



Utilization of Fourier Transform and Landscape Metrics for Landscape Health Assessment

Document Type
Research Paper

Received 2020/04/28

Niloufar Islamzadeh^{1*}, **Ali Reza Mikaeili Tabrizi**², **Abdolrassoul Salman Mahiny**³,
Rasoul Ghorbani⁴

Accepted 2024/09/23

1. PhD of Land use Planning, Faculty of Environmental Sciences, Gorgan University, Iran
2. Associate Professor, Faculty of Environmental Sciences, Gorgan University, Iran
3. Professor, Faculty of Environmental Sciences, Gorgan University, Iran
4. Professor, Faculty of Fisheries Sciences, Gorgan University, Iran



DOI: 10.22034/eiap.2025.216581

Abstract

In large and inaccessible natural areas, ground surveys and close assessment of landscape health becomes difficult or even impossible. In these circumstances, remote sensing data provide an inexpensive solution. The first step in assessing landscape health through remote sensing data is selection of indicators that can be derived from this imagery. Landscape health can be directly assessed using Fourier transform on satellite imagery or indirectly through image classification and then measurement of relevant landscape metrics on the classified maps. In this study, in addition to the discrete landscape metrics of land use, the Fourier transform method through frequency assessment of the images were used to assess the health status of the landscape in part of the Golestan Province. Through multi-temporal analysis, images of different times were also compared to study the change in the health status of the landscape. The results of discrete metrics and continuous Fourier approaches were similar. Fragmentation, heterogeneity and complexity at the landscape level as well as vegetation level increased during the period 1984 to 2016, leading to lower landscape integrity and connectivity. The health of the landscape appears to have declined due to increased non-uniformity of landuse types. The continuous approach in this study, namely the Fourier analysis also confirmed the changes and the decreasing trends in landscape health for the studied time period. Therefore, we conclude that both discrete and continuous Fourier methods can be used in landscape health assessment of the study area.

Keywords: Health, Landscape, Remote Sensing, Fourier Transform, Metric.

* Corresponding author:

Email: niloufarislamzadeh@gmail.com

Introduction

Usually, the first step in assessing the health of the landscape is to choose appropriate indicators. There are many ways to check the health status of the landscape. Choosing indicators is difficult and varies from case to case. But by reviewing the case studies of others, you can gain experience (Jorgensen, et al., 2005). Ecological indicators are quantities that they are closely related to the complex characteristics of the ecosystem, including its health. But often they cannot be measured directly. However, measuring these indicators simplifies the work of health assessment and reveals different aspects of ecosystem functioning (Turnhout, et al., 2007).

Normally, to quantify the structure of the landscape, two approaches of spots, passage and substrate (PMM model) and continuous measures approach (GM model) are used. Due to the fact that when classifying satellite images, part of the continuous information is lost (Cooley & Tukey, 2022), In the current research, the "Fourier transform" method and the frequency characteristics of the images, in a free and open-source environment (Grohmann, 2024), were used to check the health condition of the land surface along with the land surface parameters. In addition to revealing changes, it also preserves continuous information. In conducting this research, the most appropriate health indicators that can be extracted from satellite images have been determined. With multi-temporal analysis, the images of different times are compared to determine the changes in the appearance of the land and, as a result, the changes in the indicators related to the health of the appearance of the land and the trend of its changes. The main goal of this research is to objectively reveal the changes in the appearance of the land and examine its relationship with the health of the appearance of the land. Examining the integrity and connection in the image of the land is one of the important indicators of examining the health of the image of the land and their temporal changes are included in the present study. The Fourier analysis of satellite images is performed for the first time in Iran to check the health of the landscape.

Methodology

The area studied in this research is the sub-basins of Qarasu, Nekarud and Gorganrood watersheds, including the cities of Gorgan, Kordkoy and Bandar Gaz in Golestan province (Figure 1). The area is about 300 thousand hectares and its climate is moderate. The average annual temperature is 17 degrees Celsius and the average annual rainfall is 600 to 750 mm. The area includes mountains, forests, steppes and plains, seashores, meadows and agricultural land.

The data used in this study are the land use maps of 1984 and 2016, were studied in order to compare different indicators of the landscape. These maps are taken from the planning of Golestan province (Salman Mahini et al., 2015), and Landsat satellite images were used in their preparation. In addition to examining the discrete measurements on these classified maps, in the continuous section, the images of the TM and OLI sensors of the Landsat satellite in 1984 and 2016 were used directly and without classification (Table 1).

In this research, satellite images were classified by supervised method and maximum probability. As a result, eight classes including city, forest, water, agriculture, pasture, bare land, road and waterway were obtained. To evaluate the correctness of the classification of user classes separately, the correctness parameters of user and producer were calculated separately. For this purpose, the determination of ground reality points on Google Earth images of 2016 and on the virtual color image of 1984 was used. Comparison of control points and user map classes and as a result of validation of the images, provides an acceptable Kappa coefficient, Table (2).

The selection of indicators was an important step in conducting this research by reviewing the sources mentioned in this research and the preliminary examination of the images has been done. In this regard, indicators were selected that can be extracted from satellite images. Therefore, the indicators selected for this study were: Fragmentation, complexity, heterogeneity, integration and communication in the landscape. These indicators are used in a discrete approach with land surface measures, including the number and density of spots, the largest spot index, edge density, shape index, aggregation index and distance to the nearest neighbor or Euclidean average, and in a continuous approach with frequency characteristics. Fourier transform results were studied. In the continuous approach section, the Fourier transform was performed on the images of 1984 and 2016, once at the land surface level and once at the vegetation layer level. In fact, the satellite images were processed by Fourier transformation and as a result, the spatial information was converted into the frequency domain in the Idrisi software to extract continuous indicators.

In the discrete approach section, discontinuous indicators have been extracted from the two user maps related to the images of 1984 and 2016 in the Fragstats software (McGarigal & Marks, 1995). In both approaches, processing and interpretation have been done once at the level of the land surface and once at the level of the vegetation layer. By examining the surface features of the land and using the frequency information obtained from the Fourier transform, changes and heterogeneity and complexity were revealed.

Data analysis

At this stage, Statistica software was used for further investigations. For this purpose, frequency maps were obtained after performing Fourier transformation on satellite images. Frequencies were entered into the Statistica software in the form of numbers using the STATIDRIS command and there the compression function was drawn for the output Fourier numbers. Then, the resulting curves were checked. The result of the investigation is given in the results section.

Results and Discussion

In this section, the results of surveying land surface metrics and frequency information extracted from Fourier transform on satellite images belonging to two time periods, at two levels of land surface and vegetation layer are presented.

Findings of the discrete approach (metrics): The results of revealing changes in the landscape of the land with measurements obtained by using the numbers obtained from Fragstats software at two levels, the land surface and the vegetation layer in the studied time period are shown in Table (3).

Findings of continuous approach (Fourier transform): The results of detecting land surface changes by processing satellite images with Fourier transform are shown in two levels of land surface in Figure (4) and at the level of vegetation layer in the studied time period in Figure (5).

Next, statistical analysis was performed on the Fourier frequency (Figures 4 and 5). To be an introduction to quantitative methods the result of which is shown in figures (6 and 7). In these figures, the values of the Fourier numbers shown on the x-axis are in the curve of 1984, it is less in both land surface and vegetation levels. This shows in 1984, the landscape and vegetation were more homogeneous than in 2016. On the contrary, in 2016, the fragmentation of the landscape and vegetation has increased more than in 1984. Which shows the decline in health and integrity of the land. Also, at the level of vegetation, the peak of the density function curve in 1984 is higher than in 2016 which shows in 1984, the appearance of the landscape was more homogeneous than in 2016. The results of index changes with two discrete and continuous approaches at the level of landscape and vegetation are presented in table (4). It should be noted that the correlation index was concluded indirectly by analyzing four other indices.

