



Journal of Environmental Studies

Vol. 46, No. 1, Spring 2020

Journal Homepage: www.Jes.ut.ac.ir

Print ISSN: 1025-8620 Online ISSN 2345-6922

Assessing the Changes in Tehran' Ecosystems Using the Landscape Metrics and Carbon Sequestration Rates

Document Type
Research Paper

Mir Saeed Mohaghegh¹, Naghmeh Mobarghaee Dinan^{2*}, Alireza Vafaiejad³,
Soheil Sobhanardakani⁴, Seyed Masoud Monavari⁵

Received
December 2, 2019

Accepted
March 5, 2020

1 Department of the Environment, College of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2 Department of Environmental Planning and Design, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

3 Department of the Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

4 Department of Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran

5 Department of the Environment, College of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

DOI: [10.22059/JES.2019.282612.1007871](https://doi.org/10.22059/JES.2019.282612.1007871)

Abstract:

Today, metropolitan cities face many problems, include excessive population and its problems, such as air pollution, soil, water, traffic, destruction and degradation of natural resources. Tehran, as the largest metropolis in Iran during the last decade, has faced numerous problems in the environmental, physical, economic and social infrastructures, which has reduced the quality of the environment. Therefore, attention to ecosystem services on the one hand and the image of urban land on the other hand can improve the quality of urban environments. The purpose of this study is to map ecosystem services and landmarks of Tehran. It also examines the relationship between measurements and ecosystem services and air quality parameters. To do this, Landsat satellite images were first extracted in 1986, 1996, 2008, and 2016, and land use maps were compiled in six categories of human, green spaces, roads, industries, agriculture, and lands. The accuracy of the maps was investigated using general accuracy and Kappa coefficient. The layout analysis method was used to calculate the measurements using the Faragstats 4.0 software at the surface level and classroom level. The city shifts were compared using measurements. Data on air quality parameters were prepared for a decade (1396-1386), and concentrations of contaminants were mapped to inverse distance. The correlation of the measures with the concentration of pollutants was investigated using Pearson correlation test in two periods of 2008 and 2016. The carbon sequestration map was developed as an ecosystem service using InVEST 3.0.0 software for periods 1986-1996, 1996 to 2008, 2008 to 2016, and period 1986 to 2016. The results of landmark analysis showed that the city of Tehran has undergone many changes over the course of thirty years, which has led to the destruction and fragmentation of the land, and also the city's texture has progressed towards compression and fine graining. During this time, the city has experienced a great deal of expansion. The carbon sequestration results in a reduction and loss of carbon sequestration, especially in the north of the study area over a 30-year period. The results of Pearson's correlation analysis between carbon sequestration and air quality parameters show a significant correlation with ozone, carbon monoxide and sulfur dioxide. The results of Pearson correlation test showed that there is a significant relationship between measures and concentrations of pollutants as well as carbon sequestration. This study showed that the use and application of measures and attention to ecosystem services for urban management is necessary.

Keywords: carbon sequestration, city of Tehran, gradient analysis, landscape metrics

* Corresponding author

Email: n_mobarghei@yahoo.com

Expanded Abstract

Introduction

The over half of world population are living in cities and counties. It is expected 66% of them will live in and around the cities in 2050 (World Population Prospects, the 2012 Revision). Increasing in population growth and development, especially in cities, has changed the ecology of entire earth planet (Alberti et al., 2008; Rockstrom et al., 2009). Based on the report of millennium ecosystem assessment, ecosystems have wider and faster changed by human during recent 50-year compared to any other temporal period in human history (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). These extensive changes in ecosystem structure and function lead to disturbance in providing ecosystem services potential (Vitousek et al., 1997). Considering evidences, extended disturbances in ecosystem structure and function are regarded as a factor for reducing ecosystem services during several recent decades, which cannot be perceived perfectly as yet (Raudsepp-Hearne et al., 2010) and result in arising some problems such as the global phenomenon of climate change, contamination of air, occurrence of erosion, flow offlood, reduction of water quality, extinction of species and loss of natural landscape.

Nowadays, metropolitans are facing to various problems such as over population and its negative outcomes including the air, soil and water pollution, destruction of natural resources and traffic. Considering large changes in city of Tehran, as the largest metropolis of Iran, due to irregular population growth and urbanization growth, this city has faced to the different problems in the field of environmental, physical, economic and social infrastructures during recent decades and these problems lead to reducing the environment quality. The present study sought to assess urban changes by using landscape metrics and their relationship with carbon sequestration rates and storage in city of Tehran. The evaluation of the trend of ecosystem changes by using landscape metrics can represent the reduction of services along with changes.

Material and Method

City of Tehran as the most populous metropolitan and capital of Iran with an area of 720 km² is located in the northern half of the country. The altitude of this city is varies between 1100 m to 1700 m. In this study, in the first step, base maps were extracted from Landsat 5 satellite images related to 18.6.1986, 13.6.1996 and 1.7.2008 and Landsat 8 images related to 20.6.2016, then, land-use map was prepared with intended classes (spatial resolution= 30 m). Based on the nature of the present study, uses were classified into six classes involving man-made (residential, commercial, administrative and urban services), green space, agricultural, industrial-workshop, barren and non-built, road and transit routes classes. These maps were used as base map to calculate landscape metrics. Before anything, vector format was converted to raster format since landscape analyses are conducted in raster-based GIS software. The optimum pixel size of the vector land-use map related to city of Tehran with raster model was set at 30 m. Gradient analysis which was first developed by Whittaker (1975) to analyze vegetation is regarded more efficient and can be performed by using FRAGSTATS 3.3. software. Urban expansion was also studied through this analysis based on landscape metrics (Zhang et al., 2004). Regarding gradient analysis, the area under study was divided into 113 km buffers starting from city center and analyses were conducted in these buffers. Metrics were calculated by using FRAGSTATS 3.3 software on the class level. Four metrics of the percentage of lands cover, number of patch, mean patch size and area-weighted mean patch fractal dimension were selected among all metrics to compare changes.

InVEST is considered as one of the models of carbon storage and sequestration, in which the information related to the amount of wood harvest, harvested production, destruction, storages existing in the four carbon pools of above and underground biomasses, soil organic matter and dead organic matter, current carbon storage in landscape. Carbon sequestration in any time are estimated based on

land cover or land-use map (Tallis et al., 2011).

The annual mean of the air quality parameters including PM10, CO, NO₂, SO₂ and O₃ was determined in the air pollution monitoring stations located in city of Tehran during two temporal ranges of 2006 and 2016 and interpolated through inverse-distance weighting. Further, the correlation between air quality parameters and amount of carbon sequestration rates during two ranges of 2008 and 2016 were evaluated by using Pearson's correlation coefficient.

Results

After classifying satellite images, the accuracy of classified images is assessed. Overall accuracy and Kappa coefficient are regarded as more common components for assessment (Foody, 1992), which were used to evaluate classification accuracy in the present study. Kappa coefficient calculates classification accuracy with respect to a completely-random classification in which each image was randomly classified (Mitsova et al., 2011). It is considered as one of criteria for assessing map accuracy, represents agreement between the results of classification and reality of land. Kappa coefficient varies between zero and one, where one indicates 100% agreement between classified layer and reality of land (Congalton & Green, 2009).

The land-use maps of area were prepared in six classes of man-made, barren, agricultural, green space, industrial-workshop and road network during four temporal ranges by using satellite images. The spatial resolution of all images was 30 m, which was regarded appropriate for the study. These maps were used to as base map analyze landscape. Class-level analyses were used in six classes in the class level.

Discussion and Conclusion

Land-use changes during a 30-year range represent the replacement of natural (barren lands) and semi-natural resources (agricultural lands) by man-made areas, which result in increasing residential areas and developing and expanding road network and urban green space. The addition of population rate and urbanization growth are regarded as main factors for changing landscape structure and function and affecting the climate of area (Orville et al., 2000). An increase in artificial or man-made patches indicates the destruction of lands, while an addition of the number and diversity of natural patches results in enhancing ecosystem relationships and land sustainability (Botequilha % Ahern, 2002). Further, increasing the number of man-made patches leads to the reduction of continuity and transmission between natural covers (McGarigal & Marks, 1995).

Based on the metrics analysis, extensive changes occur in landscape. The number of patches in man-made class increases over the time and this addition is significant, especially in zone 4. An addition of the number of patches is regarded as an important index for the decomposition of land and results in enhancing the destruction of land. In fact, it represents decomposition and reduction of continuity (McGarigal & Marks, 1995).

Regarding the metric of mean patch size, its amount reduces especially in 2016. An increase in the number of patches and reduction of mean patch increasing demonstrate that the tissue of residential are became fine and landscape of area is fragmented. The maximum of disturbance is corresponded to zones 5-11 where maximum changes, conversions and road network expansion occurs over the time and their lands (mainly barren) are replaced by man-made areas and road network. Human accessibility to land is positively related to its change and destruction rate and an addition of roads results in increasing the rate of change trend (Arumalani et al., 2004). Mean patch size and area-weighted mean patch fractal dimension increase in road network over the time, while the number of patches and area-weighted mean patch fractal dimension decrease in agricultural lands.

Regarding the industrial lands which were centralized in zones 6-10, they increased in 2008, while a decrease was observed in zones 8-10 in 2016. The number of patch represents a decreasing-increasing

trend from center to zone 6. Based on the metric of area-weighted mean patch fractal dimension, its value reduces over the time. Barren lands increase by moving from center toward edges. Over the time, a decreasing trend occurs in are as near the center, leading to great reduction over the time. The number of patches decreased in 1996, and increased during 2008 significantly, especially in zones 3-6, and finally minimized in 2016 with a significant decreasing trend. Mean patch size increases at the first, while it represents a decreasing trend in 2008 and 2016. Regarding the metric of area-weighted mean patch fractal dimension, a decreasing trend is observed from center toward edge, while here is an increasing trend in zone 8 and over. The shape of the borders related to the diverse natural covers of land is more complex compared to that in the covers derived from human activities. An increase in human disturbance results in decreasing the mean fractal dimension of patches (Turner & Ruscher, 1988). During 1996-2008, the amount of sequestration decreased in most areas instead of zone 6 where an increasing trend was observed due to an addition of green space area in this zone. Further, carbon sequestration rates significantly reduced in zone 3 due to the decrease of agricultural lands and increase in man-made uses.

بررسی تغییرات بوم‌سازگان با استفاده از سنج‌های سیمای سرزمین و ترسیب کربن شهر تهران

میر سعید محقق^۱، نغمه مبرقی دینان^{۲*}، علیرضا وفائی‌نژاد^۳، سهیل سبحان اردکانی^۴، سید مسعود منوری^۵

۱ گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲ گروه برنامه ریزی و طراحی محیط زیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۳ گروه حمل و نقل، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۴ گروه محیط زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران
۵ گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۱۵

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۸/۰۹/۱۱

چکیده

امروزه کلان‌شهرها با مشکلات بسیاری از جمله جمعیت بیش‌ازحد و مشکلات ناشی از آن، مثل آلودگی‌های هوا، خاک، آب، ترافیک، تخریب و تباهی منابع طبیعی مواجه هستند. تهران بزرگ‌ترین کلان‌شهر ایران در دهه اخیر با مشکلات متعددی مواجه شده که سبب کاهش کیفیت محیط‌زیست شده است. بررسی تغییرات سیمای سرزمین شهری و میزان ترسیب کربن می‌تواند در افزایش کیفیت محیط‌زیست شهری مؤثر باشد. هدف از این مطالعه بررسی تغییرات بوم‌سازگان در بازه ۳۰ ساله با استفاده از سنج‌های سیمای سرزمین و محاسبه ترسیب کربن است. در این پژوهش نخست تصاویر ماهواره‌ای لندست در سال‌های ۱۹۸۶، ۱۹۹۶، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۶ استخراج شد و نقشه‌های کاربری اراضی در شش طبقه انسان‌ساخت، فضای سبز، شبکه راه‌ها، صنایع، کشاورزی و اراضی بایر تهیه شدند. تغییرات سی‌ساله شهر به روش آنالیز گرادیان با استفاده از نرم‌افزار Faragstats 4.0 در سطح کلاس محاسبه شد. میزان ترسیب کربن به‌عنوان خدمات بوم‌سازگان با استفاده از نرم‌افزار InVEST 3.0.0 تهیه شد. ترسیب کربن طی این مدت روند کاهشی را نشان داده است. تغییرات سی‌ساله شهر تهران نشان داد بافت شهر متراکم، ریزدانه و ساده شده است. طی این زمان کاربری‌های اراضی بایر و کشاورزی کاهش چشمگیری را نشان داده است و کاربری انسان‌ساخت، فضای سبز و شبکه راه‌ها افزایش یافته است.

