



<https://sppl.ui.ac.ir/?lang=en>

Spatial Planning

E-ISSN: 2476-3357

Document Type: Research Paper

Vol. 15, Issue 1, No.56, Spring 2025, pp. 87- 108

Received: 16/05/2024

Accepted: 18/01/2025

Assessing Spatio-Temporal Changes in the Ecological Livability Index (Case Study: Tabriz Metropolis)

Sajjad Moshiri

Ph.D. candidate in Remote Sensing and Geographical Information System, Faculty of Planning and Environmental Sciences,
University of Tabriz, Tabriz, Iran
sajjadmoshiri@gmail.com

Ahmad Nikdel Monavvar

Ph.D. candidate in Remote Sensing and Geographical Information System, Faculty of Planning and Environmental Sciences,
University of Tabriz, Tabriz, Iran
ahmadnikdel21@gmail.com

Mohammad Reza Jebraily

Ph.D. candidate in Remote Sensing and Geographical Information System, Faculty of Planning and Environmental Sciences,
University of Tabriz, Tabriz, Iran
mreza.jebraily@yahoo.com

Iraj Teymuri  *

Associate professor, Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Planning and Environmental Sciences,
University of Tabriz, Tabriz, Iran
iraj-teymuri@tabrizu.ac.ir

Khalil Valizadeh Kamran

Ph.D. in Remote Sensing and Geographical Information System, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University
of Tabriz, Tabriz, Iran
valizadeh@tabrizu.ac.ir

Bakhtiar Feizizadeh

Associate professor in Remote Sensing and Geographical Information System, Faculty of Planning and Environmental
Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran
bakhtiar.feizizadeh@gmail.com

Abstract

A timely and comprehensive assessment of the urban ecological environment and its evolving trends is essential for urban planning, human habitation, and sustainable urban development. This research aimed to evaluate the spatio-temporal changes and conduct a comparative analysis of the ecological livability index for the years 2003 and 2023 in the metropolis of Tabriz. By utilizing Landsat and MODIS images, we prepared 5 key variables: Aerosol Optical Depth (AOD), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Land Surface Temperature

*Corresponding Author

Moshiri, S. , Nikdel Monavvar, A. , Jebraily, M. , Teimouri, I. , Valizadeh Kamran, K. and Feizizadeh, B. (2025). Assessing of spatio-temporal changes of the ecological livability index case study: (Tabriz metropolis). *Spatial Planning*, 15 (1), 87 - 108 .

2476-3357 © The Author(s).

Published by University of Isfahan

This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>).



10.22108/sppl.2025.141477.1787

(LST), Normalized Difference Built-up Index (NDBI), and Normalized Water Difference Index (NWDI) to calculate the ecological livability index. Data analysis was conducted using ArcGIS Pro, Excel, and Google Earth Engine (GEE). The results derived from the CRITIC method for variable weighting indicated an upward trend in ecological livability. Specifically, the average ecological livability index in 2023 was 1.60 compared to 1.58 in 2003, reflecting an overall improvement in livability quality.

Keywords: Ecological Livability, Spatio-Temporal Changes, Google Earth Engine (GEE), Remote Sensing & GIS, Tabriz Metropolis.

Introduction

The rapid pace of urbanization has resulted in over 50% of the global population now residing in urban areas. This surge has brought about numerous challenges, including declining health standards, increased social pressure, and environmental degradation. In recent years, various theories and approaches have emerged to address these urban challenges, particularly in metropolises. Concepts, such as sustainable development, sustainable urban development, eco-city initiatives, the green city framework, livability metrics, and urban sustainability and resilience, have been proposed to tackle these issues. These strategies necessitate a concerted effort to enhance urban conditions and safeguard city environments.

The notion of urban ecological livability focuses on the quality of the environment surrounding local residents, encompassing location characteristics, environmental comfort, and community ecology. It is evident that residents aspire to thrive in a beautiful and healthy natural environment. Therefore, a key aspect of urban ecological livability is the creation of a livable urban ecological environment. Consequently, a timely and comprehensive assessment of the urban ecological environment and its changing trends is essential for effective urban planning, human habitation, and sustainable urban development.

Tabriz, the capital of East Azarbaijan Province, is situated at 38° 88' north latitude and 46° 15' east longitude. Nestled between the Sahand Mountain Range to the south and the Aun Ibn Ali Mountain to the northwest, Tabriz ranks as one of the ten largest metropolises in Iran and is the largest city in the northwest with a population estimated at 1,558,693 in 2015. The aim of this research was to evaluate the quality of ecological livability in Tabriz for the years 2003 and 2023, utilizing remote sensing data to analyze spatial-temporal changes.

Materials & Methods

This research was categorized as applied research and employed descriptive-analytical methods. Variables were identified through a comprehensive literature review and data were collected using Landsat and MODIS satellite imagery, along with OpenStreetMap (OSM). Data processing was conducted using ArcGIS Pro, Excel, and Google Earth Engine (GEE). Initially, the Land Surface Temperature (LST), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Normalized Difference Built-up Index (NDBI), and Aerosol Optical Depth (AOD) were generated within the GEE environment. The variable of Normalized Water Difference (NWD) was prepared using OSM. Following this, the CRITIC method was applied in Excel to calculate the weights of the variables and the final computation of the ecological livability index was carried out in ArcGIS Pro.

Research Findings

The results of the index calculation based on the weights of the variables revealed a consistent upward trend in ecological livability. Specifically, the quality of ecological livability in 2023 with an average value of 1.60 was higher than the average value of 1.58 recorded in 2003, indicating an overall improvement. In 2003, Regions 4, 6, and 1 exhibited the highest ecological livability scores, while Regions 3, 5, and 10 had the lowest. In contrast, by 2023, Regions 2, 1, and 4 emerged as the top performers in ecological livability, whereas Regions 10, 3, and 8 ranked at the bottom with the lowest scores.

Discussion of Results & Conclusion

This study evaluated the ecological livability index of Tabriz metropolis to analyze spatial-temporal changes from 2003 to 2023. The Ecological Livability Index (ELI_i) was calculated using key variables derived from the research literature: Land Surface Temperature (LST), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI),

Normalized Difference Built-up Index (NDBI), Aerosol Optical Depth (AOD), and Normalized Water Difference (NWD), all assessed through a critical weighting model. The weights assigned to these variables were as follows: $LST_i = 0.324$, $NDBI_i = 0.241$, $AOD_i = 0.215$, $NWD_i = 0.192$, and $NDVI_i = 0.028$. Notably, the highest weight was attributed to land surface temperature, while the lowest was given to vegetation density.

The results indicated that the quality of ecological livability across the regions maintained a consistent trend from 2003 to 2023. In 2003, areas in the northern and southern outskirts of the metropolis displayed low desirability values, whereas the central areas exhibited the highest livability scores. However, by 2023, the southern regions of Tabriz experienced the greatest concentration of unfavorable conditions. It is important to note that the final values of the ecological livability index could not be fully understood without considering the direct effects of the variables and their respective weights. For instance, the variable of $LST_i = 0.324$, which had the highest weight, showed a declining trend and was most concentrated in the central and southern parts of Tabriz. This decline corresponded with diminished vegetation growth in these areas and an increase in AOD, leading to unfavorable ecological livability conditions. These findings align with previous studies conducted by Liu et al. (2023), Bian et al. (2020), Hu and Xu (2018), and Yu et al. (2022).

In conclusion, this study underscores the necessity of considering multiple factors and their weights when evaluating ecological livability. It offers valuable insights to the existing body of research on urban ecological assessment and planning, providing essential guidance for policymakers and urban planners aiming to enhance the livability of Tabriz metropolis and similar urban areas.





ارزیابی تغییرات زمانی-مکانی شاخص زیست‌پذیری اکولوژیکی (منطقه مطالعه‌شده: کلانشهر تبریز)

سجاد مشیری، دانشجوی دکتری تخصصی، سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

sajjadmshiri@gmail.com

احمد نیکدل منور، دانشجوی دکتری تخصصی، سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

ahmadnikdel21@gmail.com

محمدرضا جبرئیلی، دانشجوی دکتری تخصصی، سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

mreza.jebraily@yahoo.com

ایرج تیموری* ، دانشیار، جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

iraj-teymuri@tabrizu.ac.ir

خلیل ولی‌زاده کامران، استاد تمام، سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

valizadeh@tabrizu.ac.ir

بختیار فیضی‌زاده، دانشیار، سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

bakhtiar.feizizadeh@gmail.com

چکیده

ارزیابی به‌موقع و جامع محیط‌های شهری و روندهای تغییر آن اساس برنامه‌ریزی شهری و کلید توسعه پایدار شهری است. بر این اساس، هدف از پژوهش حاضر ارزیابی تغییرات زمانی-مکانی و مقایسه تطبیقی وضعیت شاخص زیست‌پذیری اکولوژیکی برای بازه زمانی ۲۰۰۳ و ۲۰۲۳ در کلانشهر تبریز است. در این پژوهش از مجموعه تصاویر لندست و مادیس برای تهیه متغیرهای پنج‌گانه AOD، LST، NDVI، NDBSI و NWD و شاخص زیست‌پذیری اکولوژیکی و از روش کریتیک برای محاسبه اوزان استفاده شد. همچنین، تجزیه و تحلیل داده‌ها در نرم‌افزارهای ArcGIS Pro، Excel و Google Earth Engine (GEE) انجام گرفت. نتایج حاصل از بررسی شاخص زیست‌پذیری اکولوژیکی بیانگر روند تغییرات به‌صورت افزایشی است؛ به‌طوری که کیفیت زیست‌پذیری اکولوژیکی در سال ۲۰۲۳ با مقدار میانگین ۱/۶۰ نسبت به میانگین سال ۲۰۰۳ با مقدار ۱/۵۸ ارزش بیشتری را داشته است و این خود سطح کیفیت زیست‌پذیری روبه بهبود را نشان می‌دهد. واژه‌های کلیدی: زیست‌پذیری اکولوژیکی، تغییرات زمانی-مکانی، GEE، سنجش از دور و GIS، کلانشهر تبریز

*نویسنده مسؤول

مشیری، سجاد، نیکدل منور، احمد، جبرئیلی، محمدرضا، تیموری، ایرج، ولیزاده کامران، خلیل و فیضی‌زاده، بختیار. (۱۴۰۳). ارزیابی تغییرات زمانی-مکانی شاخص زیست‌پذیری اکولوژیکی (منطقه مورد مطالعه: کلانشهر تبریز). *برنامه‌ریزی فضایی*، ۱۵ (۱)، ۸۷-۱۰۸.