The changes of the landscape in the time periods of 1984 to 2016 were investigated and compared using measurements and Fourier transformation. The results of both approaches in the mentioned time period show an increasing trend in the fragmentation, heterogeneity and complexity of the landscape. On the other hand, cohesion and integration as well as communication in the face of the land and as a result its health has started to decline. This case has also been considered in the research of Rocchini et al. (2013). The results of this research show that the numerical values of the measures of number of spots, density of spots, density of edges, shape index and nearest neighbor distance have increased and the index Accumulation and the largest stain is reduced. This increase and decrease means that fragmentation, heterogeneity and complexity have increased in the landscape of the land. As a result, the cohesion, integration and communication in the landscape and also in the vegetation layer has been degraded. An increase in the shape index and edge density is a sign of increasing irregularity and complexity in the landscape. McGrigal et al. (2009) also confirmed these cases. The increase in edge density in addition to the increase in fragmentation and complexity is an indicator of heterogeneity in the landscape of the land. This increase actually shows the decrease in communication and integration, which indicates the disintegration and decrease of continuity in the image of the land. The increase in neighborhood factors such as the distance to the nearest neighbor, in addition to fragmentation, also shows a decrease in communication in the landscape of the land (Hilty et al., 2006).

In the other part, the analyses were done with continuous approach and Fourier transform. The reason for choosing the new and continuous Fourier method is to check how much it is possible to investigate the changes in the topography of the study area directly with the help of satellite images. Since in the latter

approach, the discussion of classification is not discussed, the loss of information does not happen, and on the other hand, it is fast and low-cost. In the section of Fourier's continuous approach, fragmentation, heterogeneity, and complexity have increased in the studied time period from 1984 to 2016; On the other hand, cohesion or integration and communication at the surface level of the land has a downward trend and the change of uses is evident. According to the results of processing the Landsat images of 1984 and 2016 of the study area with the Fourier transform algorithm, it is possible to detect changes qualitatively and visually, which can be an introduction to quantitative and statistical methods. The fragmentation of the land surface leads to a higher frequency and, as a result, a more complex Fourier spectrum which includes high values (cloud spread) in the high frequency part of the frequency range. High values in the outer part are related to high heterogeneity in the state of fragmentation. The 1984 images with less cloud extent show higher homogeneity than the 2016 images with more cloud extent. Examining the indicators and results shows that the fragmentation, heterogeneity and complexity of the surface of the land has been increasing from 1984 to 2016 and the destruction process has been increasing. The results of processing the Landsat images of 1984 and 2016 of the study area with the Fourier algorithm also show the vegetation layer level. Like the surface of the land, the images of 1984 have high homogeneity in low values (in the high frequency part of the spectrum). High values in the outer part are related to high heterogeneity during fragmentation. By examining the indicators and results, it is clear that fragmentation, heterogeneity and complexity in the level of vegetation has increased from 1984 to 2016. According to the skewed distribution of the Fourier output density function, the values of the Fourier frequency in 1984 with the predominance of some values show that the degree of homogeneity in the level of vegetation is high. Also, the uniformity of the values (high heterogeneity) increased in 2016, which indicates the consequence of the fragmentation process at the vegetation level. Spatial heterogeneity affects the quality of landscape, distribution of species and stability of landscape. Fragmentation is intensified due to urban development and road construction. The lack of integration and communication also shows land change.

Conclusion

Remote sensing data usually provide a suitable basis for replacing intensive field work, especially in large and remote areas. Assessing the health of the land surface can be done in a direct way with the help of Fourier analysis of satellite images or their classification. Since in classification, continuous information is lost, therefore, in this research, in addition to the discrete measurements of the land surface, the continuous Fourier transform method and as a result the frequency characteristics of the images have been used to examine the state of health of the land surface of a part of Golestan province. Next, with multi-temporal analysis, the images of different times were compared, and the changes in the landscape of the land were also revealed with the two mentioned methods. The findings showed that the fragmentation, heterogeneity and complexity in the surface of the land as well as vegetation increased in the study area between 1984 and 2016 and therefore the integrity and connection decreased. It seems that the health of the country's face has started to decline. The continuous approach including the Fourier transformation also confirmed the changes and downward trend of the health of the landscape in the mentioned time period and the results showed that the health of the landscape can be determined in this way. The results of surveying the health of the landscape of the study area with two continuous and discrete approaches and at the two levels of the landscape and the vegetation layer are generally consistent with each other and confirm each other. According to the results of other studies as well as this research, Fourier transform is recommended for further studies due to the lack of need for image classification and maintaining the continuity of the land surface as well as being quick and free.

References

- Ahern, j. & Andre, L. 2003. Applying landscape ecological concepts and metrics in sustainable landscape planning. *Landscape & Urban Planning*. 59(1): 65-93.
- Baguette, M & Dyck H. V. 2007. Landscape connectivity and animal behavior: functional grain as a key determinant for dispersal. *Landscape Ecology*. 22(1): 1117–1129.

- Clive, A. M. A. & Teresa, J. E. 2002. Testing landscape metrics as indicators of habitat loss and fragmentation in continuous eucalypt forests (Queensland, Australia). *Landscape Ecology*. 17(3): 711–728.
- Cooley, J. W. & Tukey. J. W. 2022. Complex Fourier Series. *Mathematics of Computation* 22: 111–119.
- De Bie, H. 2012. Clifford Algebras, Fourier Transforms, and Quantum Mechanics. *Mathematical Methods in the Applied Sciences*. 35(1): 2198–2228.
- Emch, M. J. W. 2023. Forest Cover Change in the Toledo District, Belize from 1999 to 2019: A Remote Sensing Approach. *The Professional Geographer* 19(4): 206–217.
- Farina, A. 2006 b. Principle and methods in landscape ecology: Toward a science of landscape. 2nd ed. Springer. Dordrecht.
- Forman, R. T. T. 1995. Land mosaics: The ecology of landscapes and regions. Cambridge University press, USA.
- Fourier, J. B. J. 1822. *Théorie Analytique De La Chaleur*. Paris: Didot.
- Gergel, S. E. M. & Turner, G. 2002. Learning Landscape Ecology: A Practical Guide to Concepts and Techniques. Springer. New York.
- Gounaridis, D.; George, N. Z. & Sotirios, K. 2014. Quantifying spatio-temporal patterns of forest fragmentation in Hymettus Mountain, Greece a Computers. *Environment and Urban Systems*. 46(2): 35–44.
- Grohmann, C. H. 2024. Morphometric Analysis in Geographic Information Systems (2). *Computers & Geosciences* 10(1): 10–19.
- Hilty, J.A.; Lidicker, J.r.WZ & Merenlender, A.M 2006. Corridor Ecology: The Science and Practice of Linking Landscapes for Biodiversity Conservation. Island press. Washington DC.
- Jorgensen, S.E.; Costanza, R. & Xu, F.L. 2005. Hand Book of Ecological Indicators for Assessment of Ecosystem Health. CRC Press.
- Koffi, K.J.; Deblauwe, V.; Sibomana, S.; Neuba, D.F.R.; Champluvier, D., DE Canniere.; Barbier, N.; Traore, D.; Habonimana, B.; E. Robbrecht, E.; Lejoly, J.; Bogaret, J. 2007. Spatial Pattern Analysis as a Focus of Landscape Ecology to Support Evaluation of Human Impact on Landscape and Diversity. *Landscape Ecological Applications in Man-Influenced Areas, Linking Man and Nature Systems*
- Lausch, A.; Blaschke, T.; Haase, D.; Herzog, F.; Syrbe, R.U.; Tischendorf, L. & Walz. 2015. Understanding and quantifying landscape structure – A review on relevant process characteristics, data models and landscape metrics. *Ecological Modelling*. 295(2): 31–41.
- Leitao, A.B.; Miller, j.; Ahern, J. & McGarigal, K. 2006. Measuring Landscapes: A Planners Handbook. Island Press. Washington D.C.
- Mahiny, A. S. 2007. Patch Metrics as Surrogates of Structural Complexity of Remnant Vegetation. *Geocomputation Conference*. Ireland.
- McGarigal, K. & Marks, B. J. 1995. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.
- McGarigal, K. & Cushman, S.A. 2005. The gradient concept of landscape structure. In: Wiens, J., Moss, M. (Eds.), *Issues and Perspectives in Landscape Ecology*. Cambridge University Press.
- McGarigal, K.; Tagil, S. & Cushman, S. 2009. Surface metrics: an alternative to patch metrics for the quantification of landscape structure. *Landscape Ecology*. 24(3): 433–450.
- Ndubisi, F. 2002. *Ecological Planning: A Historical and Comparative Synthesis (Center Books on Contemporary Landscape Design)*. The Johns Hopkins University press. Baltimore and London.
- Ploton, P.; Péliissier, C.; Proisy, T.; Flavenot, N.; Barbier, S.; Rai, N. & Couteron, P. 2012. Assessing above Ground Tropical Forest Biomass using Google Earth Canopy Images. *Ecological Applications*. 22(3): 993–1003.

