

Desertification Assessment in Narmashir Region Using Desertification Degree Index (DDI)

Mehdi Feyzolahpour^{1*} 

1. **Corresponding Author**, Assistant Professor, Department of Geography, University of Zanjan, Zanjan, Iran
Email: feyzolahpour@znu.ac.ir ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4126-0234>

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article Article history: Received: 21 January 2025 Revised: 04 October 2025 Accepted: 15 October 2025 Published: 22 December 2026 Keywords: Tasseled Cap Transformation (TCT), albedo, NDVI, TCW-TCB, Narmashir.	Desertification is one of the most destructive environmental phenomena globally. Remote sensing data and techniques offer valuable information for desertification mapping and assessment. Desertification is a particularly grave environmental threat in Iran, especially in the southeastern parts of the country. This research was conducted to map the degree of desertification in the Narmashir region of Kerman province in 2023 using Landsat 8 satellite imagery. Initially, the Tasseled Cap Transformation (TCT) method was used to extract three indices: Tasseled Cap Brightness (TCB), Tasseled Cap Greenness (TCG), and Tasseled Cap Wetness (TCW). Next, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and albedo were estimated. Subsequently, linear regression analysis was performed on the combinations of TCG-TCB, NDVI-albedo, and TCW-TCB. The results showed a strong negative correlation between TCW and TCB and a very weak correlation between NDVI and albedo. The highest positive correlation was observed between TCW and TCG. Based on the highest correlation values and the regression relationship between TCW and TCB, a Desertification Degree Index (DDI) was created for desertification grading. The DDI was divided into five desertification classes: very low, low, medium, high, and very high. Based on this, only of the studied area exhibited very high desertification intensity, and showed high desertification intensity. The overall accuracy of this index was found to be. Due to its simplicity and high capability, this method is highly effective for managing and protecting arid and semi-arid lands.
How to Cite: Feyzolahpour, M. (2026). Desertification Assessment in Narmashir Region Using Desertification Degree Index (DDI). <i>Journal of Natural Environmental Hazards</i>, 15 (50), 1-20.	
	© The Author/Authors Publisher: University of Sistan and Baluchestan
DOI: 10.22111/jneh.2025.52306.2118	

EXTENDED ABSTRACT

INTRODUCTION

Some researchers have established a link between desertification and an increase in surface albedo. Soils with a sand and light texture dry out faster compared to soils with a clay texture that retain surface moisture. Decreasing moisture reduces the availability of water for vegetation, thus leading to desertification. However, in some research, desertification was investigated by developing quantitative relationships between biophysical indicators. These earlier models cannot effectively distinguish areas with low and high desertification intensity. Consequently, new relationships were developed to extract various degrees of desertification.

The purpose of this research is to investigate the degrees of desertification in the Narmashir region in Kerman province. For this purpose, a relationship based on various biophysical indices such as NDVI, greenness, wetness, surface albedo, and brightness was presented. The research methodology is based on comparing the regression analysis of the NDVI-albedo index with the Tasseled Cap indices (TCB, TCG, and TCW). The DDI (Desertification Degree Index) was calculated based on the regression analysis results and used to extract the degrees of desertification. The final desertification intensity map is classified into five degrees.

DATA AND METHODOLOGY

Several remote sensing techniques have been developed to map and assess desertification in arid and semi-arid regions. These methods include visual interpretation methods (Huang et al., 2006), the Spectral Mixture Analysis (SMA) method (Tram et al., 1998, Vervenci, 2016), classification algorithms (Afrasini et al., 2017, Afrasini et al., 2018), spectral indices (NDVI and albedo), and image transformations such as TCT (Zancheta et al., 2016). The proposed methods are based on the analysis of the relationship between biophysical spectral indices and the risk of desertification. The primary goal of these methods is to select the optimal combination of spectral indices that provides a high correlation. The selected methodology can be divided into three main stages: extraction of spectral and TCT indices, training and correlation analysis, and implementation of an index to extract different degrees of desertification in the study area.

RESULTS AND DISCUSSION

After performing the spectral indices, the indices were analyzed (Figure 2). High values of NDVI and TCG correspond to agricultural fields located in the study area, while low values indicate the desert areas in the Narmashir region. Low albedo values are related to vegetation and water areas, whereas high albedo and TCB values indicate light-colored, whitish soils. The TCW index provides information about soil moisture, and its values vary. High TCW values are related to water areas and vegetation, while low values indicate dry areas such as dunes and soils poor in organic matter.

The western part of the Narmashir region is located on the alluvial cone and benefits from favorable moisture conditions, making it less prone to desertification. The eastern part of the region has experienced severe desertification, and these areas are interspersed with agricultural lands. About half of the studied area had very low albedo values. However, the region has seen a lot of desertification. These areas appear in white on the satellite images. In the eastern regions, the amount of albedo was higher than in the western regions. Due to the climatic, dry, and semi-arid conditions of the region, vegetation is limited only to places with access to water sources. Therefore, the area had very little vegetation. Only of the area consists of fields, and in the rest of the areas, vegetation cover is limited. Farms and vegetation are heavily encircled by desert areas. The TCB index values correspond to albedo values and match areas with high albedo. The TCG index also has a high correlation with the NDVI index. About of the area lacks vegetation. The soil moisture index has special conditions. The

Narmashir region's location on the alluvial cone allows these regions to have more favorable moisture conditions. Eastern regions have very low moisture values.

Table 4: Pearson correlation coefficient and determination coefficient values between desertification intensity estimation indices

indices	slope	Pearson correlation	R2
TCW, TCG	1.37	0.49	0.24
TCW, TCB	-1.84	-0.77	0.61
TCW, NDVI	1.52	0.42	0.18
TCW, albedo	-1.57	-0.65	0.43
TCG, TCB	-0.008	-0.009	0.001
TCG, NDVI	1.28	0.99	0.98
TCG, albedo	0.14	0.16	0.02
TCB, NDVI	0.12	0.08	0.006
TCB, albedo	0.98	0.98	0.96
NDVI, albedo	0.17	0.25	0.06

CONCLUSION

The findings showed that the combination of TCW-TCB provides superior results compared to the NDVI-albedo combination. The DDI index uses multispectral images to estimate desertification and relies exclusively on remote sensing images for monitoring. The DDI index was used for the quantitative mapping of desertification intensity, and the applied method achieved higher accuracy. The results of the desertification map showed that and are classified as very high and high desertification, respectively. The Narmashir region is categorized as having very low desertification. The areas most affected by the desertification phenomenon are in the eastern part of the studied region. These areas are characterized by the movement of dunes, soil salinity, and low rainfall and water availability. These maps will help identify areas that require protection. These areas are generally characterized by high desertification risk and low vegetation density. Multispectral remote sensing data, such as Landsat, can be effectively used for desertification studies.

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 characteristic 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)

- Afrasinei, G.M., Melis, M.T., Buttau, C., Arras, Zerrim, A., Guied, M., Ouessar, M., Essifi, B., Zaied, M.B., & Jlali, A. (2017). Classification Methods for Detecting and Evaluating Changes in Desertification-Related Features in Arid and Semi-arid Environments. *Euro-Mediterr. Journal for Environmental Integration*, 2(1), 14. <https://doi.org/10.1007/s41207-017-0021-1>
- Afrasinei, G.M., Melis, M.T., Buttau, C., Bradd, J.M., Arras, C., & Ghiglieri, G. (2017). Assessment of remote sensing-based classification methods for change detection of salt-affected areas (Biskra area, Algeria), *Journal of Applied Remote Sensing*, 11, 016025. <https://doi.org/10.1117/1.JRS.11.016025>

