

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

Journal of Natural Environmental Hazards, Vol. ---, Issue ---, ---

# Spatiotemporal Analysis of Mobile Sand [g1] Expansion Using Spectral Indices (NDSI, NDSDI, BSI, CI, GSI, NDSLII, and ASI) from 2013 to 2024: A Case Study in Rostamabad-Rigan, Kerman Province

Mehdi Feyzolahpour<sup>1\*</sup> 

1. Corresponding Author, Associate Professor, Department of Geography, University of Zanjan, Zanjan, Iran  
Email: [feyzolahpour@znu.ac.ir](mailto:feyzolahpour@znu.ac.ir) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4126-0234>

Article Info	ABSTRACT
<p><b>Article type:</b> <b>Research Article</b></p> <p><b>Article history:</b> Received: --- Revised: --- Accepted: --- Published: ---</p> <p><b>Keywords:</b> Spectral Indices, ASI, Human Settlements, Desertification, Rostamabad.</p>	<p>Drifting sands have covered vast areas in the Rostamabad region of Kerman Province, posing a serious threat to human settlements. Therefore, this study investigates the expansion trend of drifting sands in the area using spectral indices. For this purpose, the following indices were employed: the Normalized Difference Sand Index (NDSI), the normalized difference of dunes index (NDSDI), the barren soil index (BSI), the Crust Index (CI), the normalized difference soil index (NDSLII), and the Grain Size Index (GSI). These indices were aggregated and averaged to formulate an Aggregate Sandification Index (ASI). The analysis was conducted over the period from 2013 to 2024, and the resulting ASI values were categorized into four groups using the Jenks* Natural Breaks Classification Method: active dunes, semi-active dunes, stabilized dunes, and semi-stabilized dunes. The results indicate that approximately 179.2 square kilometers were classified as active dune areas according to the ASI. Over the 11 years, the extent of these active areas decreased by 9.5%. Pearson correlation analysis revealed positive correlations among all indices, with the highest correlations observed between NDSI and CI at 0.98 and 0.97, respectively. Moreover, the ASI and NDSI demonstrated the highest Kappa coefficients, measured at 0.95 and 0.94, respectively. The findings further showed that extensive parts of the settlements and farmlands in the southern section of Rostamabad village have been severely affected by the expansion of drifting sands.</p>

**How to Cite:** Last Name, Initial., Last Name, Initial., & Last Name, Initial. (2021). Title of paper. *Journal of Natural Environmental Hazards*, -- (--), ----.



© The Author/Authors

DOI: 000000000000000000

**Publisher:** University of Sistan and Baluchestan

## **EXTENDED ABSTRACT**

### **INTRODUCTION**

Major topic in Earth sciences and has recently attracted considerable attention from the international community. This phenomenon, classified as a geomorphological issue, poses a threat to the environment and food security in the form of natural hazards. Over the past 50 years, desertification has affected large areas across the globe, resulting in significant environmental and economic consequences. Various definitions have been proposed for desertification caused by sand mobility. According to Yang et al. (1986), sandy desertification is influenced by geomorphological and climatic processes and is driven by wind or other agents acting on sandy deposits. Another definition, provided by Wand et al. (2004), describes the phenomenon as a form of land degradation resulting from unsustainable human activities in arid and semiarid regions. In recent decades, mobile sand phenomena have been documented in various regions worldwide, including China, Iraq, and North Africa.

### **DATA AND METHODOLOGY**

Rostamabad rural district is located in the southern part of Rigan city, Kerman Province, within the geographic coordinates of 58°52' to 59°16' E longitude and 28°32' to 28°48' N latitude. The region of mobile dunes lies in the southern part of Rigan and is predominantly spread across the southern and western sections. In this study, the status and trends of mobile sand were assessed using Landsat 8 imagery and ArcGIS software. Based on the Jenks natural breaks classification method, the dunes were categorized into four groups: active, semi-active, stable, and semi-stable. Active dunes refer to areas that are mobile, with a sand layer thickness exceeding 50 cm, comprising approximately 50% of the total mobile dunes. These dunes are widely distributed and have minimal vegetation cover of approximately 5%. The semi-active dunes were partially mobile, with sand thickness ranging from 30 to 50 cm. The vegetation cover in this class varied between 25% and 50%. The stable dunes are largely vegetated, with vegetation covering approximately 50% of the dune area. The sand layer in these dunes was relatively thin, indicating dune stabilization. To classify and identify these dunes, Landsat 8 imagery was used, resulting in the generation of six spectral indices (SIs). This process was performed using ArcGIS. The final index, referred to as the Aggregate Sandification Index (ASI), was calculated by aggregating and averaging the six spectral layers. Classification was performed using the Jenks method. In this model, positive index values indicate increased changes, whereas negative values reflect reduced changes. Each of the six indices used in this study is described in detail below.

### **RESULTS AND DISCUSSION**

The emphasis on vegetation cover in most spectral indices has led to a reduced focus on other precise parameters associated with desertification. Although vegetation plays a significant role in controlling desertification, in some cases, it has failed to effectively monitor or mitigate the advancement of sandy desertification. The presence of several active sandy zones within the study area highlights the fact that addressing this phenomenon requires more time and effort. Despite the substantial differences among the six indices, undeniable similarities were also observed. Notably, the ASI index exhibited strong correlations with other indices, particularly with the CI and NDSI, with correlation values of 0.97 and 0.98, respectively. The lowest correlation values were found between the NDSL and NDSI indices, at 0.50 and 0.18, respectively. To classify the status of shifting sands, the Jenks natural breaks method was employed, dividing the study area into four classes: active, semi-active, stabilized, and semi-stabilized sands. Based on the findings of the ASI index, which is derived from the aggregation and averaging of all indices, it was observed that in 2024, approximately 179.2 km<sup>2</sup>, or 28% of the entire region, was occupied by active dunes. This pattern was consistent for all indices. Validation using the Kappa coefficient further confirmed that the ASI and NDSI indices had the highest accuracy,

with Kappa values of 0.95 and 0.94, respectively. The findings of this study indicate that infrastructure, settlements, water bodies, and farmlands are extensively at risk because of the encroachment of shifting sands. If this trend continues, it could escalate into a national economic disaster.

## CONCLUSION

The emphasis on vegetation cover in most spectral indices has led to a reduced focus on other precise parameters related to desertification. Although vegetation plays a significant role in controlling the desertification process, in some cases, it has failed to effectively monitor or mitigate the advancement of sandy desertification. The presence of several active sandy zones within the study area highlights the reality that addressing this phenomenon requires more time and effort. Despite substantial differences among the six indices, undeniable similarities were also observed. Notably, the ASI index exhibited strong correlations with other indices, particularly with CI and NDSI, showing correlation values of 0.97 and 0.98, respectively. The lowest correlation values were found between the NDSL and NDSI indices, amounting to 0.50 and 0.18, respectively. To classify the status of shifting sands, the Jenks natural breaks method was employed, dividing the study area into four classes: active, semi-active, stabilized, and semi-stabilized. Based on the findings of the ASI index, which is derived from the aggregation and averaging of all indices, it was observed that in 2024, approximately 179.2 km<sup>2</sup>, or 28% of the entire region, was occupied by active dunes. This pattern was consistent across all indices. Validation using the Kappa coefficient further confirmed that the ASI and NDSI indices had the highest levels of accuracy, with Kappa values of 0.95 and 0.94, respectively. The findings of this study indicate that infrastructure, settlements, water bodies, and farmlands are extensively at risk due to the encroachment of shifting sands. If this trend continues, it could escalate into a national-scale economic disaster.

## ETHICAL CONSIDERATIONS

**Conflict of Interest Statement:** The authors declare no conflict of interest.

**Ethical Statement:** This article does not contain any studies with human participants or animals performed by any of the authors.

## REFERENCES

### References (in Persian)

- Salehpourjam, A., & Tabatabaei, M. (2018). Investigation of the soil characteristics on desertification potential in alluvial fans using AHP-FUZZY SAW method (case study: alluvial fans surrounding Halghe Dareh and Jaroo Mountains, Eshtehard), *Journal of Natural Environmental Hazards*, 7(17), 195-212. <https://doi.org/10.22111/jneh.2019.25122.1407> [In Persian]
- Sargazi, H., Ownegh, M., & Barani, H. (2019). Investigation and ranking of Managerial factors of land degradation and desertification in the Sistan Plan. *Journal of Natural Environmental Hazards*. 8(21), 129-146. <https://doi.org/10.22111/jneh.2018.19785.1236> [In Persian]

### References [in English]


- Adnani, M., Azzaoui, M., Elbelrhiti, H., Ahmamou, M., Masmoudi, L., & Chiban, M. (2016). Yardi sand dunes (Erfoud area, southeastern Morocco): color, composition, sand's provenance, and transport pathways. *Arabian Journal of Geoscience* 9(5), 366- 375. <https://doi.org/10.1007/s12517-016-2394-x>
- 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.
- 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 International* 34 (13), 1514–1529. <https://doi.org/10.1080/10106049.2018.1493154>
- 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*, 419, 012015. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/419/1/012015>

- 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., & Baïdier, L. (2016). Automatic extraction of dunes from Google Earth images new approach to study the dunes migration in the La'ayoune city of Morocco. The international archives of photogrammetry, *remote sensing, and spatial information sciences*. 42. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W1-53-2016>
- Deng, Y., Wu, C., Li, M., & Chen, R. (2015). RNSDI: a ratio normalized difference soil index for remote sensing of urban/suburban environments. *Earth Observation and Geoinformation*. 39, 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.02.010>
- Dong, G R., Shen, J Y., & Jin, J. (1988). Conceptions of desertification and desertization (in Chinese). *Arid Land and Geography* 11, 58–61
- Fadhil Al-Quraishi, A.M. (2009). Land Degradation Detection Using Geo-Information Technology for Some Sites in Iraq. Al-Nahrain. *Journal of Al-Nahrain University* 12, 94–108. <https://doi.org/10.22401/JNUS.12.3.13>
- 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. <https://doi.org/10.1080/17538947.2010.489971>
- 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. <https://doi.org/10.1117/12.2019735>
- Karnieli, A. (1997). Development and implementation of spectral crust index over dune sands. *International Journal of Remote Sensing* 18(6), 1207–1220. <https://doi.org/10.1080/014311697218368>
- Koch, M. (2000). Geological controls of land degradation as detected by remote sensing: A case study in Los Monegros, north-east Spain. *International Journal of Remote Sensing* 21 (3), 457–473. <https://doi.org/10.1080/014311600210687>
- 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.
- Ndabula, C. (2021). Spectral Analysis of sandy desertification in the Semi-arid zone of North eastern Nigeria, *Journal of natural Sciences Research* 12(14), 27-44.
- 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. *Scientific Reports*. 8 (1), 1–14.
- Rogers, A.S., & Kearney, M.S. (2004). Reducing signature variability in unmixed 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 Geographica Sinica* 46, 266–276 27. <https://doi.org/10.11821/xb199103002>
- 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* 12, 2411–2422.
- Yang, G.S., Liu, Y.X., & Shi P J. (1986). Several problems on desertification in China. *Arid Zone Research* 3, 73–78.
- Zhu ZD. (1994). Current situation and prospect of land desertification problem (in Chinese). *Geographical Research* 13, 105–113.
- Zhu, Z D., & Chen, G T. (1994). Sandy De ser tificati on in China (in Chinese). *Beijing: Science Press* 7, 15- 22.

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ... شماره ...

