



# Journal of Environmental Studies

Vol. 47, No. 4, Winter 2022

Journal Homepage: [www.Jes.ut.ac.ir](http://www.Jes.ut.ac.ir)

Online ISSN 2345-6922 Print ISSN: 1025-8620

## Landscape Health Mapping by Landsat Images

Niloufar Islamzadeh\*, Ali Reza Mikaeili Tabrizi, Abdolrassoul Salman Mahiny, Rasoul Ghorbani

Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

DOI: [10.22059/JES.2021.332755.1008242](https://doi.org/10.22059/JES.2021.332755.1008242)

**Document Type**  
Research Paper

**Received**  
September 20, 2021

**Accepted**  
December 11, 2021

### Abstract

Landscape health assessment is a necessity. Because it helps to maintain and sustain the condition of landscape. The purpose of this study is mapping the landscape health in the in a part of Golestan province. In this study, first the landscape health metrics were selected. Then factors of changes and threshold of landscape health were identified with the help of Landsat images. The results showed that study area in terms of the indicators studied in this paper, have decreasing health changes from 1984 to 2018 and 1984 is in a better health condition than other years. Therefore, it was considered as the basis and threshold of health. Health map changes of 1984 and 2018 were prepared and classified. Areas that were unchanged or slightly altered from baseline their health condition was considered excellent, areas with low, medium and high change their health status was considered good, moderate and poor, respectively. In line with the findings of this study and their ecological analysis, guidelines for diagnosing the health of the landscape were presented. According to which and by help of remote sensing Landsat imagery a landscape health map was prepared.

**Keywords:** Threshold, Health map, Landscape, Metrics, Landsat

---

\* Corresponding Author:

Email: [niloufarislamzadeh@gmail.com](mailto:niloufarislamzadeh@gmail.com)

## Introduction

The idea of ecosystem health assessment (EHA) was introduced in environmental management in the late 1980s. In the discussion of health assessment, indicators are raised. Indicators provide a better picture of the environment. Ecological indicators are committees that are closely related to the complex characteristics of the ecosystem. But these indicators are often not directly measurable. Measuring these indicators is used to simplify and evaluate various aspects of ecosystem performance. Examples of these indicators are: Vegetation density index, fold index, continuity index, Euclidean distance or distance from the nearest neighbor, environment to area ratio and spot area. This is the purpose of this research to make the health of the land image quantitative and mapable. In this process, after detecting changes, the thresholds of health, confusion, and disorder are determined. And health disruptors are identified. At the end, health diagnosis instructions are provided. The main question of the research is whether the health of the land has changed in the desired period of time?

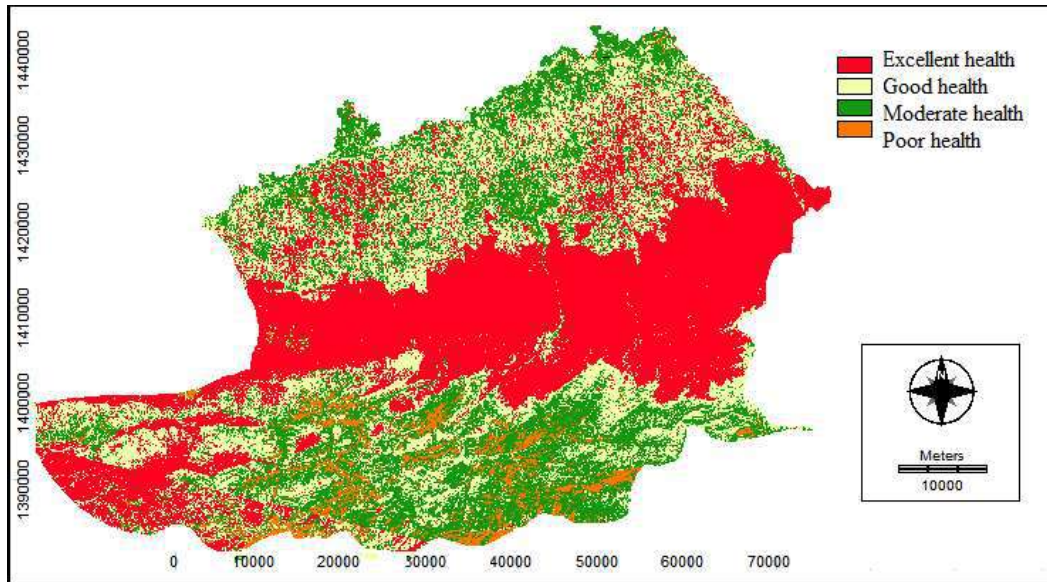
## Materials and Methods

The study area in this study is sub-basins of Qarahsoo, Nekarood and Gorganrood watersheds including Gorgan, Kordkuy and Bandar Gaz counties. The health utility map was obtained using the weighted linear combination (WLC) method. Thus, the health maps of 1984, 2000 and 2018 were prepared. By comparing the three maps, health changes in the study period were examined. In these layers, more desirability indicates a higher degree of power and less desirability indicates a lower degree of power for the health of the landscape. The number zero indicates the worst state of health and the number 255 indicates the best state of health in this study. In the next step, the health threshold is determined and also the health disruptors (such as human development and diseases) that are available and changeable are identified.

## Discussion of Results

At this stage, land health maps have been prepared using quantitative indicators it is presented as a map. Using the health maps obtained from the previous stage and the resulting change map, the health changes of the landscape were compared statistically and visually. At this stage, the health map changes of 1984 and 2018 were prepared and classified. Areas that were unchanged from the base or had a slight change their health condition was considered excellent. Areas with low, medium, and high variation were considered good, moderate, and poor in health, respectively. In this section, changes in the landscape of the land from 1984 to 2018 were examined. From the point of view of the criteria studied in this research, in this 32-year period, the least changes and consequently the best state of health are related to 1984. Therefore, the 1984 health map was considered as the basis and other years were measured and compared accordingly. Changes in the health map of 1984, 2000 and 2018 were examined. Changes between 2000 and 2018 are negligible. Using the prepared health maps, the health changes of the land appearance between 1984 and 2018 were mapped. In the resulting change map, which was considered in the range of 0 to 255, Trial and error showed that up to 130, the changes in the study area are insignificant. Changes in the region are significant from 130 onwards. The number 130 was considered as the health threshold of the land. Therefore in addition to presenting changes in the landscape of the land, areas without change that did not cross the health threshold Changed areas that have crossed the health threshold are also shown. The development of human land uses such as urban development and roads, as well as the conversion of land uses such as forest to agriculture, rangeland and roads, runoff and erosion are introduced as factors of change. These cases may also reduce the area of forests, diseases and climate. Figure of landscape health final map of the study area presented in below:

Landscape health changes in the studied time periods were evaluated and compared using measures. The results in the mentioned period show the declining trend of the health of the landscape. Examination of the results shows that the uses are more uneven and the damage to the landscape has increased. Due to the increase in fragmentation index and decrease in integration and communication, the environmental situation has declined. Due to the high capability of satellite images - such as timeliness, multi-spectrum, duplication - they can be used to determine changes in the landscape in a certain period of time. Using the landform measurements, the spatial structure of the land landscape can be quantified. By establishing a relationship between the structure and performance of the landscape and a better understanding of ecological processes, it is possible to evaluate the landscape in order to plan and manage it sustainably. As a result, the use of metrics, while saving time, provides acceptable results. The measurements can be studied and extracted as quantitative indices of the environment using satellite images. The larger the area of the spots, the less damaged and intact they are. The shorter the distance between the stains, the less tampering. Therefore, closer distance is a