مقدمه

سرعت فزاینده شهرنشینی سبب شده است که بیش از ۵۰ درصد از جمعیت در حال حاضر جهان در مناطق شهری زندگی کنند (Seto et al., 2012; Wu, 2014). پیامد چنین شهری شدن فزاینده‌ای ایجاد مشکلاتی مانند کاهش سلامت (Liu et al., 2017b)، فشار اجتماعی (Graafland & Smid, 2017) و تخریب زیست‌محیطی (Adams & Klobodu, 2017) بوده است. بیشتر این پیامدها در کلانشهرها نمود فضایی و عینی به خود گرفته است؛ به‌طوری که بیشتر کلانشهرها در سراسر جهان با چالش‌های بسیاری در زمینه‌های زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی مواجه هستند. انتظار می‌رود با روند روبه رشد جمعیت جهان و متعاقب آن شهرنشینی فزاینده بر شدت مشکلات پیشگفته افزوده و به دنبال آن منجر به پیامدهایی مانند کاهش کیفیت زندگی و زیست‌پذیری در کلانشهرها، تشدید آلودگی هوا، آلودگی آب، ترافیک سنگین، مسائل روانی و اجتماعی و کاهش فضای سبز و زیستگاه‌های طبیعی شود.

روند شهرنشینی در ایران نیز از روند جهانی تبعیت کرده است و سیر صعودی دارد؛ به‌طوری که در سال ۱۳۹۰ جمعیت شهری ایران از مرز دو سوم کل جمعیت کشور فراتر رفته است. انتظار این است که روند شهرنشینی در ایران همچنان صعودی باشد؛ به‌طوری که در سال ۱۴۳۰ به حدود ۸۵ درصد برسد (فتحی، ۱۳۹۴).

طی سال‌های اخیر در پاسخ به چالش‌های موجود در شهرها و به خصوص کلانشهرها نظریه‌ها و رویکردهای مختلفی مانند توسعه پایدار، توسعه پایدار شهری، رویکرد بوم شهر، شهر سبز، رویکرد زیست‌پذیری، پایداری شهری و تاب‌آوری برای حل این مسائل ارائه شده است که ضرورت تلاشی همه‌جانبه را برای نجات شهر و بهبود شرایط آن بیش از پیش خاطر نشان می‌کند (حیدری، ۱۳۹۷، ص. ۸۶). در این میان، زیست‌پذیری یکی از دغدغه‌های اصلی برنامه‌ریزان شهری در برنامه‌ریزی برای جوامع است. ارزیابی به‌موقع و جامع محیط زیست شهری و روندهای تغییر آن اساس برنامه‌ریزی شهری، سکونت انسان و کلید توسعه پایدار شهری است. برای درک بهتر وضعیت و روند تغییر محیط زیست و زیست‌پذیری کلانشهرها سیستم‌های مختلف ارزیابی اکولوژیکی شهری و فناوری‌های مختلف نظارتی جهت ارزیابی کیفیت و عملکرد سیستم اکولوژیکی به‌منظور تدوین اقدام‌های پیشگیرانه حفاظتی و اکولوژیکی به کار گرفته شده است (Chang et al., 2017; Cobbinah et al., 2017; Grubert, 2018).

پیشینه پژوهش

پژوهش‌های مختلفی نیز در حوزه بررسی زیست‌پذیری اکولوژیکی در داخل و خارج صورت گرفته است که می‌توان به پژوهش‌های زیر اشاره کرد.

ژیشنگ و هانکیو در پژوهشی با عنوان «یک شاخص جدید سنجش از دور برای ارزیابی ناهمگونی فضایی در کیفیت اکولوژیکی شهری: مطالعه موردی شهر فوژو چین» یک شاخص زیست‌محیطی مبتنی بر سنجش از دور جدید (RSEI) را برای ارزیابی کیفیت اکولوژیکی شهری معرفی کردند. این شاخص مناطق ایجادشده، پوشش گیاهی و آب‌وهوا (دمای سطح زمین و رطوبت سطح زمین) را براساس چارچوب واکنش وضعیت فشار (PSR) و با استفاده از PCA یکپارچه کرد. نتایج نشان داد که فوژو در طول دوره مطالعه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ پیشرفت‌های زیست‌محیطی را نشان می‌دهد و ارزش RSEI آن از ۰/۲۶۷ در سال ۲۰۰۰ به ۰/۵۰۳ در سال ۲۰۱۶ افزایش یافته است (Xisheng & Hanqiu, 2018).

جینگ و همکاران پژوهشی با عنوان «ارزیابی عملکرد اکولوژیکی شهری در چین: مطالعه موردی ۳۰ شهر مرکز استان» انجام دادند. محققان در این مطالعه سطح کیفیت اکولوژیکی شهرهای چین را برای سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۶ ارزیابی کردند. نتایج حاصل از مدل اندازه‌گیری مبتنی بر (Super-SBM) نشان داد که میانگین ارزش عملکرد اکولوژیکی ۳۰ شهر مرکز استان با مقدار ۰/۸۹ پایین بوده است؛ اما در طول سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۱۶ بهبود کلی داشته است. از نظر فضایی، شهرهای واقع در استان‌های شرقی و مرکزی چین در رتبه‌های اول و دوم قرار گرفت؛ در حالی که شهرهای واقع در مناطق شمال شرق و غرب به ترتیب در رتبه‌های سوم و چهارم براساس EWP قرار گرفت (Bian et al., 2020).

جونبو و همکاران پژوهشی با عنوان «یک شاخص ارزیابی سنجش از دور برای زیست‌پذیری اکولوژیکی شهری و کاربرد آن با استفاده از سنجش از دور شاخصی با عنوان ELI جهت ارزیابی مکانی-زمانی زیست‌پذیری اکولوژیکی شهری در ووهان چین با استفاده از تصاویر ماهواره‌های Landsat و MODIS» انجام دادند. براساس نتایج حاصل شده زیست‌پذیری اکولوژیکی در بهار و پاییز و در نزدیکی رودخانه‌ها و دریاچه‌ها بهتر بود؛ در حالی که گسترش شهری منجر به تخریب بیرونی اکولوژیکی ووهان شده است؛ اما جنگل‌کاری شهری باعث بهبود محیط زیست شده است. در نهایت شاخص ELI از برنامه‌ریزی و حفاظت اکولوژیکی شهری به‌خوبی پشتیبانی می‌کند (Junbo et al., 2022).

لیو و همکاران پژوهشی با عنوان «کمّی‌سازی اثرات عوامل طبیعی و انسانی بر تغییرات کیفیت اکولوژیکی شهری (UEQ): یک بررسی چندمقیاسی در شیان چین» انجام دادند. محققان در این مطالعه براساس شاخص اکولوژیکی مبتنی بر سنجش از دور، رگرسیون تصادفی جنگل، آشکارساز جغرافیایی و با در نظر گرفتن منطقه مرکزی شهر شیان چین پویایی مکانی و زمانی UEQ را از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ نشان دادند و در ادامه، اثرهای ۱۹ عوامل طبیعی و انسانی را در تغییرات UEQ در ۳۰ مقیاس مدل‌سازی کردند. نتایج نشان داد که از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ UEQ در منطقه مرکز شهر شیان ابتدا کاهش شدیدی داشته و سپس به تدریج بهبود یافته است؛ این در حالی است که UEQ بازیابی شده بسیار کمتر از UEQ از دست رفته بوده که نشان‌دهنده ضرر بزرگ UEQ است. ارتفاع، دما، بارندگی، شیب و تولید ناخالص داخلی مهم‌تر از سایر عوامل در تأثیرگذاری بر تغییرات UEQ بودند. شرایط طبیعی و تغییرات اقلیمی بیشترین تأثیر را بر UEQ منطقه‌ای داشتند. در مجموع، محققان در این مطالعه نتایج تأثیرهای پیچیده عوامل طبیعی-انسانی را بر تغییرات UEQ از جمله مقیاس تأثیر، قدرت ضربه و تعامل تأثیر نشان دادند (Liu et al., 2023).

جنتی و همکاران (۱۳۹۹) پژوهشی با عنوان «ارزیابی تطبیقی قابلیت زیست‌پذیری پایدار محلات شهری: مورد پژوهشی: محلات کارکنان شرکت نفت و سادات شهر دوگنبدان» انجام دادند. نتایج به‌دست‌آمده حاکی از آن بود که وضعیت حاکم بر محلات شهری دوگنبدان در تمامی مؤلفه‌های زیست‌پذیری نامطلوب است. به خصوص در زمانی که دو محله در زمینه امکانات شهری به نسبت برخوردار و محله بافت فرسوده و قدیمی داشته باشد. نتایج نشان داد که شکاف و ناپایداری در بین محله‌ها در حال تشدید و گسترش در مکان‌های یادشده شرکت نفت و سادات است.