- Proisy, C.; Coueron, P. & Fromard, F. 2007. Predicting and Mapping Mangrove Biomass from Canopy Grain Analysis using Fourier-Based Textural Ordination of IKONOS Images. *Remote Sensing of Environment*, 109(3): 379–392.
- Rocchini, D.; Metz, M.; Ricotta, C.; Landa, M.; Frigeri, A. & Neteler, M. 2013. Fourier transforms for detecting multitemporal landscape fragmentation by remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*. 34(24): 8907–8916.
- Rocchini, D., Anand, K. S. He, V. Amici, B. Kleinschmit, M. Förster, S. Schmidlein, H. Feilhauer, A. Ghisla, M. Metz, and M. Neteler. 2023. Mapping of Ecosystem by Remote Sensing.” *Computers & Geosciences*. 10(1): 150–165.
- Rocchini, D. 2024. Remote Sensing in Ecology. *Trends in Ecology & Evolution* 11(1): 99–111.
- Singh, M.; Malhi, Y. & Bhagwat, S. 2014. Biomass estimation of mixed forest landscape using a Fourier transform texture-based approach on very-high-resolution optical satellite imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 35(9): 3331–3349.
- Turnhout, E.; Hisschemoller, M. & Eijsackers, H. 2007. Ecological indicators: between two fires of science and policy. *Ecological Indicators*. 7(1): 215-228.

بهره‌گیری از تبدیل فوریه تصاویر ماهواره لندست و سنج‌ها برای ارزیابی سلامت سیمای سرزمین

نیلوفر اسلام‌زاده^{۱*}، علیرضا میکاییلی تبریزی^۲، عبدالرسول سلمان ماهینی^۳، رسول قربانی^۴

۱. دکترای آمایش محیط‌زیست. دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه گرگان، ایران
۲. دانشیار، دانشکده محیط‌زیست و شیلات، دانشگاه منابع طبیعی، گرگان، ایران
۳. استاد، دانشکده محیط‌زیست و شیلات، دانشگاه منابع طبیعی، گرگان، ایران
۴. استاد، دانشکده محیط‌زیست و شیلات، دانشگاه منابع طبیعی، گرگان، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۷/۰۲

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۰۹

چکیده

به دلیل وسعت و عدم دسترسی، انجام مطالعات و نظارت زمینی در مطالعات سلامت سیمای سرزمین در بسیاری از مناطق طبیعی سخت و گاهی غیرممکن است. در این شرایط، داده‌های سنجش از دور معمولاً یک راه حل ارزان قیمت ارائه می‌دهند. برای این کار، معمولاً اولین گام در ارزیابی سلامت سیمای سرزمین، انتخاب شاخص‌هایی است که بتوان آن‌ها را از داده‌های دورسنجی بدست آورد. ارزیابی سلامت سیمای سرزمین می‌تواند به روش مستقیم با تحلیل تصاویر ماهواره‌ای از طریق تبدیل فوریه و به روش غیر مستقیم با طبقه‌بندی این تصاویر انجام شود. در این پژوهش، علاوه بر سنج‌های گسسته سیمای سرزمین از روش پیوسته تبدیل فوریه و استخراج بسامد تصاویر ماهواره‌ای برای بررسی وضعیت سلامت سیمای سرزمین بخشی از استان گلستان استفاده شده است. افزون بر آن، با تحلیل چندزمانه، تصاویر زمان‌های مختلف مقایسه شد تا تغییر سلامت سیمای سرزمین تعیین شود. یافته‌ها نشان داد که نتایج رویکرد گسسته و پیوسته هم‌خوانی دارد و مشخص شد که تکه‌تکه‌شدگی، ناهمگنی و پیچیدگی در سطح سیمای سرزمین و نیز پوشش گیاهی در بازه زمانی ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۶ در منطقه مطالعاتی افزایش یافته و بنابراین یکپارچگی و ارتباط کاهش پیدا کرده است. بنظر می‌رسد سلامت سیمای سرزمین به دلیل افزایش کاربری‌های غیر یکنواخت‌تر روند نزولی پیدا کرده است. رویکرد پیوسته در این مطالعه، شامل تحلیل فوریه مانند رویکرد گسسته طبقه بندی تصاویر و محاسبه سنج‌ها تایید کننده تغییرات و روند نزولی سلامت سیمای سرزمین در بازه زمانی یاد شده بود. بنابراین، برای منطقه مورد نظر، می‌توان از هر دو روش گسسته و پیوسته برای ارزیابی سلامت سیمای سرزمین سود جست.

کلید واژه‌ها: سلامت، سیمای سرزمین، سنجش از دور، تبدیل فوریه، سنج.

سرآغاز

معمولاً، اولین گام در ارزیابی سلامت سیمای سرزمین، انتخاب شاخص‌های مناسب است. راه‌های متعددی برای بررسی وضعیت سلامت سیمای سرزمین وجود دارد. انتخاب شاخص‌ها سخت و از موردی به مورد دیگر متفاوت است، اما با مرور مطالعات موردی دیگران می‌توان تجربه‌اندوزی کرد (Jorgensen et al., 2005). شاخص‌های بوم‌شناختی کمیت‌هایی هستند که ارتباط نزدیکی با ویژگی‌های پیچیده اکوسیستم و از جمله سلامت آن دارند، اما اغلب به‌طور مستقیم قابل اندازه‌گیری نیستند. به هر حال، سنجش این شاخص‌ها کار ارزیابی سلامت را ساده‌سازی می‌کند و جنبه‌های مختلف عملکرد اکوسیستم را نمایان می‌سازد (Turnhout et al., 2007).

برای کمی کردن ساختار سیمای سرزمین از دو رویکرد لکه، گذرگاه و بستر یا زمینه (مدل PMM)^(۱) و رویکرد سنجه‌های پیوسته (مدل GM)^(۲) استفاده می‌شود. در رویکرد لکه، گذرگاه و بستر تکیه بر داده‌های گسسته است و در آن از سنجه‌های سیمای سرزمین استفاده می‌شود. سنجه‌ها ابزارهای کمی‌ساز وضعیت سیمای سرزمین هستند. دو جنبه اساسی ساختار سیمای شامل ترکیب (تنوع و فراوانی لکه‌ها) و شکل فضایی (موقعیت و ترتیب فضایی اجزا) لکه‌ها می‌شوند که آنها را می‌توان به کمک سنجه‌ها اندازه‌گیری کرد (Leitao et al., 2006). مبنای اصلی محاسبات کمی‌سازی سیمای سرزمین برای نشان دادن اختلال انسانی در سطح ساختار و عملکرد سیمای سرزمین است (Ahern & Andre, 2003; Rocchini et al., 2023).

با توجه به برخی مشکل‌ها و کاستی‌های مدل PMM در هنگام مطالعه ساختار سیمای سرزمین، مدل GM یا پیوسته پیشنهاد شده است. رویکردهای جایگزین مبتنی بر اطلاعات پیوسته برای تشخیص تغییرات سیمای سرزمین با تکیه بر نظریه مجموعه‌های فازی، سیستم‌های بردار پشتیبان و شبکه‌های عصبی پیشنهاد شده‌اند (Rocchini, 2024). در رویکرد پیوسته، داده‌ها بدون طبقه‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرند و این موضوع هنگامی اهمیت بیشتر می‌یابد که در مواردی ساختارهای مشخصی نظیر لکه، گذرگاه و بستر قابل شناسایی و یا در مورد منطقه مورد نظر قابل استفاده نباشند. در موارد دیگر نیز در صورت تمایل ارزیاب به استفاده از روش مستقیم و بدون طبقه‌بندی، مدل پیوسته در دسترس است (Lausch et al., 2015).