**Figure of landscape health final map of the study area**

favorable factor in the health status of the land. Maintaining the integrity and stability of the landscape based on ecological principles leads to reducing or improving the effect of human activities on biodiversity and the dynamics of local landscapes. In the discussion of detection of changes, the measurement of land use is one of the most telling measures in the study of changes in the appearance of the land. In this study, in addition to visual analysis, cross-books were used to understand where it has changed and how much. In terms of area, 2000 is not much different from 1984. In 2018, in terms of area, about 4,000 hectares were added to the development area, including the city and roads. The area of the city has tripled compared to the base year. About 26,000 hectares of forest area has been reduced. The rate of erosion has increased by about 40 hectares (increase of run off). About 9,000 hectares have been added to the area of agricultural land. About 12,000 hectares have been added to the rangeland area. The area of roads has increased by 800 hectares. The 1984 health map is in a better position than the 2000s and 2018s in terms of the indicators studied. In the map of 2000, compared to 1984, the situation of forests, pastures and agriculture has deteriorated. In the 2018 map, the situation of forests and agriculture has deteriorated, but the situation of pastures is acceptable. The number of urban spots has increased. At the city level, there are slight positive changes due to the large and concentrated spots in the city. The maps for 2000 and 2018 do not show much difference from each other. But they are a significant change from the 1984 map. Statistical analysis of the histogram shows that the 1984 curve is more homogeneous than 2000 and 2018. The 2000 and 2018 curves are closely related. Landscape changes from 1984 to 2018 were examined. From the point of view of the criteria studied in this research, 1984 is in a better health condition than other years. Therefore, it was considered as the basis and threshold of health and other years were measured and compared accordingly. In line with the findings of this study and their ecological analysis, guidelines for diagnosing the health of the landscape were presented.

## تهیه نقشه سلامت سیمای سرزمین با استفاده از تصاویر لندست

نیلوفر اسلام‌زاده\*، علیرضا میکاییلی تبریزی، عبدالرسول سلمان ماهینی، رسول قربانی

دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ وصول مقاله: ۱۴۰۰/۶/۲۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۹/۲۰

### چکیده

ارزیابی سلامت سیمای سرزمین نوعی ضرورت است؛ زیرا به حفظ و پایداری سرزمین کمک می‌کند. هدف این پژوهش تهیه نقشه سلامت سیمای سرزمین در بخشی از استان گلستان است. در این پژوهش، ابتدا سنجه‌های مرتبط با سلامت انتخاب شدند. سپس به کمک تصاویر لندست، عوامل تغییر و آستانه سلامت مشخص شد. نتایج نشان داد از نظر معیارهای مورد مطالعه، تغییرات سلامت سیمای سرزمین در بازه زمانی ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۸ نزولی بوده و سال ۱۹۸۴ وضعیت بهتری نسبت به سال‌های دیگر دارد. بنابراین، به عنوان مبنا و آستانه سلامت در نظر گرفته شد. تغییرات نقشه سلامت ۱۹۸۴ و ۲۰۱۸ تهیه و طبقه‌بندی شد. مناطقی که نسبت به مبنا بدون تغییر بودند یا تغییر جزئی داشتند وضعیت سلامت آنها عالی در نظر گرفته شد. مناطقی که تغییر کم، متوسط و زیاد داشتند وضعیت سلامت آنها بترتیب خوب، متوسط و ضعیف قلمداد شد. در راستای یافته‌های این پژوهش و تحلیل اکولوژیک آنها، دستورالعمل تشخیص سلامت سیمای سرزمین ارائه شد. این دستورالعمل با کمک سنجش از دور تهیه گردید که طبق آن نقشه سلامت بدست آمد. توسعه کاربری‌های انسانی مثل توسعه شهری و جاده‌ها و نیز تبدیل کاربری جنگل و رواناب و فرسایش به عنوان عوامل تغییر معرفی شدند.

### کلید واژه

آستانه، نقشه سلامت، سیمای سرزمین، سنجه، لندست

### سرآغاز

جنبه‌های مختلف عملکرد اکوسیستم به کار می‌رود. نمونه‌هایی از این شاخص‌ها عبارتند از شاخص تراکم پوشش گیاهی، شاخص چین خوردگی، شاخص پیوستگی، فاصله اقلیدسی یا فاصله از نزدیکترین همسایه، نسبت محیط به مساحت و مساحت لکه. یکی از چالش‌های مهم در مطالعه و مدیریت سیمای سرزمین، کمی‌سازی ناهمگنی مکانی در روش و مقیاس مناسب با توجه به پدیده‌های تحت بررسی است. کمی‌سازی وضعیت محیط به مدیریت و پایش آن کمک می‌کند. برای کمی‌سازی روش‌های

ایده ارزیابی سلامت اکوسیستم<sup>۱</sup> (EHA) در مدیریت محیط‌زیست در اواخر دهه ۱۹۸۰ مطرح شد. در بحث ارزیابی سلامت، شاخص‌ها مطرح می‌شوند. شاخص‌ها تصویر بهتری از محیط‌زیست ارائه می‌کنند (Jorgensen et al., 2005). شاخص‌های اکولوژیک کمیت‌هایی هستند که ارتباط نزدیکی با ویژگی‌های پیچیده اکوسیستم دارند، اما این شاخص‌ها غالباً بطور مستقیم قابل اندازه‌گیری نیستند. سنجش این شاخص‌ها به منظور ساده‌سازی و ارزیابی

Email: niloufarislamzadeh@gmail.com

DOI: [10.22059/JES.2021.332755.1008242](https://doi.org/10.22059/JES.2021.332755.1008242)

DOR: [20.1001.1.10258620.1400.47.4.1.3](https://doi.org/20.1001.1.10258620.1400.47.4.1.3)

\* نویسنده مسئول:

ارزیابی و اولویت‌بندی حفاظت انتخاب کردند. ماهینی در مطالعه سلامت پوشش گیاهی از سنجش‌های سیمای سرزمین- از جمله شاخص شکل، نسبت محیط به مساحت، پیوستگی، فاصله اقلیدسی و NDVI<sup>2</sup> به منزله جایگزین پیچیدگی ساختاری پوشش گیاهی- استفاده کرد و به بررسی وضعیت سلامت ساختار گیاهان پرداخت. در پژوهشی Gounaridis و همکاران (۲۰۱۸) برای بررسی تکه‌تکه‌شدگی از سنجش‌های تراکم لکه‌ها، تراکم لکه، اندازه بزرگ‌ترین لکه، نزدیک‌ترین همسایه، نسبت محیط به مساحت، و تجمع استفاده کردند. این محققان از سنجش تراکم لکه علاوه بر تکه‌تکه‌شدگی برای تعیین پیچیدگی شکل و بی‌نظمی و نیز ناهمگنی مکانی سیمای سرزمین استفاده کردند و نتایج استفاده از این سنجش‌ها را مطلوب اعلام کردند. McGarigal و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از شاخص یکپارچگی اکولوژیک و ارتباط به بررسی سلامت سیمای سرزمین برای انتخاب مناطق حفاظتی پرداختند. سپس مدل حفاظتی ارائه دادند. Meng و Xing (۲۰۲۰) از سنجش‌های سیمای سرزمین استفاده و عملکرد شهرها را به کمک هشت سنجش سیمای سرزمین کمی و سپس طبقه‌بندی کرده‌اند. در این مطالعه سنجش‌ها بر اساس کارایی خود با استفاده از تحلیل واریانس ارزیابی و نتیجه کار رضایت‌بخش اعلام شد.

سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی به تنهایی نمی‌توانند روند تغییر الگوهای اصلی سیمای سرزمین را توصیف کنند. از این رو، ترکیبی از سنجش‌های سیمای سرزمین مطرح است که در کنار GIS و RS نتایج مطلوب‌تر و دقیق‌تری ارائه می‌دهد (محمودزاده و مسعودی، ۱۳۹۸). سنجش‌ها یکی از بهترین روش‌ها برای ارزیابی وضعیت سیمای سرزمین هستند اما در این میان، باید از سنجش‌های مناسب استفاده شود تا وضعیت محیط به صورت جامع نشان داده شود (McGarigal et al., 2018). با توجه به تحقیقات انجام گرفته و تجربیات حاصل از آنها در این پژوهش نیز از سنجش‌ها در تهیه نقشه سلامت سیمای

مختلفی وجود دارد. یکی از این روش‌ها استفاده از سنجش‌های سیمای سرزمین است (McGarigal et al., 2019). سنجش‌ها یکی از روش‌های بسیار مفید برای سنجش وضعیت سیمای سرزمین‌اند. اما در این میان باید از سنجش‌های مناسب استفاده شود تا وضعیت محیط به صورت جامع نشان داده شود. دو جنبه اساسی ساختار سیمای سرزمین، شامل ترکیب (تنوع و فراوانی لکه‌ها) و شکل فضایی (موقعیت و ترتیب فضایی اجزا)، را با کمک سنجش‌ها می‌توان اندازه‌گیری کرد.

مطالعاتی در زمینه کمی کردن وضعیت سیمای سرزمین و سنجش‌ها انجام گرفته است. آرخی (۱۳۹۴) ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی دهلران را با استفاده از تکنیک سنجش از دور و سنجش‌ها انجام و اظهار داشت که افزایش تعداد لکه‌ها عامل تجزیه سرزمین بوده است. میرزایی و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به بررسی تغییرات کاربری و پوشش اراضی شهرستان خلخال پرداخته و اظهار داشته‌اند که کاربری‌های کشاورزی، مراتع و مسکونی در این منطقه در بازه زمانی مورد بررسی افزایش و سطوح جنگلی کاهش یافته است. رجایی و همکاران (۱۳۹۹) تغییرات کاربری اراضی مازندران در حوضه آبخیز رودخانه تجن را با تکیه بر سنجش‌های سیمای سرزمین در بازه زمانی ۳۰ ساله مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج تجزیه و تحلیل تغییرات کاربری اراضی نشان داد که در بازه مورد بررسی یک روند کاهشی پیوسته در پوشش جنگلی این منطقه اتفاق افتاده است در حالی که مساحت کشاورزی روند افزایشی داشته است. مجرد و کمان‌رودی (۱۳۹۷) و خوش‌لهجه و همکاران (۱۳۹۸) آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی مناطق مطالعاتی شهری و بررسی یکپارچگی آن‌ها را با استفاده از GIS و سنجش‌های سیمای سرزمین انجام دادند و اظهار رضایت کردند. کامیاب و ماهینی (۱۳۹۱) الگوهای مکانی- زمانی تغییرات سیمای سرزمین را با کمک سنجش‌های سیمای سرزمین بررسی کردند و لکه‌های حفاظتی استان گلستان را با استفاده از روش نظام

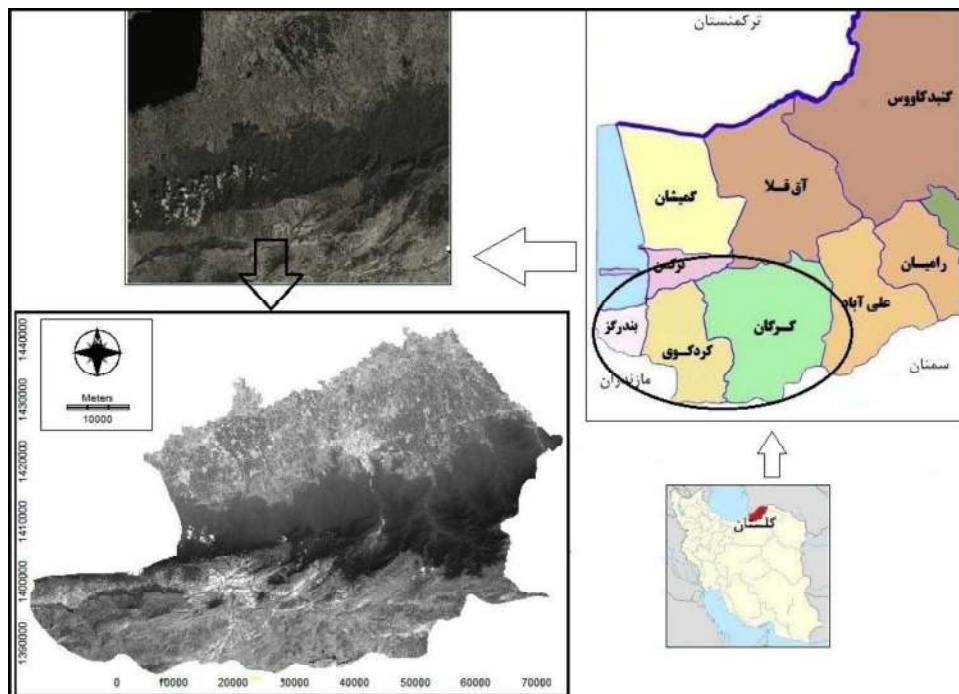
## مواد و روش بررسی

### محدوده و قلمروی مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، زیرحوزه‌هایی از حوزه آبخیز قره‌سو، نکارود و گرگان‌رود (در برگیرنده شهرستان‌های گرگان، کردکوی و بندرگز) می‌باشد (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه در استان گلستان واقع شده است. از غرب به دریای خزر و استان مازندران، از جنوب به استان سمنان و از شمال و شرق به سایر قسمت‌های استان گلستان محدود می‌شود. وسعت منطقه حدود ۳۰۰ هزار هکتار است. آب و هوای معتدل دارد. اقلیم منطقه متنوع است. منطقه شامل کوه، جنگل، جلگه و دشت، ساحل دریا، چمنزار و زمین کشاورزی است. میانگین دمای سالانه ۱۷ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه ۶۰۰ تا ۷۵۰ میلی‌متر است. بر اساس برآورد جمعیت کشور در سال ۱۳۹۵، جمعیت منطقه حدود ۵۹۸ هزار نفر است (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی گلستان، ۱۳۹۷). علت انتخاب منطقه مورد نظر در این پژوهش این است که در بازه زمانی مورد مطالعه، منطقه تغییرات چشمگیری داشته است.

سرزمین استفاده خواهد شد. در این مطالعه علاوه بر سنجه‌ها از شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده نیز به منظور صحت بیشتر نتایج استفاده شد که کارایی آن در بررسی پوشش‌های گیاهی مختلف (احمدی و همکاران، ۱۳۹۵) مورد تایید قرار گرفته است.