میزان ترسیب کربن در این بازه از مرکز شهر به سمت حاشیه‌ها کاهش چشمگیری را نشان داده است. تغییرات کاربری اراضی سبب جایگزین شدن زمین‌های کشاورزی و بایر به کاربری‌های انسان‌ساخت و شبکه راه شده است. این جایگزینی مهم‌ترین دلیل کاهش میزان ترسیب کربن طی زمان بوده است. افزایش مساحت فضای سبز و پیوستگی لکه‌های این کاربری سبب افزایش میزان ترسیب کربن به‌ویژه در زون‌های ۵، ۶ و ۷ شده است. در زون ۷ بیشترین میزان ترسیب کربن به مقدار ۳۴۶۳۵۶۳۸.۷۶۲ تن در پیکسل در بازه ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۶ بوده است و کمترین آن به مقدار ۱۰.۹۳۷.۰۵۸.۵۱۸- ترسیب منفی کربن در زون ۳ در همین بازه زمانی رخ داده است.

کلیدواژه‌ها: تحلیل گرادیان، ترسیب کربن، سنج‌های سیمای سرزمین، شهر تهران

۱. سرآغاز

در قرن بیستم روند رشد جهانی جمعیت شهری شدت ده برابری را تجربه کرده و سبب ورود به عصر شهری شده (Seto et al., 2014). به طوری که بیش از نیمی از مردم جهان در شهرها یا شهرستان‌ها زندگی می‌کنند و پیش‌بینی‌ها بیانگر ساکن شدن ۶۶ درصد جمعیت دنیا در سال ۲۰۵۰ در شهرها و اطراف شهرها خواهد بود (World Population Prospects The 2012 Revision). افزایش رشد جمعیت و توسعه به‌ویژه در شهرها سبب تغییر شکل بوم‌شناسی سیاره زمین شده است (Alberti et al., 2008; Rockstrom et al., 2009). طبق گزارش ارزیابی بوم‌سازگان هزاره، انسان در ۵۰ سال اخیر وسیع‌تر و سریع‌تر از هر دوره زمانی دیگری در تاریخ بشری، بوم‌سازگان‌ها را تغییر داده است (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). این تغییرات وسیع و سریع در ساختار و عملکرد بوم‌سازگان به اختلال در ارائه ظرفیت خدمات بوم‌سازگان منجر شده است. (Vitousek et al., 1997). شواهد نشان می‌دهد عامل کاهش خدمات بوم‌سازگان طی چند دهه گذشته ناشی از اختلالات گسترده در ساختار و عملکرد بوم‌سازگان است که هنوز به‌طور کامل قابل درک نیست (Raudsepp-Hearne et al., 2010). و بروز مشکلاتی از جمله پدیده جهانی تغییر اقلیم، آلودگی هوا، فرسایش، جاری شدن سیل، کاهش کیفیت آب، انقراض گونه‌ها و از دست رفتن سیمای طبیعی سرزمین را در پی داشته است.

شالوده شهرهای پایدار وابسته به بوم‌سازگان‌های سالم هستند که از طریق خدمات بوم‌سازگان شهری طیف وسیعی از منافع را به‌صورت مستقیم مانند هوای پاک، آب پاک و همچنین غیرمستقیم مانند ارزش‌های فرهنگی و فراهم ساختن ارتباط بیشتر با طبیعت، موجب می‌شوند (Cowling et al., 2008). خدمات بوم‌سازگان زیرمجموعه‌ای از عملکردهای بوم‌شناختی (فیزیکی، شیمیایی و فرایندهای زیستی) هستند که به‌صورت مستقیم

وابسته یا مفید برای رفاه انسان هست (De Groot et al., 2002). روند جهانی شهرسازی همراه با پیامدهای تغییر اقلیم و دیگر فشارهای زیست‌محیطی به افزایش درک پایداری شهر و حالت انعطاف‌پذیری اجتماعی بوم‌شناسی که حاصل ارتباط بین انسان و بوم‌سازگان‌های شهری است انجامیده که بیشتر مردم در آن زندگی می‌کنند (Folke, 2006). چگونگی درک عملکرد بوم‌سازگان شهری در ارائه کالاها و خدمات برای ساکنین شهرها و چگونگی تغییر و محدودیت عملکرد آن‌ها علاوه بر درک تغییرات بوم‌سازگان می‌تواند جهان را بیش‌ازپیش تحت سلطه و نظارت انسان درآورد. مقیاس شهرنشینی و پیامدهای ناسازگار آن، بیانگر این است که مشکلات موجود در حال حاضر جهانی هست. چنانچه، این روند با مدیریت و برنامه‌ریزی منطبق با اصول و شاخص‌های توسعه پایدار برپای شرایط و ویژگی‌های فرهنگی و اجتماعی جوامع انسانی صورت نگیرد، بیم آن می‌رود که تمام منابع حیاتی زیست‌کره و در پی آن حیات انسانی دچار مخاطرات جدی شوند. پژوهش و شناخت بوم‌شناسی سیمای سرزمین، روشی مهم برای درک برهم‌کنش‌های پیچیده بوم‌شناختی، فرهنگی، جامعه‌شناسی و اقتصادی شهرها هست (Botequilha Leitão & Ahern J, 2002). مطالعات بوم‌سازگان‌های شهری به‌طور اصلی روی تأثیرات آشکار الگوهای فضایی سیمای سرزمین در مناطق شهری فرایندهای فیزیکی، بوم‌شناختی، اقتصادی و اجتماعی درون مرزها و آن‌سوی مرزهای آن‌ها متمرکز شده است (Luck & Wu J, 2002). ساختار سیمای سرزمین بازتاب‌دهنده تنظیمات طبیعی و آثار فعالیت‌های انسانی طی قرن است (Skokanová & Eremiášová, 2013)؛ که به‌طور چشمگیری تحت تأثیر عملکرد و فرایندهای بوم‌شناختی‌اند (Dauber et al., 2003)؛ و نقش کلیدی در ارزیابی کیفیت سیمای سرزمین ایفا می‌کند (Dramstad et al., 2006).

در سال‌های اخیر مفهوم خدمات بوم‌سازگان به‌صورت چشمگیر در علوم محیطی، سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌های

ArcGIS 10.2 شبکه‌بندی و با استفاده از نرم‌افزار Faragstats 4.0 در سطح سیمای سرزمین سنجه‌ها محاسبه شد. از بین سنجه‌ها ۴ سنجه استفاده شد: تراکم لکه، تراکم حاشیه، نمایه تنوع شانون و نمایه تجمع که کمترین میزان همبستگی را داشتند. نتایج سنجه‌ها بیانگر افزایش میزان سنجه‌های تراکم لکه، تراکم حاشیه و تنوع شانون بوده است. میانگین تراکم لکه در مرکز شهر افزایش یافته و افزایش سنجه تجمع در حومه شهر رخ داده بود. نتایج نشان داده است رشد سریع شهرنشینی و فعالیت‌های شدید انسانی سبب تغییر سیمای سرزمین شهر پکن شده است. همچنین در یو و NG (۲۰۰۶) در مطالعه روی الگوی شهر پانیوگوانجو از سنجه‌های سیمای سرزمین استفاده کردند. این مطالعه نشان داد که سنجه‌های سیمای سرزمین، شاخص‌های مناسب در تحلیل تغییر کاربری اراضی است و برای ارزیابی یکپارچه سیمای سرزمین ابزار لازم و حیاتی است. در ایران میرسنجری و محمدیاری (۱۳۹۶) در مطالعه خود پایش تغییرات سیمای سرزمین شهرستان بهبهان را بررسی کردند. آن‌ها از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ مربوط به سال ۱۳۸۷ و تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ مربوط به سال ۱۳۹۲ برای تهیه نقشه کاربری اراضی استفاده کردند. نقشه کاربری اراضی در شش طبقه جنگل، اراضی کشاورزی، مناطق مسکونی، مناطق مرتعی، منابع آبی و اراضی لخت تهیه کردند. برای تحلیل گرادیمان دو مقطع در جهت شمال-جنوب و شرق-غرب طراحی شد. نتایج آن‌ها بیانگر تغییرات کاربری‌ها در امتداد ترانسکت طولی بوده است. نتایج در سطح کلاس بیانگر افزایش تراکم لکه و حاشیه به سمت مرکز شهر بوده است. طی این دو دوره زمانی تغییرات حاکی از کاهش مساحت اراضی مرتعی و افزایش اراضی کشاورزی و توسعه شهری هست. صادقی بنیس (۱۳۹۴) در پژوهش خود به کارگیری سنجه‌های سیمای سرزمین در بهسازی شبکه بوم‌شناختی شهر تبریز را بررسی کرد. در این مطالعه لایه‌های بوم‌شناختی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست تهیه شد و با استفاده از

کاربردی توسعه‌یافته است (Daily & Matson, 2008). چهارچوب بوم‌سازگان‌های انسانی مفهوم نظری مفیدی برای یکپارچه‌سازی منابع طبیعی و نهادی، ساختار اجتماعی، فرایند بوم‌شناختی و الگوهای فضایی در سیمای سرزمین شهری فراهم کرده است (Pickett et al, 2001). یکی از رهیافت‌های ممکن برای محاسبه الگوهای مکانی پیامدهای مرتبط با ساختار سیمای سرزمین و خدمات بوم‌سازگان، استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین است. رویکرد خدمات بوم‌سازگان چهارچوبی مفید برای ارزیابی وضعیت موجود، تعیین اهداف و شناسایی معیارها فراهم کرده است که تسهیل بلندمدت و اولویت‌بندی روش‌ها به منظور افزایش عملکرد بوم‌شناختی در خدمت جوامع شهری را به همراه دارد (Skokanová & Eremiášová, 2013).