- Afrasinei, G.M., Melis, M.T., Arras, C., Pistis, M., Buttau, C., & Ghiglieri, G. (2018). Spatiotemporal and spectral analysis of sand encroachment dynamics in southern Tunisia. *Eur. Journal for Remote Sensing*, 51, 352–374. <https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1439343>
- Ait Lamqadem, A., Saber, H., & Rahimi, A. (2017). Spatiotemporal Changes of Vegetation in the Middle Draa Valley Oasis: A Case Study of M'hamid El Ghizlane Oasis (Morocco). *European Scientific Journal*, 13, 115–132. <https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n24p115>
- Becerril-Piña, R., Díaz-Delgado, C., Mastachi-Loza, C.A., & González-Sosa, E. (2016). Integration of remote sensing techniques for monitoring desertification in Mexico. *Human and Ecological Risk Assessment: International Journal*, 22, 1323–1340. <https://doi.org/10.1080/10807039.2016.1169914>
- Crist, E.P., Laurin, R., & Cicone, R.C. (1986). Vegetation and Soils Information Contained in Transformed Thematic Mapper Data. *Proceedings of International Geoscience and Remote Sensing 86 Symposium, Zurich, Switzerland*, 8, 1465–1470.
- Gillespie, T.W., Ostermann-Kelm, S., Dong, C., Willis, K.S., Okin, G.S., & MacDonald, G.M. (2018). Monitoring changes of NDVI in protected areas of southern California. *Ecological Indicators*, 88, 485–494. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.01.031>
- Guang, Y., Dong, C., Xinlin, H., Aihua, L., Mingjie, Y., & Xiaolong, L. (2017). Land use change characteristics affected by water saving practices in Manas River Basin, China, using Landsat satellite images. *International Journal of Agricultural Biological Engineering*, 10(6), 123–133.
- Guo, Q., Fu, B., Shi, P., Cudahy, T., Zhang, J., & Xu, H. (2017). Satellite Monitoring the Spatial-Temporal Dynamics of Desertification in Response to Climate Change and Human Activities across the Ordos Plateau, China. *Remote Sensing*, 9(6), 525–542. <https://doi.org/10.3390/rs9060525>
- Hill, J., Stellmes, M., Udelhoven, T., Röder, A., & Sommer, S. (2008). Mediterranean desertification and land degradation: Mapping related land use change syndromes based on satellite observations. *Glob. Planet Change*, 64, 146–157. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2008.10.005>
- Huang, S., & Siegert, F. (2006). Land cover classification optimized to detect areas at risk of desertification in North China based on SPOT VEGETATION imagery. *Journal of Arid Environment*, 67, 308–327. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.02.016>
- Jackson, R.D., Idso, S.B., & Otterman, J. (1975). Surface Albedo and Desertification. *Science*, 189, 1012–1015. <https://doi.org/10.1126/science.189.4207.1012>
- Jenks, G.F., 1963. Generalization in statistical mapping. *Annals of the Association of American Geographers*, 53, 15–26.
- Jin, S., & Sader, S.A. (2005). Comparison of time series tasseled cap wetness and the normalized difference moisture index in detecting forest disturbances. *Remote Sensing of Environment*, 94(3), 364–372. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.10.012>
- Kauth, R.J., & Thomas, G.S. (1976). The Tasseled Cap—A Graphic Description of the Spectral-Temporal Development of Agricultural Crops as Seen by LANDSAT. In *Proceedings of the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data*, West Lafayette, IN, USA, 29 June–1 July 1976; Swain, P.H., Ed.; Institute of Electrical and Electronics Engineers, Purdue University Press: West Lafayette, IN, USA, 41–51.
- Lamchin, M., Lee, J.Y., Lee, W.K., Lee, E.J., Kim, M., Lim, C.H., Choi, H.A., & Kim, S.R. (2016). Assessment of land cover change and desertification using remote sensing technology in a local region of Mongolia. *Advances in Space Research*, 57, 64–77. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2015.10.006>
- Li, S.G., Harazono, Y., Oikawa, T., Zhao, H.L., He, Z.Y., & Chang, X.L. (2000). Grassland desertification by grazing and the resulting micrometeorological changes in Inner Mongolia. *Agriculture for Meteorology*, 102, 125–137. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(00\)00101-5](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(00)00101-5)
- Liu, Q., Liu, G., Huang, C., & Xie, C. (2015). Comparison of tasseled cap transformations based on the selective bands of Landsat 8 OLI TOA reflectance images. *International Journal of Remote Sensing*, 36, 417–441. <https://doi.org/10.1080/01431161.2014.995274>
- Liu, Q., Liu, G., & Huang, C. (2018). Monitoring desertification processes in the Mongolian Plateau using MODIS tasseled cap transformation and TGSi time series. *Journal of Arid Land*, 10, 12–26.
- Ma, Z., Xie, Y., Jiao, J., Li, L., & Wang, X. (2011). The Construction and Application of an Albedo-NDVI-Based Desertification Monitoring Model. *Procedia Environmental Science*, 10, 2029–2035. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.09.318>
- Naegeli, K., Damm, A., Huss, M., Wulf, H., Schaepman, M., & Hoelzle, M. (2017). Cross-comparison of albedo products for glacier surfaces derived from airborne and satellite (Sentinel-2 and Landsat 8) optical data. *Remote Sensing*, 9, 110–127. <https://doi.org/10.3390/rs90201010>
- Nedkov, R. (2017). Orthogonal transformation of segmented images from the satellite Sentinel-2. *Comptes rendus l'Academie bulgare des Sciences*, 70(5), 687–692.
- Pan, J., & Quin, X. (2010). Extracting desertification from Landsat imagery using a feature space composed of vegetation index and albedo: a case study of Zhangye oasis and its adjacent areas. *Science Mapping*, 3, 193–195.
- Pan, J., & Li, T. (2013). Extracting desertification from Landsat TM imagery based on spectral mixture analysis and Albedo-Vegetation feature space. *Natural Hazards*, 68(2), 915–927. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0665-3>
- Tromp, M., & Epema, G.F. (1998). Spectral mixture analysis for mapping land degradation in semi-arid areas. *Geology. Mijnb.*, 77, 153–160
- UNCCD. (1994). United Nations Convention to Combat Desertification in those Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, particularly in Africa; United Nations Convention to Combat Desertification: Paris, France.

- Vorovencii, I. (2016). Assessing and monitoring the risk of land degradation in Baragan Plain, Romania, using spectral mixture analysis and Landsat imagery. *Environmental Monitoring Assessment*. 188(7), 439-457. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5446-5>
- Wang, X., Hua, T., Lang, L., & Ma, W. (2017). Spatial differences of aeolian desertification responses to climate in arid Asia. *Glob. Planet Change*. 148, 22–28. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.11.008>
- Xiao, J., Shen, Y., Ryutaro, T., & Bayaer, W. (2005). Detection of land desertification and topsoil grain size using remote sensing. *International Geoscience Remote Sensing*. 1, 198–201. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2005.1526141>
- Zanchetta, A., Bitelli, G., & Karnieli, A. (2016). Monitoring desertification by remote sensing using the Tasselled Cap transform for long-term change detection. *Natural Hazards*, 83, 223–237. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2342-9>
- Zeng, Y., Xiang, N., & Feng, Z. (2006). Albedo-NDVI Space and Remote Sensing Synthesis Index Models for Desertification Monitoring. *Science Geography*. 26, 75–81. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108230>.

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۵، شماره ۵۰، شماره پیاپی ۰۴، دی ۱۴۰۵

ارزیابی مکانی شدت بیابان‌زایی نرماشیر با شاخص DDI

مهدی فیض اله پور 

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

ایمیل: feyzolahpour@znu.ac.ir ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4126-0234>

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۰۲ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۷/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۳ تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۱۰/۰۱ واژه‌های کلیدی: تبدیل کلاهی زنگوله‌ای، TCW، NDVI، albedo، TCB، نرماشیر.	بیابان‌زایی یکی از پدیده‌های مخرب زیست‌محیطی در سراسر جهان به‌شمار می‌آید. این پژوهش با هدف ترسیم درجه بیابان‌زایی در منطقه نرماشیر کرمان در سال ۲۰۲۳ با استفاده از ماهواره لندست ۸ انجام شد. در ابتدا، با استفاده از روش تبدیل کلاهی زنگوله‌ای TCT، سه شاخص روشنایی کلاهی زنگوله‌ای (TCB)، سبزی (TCG) و رطوبت (TCW) استخراج شد. در دومین مرحله، شاخص‌های تفاوت نرمال‌شده پوشش گیاهی (NDVI) و albedo برآورد گردید. در مرحله بعدی، بر اساس ترکیب TCG-TCB، NDVI-albedo و TCW-TCB، تحلیل رگرسیون خطی انجام شد. نتایج نشان داد که همبستگی بالایی به میزان -0.77 بین TCW و TCB برقرار بوده و بین NDVI با albedo همبستگی بسیار ضعیفی معادل 0.25 ایجاد شده است. بیشترین همبستگی مثبت به میزان 0.49 در بین شاخص‌های TCW و TCG دیده می‌شود. با توجه به بیشترین مقادیر همبستگی و بر اساس روابط رگرسیونی بین TCW با TCB شاخصی برای درجه‌بندی بیابان‌زایی ایجاد شده و به پنج طبقه بیابان‌زایی خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم گردید. بر این اساس تنها $6/9$ درصد از منطقه مورد مطالعه دارای شدت بیابان‌زایی خیلی زیاد بوده و $10/5$ درصد از شدت بیابان‌زایی زیاد برخوردار هستند. دقت کلی این شاخص معادل $91/2$ بوده است. این روش به‌علت سادگی و توانمندی بالا، از قابلیت بالایی در مدیریت و حفاظت از اراضی خشک و نیمه‌خشک برخوردار است.

استناد: فیض اله پور، مهدی. (۱۴۰۵). ارزیابی مکانی شدت بیابان‌زایی نرماشیر با شاخص DDI. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۵ (۵۰)، ۱-۲۰.

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

© نویسنده/ نویسندگان

DOI: 10.22111/jneh.2025.52306.2118



مقدمه

بیابان‌زایی نوعی تخریب زمین در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که در اثر ترکیبی از عوامل مختلف مانند تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی ایجاد می‌شود (UNCCD، ۱۹۹۴). بیش از ۳/۶ میلیون هکتار از سطح جهان تحت تاثیر این پدیده قرار دارند (لامچین^۲ و همکاران، ۲۰۱۶). یکی از مظاهر بیابان‌زایی از بین رفتن کلی یا جزئی اراضی کشاورزی است. علاوه بر این، بیابان‌زایی در مقیاس‌های مختلف مکانی و زمانی بر فرایندهای بیوفیزیکی، اجتماعی و اقتصادی تاثیر منفی می‌گذارد (گائو^۳ و همکاران، ۲۰۱۷؛ صالح‌پور چم و همکاران، ۱۳۹۷؛ سرگزی و همکاران، ۱۳۹۸). بیابان‌زایی یک تهدید زیست‌محیطی رایج است که بخش بزرگی از کشور ایران را تحت تاثیر قرار می‌دهد. از ویژگی‌های اصلی این منطقه می‌توان به شوری آب و خاک، کمبود بارش، تبخیر شدید و فعالیت‌های انسانی اشاره کرد. این عوامل منجر به پوشش گیاهی کم شده و در نتیجه به زوال اکوسیستم شکننده کمک می‌کند. در سه دهه اخیر، داده‌های سنجش‌ازدور به‌طور عمومی برای پایش و ارزیابی اکوسیستم‌ها و مخاطراتی مانند بیابان‌زایی مورد استفاده قرار گرفت (هوانگ^۴ و همکاران، ۲۰۰۶، گوانگ^۵ و همکاران، ۲۰۱۷). سنجش‌ازدور، داده‌های دقیق و اطلاعات فراوان را ارائه کرده و می‌تواند برای مبارزه و کاهش اثر بیابان‌زایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک مورد بهره‌برداری قرار گیرد (وانگ^۶ و همکاران، ۲۰۱۷). چندین ماهواره سنجش‌ازدور مانند لندست و سنتینل برای نقشه‌برداری و درک ریشه‌های فرایند بیابان‌زایی در مقیاس محلی و منطقه‌ای مورد استفاده قرار گرفتند (زیائو^۷ و همکاران، ۲۰۰۵؛ هیل^۸ و همکاران، ۲۰۰۸). بر اساس بررسی‌ها و داده‌های تجربی، شاخص‌های خاصی برای پایش و ارزیابی بیابان‌زایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک توسعه یافته است. خطرات بیابان‌زایی را می‌توان بر اساس تصاویر سنجش‌ازدور و با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی سنتی و تحلیل‌های طیفی مورد بررسی قرار داد (افراسینی^۹ و همکاران، ۲۰۱۷؛ پان^{۱۰}، ۲۰۱۳). برخی از پژوهش‌ها چنین عنوان کردند که می‌توان بر اساس روابط منفی بین پوشش گیاهی و آلودگی شاخصی را برای استخراج بیابان‌زایی ارائه داد (ما^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۱). در نقشه‌برداری خطرات محیطی، تخمین زیست‌توده، تحقیقات کشاورزی و شناسایی مناطق بیابانی‌شده از ابزار تبدیل کلاک زنگوله‌ای TCT استفاده می‌شود (جین^{۱۲} و همکاران، ۲۰۰۵؛ لیو^{۱۳} و همکاران، ۲۰۱۵). کلاک زنگوله‌ای یک نوع مبدل برای کاهش تفسیرپذیری تصویر چندطیفی برای بازگرداندن سه شاخص موضوعی است. از بین این سه شاخص، شاخص روشنایی به پس زمینه خاک حساس است. شاخص سربیزی برای تشخیص پوشش گیاهی استفاده شده و شاخص رطوبت اطلاعاتی در مورد رطوبت آب، خاک و شرایط پوشش گیاهی فراهم می‌کند (کاس^{۱۴} و توماس، ۱۹۷۶). برخی از محققان بین بیابان‌زایی و افزایش آلودگی سطحی رابطه‌ای برقرار کردند (جکسون^{۱۵} و همکاران، ۱۹۷۵). خاک‌های با ماسه و بافت خاک