اساس کار پژوهش حاضر مبتنی بر سنجش از دور با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و پردازش آنها بوده است. سنجش از دور^(۴) یک ابزار مفید برای تشخیص تخریب سیمای سرزمین است که معمولاً با ایجاد نقشه‌های کاربری زمین از تصاویر ماهواره‌ای زمان‌های مختلف به دست آمده‌اند (Emch, 2023). استفاده از داده‌های سنجش از دور مشکل بزرگی منطقی و عدم دسترسی را تا حد زیادی حل می‌کند و افزون بر آن، به دلیل آسانی دسترسی برای تاریخ‌های مختلف، امکان بررسی تغییرات را نیز فراهم می‌سازد. همچنین، داده‌های سنجش از دور با مقیاس‌های مکانی مختلف، باعث می‌شود بتوان در مقیاس‌های مختلف به بررسی تغییرات سیمای سرزمین و سلامت آن و تعیین رابطه احتمالی سلامت با مقیاس پرداخت. از این‌رو، سنجش از دور ماهواره‌ای می‌تواند به حل مشکلات فوق کمک کرده و یک ابزار مناسب برای مطالعات در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی فراهم کند. در رابطه با ارزیابی سلامت سیمای سرزمین با کمک سنجش از دور و نیز دو رویکرد گسسته و پیوسته، مطالعات مختلفی انجام گرفته است. برای نمونه، Clive & Teresa (2002)، Mahiny و Gounaridis (2007)، Baguette & Dyck (2007) و همکاران (2014) از سنجه‌های گسسته سیمای سرزمین در مطالعات وضعیت سیمای سرزمین استفاده کرده‌اند. McGarigal و همکاران (2009) و Lausch و همکاران (2015) نیز از مدل گسسته استفاده کردند. در مقابل، Proisy و همکاران (2007)، Koffi و همکاران (2007)، Ploton و همکاران (2012)، Rocchini و همکاران (2013) و Singh و همکاران (2014)، آشکارسازی تغییرات سیمای سرزمین را با روش تبدیل فوریه^(۵) و سنجش از دور انجام دادند. در پژوهش‌های ذکر شده، نتایج استفاده از روش پیوسته رضایت‌بخش اعلام شده است. با توجه به این که هنگام طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، بخشی از اطلاعات پیوسته از بین می‌رود و کاهش محتوای اطلاعاتی تصاویر منجر به از دست رفتن اطلاعات پیوسته در مورد فرآیندهای تخریب سیمای سرزمین می‌شود (Cooley & Tukey, 2022)، بنابراین در پژوهش حاضر از روش «تبدیل فوریه» و ویژگی‌های بسامد (فرکانس) تصاویر برای بررسی وضعیت سلامت سیمای سرزمین، در محیط آزاد و منبع باز استفاده شده است (Grohmann, 2024). در کنار سنجه‌های سیمای سرزمین استفاده شد که علاوه بر آشکارسازی تغییرات، باعث حفظ

گلستان محدود می‌شود. وسعت منطقه حدود ۳۰۰ هزار هکتار و آب و هوای آن معتدل است. میانگین دمای سالانه ۱۷ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه ۶۰۰ تا ۷۵۰ میلی‌متر است. منطقه شامل کوه، جنگل، جلگه و دشت، ساحل دریا، چمن‌زار و زمین کشاورزی است. بر اساس برآورد جمعیت کشور در سال ۱۳۹۰، جمعیت منطقه مورد مطالعه حدود ۴۰۰ هزار نفر بوده است. شاخص تراکم نسبی جمعیت در منطقه ۸۷ نفر در کیلومتر مربع می‌باشد.

داده‌های مورد استفاده

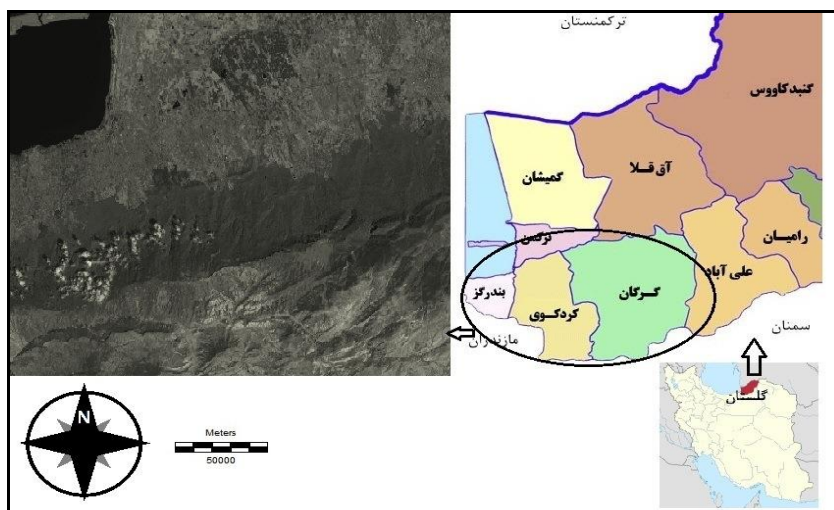
داده‌های مورد استفاده در این مطالعه، نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۱۹۸۴ و ۲۰۱۶ هستند که جهت مقایسه شاخص‌های مختلف سیمای سرزمین مورد مطالعه قرار گرفتند. این نقشه‌ها از طرح آمایش استان گلستان برگرفته شده که در تهیه آن‌ها، از تصاویر ماهواره لندست استفاده شده است. علاوه بر بررسی سنجه‌های گسسته بر روی این نقشه‌های طبقه‌بندی شده، در بخش پیوسته نیز از تصاویر سنجده‌های TM و OLI ماهواره لندست سال‌های ۱۹۸۴ و ۲۰۱۶ به طور مستقیم و بدون طبقه‌بندی استفاده شده است جدول (۱). این تصاویر از سایت www.USGS.gov دانلود شدند.

اطلاعات پیوسته نیز می‌شود. در انجام این پژوهش، مناسب‌ترین شاخص‌های سلامت که قابل استخراج از تصاویر ماهواره‌ای باشد تعیین شده است. با تحلیل چندزمانه، تصاویر زمان‌های مختلف مقایسه شده تا تغییرات سیمای سرزمین و در نتیجه تغییرات شاخص‌های مربوط به سلامت سیمای سرزمین و روند تغییرات آن مشخص گردد. هدف اصلی این پژوهش، آشکارسازی عینی تغییرات سیمای سرزمین و بررسی رابطه آن با سلامت سیمای سرزمین است. بررسی یکپارچگی^(۴) و ارتباط^(۵) در سیمای سرزمین از شاخص‌های مهم بررسی سلامت سیمای سرزمین بوده و تغییرات زمانی آن‌ها در مطالعه حاضر گنجانده شده است. تحلیل فوریه تصاویر ماهواره‌ای برای بررسی سلامت سیمای سرزمین برای اولین بار در ایران انجام می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، زیرحوزه‌هایی از حوزه آبخیز قره‌سو، نکارود و گرگان‌رود در برگرفته شهرستان‌های گرگان، کردکوی و بندرگز در استان گلستان است شکل (۱). منطقه مورد مطالعه از غرب به دریای خزر و استان مازندران، از جنوب به استان سمنان و از شمال و شرق به سایر قسمت‌های استان



شکل (۱): (راست) تصویر محدوده منطقه و (چپ) باند ۵ ماهواره لندست ۵ از منطقه مطالعاتی

جدول (۱): مشخصات تصاویر استفاده شده در این پژوهش

تاریخ	ماهواره	مسیر تصویر	ردیف تصویر
جولای ۱۹۸۴	لندست ۵	۱۶۳	۳۵
جولای ۲۰۱۶	لندست ۸	۱۶۳	۳۴

جداگانه محاسبه شد. برای این منظور، از تعیین نقاط واقعیت زمینی بر روی تصاویر گوگل ارث سال ۲۰۱۶ و بر روی تصویر رنگ مجازی سال ۱۹۸۴ استفاده شد. مقایسه نقاط کنترل و طبقات نقشه کاربری و در نتیجه صحت‌سنجی تصاویر، ضریب کاپای قابل قبولی را ارائه می‌دهد جدول (۲).

