گیری

از بیش از یک دهه پیش، تشدید تغییرات آب و هوایی و خشکسالی‌ها از یک سو و توسعه طرح‌های عمرانی و برداشت بی‌رویه از منابع آب از سوی دیگر، بسیاری از تالاب‌ها و نواحی مرطوب موجود رو به خشکی نهاد و بیابان‌های کوچکی را ایجاد کرد که این بیابان‌ها منشا طوفان‌های گرد و غبار سال‌های اخیر در استان خوزستان بوده است (Heidarian *et al.*, 2015). بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی روند بیابان‌زایی در منطقه‌ی مورد مطالعه، طی دوره‌ی زمانی مورد نظر، با استفاده از شاخص‌های مورد نظر پرداخت. روش کار مبتنی بر استفاده از مدل خطی شاخص‌های آلبدو و TGSi بود که با تعریف معادله بیابان‌زایی و تعیین مقادیر آن در هر سال و سپس طبقه‌بندی آن به ۵ درجه به روش طبقه‌بندی شکست طبیعی و تهیه‌ی سری‌های زمانی، روند بیابان‌زایی در هر طبقه با آنالیز من کندال مورد بررسی قرار گرفت. همچنین در این راستا کارآیی شاخص‌های استفاده شده، ارزیابی گردید. بررسی همبستگی این دو شاخص طی ۲۱ سال مورد مطالعه، حاکی از وجود همبستگی قوی و معنادار بین آن‌ها بود که سودمندی شاخص‌های مزبور را جهت کاربرد در مطالعات بیابان‌زایی نشان می‌دهد. در نهایت نقشه‌ی توزیع مکانی روند بیابان‌زایی تهیه شد. این نقشه نشان داد که کاربری‌های عمده‌ی موجود در منطقه اراضی فاریاب خارج از محدوده‌ی رودخانه‌ی کارون و همچنین مراتع با پوشش فقیر و متوسط دارای روند بیابان‌زایی معنادار هستند که حاکی از تاثیر عوامل بیابان‌زایی در منطقه است. بنابراین جهت آنالیز روند بیابان‌زایی، می‌توان از سری‌های زمانی شاخص بیابان‌زایی که براساس شاخص‌های سنجش از دوری اندازه‌ی ذرات سطحی خاک و آلبدو به دست آورده می‌شوند، استفاده کرد. همچنین با توجه به نتایج همبستگی به دست آمده، می‌توان با اطمینان بالایی از شاخص اندازه‌ی ذرات خاک سطحی جهت ارزیابی بیابان‌زایی بهره برد. همچنین با توجه به اینکه شاخص TGSi جهت مناطق فاقد پوشش گیاهی یا دارای پوشش بسیار کم کاربرد دارد، پیشنهاد می‌شود برای تعیین روند بیابان‌زایی و تخریب زمین در مناطقی با پوشش گیاهی متراکم و نیمه‌متراکم، از شاخص‌های مربوط به پوشش گیاهی استفاده شود.

"هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد"

آن در سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۰۲ انجام می‌شود. آنالیز روند انجام شده بر روی شاخص بیابان‌زایی سال‌های مختلف بر اساس برآزش حداقل مربعات نشان می‌دهد، روند بیابان‌زایی جهانی روندی افزایشی داشته است. همچنین Wang *et al.* (2017) در قسمت غربی شمال شرق چین، بیابان‌زایی بادی را با استفاده از شاخص بیابان‌زایی بادی ADI^۱ محاسبه شده از شاخص VCI^۲، برای سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۰۰ پایش نمودند. ابتدا ADI به ۵ طبقه‌ی بدون بیابان‌زایی بادی، بیابان‌زایی بادی خفیف، بیابان‌زایی بادی متوسط، بیابان‌زایی بادی شدید و بیابان‌زایی بادی خیلی شدید تقسیم مس‌شود. روند زمانی با استفاده از خط برآزش شده در طبقات مختلف به دست آمده و روند مکانی طبقات نیز بر اساس آزمون من کندال و شیب سن محاسبه شده به دست می‌آید و مشخص می‌شود ۷۸٪ منطقه دچار روند معنادار افزایشی بیابان‌زایی بادی است. آزمون من کندال به طور موفقیت آمیزی در تحقیق Rajbanshi and Das (2021) جهت مشخص کردن بیابان‌زایی در طول زمان استفاده می‌شود و مشخص می‌شود در چه سال‌هایی بیابان‌زایی تغییر داشته است. پژوهش‌های مذکور به همراه نتایج پژوهش حاضر، نشان می‌دهند تکنیک‌های به کار رفته، دارای قابلیت مناسبی جهت ارزیابی روند بیابان‌زایی می‌باشند.