امروزه کلان‌شهرها با مشکلات بسیاری از جمله جمعیت بیش از حد و مشکلات ناشی از آن، مثل آلودگی‌های هوا، خاک، آب، ترافیک، تخریب و تباهی منابع طبیعی مواجه هستند. تهران بزرگ‌ترین کلان‌شهر ایران با توجه به تغییرات بسیار در این شهر که حاصل افزایش بی‌رویه جمعیت و رشد شهرنشینی بوده است در چند دهه اخیر با مشکلات متعددی در زیرساخت‌های محیطی، فیزیکی، اقتصادی و اجتماعی مواجه شده است. این مشکلات سبب کاهش کیفیت محیط‌زیست شده است. استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین برای بارزسازی تغییرات بسیار متداول است. Li و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای به آثار شهرنشینی بر الگوهای سیمای سرزمین در شهر پکن کشور چین پرداخته‌اند که از سیمای سرزمین ناهمگون فضایی برخوردار است. آن‌ها در مطالعه خود تغییرات بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ را بررسی کرده‌اند. نقشه کاربری اراضی با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر در ۸ طبقه را استفاده کردند که شامل جنگل، علفزار، تالاب، آبی، بایر، اراضی کشاورزی، درختچه زار و انسان‌ساخت بود. منطقه موردنظر با شبکه‌های ۳ کیلومتر در ۳ کیلومتر در محیط

جنگل بوده به طوری که طی این مدت اراضی جنگلی ۱۲۰۰۰ هکتار افزایش یافته است (Li et al., 2017). در مطالعه‌ای دیگر آثار روند توسعه شهری بر میزان ترسیب کربن در دو ناحیه روم و مولیس در مرکز ایتالیا ارزیابی شد. از نقشه کاربری اراضی در شش طبقه جنگل، باغ، علفزار، تالاب، مناطق مسکونی و دیگر مناطق استفاده کردند و روند توسعه رشد شهری در بازه زمانی ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۸ برای دو منطقه بررسی شد. آن‌ها از نرم‌افزار InVEST میزان ترسیب کربن برای دو ناحیه محاسبه کردند. نتایج بیانگر آن است که رشد شهری و آثار بوم‌شناختی به چالش و مخاطره برای آینده برنامه‌ریزی شهر و خط و مشی‌های کاربری اراضی منجر می‌شود (Sallustio et al., 2015). اسدالهی و ماهینی (۱۳۹۵) اثر تغییر کاربری اراضی بر عرضه خدمات بوم‌سازگان را در بخش شرقی حوزه آبخیز گرگان بررسی کردند. آن‌ها در این مطالعه کاربری اراضی منطقه را با استفاده از تصاویر لندست در دو زمان ۱۹۸۴ و ۲۰۱۰ تهیه کردند. همچنین با بهره‌گیری از تحلیل زنجیره مارکوف کاربری اراضی سال ۲۰۳۶ را برای منطقه پیش‌بینی کردند. با استفاده از نرم‌افزار InVEST 3.0.0 ذخیره کربن و ترسیب کربن منطقه را تعیین کردند. یافته‌های آن‌ها بیانگر کاهش کاربری پوشش جنگلی طی ۲۶ سال بازه زمانی مورد بررسی است. پوشش جنگلی که کاربری غالب منطقه بوده است دستخوش تغییرات گسترده شده است. به طوری که ۲۲/۵ درصد کاهش را نشان می‌دهد و سایر طبقات روند افزایشی را در این مدت داشته‌اند. روند ذخیره کربن و ترسیب کربن در منطقه کاهشی بوده در واقع منطقه با ترسیب کربن منفی همراه بوده است. جنگل‌زدایی علت این کاهش بوده است. بر اساس مطالعات انجام‌شده مؤسسه منابع انسانی مرکز در سال ۲۰۰۷، تهران از دیدگاه کیفیت محیط‌زیست شهری، در رتبه ۱۷۷ در بین ۲۷۷ شهر بزرگ دنیا قرار دارد. بدیهی است محیط‌زیست تهران برای دستیابی به کیفیت مطلوب، نیاز به مطالعه و بازنگری مدیریت شهری دارد. عدم توجه

سنجه‌های سیمای سرزمین عناصر تشکل دهنده ساختار بوم‌شناختی شهر تبریز که شامل لکه‌ها و گذرگاه‌های طبیعی و مصنوعی‌اند کمی شدند؛ و سنجه‌های میانگین اندازه لکه (MPS)، تعداد لکه (NP) و میانگین دو لکه مشابه (MNN) محاسبه شدند. برای نقشه‌سازی سنجه‌ها از شبکه‌های شش ضلعی ۱۰۰ هکتاری استفاده و نتایج این مطالعه بیانگر تغییرات شدید کاربری اراضی از جمله تکه‌تکه شدن لکه‌های سبز، نابودی لکه‌های باقی‌مانده طبیعی و انقطاع گذرگاه‌ها به دلیل تراکم بالای ساخت‌وساز رخ داده است. این تغییرات موجب کاهش تعادل عناصر طبیعی و مصنوعی شده و اختلال در فرایندهای بوم‌شناسی سیمای سرزمین در این شهر را در پی داشته است.

پژوهش‌ها در زمینه خدمات بوم‌سازگان در دهه اخیر رشد چشمگیری داشته است. توجه به ترسیب کربن با توجه به تغییر اقلیم بسیار مورد توجه قرار گرفته است. از جمله مطالعات می‌توان به مطالعه لی و همکاران اشاره کرد که توزیع مکانی چرخه کربن در شهرهای تک‌محور در گوانگ‌چین را بررسی کردند. آن‌ها منطقه را به سه زون تقسیم کردند و از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ در سری زمانی ۲۰۱۴ و ۲۰۱۶ با استفاده از نرم‌افزار ENVI 5.3 با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر نقشه‌های کاربری اراضی تهیه کردند. این داده‌ها ورودی نرم‌افزار InVEST شدند؛ و برای سه زون میزان ترسیب کربن محاسبه شد. نتایج نشان داد توزیع فضای چرخه کربن به دنبال الگوی حلقه متمرکز است. نخستین حلقه که در مرکز واقع شده نشان‌دهنده انتشار کربن است؛ حلقه دوم نشان‌دهنده خدمات ترسیب کربن است و حلقه سوم ذخیره کربن پایدار منطقه را نشان می‌دهد. ساختار حلقه مرکزی تغییر نکرده اما توزیع مکانی ترسیب کربن و تراکم کربن به دلیل مصرف سوخت فسیلی و تغییر پوشش زمین دستخوش تغییر شده است. همچنین نتایج آن‌ها بیانگر افزایش ترسیب کربن طی زمان بوده است. این افزایش ترسیب کربن به دلیل اجرای سیاست بازگشت زمین‌های کشاورزی به

۱۸۰۰ متر است. در میدان تجریش ارتفاع حدود ۱۳۰۰ متر و در میدان راه‌آهن ۱۱۰۰ متر بالاتر از سطح دریا است. شایان ذکر است که این اختلاف سطح به علت گستردگی و وسعت زیاد این شهر است. تهران در پهنه‌ای بین دو وادی کوه و کویر و در دامنه‌های جنوبی البرز گسترده شده است و ۷۳۰ کیلومتر مربع مساحت دارد. کلان‌شهر تهران پرجمعیت‌ترین شهر و پایتخت ایران، مرکز استان تهران و شهرستان تهران است (بی‌نام، ۱۳۹۸). از جمله شهرهایی است که رشد جمعیت بسیار بالایی دارد و با ۸,۷۳۷,۵۱۰ تن جمعیت، بیست و چهارمین شهر پرجمعیت جهان و دومین کلان‌شهر پرجمعیت خاورمیانه است (مرکز آمار، ۱۳۹۵). ناهمواری‌های طبیعی، تهران به دو ناحیه دشتی و کوهپایه‌ای البرز تقسیم می‌شود و گستره کنونی آن از ارتفاع ۹۰۰ تا ۱۸۰۰ متری از سطح دریا امتداد یافته است. تهران دارای اقلیم نیمه‌خشک است. در بیشتر سال‌ها، فصل زمستان نیمی از کل بارش‌های سالانه تهران را تأمین می‌کند و تابستان نیز کم‌باران‌ترین فصل در تهران است (بی‌نام، ۱۳۹۸).

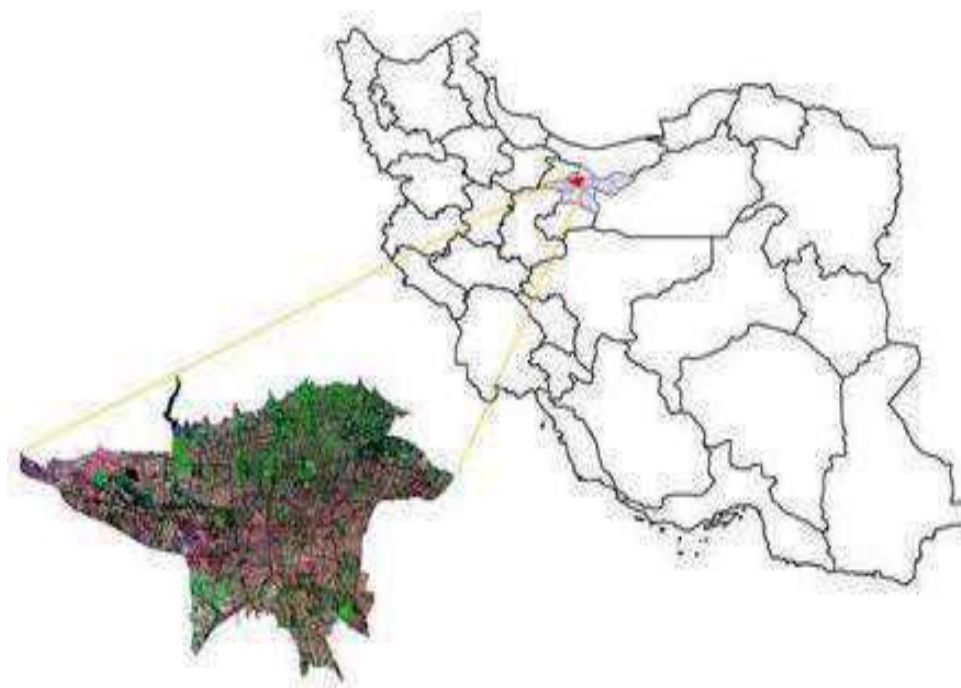
به اهمیت خدمات بوم‌سازگان شهری، روند تخریب و مشکلات را دامن زده است. ارزیابی خدمات بوم‌سازگان، جزئی مهم در تلفیق کارکردهای بوم‌سازگان در طراحی و برنامه‌ریزی و مدیریت شهری قلمداد می‌شود.

بررسی روند تغییرات بوم‌سازگان با استفاده از سنجه‌های^۱ سیمای سرزمین می‌تواند کاهش خدمات را همراه با تغییرات نمایان کند. ارزیابی و کمی کردن خدمات بوم‌سازگان با کمک نرم‌افزارهای موجود، در انتقال اطلاعات به مدیران و تصمیم‌گیران کمک می‌کند. هدف از این مطالعه کمی‌سازی تغییرات با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین شهر تهران همچنین محاسبه ترسیب کربن در بازه زمانی ۳۰ ساله است.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

شهر تهران از نظر جغرافیایی در ۵۱ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۳ دقیقه طول‌خاوری و ۳۵ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است؛ و ارتفاع کنونی تهران از سطح دریا در حدود ۹۰۰ تا