1 United nations Convention to Combat Desertification

2 Lamchin

3 Guo

4 Huang

5 Guang

6 Wang

7 Xiao

8 Hill

9 Afrasinei

10 Pan

11 Ma

12 Jin

13 Liu

14 Kauth

15 Jackson

روشن در مقایسه با خاک‌های دارای بافت رسی که رطوبت سطح را حفظ می‌کند، به سرعت خشک می‌شوند. کاهش رطوبت باعث کاهش دسترسی به آب در پوشش گیاهی شده و در نتیجه منجر به بیابانی شدن می‌گردد. با این حال، در برخی از پژوهش‌ها با ایجاد روابط کمی بین شاخص‌های بیوفیزیکی اقدام به بررسی بیابان‌زایی گردید (بسرلی پینا^۱ و همکاران، ۲۰۱۶). این مدل‌ها نمی‌توانند به استخراج اراضی با شدت بیابان‌زایی کم و زیاد یاری رسانند. این کمبودها باعث شده تا برای استخراج درجات مختلف بیابان‌زایی، روابط جدید ایجاد گردد.

برای نقشه‌برداری و ارزیابی بیابان‌زایی در نواحی خشک و نیمه‌خشک چندین فن سنجش‌ازدور توسعه داده شده است. از این روش‌ها می‌توان به روش‌های تفسیر بصری (هوانگ^۲ و همکاران، ۲۰۰۶)، روش SMA (ترام^۳ و همکاران، ۱۹۹۸؛ وروونچی^۴، ۲۰۱۶)، الگوریتم طبقه‌بندی (افراسینی و همکاران، ۲۰۱۷؛ افراسینی و همکاران، ۲۰۱۸)، شاخص طیفی (NDVI و albedo) و تبدیل تصاویر مانند TCT (زانچتا^۵ و همکاران، ۲۰۱۶) اشاره کرد. روش‌های پیشنهادی مبتنی بر تحلیل رابطه بین شاخص‌های طیفی بیوفیزیکی و خطر بیابان‌زایی است. هدف از این روش‌ها، انتخاب بهترین ترکیب از شاخص‌های طیفی است که همبستگی بالایی ارائه می‌دهند. روش‌های انتخاب‌شده را می‌توان به سه مرحله اصلی استخراج شاخص‌های طیفی و TCT، آموزش و تحلیل همبستگی و اجرای یک شاخص برای استخراج درجات مختلف بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه تقسیم کرد.

هدف از این پژوهش، بررسی درجات بیابان‌زایی در منطقه نرمایش در استان کرمان بوده و به این منظور رابطه‌ای مبتنی بر شاخص‌های مختلف بیوفیزیکی از قبیل NDVI^۶، سبزی، رطوبت، آلبدوی سطح و روشنایی ارائه شد. روش پژوهش بر پایه مقایسه تحلیل‌های رگرسیونی شاخص NDVI-albedo، روش کلاهدک زنگوله روشنایی (TCB^۷)، سبزی (TCG^۸) و رطوبت (TCW^۹) استوار است. شاخص درجه بیابان‌زایی DDI^{۱۰} بر اساس نتایج تحلیل رگرسیونی محاسبه شده و برای استخراج درجات بیابان‌زایی استفاده شد. نقشه نهایی شدت بیابان‌زایی به پنج درجه طبقه‌بندی شده است.

داده‌ها و روش‌ها

منطقه نرمایش در مختصات جغرافیایی ۲۸ درجه و ۴۰ دقیقه و ۸ ثانیه تا ۲۹ درجه و ۵ دقیقه و ۱۵ ثانیه عرض شمالی و ۵۸ درجه و ۲۸ دقیقه و ۴۵ ثانیه تا ۵۹ درجه و ۸ دقیقه و ۲۳ ثانیه طول شرقی در بخش شرقی استان کرمان و در حاشیه کویر لوت واقع شده است. منطقه نرمایش بر روی یک مخروط‌افکنه واقع شده و بخش شرقی آن به وسیله بیابان احاطه شده است.

¹ Becerril-Piña

² Huang

³ Tromp

⁴ Vorovencii

⁵ Zanchetta

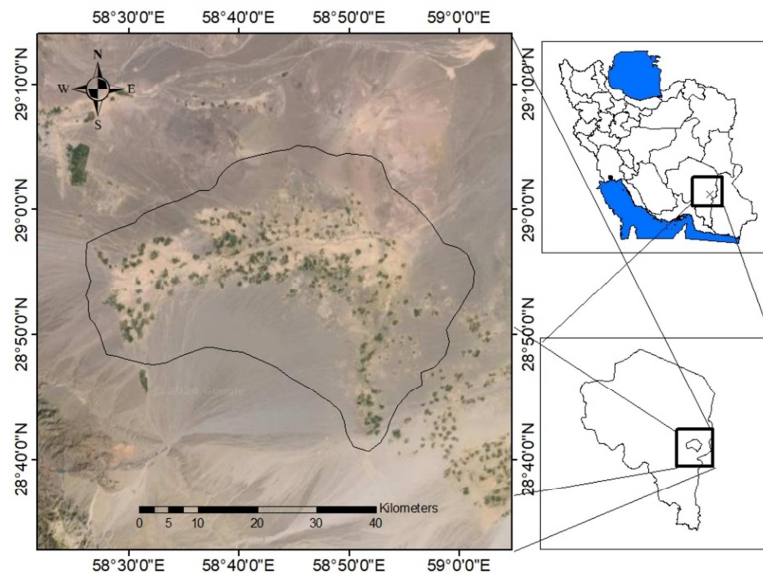
⁶ Normalized Difference vegetation Index

⁷ TASSELLED Cap Brightness

⁸ Tasseled cap greenness

⁹ Tasseled cap wetness

¹⁰ Desertification degree index



شکل ۱: موقعیت محدوده مورد مطالعه در منطقه نرماشیر. منبع: نویسندگان

برای بررسی شدت بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه از تصاویر لندست ۸ استفاده شد. این تصویر در ۱۷ آگوست ۲۰۲۳ به‌دست آمد. تصاویر بدون ابر در تیرماه به این دلیل انتخاب شد که در این زمان، پوشش گیاهی به میزان حداقل رسیده و محصولات زراعی برداشت شده‌اند. در این ماهواره از ۶ باند طیفی بازتابی استفاده شده که دارای پیکسل‌های ۳۰ متری بوده و در بازه زمانی ۱۶ روزه تصویربرداری شده است.

جدول ۱: خصوصیت‌های باندهای استفاده‌شده از ماهواره لندست ۸

سنجنده	گذر	ردیف	تاریخ تصویربرداری	باند	توان تفکیک	طول موج
OLI لندست ۸	۱۵۸	۴۰	۲۰۲۳/۰۸/۱۷	باند ۱	۳۰ متر	گردوغبار، ساحل
				باند ۲	۳۰ متر	آبی
				باند ۳	۳۰ متر	سبز
				باند ۴	۳۰ متر	قرمز
				باند ۵	۳۰ متر	مادون قرمز نزدیک
				باند ۶	۳۰ متر	مادون قرمز موج کوتاه
				باند ۷	۳۰ متر	مادون قرمز موج کوتاه
				باند ۸	۱۵	پانکروماتیک
				باند ۹	۳۰	ابر سیروس
				باند ۱۰	۱۰۰	حرارتی
				باند ۱۱	۱۰۰	حرارتی

شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال‌شده NDVI، یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای استخراج پوشش گیاهی است. این شاخص بر اساس بازتاب قرمز و NIR بوده و با گرفتن نسبت باندهای قرمز و NIR از داده‌های سنجنش‌ازدور محاسبه می‌شود. مقادیر NDVI بین ۱- (آب و برف) و ۱+ (پوشش گیاهی کامل) در نوسان است. شاخص NDVI در چندین

پژوهش به‌عنوان شاخص بررسی بیابان‌زایی در مناطق خشک مورد استفاده قرار گرفت (معادله ۱) (گریسپ^۱ و همکاران، ۲۰۱۸).