محلوجی و همکاران (۱۴۰۰) پژوهشی با عنوان «ارزیابی عوامل مؤثر بر زیست‌پذیری فضاهای شهری در سکونتگاه‌های غیررسمی منطقه ۱۴ شهر اصفهان» انجام دادند. نتایج پژوهش نشان داد که شاخص‌های اقتصادی در زیست‌پذیری شهری با میانگین کل ۲/۱۳ از متوسط استاندارد پایین‌تر بود و نارضایتی بیشتری را در بین ساکنان داشت. همراستا با پژوهش‌های قبلی هدف اصلی محققان در پژوهش حاضر مطالعه و بررسی وضعیت شاخص زیست‌پذیری اکولوژی در کلانشهر تبریز با توجه به متغیرهای (LST, NDVI, NDBSI, AOD, NWD) است؛ اما مغایر با روش

ارزیابی زیست‌پذیری شهری در مطالعات داخلی در این پژوهش به دلیل عدم انعطاف‌پذیری در سیستم‌های پایش سنتی که هزینه‌های بسیار زیادی در منابع انسانی، مادی و مالی دارد، مشاهده‌های ماهواره‌ای جایگزین پیمایش‌های دستی شد. نوآوری در پژوهش حاضر نیز از این حیث است که برای نخستین بار از شاخص زیست‌پذیری اکولوژیکی توسعه‌داده شده *Junbo et al.* (2022) به منظور ارزیابی کیفیت زیست‌پذیری اکولوژیکی و مقایسه تطبیقی برای سال‌های 2003 و 2023 در سطح کلانشهر تبریز (با استفاده از داده‌های سنجش از دور به صورت سری زمانی-مکانی) استفاده شده است. از دیگر سو، در این پژوهش از مدل کریتیک برای وزن‌دهی متغیرها به جای روش آنتروپی شانون استفاده شد.

مبانی نظری پژوهش

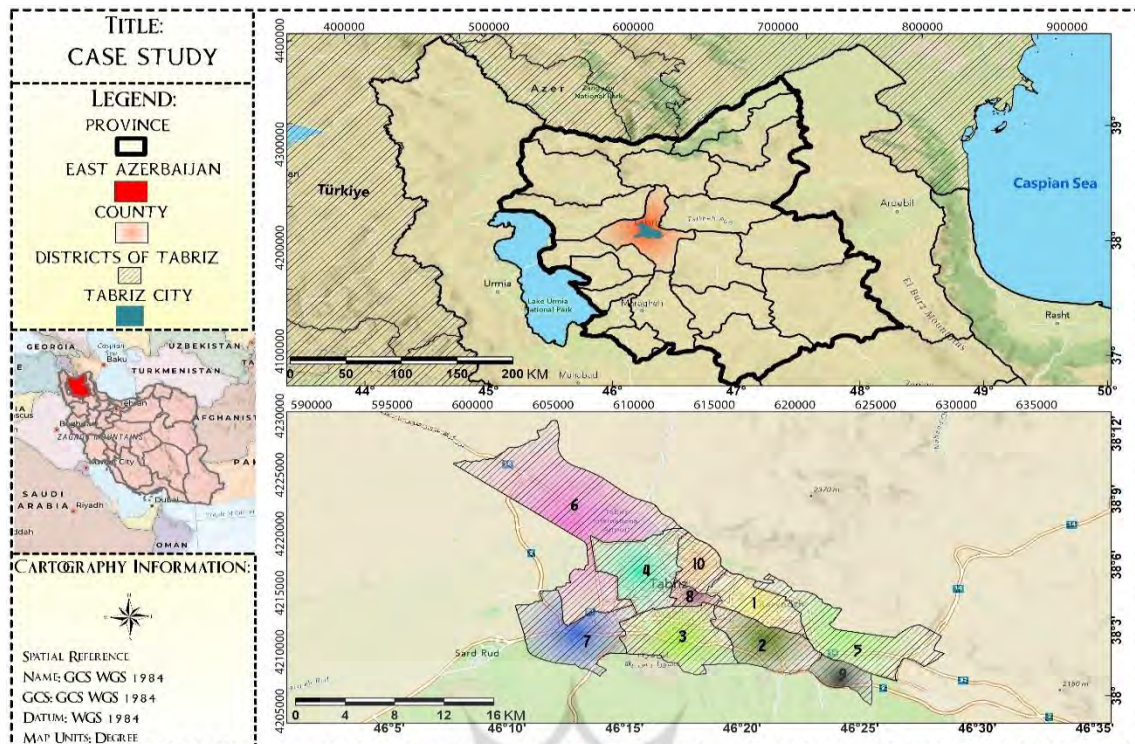
واژه زیست‌پذیری از مفهوم «پایداری» مشتق شده است و تا حد زیادی تعریف‌ها، هدف‌ها و رویکردهای اجرایی مشابهی دارد (Litman, 2010) با این تفاوت که پایداری یک هدف برنامه‌ریزی بلندمدت است که در راستای مسائل اقتصادی، اکولوژیکی و برابری جهانی تنظیم شده است و اصول گسترده‌ای را (تقویت همکاری منطقه‌ای و کنترل انتشار کربن و غیره) برای جامعه بشری تعیین می‌کند. در مقابل، زیست‌پذیری بر ایجاد فضاهای راحت برای برآورده کردن آرمان ساکنان جامعه به منظور زندگی بهتر در زمان حال تمرکز دارد (Ruth & Franklin, 2014).

درواقع، می‌توان گفت زیست‌پذیری شامل مجموعه‌ای از ویژگی‌های اکتسابی محیط است که آن را به جایگاهی مناسب و دلخواه برای زندگی، معیشت و تعاملات بین فردی انسان‌ها تبدیل می‌کند. حال باید دید که ویژگی‌های سودمند اکتسابی چگونه است؟ این ویژگی‌ها به دو دسته ویژگی‌های عینی (دسترسی به زیرساخت‌های شهری، مسکن، امنیت، امکانات شیوه‌های متنوع حمل و نقل، سلامت و امکانات بهداشتی، فرصت‌های اقتصاد و فضاهای گردشگری) و ذهنی-روانی (تعلق مکانی، هویت محلی، همبستگی، صمیمیت، عدالت و سرمایه اجتماعی) طبقه بندی می‌شود. با توجه به موارد ذکر شده زیست‌پذیری زیرمجموعه‌ای از پایداری است که به طور مستقیم بر ابعاد اجتماعی-اقتصادی، فیزیکی و روانی انسان‌ها تأثیر می‌گذارد (سلیمانی مهنرجانی و همکاران، ۱۳۹۵).

مفهوم زیست‌پذیری اکولوژیکی شهری بیشتر بر کیفیت محیطی اطراف ساکنان محلی متمرکز است که با ویژگی‌های مکان‌ها، آسایش محیطی و بوم‌شناسی جوامع مرتبط است (Liu et al., 2017a; Aulia, 2016). بدیهی است که ساکنان محلی ممکن است تمایل به یک زندگی زیبا با یک محیط طبیعی سالم داشته باشند. به طور خلاصه، یکی از تأکیدهای محوری زیست‌پذیری اکولوژیکی شهری محیط زیست، بوم‌شناختی شهری قابل زندگی است (Fu et al., 2019; Valcárcel-Aguir & Murias, 2019).

معرفی محدوده مطالعه

کلانشهر تبریز مرکز استان آذربایجان شرقی در ۳۸ درجه و ۸۸ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی قرار دارد. شهر تبریز از سمت جنوب به رشته‌کوه منفرد سهند و از شمال غربی به کوه عون ابن علی محدود می‌شود. این شهر جزء ۱۰ کلانشهر کشور و بزرگ‌ترین کلانشهر شمال غرب است (شکل ۱). جمعیت آن در سال ۱۳۹۵ بالغ بر ۱۵۵۸۶۹۳ برآورد شده است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵).



شکل ۱: منطقه مطالعه‌شده (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳)

figure 1: Study area

روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر در دسته پژوهش‌های کاربردی بوده و به‌لحاظ روش‌شناختی جزء روش‌های توصیفی-تحلیلی است. در این پژوهش متغیرها با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای شناسایی و برای گردآوری داده‌ها از ماهواره‌های Landsat، Modis و OSM استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با کمک نرم‌افزارهای ArcGIS-pro، Excell و Google Earth انجام گرفت. ابتدا متغیرهای LST، NDVI، NDBSI و AOD در محیط GEE و متغیر NWD در محیط OSM تهیه و با استفاده از ابزار فاصله اقلیدسی در ArcMap محاسبه و سپس برای تهیه اوزان متغیرها از روش CRITIC در محیط Excell استفاده شد. درنهایت، محاسبه نهایی شاخص زیست‌پذیری اکولوژیکی در محیط ArcGIS-pro صورت گرفت.

داده‌های استفاده‌شده

در پژوهش حاضر برای تهیه شاخص‌ها و پروداکت‌های تحقیق از مجموعه تصاویر سنجش از دوری استفاده شد. بر این اساس، طبق **جدول ۱** متغیرهای پنج‌گانه مذکور پژوهش از تصاویر Landsat، Modis و OSM محاسبه و سپس متغیرهای دمای سطح زمین (LST)، شاخص تراکم پوشش گیاهی (NDVI) و شاخص تفاوت نرمال‌شده ساختمان و زمین بایر (NDBSI) استخراج شد. همچنین، در این مطالعه در سال ۲۰۰۳ از تصاویر Landsat-5 و در سال ۲۰۲۳ از تصاویر Landsat-8 استفاده شد. متغیر عمق نوری آتروسل (AOD) برای سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۲۳ از ماهواره Modis به دست آمد. همچنین، برای تهیه متغیر فاصله از پهنه‌های آبی (NWD) از پایگاه داده اوپن سورس OSM استفاده شد (**جدول ۱**).