## تحلیل روند گسترش ماسه های روان با بهره گیری از شاخص های طیفی NDSI، NDSI، BSI، CI، GSI و ASI در بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۴ (منطقه مورد مطالعه: منطقه رستم آباد ریگان استان کرمان)

مهدی فیض اله پور<sup>۱</sup> \* 

۱. دانشیار، گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران (نویسنده مسئول)

ایمیل: [fevzolahpour@znu.ac.ir](mailto:fevzolahpour@znu.ac.ir) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4126-0234>

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ---/---/--- تاریخ ویرایش: ---/---/--- تاریخ پذیرش: ---/---/--- تاریخ انتشار: ---/---/---</p> <p>واژه‌های کلیدی: شاخص های طیفی، ASI، سکونتگاه های انسانی، بیابان زایی، رستم آباد ریگان.</p>	<p>ماسه های روان بخش های وسیعی را در منطقه رستم آباد استان کرمان پوشش داده و سکونتگاه های انسانی را تهدید می کند. لذا در این تحقیق با بهره گیری از شاخص های طیفی به بررسی روند گسترش ماسه های روان در این منطقه پرداخته شده است. به این منظور از شاخص های طیفی تفاوت نرمال شده ماسه های (NDSI)، تفاوت نرمال شده تپه های ماسه ای (NDSDI)، شاخص خاک بایر (BSI)، شاخص پوسته (CI)، شاخص تفاوت نرمال شده خاک (NDSLII) و شاخص اندازه ذرات (GSI) استفاده شده و با تجمیع و میانگین گیری از این شاخص ها، شاخص ماسه ای کل (ASI) ارائه گردید. روند فوق برای دوره زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۴ انجام شده و مقادیر حاصله بر اساس روش طبقه بندی Jenks به چهار گروه تپه های ماسه ای فعال، نیمه فعال، ثابت و نیمه ثابت تقسیم شد. نتایج نشان می دهد که در سال ۲۰۲۴ و در شاخص ASI حدود ۱۷۹/۲ کیلومتر مربع اختصاص به نواحی فعال داشته است. در بازه زمانی ۱۱ ساله وسعت این نواحی ۹/۵ درصد کاهش یافته است. در مقابل مشاهده می شود که مناطق تثبیت شده در این بازه زمانی با ۲۷/۸ درصد افزایش مواجه گردیده است. با این حال بیشترین پهنه در این منطقه با وسعتی معادل ۲۵۹/۴ اختصاص به پهنه های نیمه فعال داشته است. در تحلیل همبستگی پیرسون نیز مشاهده شده که بیشترین میزان همبستگی بین شاخص های ASI و NDSI به میزان ۰/۹۸ و سطح معنی داری <math>P &lt; (10)^{-250}</math> و شاخص های CI و ASI به میزان ۰/۹۷ و سطح معنی داری <math>P &lt; (10)^{-300}</math> به دست آمد که نشان دهنده سطح معنی داری بالایی است. برای محاسبه ضرایب همبستگی از ۱۴۸۰ نمونه استفاده شد. نتایج نشان داد که بر اساس نقشه ASI بخش های جنوبی روستای رستم آباد در محدوده نواحی فعال قرار داشته و سکونتگاه ها از این امر متأثر شده اند.</p>

استناد: نام خانوادگی، نام؛ نام خانوادگی، نام؛ و نام خانوادگی، نام (۱۴۰۰). عنوان مقاله. مخاطرات محیط طبیعی، ---، ---.

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

© نویسنده / نویسندگان

DOI: 00000000000000000000000000000000



# این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

## مقدمه

پدیده بیابان زایی به خصوص ماسه های روان از مباحث مهم در زمینه علوم زمین بوده که در سال های اخیر به شکل گسترده ای مورد توجه مجامع بین المللی قرار گرفته است. پدیده فوق از جمله مباحث ژئومورفولوژیکی بوده که به شکل مخاطرات طبیعی، محیط زیست و امنیت غذایی را مورد تهدید قرار داده است (وانگ<sup>۱</sup>، ۲۰۱۳: ۲۳۹۷). این پدیده در ۵۰ سال اخیر نقاط جهان را متاثر ساخته و تبعات زیست محیطی و اقتصادی بر جای گذاشته است. برای پدیده بیابان زایی در اثر ماسه های روان تعاریف متعددی ارائه شده است (زو<sup>۲</sup> و همکاران، ۱۹۹۴: ۱۷، زو، ۱۹۹۴: ۱۰۷، یانگ<sup>۳</sup> و همکاران، ۱۹۸۶: ۷۵، دونگ<sup>۴</sup> و همکاران، ۱۹۸۸: ۶۰، وو<sup>۵</sup>، ۲۰۰۳: ۲۶۹). بر اساس تعریفی که یانگ و همکاران (۱۹۸۶) ارائه داده اند بیابان زایی ماسه ای متاثر از فرایندهای ژئومورفولوژیکی و اقلیمی بوده که به وسیله عامل باد یا عوامل دیگر در رسوبات ماسه ای ایجاد گردیده است. در تعریف دیگری که وانگ<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۰۴) ارائه داده اند این پدیده شکلی از تخریب زمین بوده که بوسیله فعالیت های ناپایدار انسانی در نواحی خشک و نیمه خشک نمایان گشته است. پدیده ماسه های روان در دهه های اخیر در بخش های مختلفی از جهان از قبیل چین، عراق و شمال آفریقا به وقوع پیوسته است (احمدی و همکاران، ۲۰۱۷: ۸۳) در بین عوامل موثر در بیابان زایی، عامل ماسه های روان یکی از مخرب ترین عوامل به شمار می آید. این پدیده با تخریب زیرساختها، نواحی جنگلی، زراعی و منابع آبی، باعث کاهش بهره وری اکوسیستم می گردد (وانگ و همکاران، ۲۰۱۰: ۹۵). تپه های ماسه ای ۲۰ درصد از نواحی خشک و نیمه خشک را در بر گرفته و در آب و هوای مختلف و در تمامی قاره ها گسترده شده اند. این نوع تپه ها در اثر عوامل مختلفی از قبیل پوشش گیاهی، قطر ذرات و جهت بادهای غالب شکل می گیرند. در این نواحی به علت حاصلخیزی کم و ظرفیت پایین نگهداری آب، پوشش گیاهی ضعیف می باشد. فرسایش بادی نقش چشمگیری در گسترش بیابانزایی ایفا می کند. بیابان زایی زمانی به وقوع می پیوندد که عامل انسانی باعث تشدید فرایندهای ژئومورفولوژیکی گردد. با افزایش بهره گیری از فناوری های مدرن در گسترش سطح زیر کشت، روند تخریب زمین شدت یافته است. شدت این تخریب بر حسب شرایط اقلیمی، نوع کاربری، پوشش گیاهی و خصوصیات رسوبات متفاوت می باشد.

نوحی خشک و نیمه خشک نسبت به فعالیت های انسانی آسیب پذیرتر بوده و نسبت به بیابان زایی حساس می باشند (کوچ<sup>۷</sup>، ۲۰۰۰: ۴۶۰). پدیده ماسه های روان زمانی به وقوع می پیوندد که ذرات ماسه به وسیله باد حمل شده و در زمین های بایر و یا زمی نهایی زراعی بر جای گذاشته شوند. در این پدیده، عامل حفر و رسوبگذاری به دفعات متعدد رخ می دهد. ماسه های روان با گسترش خود، مزارع، جاده ها، روستاها و کانال های آبیاری را پوشانده و خسارتهای اقتصادی قابل توجهی را بر جای می گذارند. برای مقابله با این پدیده بایستی اقداماتی در جهت مهار حرکت ماسه های روان انجام گیرد. فرایندهای بادی در نواحی خشک و نیمه خشک باعث سرعت بخشیدن به حرکت ماسه های روان می گردند. این نواحی به علت شرایط ناپایدار، در برابر فعالیت های انسانی و تغییرات اقلیمی آسیب

<sup>1</sup> Wang

<sup>2</sup> Zhu

<sup>3</sup> Yang

<sup>4</sup> dong

<sup>5</sup> Wu

<sup>6</sup> Wand

<sup>7</sup> Koch

## این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

پذیر هستند (پان<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۸: ۷، صالح پور، ۱۳۹۷: ۲۰۳، سرگزی، ۱۳۹۸: ۱۳۵). این پدیده در نواحی خشک جهان و در حواشی کویرها مشاهده می‌گردد. حرکت ماسه‌های روان به عوامی مانند نحوه بهره‌گیری از منابع طبیعی و خصوصیات بیوفیزیکی این مناطق وابسته است. بر این اساس بررسی روند این حرکت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بخش عمده مطالعات در زمینه بیابان‌زایی بر نظارت بر پوشش گیاهی استوار است. حرکت ماسه‌های روان، کارایی و بهره‌وری زمین را کاهش می‌دهد. در دهه‌های اخیر حرکت ماسه‌های روان در چین و برخی کشورهای آسیایی مورد بررسی قرار گرفته است. تکنیک‌های سنجش از دور در ترکیب با GIS تکنیک‌های قدرتمندی را در بررسی حرکت ماسه‌های روان ارائه می‌دهد. لذا محققین بسیاری از این تکنیک‌ها استفاده کرده و جنبه‌های اقتصادی، ژئومورفولوژیکی و اکولوژیکی این پدیده را مورد مطالعه قرار داده‌اند (ندابولا<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۸: ۱۱۹). سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ در نظارت بر این نوع پدیده‌ها از جایگاه ویژه‌ای برخوردار بوده و بر این اساس شاخص‌های طیفی مختلفی ارائه شده است. فادهیل<sup>۳</sup> (۲۰۰۹، ۲۰۱۳) دو شاخص طیفی مبتنی بر ماسه و ماسه را بر اساس سنجنده TM ماهواره لندست ۵ ارائه داد. دنگ<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۵) بر اساس تفاوت نرمال شده خاک، شاخص RNDI را پیشنهاد کردند. داکر<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۶) حرکت تپه‌های ماسه‌ای را در بازه زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۳ مورد بررسی قرار داده و مشاهده کردند که در این بازه زمانی، تپه‌ها حدود ۳۲ متر حرکت کرده‌اند. عدنانی<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ASTER تفاوت رنگ تپه‌های نی در منطقه ارفود را در نسبت باندها ۶/۲ مورد مطالعه قرار دادند. پان و همکاران (۲۰۱۸) بر اساس تصاویر لندست ۸ شاخصی را به منظور تفکیک ماسه از خاک ارائه دادند. ساهار<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۲۱) شاخص جدیدی را با بهره‌گیری از سنجنده TM ماهواره لندست ۵ و OLI ماهواره لندست ۸ پیشنهاد کردند. شاخص فوق از توانایی تشخیص ماسه و ماسه برخوردار است. شاخص فوق در محدوده -۱ و +۱ قرار داشته و با عنوان شاخص تفاوت نرمال شده زمین‌های ماسه‌ای (NDSL) شناخته می‌شود. در این شاخص پهنه‌های ماسه‌ای با مقادیر کمتر از صفر نمایش داده می‌شوند. آیدا<sup>۸</sup> و همکاران (۲۰۱۹) برای تفکیک تپه‌های ماسه‌ای از سایر پدیده‌ها از روش ماشین بردار پشتیبانی و حداکثر احتمال استفاده کردند. به این منظور از داده‌های ماهواره لندست ۵ و ۸ در محدوده زمانی ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۱ بهره‌گرفته شده و مشاهده شد که مناطق ماسه‌ای به شکل قابل توجهی گسترش یافته است. آیدا و همکاران (۲۰۲۰) برای تشخیص پهنه‌های ماسه‌ای از ماهواره سنتینل ۲ و تکنیک‌های نظارت نشده و شاخص‌های طیفی استفاده کرده و نتایج نشان داد که این مدل‌ها از قابلیت خوبی در تشخیص تپه‌های ماسه‌ای برخوردارند.

استان کرمان با قرارگیری در منطقه خشک ایران در معرض پدیده حرکت ماسه‌های روان قرار داشته و بخش‌هایی از این استان با شدت بیشتری این پدیده را تجربه می‌نماید. منطقه رستم آباد ریگان به شکل گسترده‌ای در معرض تپه‌های ماسه‌ای قرار گرفته و این امر باغات و سکونتگاه‌ها را متاثر ساخته است. شناسایی پهنه‌ها و رفتار و روند حرکت ماسه‌های روان در کنترل این پدیده نقش مهمی را ایفا می‌کند. لذا با توجه به موارد ذکر شده در این تحقیق به منظور تحلیل روند تغییرات ماسه‌های روان در بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۴ در محدوده نواحی روستایی ریگان

<sup>1</sup> Pan

<sup>2</sup> Ndabula

<sup>3</sup> Fadhil

<sup>4</sup> Deng

<sup>5</sup> Dakir

<sup>6</sup> Adnani

<sup>7</sup> Sahar

<sup>8</sup> Aydda

# این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

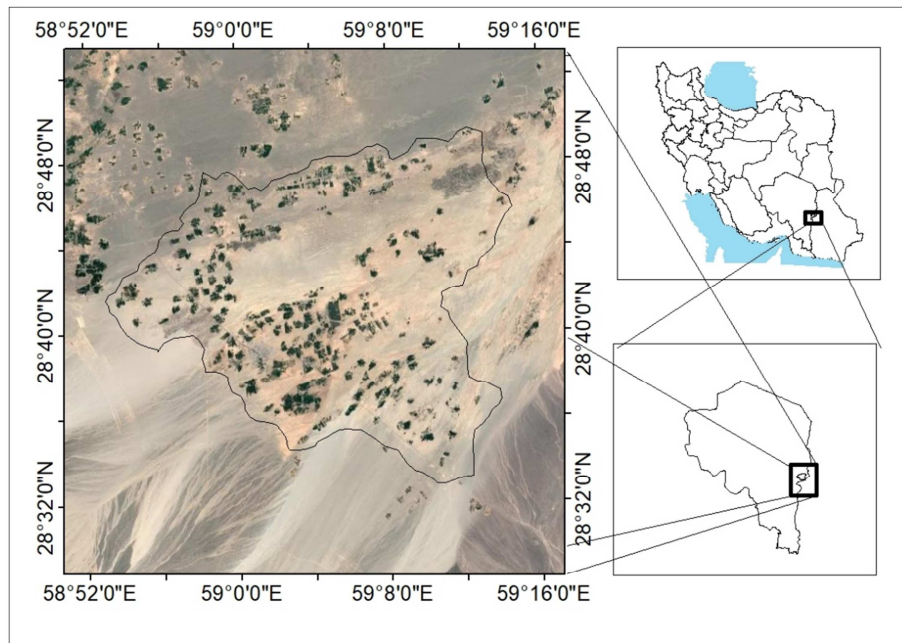
کرمان از شاخص های CI، GSI، NDSI، NDSL، BSI و NDSI استفاده شده و نتایج حاصله با شاخص ASI مقایسه گردید.