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (1)$$

در این معادله R و NIR به ترتیب باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک در تصاویر لندست ۸ هستند. شاخص albedo تبدیل باند باریک به پهن بر اساس داده‌های ماهواره‌ای چند طیفی است که در محدوده طیفی ۰/۳۸ تا ۲/۵ میکرومتر قرار دارد (ناگلی^۲ و همکاران، ۲۰۱۷). آلبدوی سطح زمین یک شاخص مهم برای تعیین بیلان انرژی و تغییر در ریز اقلیم بوده و می‌تواند باعث بیابان‌زایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک گردد (لی و همکاران، ۲۰۰۰). وضعیت آلبدو با بهره‌گیری از معادله لیانگ و سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ محاسبه شده و در برآورد آلبدوی سطحی به‌کار گرفته شد (ندکو^۳، ۲۰۱۷).

$$\text{albedo (a)} = [(0.356 \cdot \text{blue}) + (0.130 \cdot \text{red}) + (0.373 \cdot \text{nir}) + (0.085 \cdot \text{swir1}) + (0.072 \cdot \text{swir2}) - 0.018] / 1.016 \quad (2)$$

روش TCT که با عنوان تبدیل KT نیز شناخته می‌شود، تبدیل خطی مقادیر پیکسل‌های تصاویر سنجنش‌ازدور است که توسط کاس و توماس و با بهره‌گیری از ماهواره لندست ۵ در سال ۱۹۷۶ توسعه یافت. این شاخص از طریق همبستگی بین NIR و باند مرئی ایجاد می‌گردد. برای ایجاد این شاخص از شاخص‌های روشنایی TCB، سبزی TCG و رطوبت TCW بهره گرفته شد. شاخص TCB زمین‌های برهنه و فاقد پوشش برف را نشان می‌دهد. شاخص TCG نشان‌دهنده انواع مختلف پوشش گیاهی بوده و شاخص TCW در ارتباط با رطوبت خاک توسعه داده شده است (زانچتا^۴ و همکاران، ۲۰۱۶). روش TCT به مجموعه‌ای از ضرایب نیاز دارد که باندهای تصاویر چند طیفی را وزن دهی می‌کند. جدول ۲ ضرایب تبدیل مورد استفاده در این پژوهش را برای ماهواره لندست ۸ نشان می‌دهد (ندکو، ۲۰۱۷).

جدول ۲: ضریب انتقال تصاویر لندست ۸ در تبدیل کلاهی زنگوله‌ای TCT

شاخص	باند ۲	باند ۳	باند ۴	باند ۵	باند ۶	باند ۷
روشنایی TCB	۰/۳۰۲۹	۰/۳۷۸۶	۰/۴۷۳۳	۰/۵۵۹۹	۰/۵۰۸	۰/۱۸۷۲
سبزی TCG	-۰/۲۹۴۱	-۰/۲۴۳	-۰/۵۴۲۴	۰/۷۲۷۶	۰/۰۷۱۳	-۰/۱۶۰۸
رطوبت TCW	۰/۱۵۱۱	۰/۱۹۷۳	۰/۳۲۸۳	۰/۳۴۰۷	-۰/۷۱۱۷	-۰/۴۵۵۹

$$\text{brightness} = b2(0.3029) + b3(0.2786) + b4(0.4733) + b5(0.5599) + b6(0.508) + b7(0.1872) \quad (3)$$

$$\text{greenness} = b2(-0.2941) + b3(-0.243) + b4(-0.5424) + b5(0.7276) + b6(0.0713) + b7(-0.1608) \quad (4)$$

$$\text{wetness} = b2(0.1511) + b3(0.1973) + b4(0.3283) + b5(0.3407) + b6(-0.7117) + b7(-0.4559) \quad (5)$$

بر اساس روابط رگرسیونی بین شاخص‌ها، درجات بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و به پنج دسته خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شد. هدف از این طبقه‌بندی، تفکیک هر درجه بیابان‌زایی با استفاده از تفاوت بین شاخص‌ها و ترکیب‌های بیابان‌زایی بوده است. طبقه‌بندی فضای ویژه، فنی است

¹ Gillespie

² Naegeli

³ Nedkov

⁴ Zanchetta

که برای نقشه‌برداری و ارزیابی بیابان‌زایی در برخی مناطق خشک اقتباس شده است. برخی از محققان رابطه بین پوشش گیاهی و آلودگی را تجزیه و تحلیل کردند (پان و همکاران، ۲۰۱۰). آلودگی سطحی با کاهش پوشش گیاهی افزایش یافته و تغییرات آلودگی بر تعادل تابش سطحی تاثیر گذاشته و در نتیجه دمای سطح زمین را تحت تاثیر قرار می‌دهد. علاوه بر این، از طریق تحلیل روابط بین TCG و TCB شدت بیابان‌زایی در نواحی خشک محاسبه شد (لیو و همکاران، ۲۰۱۸). برای تعیین ترکیبی که بهترین همبستگی منفی را داشته باشد، بین شاخص‌های albedo-NDVI، TCG-TCB و TCW-TCB رابطه همبستگی انجام شد. از ضریب همبستگی پیرسون برای تحلیل همبستگی بین پنج شاخص TCG، albedo، NDVI، TCB و TCW استفاده شد. تحلیل رگرسیون خطی را می‌توان با استفاده از معادله خطی ساده انجام داد که در آن x متغیر مستقل و y متغیر وابسته می‌باشد. در این پژوهش، albedo و TCB متغیرهای مستقل هستند. شاخص‌های TCG، NDVI و TCW به ترتیب متغیرهای وابسته را تشکیل می‌دهند. با استفاده از GIS مجموعه‌ای از نقاط به صورت تصادفی استخراج شد. نقاط انتخاب‌شده کل منطقه مورد مطالعه را پوشش می‌دهند. بر این اساس مقادیر پیکسل برای هر شاخص استخراج شد. سپس همبستگی خطی برای هر طبقه از بیابان‌زایی برآورد گردید. بیابان‌زایی در این منطقه ناشی از عوامل اقلیمی و انسانی می‌باشد. در ارزیابی کمی شدت بیابان‌زایی، شاخص‌های فیزیکی و بیوفیزیکی ادغام شدند. در این ارزیابی، عوامل انسانی لحاظ نگردید.

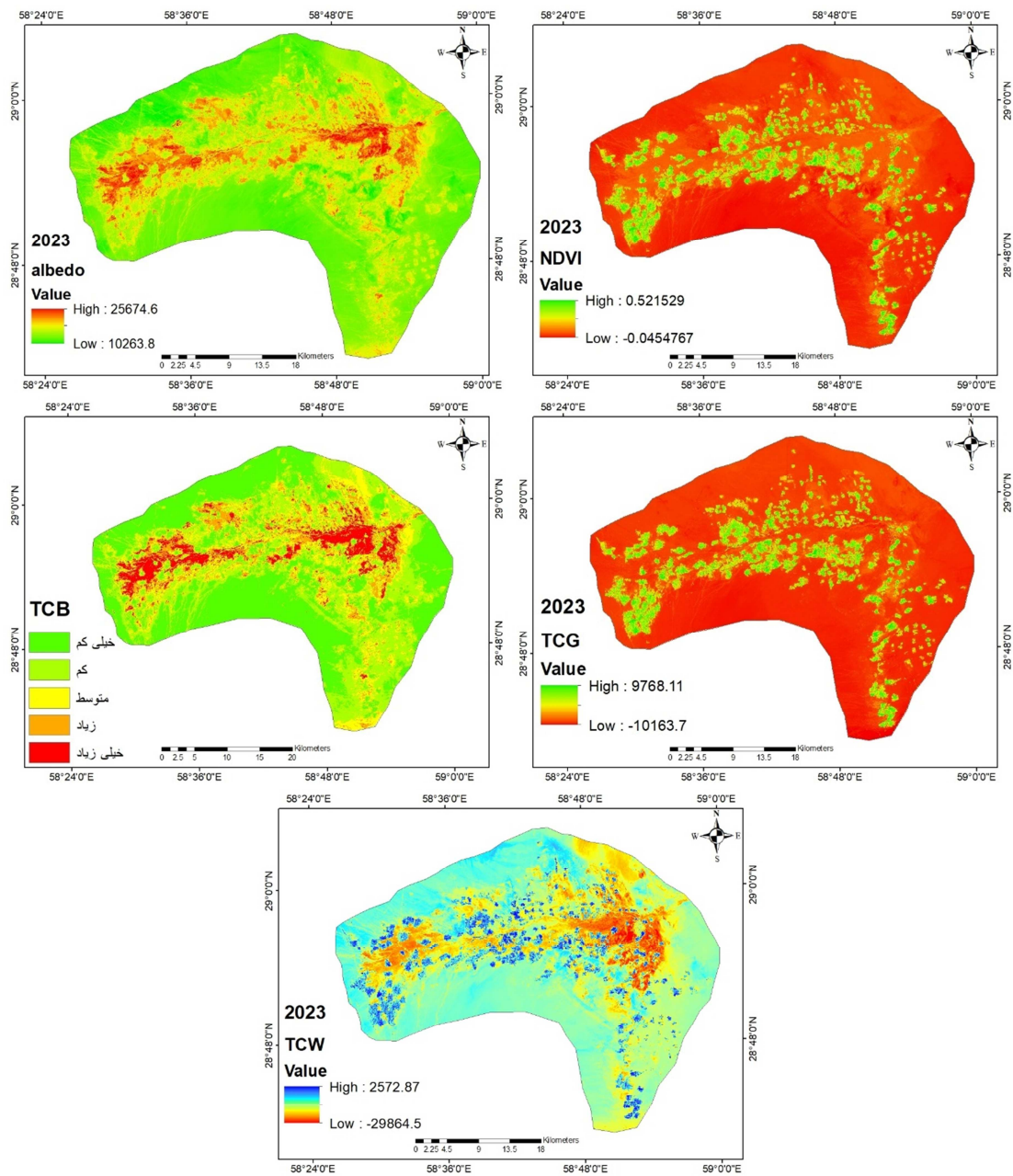
برای طبقه‌بندی مقادیر DDI به پنج طبقه، از الگوریتم طبقه‌بندی شکست طبیعی جنکز استفاده شد. این الگوریتم با موفقیت برای طبقه‌بندی بیابان‌زایی در مناطق خشک مورد استفاده قرار گرفت. شکست طبیعی جنکز، یک روش خوشه‌بندی داده است که برای تعیین بهترین آرایش مقادیر در طبقات مختلف طراحی شده است. این روش به دنبال کاهش و افزایش واریانس در طبقات می‌باشد (جنکز^۱، ۱۹۶۳). این الگوریتم داده‌ها را با توجه به شکست‌های ذاتی در داده‌ها گروه‌بندی می‌کند؛ به این معنی که این طبقه‌بندی به داده‌های آموزشی به عنوان ورودی نیاز نداشته و طبقه‌بندی را بر اساس تعداد کلاس‌ها انجام می‌دهد. نقاطی که تفاوت در آنها به حداکثر می‌رسد، شناسایی شده و به عنوان آستانه برای هر طبقه در نظر گرفته می‌شود. پس از استخراج شدت بیابان‌زایی با بهره‌گیری از شاخص DDI و شکست طبیعی جنکز، ارزیابی دقت با استفاده از ماتریس سردرگمی انجام شد (ایت لامگادام^۲ و همکاران، ۲۰۱۷). تمامی نقاط برای اعتبارسنجی استفاده شد. الگوریتم شکست طبیعی جنکز، یک روش طبقه‌بندی وابسته بوده و برای آموزش به نقاط زمین نیاز ندارد.