جدول ۱: مشخصات داده‌ها و منابع تهیه

Table 1: Data collection

ردیف	ماهواره	زمان	شاخص	قدرت تفکیک مکانی (متر)
۱	لندست ۵	2003	LST – NDVI – NDBSI	۱۰۰-۳۰
۲	لندست ۸	2023	LST – NDVI – NDBSI	۱۰۰-۳۰
۳	مادیس	2003-2023	Product AOD	۱۰۰۰
۴	OSM	2003-2023	NWD	-

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳

تعریف عملیاتی و مفهومی متغیرهای پژوهش

 $\text{NDVI}_i \neq (\text{Normalized Difference Vegetation Index})$

پوشش گیاهی سبز در بسیاری از جنبه‌ها با اکولوژی شهری تعامل دارد و شرط لازم برای ارتقای محیط شهری و حفظ تعادل اکولوژیکی است. شاخص پوشش گیاهی NDVI مستقیم‌ترین جلوه سبزی در داده‌های سنجش از دور است که می‌تواند تأثیر پس‌زمینه تاج پوشش گیاه را منعکس کند. این شاخص رایج‌ترین شاخص پوشش گیاهی برای تجزیه و تحلیل وضعیت رشد گیاه و تراکم توزیع فضایی است. در این مطالعه از شاخص NDVI برای نظارت بر رشد پوشش گیاهی و بیشتر به منظور منعکس کردن الگوی رشد پوشش گیاهی استفاده می‌شود. وقتی مقدار NDVI مثبت و هرچه مقدار بزرگ‌تر باشد، پوشش گیاهی بیشتر است. علاوه بر این، NDVI با موفقیت برای بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی و توزیع پویا پوشش گیاهی استفاده شده است (Xu & Zhang, 2013). روش محاسبه NDVI و روش نرمال‌سازی در جدول ۲ تعریف شده است که ρ_{Red} و ρ_{NIR} به ترتیب مقدارهای بازتاب سطحی باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز هستند. مقدار NDVI در پیکسل i است. NDVI_{min} و NDVI_{max} به ترتیب حداقل و حداکثر مقدار NDVI در سال مطالعه هستند و NDVI_i مقدار نرمال‌شده NDVI را در پیکسل i نشان می‌دهد.

 $\text{NDBSI}_i \neq (\text{Normalized Difference Built-up and bare Soil Index})$

رونق در ساخت و سازهای شهری مانند ساختمان‌ها، میدان‌ها، جاده‌ها و پارکینگ‌ها ویژگی بارز شهرنشینی است (Ellis et al., 2006). بنابراین درک سطوح نفوذناپذیر و خاک لخت نیز برای برنامه‌ریزی اکولوژیکی شهری بسیار مهم است. NDBSI شاخص ساختمانی مبتنی بر شاخص (IBI) و شاخص خاک (SI) را ادغام می‌کند تا مزایای مربوط را بهتر ترکیب و یک شاخص خشکی اکولوژیکی شهری کامل‌تری را تولید کند (Xu, 2008). روش محاسبه NDBSI و روش نرمال‌سازی آن در جدول ۲ بیان شده است که ρ_{Red} ، ρ_{Green} ، ρ_{Blue} ، ρ_{NIR} و ρ_{SWIR1} مقدارهای بازتاب سطحی باندهای قرمز، سبز، آبی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز موج کوتاه را به ترتیب از ماهواره‌های MODIS و Landsat نشان می‌دهند. NDBSI_i ، NDBSI در پیکسل i است. $\text{NDBSI}_{\text{min}}$ و $\text{NDBSI}_{\text{max}}$ به ترتیب حداقل و حداکثر NDBSI در بازه زمانی مطالعه شده و NDBSI_i نشان‌دهنده NDBSI نرمال‌شده در پیکسل i است.

 $\text{LST}_i \neq (\text{Land Surface Temperature})$

دمای سطح زمین تفاوت‌های آشکاری را در فصل‌های مختلف نشان می‌دهد. با توجه به محیط زندگی دما برای ساکنان شهری اهمیت ویژه‌ای دارد. هنگامی که دمای یک منطقه خاص مشابه دمای مناسب باشد، مشخص می‌شود که

قابل زندگی‌تر است. محققان در این پژوهش یک دمای آسایش را به‌عنوان دمای مرجع (LST_R) قرار داده‌اند و سپس تفاوت بین LST و LST_R را محاسبه کردند تا بتوانند با قضاوت درجه انحراف بین LST و LST_R تأثیر مثبت یا منفی این شاخص را به دست بیاورند. طبق **جدول ۲** محاسبه نرمال‌سازی دما به این صورت انجام می‌شود که i نمایانگر دمای سطح زمین نرمال‌شده در پیکسل LST_{max} است. همچنین، LST_{min} به‌ترتیب حداکثر و حداقل دمای سطح زمین در سال مطالعه‌شده است که پس از مقایسه با دمای مرجع به دست آمده است. LST_R دمای مرجع است که ممکن است از محلی به محل دیگر متفاوت باشد. در این پژوهش دمای میانگین بازه زمانی مطالعه‌شده به‌عنوان دمای مرجع LST_R انتخاب شده است.

$(Near\text{-}Water\ Distance) NWD_i \neq$

برای برنامه‌ریزی اکولوژیکی شهری حفاظت از تالاب‌ها، دریاچه‌ها و سایر منابع آبی نه تنها می‌تواند نیازهای توسعه عمومی و اجتماعی را تأمین کند، به تنظیم تعادل اکولوژیکی مناطق شهری و در عین حال، بهبود کیفیت زیست محیطی و ارتقای توسعه پایدار شهری کمک می‌کند (Liu et al., 2013). بنابراین بررسی وضعیت دسترسی به منابع آبی در ارزیابی زیست‌پذیری اکولوژیکی شهری نقش مهمی دارد. برای اختصار، کوتاه‌ترین فاصله از هر پیکسل از ناحیه بدنه غیرآبی تا مرز بدنه آبی (NWD) Near-Water Distance نامیده می‌شود. بر این اساس، ابتدا محدوده منابع آبی منطقه مطالعه با پایگاه داده OSM طبق آخرین نسخه موجود استخراج شد. سپس نقشه نهایی با محاسبه فاصله اقلیدسی سایر کاربری‌ها نسبت به پهنه‌های آبی موجود به دست آمد. مناطقی که آب به نسبت نزدیک دارد، (دریاچه‌ها و رودخانه‌ها) ممکن است قابل زندگی‌تر در نظر گرفته شود؛ در نتیجه کیفیت زیست محیطی به نسبت زیادی دارند (Zachariasz & Porada 2019). از این رو، فاصله آب مرجع (NWD_R) انتخاب و تفاوت فاصله ($DNWD$) بین NWD و NWD_R محاسبه می‌شود تا با قضاوت درباره درجه انحراف بین دو فاصله اثرهای مثبت یا منفی این شاخص به دست آید. NWD_i شاخص نرمال‌شده طبق **جدول ۲** محاسبه می‌شود که در آن NWD و NWD_i در پیکسل i است. $DNWD_{max}$ و $DNWD_{min}$ به‌ترتیب حداکثر $DNWD$ و حداقل $DNWD$ است. NWD_i نشان‌دهنده NWD نرمال‌شده در پیکسل NWD_R i و فاصله مرجع است که در این مطالعه ۱۰۰ متر به‌عنوان پایه NWD_R برای کلانشهر تبریز انتخاب شد تا به‌طور منطقی تأثیر NWD بر ELI را نشان دهد.

$(Aerosol\ Optical\ Depth) AOD_i \neq$

جو به‌عنوان بخش مهمی از محیط زیست نقش کلیدی در سلامت محیط دارد. رابطه AOD با کیفیت هوای منطقه‌ای و سلامت عمومی به‌طور گسترده به‌عنوان یکی از عوامل استرس‌زای اصلی تغییرات آب‌وهوایی جهانی مورد بحث قرار گرفته است (Madadi et al., 2021). علاوه بر این، AOD یک پارامتر مرجع آئروسول با سایر آلاینده‌های هوا برای توصیف جامع کدورت اتمسفر در زیست‌پذیری اکولوژیکی شهری و یکی از تأثیرگذارترین پارامترها برای مدل‌سازی PM مبتنی بر ماهواره است (Gupta et al., 2013). از نظر کاربرد، از داده‌ها برای محدوده درون‌شهری، مدل‌سازی و همبستگی با سایر آلاینده‌ها و از AOD به‌عنوان یک پارامتر مرجع استفاده می‌شود. به‌طور کلی، در آلودگی زیست‌محیطی شهری هرچه مقدار AOD بیشتر باشد، تجمع ارتفاعی ذرات معلق در هوا بیشتر می‌شود و در نتیجه، دید اتمسفر کاهش می‌یابد. این یافته منعکس‌کننده کدورت جو است و بیشتر تأثیر منفی بر زیست‌پذیری اکولوژیکی شهری دارد. در این مطالعه از روش نرمال‌سازی طبق **جدول ۲** برای به دست آوردن AOD_i استفاده می‌شود (Junbo et al., 2022).

در این روش AOD_{max} و AOD_{min} به ترتیب حداکثر AOD و حداقل AOD در بازه زمانی مطالعه است. AOD_i و AOD نشان‌دهنده نرمال شده در پیکسل i است.

جدول ۲: روابط متغیرهای پژوهش

Table 2: Equation of variables

منبع	رابطه	متغیر	ردیف
Junbo et al., 2022	$NDVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{Red})}{(\rho_{NIR} + \rho_{Red})}$ $NDVI_i = \frac{NDVI_i - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}}$	$NDVI_i$	۱
	$IBI = \frac{2\rho_{SWIR1}}{\rho_{SWIR1} + \rho_{NIR}} - \left(\frac{\rho_{NIR}}{\rho_{NIR} + \rho_{Red}} + \frac{\rho_{Green}}{\rho_{Green} + \rho_{SWIR1}} \right)$ $SI = \frac{(\rho_{SWIR1} + \rho_{Red}) - (\rho_{NIR} + \rho_{Blue})}{(\rho_{SWIR1} + \rho_{Red}) + (\rho_{NIR} + \rho_{Blue})}$ $NDBSI = \frac{IBI + SI}{2}$ $NDBSI_i = \frac{NDBSI_{max} - NDBSI_i}{NDBSI_{max} - NDBSI_{min}}$	$NDBSI_i$	۲
	$LST_i = \frac{LST_{max} - LST_i - LST_R }{LST_{max} - LST_{min}}$	LST_i	۳
	$NWD_i = \frac{\{DNWD_{max} NWD_i - NWD_R \}}{DNWD_{max} - DNWD_{min}}$	NWD_i	۴
	$AOD_i = \frac{AOD_{max} - AOD_i}{AOD_{max} - AOD_{min}}$	AOD_i	۵

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳

مدل کریتیک (CRITIC)

روش کریتیک به مفهوم اهمیت معیارها مبتنی بر همبستگی درونی معیارهاست. [Diakoulaki et al. \(1995\)](#) این روش را معرفی کرده‌اند که یک روش مناسب و کاربردی برای تعیین وزن معیارهاست. این روش از نظر کارکرد مشابه روش آنتروپی شانون است با این تفاوت که در این روش فقط به پراکندگی داده‌ها تکیه نمی‌شود. این روش برپایه شدت تضاد و تعارض در ساختار مسئله تصمیم‌گیری بنیان نهاده شده است. به طور کلی، برای شناخت تفاوت وزن میان معیارها از تجزیه و تحلیل همبستگی استفاده می‌شود ([شکری فیروزجاه و همکاران، ۱۴۰۰ ص. ۳۶](#)).