## داده ها و روش ها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با مساحتی در حدود ۶۴۱/۴ کیلومتر مربع در منطقه روستای رستم آباد در بخش جنوبی شهر ریگان استان کرمان و در مختصات جغرافیایی ۵۸ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۱۶ دقیقه طول شرقی و ۲۸ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. ماسه های روان در بخش جنوبی شهر ریگان واقع شده است. این تپه ها در بخش جنوبی و غربی این منطقه گسترده شده اند. در این تحقیق وضعیت و روند ماسه های روان با بهره گیری از تصاویر لندست ۸ و نرم افزار Arc GIS و در بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۴ مورد بررسی قرار گرفت. علت استفاده از سال های ۲۰۱۳، ۲۰۱۸، ۲۰۲۱ و ۲۰۲۴ تعلق آنها به تصاویر ماهواره ای لندست ۸ می باشد. اولین تصاویر ماهواره ای لندست ۸ در سال ۲۰۱۳ ارائه گردید. بهره گیری از سال های بیشتر با توجه به تعداد بالای شاخص های مورد مطالعه، تعداد نقشه ها را به شکل قابل توجهی افزایش می داد لذا در بازه زمانی ۱۱ سال، ۴ سال به عنوان نمونه انتخاب شد. وضعیت ماسه های روان با بهره گیری از روش Jenks به چهار گروه فعال، نیمه عال، ثابت و نیمه ثابت تقسیم شدند (ندابولا، ۲۰۲۱). گروه فعال اشاره به مناطقی دارد که متحرک بوده و از ضخامتی بیش از ۵۰ سانتیمتر برخوردار بوده و ۵۰ درصد تپه های متحرک را شامل شده و به طور گسترده ای پراکنده شده اند. در این بخش از طبقه بندی، پوشش گیاهی تنها ۵ درصد از تپه ها را شامل می شود. بخش های نیمه فعال تپه ها نیمه متحرک بوده و از ضخامتی در حدود ۳۰ تا ۵۰ سانتیمتر برخوردارند. پوشش گیاهی در این بخش بین ۲۵ تا ۵۰ درصد می باشد. تپه هایی که در طبقه تپه های ثابت قرار گرفته اند توسط پوشش گیاهی پوشیده شده اند به عبارتی حدود ۵۰ درصد از این تپه ها اختصاص به پوشش گیاهی دارد. ضخامت لایه ماسه ای نیز در این تپه ها بسیار کم می باشد. این تپه ها تثبیت شده اند. برای طبقه بندی و شناسایی این تپه ها از تصاویر لندست ۸ استفاده شده و بر این اساس ۶ شاخص طیفی تولید گردید. فرایند فوق در نرم افزار Arc GIS انجام شد. شاخص نهایی ASI نیز از تجمیع و میانگین گیری این لایه ها انجام شد. در نهایت فرایند طبقه بندی بر اساس مدل Jenks اجرا گردید. در این شاخص ها مقادیر مثبت نشان دهنده افزایش تغییرات بوده و مقادیر منفی نمایانگر کاهش تغییرات می باشد. هر یک از شاخص های ۶ گانه فوق در زیر شرح داده شده است.

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه در تپه های ماسه ای محدوده رستم آباد ریگان

شاخص پوسته<sup>۱</sup> (CI) توسط کارنیلی (۱۹۹۷) ارائه شد. از این شاخص در تشخیص مناطق ماسه ای بهره گرفته می شود. در این شاخص از دو باند آبی و قرمز استفاده شده و با بهره گیری از تصاویر لندست ۸ معادله زیر ارائه می گردد.

$$CI = \frac{Red-Blue}{Red+Blue} \quad (1)$$

زیائو (۲۰۰۶) برای بررسی اندازه ذرات شاخصی را با عنوان شاخص اندازه ذرات<sup>۲</sup> (GSI) ارائه کرد که در آن پوشش گیاهی مقادیر نزدیک به صفر را در بر گرفته و پهنه های آبی دارای مقدار عددی صفر می باشند. در این شاخص پهنه های متاثر از ماسه دارای مقادیر مثبت می باشند. تفاوت مابین پوشش گیاهی، خاک بایر و آب بر اساس تفاوت بین باند قرمز و آبی سنجیده شده و تجمیع بادهای سبز، آبی و قرمز باعث تمایز خاک سطحی بر اساس اندازه ذرات می گردد. برای محاسبه این شاخص از معادله زیر استفاده می شود.

$$GSI = \frac{Red-Blue}{Red+green+Blue} \quad (2)$$

برای ارزیابی تپه های ماسه ای و گسترش آنها، شاخص جدیدی با عنوان شاخص تفاوت نرمال شده تپه های ماسه ای<sup>۳</sup> (NDSDI) ارائه گردید (فادهیل، ۲۰۰۹). این شاخص به خوبی پهنه های مختلف سطوح خشک، آب، خاک ماسه ای و پوشش گیاهی را از یکدیگر متمایز می کند. این شاخص بر اساس تفاوت طیفی بین باندهای مادون قرمز موج کوتاه و باند قرمز طراحی شده است. در این شاخص مقادیر مثبت اختصاص به پوشش های گیاهی داشته و مقادیر منفی تپه های ماسه ای را نشان می دهد. شاخص فوق بر اساس معادله زیر برآورد می گردد.

<sup>1</sup> Crusting index

<sup>2</sup> Grain size index

<sup>3</sup> Normalized difference sand dune index

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

$$NDSDI = \frac{Red-SWIR1}{Red+SWIR1} \quad (3)$$

فاده‌یل و همکاران (۲۰۱۱) بر اساس تفاوت طیفی بین باند ۴ و ۱، پهنه‌های ماسه‌ای را از سایر اشکال خاک متمایز کرده و شاخص تفاوت نرمال شده شن<sup>۱</sup> NDSI را ارائه کردند. مقادیر بالای NDSI نشان دهنده پهنه‌های پوشیده از ماسه می‌باشد. تفاوت بازتابی باندهای ۱ و ۴ در پهنه‌های ماسه‌ای بیشتر از سایر پهنه‌هاست. لیکن تفاوت بازتابی ماسه و خاک در باندهای ۴ و ۷ مشابه یکدیگر می‌باشد. از بین شاخص‌های ارائه شده در زمینه تشخیص ماسه، این شاخص با قدرت بالایی می‌تواند در تصاویر لندست ۸ و ماسه را از خاک متمایز سازد. برای محاسبه این شاخص از معادله زیر استفاده می‌شود.

$$NDSI = \frac{Red-Coastal\ aerosol}{Red+Coastal\ aerosol} \quad (4)$$

چون در سال ۲۰۰۴ برای تشخیص خاک بایر، شاخص خاک بایر<sup>۲</sup> (BSI) را ارائه کرد. این شاخص برای ثبت تغییرات از باندهای آبی، قرمز، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز موج کوتاه بهره می‌گیرد. این باندها به صورت نرمال شده به کار گرفته می‌شوند. باندهای مادون قرمز موج کوتاه و قرمز و ویژگی‌های خاک را نشان داده و باندهای آبی و مادون قرمز نزدیک پهنه‌های گیاهی را نمایش می‌دهد. برای برآورد این شاخص از معادله زیر استفاده می‌شود.

$$BSI = \frac{(SWIR1+RED)-(NIR+BLUE)}{(SWIR1+RED)+(NIR+BLUE)} \quad (5)$$

راجرز (۲۰۰۴) برای شناسایی پهنه‌های ترکیبی خاک و ماسه، شاخص تفاوت نرمال شده خاک<sup>۳</sup> (NDSL<sub>I</sub>) را ارائه کرده و از طریق معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$NDSL_I = \frac{SWIR1-GREEN}{SWIR1+GREEN} \quad (6)$$

در نهایت از ترکیب و میانگین‌گیری از تمام شاخص‌های فوق شاخص کلی ماسه<sup>۴</sup> (ASI) ارائه شد. مقادیر این شاخص بین +۱ و -۱ قرار داشته و مقادیر مثبت، تپه‌های ماسه‌ای را نشان می‌دهند. معادله فوق به صورت زیر می‌باشد.

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

به منظور تعیین همبستگی بین شاخص ASI با شاخص‌های ۶ گانه از ضریب همبستگی پیرسون و ضریب تعیین R<sup>2</sup> بهره گرفته شد. همبستگی پیرسون برای بررسی روابط خطی بین دو متغیر به کار گرفته شده و از طریق معادله زیر برآورد می‌گردد.

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

در این معادله مقادیر MA و MB اشاره به میانگین متغیرهای A و B دارد. مقدار مثبت در این همبستگی اشاره به همبستگی مثبت داشته و مقادیر منفی همبستگی منفی را نمایش می‌دهد.

<sup>1</sup> Normalized difference sand index

<sup>2</sup> Bare soil index

<sup>3</sup> Normalized difference sandy land index

<sup>4</sup> Aggregate sandification index

## این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

در آخرین بخش از تحقیق به منظور تعیین درجه صحت مقادیر پیش ینی شده در شخص ASI با مقادیر واقعی از ضریب کاپا استفاده شد. در این ضریب تفاوت‌های بین ماتریس خطاها مورد سنجش و آزمایش قرار گرفته و مقادیری بین صفر تا ۱ حاصل می شود. ضریب کاپا از طریق معادله زیر محاسبه می گردد.

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

در این معادله عبارت  $N$ ،  $X_{ii}$ ،  $X_{i+}$  و  $X_{+i}$  نشان دهنده تعداد نمونه ها، مقادیر چولگی، دقت کاربر و دقت تولیدکننده می باشد.