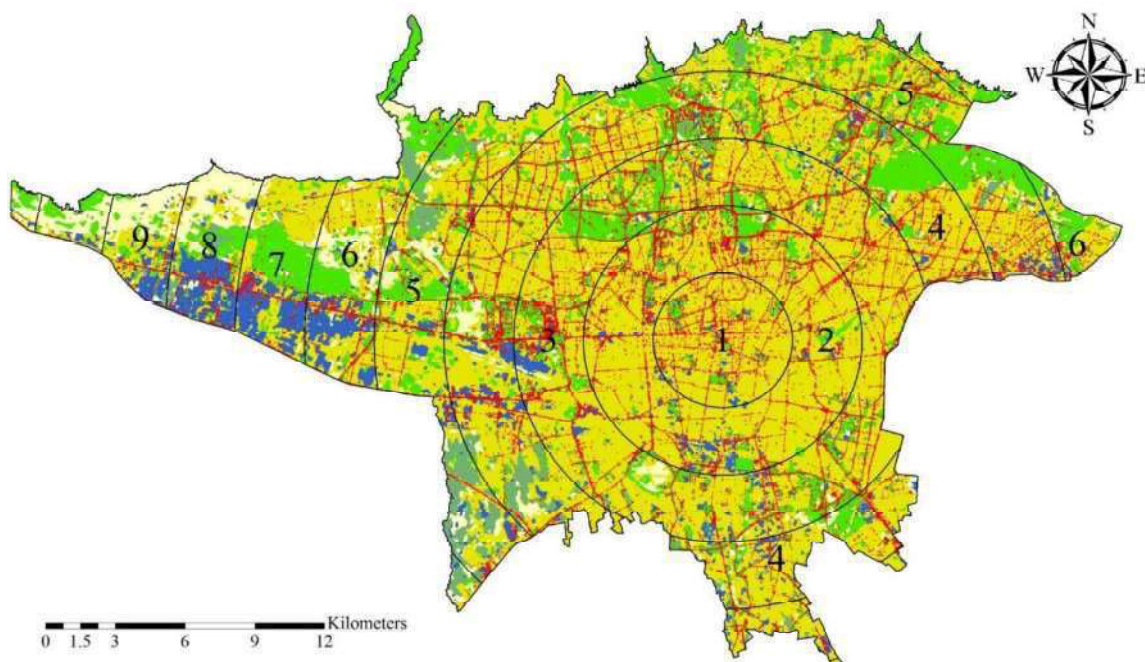
شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

۲-۲. داده‌های مورد استفاده

نخست نقشه‌های پایه از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ در تاریخ‌های ۱۸/۶/۱۹۸۶، ۱۳/۶/۱۹۹۶، ۱۷/۲۰۰۸ و لندست ۸ در تاریخ ۲۰/۶/۲۰۱۶ استخراج و نقشه‌کاربری اراضی با طبقه‌های موردنظر تهیه شد. شایان ذکر است تمام تصاویر با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر استخراج شد. در این مطالعه بنا بر ماهیت تحقیق، کاربری‌ها به شش کلاس طبقه‌بندی شدند که شامل: کلاس انسان‌ساخت (مسکونی، تجاری، اداری، خدمات شهری)، فضای سبز، کشاورزی، صنعتی-کارگاهی، بایر و ساخته نشده، جاده و معابر حمل‌ونقل است. این نقشه‌ها به‌عنوان نقشه پایه برای محاسبه سنجه‌های سیمای سرزمین استفاده شدند. با توجه به اینکه تحلیل‌های سیمای سرزمین در محیط GIS با مدل رستری انجام می‌شود بنابراین قبل از هر کار فرمت برداری به فرمت رستری تبدیل شد. اندازه پیکسل بهینه نقشه کاربری اراضی برداری شهر تهران به شکل رستر در اندازه پیکسل ۳۰ متر مطالعه شد.

آنالیز گرادیان نخستین بار توسط ویتاکر (۱۹۷۵) برای

آنالیز پوشش گیاهی به وجود آمد (Whittaker, 1975). این روش بسیار کارا و مؤثر بوده و آنالیز آن با ابزارهایی مانند نرم‌افزار فرگستس^۲ امکان‌پذیر است. از این آنالیز بر اساس سنجه‌های سیمای سرزمین برای مطالعه گسترش شهری نیز به کار گرفته شده است (Zhang et al., 2004). گرادیان‌ها می‌توانند شدت گسترش شهری، تغییرات بوم‌سازگان و بازتاب آثار انسانی بر محیط‌زیست را به‌خوبی نشان دهند. مفهوم گرادیان در مطالعات اکولوژیک شهری برای نخستین بار معرفی شد. بر اساس این مفهوم، تغییر در درجه توسعه شهری و شدت آثار انسانی بر کاربری‌ها، یک گرادیان است. مشابه گرادیان‌ها در محیط‌های طبیعی، گسترش شهری با ایجاد تغییرات مکانی، خصوصیات بوم‌سازگان مانند تنوع گونه‌ای، ترکیب و ساختار پوشش گیاهی، مواد مغذی خاک و... را تحت تأثیر قرار می‌دهد (McDonnell & Pickett, 1990). برای انجام آنالیز گرادیان منطقه مورد مطالعه به بافرهای ۳ کیلومتری از مرکز شهر شروع شد که کل منطقه به ۱۱ بافر سه کیلومتری تقسیم شد. آنالیزها در این بافرها انجام گرفت. (شکل ۲)



شکل ۲. موقعیت بافرها در منطقه مورد مطالعه

نشان‌دهنده توافق حاصل طبقه‌بندی با واقعیت زمین هست و بین ۰ و ۱ متغیر است. عدد ۱ نشان‌دهنده توافقی ۱۰۰ درصد لایه طبقه‌بندی‌شده با واقعیت زمینی است (Congalton & Green, 2009).

۲-۴. محاسبه سنجه‌ها

سنجه‌ها با استفاده از نرم‌افزار FRAGSTATS3.3 در مقیاس کلاس محاسبه شد. از بین سنجه‌ها ۳ سنجه، تعداد لکه، میانگین اندازه لکه و میانگین وزنی مساحت بعدفراکتال برای مقایسه تغییرات انتخاب شد. در جدول ۱ ساختاره سنجه‌ها ارائه شده است.

جدول ۱. معرفی سنجه‌ها و ساختاره آن‌ها

سنجه	توضیحات	ساختاره
میانگین اندازه لکه (MPS)	a_i = مساحت لکه m = تعداد کل انواع لکه	$MPS = \frac{\sum_{i=1}^m [a_i]}{m}$
میانگین وزنی مساحت بعدفراکتال (AWMPFD3)	m = تعداد انواع لکه (کلاس‌ها) n = تعداد لکه‌های کلاس P_{ij} = محیط لکه ij $a(ij)$ = مساحت لکه ij A = مساحت کل سیمای سرزمین	$AWMPFD = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[\left(\frac{\sqrt{\ln(\sqrt{25} P_{ij})}}{\ln a_{ij}} \right) \left(\frac{a_{ij}}{A} \right) \right]$

در این مدل ذخیره و ترسیب کربن میزان ذخیره کربن خشکی از معادله (۱) به دست می‌آید. در این معادله Cxt کربن ذخیره‌شده در پیکسل موردبررسی در زمان t است که برابر با مجموع کربن ذخیره‌شده در منابع ذخیره کربن Csj، Cbj، Caj و Coj است که به ترتیب شامل ماده آلی مرده، زی‌توده روزمینی، زی‌توده زیرزمینی و خاک به تفکیک کاربری اراضی هستند. به‌طوری‌که J نشان‌دهنده انواع کاربری اراضی موجود در منطقه مورد مطالعه است و Axjt مساحت کاربری در پیکسل x در زمان t است. Cpxt ذخیره کربن در تولیدات چوبی برداشت‌شده (HWPs) است.

۲-۳. ارزیابی صحت

لازمه استفاده از هر نوع اطلاعات موضوعی، آگاهی از درستی و صحت آن است. بعد از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای اقدام به ارزیابی صحت تصاویر طبقه‌بندی‌شده است. رایج‌ترین اجزای بررسی صحت کلی و ضریب کاپا است (Foody, 1992)؛ که در این پژوهش از آن‌ها برای بررسی صحت طبقه‌بندی استفاده شد. ضریب کاپا، صحت طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی (حالتی که یک تصویر کاملاً به‌صورت تصادفی طبقه‌بندی‌شده باشد) محاسبه می‌کند (Mitsova et al., 2011). ضریب کاپا از معیارهای ارزیابی صحت نقشه است و این ضریب

۲-۵. محاسبه ترسیب کربن با استفاده از نرم‌افزار

InVEST

یکی از مدل‌های ذخیره و ترسیب کربن مدل InVEST است. در این مدل از نقشه کاربری اراضی یا پوشش زمین اطلاعات مربوط به میزان برداشت چوب، محصول برداشت‌شده میزان تخریب و ذخایر موجود در چهار استخر کربن زی‌توده روزمینی، زی‌توده زیرزمینی، ماده آلی خاک و ماده آلی مرده مقدار ذخیره کربن در سیمای سرزمین در حال حاضر یا مقدار ترسیب کربن در هرزمانی را تخمین می‌زند (Tallis et al., 2011). خروجی‌های مدل به‌صورت مگا گرم (Mg) کربن در شبکه‌های سلول‌ی یا همان پیکسل‌ها بیان می‌شود (Nelson et al., 2008).

جدول ۲. مقدار زی توده روزمینی، زیرزمینی، کربن آلی و کربن آلی مرده برای کاربری‌های مختلف

نام کاربری	کد کاربری اراضی	زی توده روزمینی	زی توده زیرزمینی	کربن آلی خاک	کربن آلی مرده
اراضی بایر	۱	۰/۴	۰/۸۳	۶۰	۰
انسان ساخت	۲	۴	۵	۱۵	۱
صنایع-کارگاه	۳	۰	۰	۰	۰
کشاورزی	۴	۷/۲	۱/۹	۶۲/۴۴	۱/۱
فضای سبز	۵	۱۰	۲	۱۲/۴	۰/۴
شبکه راهها	۶	۰	۰	۰	۰

کارگاهی و شبکه راهها برای ۴ سری زمانی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تهیه شد. قدرت تفکیک مکانی تمام تصاویر ۳۰ متر بود که برای پژوهش مناسب بود. این نقشه‌ها به عنوان نقشه پایه برای تحلیل سیمای سرزمین به کار گرفته شد. تحلیل‌ها در سطح کلاس برای ۶ طبقه استفاده شد (شکل ۳). در جدول ۳ صحت و ضریب کاپا نقشه‌های کاربری ارائه شده است. صحت کل و ضریب کاپا نقشه‌ها بیانگر مناسب بودن دقت و صحت نقشه‌ها است.

درصد تغییر کاربری‌ها در سه بازه زمانی ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۶، ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۸ و ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۶ محاسبه و در نمودار ۱ ارائه شده است. کاربری اراضی بایر بیشترین کاهش طی بازه ۳۰ ساله را نشان می‌دهد به طوری که در این مدت ۲۵ درصد از مساحت این اراضی به سایر کاربری‌ها تبدیل شده است. اراضی کشاورزی هم ۶ درصد کاهش را نشان می‌دهد. کاربری انسان ساخت با ۱۱ درصد فضای سبز با ۱۱ درصد و شبکه راهها با ۸ درصد افزایش مساحت را تجربه کرده‌اند.

سنجه تعداد لکه انواع کاربری‌های انسان ساخت، فضای سبز، شبکه راهها، صنایع، کشاورزی و اراضی بایر در نمودار ۲ تا ۷ ارائه شده است. کاربری انسان ساخت و شبکه راهها روند افزایش تعداد لکه را تجربه کرده‌اند این روند از مرکز به سمت حاشیه‌ها چشمگیرتر است. اراضی بایر و کشاورزی کاهش چشمگیری تعداد لکه را از مرکز به سمت حاشیه نشان می‌دهد.

زی توده روزمینی از تمام مواد گیاهی زنده بالای سطح خاک (برگ، شاخه، پوست درخت و تنه درخت) تشکیل می‌شود. زی توده زیرزمینی در واقع ریشه زی توده روزمینی هست. ذخیره کربن در منبع ذخیره خاک مربوط به کربن آلی خاک است. منبع ذخیره ماده آلی مرده شامل لاش برگ گیاهی و چوب مرده است HWPS شامل کربن ذخیره شده در تولیدات ساخته شده با چوب از قبیل اسباب و اثاثیه، کاغذ و زغال چوب است (sharp et al., 2014).