در راستای یافته‌های این پژوهش و تحلیل اکولوژیک آنها، دستورالعمل تشخیص سلامت سیمای سرزمین ارایه شد. این دستورالعمل با کمک سنجش از دور و در سطح لکه‌های سیمای سرزمین و به صورت کمی و مکانی تهیه شد که طبق آن نقشه سلامت بدست آمد و عوامل تغییر و آستانه سلامت تعیین شدند. هدف از این پژوهش این است تا سلامت سیمای سرزمین بصورت کمی و نقشه درآید. در این فرایند، بعد از آشکارسازی تغییرات، آستانه‌های سلامت، آشفتگی و اختلال تعیین می‌شود و عوامل برهم زننده سلامت مشخص می‌شود. در پایان دستورالعمل تشخیص سلامت ارایه می‌شود. سوال اصلی پژوهش این است که آیا در بازه زمانی مورد نظر سلامت سیمای سرزمین تغییر کرده است؟



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

### روش و ابزار تحقیق

در این مطالعه در کنار سنج‌ها از شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) نیز در تهیه نقشه سلامت سیمای سرزمین استفاده شد. این شاخص به طور مستقیم از تصاویر ماهواره‌ای حاصل می‌شود و بین ۱- تا ۱+ قرار دارد. پژوهش حاضر با استفاده از روشی از ارزیابی

چندمعیاره (MCE)<sup>۳</sup> انجام شد که از معمول‌ترین روش‌های تحلیل تصمیم می‌باشد. این روش با منطق غیرقطعی فازی برای مدل‌سازی جهان واقعی از دقت بیشتری برخوردار است. در ارزیابی چند معیاره، معیارهای مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد تا هدف محقق شود. مراحل انجام کار این پژوهش در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲. مراحل اجرای پژوهش

### تهیه داده‌های دورسنجی و تشخیص کاربری

داده‌های مورد استفاده در این مطالعه، نقشه‌های کاربری سیمای سرزمین سال‌های ۱۹۸۴، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۸ طرح آمایش استان گلستان (۱۳۹۵) هستند که جهت مقایسه شاخص‌های مختلف سیمای سرزمین مورد مطالعه قرار

گرفتند. در تهیه نقشه‌های کاربری طرح آمایش استان گلستان از تصاویر ماهواره لندست استفاده شده است (جدول ۱). نحوه طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در این پژوهش به روش طبقه‌بندی نظارت شده و حداکثر احتمال<sup>۴</sup> بود و نتیجه حاصل به صورت هشت طبقه شامل شهر،

در این فرمول،  $\theta_1$  درستی مشاهده شده و  $\theta_2$  توافق مورد انتظار را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از صحت‌سنجی طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از ماتریس خطا، ضریب کاپای قابل قبولی را ارائه می‌دهد (جدول ۲).

جنگل، آب، کشاورزی، مرتع، بایر، جاده و آبراهه به دست آمد. ماتریس دقت برای هر تصویر تشکیل گردید. فرمول ضریب کاپای استفاده شده برای ارزیابی صحت به صورت رابطه ۱ تعریف شده است:

$$K = (\theta_2 - \theta_1) / (1 - \theta_2) \quad (1)$$

جدول ۱. مشخصات تصاویر استفاده شده در این پژوهش (طرح آمایش استان گلستان، ۱۳۹۵)

تاریخ	ماهواره	مسیر تصویر	ردیف تصویر
جولای ۱۹۸۴	لندست ۵	۱۶۳	۳۵
جولای ۲۰۰۰	لندست ۷	۱۶۳	۳۴
جولای ۲۰۱۸	لندست ۸	۱۶۳	۳۴

جدول ۲. نتایج حاصل از صحت‌سنجی تصاویر (طرح آمایش استان گلستان، ۱۳۹۵)

۲۰۱۸		۲۰۰۰		۱۹۸۴		طبقه کاربری
صحت تولید کننده	صحت کاربر	صحت تولید کننده	صحت کاربر	صحت تولید کننده	صحت کاربر	
۸۳/۳۲	۸۱/۱۱	۸۵/۹۴	۸۵/۰۲	۷۹/۱۹	۷۵/۰۵	شهر
۸۹/۴۹	۸۵/۹۴	۸۸/۱۶	۸۵/۱۶	۸۸/۶۶	۸۶/۱۶	جنگل
۸۵/۱۵	۸۴/۱۶	۸۹/۴۹	۸۱/۱۱	۸۵/۶۵	۸۳/۸۸	آب
۸۷/۱۷	۸۰/۱۶	۸۵/۱۵	۸۴/۹۶	۸۵/۰۵	۸۵/۰۵	کشاورزی
۸۱/۱۱	۸۶/۱۶	۷۹/۱۹	۷۹/۷۴	۷۱/۱۴	۷۶/۳۳	مرتع
۸۴/۹۶	۸۱/۰۰	۸۸/۶۶	۸۳/۰۸	۷۹/۷۶	۷۹/۷۴	بایر
۹۴/۳۲	۹۱/۱۹	۹۵/۳۲	۹۷/۱۹	۹۵/۱۵	۹۳/۰۸	جاده
۸۵/۴۵	۸۵/۰۵	۸۹/۴۹	۸۸/۶۶	۸۳/۵۰	۸۷/۱۷	آبراهه
۸۵/۱۲		۸۴/۷۸		۸۴/۰۱		صحت کلی
۰/۸۳		۰/۸۱		۰/۸۰		ضریب کاپا

منابع و بررسی اولیه تصاویر انجام خواهد گرفت. در انتخاب شاخص‌ها باید توجه شود که شاخص‌های قابل استخراج از داده‌های دورسنجی انتخاب شود؛ چون اساس کار این پژوهش مبتنی بر سنجش از دور است. همچنین شاخص‌ها علاوه بر کمک در تشخیص وضعیت سلامت سیمای سرزمین، به کمی کردن سلامت سیمای سرزمین کمک می‌کنند. این مزیت در تهیه نقشه سلامت سیمای سرزمین، تسهیل‌کننده است. با تحلیل چندزمانه، تصاویر

## انتخاب و استخراج سنجه‌های سیمای سرزمین و شاخص NDVI

سنجه‌های سیمای سرزمین با کمک نرم‌افزار v4.2 Fragstats، استخراج شدند. سنجه‌های انتخاب شده برای این مطالعه به همراه شاخص NDVI در جدول ۳ آورده شده‌اند. این شاخص‌ها از طریق تصاویر ماهواره‌ای و با تکیه بر سنجش از دور محاسبه می‌شود. انتخاب شاخص‌ها یک مرحله مهم در انجام این پژوهش است که با مرور



زمان‌های مختلف مقایسه می‌شود تا تغییرات سیمای سرزمین بررسی شود. در بخشی از این مطالعه، NDVI که نمایه تراکم پوشش گیاهی است با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به صورت مستقیم تهیه شد.