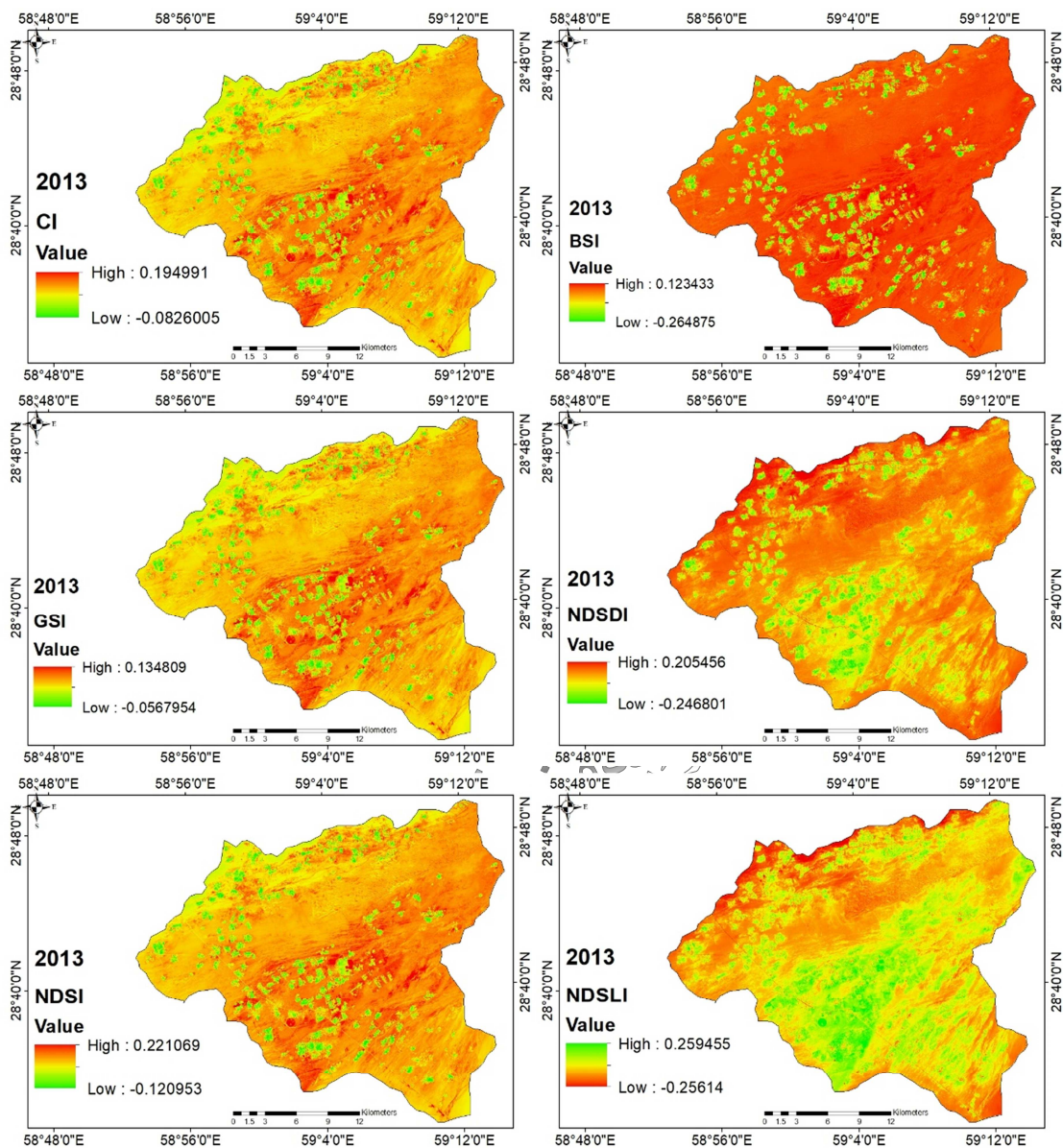
### یافته‌های تحقیق

منطقه رستم آباد در جنوب ریگان با بهره گیری از شخص های ۶ گانه به ۴ گروه تپه های ماسه ای فعال، نیمه فعال، ثابت و نیمه ثابت تقسیم شد. برخی از این شاخص ها دارای شباهتهایی با یکدیگر بوده و این شباهتها بیشتر در فاکتور گسترش و سرعت حرکت خود را نشان داده است. تپه های ماسه ای دارای الگوهای رفتاری زمانی و مکانی هستند این الگوها در مناطق خشک و نیمه خشک در بازه زمانی طولانی مدت در برابر عوامل انسانی و اقلیمی حساس هستند. تپه های فعال و نیمه فعال در گذر زمان تغییر یافته و برخی مناطق تشبیت شده اند. این امر زمین های زراعی و پهنه های بی باخ را با خطر مواجه ساخته است. مقادیر هر یک از این شاخص ها در بازه های زمانی ۲۰۱۳، ۲۰۲۱، ۲۰۲۴ برآورد گردیدند.

بر اساس شخص پوسته (CI) مشاهده می شود که تپه های ماسه ای فعال و نیمه فعال در سال ۲۰۲۴ از وسعتی معادل ۱۶۰/۲ و ۲۳۰/۶ کیلومتر مربع برخوردار بوده اند از سال ۲۰۱۳ وسعت تپه های ماسه ای فعال ۳ درصد کاهش داشته و تپه های ماسه ای نیمه فعال با ۱۰/۸ درصد کاهش روبرو بوده اند. در این بازه زمانی وسعت پهنه های ثابت و نیمه ثابت نیز به مقدار ۳/۷ و ۱۰/۳ درصد افزایش یافته است. بیشترین میزان خطر بیابان زایی در تپه های ماسه ای نیمه فعال مشاهده شد. پوشش گیاهی این مناطق ممکن است در اثر پیشروی ماسه های روان از بین بروند. نتایج حاصل از شاخص GSI نیز وسعت تپه های ماسه ای فعال و نیمه فعال را معادل ۱۶۲/۳ و ۲۲۴/۱ کیلومتر مربع نشان داده است. مناطق نیمه ثابت و ثابت در این شاخص حدود ۷/۵ و ۳/۹ درصد افزایش را نشان داده اند.

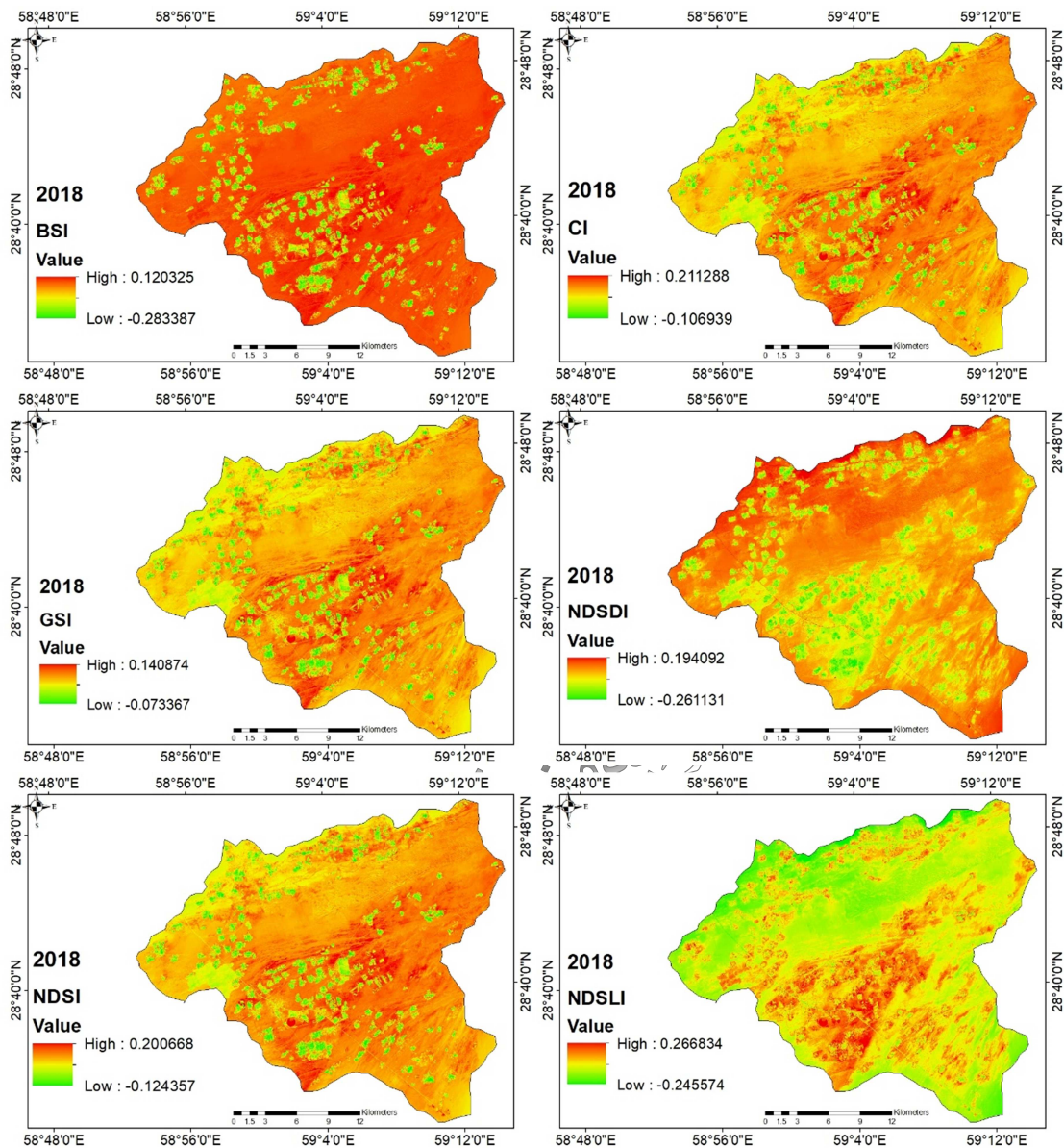
نتایج حاصل از شاخص NDSI نشان می دهد که تپه های ماسه ای نیمه فعال بیشترین پهنه را به وسعت ۲۲۲/۹ کیلومتر مربع به خود اختصاص داده و از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۴ با حدود ۲/۲ درصد کاهش همراه بوده اند. در این شاخص وسعت تپه های ماسه ای فعال ۱۹/۳ درصد کاهش یافته است. بر اساس نتایج حاصل از شاخص NDSI نیز تپه های ماسه ای فعال با وجود کاهش ۷/۶ درصدی در سال ۲۰۲۴ حدود ۱۵۴/۷ کیلومتر مربع از منطقه را به خود اختصاص داده است. این میزان حدود ۲۴/۱ درصد از منطقه را در بر گرفته است. بیشترین خطر بیابان زایی نیز در منطقه نیمه فعال مشاهده شد.

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.



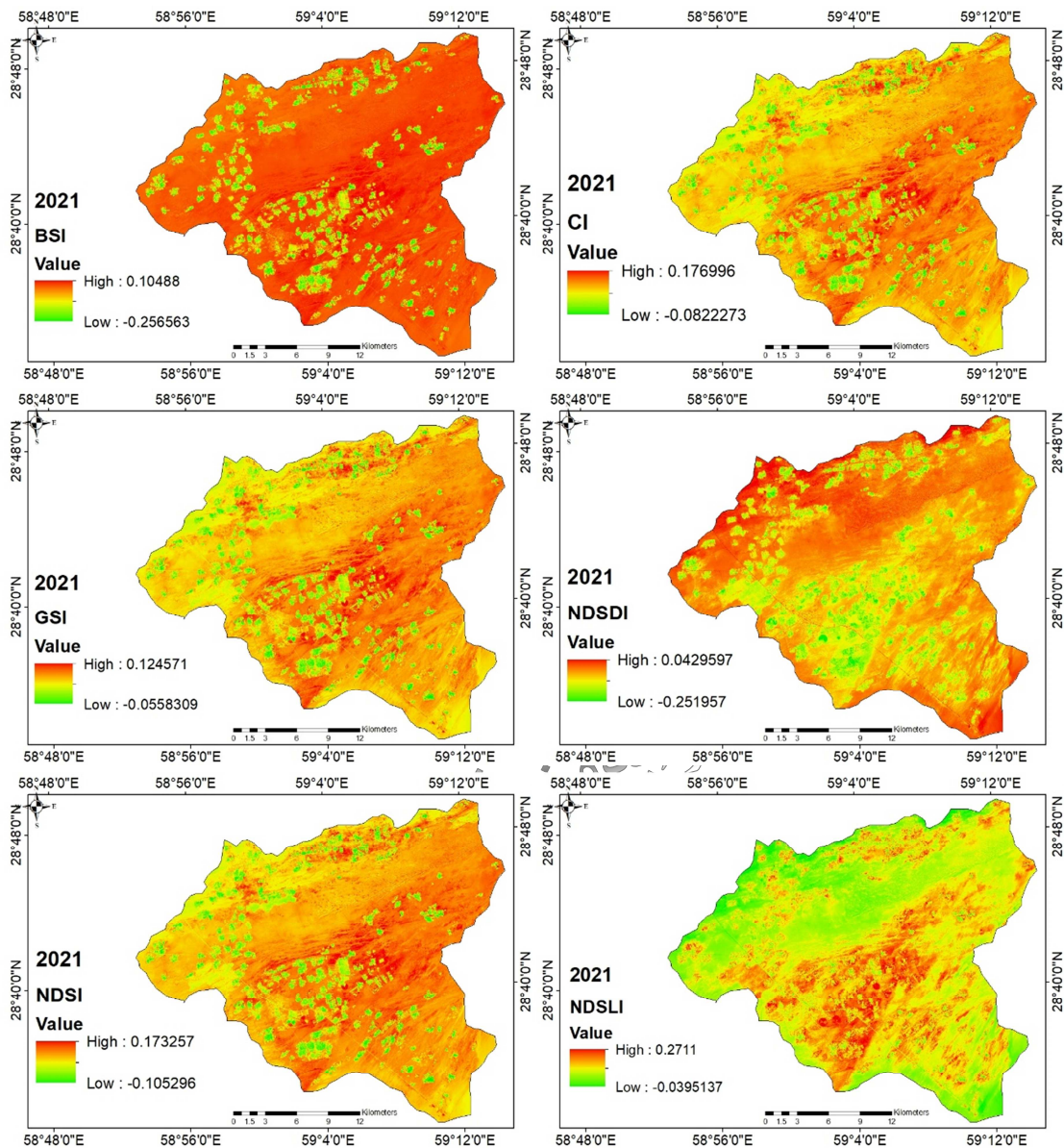
شکل ۲: تغییر پهنه تپه های ماسه ای بر اساس ۶ شاخص در سال ۲۰۱۳

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.