مراحل اجرای وزن‌دهی به روش کریتیک

داده‌ها در روش وزن‌دهی کریتیک براساس میزان تداخل و تضاد موجود بین عوامل یا معیارها تجزیه و تحلیل می‌شود. در روش کریتیک برای هر معیار ارزیابی دامنه‌ای از تغییرات مقدارهای اندازه‌گیری شده در میان پیکسل‌ها (گزینه) وجود دارد که در قالب یک تابع عضویت بیان می‌شود. هرکدام از بردارهای تشکیل شده برای معیارهای استفاده شده پارامترهای آماری از جمله انحراف معیار را دارد. این پارامترها درجه تباین را در مقدارهای معیار مربوط نشان می‌دهد. پس برای محاسبه انحراف معیار عوامل و معیارهای بررسی شده ماتریس مقارنی به ابعاد $m \times m$ به وجود می‌آید که شامل ضرایب همبستگی بین بردار تشکیل شده است. با تعیین پارامترهای پژوهش تضاد موجود بین معیار j با معیار دیگر از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$c_{jk} = \sum_{k=1}^m (1 - r_{jk}) \quad \text{رابطه ۱.}$$

در این رابطه c_{jk} معرف مجموعه تضاد معیار j با معیار k است که از $k = 1$ شروع شده است و تا $k = m$ ادامه دارد و r_{jk} همبستگی بین دو معیار k و j را نشان می‌دهد. میزان اطلاعات j از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$c_j = \delta_j \sum_{k=1}^m (1 - r_{jk}) \quad \text{رابطه ۲.}$$

در این رابطه c_j معرف میزان اطلاعات معیار j است که در آن انحراف معیار را در مقدارهای مربوط عامل یا معیار j نشان می‌دهد. با توجه به رابطه یادشده معیارهایی که c_j بیشتری دارد وزن زیادی نیز دارد. وزن هر عامل مانند j از رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$w_j = \frac{c_j}{\sum_{k=1}^m c_k} \quad \text{رابطه ۳.}$$

در این رابطه w_j معرف وزن معیار j و c بیانگر میزان اطلاعات مجموعه معیارهای k است که از $k=1$ شروع شده است و تا $k=m$ ادامه دارد. استفاده از روش کریتیک در وزن دهی معیارها در پژوهش حاضر می‌تواند گامی در راستای حل معضل استقلال صفات از یکدیگر باشد. به‌طور رسمی، در قاعده تصمیم‌گیری برای ارزیابی هر گزینه از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$A_i = \sum_j w_j x_{ij} \quad \text{رابطه ۴.}$$

در این رابطه x_{ij} معرف نمره گزینه i ام در ارتباط با صفت j ام و w_j مشتمل بر یک وزن استاندارد شده است که در مجموع وزن‌ها برابر با یک می‌شود ($\sum w_i = 1$). وزن‌ها اهمیت نسبی هر صفت را نشان می‌دهد. با تعیین ارزش حداکثر $i = A_j$ اولویت‌دارترین گزینه انتخاب می‌شود (Malchevsky, 2006 به نقل از اصغری سراسکانرود، ۱۳۹۸، ص. ۶۰).

شاخص ارزیابی زیست‌پذیری اکولوژیکی شهری (ELI_i)

براساس مطالعات کتابخانه‌ای ارزیابی نابرابری‌های زیست‌پذیری اکولوژیکی در قالب مدل‌سازی‌ها و تجزیه و تحلیل‌های مختلفی در قالب روش‌های آماری و مکانی صورت گرفته است. یکی از دقیق‌ترین این ارزیابی‌ها

می‌توان استفاده از فناوری‌های سنجش از دور برای بررسی زیست‌پذیری اکولوژیکی شهرها بیان کرد. با توجه به دقت و صحت داده‌های به‌دست‌آمده از تصاویر ماهواره‌ای و درمقیاس‌های مکانی و زمانی مختلف می‌توان به کاربرد این نوع داده‌ها توجه ویژه‌ای کرد. همراه با مطالعه Junbo et al. (2022) شاخص کیفیت زیست‌پذیری اکولوژیکی طبق رابطه ۵ محاسبه می‌شود.

رابطه ۵

$$ELI_i = (NDVI_i + 1)^{w_1} \times (LST_i + 1)^{w_2} \times (NDBSI_i + 1)^{w_3} \times (NWD_i + 1)^{w_4} \times (AOD_i + 1)^{w_5}$$

که در آن ELI_i مقدار کیفیت زیست‌محیطی در پیکسل i است. هرچه مقدار ELI_i بزرگ‌تر باشد، کیفیت زیست‌پذیری اکولوژیکی بهتر و زیست‌پذیری اکولوژیکی بیشتر است. $NDVI_i$ ، LST_i ، $NDBSI_i$ ، NWD_i و AOD_i مقدارهای نرمال‌شده در پیکسل i را نشان می‌دهند. w_1 ؛ w_2 ؛ w_3 ؛ w_4 ؛ w_5 وزن‌های مربوط به هر شاخص هستند و مجموع مقدارهای آنها یک است. وزن مربوط با تعداد پیکسل هر شاخص محاسبه می‌شود.

یافته‌های پژوهش و تجزیه و تحلیل

تغییرات مکانی-زمانی متغیرهای پژوهش

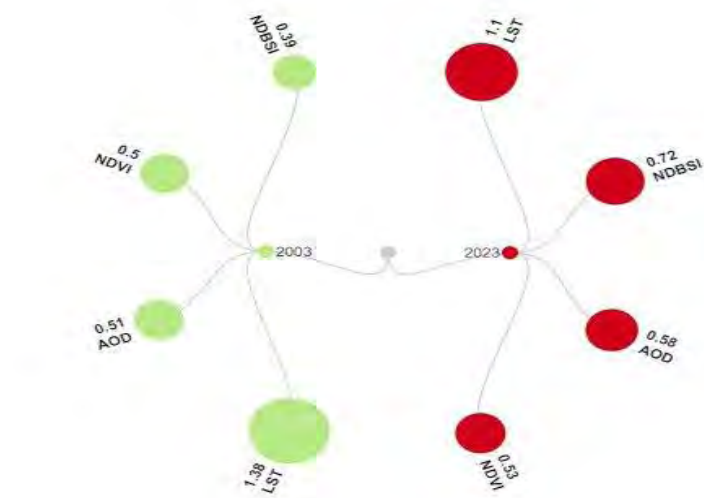
براساس یافته‌های حاصل از متغیر تراکم پوشش گیاهی ($NDVI_i$) در محدوده مطالعه بیشترین تراکم پوشش گیاهی در مناطق غربی، قسمت‌هایی از شمال و شرق کلانشهر تبریز متمرکز یافته است و سایر قسمت‌ها پوشش گیاهی تنک دارد. بر این اساس، کمترین مقدار برای سال ۲۰۰۳ و سال ۲۰۲۳ بیشترین مقدار تراکم پوشش گیاهی را ثبت کرده است.

توزیع مکانی-زمانی متغیر $NDBSI_i$ بیان‌کننده کمترین مقدار مؤثر در زیست‌پذیری اکولوژیکی برای بازه زمانی ۲۰۰۳ و بیشترین مقدار نیز برای سال ۲۰۲۳ بوده است که بیشترین تغییرات در نواحی مرکزی کلانشهر تبریز دیده می‌شود.