جدول ۳. شاخص‌های انتخاب شده در این مطالعه

واحد یا دامنه	توضیح	سنجه
+۱ تا -۱	تراکم پوشش گیاهی	NDVI
۱ تا ۲	شاخص چین خوردگی	Frac (Fractal Dimension Index)
۰ تا ۱	شاخص پیوستگی	Contig (Contiguity Index)
متر	فاصله اقلیدسی	ENN (Euclidean Nearest Neighbor Distance)
بزرگتر از صفر	نسبت محیط به مساحت	Para (Perimeter- Area Ratio)
هکتار	مساحت لکه	Area (Patch Area)

سپس، با استفاده از ارزیابی چند معیاره، لایه‌های معیارهای سال ۱۹۸۴، ۲۰۰۰ و نیز ۲۰۱۸ ترکیب شدند. با استفاده از روش ترکیب خطی وزن داده شده (WLC) نقشه مطلوبیت برای سلامت بدست آمد. به این ترتیب نقشه سلامت سال ۱۹۸۴، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۸ تهیه شد. با مقایسه سه نقشه مذکور تغییرات سلامت در بازه زمانی مورد مطالعه بررسی شد. در این لایه‌ها مطلوبیت بیشتر نشان‌دهنده درجه توان بالاتر و مطلوبیت کمتر بیان‌کننده درجه توان پایین‌تر برای سلامت سیمای سرزمین می‌باشد. عدد صفر نشان‌دهنده بدترین حالت سلامت و عدد ۲۵۵ نشان‌دهنده بهترین حالت سلامت در این مطالعه است.

### تعیین آستانه سلامت و شناسایی عوامل تغییر و آشکارسازی تغییرات

در این مرحله آستانه سلامت در منطقه مطالعاتی تعیین و همچنین آن دسته از عوامل برهم زننده سلامت (مانند توسعه انسانی و بیماری‌ها) منطقه که در طول بازه مطالعاتی در دسترس و قابل تغییرند شناسایی می‌شود.

#### نتایج

### نتایج کمی کردن و تهیه نقشه سلامت سیمای سرزمین

در این مرحله نقشه‌های سلامت سیمای سرزمین که با

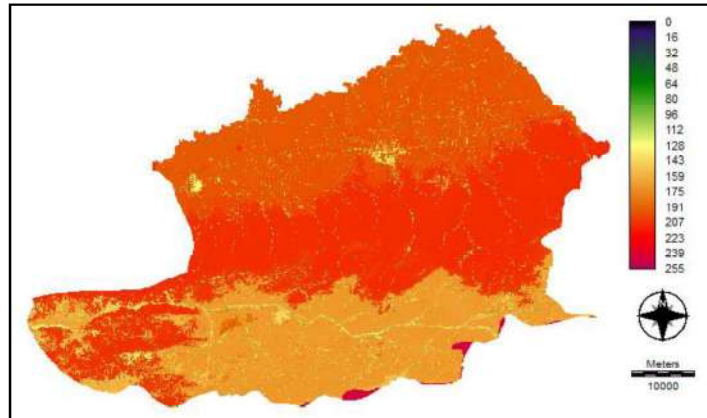
### کمی کردن و تهیه نقشه سلامت سیمای سرزمین

در ادامه نقشه معیارها در نرم‌افزار IDRISI Selva تهیه و سپس، لایه‌ها فازی شدند. در منطق فازی می‌توان در مقیاس‌های مختلفی نظیر ۰ تا ۲۵۵ اعدادی را در نظر گرفت و با استفاده از شکل توابع عضویت صعودی، نزولی و یکنواخت و نیز نوع تابع عضویت S شکل، J شکل و خطی، نقشه‌ها را استانداردسازی کرد. در تهیه نقشه‌های فازی، تعیین حد آستانه (نقاط کنترل) بسیار مهم است. سپس، هرکدام از نقشه‌ها با فرایند سلسله مراتب تحلیلی (AHP) وزن‌دهی شدند. در روش ارزیابی چند معیاره باید به هرکدام از معیارها وزن داده شود که این وزن‌دهی بسیار مهم است. وزن معیارها با مقایسه زوجی به دست آمد. وزن‌ها و نسبت توافق (CR) مقایسه شد و کمتر از ۰/۱ به دست آمد که نشان‌دهنده قابل قبول بودن وزن‌دهی بود. وزن‌های داده شده به سنجه‌ها در جدول ۴ آمده است.

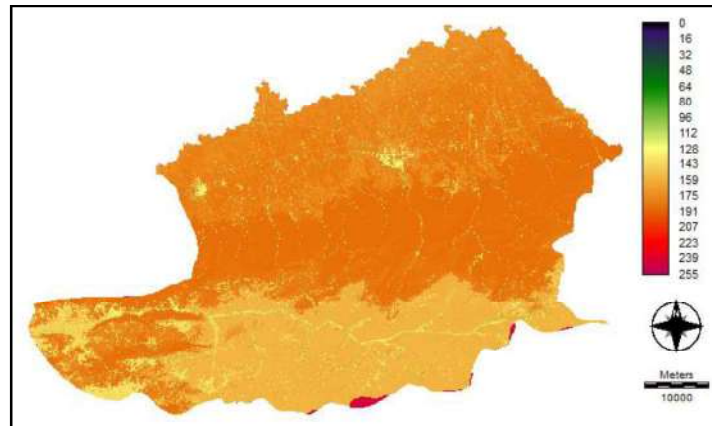
جدول ۴. وزن‌های داده شده به شاخص‌ها در این مطالعه

مشخصه	وزن
NDVI	۰/۰۵
Frac	۰/۱۸
Contig	۰/۲۱
ENN	۰/۱۵
Para	۰/۱۸
Area	۰/۲۳

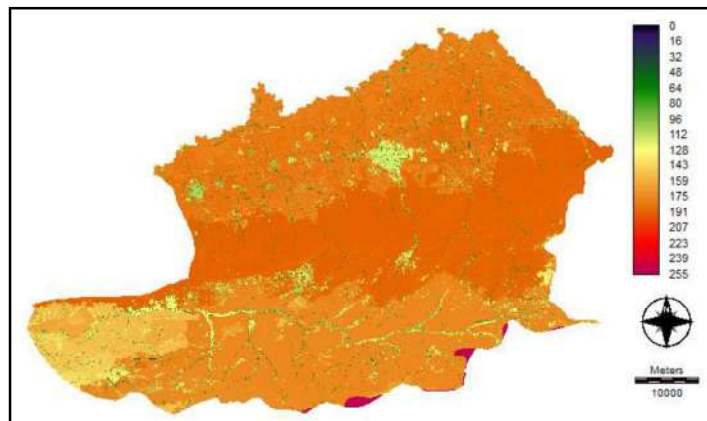
استفاده از شاخص‌های کمی ساز تهیه شده‌اند بصورت نقشه ارائه شده است (شکل ۳، ۴ و ۵).