یافته‌های پژوهش

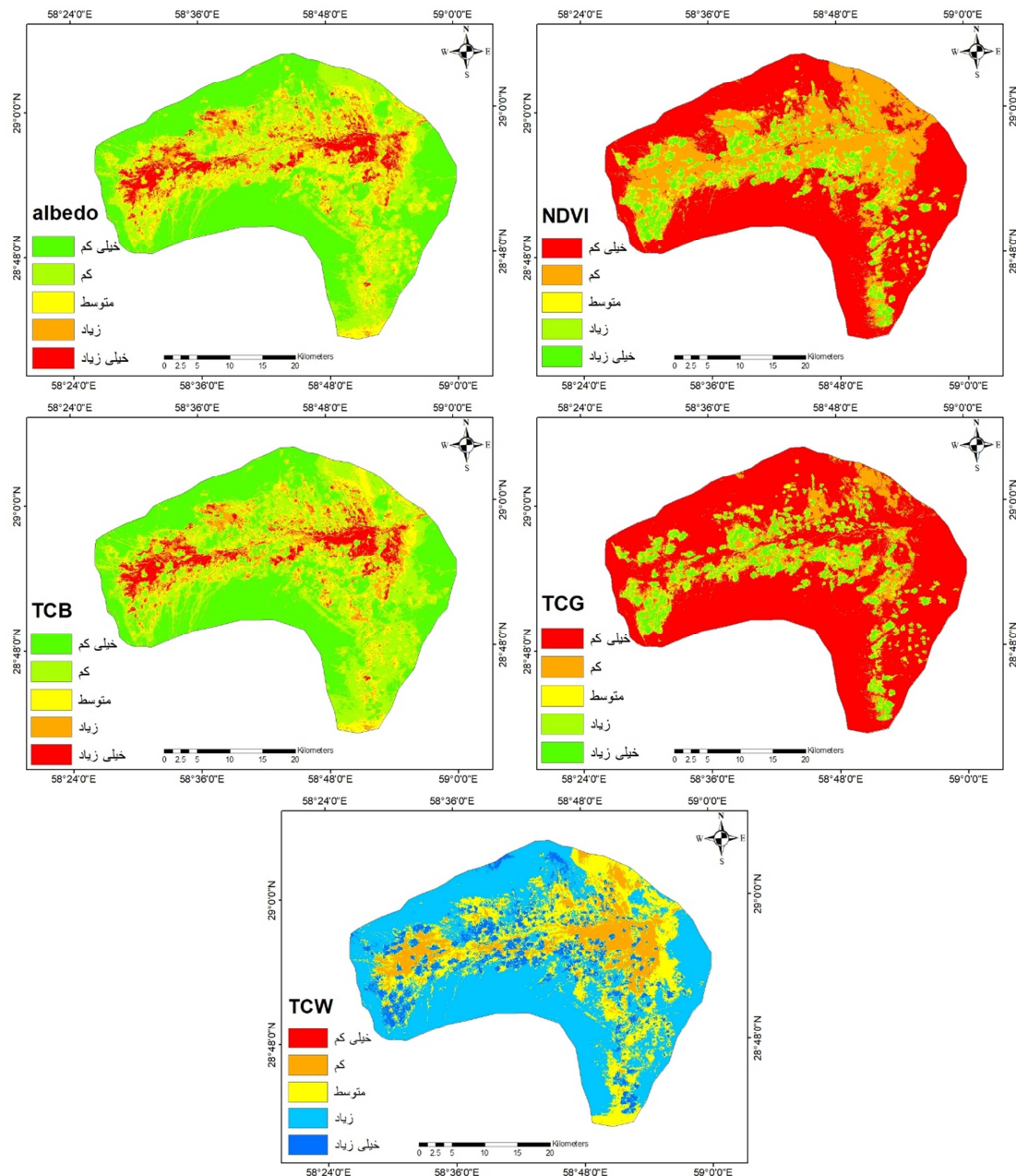
پس از اجرای شاخص‌های طیفی، اقدام به تحلیل شاخص‌ها گردید (شکل ۲). مقادیر بالای NDVI و TCG با مزارع واقع در منطقه مورد مطالعه مطابقت دارد؛ درحالی‌که مقادیر پایین نشان‌دهنده نواحی بیابانی است که در منطقه نرماشیر واقع شده‌اند. مقادیر کم albedo مربوط به پوشش گیاهی و پهنه‌های آبی است و مقادیر بالای آلودگی و TCB خاک‌های روشن را با رنگ مایل به سفید نشان می‌دهد. شاخص TCW اطلاعاتی در مورد رطوبت خاک ارائه می‌دهد و مقادیر آن متفاوت است. مقادیر بالای TCW مربوط به پهنه‌های آبی و پوشش گیاهی است؛ درحالی‌که مقادیر پایین نشان‌دهنده مناطق خشک از جمله تپه‌های شنی و خاک‌های فقیر از مواد آلی است.

¹ Jenks

² Ait Lamqadem



شکل ۲: مقادیر شاخص‌های TCB، TCW، TCG، NDVI و albedo در سال ۲۰۲۳. منبع: نویسنده



شکل ۳: مقادیر شدت شاخص‌های TCB، TCG، TCW، NDVI و albedo در سال ۲۰۲۳. منبع: نویسنده

بخش غربی منطقه نرم‌اشیر، بر روی مخروط‌افکنه آبرفتی واقع شده و از وضعیت رطوبتی مطلوبی برخوردار بوده و کمتر دست‌خوش بیابان‌زایی قرار گرفته است. بخش شرقی منطقه به‌شدت شاهد بیابان‌زایی بوده و این مناطق با زمین‌های زراعی به‌صورت توأمان قرار گرفته است. ۳۷/۶ درصد از منطقه مورد مطالعه از مقادیر آلودگی بسیار کمی برخوردار بوده‌اند (جدول ۳). ولی ۱۶/۷ درصد از منطقه شاهد بیابان‌زایی زیاد و خیلی زیاد بوده‌اند. این مناطق بر روی تصاویر ماهواره با رنگ سفید دیده می‌شوند (شکل ۳). در مناطق شرقی میزان آلودگی بیشتر از مناطق غربی بوده است. به‌علت شرایط اقلیمی و خشک و نیمه‌خشک منطقه، پوشش گیاهی تنها منحصر به نقاطی بوده است که به منابع آبی

دسترسی داشته‌اند. بنابراین ۵۳/۴ درصد از منطقه از پوشش گیاهی خیلی کم برخوردار بوده‌اند. ۵/۹ درصد از منطقه شاهد مزارع بوده و در مابقی نقاط پوشش گیاهی محدود بوده است. مزارع و پوشش‌های گیاهی به‌شدت با نواحی بیابانی احاطه شده است. میزان شاخص TCB با مقادیر albedo مطابقت داشته و با نواحی برخوردار از آلودگی بالا منطبق می‌باشد. شاخص TCG نیز با شاخص NDVI دارای هماهنگی بالایی بوده است. ۷۰/۸ درصد از منطقه فاقد پوشش گیاهی می‌باشد. استقرار منطقه نرماشیر بر روی مخروط‌افکنه‌ای باعث شده است که این مناطق از وضعیت رطوبتی مساعدتری برخوردار باشند.

