



Spectral Trend Analysis Of The Development of Sand Dunes in Ashkzar Area of Yazd Using Spectral Index and Combining the Above Indices in the Form of ASI Index in the Period of 2013, 2018 and 2023

Mehdi Feyzolahpour^{1*}

1) Associate Professor, Department of Geography, University of Zanjan, Zanjan, Iran

*Corresponding author emails: feyzolahpour@znu.ac.ir

Abstract:

Background and Aim: Sand dunes are one of the natural effects in the western region of Yazd and Ashkzar region, which threaten settlements and farms, so the purpose of this research is to investigate the changes and identify sand dunes using spectral indicators in this region. In this research, 6 spectral indices CI, GSI, NDSI, BSI, NDSDI and NDSLII were used to evaluate the expansion of sand dunes and their changes in the period from 2013 to 2023. From the combination of these indices and taking average of them, the ASI index was introduced.

Method: In this research, the extent and intensity of the expansion of sand dunes in Ashkzar region using 6 spectral indices, crust index (CI), Grain size index (GSI), barren soil index (BSI), normalized difference of sand dunes index (NDSDI), normalized difference sand index (NDSI) and normalized difference soil index (NDSLII) were evaluated. Then, the Aggregate Sandification Index (ASI) was estimated by aggregating and averaging these indices. Sandy landscapes were classified into four groups of active, semi-active, semi-fixed and fixed dunes using the Jenks method.

Results: The results show that according to the ASI index, about 73.8 square kilometers of Ashkazar region were occupied by sand dunes, which is 48.2% of the entire region. From 2013 to 2023, the extent of these dunes has decreased by 4.8% and the extent of semi-active sand dunes has increased by 2.4%. The studied area was classified into 4 groups of active, semi-active, semi-fixed and fixed sand dunes using 6 spectral indices. Similarities were observed among spectral indices in terms of extent and speed of movement. On the other hand, spatial and temporal patterns are very evident among the layers of sandy landscapes. The implication of these patterns is that semi-arid regions are very sensitive to climatic and human factors over a long period of time. Active and semi-active sandy areas have continuously changed during the studied period and stabilized in some areas. This process has made water areas and rainfed agricultural lands in danger. Based on the correlation index, it was observed that the ASI index had the highest correlation with the NDSI, GSI and CI indices, in which the NDSI index and GSI had the highest correlation with values of 0.98 and 0.96. Finally, Kappa coefficient was used to verify the validity and capability of each index. But the Kappa coefficient was calculated for the year 2023. Based on this, it can be seen that the ASI index has the highest kappa coefficient of 0.95 and the NDSI index is in second place with a kappa coefficient of 0.93. The lowest Kappa coefficient of 0.62 belonged to the NDSDI index. After that, the NDSLII index is in second place with a kappa coefficient of 0.67. Kappa coefficient values were estimated based on confusion matrix in Arc GIS software. The findings of this research show the need for coordinated efforts to control sand desertification in the Ashkazar region of Yazd. The rational exploitation of the sand resources of this region and the development of sand-related industries is an important way to reverse the development process of the desert, and with the development of economic infrastructure, it increases the income of farmers and ranchers. The development of quicksand can be controlled to some extent through measures such as artificial afforestation, selection of drought-resistant plants, quicksand stabilization, fencing and soil protection.

Conclusion: The results show that according to the ASI index, about 73.8 square kilometers of Ashkazar region were occupied by sand dunes, which is 48.2% of the entire region. From 2013 to 2023, the extent of these dunes has decreased by 4.8% and the extent of semi-active sand dunes has increased by 2.4%. Based on the correlation index, it was observed that the ASI index had the highest correlation with the NDSI, GSI and CI indices, in which the NDSI index and GSI had the highest correlation with values of 0.98 and 0.96. Finally, based on the Kappa coefficient, it was observed that the ASI and NDSI index with values of 0.95 and 0.93 had the highest degree of accuracy. The lowest Kappa coefficient of 0.62 belonged to the NDSDI index. After that, the NDSLII index is in second place with a kappa coefficient of 0.67. Kappa coefficient values were estimated based on confusion matrix in Arc GIS software. The findings of this research show the need for coordinated efforts to control sand desertification in the Ashkazar region of Yazd. The rational exploitation of the sand resources of this region and the development of industries related to sand is an important way to reverse the development of the desert, and with the development of economic infrastructure, it increases the income of farmers and ranchers. Through measures such as artificial afforestation, selection of drought-resistant plants, quicksand stabilization, fencing and soil protection, the development of quicksand can be controlled to some extent. Also, the results showed that vegetation, pastures, irrigated lands, rainfed agricultural lands, settlements and infrastructures are at high risk of desertification.

Keywords: Desertification, GSI, ASI, sand dunes, Ashkzar



تحلیل طیفی روند گسترش تپه‌های شنی در محدوده اشکذر یزد با استفاده از شاخص‌های طیفی و تجمیع شاخص‌های فوق در قالب شاخص ASI در بازه زمانی ۲۰۱۳، ۲۰۱۸ و ۲۰۲۳

مهدی فیض اله پور^{۱*}

(۱) دانشیار، گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
* ایمیل نویسنده مسئول: feyzolahpour@znu.ac.ir

چکیده:

زمینه و هدف: تپه‌های شنی یکی از عوارض طبیعی در منطقه غرب یزد و منطقه اشکذر می‌باشد که سکونتگاه‌ها و مزارع را تهدید می‌کند لذا هدف از این تحقیق بررسی تغییرات و شناسایی تپه‌های شنی با بهره‌گیری از شاخص‌های طیفی در این منطقه می‌باشد. در این تحقیق برای ارزیابی میزان گسترش تپه‌های شنی و تغییرات آنها در بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۳ از ۶ شاخص طیفی CI، GSI، NDSI، BSI، NDSLI و NDSLI استفاده شده و از ترکیب این شاخص‌ها و میانگین‌گیری از آنها شاخص ASI معرفی گردید.

روش پژوهش: در این تحقیق میزان و شدت گسترش تپه‌های شنی در منطقه اشکذر با بهره‌گیری از ۶ شاخص طیفی، شاخص پوسته (CI)، شاخص اندازه ذرات (GSI)، شاخص خاک بایر (BSI)، شاخص تفاوت نرمال شده تپه‌های شنی (NDSDI)، شاخص تفاوت نرمال شده شن (NDSI) و شاخص تفاوت نرمال شده خاک (NDSLI) ارزیابی شدند. سپس شاخص شنی کل ASI با تجمیع و میانگین‌گیری از این شاخص‌ها برآورد شد. مناظر شنی با استفاده از روش Jenks به چهار گروه تپه‌های شنی فعال، نیمه فعال، نیمه ثابت و ثابت طبقه‌بندی شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان می‌دهد که بر اساس شاخص ASI حدود ۷۳/۸ کیلومتر مربع از منطقه اشکذر در اشغال تپه‌های شنی فعال بوده است که این میزان ۴۸/۲ درصد از کل منطقه را در بر گرفته است. از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۳ وسعت این تپه‌ها حدود ۴/۸ درصد کاسته شده و حدود ۲/۴ درصد به وسعت تپه‌های شنی نیمه فعال افزوده شده است. منطقه مورد مطالعه با استفاده از ۶ شاخص طیفی، به ۴ گروه تپه‌های ماسه‌ای فعال، نیمه فعال، نیمه ثابت و ثابت طبقه‌بندی شد. در بین شاخص‌های طیفی از نظر گستردگی و سرعت حرکت، تشابهاتی مشاهده شد. از سوی دیگر در بین طبقات مناظر شنی، الگوهای مکانی و زمانی بسیار مشهود است. مفهوم این الگوها این است که مناطق نیمه خشک در یک دوره زمانی طولانی مدت نسبت به عوامل اقلیمی و انسانی بسیار حساس هستند. مناطق شنی فعال و نیمه فعال به طور مداوم در طول دوره مورد مطالعه تغییر یافته و در بعضی مناطق تثبیت شده‌اند. این روند مناطق آبی و زمین‌های کشاورزی دیم را با خطر مواجه ساخته است. بر اساس شاخص همبستگی، مشاهده شد که شاخص ASI بیشترین همبستگی را با شاخص‌های NDSI، GSI و CI داشت که در این بین شاخص NDSI و GSI با مقادیر ۰/۹۸ و ۰/۹۶ بیشترین همبستگی را داشتند. در نهایت برای بررسی صحت و قابلیت هر شاخص از ضریب کاپا استفاده شد. اما ضریب کاپا برای سال ۲۰۲۳ محاسبه شد. بر این اساس مشاهده می‌شود که شاخص ASI دارای بالاترین ضریب کاپا ۰/۹۵ و شاخص NDSI با ضریب کاپا ۰/۹۳ در رتبه دوم قرار دارد. کمترین ضریب کاپا با ۰/۶۲ متعلق به شاخص NDSDI بود. پس از آن شاخص NDSLI با ضریب کاپا ۰/۶۷ در رتبه دوم قرار دارد. مقادیر ضریب کاپا بر اساس ماتریس سردرگمی در نرم افزار Arc GIS برآورد شد. یافته‌های این تحقیق ضرورت تلاش هماهنگ برای کنترل بیابان‌زایی شن و ماسه در منطقه اشکذر یزد را نشان می‌دهد. بهره‌برداری منطقی از ذخایر شن و ماسه این منطقه و توسعه صنایع مرتبط با شن و ماسه راه مهمی برای معکوس کردن روند توسعه کویر است و با توسعه زیرساخت‌های اقتصادی باعث افزایش درآمد کشاورزان و دامداران می‌شود. توسعه شن‌های روان را می‌توان تا حدودی از طریق اقداماتی مانند جنگل کاری مصنوعی، انتخاب گیاهان مقاوم به خشکی، تثبیت شن‌های روان، حصارکشی و حفاظت از خاک کنترل کرد.

نتایج: نتایج نشان می‌دهد که بر اساس شاخص ASI حدود ۷۳/۸ کیلومتر مربع از منطقه اشکذر در اشغال تپه‌های شنی فعال بوده است که این میزان ۴۸/۲ درصد از کل منطقه را در بر گرفته است. از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۳ وسعت این تپه‌ها حدود ۴/۸ درصد کاسته شده و حدود ۲/۴ درصد به وسعت تپه‌های شنی نیمه فعال افزوده شده است. بر اساس شاخص همبستگی نیز مشاهده شد که شاخص ASI با شاخص‌های NDSI، GSI و CI از بیشترین همبستگی برخوردار بوده که در آن بین شاخص NDSI و GSI با مقادیر ۰/۹۸ و ۰/۹۶ بیشترین همبستگی را داشته‌اند. در نهایت به منظور صحت‌سنجی و قابلیت هر یک از شاخص‌ها از ضریب کاپا استفاده شد. لیکن ضریب کاپا برای سال ۲۰۲۳ محاسبه گردید. بر این اساس مشاهده می‌شود که شاخص ASI از بیشترین میزان ضریب کاپا به میزان ۰/۹۵ برخوردار بوده و شاخص NDSI با ضریب کاپای ۰/۹۳ در جایگاه دوم قرار دارد. کمترین ضریب کاپا به میزان ۰/۶۲ متعلق به شاخص NDSDI بوده است. پس از آن شاخص NDSLI با ضریب کاپای ۰/۶۷ در جایگاه دوم قرار دارد. مقادیر ضریب کاپا بر اساس ماتریس سردرگمی در نرم افزار Arc GIS برآورد شد. یافته‌های این تحقیق نیاز به تلاش‌های هماهنگ برای کنترل بیابان‌زایی شنی در منطقه اشکذر یزد را نشان می‌دهد. بهره‌برداری منطقی از منابع شنی این منطقه و توسعه صنایع مرتبط با شن راه مهمی برای معکوس ساختن روند توسعه بیابان بوده و با توسعه زیرساخت‌های اقتصادی باعث افزایش درآمد کشاورزان و دامداران می‌گردد. از طریق اقداماتی مانند جنگل کاری مصنوعی، انتخاب گیاهان مقاوم به خشکی، تثبیت شن‌های روان، حصارکشی و حفاظت از خاک تا حدودی می‌توان توسعه شن‌های روان را کنترل کرد. همچنین نتایج نشان داد که پوشش گیاهی، مراتع، اراضی آبی، اراضی کشاورزی دیم، سکونتگاه‌ها و زیرساخت‌ها در معرض خطر بیابان‌زایی هستند.