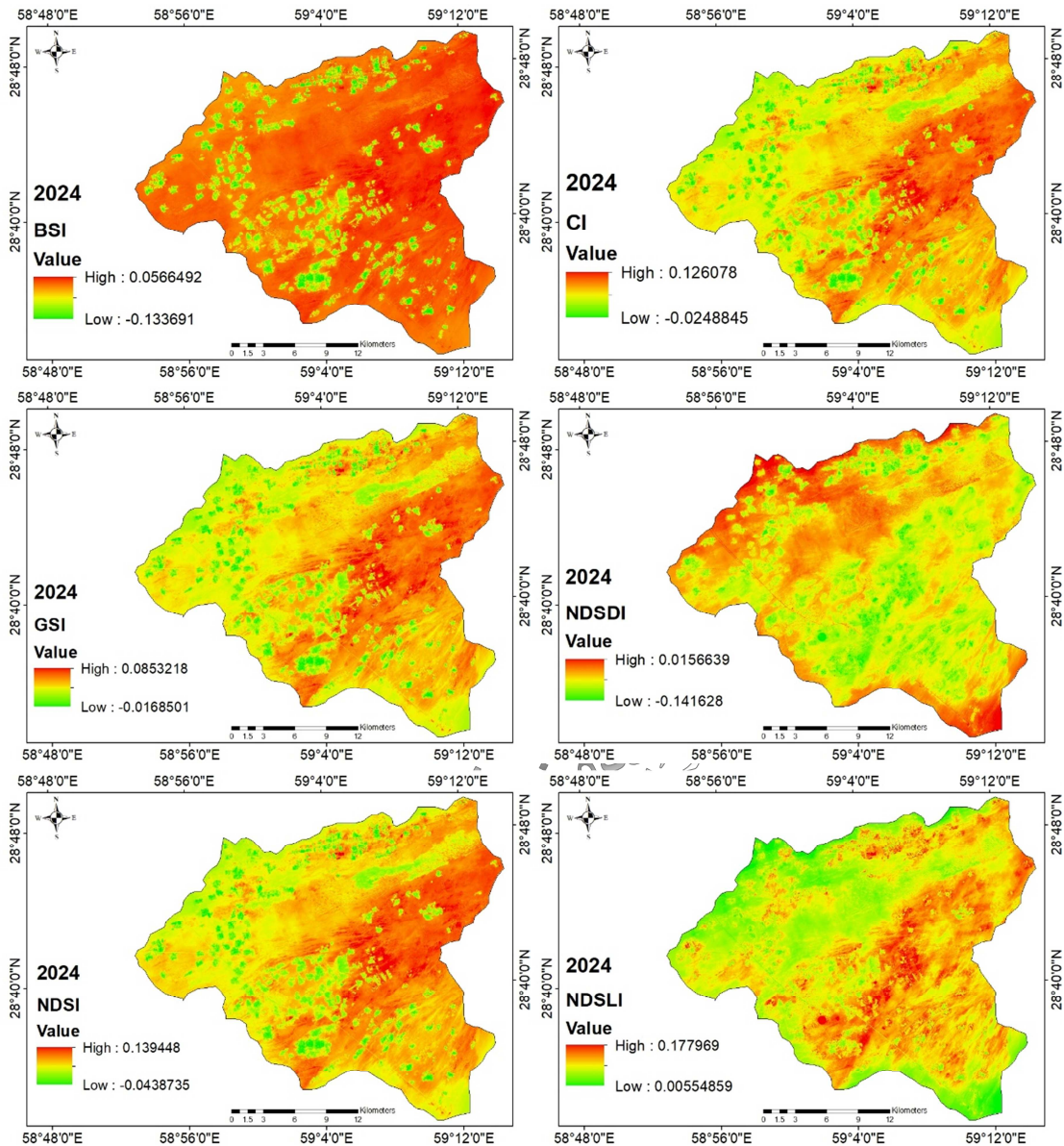
شکل ۳: تغییر پهنه تپه های ماسه ای بر اساس ۶ شاخص در سال ۲۰۱۸

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.



شکل ۴: تغییر پهنه تپه های ماسه ای بر اساس ۶ شاخص در سال ۲۰۲۱

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

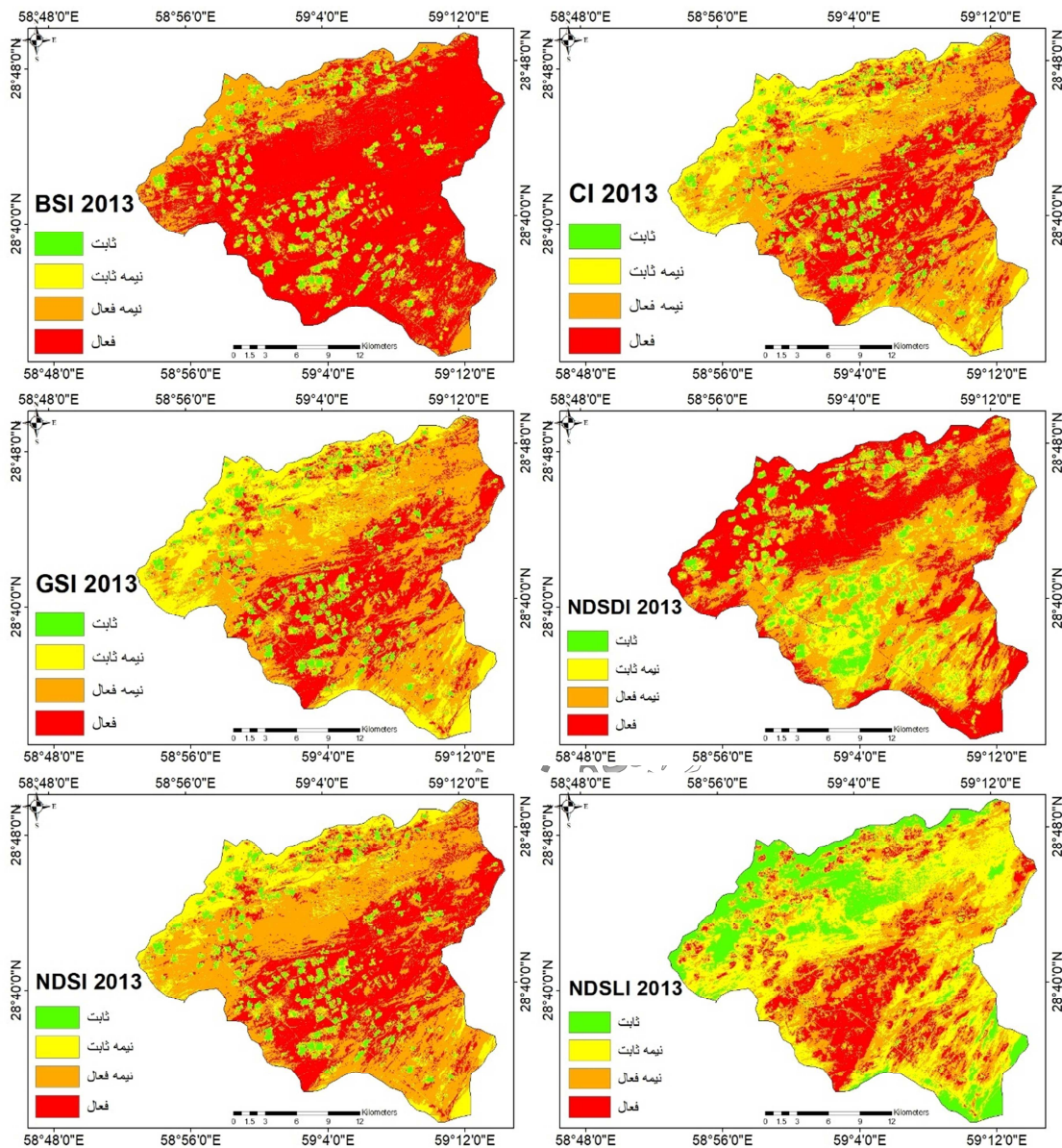


شکل ۵: تغییر پهنه تپه های ماسه ای بر اساس ۶ شاخص در سال ۲۰۲۴

بر اساس نتایج حاصل از شاخص NDSL، تپه های ماسه ای فعال و نیمه فعال در حال گسترش بوده و به این میزان نسبت تپه های ماسه ای نیمه ثابت نیز ۶ درصد کاهش یافته است. در این شاخص نیز بیشترین خطر بیابان زایی ماسه ای در مناطق نیمه فعال مشاهده شد.

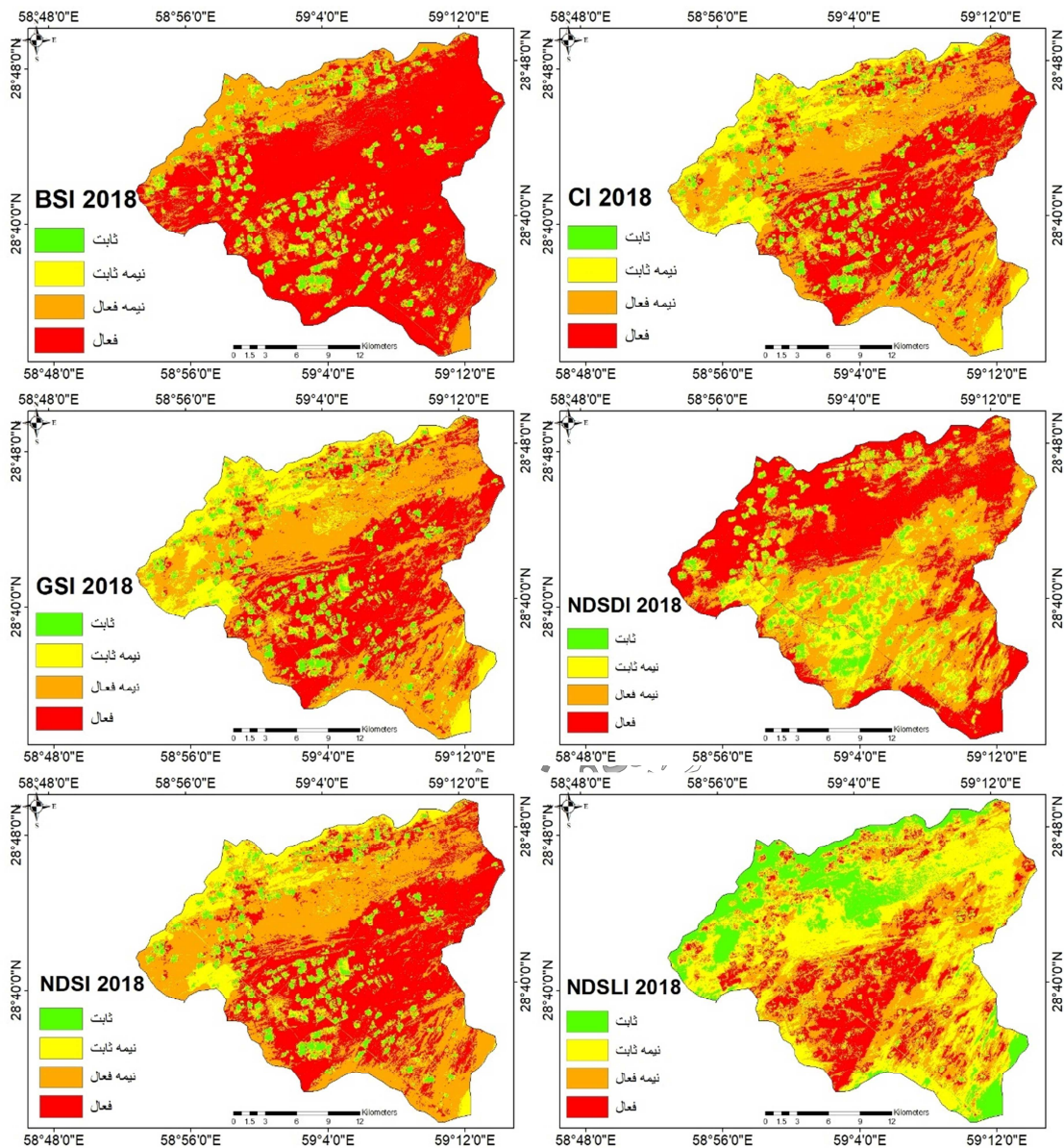
در شاخص BSI تپه های ماسه ای نیمه فعال به میزان ۲۰۲/۱ کیلومتر مربع در حال گسترش است. بیشترین میزان خطر بیابان زایی نیز در این شاخص در طبقه تپه های ماسه ای فعال مشاهده شد.

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.