تصاویر ماهواره‌ای در این پژوهش به روش نظارت شده و حداکثر احتمال طبقه‌بندی شدند و در نتیجه هشت طبقه شامل شهر، جنگل، آب، کشاورزی، مرتع، اراضی بدون پوشش، جاده و آبراهه به دست آمد. برای ارزیابی صحت طبقه‌بندی طبقات کاربری بصورت مجزا، پارامترهای صحت کاربر و تولیدکننده به طور

جدول (۲): نتایج حاصل از صحت‌سنجی طبقه‌بندی تصاویر

۲۰۱۶		۱۹۸۴		طبقه کاربری
صحت تولیدکننده	صحت کاربر	صحت تولیدکننده	صحت کاربر	
۸۳/۳۲	۸۱/۱۱	۷۹/۱۹	۷۵/۰۵	شهر
۸۹/۴۹	۸۵/۹۴	۸۸/۶۶	۸۶/۱۶	جنگل
۸۵/۱۵	۸۴/۱۶	۸۵/۶۵	۸۳/۸۸	آب
۸۷/۱۷	۸۰/۱۶	۸۵/۰۵	۸۵/۰۵	کشاورزی
۸۱/۱۱	۸۶/۱۶	۷۱/۱۴	۷۶/۳۳	مرتع
۸۴/۹۶	۸۱/۰۰	۷۹/۷۶	۷۹/۷۴	بایر
۹۴/۳۲	۹۱/۱۹	۹۵/۱۵	۹۳/۰۸	جاده
۸۵/۴۵	۸۵/۰۵	۸۳/۵۰	۸۷/۱۷	آبراهه
۸۵/۱۲		۸۴/۰۱		صحت کلی
۰/۸۳		۰/۸۰		ضریب کاپا

مراحل انجام پژوهش

پژوهش حاضر در پنج مرحله به شرح شکل (۲) انجام شد.



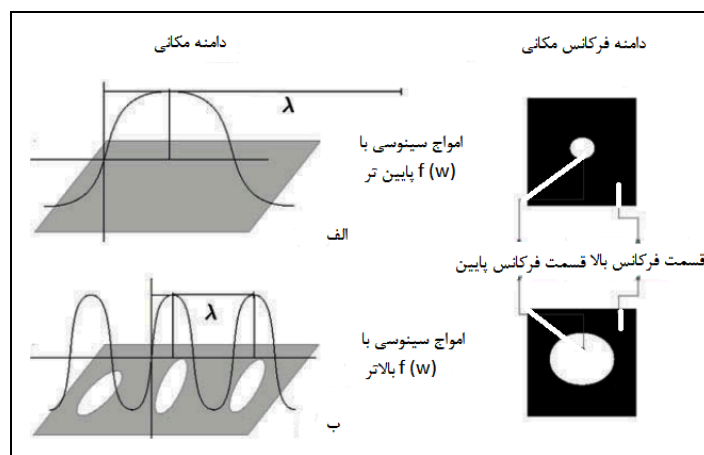
شکل (۲): مراحل اجرای پژوهش

انتخاب شاخص‌ها یک مرحله مهم در انجام این پژوهش بود که با مرور منابع ذکر شده در این تحقیق و بررسی اولیه تصاویر انجام شده است. در این خصوص، شاخص‌هایی انتخاب شدند که قابل استخراج از تصاویر ماهواره‌ای باشند. براین اساس، شاخص‌های انتخاب شده برای این مطالعه عبارت بودند از: تکه‌تکه‌شدگی، پیچیدگی^(۸)، ناهمگنی^(۹)، یکپارچگی و ارتباط در سیمای سرزمین. این شاخص‌ها در رویکرد گسسته با سنجه‌های سیمای سرزمین شامل تعداد و تراکم لکه‌ها، شاخص بزرگترین لکه، تراکم لبه، شاخص شکل، شاخص تجمع و فاصله تا نزدیکترین همسایه یا میانگین اقلیدسی و در رویکرد پیوسته با ویژگی‌های بسامد حاصل از تبدیل فوریه مورد مطالعه قرار گرفتند.

در بخش رویکرد پیوسته، تبدیل فوریه بر روی تصاویر سال‌های ۱۹۸۴ و ۲۰۱۶، یک بار در سطح سیمای سرزمین و یک بار در سطح طبقه پوشش گیاهی انجام گرفته است. در واقع، تصاویر ماهواره‌ای با تبدیل فوریه و در نتیجه تبدیل اطلاعات مکانی به دامنه بسامد در نرم‌افزار Idrisi پردازش شدند تا شاخص‌های

پیوسته استخراج گردند.

تبدیل فوریه اولین بار توسط جوزف فوریه در سال ۱۸۰۷ مطرح شد. تبدیل فوریه ابتدا تصاویر را به اجزای تشکیل‌دهنده تجزیه می‌کند (امواج سینوسی) و سپس اجزای آن را از نظر بسامد، شدت و اختلاف فاز بررسی و اصلاح کرده و دوباره ادغام می‌کند. این روش از نظر فرایند شبیه PCA است. در روش فوریه، اگر $f(x)$ به عنوان یک تابع پیوسته در یک دامنه مکانی توصیف شود، هر $f(x)$ می‌تواند به مجموعه‌ای از توابع سینوسی پیوسته با بسامدهای متفاوت تبدیل شود (شکل ۳) (Fourier, 1822). بعد از اجرای تبدیل فوریه، بسامدهای پایین در مرکز طیف فوریه و بسامدهای بالاتر در سمت بیرون ترسیم می‌شود (De Bie, 2012). در تصاویر همگن، بسامد پایین مقادیر بالایی را در مرکز نمودار پراکنش و مقادیر کمی را در سمت خارج نمودار نشان می‌دهد شکل (۳-الف). عکس این مطلب در مورد تصاویر ناهمگن صادق است شکل (۳-ب) (Rocchini et al., 2013).



شکل (۳): تبدیل فوریه (الف) سیمای سرزمین همگن^(۱۰)، (ب) سیمای سرزمین ناهمگن^(۱۱) (منبع: Rocchini et al., 2013)

ناهمگنی و پیچیدگی انجام گرفت.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این مرحله برای بررسی‌های بیشتر از نرم‌افزار Statistica استفاده شد. برای این کار، پس از اجرای تبدیل فوریه بر روی تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های بسامد به دست آمد. بسامدها در ادیسی پیکسل به پیکسل با استفاده از دستور STATIDRIS به شکل اعداد وارد نرم‌افزار Statistica شدند و در آنجا تابع تراکم

در بخش رویکرد گسسته نیز از دو نقشه کاربری مربوط به تصاویر سال‌های ۱۹۸۴ و ۲۰۱۶، شاخص‌های ناپیوسته در نرم‌افزار Fragstats (McGarigal & Marks, 1995) استخراج شده است.

پردازش و تفسیر در هر دو رویکرد یک بار در سطح سیمای سرزمین و یک بار در سطح طبقه پوشش گیاهی انجام گرفته است. با بررسی سنجه‌های سیمای سرزمین و نیز با استفاده از اطلاعات بسامد حاصل از تبدیل فوریه، آشکارسازی تغییرات و

یافته‌های رویکرد گسسته (سنجه‌ها)

نتایج آشکارسازی تغییرات سیمای سرزمین با سنجه‌ها که با استفاده از اعداد حاصل از نرم‌افزار Fragstats به دست آمد، در دو سطح سیمای سرزمین و طبقه پوشش گیاهی در بازه زمانی مورد مطالعه در جدول (۳) آمده است.

برای اعداد خروجی‌های فوریه ترسیم شد. سپس، منحنی‌های حاصل بررسی شدند. نتیجه بررسی در بخش نتایج آمده است.

نتایج

در این بخش نتایج بررسی سنجه‌های سیمای سرزمین و اطلاعات بسامد استخراج شده از تبدیل فوریه بر روی تصاویر ماهواره‌ای متعلق به دو دوره زمانی، در دو سطح سیمای سرزمین و طبقه پوشش گیاهی ارایه شده است.