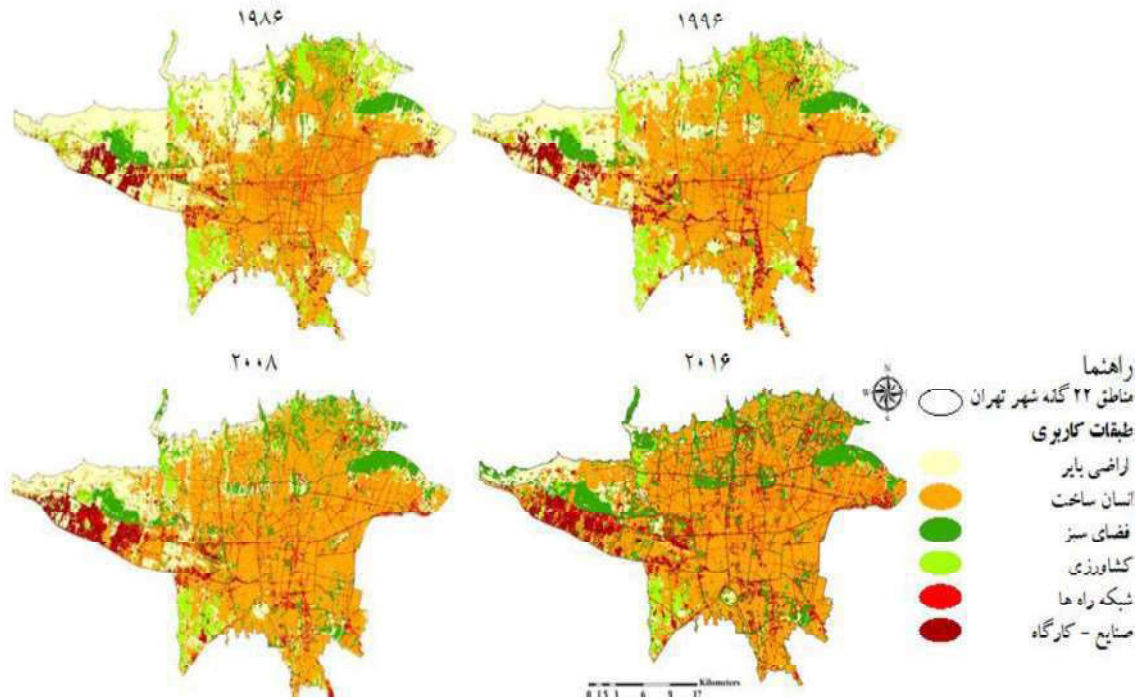
ترسیب کربن زمانی رخ می‌دهد که ذخیره کربن در طول زمان افزایش یابد با توجه به معادله (۲) تغییر ذخیره کربن از زمان اگر $\Delta CxtT$ مثبت باشد از زمان t تا T در پیکسل مورد بررسی، ترسیب کربن اتفاق افتاده است و اگر $\Delta CxtT$ منفی باشد، کربن بین دو بازه زمانی t تا T از دست رفته است. میزان ترسیب کربن منطقه مورد مطالعه برای سه دوره ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۶ و ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۸ و ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۶ محاسبه شد و نمودار مقایسه‌ای آن‌ها تهیه شد. در جدول ۲ مقدار زی توده روزمینی، زیرزمینی، کربن آلی و کربن آلی مرده برای کاربری‌های مختلف به صورت تخمینی حاصل از مرور منابع ارائه شده است.

$$Cxt = Cpxt + \sum_{j=1}^j Axjt(Caj + Csj + Coj) \quad (1)$$

$$\Delta CxtT = CxT - Cxt \quad (2)$$

۳. نتایج

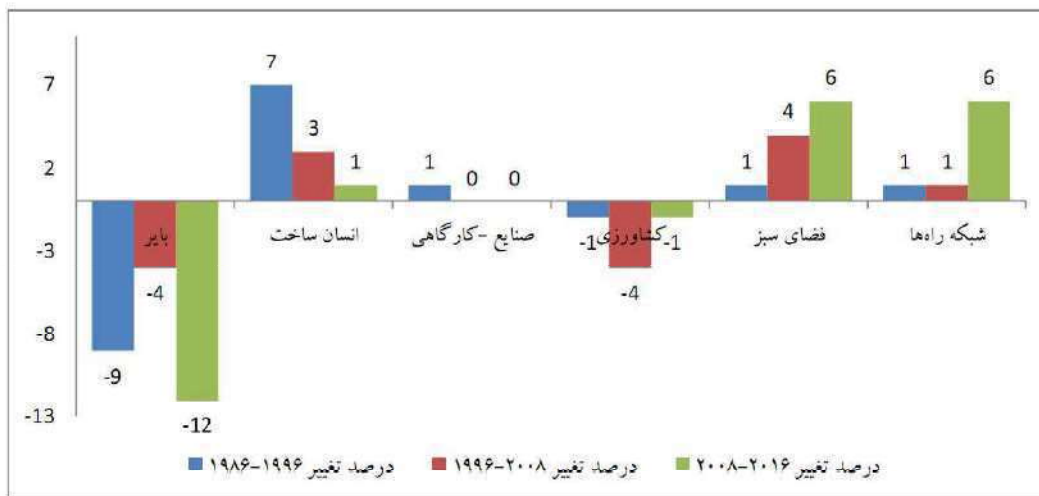
نقشه‌های کاربری اراضی منطقه در ۶ طبقه که شامل طبقات انسان ساخت، بایر، کشاورزی، فضای سبز، صنایع و



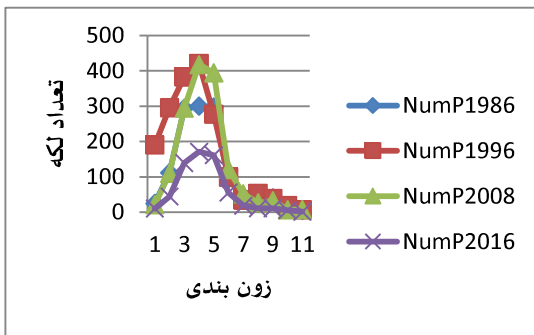
شکل ۳. نقشه کاربری اراضی در ۴ سری زمانی

جدول ۳. صحت و ضریب کاپا نقشه‌های کاربری اراضی تهیه‌شده

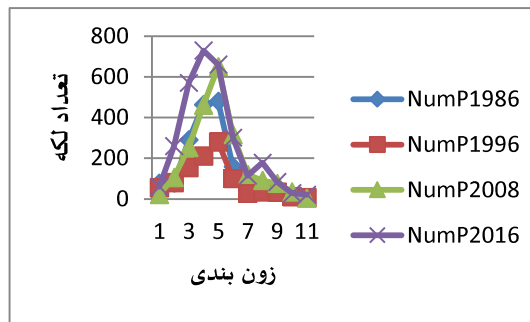
سال	صحت کلی	ضریب کاپا
۱۹۸۶	۹۴/۰۸۵	۰/۹۲۳۷
۱۹۹۶	۸۶/۱۶	۰/۸۳۰۶
۲۰۰۸	۸۳/۴۹	۰/۷۹۴۸
۲۰۱۶	۶۹/۳۸	۰/۶۱۵۱



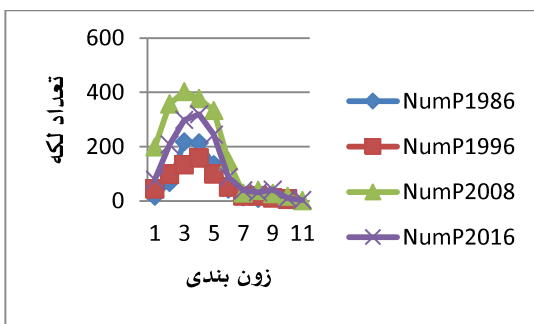
نمودار ۱. تغییرات کاربری اراضی طی بازه زمانی ۳۰ ساله



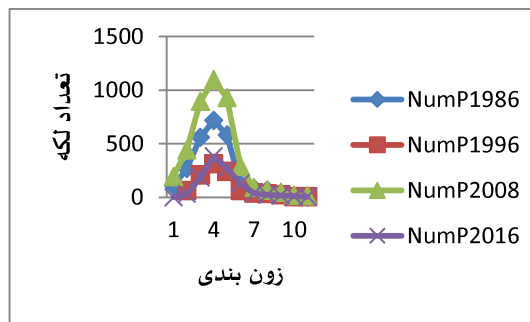
نمودار ۶. سنجه تعداد لکه‌ها کشاورزی



نمودار ۲. سنجه تعداد لکه‌ها انسان‌ساخت

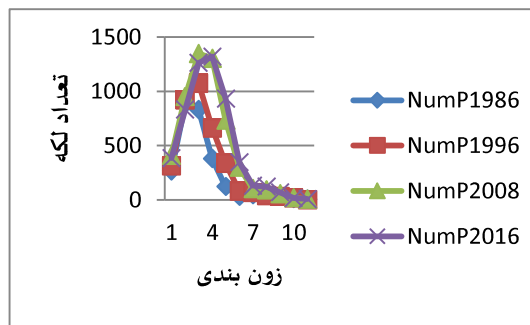


نمودار ۷. سنجه تعداد لکه‌ها صنایع کارگاهی

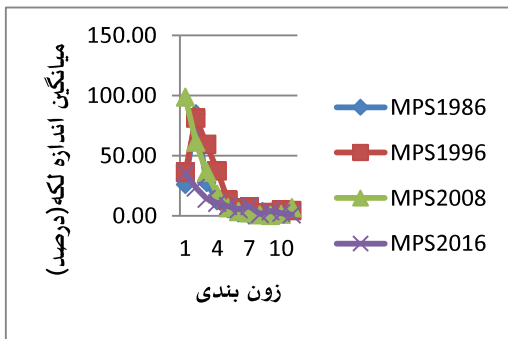


نمودار ۳. سنجه تعداد لکه‌ها بایر

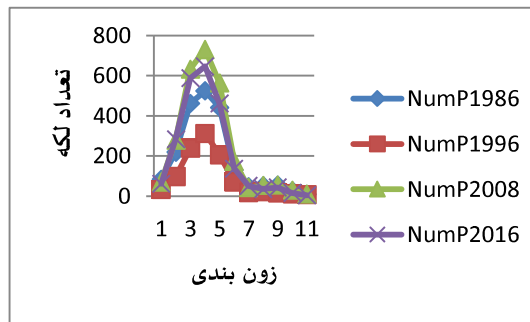
سنجه میانگین اندازه لکه‌ها در انواع کاربری‌های انسان‌ساخت، فضای سبز، شبکه راه‌ها، صنایع، کشاورزی و اراضی بایر در نمودار ۸ تا ۱۳ ارائه شده است. کاربری‌های انسان‌ساخت و اراضی بایر کاهش چشمگیری را طی زمان تجربه کرده‌اند این روند از مرکز به سمت حاشیه چشمگیرتر بوده است. روند افزایشی این سنجه در کاربری شبکه راه و فضای سبز رخ داده است.