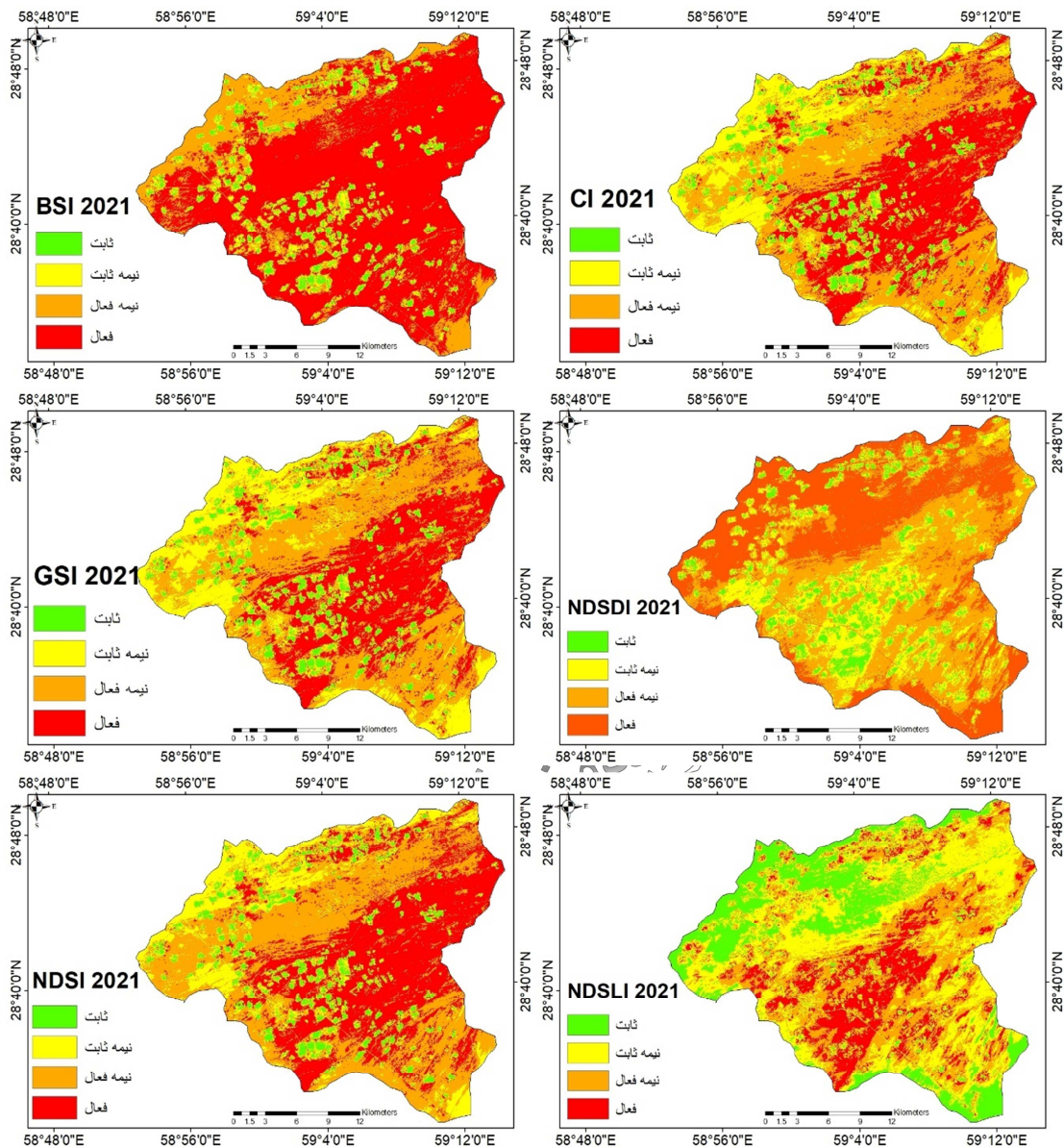
شکل ۶: مقادیر فعالیت تپه های ماسه ای در ۶ شاخص طیفی در سال ۲۰۱۳

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.



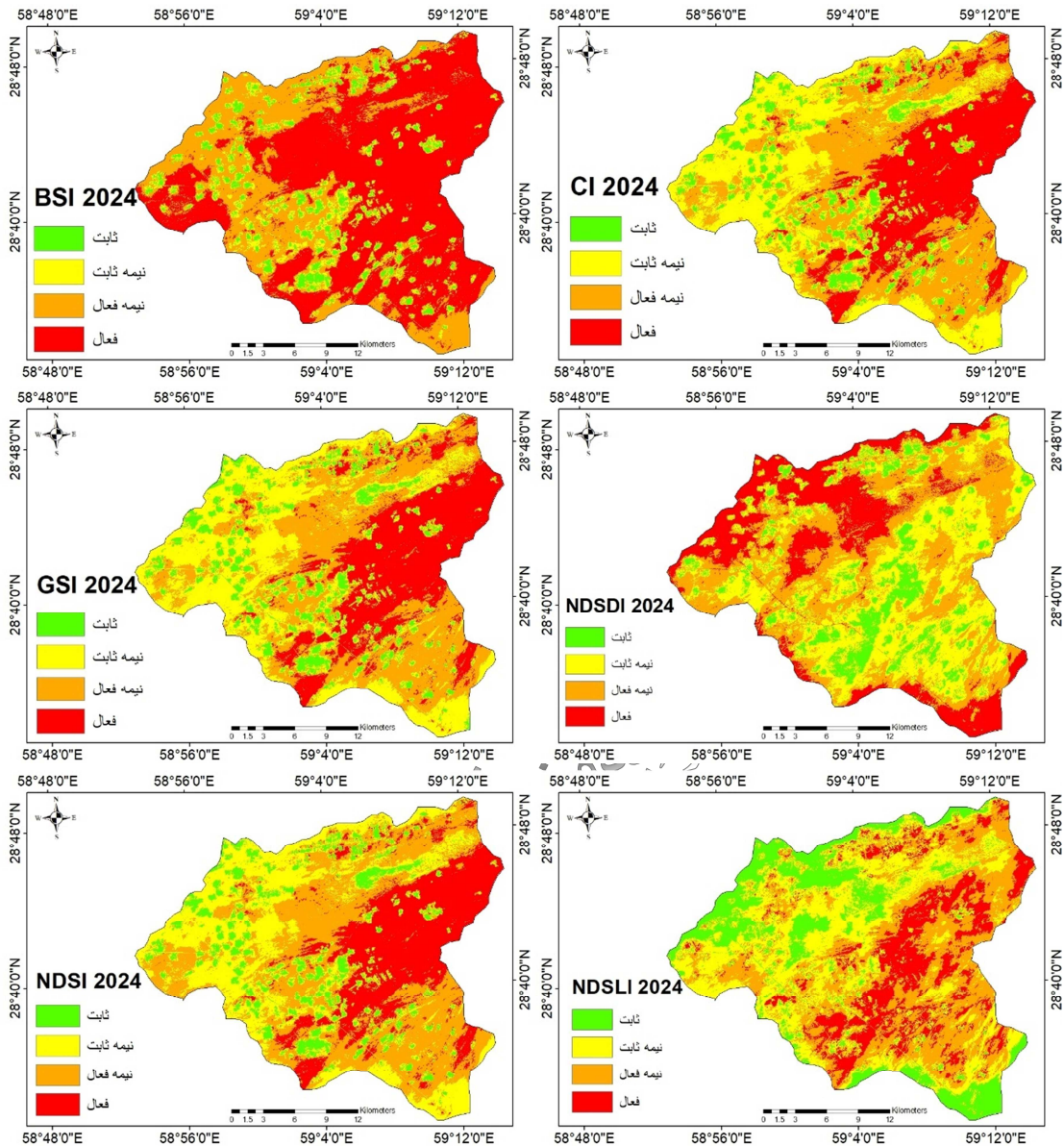
شکل ۷: مقادیر فعالیت تپه های ماسه ای در ۶ شاخص طیفی در سال ۲۰۱۸

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.



شکل ۸: مقادیر فعالیت تپه های ماسه ای در ۶ شاخص طیفی در سال ۲۰۲۱

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

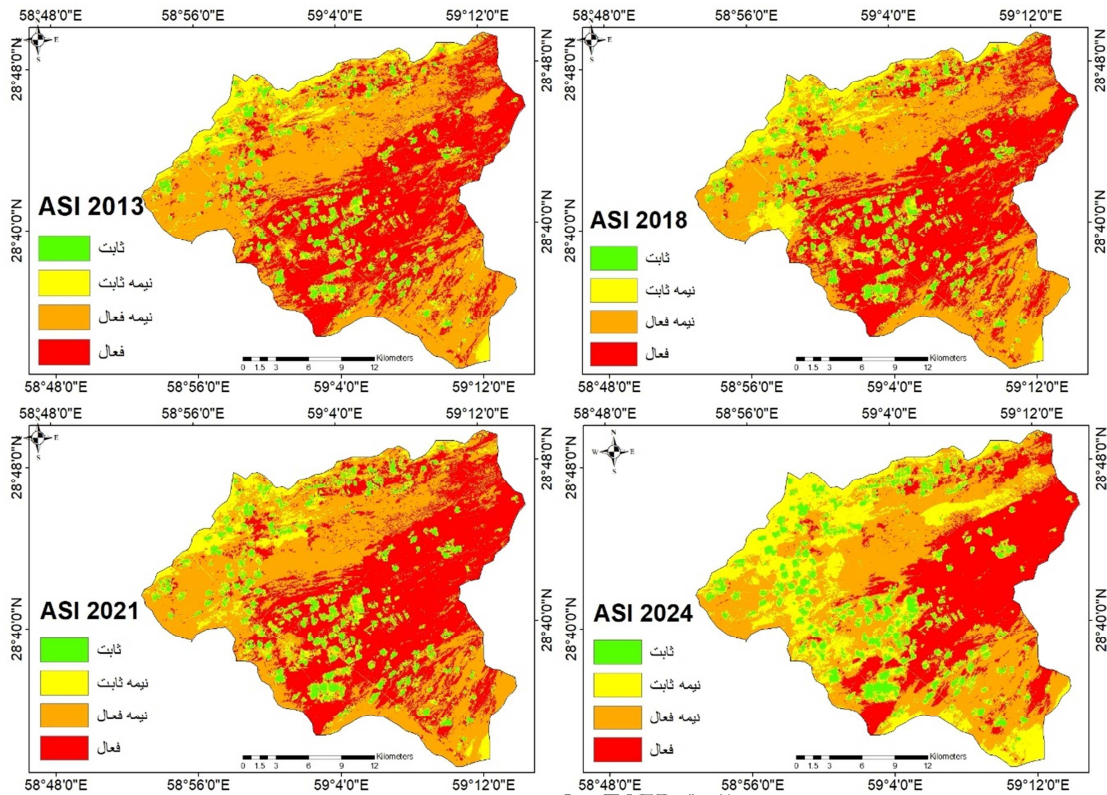


شکل ۹: مقادیر فعالیت تپه های ماسه ای در ۶ شاخص طیفی در سال ۲۰۲۴

## نتایج و بحث

در نهایت با جمع تمامی شاخص ها و میانگین گیری از آنها شاخص ماسه ای کل ASI به دست آمد. بر اساس یافته های حاصل از این شاخص، وسعت تپه های ماسه ای فعال در سال ۲۰۲۴ با وسعتی معادل ۱۷۹/۲ کیلومتر مربع در حال کاهش بوده و از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۴ حدود ۹/۵ درصد کاهش یافته است. در این بازه زمانی وسعت تپه های نیمه فعال ۳/۹ درصد کاهش یافته است.

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.



شکل ۱۰: شدت گسترش تپه های ماسه ای بر اساس شاخص ASI در سال های ۲۰۱۳، ۲۰۱۸، ۲۰۲۱، ۲۰۲۴

جدول ۱: مساحت پهنه های طبقه بندی شده در ۶ شاخص طیفی و شاخص ASI بر حسب کیلومتر مربع

شاخص	شدت	۲۰۱۳		۲۰۱۸		۲۰۲۱		۲۰۲۴	
		مساحت	آستانه	مساحت	آستانه	مساحت	آستانه	مساحت	آستانه
ASI	ثابت	۳۳/۵	-۰/۰۰۶	۳۷/۶	-۰/۰۰۴	۶/۴	-۰/۰۰۷	۵۱/۵	۰/۰۰۴
	نیمه ثابت	۶۷/۱	-۰/۰۰۳	۷۸/۷	-۰/۰۰۳	۱۰/۵	۰/۰۰۲	۱۵۱/۲	۰/۰۰۲
	نیمه فعال	۳۰۰/۴	-۰/۰۰۵	۲۸۴/۴	-۰/۰۰۵	۴۲	۰/۰۰۴	۲۵۹/۴	۰/۰۰۳
	فعال	۲۴۰/۳	-۰/۰۱۳	۲۴۰/۶	-۰/۰۱۲	۴۱	۰/۰۱۲	۱۷۹/۲	۰/۰۰۷
BSI	ثابت	۲۷/۱	-۰/۰۰۱	۳۱/۳	-۰/۰۰۱	۵/۱	-۰/۰۰۹	۳۹/۷	-۰/۰۰۵
	نیمه ثابت	۳۲/۶	-۰/۰۰۲	۳۵/۳	-۰/۰۰۱	۶	-۰/۰۰۱	۴۴/۵	-۰/۰۰۱
	نیمه فعال	۱۳۵/۹	-۰/۰۰۳	۱۲۹/۷	-۰/۰۰۳	۲۲/۳	۰/۰۰۳	۲۰۲/۱	۰/۰۰۱
	فعال	۴۴۵/۸	-۰/۰۱۲	۴۴۵/۱	-۰/۰۱۲	۶۶/۵	۰/۰۰۱	۳۵۵/۱	۰/۰۰۵
CI	ثابت	۳۲/۲	-۰/۰۰۲	۳۴/۶	-۰/۰۰۲	۴۳/۱	۰/۰۰۱	۵۵/۷	۰/۰۰۲
	نیمه ثابت	۱۲۹/۲	-۰/۰۰۶	۱۱۰/۲	-۰/۰۰۶	۱۳۰/۸	۰/۰۰۵	۱۹۴/۸	۰/۰۰۴
	نیمه فعال	۳۰۰/۴	-۰/۰۰۸	۲۸۶/۷	-۰/۰۰۸	۲۶۴/۴	۰/۰۰۸	۲۳۰/۶	۰/۰۰۶
	فعال	۱۷۹/۵	-۰/۰۱۹	۲۰۹/۶	-۰/۰۲۱	۲۰۳/۱	۰/۰۱۷	۱۶۰/۲	۰/۰۱۲
GSI	ثابت	۳۳/۶	-۰/۰۰۱	۳۵/۱	-۰/۰۰۱	۴۳/۷	۰/۰۰۱	۵۸/۸	۰/۰۰۱
	نیمه ثابت	۱۴۸/۰۵	-۰/۰۰۴	۱۱۳/۴	-۰/۰۰۴	۱۳۸/۳	۰/۰۰۳	۱۹۶/۱	۰/۰۰۳
	نیمه فعال	۲۹۵/۷	-۰/۰۰۶	۲۸۹/۱	-۰/۰۰۵	۲۶۳/۷	۰/۰۰۵	۲۲۴/۱	۰/۰۰۴
	فعال	۱۶۳/۹	-۰/۰۱۳	۲۰۳/۶	-۰/۰۱۴	۱۹۵/۵	۰/۰۱۲	۱۶۲/۳	۰/۰۰۸
NDSDI	ثابت	۴۷/۷	-۰/۰۱۲	۴۲/۸	-۰/۰۱۲	۴۵/۷	-۰/۰۱۱	۷۱/۳	-۰/۰۰۶