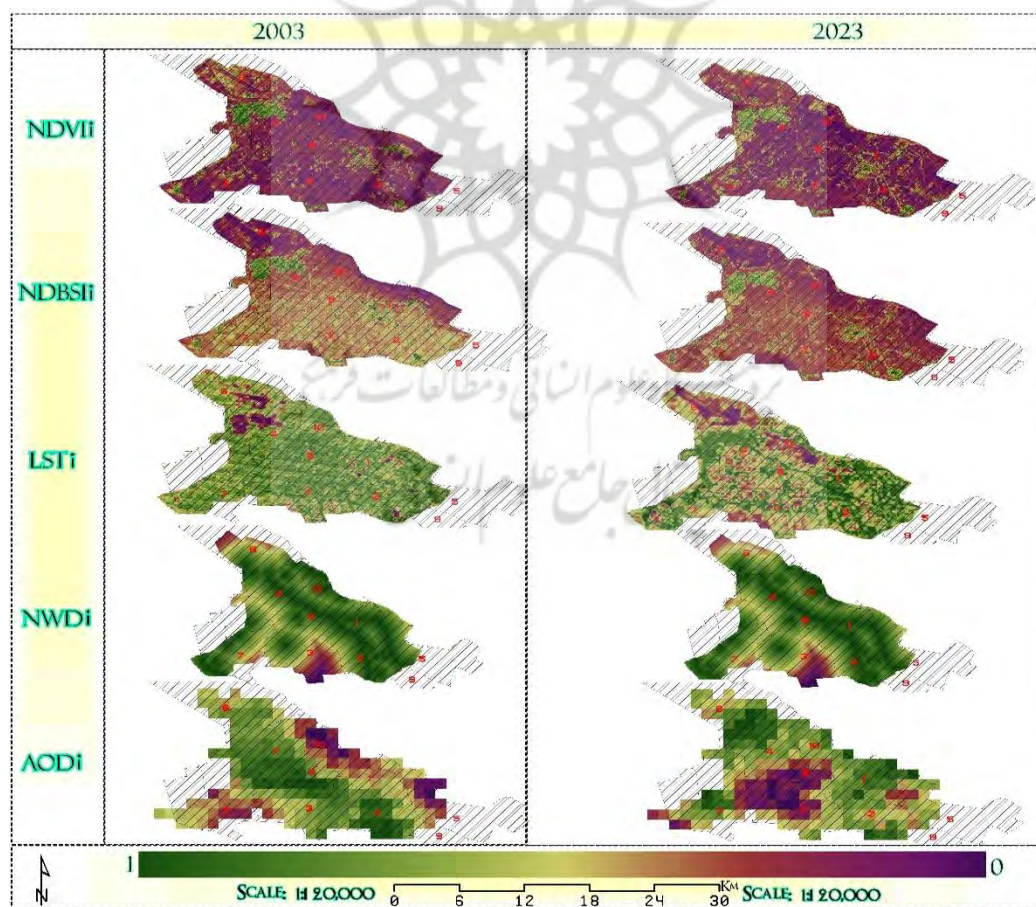
بررسی تغییرات مکانی-زمانی متغیر LST_i نشان می‌دهد که مقدار دمای سطح زمین در سال ۲۰۰۳ با ارزش ۱/۳۸ نسبت به سال ۲۰۲۳ با مقدار ۱/۱ شرایط بهتری دارد.

با توجه به توسعه نیافتگی و تغییر پهنه‌های آبی درمقیاس کلان در داخل محدوده کلانشهر تبریز متغیر NWD_i مقدار ثابتی برای بازه مطالعه ۲۰۰۳ و ۲۰۲۳ دارد؛ به‌طوری که قسمت‌های مرکزی وضعیت مطلوبی و نواحی جنوب و شمال غربی کیفیت نامطلوبی دارد.

مقایسه تغییرات مکانی-زمانی متغیر AOD_i نشان می‌دهد که مقدار متغیر در سال ۲۰۲۳ نسبت به سال ۲۰۰۳ مطلوبیت بهتری دارد که به‌صورت کمی از ۰/۵۱ در سال ۲۰۰۳ به ۰/۵۸ در سال ۲۰۲۳ افزایش یافته است؛ به‌طوری که قسمت‌های مرکزی و جنوبی در سال ۲۰۲۳ و در سال ۲۰۰۳ نواحی شمال، شمال شرقی و جنوب غربی کلانشهر تبریز کمترین مطلوبیت زیست‌پذیری اکولوژیکی را نشان می‌دهد. مقدارهای کمی و توزیع مکانی متغیرها در شکل‌های ۲ و ۳ آمده است.



شکل ۲: مقدارهای عددی متغیرهای پژوهش برای سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۲۳ (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳)
figure 2: Numerical values of variables for 2003 and 2023



شکل ۳: نقشه متغیرهای پژوهش برای سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۲۳ (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳)

Figure 3: Map of variables for 2003 and 2023

یافته‌های مدل کریتیک

همان‌طور که بیان شد در روش وزن‌دهی کریتیک داده‌ها براساس میزان تداخل و تضاد موجود بین عوامل یا معیارها تجزیه و تحلیل می‌شود. براساس نتایج حاصل از اجرای روش وزن‌دهی کریتیک در محیط اکسل مقادارها (جدول ۳) به دست آمد. طبق اوزان به دست آمده متغیر LST_i بیشترین درجه اهمیت را با مقدار $0/324$ دارد. در ادامه، متغیرهای $NDBSI_i = 0/241$ ، $AOD_i = 0/215$ ، $NWD_i = 0/192$ و $NDVI_i = 0/028$ در رتبه‌های بعدی قرار گرفت.

جدول ۳: آمار توصیفی مقادارهای مدل کریتیک

Table 3: Descriptive statistics of critic model values

اوزان نهایی	انحراف معیار	ماتریس تضاد	شاخص	ردیف
۰,۳۲۴	۰/۱۵	۵/۸۹	LST_i	۱
۰,۲۴۱	۰/۱۷	۳/۹۸	$NDBSI_i$	۲
۰,۲۱۵	۰/۱۷	۳/۵۹	AOD_i	۳
۰,۱۹۲	۰/۱۷	۵/۰۵	NWD_i	۴
۰,۰۲۸	۰/۰۲	۳/۷۳	$NDVI_i$	۵
۱				

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳

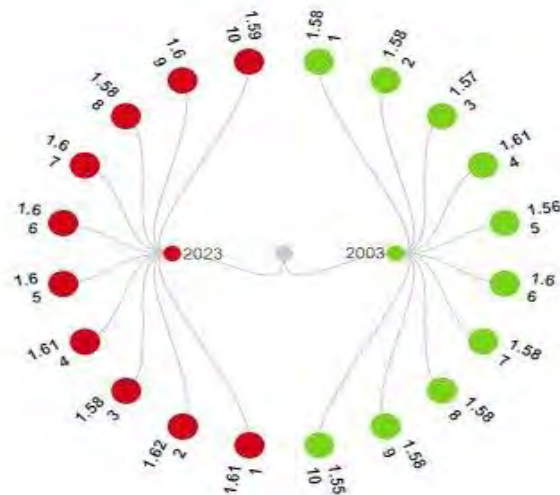
یافته‌های شاخص زیست‌پذیری اکولوژیکی (ELI_i) (Ecological Livability Index)

در پژوهش حاضر ELI_i به عنوان شاخص ارزیابی زیست‌پذیری اکولوژیکی کلانشهر تبریز محاسبه شد. به این منظور پنج متغیر نرمال شده $NDVI_i$ ، LST_i ، $NDBSI_i$ ، NWD_i و AOD_i در قالب تغییرات زمانی-مکانی در بازه زمانی ۲۰۰۳ و ۲۰۲۳ برای کلانشهر تبریز استخراج شد. سپس برای ارزیابی میزان اهمیت هریک از متغیرها با استفاده از روش کریتیک وزن‌دهی صورت گرفت که به ترتیب $LST_i = 0/324$ ، $NDBSI_i = 0/241$ ، $AOD_i = 0/215$ ، $NWD_i = 0/192$ و $NDVI_i = 0/028$ به دست آمد و شاخص زیست‌پذیری اکولوژیکی براساس رابطه ۶ محاسبه شد.

رابطه ۶

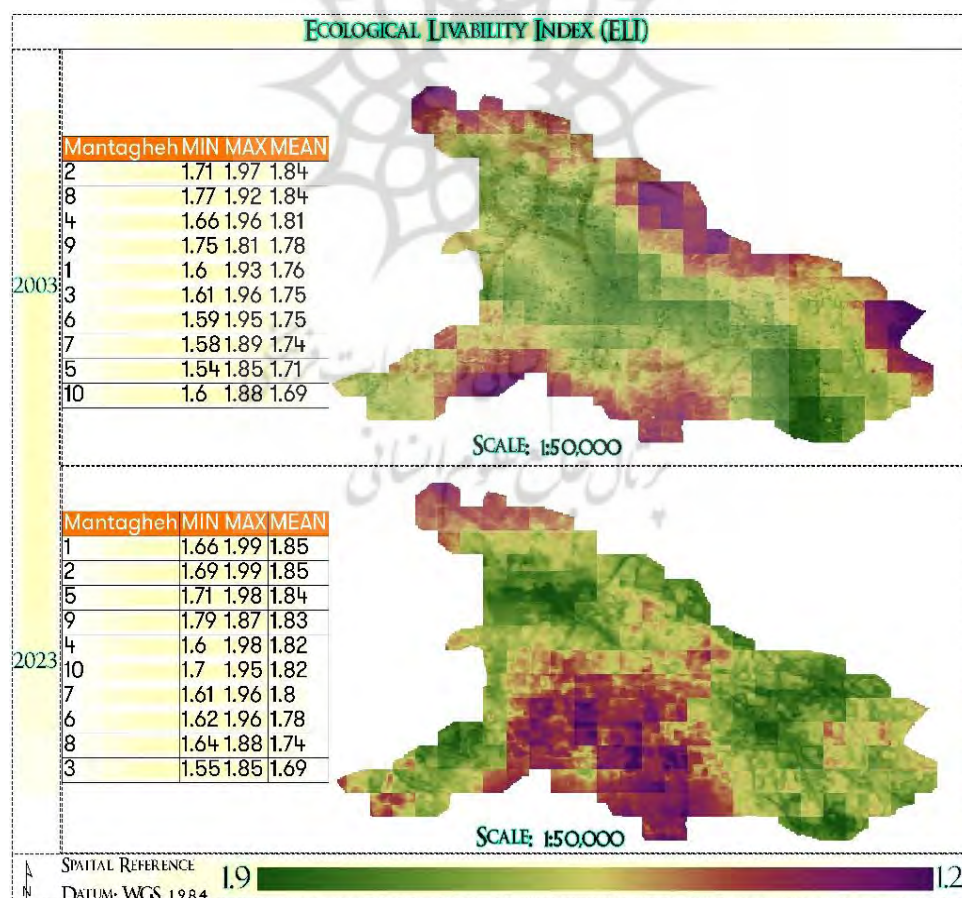
$$ELI_i = (LST_i + 1)^{0/324} \times (NDBSI_i + 1)^{0/241} \times (AOD_i + 1)^{0/215} \times (NWD_i + 1)^{0/192} \times (NDVI_i + 1)^{0/028}$$

نتایج حاصل از محاسبه شاخص براساس اوزان متغیرها بیانگر تغییرات به صورت روند افزایشی است؛ به طوری که کیفیت زیست‌پذیری اکولوژیکی در سال ۲۰۲۳ با مقدار میانگین $1/60$ نسبت به میانگین سال ۲۰۰۳ با مقدار $1/58$ ارزش بیشتری را داشته است. بدین ترتیب، سطح کیفیت زیست‌پذیری روبه بهبود است (شکل ۵). برای سال ۲۰۰۳ مناطق ۴، ۶ و ۱ بیشترین مقدار مطلوبیت و مناطق ۳، ۵ و ۱۰ کمترین مطلوبیت زیست‌پذیری اکولوژیکی را دارد. در مقابل، در سال ۲۰۲۳ مناطق ۱، ۲ و ۴ به ترتیب بیشترین مطلوبیت زیست‌پذیری اکولوژیکی را دارد و مناطق ۱۰، ۳ و ۸ با کمترین مقدار در رتبه‌های آخر قرار گرفته است. در شکل ۴ مقادارهای سالانه براساس مناطق دهگانه کلانشهر تبریز آمده است.