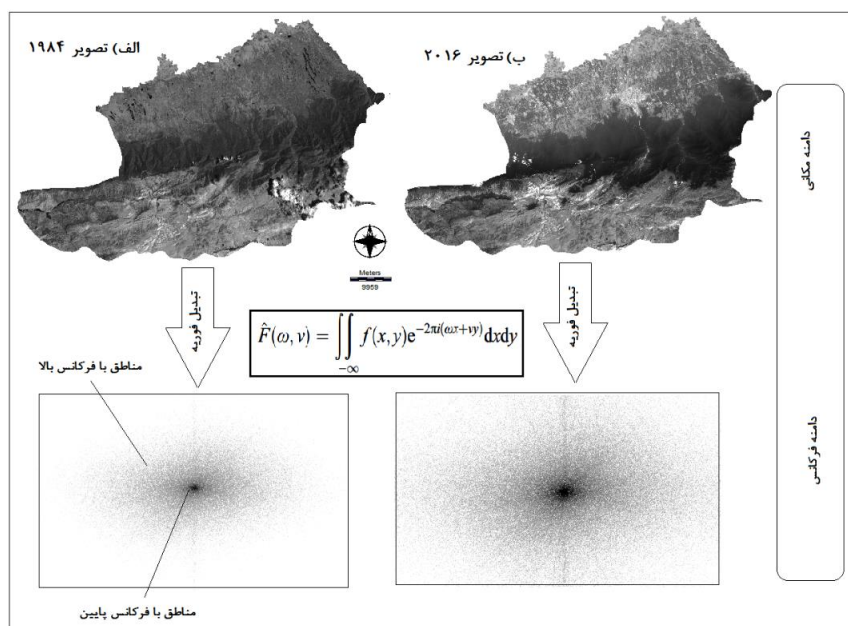
جدول (۳): نتیجه بررسی سنجه‌ها در سطح سیمای سرزمین و پوشش گیاهی در بازه زمانی ۲۰۱۶-۱۹۸۴

پوشش گیاهی		سیمای سرزمین		سطح سنجه
۲۰۱۶	۱۹۸۴	۲۰۱۶	۱۹۸۴	
۴۲۷۳	۳۷۹۱	۱۸۸۱۰	۱۴۸۱۲	تعداد لکه
۰/۷۴	۰/۲۶	۳/۲۷	۲/۵۶	تراکم لکه
۱۵/۸۷	۲۳/۱۶	۵۲/۲۸	۶۳/۳۲	شاخص بزرگترین لکه
۱۲/۲۸	۹/۳۹	۲۲/۴۶	۲۰/۳۶	تراکم حاشیه
۴۹/۲۳	۴۲/۱۸	۴۳/۶۶	۳۹/۶۷	شاخص شکل
۹۵/۹۷	۹۹/۱۵	۹۲/۶۸	۹۶/۹۸	شاخص تجمع
۱۱۵/۶۷	۱۱۲/۰۴	۱۱۹/۳۸	۱۱۷/۳۳	میانگین اقلیدسی

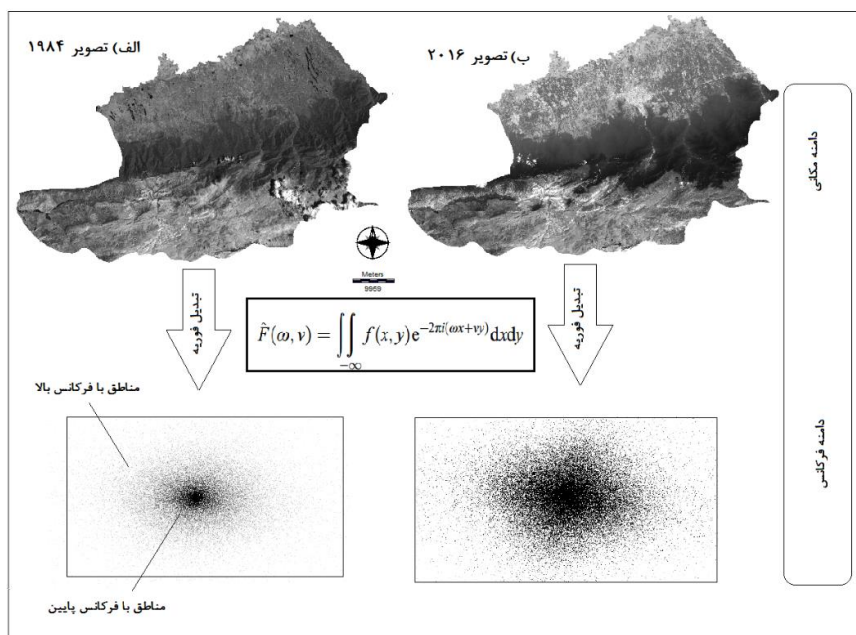
در شکل (۴) و در سطح طبقه پوشش گیاهی در بازه زمانی مورد مطالعه در شکل (۵) نشان داده شده است.

یافته‌های رویکرد پیوسته (تبدیل فوریه)

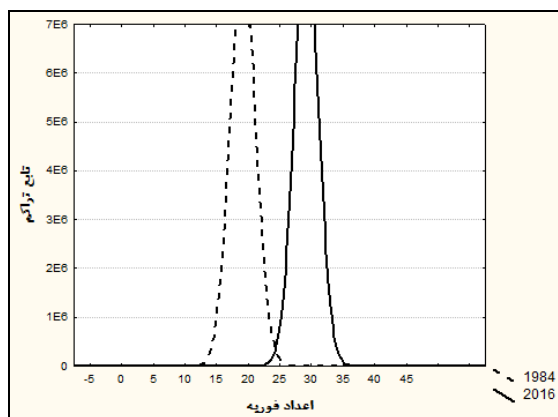
نتایج آشکارسازی تغییرات سیمای سرزمین به وسیله پردازش تصاویر ماهواره‌ای با تبدیل فوریه در دو سطح سیمای سرزمین



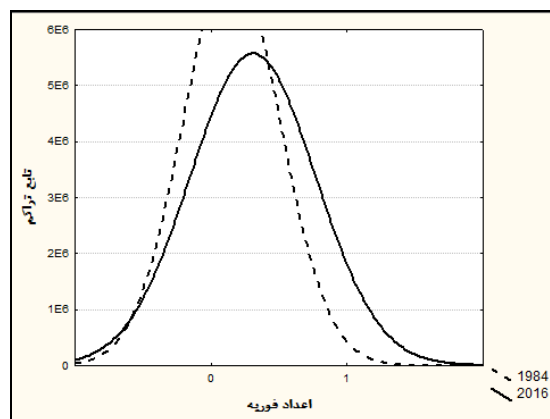
شکل (۴): خروجی پردازش تصاویر لندست الف) سال ۱۹۸۴ و ب) سال ۲۰۱۶ با الگوریتم فوریه در سطح سیمای سرزمین



شکل (۵): خروجی پردازش تصاویر لندست (الف) سال ۱۹۸۴ و (ب) سال ۲۰۱۶ با الگوریتم فوریه در سطح طبقه پوشش گیاهی



شکل (۶): تابع تراکم خروجی فوریه در سطح سیمای سرزمین



شکل (۷): تابع تراکم خروجی فوریه در سطح پوشش گیاهی

در ادامه، تحلیل آماری بر روی بسامد فوریه (شکل‌های ۴ و ۵) انجام شد تا مقدمه‌ای بر روش‌های کمی باشد که نتیجه آن در شکل‌های (۶ و ۷) آمده است. در این شکل‌ها، مقادیر اعداد فوریه که در محور x نشان داده شده است، در منحنی سال ۱۹۸۴ در هر دو سطح سیمای سرزمین و پوشش گیاهی کمتر است. این موضوع نشان می‌دهد در سال ۱۹۸۴، سیمای سرزمین و پوشش گیاهی همگن‌تر از سال ۲۰۱۶ بوده است. به شکل برعکس، در سال ۲۰۱۶ تکه‌تکه‌شدگی سیمای سرزمین و پوشش گیاهی بیشتر از سال ۱۹۸۴ شده که خود نشان‌دهنده افت سلامت و یکپارچگی سیمای سرزمین است. همچنین، در سطح پوشش گیاهی، قله منحنی تابع تراکم ۱۹۸۴ بالاتر از ۲۰۱۶ است که نشان می‌دهد در سال ۱۹۸۴ سیمای سرزمین همگن‌تر از سال ۲۰۱۶ بوده است.

نتایج تغییرات شاخص‌ها با دو رویکرد گسسته و پیوسته در سطح سیمای سرزمین و پوشش گیاهی در جدول (۴) ارائه شده است. لازم به ذکر است که شاخص ارتباط به صورت غیرمستقیم و با تحلیل چهار شاخص دیگر نتیجه‌گیری شد.

جدول (۴): نتایج تغییرات شاخص‌ها با دو رویکرد گسسته و پیوسته در سطح سیمای سرزمین و پوشش گیاهی

۱۹۸۴-۲۰۱۶				
گسسته		پیوسته		شاخص‌ها
پوشش گیاهی	سیمای سرزمین	پوشش گیاهی	سیمای سرزمین	
+	+	+	+	تکه‌تکه‌شدگی
+	+	+	+	پیچیدگی
+	+	+	+	ناهمگنی
-	-	-	-	یکپارچگی
-	-	-	-	ارتباط

علامت + نشان دهنده افزایش و علامت - نشان دهنده کاهش در طی زمان است.