جدول ۳: مساحت طبقات مختلف شاخص‌های مورد مطالعه در پژوهش

شاخص	شدت	آستانه	مساحت	درصد
albedo	خیلی کم	۱۴۱۱۶/۵	۵۱۴/۴	۳۷/۶
	کم	۱۵۳۲۰/۴	۳۵۹/۸	۲۶/۳
	متوسط	۱۶۷۰۵/۱	۲۶۲/۵	۱۹/۲
	زیاد	۱۸۳۳۰/۳	۱۴۲/۹	۱۰/۴
	خیلی زیاد	۲۵۶۷۴/۶	۸۷/۳	۶/۳
NDVI	خیلی کم	۰/۰۴	۷۳۱/۱	۵۳/۴
	کم	۰/۱	۴۱۱/۶	۳۰/۱
	متوسط	۰/۱۹	۷۸/۵	۵/۷
	زیاد	۰/۳	۶۵/۱	۴/۷
	خیلی زیاد	۰/۵۲	۸۰/۷	۵/۹
TCB	خیلی کم	۳۲۵۰۰/۱	۵۰۹/۶	۳۷/۲
	کم	۳۵۵۷۶/۵	۳۹۶/۱	۲۸/۹
	متوسط	۳۹۱۱۳/۶	۲۲۸/۶	۱۶/۷
	زیاد	۴۳۲۶۶/۱	۱۴۰/۷	۱۰/۲
	خیلی زیاد	۶۲۰۲۸/۴	۹۲/۱	۶/۷
TCG	خیلی کم	-۴۵۵۷/۸	۹۶۸/۱	۷۰/۸
	کم	-۲۸۴۴۹/۹	۱۹۰/۵	۱۳/۹
	متوسط	-۱۹۷/۷	۶۵/۴	۴/۷
	زیاد	۲۴۴۹/۴	۶۰/۲	۴/۴
	خیلی زیاد	۹۷۶۳/۱	۸۲/۵	۶/۱
TCW	خیلی کم	-۱۱۶۱۸/۴	۰/۰۲	۰/۰۱
	کم	-۴۷۷۶/۲	۱۶۱/۸	۱۱/۸
	متوسط	-۳۱۲۹/۱	۳۳۴/۸	۲۴/۵
	زیاد	-۱۳۵۵/۱	۷۵۵/۳	۵۵/۲
	خیلی زیاد	۲۵۷۲/۸	۱۱۴/۹	۸/۴

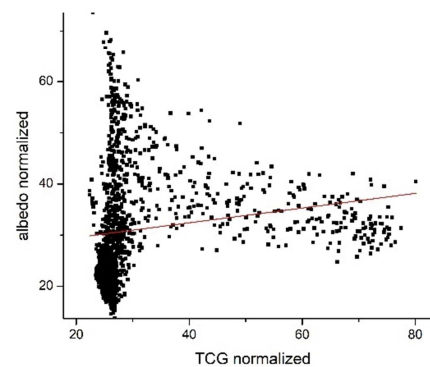
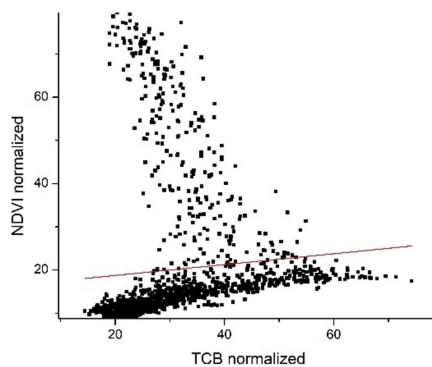
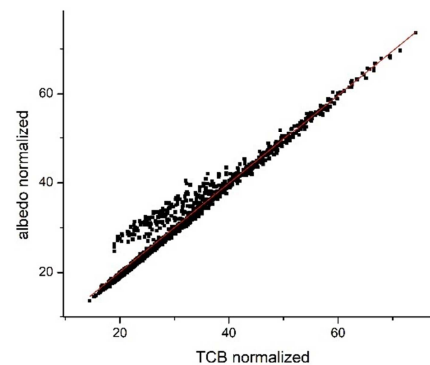
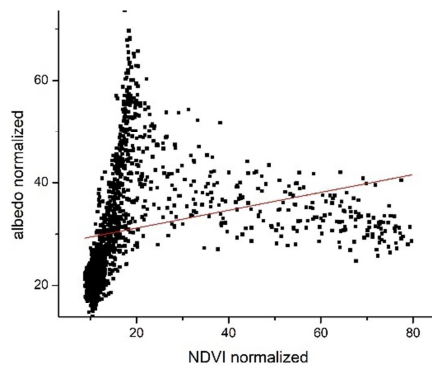
نتایج و بحث

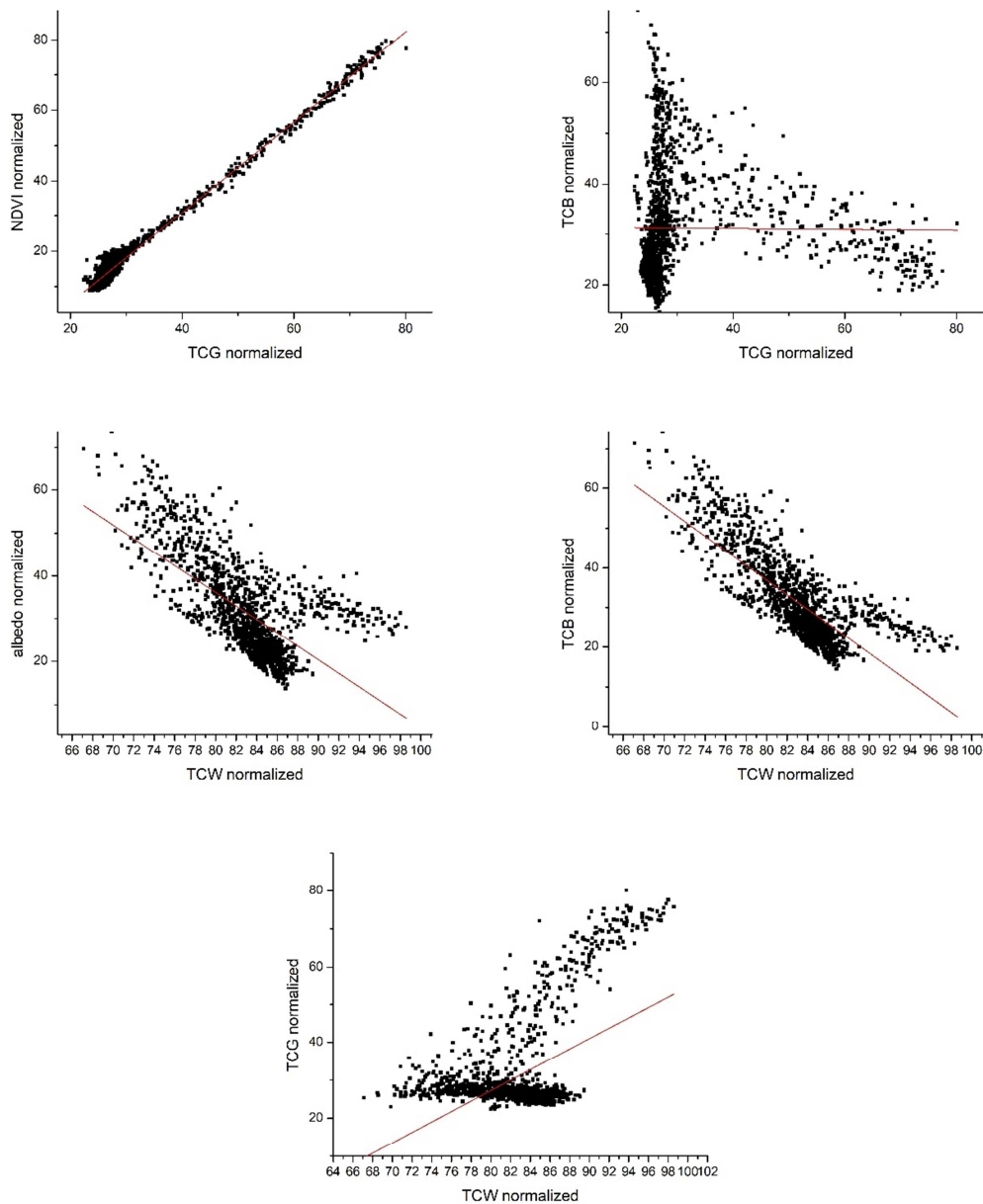
با توجه به اینکه هدف از محاسبه شاخص‌های بالا، برآورد شدت بیابان‌زایی در منطقه بوده است، بنابراین اقدام به برآورد روابط رگرسیونی بین این شاخص‌ها شد تا بدین وسیله با استفاده از مقادیر شیب خط، شاخص DDI برآورد گردد. تجزیه و تحلیل‌ها یک همبستگی منفی قوی را به میزان ۰/۷۷- بین TCW و TCB را نشان داد. پارامتر TCW ارتباط زیادی با رطوبت و بافت خاک داشته و می‌تواند اطلاعات زیادی در مورد انواع مختلف خاک ارائه دهد (زنگ و همکاران، ۲۰۰۶). در بین شاخص‌های TCB و TCG همبستگی بسیار کمی به میزان ۰/۰۰۹- مشاهده شده است. بررسی‌ها همبستگی کمی را در حد ۰/۲۵ بین NDVI و albedo نشان داد. مقادیر همبستگی برای هر شدت از

بیابان‌زایی در جدول ۴ نشان داده شده است. برای تمامی شدت‌های بیابان‌زایی، همبستگی بالایی به میزان ۰/۷۷- بین TCW و TCB برقرار گردید. همبستگی بین NDVI و آلبدو برای شدت‌های بالای بیابان‌زایی منفی بوده و در سایر طبقات، همبستگی مثبتی به دست آمد. این امر به این معنی است که همبستگی بین NDVI و albedo در شدت‌های کم و متوسط مثبت بوده است.