کلید واژه‌ها: بیابان‌زایی، GSI، ASI، تپه‌های شنی، اشکذر

مقدمه

بیابان زایی ناشی از شن‌های روان، موضوعی جالب توجه در علوم زیستی و زمین‌شناسی است که به طور فزاینده‌ای توجه عموم، محققان، مقامات دولتی و سازمان‌های بین‌المللی را به خود جلب کرده است. این موضوع در حال حاضر یکی از اصلی‌ترین مخاطرات ژئومورفولوژیکی در جهان امروزی است که از دیدگاه زیست محیطی و امنیت غذایی حائز اهمیت است (Wang, 2013). گسترش سریع و مستمر بیابان زایی شنی در ۵۰ سال اخیر مشکلات عمده زیست محیطی و اقتصادی را در اکثر نقاط جهان ایجاد کرده است.

تعریف بیابان زایی شنی طی مراحل مختلف توسط نویسندگان متعددی تکامل یافته است (Zhu et al, 1994; Zhu, 1994; Yang et al, 1986; Dong et al, 1988; Wu, 2003). طبق تعریف یانگ و همکاران (۱۹۸۶) بیابان زایی شنی مجموعه‌ای از فرایندهای ژئومورفولوژیکی و اقلیمی است که در مناطق با رسوبات سطحی شنی به وسیله باد و عوامل دیگر ایجاد شده و به عنوان عاملی پویا عمل می‌کند. در حالی که طبق نظر واند و همکاران (۲۰۰۴)، بیابان زایی شنی به عنوان شکلی از تخریب زمین شناخته می‌شود که عمدتاً ناشی از فعالیت‌های بیش از حد ناپایدار انسانی در مناطق خشک و نیمه خشک بوده است. این پدیده در دهه‌های اخیر در مناطق خشک مستعد جهان از قبیل مرکز و جنوب تونس، چین، عراق، مصر و سایر مناطق جهان شدت یافته است (Ahmady et al, 2017). پیشروی تپه‌های شنی یکی از شدیدترین اثرات بیابان زایی در مناطق خشک و نیمه خشک به شمار می‌آید. این پدیده، زمین‌های کشاورزی، زیرساختها، جنگلها و منابع آبی را تهدید می‌کند. بیابان زایی شنی باعث تخریب منابع زمین، بازیابی کند پوشش گیاهی و کاهش بهره‌وری اکوسیستم می‌شود (Wang et al, 2010). تپه‌های ماسه‌ای در تمامی قاره‌ها و در تمام مناطق آب و هوایی جهان یافت شده و تقریباً ۲۰ درصد از مناطق خشک و نیمه خشک جهان را پوشش می‌دهند. حدود ۹۹ درصد از این بیابان‌ها به دلیل عوامل مختلفی مانند جهت باد، اندازه ذرات و پوشش گیاهی به اشکال مختلف ظاهر می‌شوند. این مناطق به علت باروری کم، ظرفیت نگهداری کم آب و ساختار ضعیف آنها، در امر رشد پوشش گیاهی ضعیف عمل می‌کنند. فرسایش بادی باعث گسترش بیابان زایی می‌گردد. بیابان زایی معمولاً زمانی اتفاق می‌افتد که سرعت فرایندهای ژئومورفیک در زمین‌های خشک توسط عمل انسان تسریع شود. با افزایش استفاده انسان از زمین‌های خشک به ویژه از طریق فناوری‌های مدرن، تاثیر فزاینده فشارهای انسانی به شکل تخریب زمین آشکار می‌گردد. روند آسیب پذیری چشم اندازه‌ها در برابر تخریب سریع با توجه به ویژگی‌های مناظر از

قبیل ویژگی‌های رسوب، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و شرایط اقلیمی، متفاوت می‌باشد. مناظر خشک و نیمه خشک زمانی که به عنوان مناظر اقلیمی و اکومورفیک در نظر گرفته شوند به دلیل فعالیت‌های انسانی، عموماً شکننده بوده و نسبت به بیابان زایی شنی حساس هستند (Koch, 2000). تجاوز شن و ماسه زمانی اتفاق می‌افتد که دانه‌های شن توسط باد حمل شده و در زمین‌های کشت نشده و یا زیر کشت رسوب کنند. این پدیده ترکیبی از فرایندهای حمل و نقل و تجمع ماسه را شامل می‌گردد. تپه‌های شنی، روستاها، جاده‌ها، واحه‌ها، محصولات کشاورزی و کانال‌های آبیاری را مدفون کرده و در نتیجه آسیب‌های اقتصادی عمده‌ای به بار می‌آورند. برنامه‌های کنترل بیابان زایی باید برای مقابله با این وضعیت اجرا شوند. فرایندهای بادی در مناطق خشک و نیمه خشک نیاز به نظارت دائمی دارند زیرا اغلب به بیابان زایی شنی تبدیل می‌شوند. این پدیده شکلی متداول از تخریب زمین است که در نتیجه ترکیب تغییرات آب و هوایی و فعالیت‌های شدید ناپایدار انسانی در محیط‌های شکننده اکولوژیکی ایجاد می‌شود (Pan et al, 2018). حرکت تپه‌های شنی که از آن به عنوان بیابان زایی سنی نیز یاد می‌شود پدیده‌ای بسیار پویا بوده و در مناطق خشک جهان به ویژه حواشی کویرها رخ داده است. حرکت تپه‌های شنی نه تنها به شرایط بیوفیزیکی چنین محیط‌های خشکی بستگی دارد بلکه به روش‌های مدیریت و بهره‌برداری از منابع طبیعی نیز بستگی دارد. در مناطق خشک، نظارت بر حرکت توده‌های شنی اهمیت زیادی پیدا می‌کند. بیشتر مطالعات در مورد بیابان زایی عمدتاً بر پایش پوشش گیاهی تمرکز دارند. بیابان زایی تنها منحصر به پیشروی بیابان نمی‌باشد گرچه می‌تواند شامل توسعه تپه‌های شنی نیز گردد. بیابان زایی شنی یکی از مضرترین اشکال بیابان زایی است که حاصلخیزی و بهره‌وری زمین را کاهش می‌دهد. اخیراً این پدیده در چین و سایر کشورهای آسیایی مورد توجه قرار گرفته است. سنجش از دور ابزار قدرتمندی برای پایش حرکت تپه‌های ماسه‌ای بوده و وقتی با GIS ادغام شود تکنیک نقشه برداری معتبری را ارائه می‌دهد. چندین محقق از این تکنیک‌ها با تمرکز بر جنبه‌های ژئومورفولوژیکی، اقتصادی یا اکولوژیکی استفاده کرده اند (Ndabula et al, 2018; Nguyen et al, 2021).

برای تحقیق و نظارت بر تپه‌ها و سطوح شنی تکنیک‌های سنجش از دوری با استفاده از سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ توسعه داده شدند. فادهیل^۱ (۲۰۰۹ و ۲۰۱۳) با استفاده از داده‌های سنجنده TM ماهواره لندست، دو شاخص شن و ماسه را پیشنهاد کردند. دنگ^۲ و همکاران (۲۰۱۵) از شاخص تفاوت نرمال شده خاک برای ساختن نسبت شاخص تفاوت نرمال شده خاک (RNDI) استفاده کردند. داکر^۳ و همکاران (۲۰۱۶) برای

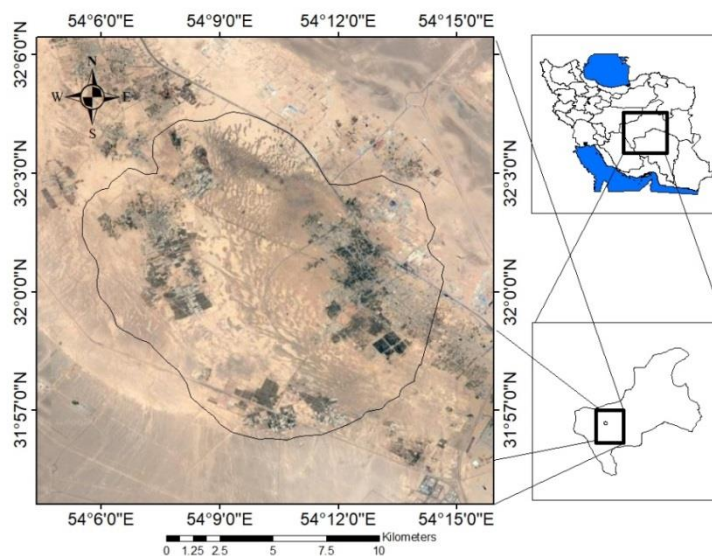
تشخیص شن و ماسه ارائه کردند. این شاخص با عنوان شاخص تفاوت نرمال شده زمین‌های شنی (NDSL) شناخته شده و در محدوده بین ۱ و ۱- قرار می‌گیرد. مقادیر کمتر از صفر نشان دهنده پهنه‌های شنی بوده است (Sahar et al, 2021). محمدپور و عشقی زاده (۲۰۲۱) با بهره‌گیری از روش‌های نزدیک‌ترین همسایه، درخت تصمیم و ماشین بردار پشتیبانی، الگوریتمی را برای نمایش تپه‌های شنی ارائه کردند. تکنیک شاخص‌های طیفی با بهره‌گیری از چندین باند طیفی و بر اساس معادلات ریاضی تصاویری را تولید کرده و سپس برای تشخیص تپه‌های شنی، آستانه یا محدوده‌ای از مقادیر را معرفی می‌کنند.

با توجه به موارد ذکر شده، در این تحقیق برای ارزیابی میزان گسترش تپه‌های شنی و تغییرات آنها در بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۳ از ۶ شاخص طیفی CI، GSI، NDSI، BSI، NDSI و NDSI استفاده شده و از ترکیب این شاخص‌ها و میانگین‌گیری از آنها شاخص ASI معرفی گردید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه با مساحتی در حدود ۱۵۳ کیلومتر مربع در بخش غربی شهر یزد و شهر اشکذر در مختصات جغرافیایی ۵۴ درجه و ۵ دقیقه و ۵۳ ثانیه تا ۵۴ درجه و ۱۴ دقیقه و ۵۱ ثانیه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۵۶ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۴ دقیقه و ۲۳ ثانیه عرض شمالی واقع شده است. تپه‌های شنی در بخش غربی شهر اشکذر واقع شده‌اند. این تپه‌ها محدوده‌ای را در بخش غربی این شهر تا شهر یزد را پوشش داده‌اند.