آنالیز من کندال طبقات مختلف بیابان‌زایی نشان داد، بیابان‌زایی شدید و زیاد دارای روندی معنادار می‌باشند و این طبقات نزدیک ۸۱٪ مساحت منطقه‌ی مطالعاتی را پوشش می‌دهند (شکل ۷)، به طوری که دو کانون گرد و غبار که در شرق و جنوب شرق اهواز قرار گرفته‌اند در این طبقات قرار دارند. بدین ترتیب می‌توان گفت تاثیر مجموعه عوامل اقلیمی و انسانی در منطقه، طی ۲۱ سال منجر به افزایش بیابان‌زایی به طور نگران کننده‌ی شده است و بروز طوفان‌های گرد و غبار سالیان اخیر در خوزستان موید این امر است. ۲۰٪ باقی مانده‌ی منطقه هرچند روند معناداری نداشتند ولی باید توجه کرد این مناطق منابع رطوبتی شامل رودخانه کارون، اراضی کشاورزی فاریاب و مزارع پرورش ماهی می‌باشند و همواره در طی سالیان متفاوت مرطوب بوده‌اند، لذا عدم وجود روند معنادار بیابان‌زایی در این مناطق، دور از انتظار نبود. همچنین بر اساس جدول ۵، شیب سن محاسبه شده، مقدار تغییرات بیابان‌زایی برای طبقات بیابان‌زایی شدید و زیاد با روند افزایشی معنادار، به ترتیب برابر ۰/۰۷- و ۰/۰۵- بود. هر چند این مقدار کم به نظر می‌رسد ولی باید توجه داشت که بیابان‌زایی امری کند و بطئی بوده و لذا مقدار کم تغییرات طی