شکل ۳. نقشه سلامت سال ۱۹۸۴



شکل ۴. نقشه سلامت سال ۲۰۰۰



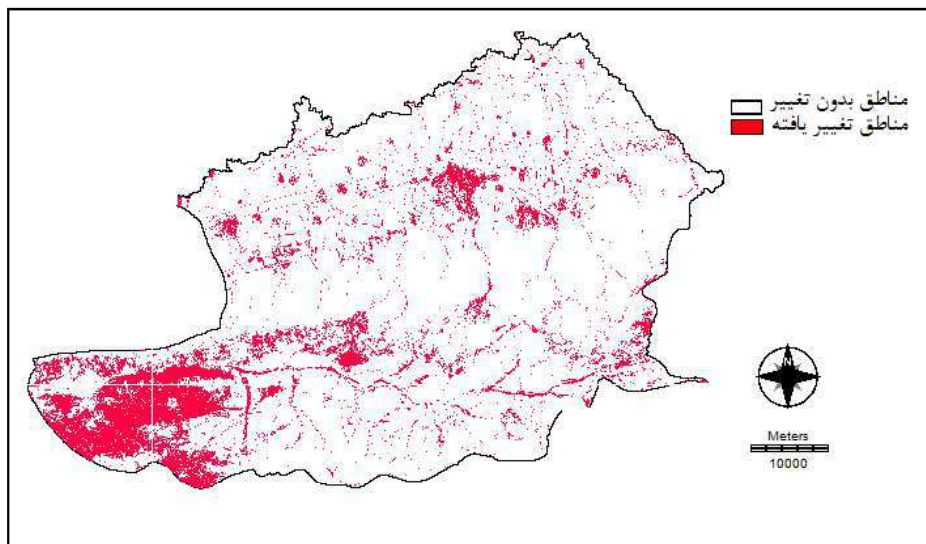
شکل ۵. نقشه سلامت سال ۲۰۱۸

### آشکارسازی تغییرات

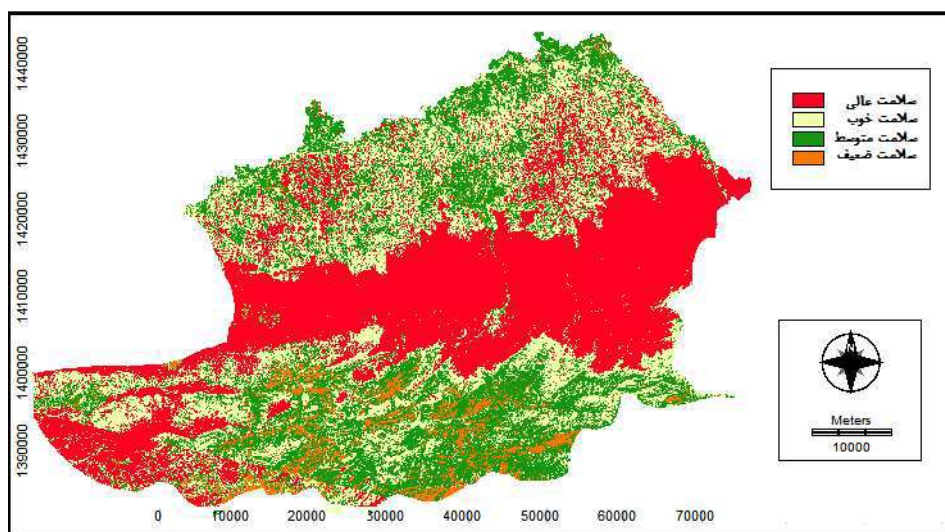
به صورت آماری و بصری مقایسه شد (شکل ۶). در این مرحله تغییرات نقشه سلامت ۱۹۸۴ و ۲۰۱۸ تهیه و طبقه‌بندی شد. مناطقی که نسبت به مبنای بدون تغییر

با استفاده از نقشه‌های سلامت حاصل از مرحله قبل و نقشه تغییر حاصل شده، تغییرات سلامت سیمای سرزمین

بودند یا تغییر جزئی داشتند وضعیت سلامت آنها عالی در نظر گرفته شد. مناطقی که تغییر کم، متوسط و زیاد داشتند وضعیت سلامت آنها بترتیب خوب، متوسط و ضعیف قلمداد شد (شکل ۷).



شکل ۶. نقشه تغییرات سلامت سیمای سرزمین بین سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۸



شکل ۷. نقشه سلامت (تغییرات سلامت) سیمای سرزمین بین سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۸

۲۰۱۸ بررسی شد. از نقطه نظر معیارهای مورد مطالعه در این پژوهش، در این بازه ۳۲ ساله کمترین تغییرات و در نتیجه بهترین حالت سلامت مربوط به ۱۹۸۴ است. بنابراین نقشه سلامت ۱۹۸۴، به عنوان مبنا در نظر گرفته شد و سال‌های دیگر با توجه به آن سنجش و مقایسه شدند. تغییرات نقشه سلامت سال ۱۹۸۴، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۸ بررسی

در بخشی از این مطالعه از کراس‌تب استفاده شد که نتایج آن در جدول ۶ آمده است. نتایج مساحت طبقات کاربری اراضی بر حسب هکتار در جدول ۷ آورده شده است.

### تعیین آستانه سلامت

در این بخش، تغییرات سیمای سرزمین از سال ۱۹۸۴ تا

جدول ۶. میزان تبدیل برخی کاربری‌ها بر اساس مساحت

تغییر کاربری	تغییر مساحت به هکتار ۱۹۸۴-۲۰۱۸
کشاورزی به شهر	۳۱۴۷
شهر به کشاورزی	۱۷۵
جنگل به کشاورزی	۱۳۸۸۹
مرتع به کشاورزی	۶۲۲
جاده به کشاورزی	۹۳۰
آبراهه به کشاورزی	۵۱۲
جنگل به مرتع	۱۲۳۶۹
کشاورزی به مرتع	۶۹۳
جنگل به جاده	۵۵۸
کشاورزی به جاده	۱۳۸۸
مرتع به جاده	۳۵۷
جنگل به آبراهه	۴۴۵
مرتع به آبراهه	۱۵۴
مرتع به جنگل	۱۶۵

شد. تغییرات بین سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ ناچیز است. با استفاده از نقشه‌های سلامت تهیه شده، تغییرات سلامت سیمای سرزمین بین ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۸ بصورت نقشه درآمد (شکل ۶). در نقشه تغییرات حاصل که به صورت دامنه ۰ تا ۲۵۵ در نظر گرفته شد، با آزمون و خطا مشخص شد که تا عدد ۱۳۰، تغییرات منطقه مطالعاتی ناچیز است. از ۱۳۰ به بعد تغییرات در منطقه معنی‌دار است. عدد ۱۳۰ به عنوان آستانه سلامت سیمای سرزمین در نظر گرفته شد. بنابراین در شکل ۶ علاوه بر ارایه تغییرات سیمای سرزمین، مناطق بدون تغییر که آستانه سلامت را رد نکرده و نیز مناطق تغییر یافته که آستانه سلامت را رد کرده‌اند نیز نشان شده است.

جدول ۷. مساحت طبقات کاربری اراضی به هکتار

سال ۲۰۱۸	سال ۲۰۰۰	سال ۱۹۸۴	طبقه کاربری اراضی
۴۷۱۰	۱۵۱۶	۱۵۱۵	شهر
۱۰۳۰۸۹	۱۲۹۲۵۲	۱۲۹۲۸۶	جنگل
۴۶۷	۳۶۳	۳۶۵	آب
۱۰۵۸۱۷	۹۶۰۳۶	۹۶۲۰۴	کشاورزی
۸۳۰۷۱	۷۱۸۷۵	۷۰۷۷۳	مرتع
۷۴۰	۷۴۰	۷۴۰	بایر
۲۸۴۳	۳۰۷۳	۳۰۶۹	جاده
۲۱۷۰	۲۱۳۲	۲۱۳۰	آبراهه

### شناسایی عوامل تغییر

با توجه به جدول ۶، توسعه کاربری‌های انسانی مثل توسعه شهری و جاده‌ها و نیز تبدیل کاربری‌هایی نظیر تبدیل جنگل به کشاورزی، مرتع و جاده، رواناب و فرسایش در منطقه مطالعاتی و در بازه مورد نظر، به عنوان عوامل تغییر معرفی می‌شوند. این موارد ممکن است در کاهش مساحت جنگل‌ها، بیماری‌ها و اقلیم نیز تاثیر داشته باشد.