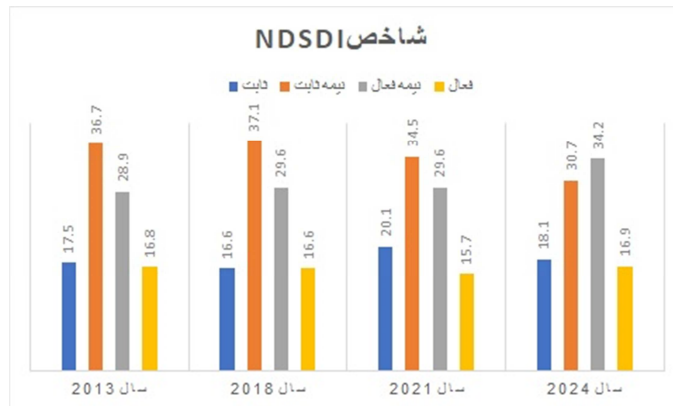
این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

۲۱۳/۱	-۰/۰۴	۱۱۸/۱	-۰/۰۸	۱۰۱/۴	-۰/۰۸	۹۸/۵	-۰/۰۸	نیمه ثابت	
۲۲۲/۹	-۰/۰۳	۲۴۹/۱	-۰/۰۵	۲۳۵/۶	-۰/۰۵	۲۳۶/۵	-۰/۰۵	نیمه فعال	
۱۳۴/۱	۰/۰۱	۲۲۸/۴	۰/۰۴	۲۶۱/۴	۰/۱۹	۲۵۸/۵	۰/۲	فعال	
۶۰/۸	۰/۰۱	۴۲/۸	۰	۳۴/۴	۰	۳۳	۰	ثابت	NDSI
۱۸۸/۱	۰/۰۳	۱۰۳/۳	۰/۰۴	۸۶/۱	۰/۰۵	۱۰۱/۲	۰/۰۵	نیمه ثابت	
۲۳۷/۸	۰/۰۵	۲۶۶/۵	۰/۰۷	۲۷۴/۱	۰/۰۸	۳۰۳/۴	۰/۰۸	نیمه فعال	
۱۵۷/۷	۰/۱۴	۲۲۸/۷	۰/۱۷	۲۴۶/۸	۰/۲۰	۲۰۳/۷	۰/۲۲	فعال	NDSLII
۱۱۵/۹	۰/۰۶	۱۲۸/۶	۰/۰۹	۱۰۶/۵	۰/۰۸	۱۱۲/۵	۰/۰۹	ثابت	
۱۹۷/۱	۰/۰۸	۲۲۱/۴	۰/۱۱	۲۳۸/۱	۰/۱۱	۲۳۵/۳	۰/۱۱	نیمه ثابت	
۲۱۹/۷	۰/۰۹	۱۹۰/۱	۰/۱۴	۱۹۰/۱	۰/۱۴	۱۸۵/۶	۰/۱۵	نیمه فعال	
۱۰۸/۷	۰/۱۷	۱۰۱/۲	۰/۲۷	۱۰۶/۶	۰/۲۶	۱۰۷/۹	۰/۲۵	فعال	

جدول ۲: میزان تغییرات فعالیت تپه های ماسه ای در سال های ۲۰۱۳، ۲۰۱۸، ۲۰۲۱ و ۲۰۲۴ بر حسب درصد

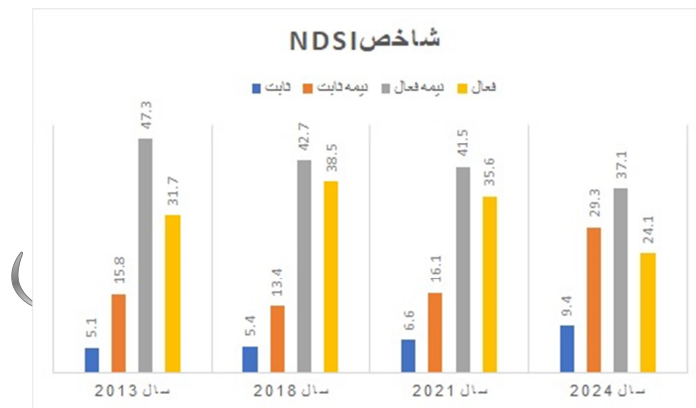
شاخص	شدت	درصد ۲۰۱۳	درصد ۲۰۱۸	درصد ۲۰۲۱	درصد ۲۰۲۴	درصد تغییرات
NDSLII	ثابت	۱۷/۵	۱۶/۶	۲۰/۱	۱۸/۱	+۰/۶
	نیمه ثابت	۳۶/۷	۳۷/۱	۳۴/۵	۳۰/۷	-۶
	نیمه فعال	۲۸/۹	۲۹/۶	۲۹/۶	۳۴/۲	+۵/۳
NDSI	فعال	۱۶/۸	۱۶/۶	۱۵/۷	۱۶/۹	+۰/۱
	ثابت	۵/۴	۵/۴	۶/۶	۹/۴	+۴/۳
	نیمه ثابت	۱۵/۸	۱۳/۴	۱۶/۱	۲۹/۳	+۱۳/۵
	نیمه فعال	۴۷/۳	۴۲/۷	۴۱/۵	۳۷/۱	+۶/۲
NDSDI	فعال	۳۱/۷	۳۸/۵	۳۵/۶	۲۴/۱	-۷/۶
	ثابت	۷/۴	۶/۷	۷/۱	۳/۷	+۳/۷
	نیمه ثابت	۱۵/۳	۱۵/۸	۱۸/۴	۳۳/۲	+۱۷/۹
	نیمه فعال	۳۶/۹	۳۶/۷	۳۸/۸	۳۴/۷	-۲/۲
GSI	فعال	۴۰/۳	۴۰/۷	۳۵/۶	۲۱	-۱۹/۳
	ثابت	۵/۲	۵/۴	۶/۸	۹/۱	+۳/۹
	نیمه ثابت	۲۳/۱	۱۷/۷	۲۱/۵	۳۰/۶	+۷/۵
CI	نیمه فعال	۴۶/۱	۴۵/۱	۴۱/۱	۳۵	-۱۱/۱
	فعال	۲۵/۵	۳۱/۷	۳۰/۵	۲۵/۳	-۰/۲
	ثابت	۵	۵/۴	۶/۷	۸/۷	+۳/۷
	نیمه ثابت	۲۰/۱	۱۷/۱۹	۲۰/۴	۳۰/۴	+۱۰/۳
BSI	نیمه فعال	۴۶/۸	۴۴/۷	۴۱/۲	۳۶	-۱۰/۸
	فعال	۲۸	۳۲/۷	۳۱/۶	۲۵	-۳
	ثابت	۴/۲	۴/۸	۵/۱	۶/۲	+۲
	نیمه ثابت	۵/۱	۵/۵	۶	۷	+۱/۹
ASI	نیمه فعال	۲۱/۲	۲۰/۲	۲۲/۳	۳۱/۵	+۱۰/۳
	فعال	۶۹/۵	۶۹/۴	۶۶/۵	۵۵/۴	-۱۴/۱
	ثابت	۵/۲	۵/۸	۶/۴	۸	+۲/۸
	نیمه ثابت	۱۰/۴	۱۲/۲	۱۰/۵	۲۳/۵	+۱۳/۱
	نیمه فعال	۴۶/۸	۴۴/۳	۴۲	۴۰/۴	-۳/۹
	فعال	۳۷/۴	۳۷/۵	۴۱	۲۸	-۹/۵

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.



شکل ۱۱: درصد تغییرات شاخص NDSLI در بازه زمانی مورد مطالعه

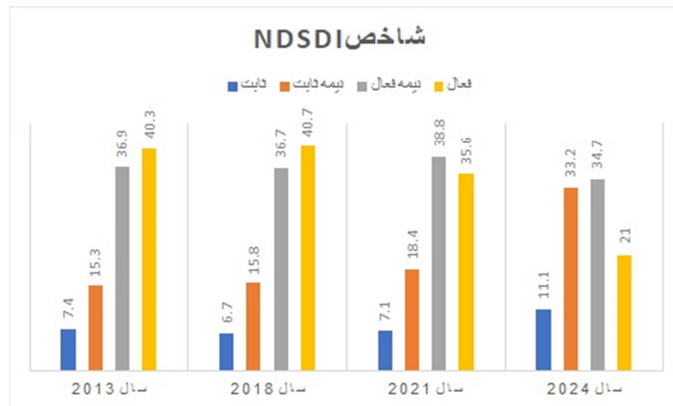
بر اساس شکل فوق مشاهده می‌شود که بخش‌های نیمه ثابت و نیمه فعال بیشترین تغییرات را تجربه کرده‌اند. به طوریکه در سال ۲۰۲۴ از وسعت محدوده نیمه ثابت کمتر شده و به وسعت منطقه نیمه فعال افزوده شده است. به عبارتی منطقه نیمه فعال یک روند افزایشی را تجربه می‌کند.



شکل ۱۲: درصد تغییرات شاخص NDSI در بازه زمانی مورد مطالعه

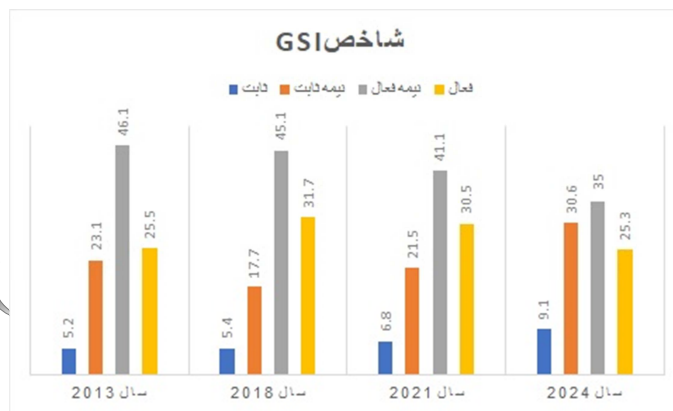
در شاخص NDSI بر خلاف شاخص NDSLI پهنه‌های نیمه فعال رو به کاهش هستند لیکن همچنان بیشترین بخش را به خود اختصاص داده‌اند. در مقابل، پهنه نیمه ثابت به شکل قابل توجهی گسترش یافته و به عبارتی با نزدیک به دو برابر افزایش مواجه گردیده است. به عبارتی بر اساس این شاخص از وسعت پهنه‌های فعال کاسته شده و به وسعت پهنه‌های نیمه ثابت افزوده شده است.

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.



شکل ۱۳: درصد تغییرات شاخص NDSDI در بازه زمانی مورد مطالعه

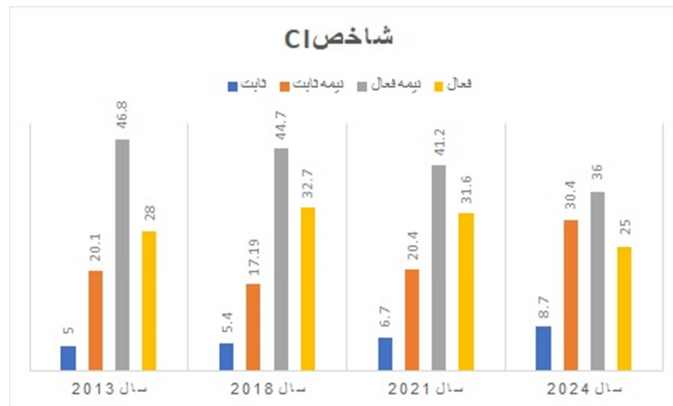
در شاخص NDSDI پهنه ثابت به طور قابل توجهی افزایش یافته لیکن پهنه نیمه فعال بیشترین بخش را به خود اختصاص داده است. در این شاخص نیز پهنه نیمه ثابت به شکل قابل توجهی افزایش یافته است به عبارتی از وسعت پهنه فعال کاسته شده و به وسعت پهنه نیمه ثابت افزوده شده است.