بررسی حرکت تپه‌های ماسه‌ای در بازه زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۳ از آرشیو تصاویر Google Earth بهره‌گرفتند. نتایج حاکی از این بود که تپه‌های شنی در این بازه زمانی حدود ۳۲ متر جابجا شده‌اند. عدنانی^۴ و همکاران (۲۰۱۶) برای بررسی تفاوت رنگ تپه‌های شنی در منطقه ارفود از نسبت باند ۳/۱، ۵/۷ و ۶/۴ سنجنده TM ماهواره لندست ۵ و نسبت باند ۱/۲ ماهواره ASTER بهره‌گرفتند. پان^۵ و همکاران (۲۰۱۸) یک شاخص تفاوت نرمال شده شن را پیشنهاد کردند که می‌توانست بر اساس تصاویر لندست ۸، ماسه را از خاک تفکیک نماید. ساهار^۶ و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از سنجنده‌های TM، ETM و سنجنده OLI ماهواره لندست ۸، شاخص جدیدی را برای تشخیص شن و ماسه ارائه کردند. این شاخص با عنوان شاخص تفاوت نرمال شده زمین‌های شنی (NDSL) شناخته شده و در محدوده بین ۱ و ۱- قرار می‌گیرد. مقادیر کمتر از صفر نشان دهنده پهنه‌های شنی بوده است. آیدا^۷ و همکاران (۲۰۱۹) برای ارزیابی تکامل تپه‌ها در حوضه ترفایا، داده‌های ماهواره لندست ۵ و ۷ را در بازه زمانی ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۱ به کار گرفتند. در کنار این تصاویر برای تمایز و تفکیک بین تپه‌های شنی از سایر پدیده‌ها از روش‌های ماشین بردار پشتیبانی، حداقل فاصله و روش حداکثر احتمال استفاده شد. نتایج نشان داد که پهنه‌های ماسه‌ای به شکل قابل توجهی توسعه یافته‌اند. آیدا و همکاران (۲۰۲۰) برای شناسایی تپه‌های شنی در تصاویر سنتینل ۲ روشی را ارائه کردند. این تکنیک بر پایه طبقه‌بندی نظارت نشده و شاخص‌های طیفی استوار بوده است. نتایج نشان دهنده موفقیت این مدل‌ها در تشخیص تپه‌های شنی بوده است. ساهار و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از سنجنده‌های TM، ETM و سنجنده OLI ماهواره لندست ۸، شاخص جدیدی را برای



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه در تپه‌های شنی محدوده اشکذر یزد

شاخص تفاوت نرمال شده تپه‌های شنی (NDSDI)، شاخص جدیدی برای شناسایی و ارزیابی وجود تجمعات تپه‌های شنی و گسترش آنها به شمار می‌آید (Fadhil, 2009). این شاخص عمدتاً پوشش گیاهی و غیر گیاهی، آب، سطح خشک، خاک شنی یا لخت را متمایز می‌کند. شاخص پیشنهادی بر اساس تفاوت نرمال شده بین مقادیر طیفی باند قرمز و مادون قرمز موج کوتاه طراحی شده است. تجمع تپه‌های شنی و ماسه ای و حرکت آنها اغلب مقادیر زیر صفر و پوشش گیاهی مقادیر بیشتر از صفر تولید می‌کند.

برای محاسبه این شاخص از معادله زیر بهره گرفته شد.

$$NDSDI = \frac{B4-B6}{B4+B6} \quad (3)$$

مشخصه طیفی ماسه نشان می‌دهد که سیگنال‌های بازتابی را می‌توان با استفاده از تفاوت بین سیگنال باند ۴ و سیگنال باند ۱ به دست آورد. این تفاوت به خوبی بین ماسه و سایر ویژگی‌های زمین تمایز قائل می‌شود. با در نظر گرفتن این قابلیت فادهیل و همکاران (۲۰۱۱) شاخص NDSI را ارائه کردند. برای محاسبه این شاخص از معادله زیر استفاده می‌شود:

$$NDSI = \frac{B4-B1}{B4+B1} \quad (4)$$

بدیهی است که هر چه NDSI بالاتر باشد محتوای شن و ماسه در یک منطقه بیشتر است. تفاوت بازتاب باندهای ۱ و ۴ برای ماسه به طور آشکاری بیشتر از خاک است در حالی که تفاوت بازتاب باندهای ۴ و ۷ برای ماسه مشابه خاک است. نسبت به سایر شاخص‌های شن و ماسه که توسط محققین ارائه شده، این شاخص می‌تواند شن و ماسه را از خاک تشخیص داده و برای تصاویر لندست ۸ مناسب تر است.

چون در سال ۲۰۰۴ یک مدل طیفی را برای ارزیابی خاک بایر ایجاد کرد. شاخص خاک بایر BSI یک نشانگر عددی است که باندهای آبی، قرمز، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز موج کوتاه را برای ثبت تغییرات ترکیب می‌کند. این باندهای طیفی به صورت نرمال شده استفاده می‌شوند. باندهای طیفی مادون قرمز موج کوتاه و قرمز برای تعیین کمیت ترکیب معدنی خاک استفاده می‌شوند در حالیکه باندهای آبی و مادون قرمز نزدیک برای افزایش حضور پوشش گیاهی به کار گرفته می‌شود. برای محاسبه این شاخص از معادله زیر استفاده می‌شود.

$$BSI = \frac{(B6+B4)-(B5+B2)}{(B6+B4)+(B5+B2)} \quad (5)$$

شاخص تفاوت نرمال شده خاک (NDSL) توسط راجرز (۲۰۰۴) برای تشخیص ترکیبی از خاک و ماسه استفاده شده و از طریق معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$NDSL = \frac{(B6-B3)}{(B6+B3)} \quad (6)$$

با بهره گیری از مقادیر هر یک از شاخص‌ها، شاخص کلی شن (ASI) ارائه گردید. بر اساس این شاخص مقادیر تجمیع

در این تحقیق مقدار و شدت حرکت تپه‌های شنی با استفاده از تصاویر لندست و در نرم افزار Arc GIS ارزیابی شد. تصاویر ماهواره ای با تبدیل اعداد دیجیتال DN به تصاویر تابشی پردازش شدند. ترکیبی از مناظر شنی با استفاده از روش Jenks و بر اساس تعیین مقدار پس زمینه به چهار گروه طبقه بندی شدند. در این گروه بندی، گروه فعال مربوط به مناطقی با مشخصات ماسه با ضخامت بیش از ۵۰ سانتیمتر است که ۵۰ درصد تپه‌های شنی متحرک را در بر گرفته و به طور گسترده توزیع شده اند. در این مناطق پوشش گیاهی کمتر از ۵ درصد است. مناطق نیمه متحرک مربوط به ناحیه ای با ضخامت ۳۰ تا ۵۰ سانتیمتر است که شامل تپه‌های ماسه ای نیمه فعال بوده و در این نواحی پوشش گیاهی به ۵ تا ۲۵ درصد می‌رسد. گروه نیمه ثابت منطقه ای با نیمرخ خاک نیمه بالغ را شامل شده و در آن پوشش گیاهی به ۲۵ تا ۵۰ درصد می‌رسد. گروه ثابت مناطق خاک‌های بالغی را در بر می‌گیرد که در آن ضخامت خاک‌های ماسه ای کمتر از ۵ درصد بوده و در آن پوشش گیاهی به بیش از ۵۰ درصد می‌رسد. این منطقه می‌تواند تپه‌های تثبیت شده را نیز در بر بگیرد. تصاویر ماهواره ای با استفاده از الگوریتم تجربی و در ابزار تحلیلگر Arc GIS برای ارزیابی ۶ شاخص طیفی پردازش شدند. سپس شاخص کل هر یک از شاخص‌ها بر اساس تجمیع شاخص‌ها برآورد شد. مقادیر تفاوت تصاویر مربوطه بر اساس روش Jenks به چهار گروه طبقه بندی شد. اگر تغییرات در حال افزایش باشد مقادیر مثبت به دست آمده و اگر به سمت روند کاهشی باشد تغییرات منفی هستند. شاخص‌های فوق به صورت زیر تجزیه و تحلیل می‌شوند.

شاخص پوسته (CI) توسط کارنلی (۱۹۹۷) توسعه داده شد. این شاخص برای تشخیص و تفکیک بین واحدهای مورفولوژیکی مختلف مانند مناطق ماسه ای استفاده می‌شود. این شاخص مبتنی بر مقادیر طیفی باند قرمز و آبی بوده است. در ماهواره لندست ۸ از معادله زیر برای برآورد شاخص استفاده شد.

$$CI = \frac{B4-B2}{B4+B2} \quad (1)$$

شاخص اندازه ذرات (GSI) به وسیله زیانو (۲۰۰۶) ارائه داده شده و از معادله زیر برای برآورد آن استفاده می‌شود.

$$GSI = \frac{B4-B2}{B4+B3+B2} \quad (2)$$

مقدار این شاخص در پوشش‌های گیاهی نزدیک به صفر بوده و برای یک پهنه آبی این مقدار منفی است. مقدار مثبت نشان دهنده منطقه تحت تاثیر ماسه است. تفاوت بین باندهای قرمز و آبی در معادله GSI، تفاوت بین سطح گیاهی یا آب و خاک برهنه را نشان می‌دهد در حالی که تجمیع بازتاب در باندهای سبز، قرمز و آبی به تمایز خاک سطحی با ترکیب اندازه ذرات مختلف کمک می‌کند.

کلی را به تخمین بیش از حد مقادیر، کنترل می‌کند. در این ضریب تفاوت‌های آماری در ماتریس خطاهای مختلف مورد آزمایش قرار می‌گیرد. ضریب کاپا در بین صفر تا ۱ قرار دارد.

برای محاسبه ضریب کاپا از معادله زیر استفاده می‌شود.

$$k = \frac{N \sum_{i=1}^N x_{ii} - \sum_{i=1}^N (x_{i+} + x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^N (x_{i+} + x_{+i})} \quad (9)$$

در این معادله، N ، x_{i+} ، x_{+i} ، x_{ii} به ترتیب تعداد کل نمونه‌ها، مقادیر دارای چولگی، دقت کاربر و دقت تولید کننده هستند.

نتایج و بحث

منطقه مورد مطالعه با استفاده از شاخص طیفی، به ۴ گروه تپه‌های ماسه ای فعال، نیمه فعال، نیمه ثابت و ثابت طبقه بندی شد. در بین شاخص‌های طیفی از نظر گستردگی و سرعت حرکت، تشابهاتی مشاهده شد. از سوی دیگر در بین طبقات مناظر شنی، الگوهای مکانی و زمانی بسیار مشهود است. مفهوم این الگوها این است که مناطق نیمه خشک در یک دوره زمانی طولانی مدت نسبت به عوامل اقلیمی و انسانی بسیار حساس هستند. مناطق شنی فعال و نیمه فعال به طور مداوم در طول دوره مورد مطالعه تغییر یافته و در بعضی مناطق تثبیت شده اند. این روند مناطق آبی و زمین‌های کشاورزی دیم را با خطر مواجه ساخته است. مقادیر هر یک از شاخص‌ها برای بازه زمانی ۲۰۱۳، ۲۰۱۸ و ۲۰۲۳ محاسبه شده و نمایش داده شد.