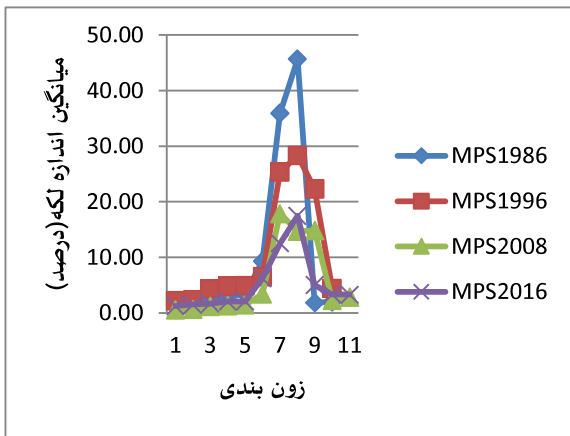
نمودار ۴. سنجه تعداد لکه‌ها شبکه راه



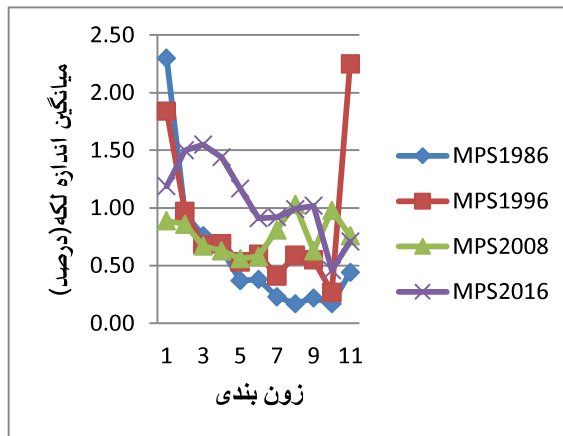
نمودار ۸. میانگین اندازه لکه کاربری انسان‌ساخت



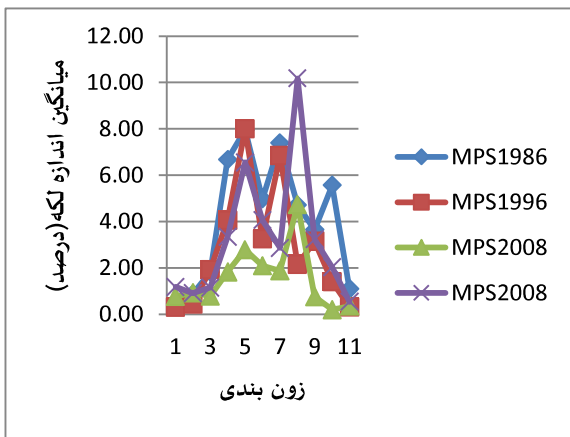
نمودار ۵. سنجه تعداد لکه‌ها فضای سبز



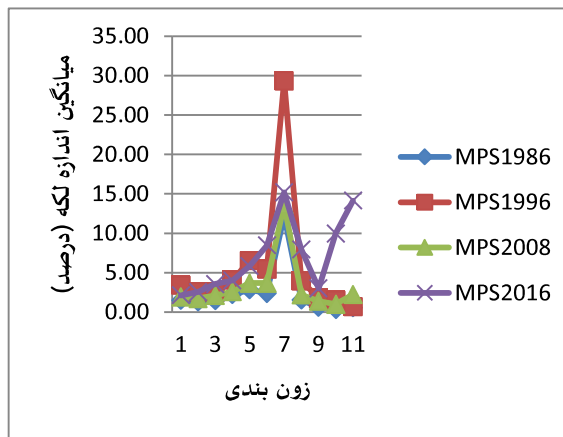
نمودار ۱۱. میانگین اندازه لکه کاربری صنایع کارگاهی



نمودار ۹. میانگین اندازه لکه کاربری شبکه راه

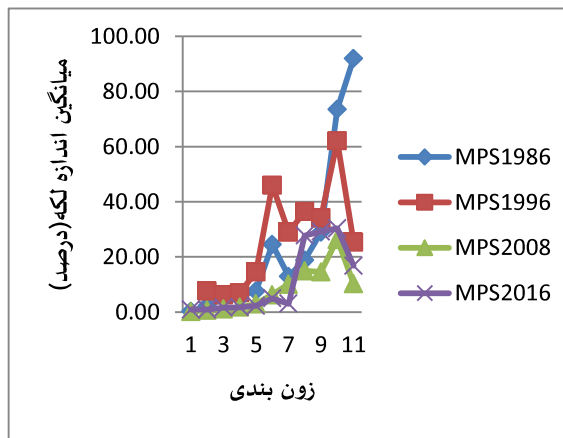


نمودار ۱۳. میانگین اندازه لکه کاربری کشاورزی

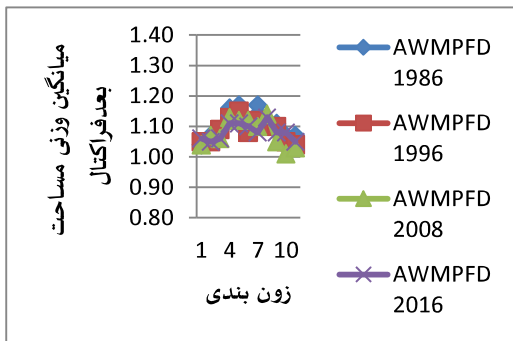


نمودار ۱۰. میانگین اندازه لکه کاربری فضای سبز

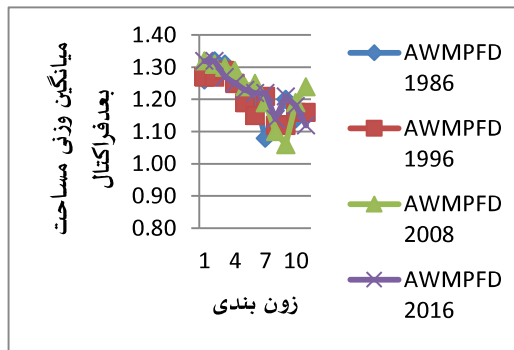
سنجه میانگین وزنی مساحت بعددراکتال برای انواع کاربری‌های انسان‌ساخت، فضای سبز، شبکه راه‌ها، صنایع، کشاورزی و اراضی بایر در نمودار ۱۴ تا ۱۹ ارائه شده است. میزان نوسان این سنجه بین ۱ تا ۱/۳ رخ داده است. بیشترین نوسان در کاربری‌های انسان‌ساخت، شبکه راه و صنایع و کمترین نوسان را کاربری‌های فضای سبز، اراضی کشاورزی و بایر رخ داده است.



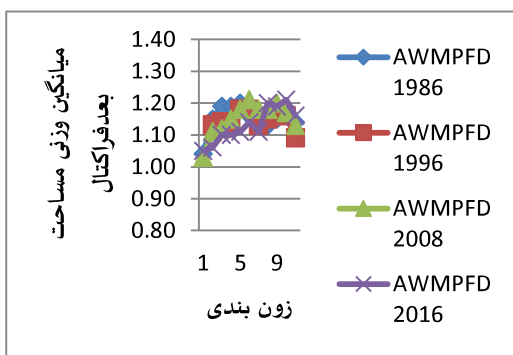
نمودار ۱۲. میانگین اندازه لکه کاربری اراضی بایر



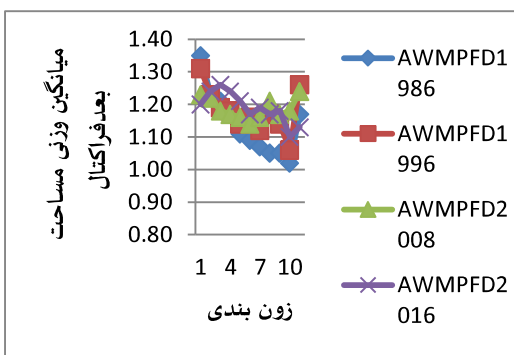
نمودار ۱۷. مساحت وزنی بعدفراکتال لکه کشاورزی



نمودار ۱۴. مساحت وزنی بعدفراکتال لکه انسان ساخت

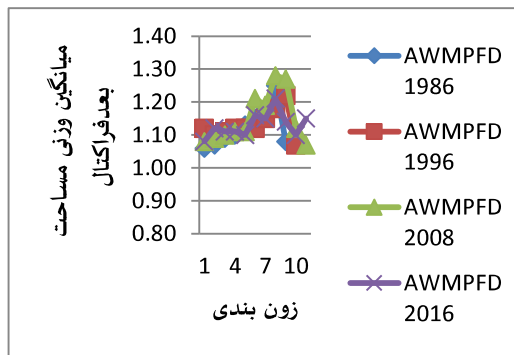


نمودار ۱۹. مساحت وزنی بعدفراکتال لکه بایر

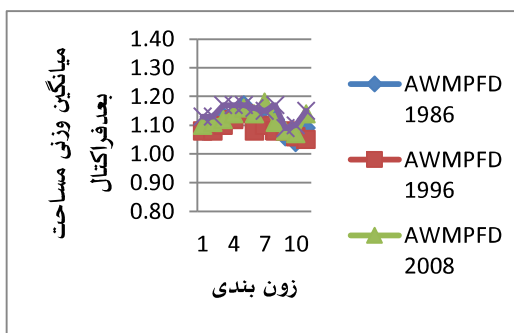


نمودار ۱۵. مساحت وزنی بعدفراکتال لکه شبکه راه

میزان ترسیب کربن خاک برای منطقه مورد مطالعه در سه بازه ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۶، ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۸ و ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۶ در نمودار ۲۰ ارائه شده است. در این سه بازه بیشترین مقدار ترسیب کربن در زون ۶ تا ۱۰ در بازه ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۶ و ترسیب منفی در زون ۳ رخ داده است. میزان ترسیب کربن در ۱۱ زون و سه بازه زمانی در جدول ۴ آمده است. میزان ترسیب کربن در سه زون بیشترین میزان بوده است. در زون ۷ بیشترین میزان ترسیب کربن به مقدار $34/635/638/762$ تن در پیکسل در بازه ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۶ بوده است و کمترین آن به مقدار $10/937/058/518$ - ترسیب منفی کربن در زون ۳ در همین بازه زمانی رخ داده است.



نمودار ۱۶. مساحت وزنی بعدفراکتال لکه صنایع



نمودار ۱۸. مساحت وزنی بعدفراکتال لکه فضای سبز

جدول ۴. میزان ترسیب کربن (تن در پیکسل) طی سه بازه زمانی

بازه ۲۰۰۸ - ۲۰۱۶	بازه ۱۹۹۶ - ۲۰۰۸	بازه ۱۹۸۶ - ۱۹۹۶	زون بندی
-۱/۸۹۰/۸۷۶/۶۵۷	۸/۵۲۶/۱۳۴/۷۴۷	-۱/۷۶۶/۲۵۰/۶۹۶	۱
-۶/۱۱۰/۵۸۰/۵۲۶	۳۷۰/۹۸۹/۳۰۰	-۴۴۹/۷۷۰/۸۱۲	۲
-۱۰/۹۳۷/۰۵۸/۵۱۸	۱۲۶/۱۸۹/۷۴۳	۱۱/۹۶۹/۶۰۳/۷۹۳	۳
-۴/۶۳۸/۱۵۳/۴۹۵	۴/۴۱۸/۱۳۸/۵۲۱	۱۸/۸۹۴/۱۰۴/۴۰۲	۴
۱۰/۵۳۶/۴۸۰/۹۰۶	۱۰/۳۴۰/۷۶۶/۷۳۶	۹/۳۷۰/۷۵۱/۶۹۵	۵
۱۴/۴۳۳/۷۷۷/۹۹۸	۱۵/۰۸۵/۷۴۶/۲۱۵	۷/۹۵۶/۶۷۳/۳۴۳	۶
۳۴/۶۳۵/۶۳۸/۷۶۲	۴/۵۶۵/۱۰۰/۲۸۱	۹/۱۹۳/۲۰۰/۸۸۶	۷
۱۳/۵۳۹/۶۷۸/۷۹۶	-۵۵۵/۵۰۵/۳۰۷	۲/۶۴۹/۳۳۳/۰۰۱	۸
۳۱/۴۶۱/۰۱۸/۰۲۳	-۶/۳۷۰/۱۶۶/۸۴۱	-۸/۴۱۴/۳۲۴/۸۵۷	۹
۳/۶۶۵/۵۴۸/۵۹۱	-۹۰۵/۶۰۶/۱۲۳	۵/۸۸۶/۴۳۹/۷۹۸	۱۰
-۱/۶۰۷/۱۴۲/۸۳۹	-۲/۵۹۶/۱۵۲/۸۱۶	۲۲/۱۹۰/۹۳۳/۸۱۳	۱۱

۴. بحث و نتیجه‌گیری

شمار می‌رود و با افزایش تعداد لکه‌ها میزان تخریب سرزمین افزایش می‌یابد. افزایش تعداد لکه‌ها نشانه تجزیه و کاهش پیوستگی است (McGarigal & Marks, 1995). تعداد لکه‌ها از مرکز تا زون ۶ روند افزایشی و از ۶ به بعد روند کاهشی را نشان می‌دهند. این روند بیانگر رشد مناطق انسان ساخت از مرکز به حاشیه بوده است. بیشترین تراکم مناطق مسکونی در این ۶ زون رخ داده است. افزایش تراکم سبب ریزدانه شدن بافت مسکونی در این ۶ زون شده است.