شکل ۱۴: درصد تغییرات شاخص GSI در بازه زمانی مورد مطالعه

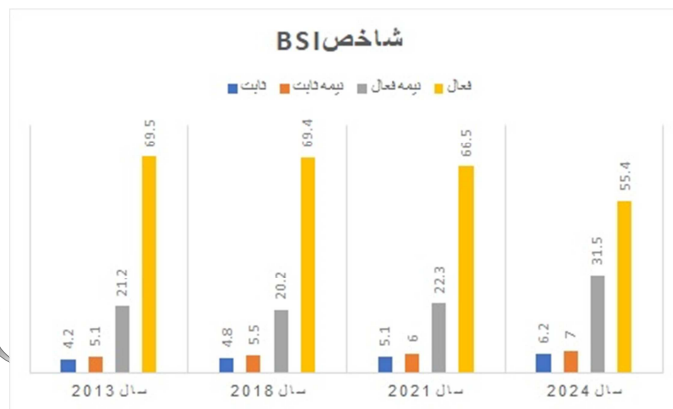
در شاخص GSI بیشترین پهنه مجدداً اختصاص به پهنه نیمه فعال دارد لیکن از وسعت پهنه های نیمه فعال و فعال کاسته شده و به وسعت پهنه نیمه ثابت افزوده شده است. پهنه نیمه ثابت روند رو به افزایشی را تجربه کرده است و پهنه های نیمه فعل رو به کاهش هستند.

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.



شکل ۱۵: درصد تغییرات شاخص CI در بازه زمانی مورد مطالعه

بر اساس شاخص CI نیز مشاهده شده که وسعت پهنه نیمه ثابت در حال افزایش بوده و به همان نسبت وسعت پهنه نیمه فعال و فعال رو به کاهش است لیکن در این بین کاهش پهنه نیمه فعال قابل توجه تر بوده است.

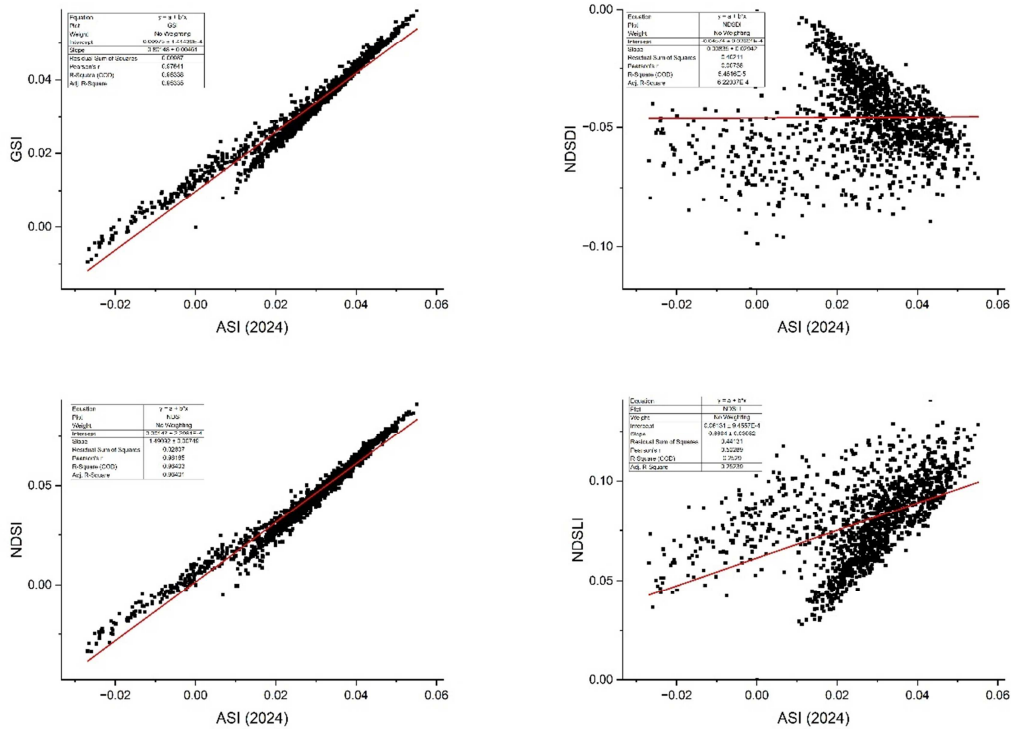


شکل ۱۶: درصد تغییرات شاخص BSI در بازه زمانی مورد مطالعه

شاخص BSI نسبت به شاخص های دیگر به نتایج متفاوتی دست یافته است. در این شاخص بیشترین پهنه به منطقه فعال اختصاص داشته است. پهنه های ثابت و نیمه ثابت کمترین وسعت را به خود اختصاص داده اند. در این شاخص مشاهده می شود که وسعت منطقه فعال کاسته شده و به وسعت منطقه نیمه فعال افزوده شده است. در سایر پهنه ها تغییرات کمی مشاهده می شود.



این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.



شکل ۱۸: رابطه همبستگی بین شاخص های ۶ گانه و شاخص ASI در سال ۲۰۲۴

جدول ۳: میزان همبستگی بین شاخص های ۶ گانه و شاخص ASI در سال ۲۰۲۴

شاخص	ضریب پیرسون	سطح معنی داری	وضعیت معنی داری
ASI, NDSL	۰/۵۰	$2 \times 10^{-12} > p$	بسیار معنی دار
ASI, NDSI	۰/۹۸	$10^{-300} > p$	فوق العاده معنی دار
ASI, NDSDI	۰/۱۸	$3 \times 10^{-12} > p$	معنی دار
ASI, GSI	۰/۹۶	$10^{-200} > p$	فوق العاده معنی دار
ASI, CI	۰/۹۷	$10^{-250} > p$	فوق العاده معنی دار
ASI, BSI	۰/۹۲	$10^{-16} > p$	بسیار معنی دار

یافته های این تحقیق شدت عملکرد ماسه های روان را در منطقه رستم آباد ریگان نشان داده و لذا لازم است که مدیران مربوطه اقدامات مناسبی را جهت کنترل حرکت ماسه های روان انجام دهند تا بدین وسیله از میزان خسارات وارده به مزارع و سکونتگاه های واقع در این منطقه کاسته شود.

### نتیجه گیری

توجه به پارامتر پوشش گیاهی در اکثر شاخص های طیفی باعث کاهش توجه به سایر پارامترهای دقیق در امر بیابان زایی گردیده است. با وجود نقش قابل توجه پوشش گیاهی در کنترل فرایند بیابان زایی، لیکن این شاخص در مواردی نتوانسته روند بیابان زایی ماسه ای را کنترل نماید. برای طبقه بندی وضعیت ماسه های روان از روش Jenks

## این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

استفاده شده و منطقه مورد مطالعه به ۴ طبقه فعال، نیمه فعال، ثابت و نیمه ثابت تقسیم شد. بر اساس یافته های حاصل از شاخص ASI که ماحصل تجمیع و میانگین گیری بین تمامی شاخص هاست مشاهده شد که در سال ۲۰۲۴، حدود ۱۷۹/۲ کیلومتر مربع و یا به عبارتی ۲۸ درصد از کل منطقه در اشغال تپه های ماسه ای فعال بوده است. روند فوق در تمامی شاخص ها مشاهده شد. وجود چندین ناحیه ماسه ای فعال در این منطقه حاکی از این واقعیت است که کنترل این پدیده نیازمند زمان بیشتری است. با وجود تفاوت های قابل توجه بین شاخص های ۶ گانه، شباهت های انکارناپذیری نیز بین آنها مشاهده شد بطوریکه در بین این شاخص ها با شاخص ASI همبستگی های بالایی به دست آمد. این شاخص با دو شاخص CI و NDSI همبستگی بالایی داشته و بین آنها مقادیر ۰/۹۸ و ۰/۹۷ به دست آمد. کمترین میزان همبستگی نیز بین شاخص های NDSLI و NDSDI به میزان ۰/۵۰ و ۰/۱۸ مشاهده شد. یافته های این تحقیق نشان می دهند که زیرساختها، سکونتگاه ها، پهنه های آبی و مزارع به شکل گسترده ای در معرض خطر حرکت ماسه های روان قرار دارند. ادامه این روند می تواند تبدیل به یک فاجعه اقتصادی در ابعاد ملی گردد. لیکن مطالعات نشان داد که در بازه زمانی مورد مطالعه تا حدودی از وسعت تپه های ماسه ای فعال و نیمه فعال کاسته شده و بر وسعت مناطق تثبیت شده تا حدودی افزوده شده است. با این حال لازم است تا با انجام اقدامات پیشگیرنده از روند گسترش تپه های ماسه ای جلوگیری به عمل آید.

### منابع

- سرگزی، حسین، اونق، مجید و بارانی، حسین. (۱۳۹۸). بررسی و رتبه بندی عوامل مدیریت تخریب زمین و بیابان زایی دشت سیستان، مخاطرات محیط طبیعی، ۸(۲۱)، ۱۲۹-۱۴۶. <https://doi.org/10.22111/jneh.2019.25122.1407.146-129>
- صالح پور جم، امین و طباطبایی، محمودرضا. (۱۳۹۷). بررسی اثر خصوصیات خاک شنایی بر پتانسیل بیابان زایی مخروط افکنه ها با کاربرد روش AHP-FUZZY SAW (مطالعه موردی: مخروط افکنه های مشرف به ارتفاعات حلقه دره و جازو، منطقه اشتهداد)، مخاطرات محیط طبیعی، ۱۷(۳)، ۱۹۵-۲۱۲. [10.22111/jneh.2018.19785.1236](https://doi.org/10.22111/jneh.2018.19785.1236)
- Adnani, M., Azzaoui, M., Elbelrhiti, H., Ahmamou, M., Masmoudi, L., & Chiban, M. (2016). Yerd sand dunes (Erfoud area, southeastern Morocco): color, composition, sand's provenance, and transport pathways. *Arabian Journal of Geoscience* 9(5), 366- 375. <https://doi.org/10.1007/s12517-016-2394-x>
- 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.
- Aydda, A., Althwaynee, 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 International* 34 (13), 1514–1529. <https://doi.org/10.1080/10106049.2018.1493154>
- Aydda, A., Althwaynee, O., & Pokharel, B. (2020). An easy method for barchan dunes automatic extraction from multispectral satellite data. In: IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*, 419, 012015. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/419/1/012015>
- 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. The international archives of photogrammetry, remote sensing, and spatial information sciences. 42. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W1-53-2016>
- Deng, Y., Wu, C., Li, M., & Chen, R. (2015). RNDSI: a ratio normalized difference soil index for remote sensing of urban/suburban environments. *Earth Observation and Geoinformation*. 39, 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.02.010>
- Dong, G R., Shen, J Y., & Jin, J. (1988). Conceptions of desertification and desertization (in Chinese). *Arid Land and Geography* 11, 58–61
- Fadhil Al-Quraishi, A.M. (2009). Land Degradation Detection Using Geo-Information Technology for Some Sites in Iraq. *Al-Nahrain. Journal of Al-Nahrain University* 12, 94–108. <https://doi.org/10.22401/JNUS.12.3.13>
- 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. <https://doi.org/10.1080/17538947.2010.489971>

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

- 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. <https://doi.org/10.1117/12.2019735>
- Karnieli, A. (1997). Development and implementation of spectral crust index over dune sands. *International Journal of Remote Sensing* 18(6), 1207–1220. <https://doi.org/10.1080/014311697218368>
- Koch, M. (2000). Geological controls of land degradation as detected by remote sensing: A case study in Los Monegros, north-east Spain. *International Journal of Remote Sensing* 21 (3), 457–473. <https://doi.org/10.1080/014311600210687>
- 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.
- Ndabula, C. (2021). Spectral Analysis of sandy desertification in the Semi-arid zone of North eastern Nigeria, *Journal of natural Sciences Research* 12(14), 27-44.
- 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. *Scientific Reports*. 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 Geographica Sinica* 46, 266–276 27. <https://doi.org/10.11821/xb199103002>
- 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* 12, 2411–2422.
- Yang, G.S., Liu, Y.X., & Shi P J. (1986). Several problems on desertification in China, *Arid Zone Research* 3, 73–78.
- Zhu ZD. (1994). Current situation and prospect of land desertification problem (in Chinese). *Geographical Research* 13, 105–113.
- Zhu, Z D., & Chen, G T. (1994). Sandy De ser tificati on in China (in Chinese). *Beijing: Science Press* 7, 15- 22.

آماده انتشار بدون شماره مجله