جدول ۴: مقادیر ضریب همبستگی پیرسون و ضریب تعیین بین شاخص‌های برآورد شدت بیابان‌زایی

شاخص‌ها	شیب خط	ضریب پیرسون	ضریب تعیین
TCW, TCG	۱/۳۷	۰/۴۹	۰/۲۴
TCW, TCB	-۱/۸۴	-۰/۷۷	۰/۶۱
TCW, NDVI	۱/۵۲	۰/۴۲	۰/۱۸
TCW, albedo	-۱/۵۷	-۰/۶۵	۰/۴۳
TCG, TCB	-۰/۰۰۸	-۰/۰۰۹	۰/۰۰۱
TCG, NDVI	۱/۳۸	۰/۹۹	۰/۹۸
TCG, albedo	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۰۲
TCB, NDVI	۰/۱۲	۰/۰۸	۰/۰۰۶
TCB, albedo	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۶
NDVI, albedo	۰/۱۷	۰/۲۵	۰/۰۶





شکل ۴: نمودار پراکنش بین شاخص‌های برآورد شدت بیابان‌زایی. منبع: نویسنده

پس از برآورد روابط رگرسیونی، اقدام به ساخت شاخص درجه بیابان‌زایی گردید. اولین قدم برای استخراج درجه بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه بر اساس روابط بین TCW و TCB، نرمال‌سازی دو شاخص با در نظر گرفتن مقادیر حداقل و حداکثر برای هر یک بوده است. لزوم نرمال‌سازی داده‌ها در فرایند ایجاد فضای ویژگی در پژوهش‌های پیشین به تأیید رسیده است (میا و همکاران، ۲۰۱۱).

$$TCW \text{ normalized} = 100 \cdot \frac{(TCW - TCW \min)}{(TCW \min + TCW \max)} \quad (۶)$$

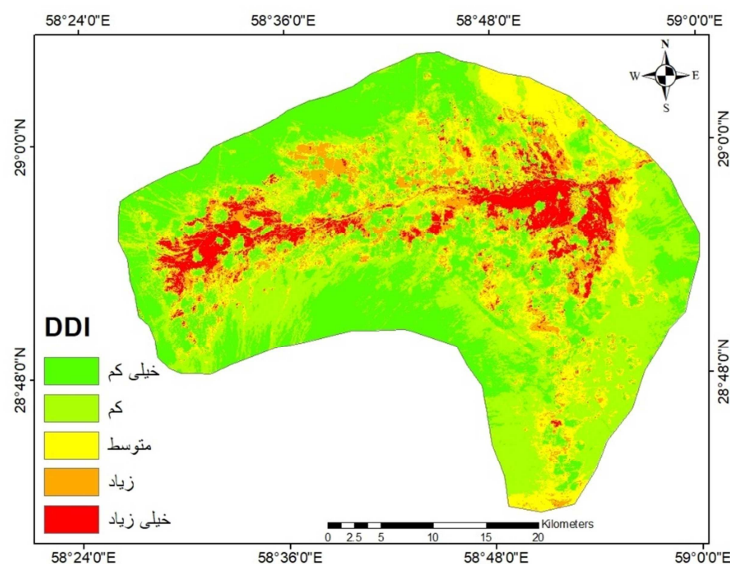
$$TCB \text{ normalized} = 100 \cdot \frac{(TCB - TCB_{min})}{(TCB_{min} + TCB_{max})} \quad (۷)$$

برای تحلیل و استخراج درجه‌های مختلف بیابان‌زایی در نمودار پراکنش TCW-TCB، نموداری بر اساس تحلیل همبستگی ترسیم شد. نمودار پراکنش NDVI-albedo همبستگی پایینی را برای نقاط استخراج‌شده نشان داد. نتایج نشان می‌دهد که همبستگی خطی منفی معنی‌داری بین TCW و TCB وجود دارد که مربوط به شدت‌های مختلف بیابان‌زایی است.

شاخص DDI با بهره‌گیری از معادله رگرسیونی NDVI-albedo و TCW-TCB برآورد می‌گردد. میا و همکاران (۲۰۱۱) بر اساس شدت بیابان‌زایی و بر اساس مدل NDVI-albedo مدلی را ارائه کردند. مقایسه روابط TCW با TCB و NDVI-albedo نشان داد که TCW با TCB همبستگی بالایی داشته و در نتیجه تمایز بهتری از پدیده‌های مختلف را ارائه می‌دهد. مدل توسعه‌یافته توسط میا و همکاران (۲۰۱۱) دارای ضعف در تمایز درجات مختلف بیابان‌زایی به‌ویژه در مناطق با بیابان‌زایی متوسط است. در این پژوهش بر اساس روابط بین TCW با TCB روش جدیدی برای استخراج درجات بیابان‌زایی پیشنهاد شد. شاخص DDI از طریق معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$DDI = a \cdot TCW + TCB \quad (۸)$$

در این معادله a نشان‌دهنده شیب معادله است. مقادیر a معادل $1/84$ - به‌دست آمد. با اجرای شاخص DDI، شدت بیابان‌زایی بر اساس الگوریتم شکست طبیعی جنکز به پنج طبقه خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم‌بندی شده است. تجزیه و تحلیل همبستگی نشان می‌دهد که مناطق با خاک روشن و خاک فقیر از مواد آلی با خشکی بالا مطابقت دارد. مناطق آبی و پوشش گیاهی متراکم به دلیل وجود مواد آلی، با روشنایی کم خاک مشخص می‌شوند. شکل ۵ طبقه‌بندی گرافیکی درجات مختلف بیابان‌زایی را بر اساس نمودار پراکنش TCW-TCB نشان می‌دهد. حدود ۱۷/۴ درصد از منطقه مورد مطالعه پس از اعمال شاخص DDI در سطوح بیابان‌زایی زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شدند. حدود ۳۰/۱ درصد در سطح بیابان‌زایی خیلی کم طبقه‌بندی می‌شود. بنابراین، شدت بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۲۳ در نواحی پیرامونی پوشش گیاهی قابل توجه می‌باشد.



شکل ۵: برآورد شاخص DDI با بهره‌گیری از روابط همبستگی و شیب خط TCW-TCB. منبع: نویسنده

جدول ۵: مقادیر بیابان‌زایی بر اساس شاخص DDI در سال ۲۰۲۳

شدت	آستانه	مساحت کیلومتر مربع	درصد
خیلی کم	۳۶۰۶۶/۸	۴۱۰/۸	۳۰/۱
کم	۴۰۶۶۰/۴	۴۴۷/۳	۳۲/۷
متوسط	۴۶۵۶۶/۵	۲۶۸/۶	۱۹/۶
زیاد	۵۲۸۰۰/۶	۱۴۴/۹	۱۰/۵
خیلی زیاد	۱۰۵۹۵۵	۹۵/۳	۶/۹

خطر بیابان‌زایی از غرب به شرق افزایش می‌یابد. مناطق فاقد بیابان‌زایی یا با بیابان‌زایی کم در بخش‌های غربی قرار دارند. شدت بیابان‌زایی در بخش شرقی قابل‌توجه می‌باشد. به‌طور کلی زمین‌های بیابانی که ناشی از حرکت تپه‌های ماسه‌ای و فرسایش بادی است، در اطراف پوشش‌های گیاهی یافت می‌شوند. دقت نقشه‌ها با بهره‌گیری از ماتریس سردرگمی به‌دست آمد. بر این اساس صحت کلی و ضریب کاپا به ترتیب معادل ۹۱/۲ درصد و ۰/۸۶ برآورد شد. قابلیت این شاخص‌ها در برآورد وضعیت بیابان‌زایی با توانمندی‌های ارائه‌شده در یافته‌های زانچتا و همکاران (۲۰۱۶) و لیو و همکاران (۲۰۱۸) دارای همخوانی می‌باشد.

نتیجه‌گیری

شاخص TCT برای ارزیابی شاخص‌های TCW و TCB و به‌دست آوردن رابطه نسبی بین پوشش گیاهی، بدنه‌های آبی و خاک با فرایند بیابان‌زایی گرفته شد. بر اساس تجزیه و تحلیل همبستگی شاخص‌های رطوبت خاک و سایر شاخص‌ها، یک مدل در فضای ویژگی TCW-TCB برای ساخت نقشه شدت بیابان‌زایی در منطقه نرمایش ساخته شد. روش TCT که روشی آسان، قدرتمند، سریع و کارآمد است، می‌تواند با استفاده از ماهواره‌ها و حسگرهای مختلف برای ارزیابی کمی و پایش درجه بیابان‌زایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک اجرا شود. کریست^۱ و همکاران (۱۹۸۶) نتایج مشابهی را گزارش کرده‌اند که در آن همبستگی منفی بین TCW و TCB برقرار بوده و TCW می‌تواند داده‌های مناسب‌تری برای مدیریت خاک و پوشش گیاهی ارائه دهد (کریست و همکاران، ۱۹۸۶). یافته‌های این پژوهش تأیید می‌کند که TCW می‌تواند به‌عنوان یک شاخص ارزشمند برای ارزیابی پوشش گیاهی و محیط‌زیست در مناطق خشک و نیمه‌خشک استفاده شود. مشابه پژوهش‌های قبلی (پان و همکاران، ۲۰۱۳)، مدل albedo-NDVI نمی‌تواند تمایز خوبی بین پهنه‌های آبی، خاک برهنه و سایر ویژگی‌های پوشش زمین ارائه دهد. میزان NDVI و آلبدوی سطحی برای آب و خاک بایر تیره رنگ مقادیر کمی را به‌دست می‌آورد. در این پژوهش بر اساس رابطه بین بیابان‌زایی و دو شاخص رطوبت خاک TCW و روشنایی خاک TCB یک شاخص پایش بیابان‌زایی پیشنهاد شد. سپس شاخص پیشنهادی با استفاده از لندست ۸ برای ارزیابی کمی بیابان‌زایی به‌کار گرفته شد. بررسی‌ها نشان داد که ترکیب TCT-TCB در مقایسه با ترکیب NDVI-albedo نتایج بهتری را ارائه می‌دهد. شاخص DDI برای برآورد بیابان‌زایی از تصاویر چندطیفی استفاده کرده و برای پایش بیابان‌زایی تنها به تصاویر سنجش‌ازدور وابسته است. شاخص DDI برای نقشه‌برداری کمی شدت بیابان‌زایی استفاده شد. روش اعمال‌شده دقت بالاتری ایجاد کرده است.