### ارائه دستورالعمل تشخیص سلامت به کمک

#### روش‌های سهل‌تر

دستورالعمل تشخیص سلامت سیمای سرزمین منطقه مطالعاتی در این پژوهش، در شکل ۸ ارایه شده است.

#### بحث و نتیجه‌گیری

تغییرات سلامت سیمای سرزمین در دوره‌های زمانی مورد مطالعه با استفاده از سنج‌ها بررسی و مقایسه شد. نتایج در بازه زمانی اشاره شده روند نزولی سلامت سیمای

اعلام کرده‌اند. نتایج به دست آمده از کاربرد سنجه‌های مورد استفاده در این پژوهش بیانگر کارایی سنجه‌های مساحت لکه، بعد فرکتال، پیوستگی، فاصله از نزدیکترین همسایه، نسبت محیط به مساحت و NDVI در بررسی و تحلیل تغییرات است که با یافته‌های میرزایی و همکاران (۱۳۹۷)، محمودزاده و مسعودی (۱۳۹۸)، قنبری و همکاران (۱۳۹۹)، Teresa و Clive (۲۰۱۸)، McGarigal و همکاران (۲۰۱۹) و Gounaridis و همکاران (۲۰۱۸) هم‌خوانی دارد، که در همگی آنها به کارآمدی این سنجه‌ها اشاره داشته‌اند. با مقایسه و بررسی یافته‌ها می‌توان نتیجه گرفت که وضعیت تغییرات سلامت به صورت نزولی است. میرزایی و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به بررسی تغییرات کاربری شهرستان خلخال پرداختند و نشان دادند که سنجه‌ها از کارایی بالایی در نشان دادن تغییرات کاربری در این منطقه در طی دوره مطالعه برخوردار هستند. محمود زاده و مسعودی (۱۳۹۸) تغییرات کاربری را در تبریز با استفاده از سنجه‌ها مطالعه و اعلام کردند که سنجه‌ها از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی به تنهایی نمی‌توانند روند تغییر الگوهای اصلی سیمای سرزمین را توصیف کنند. از این رو، ترکیبی از سنجه‌های سیمای سرزمین مطرح است که در کنار RS و GIS نتایج مطلوب‌تر و دقیق‌تری ارائه دهد. سنجه‌ها یکی از بهترین روش‌ها برای سنجش وضعیت سیمای سرزمین هستند. آرخانی (۱۳۹۴) با ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی منطقه بیابانی دهلران با استفاده از سنجش از دور و سنجه‌ها، افزایش تعداد لکه‌ها را عامل تجزیه سرزمین اعلام و از کاربرد سنجه‌ها اظهار رضایت کرد. علاوه بر این مطالعات، پژوهش‌هایی در نقاط مختلف انجام گرفته است از جمله قنبری و همکاران (۱۳۹۹)، Gounaridis و همکاران (۲۰۱۴)، Borana و Yadav (۲۰۱۷) و Meng و Xing (۲۰۲۰) که همه آنها کارایی و قابلیت سنجه‌های استفاده شده را تایید کرده‌اند. سنجه‌ها یکی از بهترین روش‌ها برای ارزیابی وضعیت سیمای سرزمین هستند اما در این میان،



شکل ۸. دستورالعمل تشخیص سلامت

سرزمین نشان می‌دهد. بررسی نتایج نشان می‌دهد کاربری‌ها غیریکنواخت‌تر و آسیب سیمای سرزمین بیشتر شده است. با توجه به افزایش شاخص تکه‌تکه‌شدگی و کاهش یکپارچگی و ارتباط، وضعیت محیط‌زیست روند نزولی پیدا کرده است. محققانی مثل Teresa و Clive (۲۰۱۸) و Gounaridis و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعات خود برای بررسی وضعیت سیمای سرزمین از برخی سنجه‌های نامبرده شده در این مطالعه استفاده و نتیجه را رضایت‌بخش

۱۲ هزار هکتار به مساحت مرتع افزوده شده است. مساحت جاده‌ها ۸۰۰ هکتار افزایش یافته است. نقشه سلامت سال ۱۹۸۴ از نظر شاخص‌های مورد مطالعه وضعیت بهتری نسبت به سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۸ دارد. در نقشه سال ۲۰۰۰ در مقایسه با سال ۱۹۸۴ وضعیت جنگل، مرتع و کشاورزی تنزل یافته است. در نقشه سال ۲۰۱۸ وضعیت جنگل و کشاورزی تنزل کرده اما وضعیت مرتع قابل قبول است. تعداد لکه‌های شهری زیاد شده است. در سطح شهر به علت بزرگ و متمرکز شدن لکه شهر تغییرات اندکی مثبت است. نقشه سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۸ نسبت به یکدیگر تغییر چندانی نشان نمی‌دهد. اما نسبت به نقشه ۱۹۸۴ تغییر قابل ملاحظه‌ای دارند.

نتایج نشان می‌دهد که منحنی سال ۱۹۸۴ همگن‌تر از ۲۰۰۰ و ۲۰۱۸ است. منحنی ۲۰۰۰ و ۲۰۱۸ رابطه نزدیکی باهم دارند. تغییرات سیمای سرزمین از سال ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۸ بررسی شد. از نقطه نظر معیارهای مورد مطالعه در این پژوهش، سال ۱۹۸۴ وضعیت بهتری از نظر سلامت نسبت به سال‌های دیگر دارد. بنابراین، به عنوان مینا و آستانه سلامت در نظر گرفته شد و سال‌های دیگر با توجه به آن سنجش و مقایسه شدند. در راستای یافته‌های این پژوهش و تحلیل اکولوژیک آنها، دستورالعمل تشخیص سلامت سیمای سرزمین ارائه شد. این دستورالعمل با کمک سنجش از دور و در سطح لکه‌های سیمای سرزمین و به صورت کمی و مکانی تهیه شد که طبق آن نقشه سلامت بدست آمد و عوامل تغییر و آستانه سلامت تعیین شدند.

بطور کلی می‌توان گفت با استفاده از سنجش سیمای سرزمین می‌توان سلامت سیمای سرزمین را کمی کرد. از طریق ایجاد ارتباط میان ساختار و عملکرد سیمای سرزمین و درک بهتر فرایندهای اکولوژیک می‌توان به ارزیابی سیمای سرزمین به منظور برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار آن دست یافت. در نتیجه استفاده از سنجش ضمن صرفه‌جویی در زمان، نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهد. نتایج ارزیابی صحت در این مطالعه، نشانگر قابل قبول بودن روش حاضر

باید از سنجش‌های مناسب استفاده شود تا وضعیت محیط به صورت جامع نشان داده شود (McGarigal et al., 2018).