شده شاخص‌ها برآورد شده و میانگین آنها محاسبه شد. به این منظور از معادله زیر استفاده شد.

$$ASI = \frac{CI+BSI+GSI+NDSDI+NDSI+NDSL I}{6} \quad (7)$$

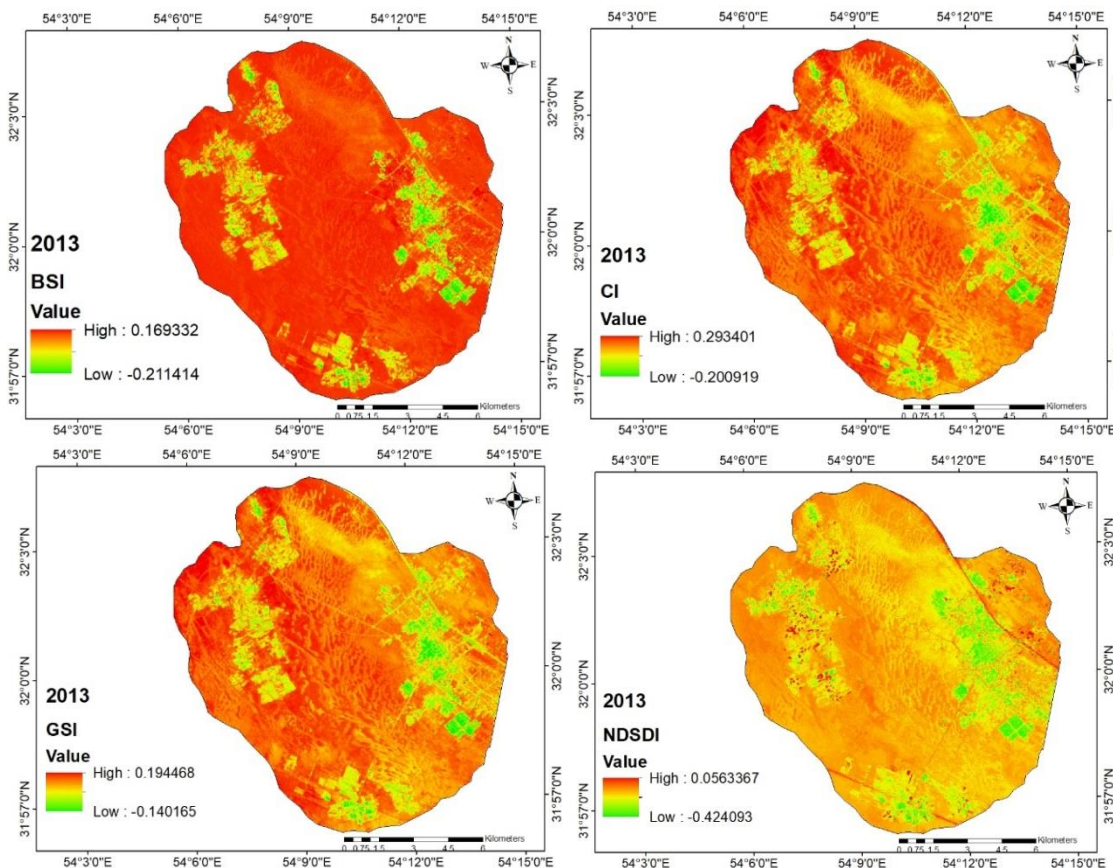
مقادیر شاخص فوق نیز بین +۱ و -۱ قرار گرفته و مقادیر نزدیک به +۱ بیشترین میزان گسترش تپه‌های شنی را نشان می‌دهد. به منظور تشخیص تاثیر هر یک از شاخص‌ها بر این شاخص از رابطه همبستگی پیرسون استفاده شده و رابطه این شاخص با ۶ شاخص استفاده شده برآورد شد.

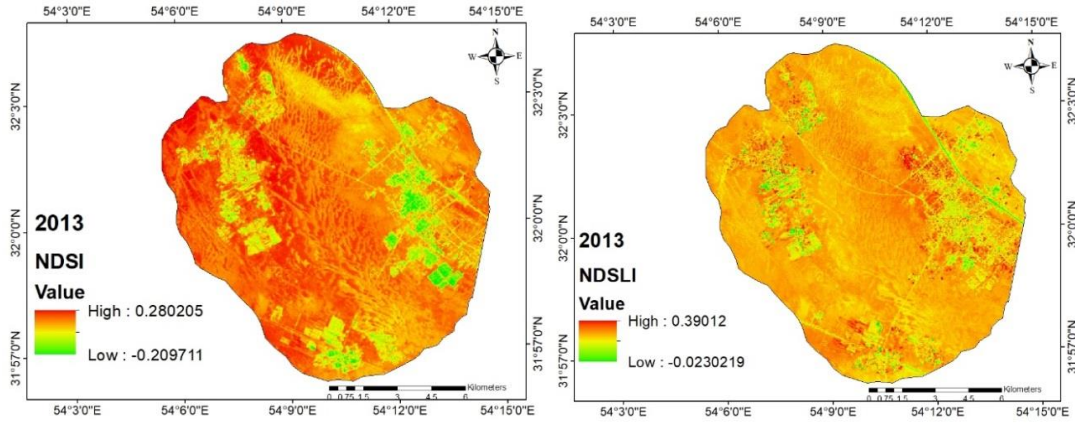
در این تحقیق، عملکرد هر یک از شاخص‌های طیفی در ارتباط با شاخص ASI با استفاده از همبستگی پیرسون و ضریب تعیین مورد آزمایش قرار گرفت. همبستگی پیرسون یک شاخص آماری برای برقراری روابط خطی بین دو متغیر می‌باشد. برای محاسبه این شاخص از معادله زیر استفاده می‌شود:

$$(A, B) = \frac{\sum m,n (A_{m,n}-MA)(B_{m,n}-MB)}{\sqrt{\sum m,n (A_{m,n}-MA)^2 \sum m,n (B_{m,n}-MB)^2}} \quad (8)$$

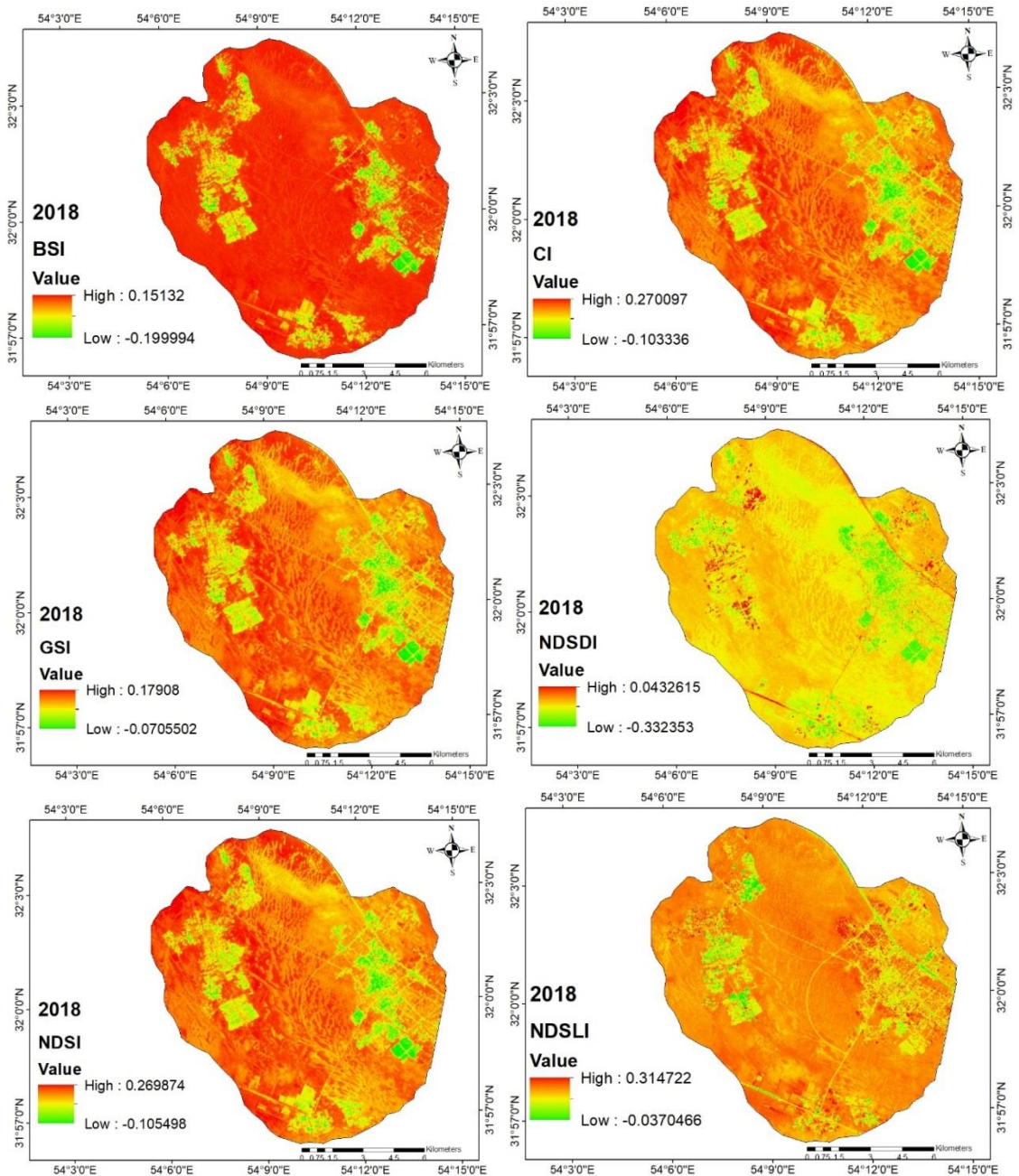
در این معادله، MA و MB مقادیر میانگین دو تصویر A و B می‌باشند. در صورت امکان مقادیر پیرسون بایستی نزدیک به عدد ۱ باشد. تفاوت بین مقادیر پیرسون نشان دهنده کیفیت مکانی محاسبات خواهد بود.

در آخرین فرایند به منظور تعیین صحت کاربری‌های پیش بینی شده با مقادیر واقعی از ضریب کاپا استفاده شد. ضریب کاپا به صورت زیر برآورد می‌گردد. این ضریب با گنجاندن تمام مقادیر خارج از حد مورب در محاسبات، تمایل شاخص دقت