سنجه میانگین اندازه لکه در کاربری انسان ساخت بیانگر کاهش آن به‌ویژه در دوره ۲۰۱۶ بوده است. اگر میانگین اندازه لکه به‌صورت پیوسته با دیگر سنجه‌ها مانند تعداد لکه‌ها تجزیه و تحلیل شود، می‌توان از آن برای اندازه‌گیری تکه‌تکه شدن سرزمین استفاده کرد. افزایش تعداد لکه و کاهش میانگین اندازه لکه بیانگر ریزدانه شدن بافت مناطق مسکونی و تکه‌تکه شدن سیمای سرزمین منطقه است. بعدفراکتال در تجزیه و تحلیل تغییرات بوم‌سازگان به‌منظور کمی کردن پیچیدگی اشکال لکه در سیمای سرزمین استفاده شده است (O'Neill et al., 1988; Lam, 1990). همچنین معیاری از درجه آشفتگی‌های انسانی روی سیمای سرزمین بکار برده شده است. سنجه میانگین اندازه وزنی بعدفراکتال روند کاهشی و تقریباً روند

تغییرات کاربری اراضی طی بازه زمانی ۳۰ ساله بیانگر جایگزین شدن عرصه‌های طبیعی (اراضی بایر) و نیمه‌طبیعی (کشاورزی) به مناطق انسان‌ساخت است به‌طوری‌که افزایش مناطق مسکونی، توسعه و گسترش شبکه راه‌ها و فضای سبز شهری را در پی داشته است. نرخ بالای جمعیت و رشد اقتصادی که افزایش تقاضا را به همراه داشته، سبب گسترش و توسعه مناطق شهری و مسکونی شده است. افزایش نرخ جمعیت و رشد شهرنشینی از عوامل اصلی ایجاد تغییر در ساختار و کارکرد سیمای سرزمین و تأثیر در آب‌وهوای منطقه است (Orville et al., 2000). افزایش لکه‌های مصنوعی یا انسان‌ساخت بیانگر تخریب سرزمین است درحالی‌که افزایش تعداد و تنوع لکه‌های طبیعی سبب افزایش روابط بوم‌سازگانی و پایداری سرزمین می‌شود (Botequilha & Ahern, 2002). همچنین افزایش تعداد لکه‌های انسان‌ساخت به کاهش پیوستگی و سرایت بین پوشش‌های طبیعی می‌انجامد. تحلیل سنجه‌ها بیانگر تغییرات وسیع در سیمای سرزمین منطقه بوده است. تعداد لکه برای کلاس انسان‌ساخت طی زمان روند افزایشی بوده است به‌ویژه در زون ۴ تعداد لکه افزایش چشمگیری را نشان می‌دهد. افزایش تعداد لکه‌ها شاخص مهمی در تجزیه سرزمین به

گشته‌اند این تغییرات سبب از بین رفتن اراضی بایر شده است. سنجه میانگین لکه این گزاره را به خوبی تأیید می‌کند چراکه با کاهش تعداد لکه‌های کوچک، میانگین لکه افزایش یافته است و در ادامه در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۶ روند کاهشی را نشان داده است که با افزایش تعداد لکه‌ها همراه بوده است. سنجه میانگین وزنی مساحت بعدفراکتال از مرکز به سمت حاشیه روند کاهشی را نشان می‌دهد اما در زون ۸ به بعد روند افزایشی را در پیش گرفته است. وقتی آشفتگی‌های انسانی افزایش می‌یابد میانگین بعدفراکتال لکه‌ها کاهش می‌یابد (Turner & Ruscher, 1988).

نتایج کلی تحلیل سنجه‌ها در شهر تهران نشان دهنده تکه‌تکه شدن سیمای سرزمین، ریزدانه شدن بافت و ساده‌تر شدن لکه‌ها طی بازه زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۶ است. البته این روند در شعاع ۶ تا ۲۱ کیلومتر مرکز برجسته‌تر بوده است. استفاده از سنجه‌ها برای بررسی سیمای سرزمین در مطالعات مشابه، بیانگر افزایش تنوع و پدیده تکه‌تکه شدن در مدت ۳۸ سال در منطقه مورد مطالعاتی بوده است. (Carranza et al., 2007). بررسی الگوهای رشد شهری با استفاده از سنجه‌ها سیمای سرزمین واقع در هانوی ویتنام نشان داد طی ۱۷ سال تغییرات حاصل از توسعه شهری به تکه‌تکه شدن سیمای سرزمین انجامید هرچند در فاصله ۱۰ تا ۳۵ کیلومتری مرکز شهر این پدیده چشمگیرتر بوده است (Nong et al., 2018).

ترسیب کربن تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی شامل تغییر کاربری اراضی (لال، ۲۰۰۳ و کراسول و لفسروی، ۲۰۰۱) اقلیم (ژوبگی و ژاکسون، ۲۰۰۰) و ساختمان خاک (برونیک و لال، ۲۰۰۵) است. نمودار روند تغییرات میزان ترسیب کربن در دوره ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۶ بیشترین مقدار آن در زون ۴ و زون ۱۱ هست که این زون‌ها کاربری غالب اراضی بایر هست. در زون‌های ۱، ۲ و ۹ مقدار آن منفی هست. قرار گرفتن بیشترین میزان درصد کاربری انسان‌ساخت در زون ۱ و ۲ واقع شدن مناطق صنعتی و

مشابهی را در ۴ دوره طی کرده است که بیانگر ساده شدن لکه‌هاست. بیشترین میزان آشفتگی مربوط به زون ۵ تا ۱۱ است که این زون‌ها بیشترین تغییرات و تبدیلات و گسترش شبکه راه‌ها را طی زمان داشته‌اند و این مناطق که بیشتر اراضی بایر بوده جای خود را به مناطق انسان‌ساخت و شبکه راه‌ها داده‌اند. میان دسترسی انسان به سرزمین و نرخ تغییر و تخریب آن رابطه مستقیم وجود دارد و با افزایش جاده‌ها روند تغییرات با سرعت بیشتری پیش خواهد رفت (Arumalani et al., 2004). میانگین اندازه لکه و میانگین وزنی مساحت بعدفراکتال طی زمان در شبکه راه‌ها افزایش یافته است. در مقابل تعداد لکه‌ها و میانگین وزنی مساحت بعدفراکتال در اراضی کشاورزی طی زمان کاهش یافته است. صنایع در زون‌های ۶ تا ۱۰ متمرکز شده‌اند که طی زمان در سال ۲۰۰۸ افزایش و در سال ۲۰۱۶ کاهش در زون ۸ تا ۱۰ رخ داده است. میانگین وزنی مساحت بعدفراکتال بیانگر کاهش میزان آن طی زمان در این کاربری بوده است.

اراضی وسیع و یکپارچه‌ای واقع در شمال و شمال غربی منطقه اراضی بایر بوده‌اند که طی ۳۰ سال ۲۵ درصد از مساحت خود را ازدست داده‌اند. باقیمانده این کاربری در شمال غربی منطقه به صورت تکه‌تکه قرار گرفته‌اند. در واقع این کاربری از مرکز شروع به محو شدن کرده است. در این کاربری تعداد لکه در سال ۱۹۹۶ کاهش داشته است این روند به دلیل جایگزین شدن لکه‌های کوچک به سایر کاربری‌ها بوده است ولی در ۲۰۰۸ افزایش چشمگیری را نشان می‌دهد. به‌ویژه در زون ۳ تا ۶ این روند، به دلیل تکه‌تکه شدن عرصه‌های یکپارچه به سایر کاربری‌ها به‌ویژه شبکه راه‌ها منجر شده است. این روند با کاهش چشمگیر در سال ۲۰۱۶ به حداقل میزان خود رسیده است. در واقع ابتدا لکه‌های کوچک دستخوش تغییر شده‌اند و در ادامه دست‌درازی به لکه‌های بزرگ که عرصه‌های یکپارچه را شکل داده بودند سبب تکه‌تکه شدن و افزایش تعداد آن‌ها شده است و لکه‌های کوچک هم به سایر کاربری‌ها تبدیل

همراه با پیوستگی طی زمان رخ داده در سایر زون‌ها افزایش با پیوستگی همراه نبوده است. مطالعات سلیمان‌نژاد این گزاره را تأیید می‌کند. نتایج آن‌ها بیانگر عدم مطلوبیت فضای سبز شهر تهران از نظر نحوه ترکیب و توزیع فضایی و شبکه لکه‌های فضای سبز از وسعت و پیوستگی لازم برای ارائه خدمات بوم‌شناختی برخوردار نبوده است (سلیمان‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۳).

نتایج کلی بیانگر کوچک شدن، تکه‌تکه شدن سیمای سرزمین و ساده شدن لکه‌ها همراه با جایگزین شدن اراضی بایر و کشاورزی به کاربری‌های انسان‌ساخت، مناطق صنعتی و شبکه راه‌ها کاهش میزان ترسیب کربن را در منطقه مورد مطالعه به همراه داشته است هرچند افزایش فضای سبز سبب افزایش ترسیب کربن در منطقه بوده است؛ اما به دلیل توزیع نامناسب و نیاز بیشتر به سرانه فضای سبز برآیند کلی میزان ترسیب کربن نامناسب است. نتایج مطالعات مشابه در سئول کره طی بازه زمانی ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۵ بیانگر کاهش ۴۲ درصدی ترسیب کربن در این منطقه به علت تکه‌تکه شدن، کوچک‌تر شدن و ساده‌تر شدن اشکال لکه‌ها در سیمای سرزمین شهر است. همچنین از بین رفتن اراضی کشاورزی و جنگل‌های شهری کاهش میزان ترسیب کربن را در برداشته است (Yiwen et al., 2018). همچنین نتایج مطالعاتی دیگر نشان می‌دهد تغییر کاربری اراضی طبیعی به انسان‌ساخت سبب کاهش ترسیب کربن و خدمات اکوسیستم می‌شود (اسدالهی و همکاران، ۱۳۹۵).