با توجه به قابلیت بالای تصاویر ماهواره‌ای- نظیر به‌هنگام بودن، چند طیفی بودن، تکراری بودن- جهت تعیین تغییرات سیمای سرزمین در یک دوره زمانی مشخص می‌توان از آن‌ها استفاده کرد. با استفاده از سنجش سیمای سرزمین می‌توان ساختار فضایی سیمای سرزمین را کمی کرد. از طریق ایجاد ارتباط میان ساختار و عملکرد سیمای سرزمین و درک بهتر فرایندهای اکولوژیک می‌توان به ارزیابی سیمای سرزمین به منظور برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار آن دست یافت. در نتیجه استفاده از سنجش، ضمن صرفه‌جویی در زمان، نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهد. سنجش‌ها به منزله نمایه‌های کمی‌ساز محیط‌زیست با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای قابل مطالعه و استخراج‌اند. هر چه مساحت لکه‌ها بزرگ‌تر باشد کمتر تخریب یافته‌اند و دست‌نخورده هستند. هر چه فاصله لکه‌ها کمتر باشد دست‌خورده‌گی کمتر است. بنابراین، فاصله نزدیک‌تر عاملی مطلوب در وضعیت سلامت سیمای سرزمین محسوب می‌شود. حفظ یکپارچگی و پایداری سیمای سرزمین بر اساس اصول اکولوژیک به کاهش یا بهبود اثر فعالیت‌های انسان بر تنوع زیستی و پویایی سیمای محلی منجر می‌شود. در بحث آشکارسازی تغییرات، سنجش مساحت کاربری یکی از گویاترین سنجش‌ها در بررسی تغییرات سیمای سرزمین است. در این مطالعه برای درک اینکه کجاها تغییر کرده و چقدر، علاوه بر تحلیل بصری از کراس‌تب نیز استفاده شد. از نظر مساحت سال ۲۰۰۰ نسبت به ۱۹۸۴ تغییر چندانی ندارد. در سال ۲۰۱۸ از نظر مساحت، حدود ۴۰۰۰ هکتار به مساحت توسعه شامل شهر و جاده‌ها افزوده شده است. مساحت شهر نسبت به سال مینا سه برابر شده است. حدود ۲۶۰۰۰ هکتار از مساحت جنگل‌ها کاسته شده است. میزان فرسایش حدود ۴۰ هکتار افزایش داشته است (افزایش آبراهه‌ها). حدود ۹ هزار هکتار به مساحت زمین‌های کشاورزی اضافه شده است. حدود

در مطالعات سلامت سیمای سرزمین است. روش حاضر **یادداشت‌ها**

1. Ecosystem Health Assessment
  2. Normalized Difference Vegetation Index
  3. Multi-Criteria Evaluation
  4. Maximum Likelihood
  5. Analytical Hierarchy Process
  6. Weighted Linear Combination
- به دلیل ارزان و سریع بودن به تسریع مطالعات در کنار مطالعات میدانی کمک شایانی می‌کند.

### فهرست منابع

آرخی، ص، (۱۳۹۴). کاربرد متریک‌های سیمای سرزمین در ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی با استفاده از سنسجش از دور و GIS مطالعه موردی: منطقه بیابانی دهلران، *جغرافیا و توسعه*، ۱۳(۱۲)، ص ۶۸-۵۹.

احمدی، ا. م.، طاطیان، ر.، ثمرتاش، ح.، یگانه، و.، عصری، ی.، (۱۳۹۵). بررسی پوشش گیاهی اراضی شور دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، *سنسجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، ۷(۷)، ص ۱۲-۱.

خوش‌لهجه، م؛ برنجگر، ب؛ مقیمی، ب؛ بهشتی‌فر، س؛ مقصودی، ی؛ محمدزاده، ع.، (۱۳۹۸). مروری بر روش‌ها و مدل‌های مورد استفاده در شناسایی تغییرات کاربری اراضی با تکیه بر سنسجش از دور و GIS (با تأکید بر مطالعات صورت‌گرفته در کشور ایران)، *علوم و فنون نقشه‌برداری*، ۳۸(۳)، ص ۲۴۲-۲۵۵.

رجایی، ف.، اسماعیلی ساری، ع.، سلمان ماهینی، ع.، دلاور، م.، مساح بوانی، ع.ر.، (۱۳۹۹). ارزیابی تغییرات کاربری اراضی در حوضه آبخیز رودخانه تجن با تکیه بر سنج‌های سیمای سرزمین، *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۲۲(۶)، ۳۶۶-۳۵۱.

قنبری، ا.، رحیمی، آ.، موسوی، ط.، (۱۳۹۹). بررسی تغییرات کاربری اراضی بر اساس تجزیه و تحلیل متریک‌های سیمای سرزمین با استفاده از سنسجش از دور و GIS در شهرستان میاندوآب، *فضای جغرافیایی*، ۱۲(۶۹)، ۱۳۰-۱۱۷.

کامیاب، ح ر؛ ماهینی، ع.، (۱۳۹۱). الگوهای مکانی- زمانی تغییرات سیمای سرزمین و توسعه شهری (مطالعه موردی: گرگان)، *کاربرد سنسجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی*، ۳(۲)، ص ۵۹-۵۰.

مجرد، ک؛ کمان‌رودی، م.، (۱۳۹۷). آشکارسازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی (منطقه مورد مطالعه: استان مازندران)، *کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنسجش از دور در برنامه‌ریزی*، ۹(۱)، ص ۱۰-۱.

محمودزاده، ح.، مسعودی، ح.، (۱۳۹۸). تحلیلی بر تغییرات ساختاری سیمای سرزمین کلان‌شهر تبریز با استفاده از مبانی اکولوژی سیمای سرزمین و با تأکید بر مفهوم پیوستگی، *آمایش سرزمین*، ۲۱(۸)، ۱۷۹-۲۰۴.

میرزایی، ا.، قربانی، ا.، کیوان بهجو، ف.، (۱۳۹۷). آشکارسازی تغییرات کاربری/ پوشش سرزمین با استفاده از تصاویر لندست و IRS: مطالعه موردی شهرستان خلخال، *فضای جغرافیایی*، ۶۰(۱۳)، ۱۱۶-۱۰۱.

Borana, S.L., Yadav, S.K. (2017). Urban Landscape Assessment Using Spatial Metrics: A Temporal Analysis of Jodhpur City. *Advance Research in Computer Science and Management*, 5 (1): 1-10

Clive, A. & Teresa, E. (2018). "Testing landscape metrics as indicators of habitat loss and fragmentation in continuous eucalypt forests (Queensland, Australia)", *The Journal of Landscape Ecology*, 17(1), pp. 711-728.

- Gounaridis, D., George, N.Z., & Sotirios, K. (2018). “Quantifying spatio-temporal patterns of forest fragmentation in Hymettus Mountain, Greece a Computers”, *Journal of Environment and Urban Systems*, 46(1), pp. 35–44.
- Jorgensen, S.E.; Costanza, R. & Xu, F.L. (2005). *Hand Book of Ecological Indicators for Assessment of Ecosystem Health*. CRC Press.
- McGarigal, K., Compton, B.W., Plunkett, E.B., DeLuca, W. V., Grand, J., Ene, E., Jackson, S.D. (2018). A landscape index of ecological integrity to inform landscape conservation. *Landscape Ecology*, 33(1) 1029–1048.
- McGarigal, K., Tagil, S., & Cushman, S. (2019). “Surface metrics: an alternative to patch metrics for the quantification of landscape structure”, *Journal of Landscape Ecology*, 24(1), pp. 433–455.
- Xing, H., Meng, Y. (2020). Measuring urban landscapes for urban function classification using spatial metrics. *Ecological Indicators*, 108 (2): 1-10