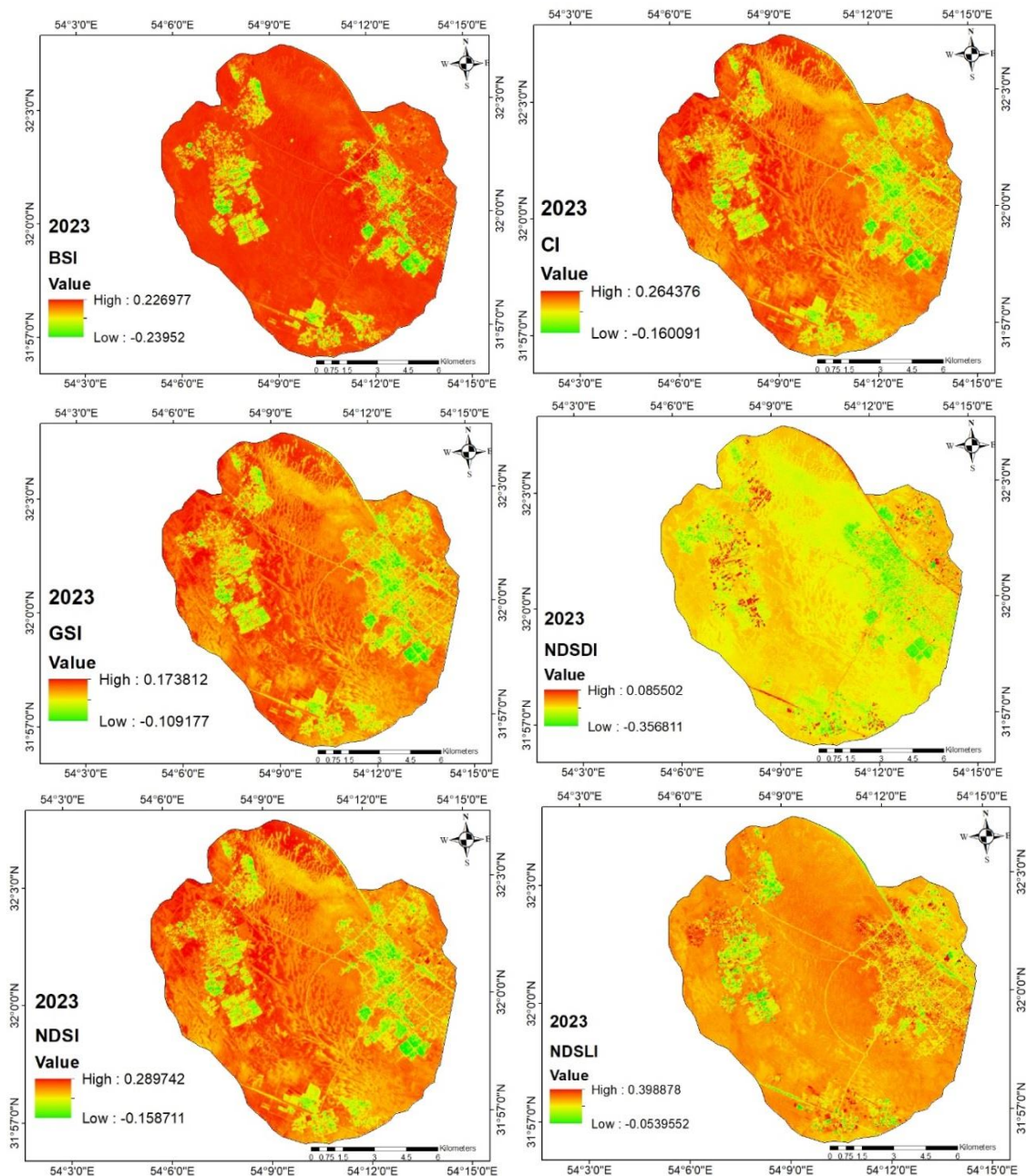




شکل ۲. تغییرات پهنه تپه‌های شنی بر اساس شاخص‌های ۶ گانه در سال ۲۰۱۳



شکل ۳. تغییرات پهنه تپه‌های شنی بر اساس شاخص‌های ۶ گانه در سال ۲۰۱۸



شکل ۴. تغییرات پهنه تپه‌های شنی بر اساس شاخص‌های ۶ گانه در سال ۲۰۲۳

مناطق با پوشش گیاهی بیش از ۲۵ تا ۵۰ درصد مشخص می‌شود که ممکن است در اثر تهاجم توده‌های شنی از بین بروند. نتایج بیابان زایی شنی بر اساس شاخص خاک بایر نشان می‌دهد که مناطق شنی فعال و نیمه فعال به ترتیب از وسعتی معادل ۱۲۰/۳ و ۱۷/۱ کیلومتر مربع برخوردار هستند. مقادیر برآورد شده برای تپه‌های فعال در این شاخص بسیار متفاوت از شاخص‌های دیگر بوده به صورتی که بر این اساس در سال ۲۰۲۳ حدود ۷۸/۶ درصد از منطقه در اشغال این نوع تپه‌ها قرار گرفته است. این امر افزایش ۲۷/۹ درصدی را در سطح این تپه‌ها نشان می‌دهد. نتایج این شاخص متفاوت از آن چیزی است که

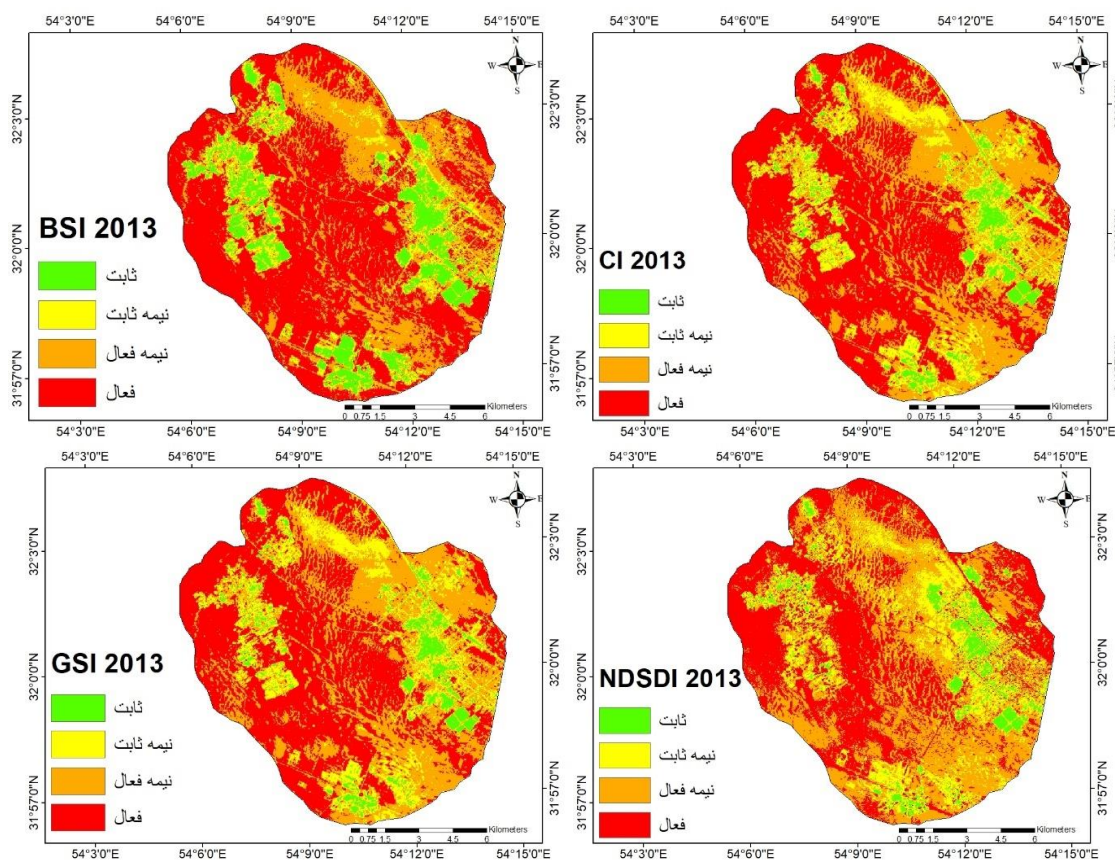
نتایج بیابان زایی شنی بر اساس شاخص پوسته نشان می‌دهد که مناظر شنی فعال و نیمه فعال در سال ۲۰۲۳ به ترتیب از وسعتی معادل ۶۸/۳ و ۵۸/۱ کیلومتر مربع را به خود اختصاص داده‌اند. از سال ۲۰۱۳ مساحت این پهنه‌ها در منطقه فعال با ۰/۷ درصد کاهش و ۲/۶ درصد افزایش مواجه گردیده است. به عبارتی از وسعتی تپه‌های شنی فعال کاسته شده و به وسعت تپه‌های شنی نیمه فعال افزوده شده است. بر اساس این شاخص وسعت پهنه‌های ثابت و نیمه ثابت نیز به ترتیب با ۰/۲ و ۱/۸- درصد کاهش مواجه گردیده است. بیشترین خطر بیابان زایی شنی در مناطق شنی نیمه ثابت دیده شده است. این

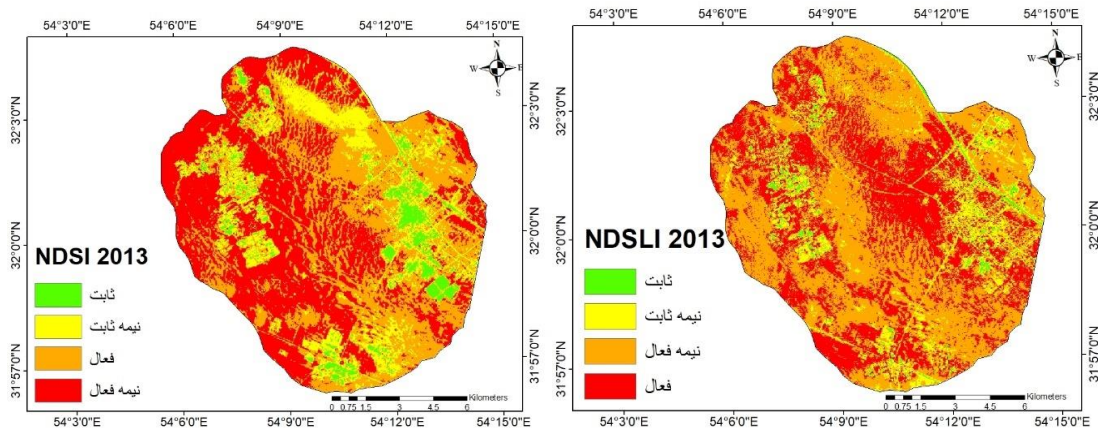
نیز حدود ۲ درصد کاهش داشته است. بیشترین خطر بیابان زایی شنی در مناطق نیمه ثابت است که در آن زمین با نرخ ۲ درصد در حال از بین رفتن است.

نتایج بیابان زایی شنی بر اساس شاخص تفاوت نرمال شده شنی نشان می‌دهد که مناطق شنی فعال و نیمه فعال با نرخ گسترش سالانه ۱/۲۳ و ۱/۳۰ کیلومتر مربع در حال گسترش هستند. این امر باعث کاهش مناطق شنی نیمه ثابت و ثابت به میزان ۱/۲۲ و ۱/۳۷ کیلومتر مربع شده است. بیشترین خطر بیابان زایی در مناطق شنی ثابت است که در آن زمین با نرخ سالانه ۱/۳۷ کیلومتر مربع در حال از بین رفتن است.