REFERENCES

- Alijani, B., Mahmoudi, P. and Doust, M. K. (2015). Statistical Analysis of Climatic Histories of Desertification in Iran, *Geographic Space*, 15 (51). 1-18. (In Farsi).
- Bagherpoor, M., Seyedian, S. M., Fathabadi, A. H. and Mohamadi, A. (2017). Study of Mann-Kendall Test Performance in Detecting the Series of Autocorrelation. *Iran-Watershed Management Science & Engineering*, 11 (36). 11-21. (In Farsi).
- Bernstein, L. S., Jin, X., Gregor, B. and Adler-Golden, S. M. (2011). Quick atmospheric correction code: algorithm description and recent upgrades. *Optical Engineering*, 51(11), 111719-1-111719-11.
- Guan, Y., He, B., Li, X., Yin, C. and Qiu, S. (2017). Desertification assessment and trend analysis using modis data. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Fort Worth, TX, USA, 5739-5742.
- Heidarian, P., Joudaki, M., Darvishi Khatoni, J., & Shahbazi, R. (2015). Recognized Dust Sources in Khuzestan Province: Ministry of Industry, Mine and Trade Geological Survey of Iran South West Regional Center.
- Helsel, D. R. and Frans, L. M. (2006). Regional Kendall Test for Trend. *Environmental Science and Technology*, 40 (13), 4066-4073.
- Hirsch, R. M. and Slack, J. R. (1984). A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence. *Water Resources Research* 20 (6), 727-732.
- <https://earthexplorer.usgs.gov>
- <https://www.harrisgeospatial.com/Software-Technology/ENVI.5.3>
- <https://www.unccd.int/actions/united-nations-decade-deserts-2010-2020-and-fight-against-desertification>
- <https://yceo.yale.edu/how-fill-gaps-landsat-etm-image>.
- <https://www.xlstat.com/en/> (2016).
- Khodaei Gheshlagh, F., Roostaei, S. and Mokhtari, D. (2020). Monitoring the Desertification Trend in the Areas Surrounding Lake Urmia (2000-2018). *Geography and Environmental Planning*, 31 (3), 21-40. (In Farsi).
- Lamchin, M., Lee, J. Y., Lee, W. K., Lee, E. J., kim, M., Lim, C. H., Choi, H. A. and 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.
- Lamchin, M., Lee, W. K., Jeon, S. W., Lee, J. Y., Song, C., Piao, D., Lim, C.H., Khaulenbek, A. and Navaandorj, I. (2017). Correlation between Desertification and Environmental Variables Using Remote Sensing Techniques in Hognu Khaan, Mongolia. *sustainability*, 9(4), 581.
- Lamqadem, A. A., Saber, H. and Pradhan, B. (2018). Quantitative Assessment of Desertification in an Arid Oasis Using Remote Sensing Data and Spectral Index Techniques. *Remote Sensing*, 10 (12), 1-18.
- Lanfredi, M., Lasaponara, R., Simoniello, T., Cuomo, V., and Macchiato. M. (2003). Multiresolution spatial characterization of land degradation phenomena in southern Italy from 1985 to 1999 using NOAA-AVHRR NDVI data. *Geophysical Research Letters*, 30 (2), 1069.
- Lanfredi, M., Coppola, R., Simoniello, T., Coluzzi, R., D'Emilio, M., Imbrenda, V. and Macchiato, M. (2016). Early Identification of Land Degradation Hotspots in Complex Bio-Geographic Regions. *Remote Sensing*, 7(6), 8154-8179.
- Leu, J. (1977). Visible and near-infrared reflectance of beach sands: a study on the spectral reflectance/grain size relationship. *Remote Sensing of Environment*, 6 (3), 169-182.
- Liang, S. (2001). Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I Algorithms. *Remote Sensing of Environment*, 76(2), 213-238.
- Ma, Z., Xie, Y., Jiao, J., li, L. and Wang, X. (2011). The Construction and Application of an Aledo-NDVI Based Desertification Monitoring Model. *Procedia Environmental Sciences*, 10, 2029-2035.
- Manjur Gebu, K., Lee, W. K., Khamzina, A., Wang, S. W., Cha, S., Song, c. and Lamchin, M. (2021). Spatiotemporal multi-index analysis of desertification in dry Afromontane forests of northern Ethiopia. *Environment, Development and Sustainability*, 3 (21), 23-50
- Maroofnezhad, A. and Ghasemi, Sh. (2017). Analysis of changes Using the method of Mann-Kendall (Case Study of Four townships of Chaharmahal and Bakhtiari Province). *Quarterly Journal of Environmental Based Territorial Planning*. 10 (37). 149-166. (In Farsi).
- Paisley, E., Lancaster, N., R.Gaddis, L. and Greeley, R. (1991). Discrimination of active and inactive sand from remote sensing: Kelso dunes, Mojave desert, California. *Remote Sensing of Environment*, 37(3), 153-166.
- Pan, J. and 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.
- Rajbanshi, J. and Das, S. (2021). Monitoring land sensitivity to desertification using the ESAI approach and evaluation of the key indicators: A spatio-temporal study in India. *Land Degradation and Development*, 32 (10), 3045-3061.
- Soheili, E., Malekinezhad, H. and Ekhtesasi, M. R. (2017). Analysis of the trend of meteorological and hydrological droughts in semi-arid regions of Iran (Case study: Doroodzan Dam basin). *Desert Management*, 9, 31-45. (In Farsi).
- Tomasella, J., Silva Pinto Veirab, R., Barbosa, A, A., Rodriguez, D, A., de Oliveira Santana, M. and Sestini, M. F. (2018). Desertification trends in the Northeast of Brazil over the period 2000-2016. *International Journal of Applied Earth*

- Observation*, 73, 197-206.
- United State Geological Survey, <https://earthexplorer.usgs.gov/>. (Available on January 2020).
- Verbesselt, J., Hyndman, R., Newnham, G. and Culvenor, D. (2010). Detecting trend and seasonal changes in satellite image time series. *Remote Sensing of Environment*, 114 (1), 106-115.
- Verstraete, M. M. and pinty, B. (1996). Designing Optimal Spectral Indexes for Remote Sensing Applications. *Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 34 (5), 1254-1265.
- Wang, Y., Zhang, J., Tong, S. and 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, 289-298.
- Wei, H., Wang, J., Cheng, K., Li, G., Ochir, A., Davaasuren, D. and Chonokhuu, S. (2018). Desertification Information Extraction Based on Feature Space Combinations on the Mongolian Plateau. *remote sensing*, 10 (10), 1614.
- Wei, H., Wang, J. and Han, B. (2020). Desertification Information Extraction Along the China–Mongolia Railway Supported by Multisource Feature Space and Geographical Zoning Modeling. *Feature Space and Geographical Zoning Modeling. Selected Topic in Applied Earth Observation and Remote Sensing*, 13, 392- 402.
- Williams, A. T., Wiltshire, R. J. and Thomas, M. C. (1998). Sand grain analysis: image processing, textural algorithms and neural nets. *Computers and Geosciences*, 24 (2), 111–118.
- 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.
- Zhang, Y., Cabilio, P. and Nadeem, K. (2016) Improved Seasonal Mann–Kendall Tests for Trend Analysis in Water Resources Time Series: *Advances in Time Series Methods and Applications*. (pp. 215-229). New York: Springer.