شکل ۴: میانگین مقدارهای شاخص زیست‌پذیری اکولوژیکی مناطق کلانشهر تبریز برای سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۲۳ (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳)

Figure 4: The average values of the Ecological Livability Index of Tabriz metropolitan areas for 2003 and 2023



شکل ۵: نقشه مقدارهای نهایی شاخص زیست‌پذیری اکولوژیکی (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳)

Figure 5: Map of the final values of ecological livability index

نتیجه‌گیری

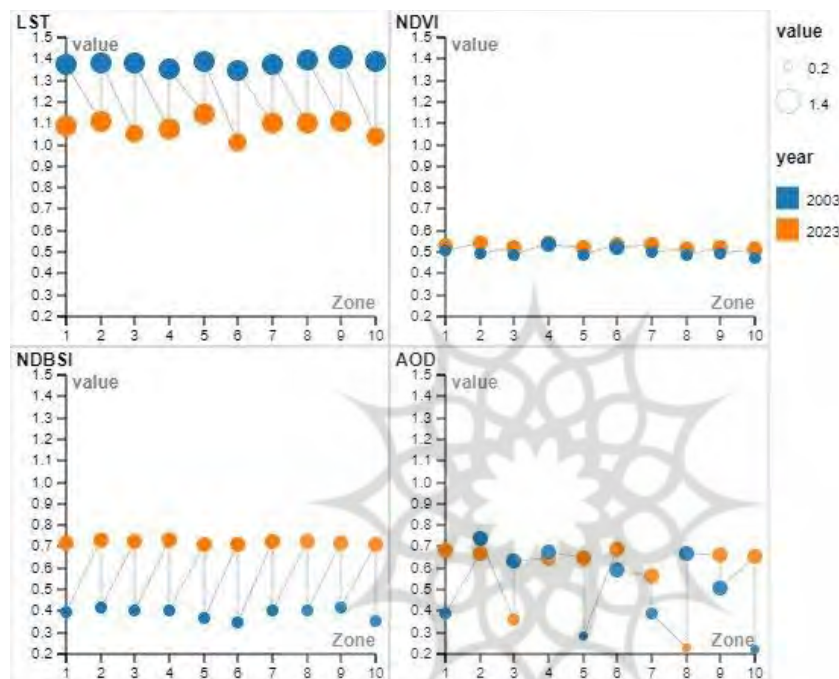
در پژوهش حاضر شاخص زیست‌پذیری اکولوژیکی کلانشهر تبریز به صورت تغییرات زمانی-مکانی برای سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۲۳ ارزیابی شد. به این منظور، شاخص ELI_i براساس متغیرهای به دست آمده از پیشینه پژوهش (LST, NDVI, NDBSI, AOD, NWD) و با استفاده از مدل وزن‌دهی کربتیک محاسبه شد. براساس نتایج حاصل از مدل کربتیک به ترتیب اوزان متغیرها $LST_i = 0/324$, $NDBSI_i = 0/241$, $AOD_i = 0/215$, $NWD_i = 0/192$ و $NDVI_i = 0/028$ به دست آمد که بیشترین وزن مربوط به دمای سطح زمین و کمترین وزن نیز تراکم پوشش گیاهی است. طبق نتایج حاصل از محاسبه شاخص زیست‌پذیری اکولوژیکی مناطق ۴، ۶ و ۱ بیشترین مقدار مطلوبیت و مناطق ۳، ۵ و ۱۰ کمترین مطلوبیت زیست‌پذیری اکولوژیکی را در سال ۲۰۰۳ دارند. در مقابل در سال ۲۰۲۳ مناطق ۲، ۱ و ۴ به ترتیب بیشترین مطلوبیت زیست‌پذیری اکولوژیکی را دارد و مناطق ۱۰، ۳ و ۸ با کمترین مقدار در رتبه‌های آخر قرار گرفته است (شکل ۵). همچنین، بررسی همبستگی میان مناطق و متغیرهای شاخص همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، بین متغیرهای NDVI و NWD و مناطق تغییرات قابل ملموسی مشاهده نمی‌شود و متغیر LST به صورت کاهشی و متغیر NDBSI روند افزایشی را نشان می‌دهد. متغیر AOD نیز روند افزایشی-کاهشی و مناطق در سال‌های مختلف مقدارهای متفاوتی را داشته است که نشان از ایجاد تغییرات گسترده در کاربری‌های مختلف آن منطقه است.

همان‌طور که از نتایج مشاهده می‌شود روند کیفیت زیست‌پذیری اکولوژیکی مناطق برای سال‌های مختلف در یک مسیر قرار دارد؛ به طوری که مناطق با مطلوبیت شاخص در سال ۲۰۰۳ مجدداً در سال ۲۰۲۳ نیز با حفظ مطلوبیت در رتبه‌های بالاتر قرار گرفته است. در واقع، در سال ۲۰۰۳ مناطق واقع در حاشیه شمالی و جنوبی کلانشهر مقدارهای مطلوبیت کم و مناطق مرکزی بیشترین ارزش زیست‌پذیری را داشته است. در ادامه، در سال ۲۰۲۳ با حرکت به مناطق جنوبی تبریز بیشترین تمرکز عدم مطلوبیت مشاهده می‌شود. به طور کلی، مقدارهای نهایی شاخص زیست‌پذیری اکولوژیکی را نمی‌توان بدون در نظر گرفتن تأثیر مستقیم متغیرها و اوزان آنها در نظر گرفت؛ به طوری که متغیر $LST_i = 0/324$ با بیشترین وزن روند کاهشی و مناطق مرکزی و جنوبی تبریز بیشترین تراکم را داشته است. در مقابل، با عدم افزایش همسوی پوشش گیاهی در این مناطق و افزایش مقدار AOD شاخص زیست‌پذیری اکولوژیکی در این محدوده در وضعیت نامطلوبی قرار دارد. نتایج حاصل از محاسبه شاخص براساس اوزان متغیرها بیانگر آن است که تغییرات به صورت روند افزایشی است؛ به طوری که کیفیت زیست‌پذیری اکولوژیکی در سال ۲۰۲۳ با مقدار میانگین $1/60$ نسبت به میانگین سال ۲۰۰۳ با مقدار $1/58$ ارزش بیشتری را داشته است. بدین ترتیب، سطح کیفیت زیست‌پذیری روبه بهبود است.

از عوامل محدودیت پژوهش حاضر محدودیت تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده مبنی بر وجود اختلاف در قدرت تفکیک مکانی پیکسل‌هاست که می‌تواند منجر به افت دقت و نتایج نادرست شود. یافته‌های این پژوهش با سایر پژوهش‌ها از جمله Junbo et al. (2022)، Liu et al. (2023)، Bian et al. (2020)، Xisheng & Hanqiu (2018) همراستاست. همچنین، پژوهش نشان داد که مدل کربتیک و شاخص توسعه داده شده در پژوهش‌هایی نظیر این

پژوهش می‌تواند نتایج کاملاً پذیرفتنی را ارائه دهد؛ از این رو پیشنهاد می‌شود در ارزیابی کیفیت زیست‌پذیری اکولوژیکی از روش‌های مذکور استفاده شود. براساس نتایج به‌دست‌آمده موارد زیر پیشنهاد می‌شود:

- افزایش سرانه فضای سبز به‌خصوص در مناطق مرکزی و مناطق با فقر پوشش گیاهی؛
- برنامه‌ریزی برای کاهش مقدار LST در شمال، شمال غربی و نواحی مرکزی؛
- توسعه جنگل‌کاری گسترده با گونه‌های مقاوم و جاذب در برابر آلاینده‌های زیست‌محیطی و گرد و غبار در نواحی غربی کلانشهر تبریز برای افزایش زیست‌پذیری اکولوژیکی شهری.



شکل ۶: مقدارهای متغیرها و مناطق کلانشهر تبریز (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳)

Figure 6: Values of variables and areas of Tabriz metropolis

منابع

اصغری سراسکانرود، صیاد، فعال نذیری، مهدی، و اردشیرپی، علی اصغر (۱۳۹۸). بررسی اثرات کاربری اراضی بر فرسایش خاک با الگوریتم WLC (مطالعه موردی: حوضه آبخیز آق لاقان چای). پژوهش‌های فرسایش محیطی،

۹(۲)، ۷۱-۵۳. <http://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-521-fa.html>

جنتی، حسین، استقلال، احمد، المدرسی، سید علی، رضایی، محمدرضا، و ذاکریان، ملیحه (۱۳۹۹). ارزیابی تطبیقی قابلیت زیست‌پذیری پایدار محلات شهری (مورد پژوهشی: محلات کارکنان شرکت نفت و سادات شهر دوگنبدان). کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی، ۸(۲)، ۱۶۱-۱۸۵.

https://grd.yazd.ac.ir/article_2059.html

حیدری، تقی (۱۳۹۷). واکاوی تیپولوژیک رویکرد زیست‌پذیری در بافت‌های فرسوده شهری (مطالعه موردی: بافت فرسوده بخش مرکزی شهر زنجان). دو فصلنامه جغرافیای اجتماعی شهری، ۵(۱)، ۸۵-۱۰۴.