بحث

شد. علت انتخاب روش جدید و پیوسته فوریه این است که بررسی شود چقدر می‌توان با این روش به طور مستقیم و به کمک تصاویر ماهواره‌ای به بررسی تغییرات سیمای سرزمین منطقه مطالعاتی پرداخت. از آنجا که در رویکرد اخیر، بحث طبقه‌بندی مطرح نیست، عملاً از بین رفتن اطلاعات اتفاق نمی‌افتد و از سوی دیگر، انجام آن سریع و کم‌هزینه است. در بخش رویکرد پیوسته فوریه در بازه زمانی مورد مطالعه یعنی از سال ۱۹۸۴ به سمت ۲۰۱۶ تکه‌تکه‌شدگی، ناهمگنی و پیچیدگی افزایش یافته است؛ در مقابل انسجام یا یکپارچگی و ارتباط در سطح سیمای سرزمین روند تنزلی دارد و تغییر کاربری‌ها مشهود است. با توجه به نتایج پردازش تصاویر لندست سال ۱۹۸۴ و ۲۰۱۶ منطقه مطالعاتی با الگوریتم تبدیل فوریه، تشخیص تغییرات به صورت کیفی و بصری نیز امکان‌پذیر شده است که می‌تواند مقدمه‌ای بر روش‌های کمی و آماری باشد. تکه‌تکه‌شدگی سیمای سرزمین منجر به افزایش بسامد بالاتر و در نتیجه طیف فوریه با پیچیدگی بیشتر می‌شود که مقادیر بالایی (گسترش ابری) در قسمت بسامد- بالای دامنه بسامد را شامل می‌شود. مقادیر بالا در قسمت بیرونی به ناهمگنی بالا در وضعیت تکه‌تکه‌شدگی مربوط است. تصاویر ۱۹۸۴ با گسترش ابری کمتر، همگنی بالاتری را نسبت به تصاویر ۲۰۱۶ با گسترش ابری بیشتر نشان می‌دهد. بررسی شاخص‌ها و نتایج نشان می‌دهد که تکه‌تکه‌شدگی، ناهمگنی و پیچیدگی در سطح سیمای سرزمین از سال ۱۹۸۴ به سمت ۲۰۱۶ با روند افزایشی پیش رفته و روند تخریب افزایشی بوده است. نتایج پردازش تصاویر لندست سال ۱۹۸۴ و ۲۰۱۶ منطقه مطالعاتی با الگوریتم فوریه در سطح طبقه پوشش گیاهی نیز نشان می‌دهد که همانند

تغییرات سیمای سرزمین در دوره‌های زمانی ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۶ با استفاده از سنج‌ها و تبدیل فوریه بررسی و مقایسه شدند. نتایج هر دو رویکرد در بازه زمانی ذکر شده، روند افزایشی را در تکه‌تکه‌شدگی، ناهمگنی و پیچیدگی سیمای سرزمین نشان می‌دهد. در مقابل، انسجام و یکپارچگی و نیز ارتباط در سیمای سرزمین و در نتیجه سلامت آن روند نزولی پیدا کرده است. این مورد در پژوهش Rocchini و همکاران (2013)، نیز مورد توجه قرار گرفته است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که مقدار عددی سنج‌های تعداد لکه، تراکم لکه، تراکم لبه، شاخص شکل و فاصله نزدیکترین همسایه افزایش یافته و شاخص تجمع و بزرگترین لکه کاهش پیدا کرده است. این افزایش و کاهش بدین معنی است که تکه‌تکه‌شدگی، ناهمگنی و پیچیدگی در سیمای سرزمین افزایش یافته است. در نتیجه انسجام و یکپارچگی و ارتباط در سیمای سرزمین و نیز در طبقه پوشش گیاهی تنزل پیدا کرده است. افزایش شاخص شکل و تراکم لبه نشانه افزایش بی‌نظمی و پیچیدگی در سیمای سرزمین است. این موارد را McGarigal و همکاران (2009) نیز مورد تایید قرار داده‌اند. افزایش تراکم لبه علاوه بر افزایش تکه‌تکه‌شدگی و پیچیدگی نشانگر ناهمگنی در سیمای سرزمین است. این افزایش در واقع کاهش ارتباط و یکپارچگی را نشان می‌دهد که نشان‌گر از هم‌گسیختگی و کاهش پیوستگی در سیمای سرزمین است. افزایش فاکتورهای همسایگی مثل فاصله نزدیکترین همسایه علاوه بر تکه‌تکه‌شدگی، کاهش ارتباط در سیمای سرزمین را نیز نشان می‌دهد (Hilty et al., 2006). در بخش دیگر، تحلیل‌ها با رویکرد پیوسته و تبدیل فوریه انجام

آشکارسازی تغییرات سیمای سرزمین نیز با دو روش نامبرده انجام گردید. یافته‌ها نشان داد که تکه‌تکه‌شدگی، ناهمگنی و پیچیدگی در سطح سیمای سرزمین و نیز پوشش گیاهی در بازه زمانی ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۶ در منطقه مطالعاتی افزایش یافته و بنابراین یکپارچگی و ارتباط کاهش پیدا کرده است. به نظر می‌رسد سلامت سیمای سرزمین روند نزولی پیدا کرده است. رویکرد پیوسته شامل تبدیل فوریه نیز تاییدکننده تغییرات و روند نزولی سلامت سیمای سرزمین در بازه زمانی یاد شده بود و نتایج نشان داد به این روش نیز می‌توان سلامت سیمای سرزمین را مشخص کرد. نتایج بررسی سلامت سیمای سرزمین منطقه مطالعاتی با دو رویکرد پیوسته و گسسته و در دو سطح سیمای سرزمین و طبقه پوشش گیاهی در کل با همدیگر هم‌خوانی داشته و موید یکدیگر است. با توجه به نتایج مطالعات دیگران و نیز این پژوهش، تبدیل فوریه با توجه به عدم نیاز به طبقه‌بندی تصویر و حفظ پیوستگی سیمای سرزمین و نیز سریع و رایگان بودن، برای مطالعات بیشتر توصیه می‌شود. در تحقیقات بعدی مناسب است که اثر اندازه دانه (Seed Size) و یا همان بزرگنمایی سلولی تصاویر ماهواره‌ای و اثر بزرگنمایی رادیومتریک (Quantization Level) بر روی ارزیابی روند سلامت و تغییرات وضعیت سیمای سرزمین مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به تخریب روز افزون سیمای سرزمین از سوی انسان، انتظار می‌رود نتایج چنین تحقیقاتی در مطالعات آمایش سرزمین، ارزیابی اثرات محیط‌زیستی، احیای بوم‌شناختی، پایش و مدیریت منابع در مراکز علمی و تحقیقاتی مانند دانشگاه‌ها، ادارات محیط‌زیست، منابع طبیعی، شهرداری‌ها و استانداری‌ها مفید و قابل استفاده باشد. تعیین لکه‌های داغ تغییرات و بررسی ویژگی‌های زمینی آن‌ها و چگونگی گنجاندن آن‌ها در مطالعات ارزیابی و آمایش و حتی ارزیابی اثرات توسعه از دیگر موضوعات پژوهشی در این زمینه است.

یادداشت‌ها

1. Patch Matrix Model
2. Gradient Model
3. Fragmentation
4. Remote Sensing (RS)
5. Fourier
6. Integrity
7. Connectivity
8. Complexity

سطح سیمای سرزمین، تصاویر ۱۹۸۴ همگنی بالایی در مقادیر پایین (در قسمت بسامد بالای طیف) دارند. مقادیر بالا در قسمت بیرونی به ناهمگنی بالا در موقع تکه‌تکه‌شدگی مربوط است. با بررسی شاخص‌ها و نتایج مشخص می‌شود که تکه‌تکه‌شدگی، ناهمگنی و پیچیدگی در سطح پوشش گیاهی از سال ۱۹۸۴ به سمت ۲۰۱۶ با روند افزایشی پیش رفته است. با توجه به توزیع اریب تابع تراکم خروجی فوریه، مقادیر بسامد فوریه در ۱۹۸۴ با غالبیت برخی مقادیر نشان می‌دهد که میزان همگنی در سطح پوشش گیاهی بالاست. همچنین، یکسانی مقادیر (ناهمگنی بالا) در سال ۲۰۱۶ افزایش یافته که نشانگر پیامد فرایند تکه‌تکه‌شدگی در سطح پوشش گیاهی است. ناهمگنی مکانی روی کیفیت سیمای سرزمین، توزیع گونه‌ها و پایداری سیمای سرزمین اثر می‌گذارد. تکه‌تکه‌شدگی به علت توسعه شهری و احداث جاده و غیره تشدید می‌شود. عدم یکپارچگی و ارتباط، تغییر کاربری را نیز نشان می‌دهد.