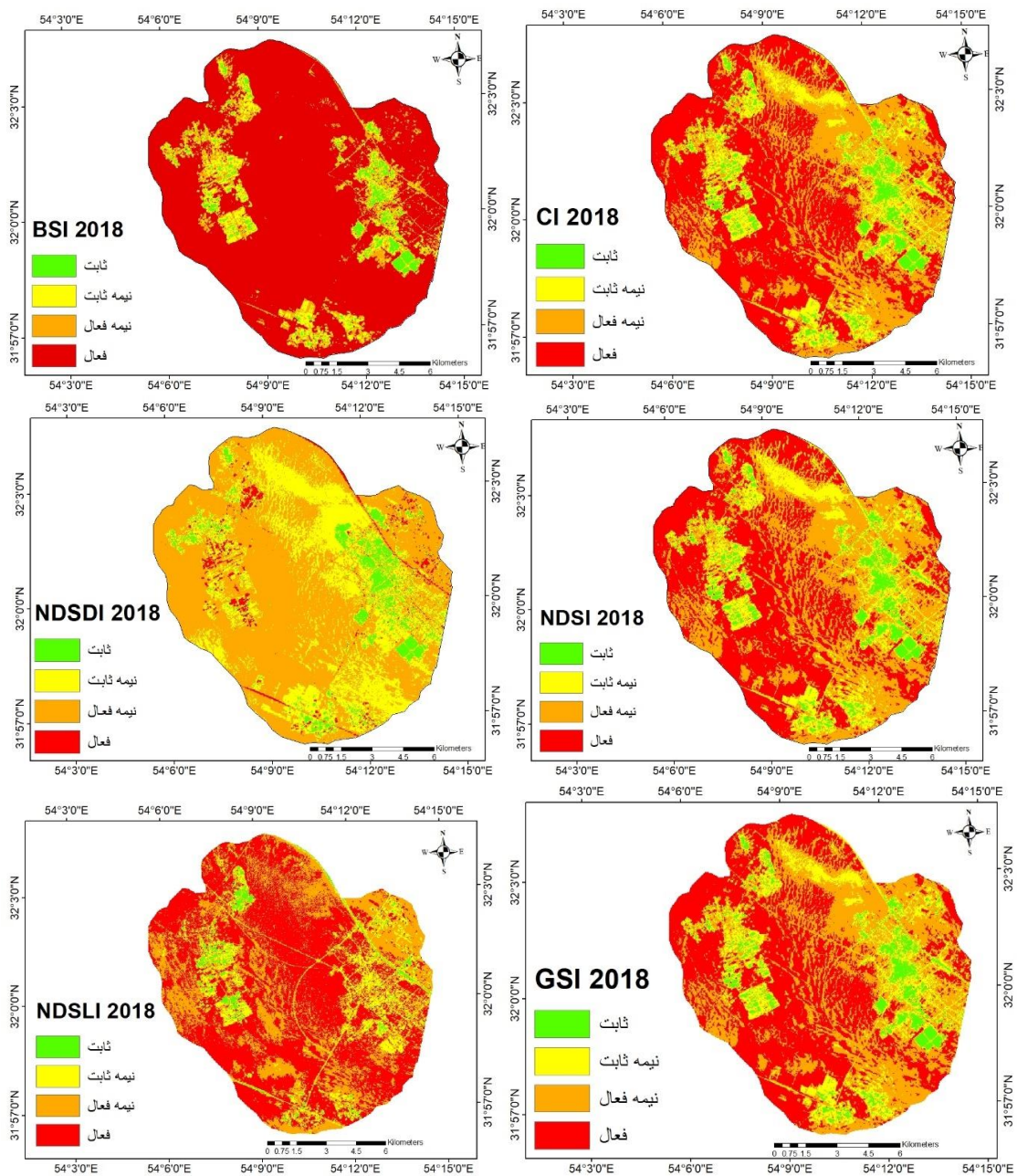
نتایج بیابان زایی شنی بر اساس شاخص تفاوت نرمال شده خاک نشان می‌دهد که مناطق شنی فعال و نیمه فعال به ترتیب به میزان ۱/۲۳ و ۱/۳۱ کیلومتر مربع در حال گسترش هستند. این امر باعث کاهش مناطق شنی نیمه ثابت و ثابت به میزان ۱/۲۱ و ۱/۳۷ کیلومتر مربع شده است. در این شاخص نیز بیشترین خطر بیابان زایی شنی در منطقه شنی ثابت مشاهده شده و در آن روند تخریب معادل ۱/۳۷ کیلومتر مربع بوده است.

برای سایر شاخص‌ها به دست آمده است. به عبارتی این شاخص در تشخیص تپه‌های شنی از سایر عوارض دچار اختلال شده و این امر دقت این شاخص را با کاهش مواجه ساخته است. این امر باعث کاهش مناطق نیمه ثابت و ثابت به میزان ۲/۷ و ۷/۳ درصد شده است. بیشترین خطر بیابان زایی شنی در چشم انداز شنی نیمه فعال است که در آن زمین با نرخ کاهش ۱۸ درصد از بین می‌رود. این مناطق با پوشش گیاهی کمی مشخص می‌شود که ممکن است در اثر تهاجم شنی از بین برود. نتایج بیابان زایی بر اساس شاخص تفاوت نرمال شده تپه‌های ماسه ای نشان می‌دهد که مناطق شنی نیمه فعال با وسعتی معادل ۹۱/۷ کیلومتر مربع از بیشترین گسترش برخوردار بوده و این مناطق از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۳ حدوداً ۲۰/۷ درصد افزایش یافته اند. این در حالی است که در این بازه زمانی وسعت تپه‌های شنی فعال ۳۵/۷ درصد کاهش داشته است. نتایج بیابان زایی شنی بر اساس شاخص اندازه ذرات نشان می‌دهد که مناطق شنی فعال ۰/۲ درصد کاهش یافته و در سال ۲۰۲۳ حدود ۶۹/۷ کیلومتر مربع از منطقه را به اشغال خود در آورده اند. به عبارتی ۴۵/۵ درصد از منطقه توسط تپه‌های شنی فعال پوشیده شده است. مناطق نیمه ثابت

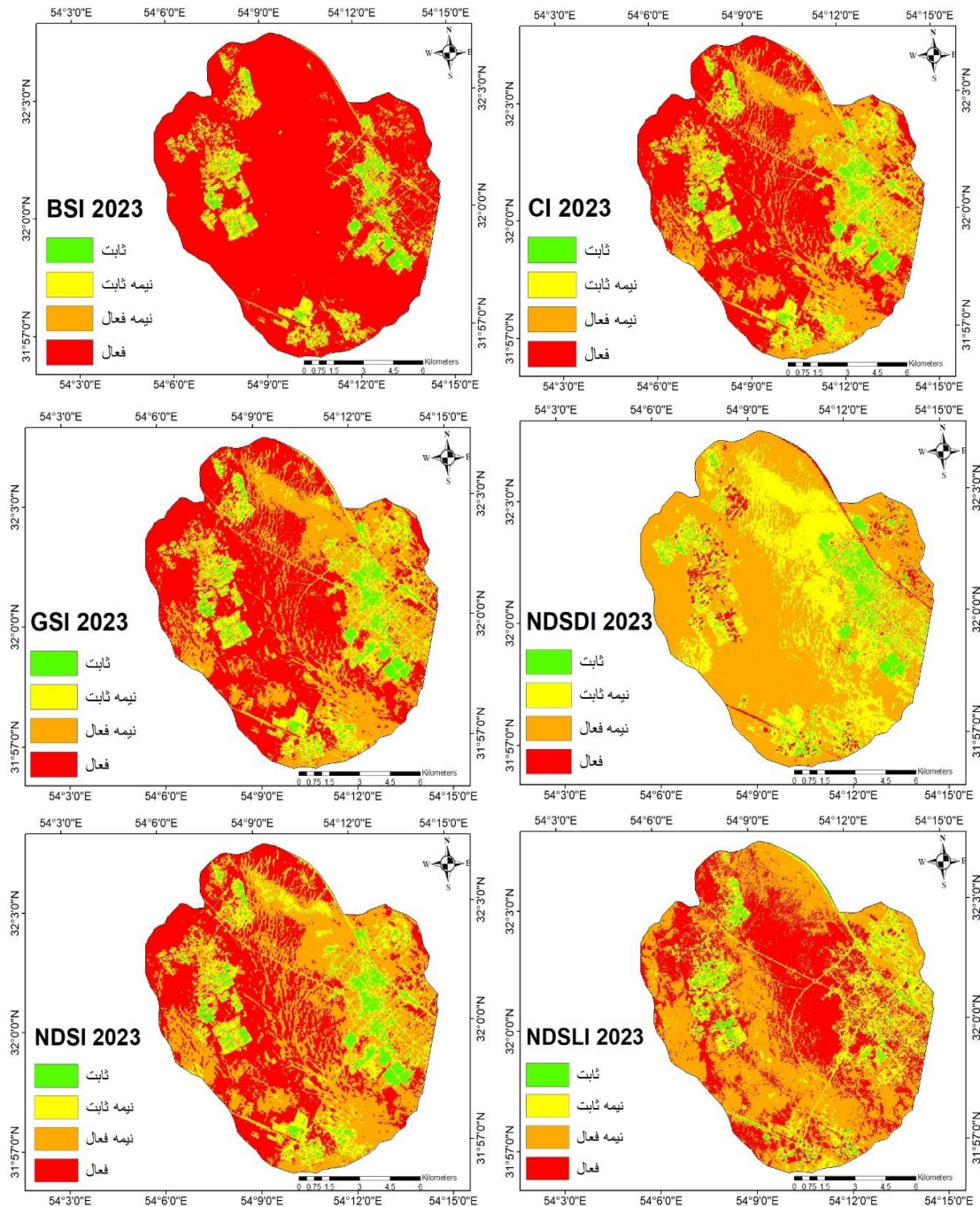




شکل ۵. میزان فعالیت تپه‌های شنی در شاخص‌های ۶ گانه در سال ۲۰۱۳



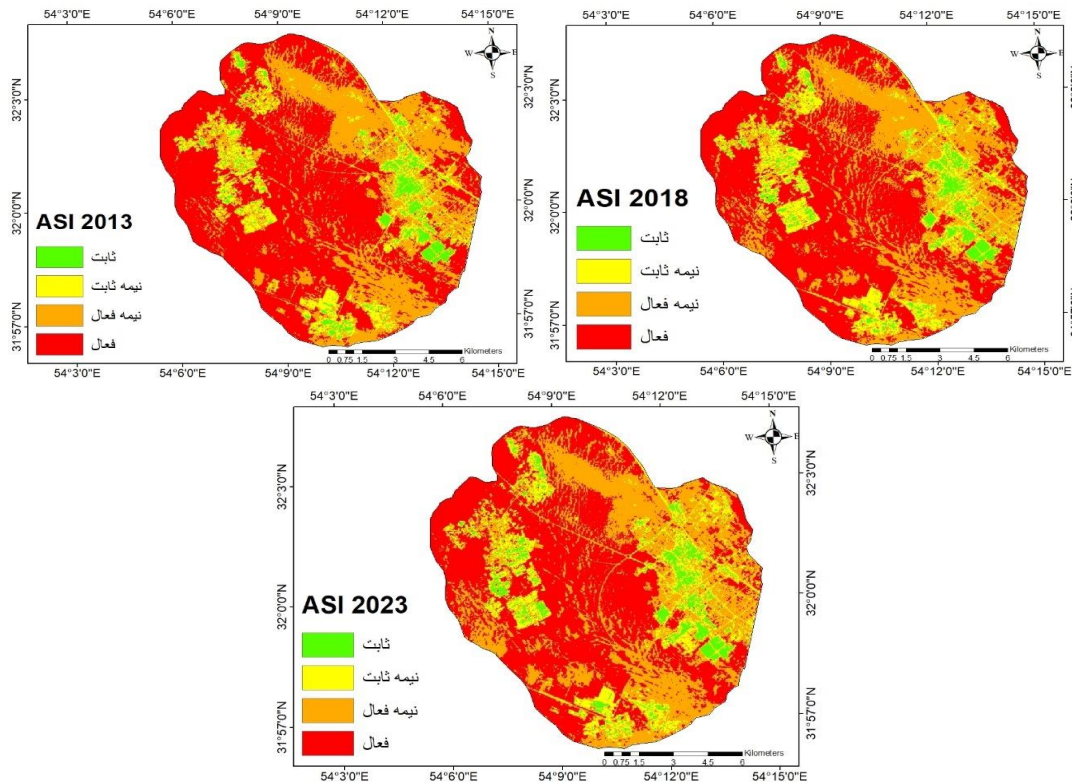
شکل ۶. میزان فعالیت تپه‌های شنی در شاخص‌های ۶ گانه در سال ۲۰۱۸



شکل ۷. میزان فعالیت تپه‌های شنی در شاخص‌های ۶ گانه در سال ۲۰۲۳

این در حالی است که مساحت پهنه نیمه فعال حدود ۲/۴ درصد افزایش داشته است. این امر باعث افزایش مناطق شنی نیمه ثابت و ثابت به میزان ۱/۷ و ۰/۷ درصد شده است

نتایج کلی بیابان زایی شنی بر اساس شاخص شنی کل نشان می‌دهد که مناطق شنی فعال در سال ۲۰۲۳ با وسعتی معادل ۷۳/۸ در حال کاهش می‌باشد به طوری که از سال ۲۰۱۳ تا سال ۲۰۲۳ مساحت این پهنه ۴/۸ درصد کاسته شده است.