¹ Crist

نتایج حاصل از نقشه بیابان‌زایی نشان داد که به ترتیب ۶/۹ و ۱۰/۵ درصد در درجات زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی می‌شوند. حدود ۳۰/۱ درصد از منطقه نرمایش در طبقه بیابان‌زایی خیلی کم قرار می‌گیرد. بیشترین مناطق آسیب‌دیده از پدیده بیابان‌زایی در شرق منطقه مورد مطالعه قرار دارند. این مناطق با حرکت تپه‌های ماسه‌ای، شوری خاک و بارندگی و آب کم مشخص می‌شوند. این نقشه‌ها مناطقی که نیاز به حفاظت دارند را شناسایی خواهد کرد. این مناطق به‌طور کلی با خطر بیابان‌زایی بالا و تراکم پوشش گیاهی کم مشخص می‌شوند. داده‌های سنجش‌ازدور چندطیفی مانند لندست می‌توانند برای مطالعات مربوط به بیابان‌زایی استفاده شوند.

منابع

- سرگزی، حسین؛ اونق، مجید؛ بارانی، حسین. (۱۳۹۸). بررسی و رتبه‌بندی عوامل مدیریت تخریب زمین و بیابان‌زایی دشت سیستان، مخاطرات محیط طبیعی، ۸(۲۱)، ۱۲۹-۱۴۶. 10.22111/jneh.2019.25122.1407
- صالح‌پور جم، امین؛ طباطبایی، محمودرضا. (۱۳۹۷). بررسی اثر خصوصیات خاک‌شناسی بر پتانسیل بیابان‌زایی مخروط‌افکنه‌ها با کاربرد روش AHP-FUZZY SAW (مطالعه موردی: مخروط‌افکنه‌های مشرف به ارتفاعات حلقه دره و جارو، منطقه اشتهارد)، مخاطرات محیط طبیعی، ۱۷(۳)، ۱۹۵-۲۱۲. 10.22111/jneh.2018.19785.1236
- Afrasinei, G.M., Melis, M.T., Buttau, C., Arras, Zerrim, A., Guied, M., Ouessar, M., Essifi, B., Zaid, M.B., & Jlali, A. (2017). Classification Methods for Detecting and Evaluating Changes in Desertification-Related Features in Arid and Semi-arid Environments. *Euro-Mediterr. Journal for Environmental Integration*, 2(1), 14. <https://doi.org/10.1007/s41207-017-0021-1>
- Afrasinei, G.M., Melis, M.T., Buttau, C., Bradd, J.M., Arras, C., & Ghiglieri, G. (2017). Assessment of remote sensing-based classification methods for change detection of salt-affected areas (Biskra area, Algeria), *Journal of Applied Remote Sensing*, 11, 016025. <https://doi.org/10.1117/1.JRS.11.016025>
- Afrasinei, G.M., Melis, M.T., Arras, C., Pistis, M., Buttau, C., & Ghiglieri, G. (2018). Spatiotemporal and spectral analysis of sand encroachment dynamics in southern Tunisia. *Eur. Journal for Remote Sensing*. 51, 352-374. <https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1439343>
- Ait Lamqadem, A., Saber, H., & Rahimi, A. (2017). Spatiotemporal Changes of Vegetation in the Middle Draa Valley Oasis: A Case Study of M'hamid El Ghizlane Oasis (Morocco). *European Scientific Journal*. 13, 115-132. <https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n24p115>
- Becerril-Piña, R., Díaz-Delgado, C., Mastachi-Loza, C.A., & González-Sosa, E. (2016). Integration of remote sensing techniques for monitoring desertification in Mexico. *Human and Ecological Risk Assessment: International Journal*. 22, 1323-1340. <https://doi.org/10.1080/10807039.2016.1169914>
- Crist, E.P., Laurin, R., & Cicone, R.C. (1986). Vegetation and Soils Information Contained in Transformed Thematic Mapper Data. *Proceedings of International Geoscience and Remote Sensing 86 Symposium, Zurich, Switzerland*, 8, 1465-1470.
- Gillespie, T.W., Ostermann-Kelm, S., Dong, C., Willis, K.S., Okin, G.S., & MacDonald, G.M. (2018). Monitoring changes of NDVI in protected areas of southern California. *Ecological Indicators*, 88, 485-494. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.01.031>
- Guang, Y., Dong, C., Xinlin, H., Aihua, L., Mingjie, Y., & Xiaolong, L. (2017). Land use change characteristics affected by water saving practices in Manas River Basin, China, using Landsat satellite images. *International Journal of Agricultural Biological Engineering*. 10(6), 123-133.
- Guo, Q., Fu, B., Shi, P., Cudahy, T., Zhang, J., & Xu, H. (2017). Satellite Monitoring the Spatial-Temporal Dynamics of Desertification in Response to Climate Change and Human Activities across the Ordos Plateau, China. *Remote Sensing*, 9(6), 525-542. <https://doi.org/10.3390/rs9060525>
- Hill, J., Stellmes, M., Udelhoven, T., Röder, A., & Sommer, S. (2008). Mediterranean desertification and land degradation: Mapping related land use change syndromes based on satellite observations. *Glob. Planet Change*. 64, 146-157. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2008.10.005>
- Huang, S., & Siegert, F. (2006). Land cover classification optimized to detect areas at risk of desertification in North China based on SPOT VEGETATION imagery. *Journal of Arid Environment*. 67, 308-327. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.02.016>
- Jackson, R.D., Idso, S.B., & Otterman, J. (1975). Surface Albedo and Desertification. *Science*, 189, 1012-1015. <https://doi.org/10.1126/science.189.4207.1012>
- Jenks, G.F., 1963. Generalization in statistical mapping. *Annals of the Association of American Geographers*. 53, 15-26.
- Jin, S., & Sader, S.A. (2005). Comparison of time series tasseled cap wetness and the normalized difference moisture index in detecting forest disturbances. *Remote Sensing of Environment*, 94(3), 364-372. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.10.012>

- Kauth, R.J., & Thomas, G.S. (1976). The Tasseled Cap—A Graphic Description of the Spectral-Temporal Development of Agricultural Crops as Seen by LANDSAT. In Proceedings of the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data, West Lafayette, IN, USA, 29 June–1 July 1976; Swain, P.H., Ed.; Institute of Electrical and Electronics Engineers, Purdue University Press: West Lafayette, IN, USA, 41–51.
- Lamchin, M., Lee, J.Y., Lee, W.K., Lee, E.J., Kim, M., Lim, C.H., Choi, H.A., & Kim, S.R. (2016). Assessment of land cover change and desertification using remote sensing technology in a local region of Mongolia. *Advances in Space Research*, 57, 64–77. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2015.10.006>
- Li, S.G., Harazono, Y., Oikawa, T., Zhao, H.L., He, Z.Y., & Chang, X.L. (2000). Grassland desertification by grazing and the resulting micrometeorological changes in Inner Mongolia. *Agriculture for Meteorology*, 102, 125–137. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(00\)00101-5](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(00)00101-5)
- Liu, Q., Liu, G., Huang, C., & Xie, C. (2015). Comparison of tasseled cap transformations based on the selective bands of Landsat 8 OLI TOA reflectance images. *International Journal of Remote Sensing*, 36, 417–441. <https://doi.org/10.1080/01431161.2014.995274>
- Liu, Q., Liu, G., & Huang, C. (2018). Monitoring desertification processes in the Mongolian Plateau using MODIS tasseled cap transformation and TGSi time series. *Journal of Arid Land*, 10, 12–26.
- Ma, Z., Xie, Y., Jiao, J., Li, L., & Wang, X. (2011). The Construction and Application of an Aledo-NDVI-Based Desertification Monitoring Model. *Procedia Environmental Science*, 10, 2029–2035. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.09.318>
- Naegeli, K., Damm, A., Huss, M., Wulf, H., Schaepman, M., & Hoelzle, M. (2017). Cross-comparison of albedo products for glacier surfaces derived from airborne and satellite (Sentinel-2 and Landsat 8) optical data. *Remote Sensing*, 9, 110–127. <https://doi.org/10.3390/rs90201010>
- Nedkov, R. (2017). Orthogonal transformation of segmented images from the satellite Sentinel-2. *Comptes rendus l'Academie bulgare des Sciences*, 70(5), 687–692.
- Pan, J., & Quin, X. (2010). Extracting desertification from Landsat imagery using a feature space composed of vegetation index and albedo: a case study of Zhangye oasis and its adjacent areas. *Science Mapping*, 3, 193–195.
- Pan, J., & Li, T. (2013). Extracting desertification from Landsat TM imagery based on spectral mixture analysis and Albedo-Vegetation feature space. *Natural Hazards*, 68(2), 915–927. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0665-3>
- Tromp, M., & Epema, G.F. (1998). Spectral mixture analysis for mapping land degradation in semi-arid areas. *Geology. Mijnb.* 77, 153–160
- UNCCD. (1994). United Nations Convention to Combat Desertification in those Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, particularly in Africa; United Nations Convention to Combat Desertification: Paris, France.
- Vorovencii, I. (2016). Assessing and monitoring the risk of land degradation in Baragan Plain, Romania, using spectral mixture analysis and Landsat imagery. *Environmental Monitoring Assessment*, 188(7), 439–457. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5446-5>
- Wang, X., Hua, T., Lang, L., & Ma, W. (2017). Spatial differences of aeolian desertification responses to climate in arid Asia. *Glob. Planet Change*, 148, 22–28. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.11.008>
- Xiao, J., Shen, Y., Ryutaro, T., & Bayaer, W. (2005). Detection of land desertification and topsoil grain size using remote sensing. *International Geoscience Remote Sensing*, 1, 198–201. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2005.1526141>
- Zanchetta, A., Bitelli, G., & Karnieli, A. (2016). Monitoring desertification by remote sensing using the Tasseled Cap transform for long-term change detection. *Natural Hazards*, 83, 223–237. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2342-9>
- Zeng, Y., Xiang, N., & Feng, Z. (2006). Albedo-NDVI Space and Remote Sensing Synthesis Index Models for Desertification Monitoring. *Science Geography*, 26, 75–81. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108230>