۵. پیشنهادها

با توجه به اینکه تغییرات روند پویا است و نقشه تنها بیانگر شرایط حاکم در آن زمان است بنابراین برای مطالعه‌ای جامع‌تر نیاز به کم‌تر بودن فاصله زمانی است. با توجه به شرایط تهران، در نظر گرفتن بازه زمانی سه‌ساله روند تغییرات بهتری را می‌تواند نشان دهد. با توجه به اهمیت قدرت تفکیک مکانی به‌کار رفته در مطالعات

کارگاهی در زون ۹ دلیل میزان منفی ترسیب کربن هست. تراکم جمعیت و عدم تعادل در توسعه اقتصادی به‌صورت مستقیم به ناهمگونی مکانی و منطقه‌ای و ظرفیت ترسیب کربن می‌انجامد (Sun et al, 2010). مناطقی که به‌شدت شهری شده‌اند مشکلات جدی در تخریب منابع ترسیب کربن دارند این مناطق به بی‌ثباتی در منابع ترسیب کربن و از دست رفتن ذخیره کربن می‌انجامند (Li et al, 2004). تغییر در پوشش یا کاربری اراضی سبب تغییر در وضعیت خدمات بوم‌سازگان می‌شود و همبستگی منفی قوی بین سطوح یکپارچه شهرنشینی و ارزش کل خدمات بوم‌سازگان وجود دارد (Li et al, 2015). در دوره ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۸ مناطق با کاهش میزان ترسیب مواجه بوده است تنها در زون ۶ روند افزایشی را نشان می‌دهد که علت آن افزایش مساحت فضای سبز در این زون است. همچنین کاهش چشمگیری در زون ۳ به دلیل کاهش اراضی کشاورزی و افزایش میزان کاربری انسان‌ساخت بوده است. میزان ترسیب کربن در سه زون ۵، ۶ و ۷ در هر سه دوره روندی افزایشی را پیموده است. در این سه زون بیشترین درصد فضای سبز واقع شده است که طی زمان مساحت آن افزایش هم داشته است. پارک جنگلی لویزان و پارک جنگلی چیتگر در زون‌های ۴، ۵، ۶ و ۷ واقع شده‌اند. افزایش میانگین اندازه لکه طی زمان هم بیانگر پیوسته و یکپارچه شدن لکه‌های فضای سبز در این سه زون است. افزایش مساحت و پیوستگی سبب افزایش میزان ترسیب کربن خدمات بوم‌سازگان شده است. بیشتر بودن خدمات بوم‌سازگان در حومه شهر در سدن به دلیل وجود جنگل و فضای سبز از مقادیر بالاتری نسبت به سایر مناطق اطراف برخوردار است (Lowicki & Walz, 2015). نتایج مطالعه دیگری نشان داد شبکه بوم‌شناسی طراحی‌شده (۲۰۲۰) سبب کاهش پدیده تکه‌تکه شدن سیمای سرزمین و افزایش پیچیدگی شکل فضای سبز و پیوستگی سیمای سرزمین می‌شود و بهبود کیفیت محیط‌زیست شهر را در بر خواهد داشت (Li & He, 2015). هر چند در این سه زون افزایش

را به واقعیت نزدیک کند ضروری است. این مطالعه نشان داد برای افزایش کیفیت محیط‌زیست به‌کارگیری خدمات بوم‌سازگان لزوم توجه به الگوهای سیمای سرزمین منطقه برای مدیریت و برنامه‌ریزی شهری امری مهم و حیاتی است. بیشترین بهره‌وری از خدمات بوم‌سازگان شهری توجه بیشتر به فضای سبز با یکپارچه‌سازی و جلوگیری از تکه‌تکه شدن و گسترش و توسعه آن‌هاست که با افزایش خدمات بوم‌سازگان در شهر کیفیت محیط‌زیست را بهبود می‌بخشد.

یادداشت‌ها

1. Metrics
2. Fragstats
3. Percentage of landscape
4. Mean patch size
5. Area weighted mean patch fractal dimension
6. Aboveground Biomass
7. Belowground Biomass
8. Organic Matter

آشکارسازی تغییرات با استفاده از سنج‌ها در نظر گرفتن قدرت مکانی ۵ متر یا کمتر علاوه بر اینکه جزئیات بیشتری نمایان می‌شود امکان استفاده بیشتر از تعداد طبقات و مقایسه سنج‌ها را هم دقیق‌تر و کاراتر می‌کند. تعداد طبقات کاربری با توجه به بررسی خدمات بوم‌سازگان حداقل باید با واقعیت‌های مکانی نزدیک‌تر شوند و حتی پیکره‌های کوچک آبی هم نباید نادیده گرفته شود بنابراین تعداد طبقات علاوه بر مطابقت با زمین باید سطح مدیریتی یا کیفیت هم در طبقه‌بندی‌ها لحاظ شود. با توجه به عوامل اثرگذار در تغییرات در نظر گرفتن سیاست‌ها و خط و مشی‌های دولتی و برنامه‌ریزی‌ها و عوامل پیشران اصلی مانند جمعیت در کنار بررسی تغییرات امر ضروری برای تشخیص میزان سهم هرکدام در تغییرات است. برآورد میزان ترسیب کربن با توجه به این امری تخمینی است ضرورت ایجاد پایگاه داده و برداشت نمونه‌ای که تخمین

منابع

- اسدالهی، ز. و سلمان ماهینی، ع. ۱۳۹۵. بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر عرضه خدمات اکوسیستم (ذخیره ترسیب کربن)، پژوهش‌های محیط‌زیست، ۸(۱۵): ۲۰۳-۲۱۴. scape
- صادقی بنیس، م. ۱۳۹۴. استفاده از متریک‌های منظر در بهسازی شبکه اکولوژیک شهری (مطالعه موردی: شهر تبریز)، فصلنامه علمی پژوهشی مرکز پژوهشی هنر معماری و شهرسازی نظر، ۱۲(۳۲): ۵۳-۶۲.
- میرسنجری، م. و محمدیاری، ف. ۱۳۹۶. پایش تغییرات سیمای سرزمین با استفاده از تحلیل گرادیان (مطالعه موردی: شهرستان بهبهان)، جغرافیا و پایداری محیط، ۷(۲۲): ۸۳-۹۶.
- بی‌نام، ۱۳۹۸، درباره تهران - معرفی شهر تهران. www.tehran.ir.
- بی‌نام، ۱۳۹۵، مرکز آمار کشور، www.amar.org.ir.
- سلیمان‌نژاد، ل.، فقهی، ج.، مخدوم، م.، و نمیرانیان، م. ۱۳۹۳. بررسی الگوی مکانی پارک‌های تهران توسط سنج‌های سیمای سرزمین، پژوهش‌های محیط‌زیست، ۵(۹): ۲۵-۳۴.
- Alberti, M., Marzluff, J., Shulenberg, E., Bradley, G., Ryan, C. and Zumbrunnen, C. 2008. Urban Ecology: Springer US.
- Botequilha, Leitão, A. and Ahern, J. 2002. Applying landscape ecological concepts and metrics in sustainable landscape planning. Landscape and urban planning, 59: 65-93.
- Carranza M.L., Acosta, a.A. and Ricotta, b, C. 2007. Analyzing landscape diversity in time: The use of Re'nyi's generalized entropy function, Ecological Indicators, 7 :505-510
- Daily, G.C. and Matson, P.A. 2008. Ecosystem services: From theory to implementation. Proceedings of the National Academy of Sciences, 105: 9455-6

- Dauber, J., Hirsch, M., Simmering, D., Waldhardt, R., Otte, A. and Wolters, V. 2003. Landscape structure as an indicator of biodiversity: matrix effects on species richness. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 98: 321-9.
- de Groot, R.S., Wilson, M. and Boumans, R.M.J. 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41: 393-408
- Dramstad, W.E., Tveit, M.S., Fjellstad, W.J. and Fry, G.L.A. 2006. Relationships between visual landscape preferences and map-based indicators of landscape structure. *Landscape and Urban Planning*, 78: 465-74.
- Folke, C. 2006. Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global Environmental Change*. 16: 253-67.
- Foody, G.M. 1992. On the compensation for chance agreement in image classification accuracy assessment. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 58: 1459-1460
- Lam, N.S.N. 1990. Description and measurement of Landsat TM images using Fractals. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 56: 187-195.
- Li, H., Chen, W. and He, W. 2015. Planning of green space ecological network in urban areas: An Example of Nanchang, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12:12889-904.
- Li, H., Li, Z., Li, Z.; Yu, J. and Liu. B. 2015. Evaluation of ecosystem services: A case study in the middle reach of the Heihe River basin, Northwest China. *Phys. Chem. Earth Parts A/B/C*, 89-90, 40-45
- Li, H.M., Lu, F., Tang, S.M., Tang, L.J. and Wu, Q.H. 2004. Dynamic carbon sink of forests in Yuhang city with the development of urbanization. *J. Fudan Univ.*, 43: 1044-1050.
- Lowicki, D. and Walz, U. 2015. Gradient of land cover and ecosystem service supply capacities- A Comparison of Suburban and Rural Fringes of Towns Dresden (Germany) and Poznan (Poland). *Procedia Earth and Planetary Science*, 15: 495-501
- Luck, M. and Wu, J. 2002. A gradient analysis of urban landscape pattern: a case study from the Phoenix metropolitan region of USA. *Landsc. Ecol*, 17: 327-339.
- McDonnell, M.J. and Pickett, S.T.A. 1990. Ecosystem structure and function along urban-rural gradients: an unexploited opportunity for ecology, *Ecology*, 71 (4): 1232-1237.
- McGarigal, K. and Marks, B. 1995. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Department of agriculture and Forest services. Practice northwest Research Station. Gen, Tech, Rep, PNW- GTR- 351, Portland or U. S, 122 p.
- Nong, DH., Lepczyk, CA., Miura, T. and Fox, J.M. 2018. Quantifying urban growth patterns in Hanoi using landscape expansion modes and time series spatial metrics. *PLoS ONE* 13(5): e0196940.
- O'Neill, R. V., Krummel, J. R., Gardner, R. H., Sugihara, G., Jackson, B., DeAngelis, D. L. and et al. 1988. Indices of landscape pattern. *Landscape Ecology*, 1: 153-162.
- Orville, R.E., uffines, G., Nielsen-Gammon, J., Zhang, R., Ely, R., Steiger, S. and et al. 2000. Enhancement of Cloud-to-Ground lightning over Houston, Texas, *Geophys. Res. Lett.* 28, 2597-25600
- Pickett, S.T.A., Cadenasso, M.L., Grove, J. M., Nilon, C. H., Pouyat, R. V., Zipperer, W. C. and Costanza, R. 2001. Urban ecological systems: linking terrestrial ecological, physical, and socioeconomic components of metropolitan areas. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 32.
- Raudsepp-Hearne, C., Peterson, G.D., Tengö, M., Bennett, E.M., Holland, T., Benessaiah, K. ant et al. 2010. Untangling the Environmentalist's Paradox: Why is Human Well-Being Increasing as Ecosystem Services Degrade? *BioScience*, 60: 576-89.
- Rockstrom, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, A., Chapin, FS, Lambin, EF. and et al. 2009. A safe operating space for humanity. *Nature*, 4: 615-472
- Seto K.C., and Reenberg, A., 2014. Rethinking global land use in an urban era. Cambridge: The MIT Press.

- Skokanová, H. and Eremiášová, R., 2013. Landscape functionality in protected and unprotected areas: Case studies from the Czech Republic. *Ecological Informatics*, 14: 71-4.
- Sun, R., Yuan, X.Z., Liao, Z.J. and Cao, H. 2010. Dynamic and spatial pattern of forest carbon storage in chengyu economic region. *Res. Environ. Sci.* 23: 1456-1463.
- Turner, M.G. and Ruscher, C.L. 1988. Changes in landscape patterns in Georgia, USA. *Landscape Ecology*, 1: 241-251.
- Whittaker, R. H. 1975. *Communities and Ecosystems*, MacMillan, New York.
- Yiwen Han, Wanmo Kang, Youngkeun Song, Mapping and Quantifying Variations in Ecosystem Services of Urban Green Spaces: A Test Case of Carbon Sequestration at the District Scale for Seoul, Korea (1975-2015), *International Review for Spatial Planning and Sustainable Development*, 2018, Volume 6, Issue 3, Pages 110-120, Released July 15, 2018, Online ISSN 2187-3666, <https://doi.org/10.14246/>
- Zhang, L., Shu, J., Wu, J. and Zhen, Y. 2004. A GIS-based gradient analysis of urban landscape pattern of Shanghai metropolitan area, China, *Landscape Urban Planning*, 69(1): 1-16.