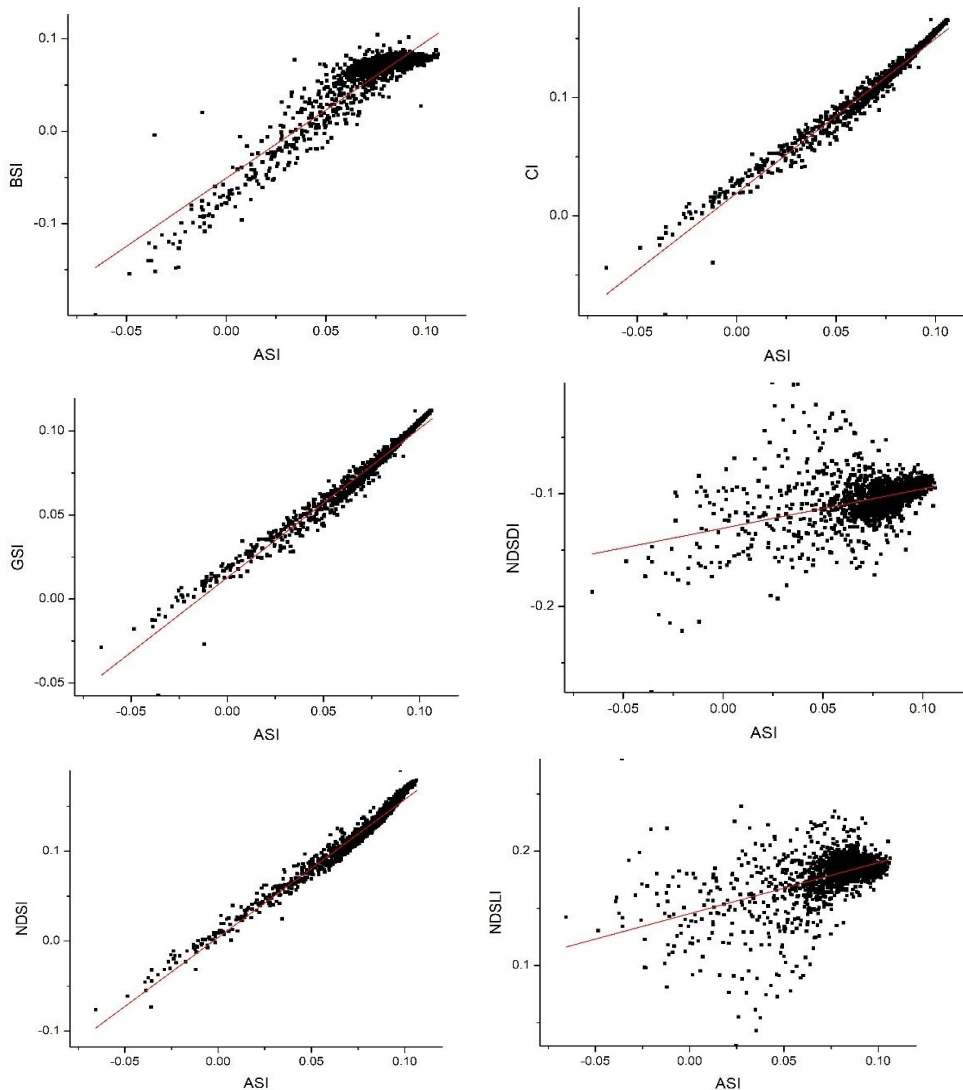
شکل ۸. شدت گسترش تپه‌های شنی بر اساس شاخص کلی شن‌ASI در سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۸ و ۲۰۲۳

جدول ۱. مساحت پهنه‌های طبقه‌بندی شده بر اساس شاخص‌های ۶ گانه و شاخص ASI بر حسب کیلومتر مربع

شاخص	شدت	۲۰۱۳			۲۰۱۸			۲۰۲۳		
		آستانه	مساحت	درصد	آستانه	مساحت	درصد	آستانه	مساحت	درصد
ASI	ثابت	۰/۰۱	۶/۱۲	۴	۰/۰۲	۶/۱۸	۴/۴	۰/۰۱	۷/۲	۴/۷
	نیمه ثابت	۰/۰۵	۱۴/۴	۹/۴	۰/۰۵	۱۶/۶	۱۰/۸	۰/۰۵	۱۶/۹	۱۱/۱
	نیمه فعال	۰/۰۷	۵۱/۶	۳۳/۷	۰/۰۸	۵۴/۳	۳۵/۴	۰/۰۸	۵۵/۳	۳۶/۱
BSI	فعال	۰/۱۷	۸۱/۱	۵۳	۰/۱۶	۷۵/۴	۴۹/۲	۰/۱۶	۷۲/۸	۴۸/۲
	ثابت	۰/۰۱	۱۶/۴	۱۰/۷	-۰/۰۵	۴/۹	۳/۲	-۰/۰۵	۵/۳	۳/۴
	نیمه ثابت	۰/۰۵	۱۴/۶	۹/۵	۰/۰۰۵	۱۰/۳	۶/۷	۰/۰۰۶	۱۰/۴	۶/۸
CI	نیمه فعال	۰/۰۷	۴۴/۵	۲۹/۱	۰/۰۵	۱۵/۴	۱۰/۱	۰/۰۵	۱۷/۱	۱۱/۱
	فعال	۰/۱۷	۷۷/۷	۵۰/۷	۰/۱۵	۱۲۲/۶	۸۰/۱	۰/۲۲	۱۲۰/۳	۷۸/۶
	ثابت	۰/۰۵	۷/۸	۵/۱	۰/۰۶	۸/۴	۵/۴	۰/۰۴	۷/۶	۴/۹
GSI	نیمه ثابت	۰/۱	۲۲	۱۴/۳	۰/۱۰	۲۱/۸	۱۴/۲	۰/۰۹	۱۴/۲	۱۲/۵
	نیمه فعال	۰/۱۲	۵۴/۰۲	۳۵/۳	۰/۱۳	۵۵/۳	۳۶/۱	۰/۱۲	۵۸/۱	۳۷/۹
	فعال	۰/۲۹	۶۹/۴	۴۵/۳	۰/۲۷	۶۷/۷	۴۴/۲	۰/۲۶	۶۸/۳	۴۴/۶
NDSI	ثابت	۰/۰۳	۷/۸	۵/۱	۰/۰۴	۸/۶	۵/۶	۰/۰۳	۷/۹	۵/۱۶
	نیمه ثابت	۰/۰۶	۲۲/۱	۱۴/۴	۰/۰۶	۲۱/۵	۱۴/۱	۰/۰۶	۱۹/۱	۱۲/۴
	نیمه فعال	۰/۰۸	۵۳/۹	۳۵/۲	۰/۰۸	۵۷/۴	۳۷/۵	۰/۰۸	۵۶/۴	۳۶/۸
NDSLI	فعال	۰/۱۹	۶۹/۳	۴۵/۳	۰/۱۷	۶۵/۶	۴۲/۸	۰/۱۷	۶۹/۷	۴۵/۵
	ثابت	-۰/۱۳	۷/۸	۵/۱	-۰/۱۲	۸/۵	۵/۵	-۰/۱۳	۸/۷	۵/۶
	نیمه ثابت	-۰/۱	۲۵/۵	۱۶/۶	-۰/۱۰	۴۴/۵	۲۹/۱	-۰/۱۰	۴۷/۴	۳۰/۹
NDSI	نیمه فعال	-۰/۰۹	۶۰/۱	۳۹/۲	-۰/۰۷	۹۵/۷	۶۲/۵	-۰/۰۷	۹۱/۷	۵۹/۹
	فعال	۰/۰۵	۵۹/۸	۳۹/۱	۰/۰۴	۴/۴	۲/۸	۰/۰۸	۵/۳	۳/۴
	ثابت	۰/۰۴	۷/۹	۵/۱	۰/۰۵	۸/۸	۵/۷	۰/۰۳	۸/۱	۵/۲
NDSL	نیمه ثابت	۰/۱	۲۳/۹	۱۵/۶	۰/۱۰	۲۳/۴	۱۵/۳	۰/۰۹	۲۱/۲	۱۳/۸
	نیمه فعال	۰/۱۳	۵۸/۷	۳۸/۳	۰/۱۳	۶۰/۳	۳۹/۴	۰/۱۳	۶۶/۸	۴۳/۶
	فعال	۰/۲۸	۶۲/۶	۴۰/۹	۰/۲۶	۶۰/۷	۳۹/۶	۰/۲۸	۵۷/۱	۳۷/۳
NDSL	ثابت	۰/۱۳	۳/۷	۲/۴	۰/۱۲	۴/۲	۲/۷	۰/۱۲	۵/۴	۳/۵
	نیمه ثابت	۰/۱۶	۱۶/۳	۱۰/۶	۰/۱۵	۱۴/۸	۹/۶	۰/۱۶	۱۹/۳	۱۲/۶
	نیمه فعال	۰/۱۷	۸۰/۲	۵۲/۴	۰/۱۷	۵۴/۱	۳۵/۳	۰/۱۸	۷۵/۶	۴۹/۴
فعال	۰/۳۹	۵۲/۹	۳۲/۵	۰/۳۱	۸۰/۱	۵۲/۳	۰/۳۹	۵۲/۸	۳۴/۵	

جدول ۲. میزان تغییرات فعالیت تپه‌های شنی از سال ۲۰۱۳ تا سال ۲۰۲۳ بر حسب درصد

شاخص	شدت	میزان تغییرات (درصد)	شاخص	شدت	میزان تغییرات (درصد)
ASI	ثابت	+۰/۷	NDSI	ثابت	۰/۵
	نیمه ثابت	+۱/۷		نیمه ثابت	۱۴/۳
	نیمه فعال	+۲/۴		نیمه فعال	۲۰/۷
BSI	فعال	-۴/۸	NDSI	فعال	-۳۵/۷
	ثابت	-۷/۳		ثابت	۰/۱
	نیمه ثابت	-۲/۷		نیمه ثابت	-۱/۸
CI	نیمه فعال	-۱۸	NDSLI	نیمه فعال	۵/۳
	فعال	۲۷/۹		فعال	-۳/۶
	ثابت	-۰/۲		ثابت	۱/۱
GSI	نیمه ثابت	-۱/۸	NDSLI	نیمه ثابت	۲
	نیمه فعال	۲/۶		نیمه فعال	-۳
	فعال	-۰/۷		فعال	۰
	ثابت	۰/۰۶			
GSI	نیمه ثابت	-۲			
	نیمه فعال	۱/۶			
	فعال	۰/۲			