بررسی نتایج هر دو رویکرد نشان می‌دهد که با توجه به افزایش شاخص‌های تکه‌تکه‌شدگی، ناهمگنی، پیچیدگی و کاهش یکپارچگی و ارتباط، سلامت سیمای سرزمین روند نزولی پیدا کرده است. این نتایج با نتایج Proisy و همکاران (2007)، Ploton و همکاران (2012)، Rocchini و همکاران (2013)، McGarigal & Cushman (2005) Farina (2006)، Forman (1995) Gergel & Turner (2002) و (2002) مطابقت دارد. نتایج هر دو روش با هم مطابقت دارد که نشان از امکان استفاده از هر دو در بررسی‌های سلامت سیمای سرزمین دارد.

نتیجه‌گیری

داده‌های سنجش از دور معمولاً پایه مناسبی برای جایگزینی کار صحرایی شدید، به خصوص در مناطق وسیع و دور از دسترس ارائه می‌دهند. ارزیابی سلامت سیمای سرزمین می‌تواند به روش مستقیم به کمک تحلیل فوریه تصاویر ماهواره‌ای و یا طبقه‌بندی آن‌ها انجام شود. از آنجا که در طبقه‌بندی، اطلاعات پیوسته از بین می‌رود، بنابراین در این پژوهش، علاوه بر سنج‌های گسسته سیمای سرزمین از روش پیوسته تبدیل فوریه و در نتیجه ویژگی‌های بسامد تصاویر برای بررسی وضعیت سلامت سیمای سرزمین بخشی از استان گلستان استفاده شده است. در ادامه با تحلیل چندزمانه، تصاویر زمان‌های مختلف مقایسه شد و

9. Heterogeneity

11. Heterogeneous Landscape

10. Homogeneous Landscape

فهرست منابع

- Ahern, J. & Andre, L. 2003. Applying landscape ecological concepts and metrics in sustainable landscape planning. *Landscape & Urban Planning*. 59(1): 65-93.
- Baguette, M & Dyck H. V. 2007. Landscape connectivity and animal behavior: functional grain as a key determinant for dispersal. *Landscape Ecology*. 22(1): 1117-1129.
- Clive, A. M. A. & Teresa, J. E. 2002. Testing landscape metrics as indicators of habitat loss and fragmentation in continuous eucalypt forests (Queensland, Australia). *Landscape Ecology*. 17(3): 711-728.
- Cooley, J. W. & Tukey, J. W. 2022. Complex Fourier Series. *Mathematics of Computation* 22: 111-119.
- De Bie, H. 2012. Clifford Algebras, Fourier Transforms, and Quantum Mechanics. *Mathematical Methods in the Applied Sciences*. 35(1): 2198-2228.
- Emch, M. J. W. 2023. Forest Cover Change in the Toledo District, Belize from 1999 to 2019: A Remote Sensing Approach. *The Professional Geographer* 19(4): 206-217.
- Farina, A. 2006 b. Principle and methods in landscape ecology: Toward a science of landscape. 2nd ed. Springer. Dordrecht.
- Forman, R. T. T. 1995. Land mosaics: The ecology of landscapes and regions. Cambridge University press, USA.
- Fourier, J. B. J. 1822. *Théorie Analytique De La Chaleur*. Paris: Didot.
- Gergel, S. E. M. & Turner, G. 2002. *Learning Landscape Ecology: A Practical Guide to Concepts and Techniques*. Springer. New York.
- Gounaridis, D.; George, N. Z. & Sotirios, K. 2014. Quantifying spatio-temporal patterns of forest fragmentation in Hymettus Mountain, Greece a Computers. *Environment and Urban Systems*. 46(2): 35-44.
- Grohmann, C. H. 2024. Morphometric Analysis in Geographic Information Systems (2). *Computers & Geosciences* 10(1): 10-19.
- Hilty, J.A.; Lidicker, J.r.WZ & Merenlender, A.M 2006. *Corridor Ecology: The Science and Practice of Linking Landscapes for Biodiversity Conservation*. Island press. Washington DC.
- Jorgensen, S.E.; Costanza, R. & Xu, F.L. 2005. *Hand Book of Ecological Indicators for Assessment of Ecosystem Health*. CRC Press.
- Koffi, K.J.; Deblauwe, V.; Sibomana, S.; Neuba, D.F.R.; Champluvier, D., DE Canniere.; Barbier, N.; Traore, D.; Habonimana, B.; E. Robbrecht, E.; Lejoly, J.; Bogaret, J. 2007. Spatial Pattern Analysis as a Focus of Landscape Ecology to Support Evaluation of Human Impact on Landscape and Diversity. *Landscape Ecological Applications in Man-Influenced Areas, Linking Man and Nature Systems*
- Lausch, A.; Blaschke, T.; Haase, D.; Herzog, F.; Syrbe, R.U.; Tischendorf, L. & Walz. 2015. Understanding and quantifying landscape structure – A review on relevant process characteristics, data models and landscape metrics. *Ecological Modelling*. 295(2): 31-41.
- Leitao, A.B.; Miller, J.; Ahern, J. & McGarigal, K. 2006. *Measuring Landscapes: A Planners Handbook*. Island Press. Washington D.C.
- Mahiny, A. S. 2007. Patch Metrics as Surrogates of Structural Complexity of Remnant Vegetation. *Geocomputation Conference*. Ireland.
- McGarigal, K. & Marks, B. J. 1995. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.

- McGarigal, K. & Cushman, S.A. 2005. The gradient concept of landscape structure. In: Wiens, J., Moss, M. (Eds.), *Issues and Perspectives in Landscape Ecology*. Cambridge University Press.
- McGarigal, K.; Tagil, S. & Cushman, S. 2009. Surface metrics: an alternative to patch metrics for the quantification of landscape structure. *Landscape Ecology*. 24(3): 433–450.
- Ndubisi, F. 2002. *Ecological Planning: A Historical and Comparative Synthesis* (Center Books on Contemporary Landscape Design). The Johns Hopkins University press. Baltimore and London.
- Ploton, P.; Péliissier, C.; Proisy, T.; Flavenot, N.; Barbier, S.; Rai, N. & Couteron, P. 2012. Assessing above Ground Tropical Forest Biomass using Google Earth Canopy Images. *Ecological Applications*. 22(3): 993–1003.
- Proisy, C.; Couteron, P. & Fromard, F. 2007. Predicting and Mapping Mangrove Biomass from Canopy Grain Analysis using Fourier-Based Textural Ordination of IKONOS Images. *Remote Sensing of Environment*, 109(3): 379–392.
- Rocchini, D.; Metz, M.; Ricotta, C.; Landa, M.; Frigeri, A. & Neteler, M. 2013. Fourier transforms for detecting multitemporal landscape fragmentation by remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*. 34(24): 8907–8916.
- Rocchini, D., Anand, K. S. He, V. Amici, B. Kleinschmit, M. Förster, S. Schmidlein, H. Feilhauer, A. Ghisla, M. Metz, and M. Neteler. 2023. Mapping of Ecosystem by Remote Sensing.” *Computers & Geosciences*. 10(1): 150–165.
- Rocchini, D. 2024. Remote Sensing in Ecology. *Trends in Ecology & Evolution* 11(1): 99–111.
- Singh, M.; Malhi, Y. & Bhagwat, S. 2014. Biomass estimation of mixed forest landscape using a Fourier transform texture-based approach on very-high-resolution optical satellite imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 35(9): 3331–3349.
- Turnhout, E.; Hisschemoller, M. & Eijsackers, H. 2007. Ecological indicators: between two fires of science and policy. *Ecological Indicators*. 7(1): 215-228.