<https://ensani.ir/fa/article/391997>

سلیمانی مهرجانی، محمد، توالی، سیمین، رفیعان، مجتبی، زنگانه، احمد، و خزاعی نژاد، فروغ (۱۳۹۵). زیست‌پذیری شهری: مفهوم، اصول، ابعاد و شاخص‌ها. *پژوهش‌های جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری*، ۴(۱)، ۲۷-۵۰.

<https://doi.org/10.22059/jurbangeo.2016.58120>

شکری فیروزجاه، پری، دیوسالار، اسداله، و جهانی، امین (۱۴۰۰). سنجش میزان پایداری اجتماعی در محلات بیست و دوگانه شهر بابلسر ازمنظر ساکنان. *مطالعات ساختار و کارکرد شهری*، ۸(۲۹)، ۲۷-۴۸.

<https://doi.org/10.22080/usfs.2021.3441>

فتحی، الهام (۱۳۹۴). روند شهرنشینی در ایران. *دوماهنامه تحلیلی - پژوهشی آمار*، ۳(۲)، ۸-۱۵.

<http://amar.srtc.ac.ir/article-1-32-fa.html>

محلوجی، مهرداد، خادم‌الحسینی، احمد، صابری، حمید، و رحمتی، صفرقائد (۱۴۰۰). ارزیابی عوامل مؤثر بر زیست‌پذیری فضاها در سکونتگاه‌های غیر رسمی منطقه ۴ شهر اصفهان. *فصلنامه جغرافیا و مطالعات*

محیطی، ۱۰(۴۰)، ۷-۲۰. https://journals.iau.ir/article_684281.html

مرکز آمار ایران (۱۳۹۵). [وبسایت] <https://amar.org.ir>

References

- Adams, S., & Klobodu, E.K.M. (2017). Urbanization democracy bureaucratic quality and environmental degradation. *Journal of Policy Modeling* 39(6), 1035–1051. <https://doi.org/10.1016/j.jpolmod.2017.04.006>
- Asghari Saraskanroud, S., Faal Naziri, M., & Ardashirpay, A. A. (2019). Studying the effects of land use on soil Erosion with WLC algorithm: Case of study: Agh Laghan chay basin. *Environmental Erosion Research*, 9(2), 53-71. <http://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-521-fa.html> [In Persian].
- Aulia, D.N. (2016). A framework for exploring livable community in residential environment (Case study: Public housing in medan Indonesia). *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 234, 336–343. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.10.250>
- Bian, J., Ren, H., & Liu, P. (2020). Evaluation of urban ecological well-being performance in China: A case study of 30 provincial capital cities. *Journal of Cleaner Production*, 254, 120109. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120109>
- Chang, I.S., Yilihamu, Q., Wu, J., Wu, H., & Nan, B. (2017). Health impact assessment in environmental impact assessment in China: Status practice and problems. *Environmental Impact Assessment Review*, 66, 127–137. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2017.05.007>
- Cobbinah, P.B., Poku-Boansi, M., & Peprah, C. (2017). Urban environmental problems in ghana. *Environmental Development*, 23, 33–46. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2017.05.001>
- Diakoulaki, D., Mavrotas, G., & Papayannakis, L. (1995). Determining objective weights in multiple criteria problems: The critic method. *Computers & Operations Research*, 22(7), 763-770. [https://doi.org/10.1016/0305-0548\(94\)00059-H](https://doi.org/10.1016/0305-0548(94)00059-H)
- Ellis, E.C., Wang, H., Xiao, H.S., Peng, K., Liu, X.P., Li, S.C., Ouyang, H., Cheng, X., & Yang, L.Z. (2006). Measuring Long-Term ecological changes in densely populated landscapes using current and historical High-Resolution imagery. *Remote Sensing of Environment*, 100(4), 457–473. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.11.002>
- Fathi, E. (2014). Urbanization process in Iran. *Analytical-Research Bimonthly of Statistics*, 3(2), 8-15. <http://amar.srtc.ac.ir/article-1-32-fa.html> [In Persian].
- Fu, B., Yu, D., & Zhang, Y. (2019). The livable urban landscape: GIS and remote sensing extracted land use assessment for urban livability in changchun proper China. *Land Use Policy*, 87, 104048. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104048>
- Graafland, J., & Smid, H. (2017). Reconsidering the relevance of social license pressure and government regulation for environmental performance of European smes. *Journal of Cleaner Production*, 141, 967–977. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.171>

- Grubert, E. (2018). Relational values in environmental assessment: The social context of environmental impact. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 35, 100–107. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.10.020>
- Gupta, P., Khan, M.N., Da Silva, A., & Patadia, F. (2013). Modis aerosol optical depth observations over urban areas in Pakistan: Quantity and quality of the data for air quality monitoring. *Atmospheric Pollution Research*, 4(1), 43–52. <https://doi.org/10.5094/APR.2013.005>
- Heydari, M.T. (2017). Typological analysis of livability approach in worn-out urban tissues (Case study: Worn-out tissue in the central part of Zanjan city). *Journal of Urban Social Giography*, 5(1), 85–104. <https://ensani.ir/fa/article/391997> [In Persian].
- Jannati, H., Esteghlal, A., Almodaresi, A., Rezaei, M. R., & Zakerian, M. (2021). Comparative assessment of the sustainable livability in urban neighborhoods: A case study of the neighborhood of the oil company staff and Sadatshahr in the city of dogonbadan. *Journal of Geographical Research on Desert Areas*, 8(2), 161–185. https://grd.yazd.ac.ir/article_2059.html [In Persian].
- Junbo, Y., Xinghua, L., Xiaobin, G., & Huanfeng, Sh. (2022). A remote sensing assessment index for urban ecological livability and its application. *Geo-spatial Information Science*, 27(2), 289–310. <https://doi.org/10.1080/10095020.2022.2072775>
- Litman T. (2010). *Sustainability and livability: Summary of definitions, goals, objectives and performance indicators*. Victoria transport policy institute.
- Liu, J., Nijkamp, P., Huang, X., & Lin, D. (2017a). Urban livability and tourism development in China: Analysis of sustainable development by means of spatial panel data. *Habitat International*, 68, 99–107. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2017.02.005>
- Liu, J., Zang, C., Tian, S., Liu, J., Yang, H., Jia, S., You, L., Liu, B., & Zhang, M. (2013). Water conservancy projects in China: Achievements challenges and way forward. *Global Environmental Change*, 23(3), 633–643. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.02.002>
- Liu, M., Ma, M., Liu, J., Lu, X., Dong, Z., & Li, J. (2023). Quantifying impacts of natural and anthropogenic factors on urban ecological quality changes: A multiscale survey in Xi'an China. *Ecological Indicators*, 153, 110463. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110463>
- Liu, Y., Dijst, M., Faber, J., Geertman, S., & Cui, C. (2017b). Healthy urban living: residential environment and health of older adults in Shanghai. *Health & Place*, 47, 80–89. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2017.07.007>
- Madadi, A., Sadr, A.H., Kashani, A., Gilandeh, A.G., Safarianzengir, V., & Kianian, M. (2021). Monitoring of aerosols and studying its effects on the environment and humans health in Iran. *Environmental Geochemistry and Health*, 43, 317–331. <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00709-w>
- Mahlouji, M., Khademolseiny, A., Saberi, H., & Ghaedrahmati, S. (2022). Assessing the factors affecting urban livability in informal settlements, study of Zone 14 of Esfahan. *Geography and Environmental Studies*, 10(34), 7–20. https://journals.iau.ir/article_684281.html [In Persian].
- Ruth, M., & Franklin, R.S. (2014). Livability for all? Conceptual limits and practical implications. *Appl. Geogr.*, 49, 18–23. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.09.018>
- Seto, K.C., Güneralp, B., Hutyrá, L.R. (2012). Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 40(109), 16083–16088. <https://doi.org/10.1073/pnas.1211658109>
- Shokri, P., Divsalar, A., & Jahani, A. (2021). Measuring the level of social sustainability in 22 neighborhoods of Babolsar city. *Urban Structure And Function Studies*, 8(29), 27–48. <https://doi.org/10.22080/usfs.2021.3441> [In Persian].
- Soleimani Mehrenjani, M., Tavallai, S., Rafieian, M., Zanganeh, A., & khazaei Nezhad, F. (2016). Urban livability: The concept principles aspects and parameters. *Geographical Urban Planning Research (GUPR)*, 4(27), 27–50. <https://doi.org/10.22059/jurbangeo.2016.58120> [In Persian].
- Statistical Centre of Iran (2015). [Website]. <https://amar.org.ir> [In Persian].
- Valcárcel-Aguiar, B., & Murias, P. (2019). Evaluation and management of urban livability: A goal programming based composite indicator. *Social Indicators Research*, 142, 689–712. <https://doi.org/10.1007/s11205-018-1861-z>

- Wu, J. (2014). Urban ecology and sustainability: The state-of-the-science and future directions. *Landsc. Urban Plan*, 125, 209–221. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.018>
- Xisheng, H., & Hanqiu, X. (2018). A new remote sensing index for assessing the spatial heterogeneity in urban ecological quality: A case from fuzhou city China. *Ecological Indicators*, 8(1470), 11-21. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.02.006>
- Xu, H. (2008). A new index for delineating Built-up land features in satellite imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 29, 4269–4276. <https://doi.org/10.1080/01431160802039957>
- Xu, H., & Zhang, T. (2013). Assessment of consistency in Forest-Dominated vegetation observations between ASTER and Landsat ETM+ Images in subtropical coastal areas of southeastern China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 168, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.08.012>
- Zachariasz, A., & Porada, K. (2019). Water in krakow's gardens parks and areas of greenery. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 603, No. 5, p. 052038). IOP Publishing. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/603/5/052038/meta>