شکل ۹. میزان ضریب همبستگی و پراکندگی شاخص‌های ۶ گانه با شاخص ASI در سال ۲۰۲۳

نتیجه‌گیری

تمرکز غالب روی پوشش گیاهی به عنوان شاخص بیابان زایی توسط اکثر محققان، توجه به بیابان زایی ماسه ای به عنوان یکی از مخرب ترین پدیده‌های ژئومورفولوژیک بیابان زایی در مناطق خشک را کاهش داده است. در عین حال، پوشش گیاهی می‌تواند یکی از مهمترین جنبه‌های کنترل بیابان زایی به شمار آید. لیکن در مواردی بهبود پوشش گیاهی، به طور موثری بیابان زایی شنی و حاصلخیزی زمین را کنترل نکرده است. در این منطقه چندین ناحیه شنی فعال تشکیل شده که نشان می‌دهد کنترل بیابان زایی شنی ممکن است نیاز به زمان طولانی تری داشته باشد. برای هر یک از شاخص‌های ۶ گانه روند متفاوتی به دست آمده است لیکن شباهت‌های اجتناب ناپذیری بین این شاخص‌ها مشاهده شد به گونه ای که بین این شاخص‌ها با شاخص ASI همبستگی قابل توجهی به دست آمد. میزان همبستگی بین این شاخص با شاخص‌های GSI و NDSI در حدود ۰/۹۸ و ۰/۹۶ برآورد گردید. تنها در دو شاخص NDSLI و NDSDI مقادیر همبستگی پایین بوده و در حد ۰/۵۰ و ۰/۴۲ برآورد شد. برای بررسی روند تپه‌های شنی نیز از روش طبقه بندی Jenks بهره گرفته شده و منطقه به چهار گروه تپه‌های فعال، نیمه فعال، نیمه ثابت و ثابت طبقه بندی شده و برای هر یک از طبقات در هر شاخص مقادیر متفاوتی برآورد شد. بر اساس شاخص ASI که از جمع و میانگین شاخص‌های ۶ گانه حاصل شده بود مشاهده شد که در سال ۲۰۲۳ حدود ۷۳/۸ کیلومتر مربع که حدود ۴۸/۲ درصد از کل منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شده در اشغال تپه‌های شنی فعال قرار داشته است. این روند در تمامی شاخص‌ها مشاهده گردید. در نهایت به منظور صحت سنجی شاخص‌ها از ضریب کاپا استفاده شده و مشاهده شد که شاخص ASI با ضریب کاپای ۰/۹۵ از بیشترین درجه صحت برخوردار بوده و پس از آن شاخص NDSI با ضریب کاپای ۰/۹۳ در جایگاه دوم قرار دارد. بررسی‌ها نشان داد که پوشش گیاهی به تنهایی نمی‌تواند در این منطقه از خاک در برابر فرسایش بادی محافظت کند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که پوشش گیاهی، چراگاه‌ها، پهنه‌های آبی، زمین‌های کشاورزی دائم، سکونتگاه‌ها و زیرساختها در معرض خطر بالای بیابان زایی شنی در منطقه مورد مطالعه قرار دارند. لازم به ذکر است که اگر این روند افزایشی در منطقه مورد مطالعه مورد بررسی قرار نگیرد ممکن است به تدریج به ابعادی برسد که می‌تواند به عنوان یک فاجعه بزرگ اکومورفولوژیکی، امنیت غذایی، معیشت ساکنان بومی و در نهایت اقتصاد کشور را تهدید نماید.

Reference:

- Adnani, M., Azzaoui, M., Elbelrhiti, H., Ahmamou M., Masmoudi, L., & Chiban, M. (2016). Yardi sand dunes (Erfoud area, southeastern of Morocco): color, composition, sand's provenance, and transport pathways. Arab J Geosci 9(5): 366- 375.
- Ahmady-Birgani, H., McQueen, K.G., Moeinaddin, M., & Naseri, H. (2017). Sand Dune Encroachment and Desertification Processes of the Rigboland Sand Sea, Central Iran. Scientific Reports 7: 1523. [in persian].

برای تحلیل همبستگی بین شاخص ASI و شاخص‌های ۶ گانه از ضریب همبستگی پیرسون و ضریب تعیین استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که بین شاخص ASI و شاخص‌های NDSI، GSI و CI همبستگی بالایی وجود دارد به طوری که بیشترین همبستگی به میزان ۰/۹۸ بین این شاخص با شاخص NDSI مشاهده می‌شود. پس از آن شاخص GSI، با مقادیر همبستگی ۰/۹۶ در جایگاه دوم قرار دارد. ضعیف ترین همبستگی به میزان ۰/۴۲ بین شاخص ASI با شاخص NDSDI دیده می‌شود. بین تمامی شاخص‌ها همبستگی مثبت مشاهده می‌شود و هیچ شاخصی دارای همبستگی منفی نبوده است. از جهت اینکه داده‌ها برای تمامی شاخص‌ها در محدوده بین +۱ و -۱ قرار گرفته اند نیازی به نرمال سازی احساس نشد.

جدول ۳. میزان همبستگی بین شاخص ASI

و شاخص‌های ۶ گانه در سال ۲۰۲۳

R2	ضریب پیرسون	شاخص
۰/۲۵	۰/۵۰	ASI, NDSLI
۰/۹۷	۰/۹۸	ASI, NDSI
۰/۱۷	۰/۴۲	ASI, NDSDI
۰/۹۴	۰/۹۶	ASI, GSI
۰/۹۲	۰/۹۵	ASI, CI
۰/۸۵	۰/۹۲	ASI, BSI

در نهایت به منظور صحت سنجی و قابلیت هر یک از شاخص‌ها از ضریب کاپا استفاده شد. لیکن ضریب کاپا برای سال ۲۰۲۳ محاسبه گردید. بر این اساس مشاهده می‌شود که شاخص ASI از بیشترین میزان ضریب کاپا به میزان ۰/۹۵ برخوردار بوده و شاخص NDSI با ضریب کاپای ۰/۹۳ در جایگاه دوم قرار دارد. کمترین ضریب کاپا به میزان ۰/۶۲ متعلق به شاخص NDSDI بوده است. پس از آن شاخص NDSLI با ضریب کاپای ۰/۶۷ در جایگاه دوم قرار دارد. مقادیر ضریب کاپا بر اساس ماتریس سردرگمی در نرم افزار Arc GIS برآورد شد. یافته‌های این تحقیق نیاز به تلاش‌های هماهنگ برای کنترل بیابان زایی شنی در منطقه اشکذر یزد را نشان می‌دهد. بهره برداری منطقی از منابع شنی این منطقه و توسعه صنایع مرتبط با شن راه مهمی برای معکوس ساختن روند توسعه بیابان بوده و با توسعه زیرساختهای اقتصادی باعث افزایش درآمد کشاورزان و دامداران می‌گردد. از طریق اقداماتی مانند جنگل کاری مصنوعی، انتخاب گیاهان مقاوم به خشکی، تثبیت شن‌های روان، حصارکشی و حفاظت از خاک تا حدودی می‌توان توسعه شن‌های روان را کنترل کرد.

- Aydda, A., Althuwaynee, O., Algouti, A., & Algouti, A. (2019). Evolution of sand encroachment using supervised classification of Landsat data during the period 1987–2011 in a part of La'ayoune-Tarfaya basin of Morocco. *Geocarto Int* 34 (13): 1514–1529.
- Aydda, A., Althuwaynee, O., & Pokharel, B. (2020). An easy method for barchan dunes automatic extraction from multispectral satellite data. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 419. IOP Publishing.
- Chen, W., & Liangyun Liu, L. (2004). Monitoring the seasonal bare soil areas in Beijing using multi-temporal TM images, *IGARSS '04. Proceedings* 5: 3379 – 3382.
- Dakir, D., Rhinane, H., Saddiqi, O., El Arabi, E., & Baidder, L. (2016). Automatic extraction of dunes from Google Earth images new approach to study the dunes migration in the La'ayoune city of Morocco. *Int. Arch. Photogram. Rem. Sens. Spatial Inf. Sci.* 42
- Deng, Y., Wu, C., Li, M., & Chen, R. (2015). RNDSI: a ratio normalized difference soil index for remote sensing of urban/suburban environments. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf* 39: 40–48.
- Dong, G R., Shen, J Y., & Jin, J. (1988) Conceptions of desertification and desertification (in Chinese). *Arid Land and Geogr* 11: 58–61
- Fadhil Al-Quraishi, A.M. (2009). Land Degradation Detection Using Geo-Information Technology for Some Sites in Iraq. *Al-Nahrain. J. Sci* 12: 94–108.
- Fadhil, A. M. (2011). Drought mapping using Geoinformation technology for some sites in the Iraqi Kurdistan region, *International Journal of Digital Earth* 4(3): 239-257.
- Fadhil, A.M. (2013). March. Sand dunes monitoring using remote sensing and GIS techniques for some sites in Iraq. In: *PIAGENG 2013: Intelligent Information, Control, and Communication Technology for Agricultural Engineering*, vol. 8762. International Society for Optics and Photonics, p. 876206.
- Karnieli, A. (1997). Development and implementation of spectral crust index over dune sands. *Int J Remote Sensing* 18(6): 1207–1220.
- Koch, M. (2000). Geological controls of land degradation as detected by remote sensing: A case study in Los Monegros, north-east Spain. *Int J Remote Sensing* 21 (3): 457–473.
- Mohammadpoor, M., & Eshghizadeh, M. (2021). Introducing an intelligent algorithm for extraction of sand dunes from Landsat satellite imagery in terrestrial and coastal environments. *J. Coast Conserv.* 25 (1), 1–12. [in persian].
- Ndabula, C., Jidauna, G.G., Oyatayo, K., & Ati, O.F. (2018). Micro-Climatic Patterns of Land Degradation/Desertification Status in a Part of North-Eastern Sudano-Sahelian Zone of Nigeria. *FUDMA Journal of Science (FJS)* 2 (1): 116-129.
- Nguyen, C.T., Chidthaisong, A., Kieu Diem, P., & Huo, L.Z. (2021). A modified bare soil index to identify bare land features during agricultural fallow-period in Southeast Asia using Landsat 8. *Land* 10 (3), 231.
- Pan, X., Zhu, X., Yang, Y., Cao, C., Zhang, X., & Shan, L. (2018). Applicability of downscaling land surface temperature by using normalized difference sand index. *Sci. Rep* 8 (1): 1–14.
- Rogers, A.S., & Kearney, M.S. (2004). Reducing signature variability in unmixing coastal marsh Thematic Mapper scenes using spectral indices, *International Journal of Remote Sensing* 25 (12): 2317-2335.
- Sahar, A.A., Alhadithi, A.A., Hassan, M.A., & Jasim, A.A. (2021). Integrated remote sensing and GIS for developed new spectral index for estimating Sandy land and its potential hazards. Case study: north-east Al-Muthanna Province area, south of Iraq. *Arabian Journal of Geosciences* 14 (3): 1–11.
- Wand, T., Wu, W., Xue, X., Sun, Q., & Chen, G., (2004). Study of spatial distribution of sandy desertification in North China in recent 10 years. *Earth Sciences* 47: 78-88.
- Wang, X. (2013). Sandy desertification: Borne on the wind. *Chinese Science Bulletin* 58 (20): 2395 – 2403.
- Wang, Y. (2010). Typical agricultural areas of China _Dezhou city's structure changes based on past Decade data. *Journal of Geography and Geology* 2 (1): 93-97
- Wu, Z. (2003). Superficial review about the desertification in the North zone of China (in Chinese). *Acta Geogr Sin* 46: 266–276
- Xiao, J., Shen, Y., Tateishi, R., & Bayaer, W. (2006). Development of topsoil grain size index for monitoring desertification in arid land using remote sensing. *Int J Remote Sensing* 12: 2411–2422.
- Yang, G S., Liu, Y X., & Shi P J. (1986). Several problems on desertification in China. *Arid Zone Res* 3: 73–78.
- Zhu Z D. (1994). Current situation and prospect of land desertification problem (in Chinese). *Geogr Res* 13:105–113.
- Zhu, Z D., & Chen, G T. (1994). Sandy Desertification in China (in Chinese). Beijing: Science Press 7: 15- 22.

¹ Fadhil et al
² Deng et al
³ Dakir et al
⁴ Adnani et al
⁵ Pan
⁶ Sahar
⁷ Ayda