



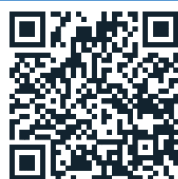
Evaluation of Effective Factors in the Process of Physical Development of Tabriz City Using Remote Sensing Methods

Mohammad Ibrahim Afifi¹, Vahid Sohrabi²

1- Associate Professor of Geography Department, Larestan Branch, Islamic Azad University, Larestan, Iran

2- PhD student in geography and urban planning, Larestan Branch, Islamic Azad University, Larestan, Iran

Article info	Abstract
<p>Article type: Research Article</p> <p>Received: 2023/07/15</p> <p>Accepted: 2024/04/29</p> <p>pp: 117- 139</p> <p>Keywords: Evaluation, Physical Development, Remote Sensing, Vegetation, Tabriz.</p>	<p>The rapid growth of urbanization has put heavy pressure on the land and surrounding resources and has caused a reduction in vegetation, open spaces and serious social and environmental problems. Therefore, an essential step for managing and planning urban development, as well as evaluating its cumulative effects, is to investigate and simulate the physical development of the city. The purpose of this study is to understand the effective factors in the process of physical development of Tabriz metropolis according to the category of sustainable urban spatial development from the ecological aspect and maintaining its environmental conditions in the next two decades. For this purpose, according to the optimal separation capability of users, in the image classification process, the object-oriented image analysis method was used, which also relies on spectral information and information related to texture, shape, and content, and using Landsat 5 multi-temporal satellite images. and 7 and Shigra satellite image processing techniques of land use changes in the time period 4891-1102 have been evaluated with an emphasis on the spatial expansion of Tabriz metropolis. Based on the results, the area of Tabriz metropolis (the mother city of Tabriz and satellite cities) has increased from 7220.34 hectares in 1984 to 22346.82 hectares in 2012. A significant area of recent development has taken place on floodplains and areas vulnerable to earthquakes, which requires the management of the future development of the surrounding cities. For this purpose, factors affecting the physical development of Tabriz metropolis based on research background in the form of 42 indicators were identified and mapped using multivariate evaluation methods based on linear combination and fuzzy CLW and by extracting lands prone to future physical development along with the dependent variable of urban changes. During the years of 1984-2012, with the use of VokraM-aC automatic Markov chain cells, the future pattern of land use was predicted in the form of an environmental protection approach and in accordance with the principles of sustainable development until 2038. Agricultural and garden lands will be damaged.</p>



Citation: Afifi, M. I., & Sohrabi, V. (2024). Evaluation of effective factors in the process of physical development of Tabriz city using remote sensing methods. *Journal of Urban Futurology*, 4(1), 117- 139.



© The Author(s).

Publisher: Islamic Azad University, Zahedan Branch.

¹ **Corresponding author:** Mohammad Ebrahim Afifi, **Email:** afifi.ebrahim6353@gmail.com, **Tell:** +989171816353

Extended Abstract

Introduction

The rapid growth of urbanization has put heavy pressure on the land and surrounding resources, causing a reduction of vegetation, open spaces and serious social and environmental problems. Therefore, an essential step for managing and planning urban development, as well as evaluating its cumulative effects, is to investigate and simulate the physical development of the city.

With the increase in the population of Tabriz, there has been significant growth in the built-up lands in the region, leading to many changes in land use around the city and the destruction of the fertile lands in the suburbs. The continuation of this process could cause irreparable damage to the ecological resources of the region. In the field of land cover and land use changes, models play an important role in exploring possible future development. The descriptive and forecasting capabilities of these models can be used as tools for raising awareness among those involved in land use and land cover decisions, functioning as an early warning system. The purpose of this study is to understand the effective factors influencing the physical development of Tabriz metropolis, considering sustainable urban spatial development from an ecological perspective and maintaining its environmental conditions over the next two decades.

Methodology

For this purpose, considering the capability of optimal separation of users, in the image classification process, an object-oriented image analysis method was used. The basic units of processing in object-oriented analysis are image objects (segments), not pixels. Object-oriented classification is a process that links land cover classes to image objects, and each of the image objects is assigned to the considered classes with a certain degree of membership. The classification process was carried out using highly specialized software such as eCognition and Definiens Professional Earth version 7, as a repeatable process to obtain the highest degree of membership for each image object. This method relied on spectral information and information related to texture, shape, and content, using Landsat 5 and 7 multi-temporal satellite images and satellite image processing techniques. Shigra evaluated land use changes during the period from 1984 to 2012, with an

emphasis on the spatial expansion of Tabriz metropolis.

Results and discussion

Based on the results, the area of Tabriz metropolis (the main city of Tabriz and satellite cities) has increased from 7220.34 hectares in 1984 to 22346.82 hectares in 2012. A significant area of recent development has taken place on floodplains and areas vulnerable to earthquakes, which requires the management of the future development of the surrounding cities. For this purpose, 42 factors affecting the physical development of Tabriz metropolis were identified and mapped based on research, using multivariate evaluation methods based on linear combination and fuzzy CLW, and by extracting lands prone to future physical development along with the dependent variable of urban changes.

Investigations and analyses carried out on land use change maps in GIS and comparison tables of land use changes and land cover, based on the classified images of consecutive years of the region, showed the following changes in the lands of the region:

- During the period of 1984-2011, barren lands decreased from 151,962.6 hectares in 1984 to 147,052 hectares in 2011.
- Built-up land increased from 7,220.34 hectares in 1984 to 22,346.82 hectares at the end of the period.
- Agricultural land decreased from 25,369.83 hectares in 1984 to 22,489.02 hectares in 2011.
- Garden lands decreased from 10,242.63 hectares in 1984 to 6,653.43 hectares in 2011.
- Pasture land decreased from 25,248.15 hectares in 1984 to 21,583.80 hectares in 2011.
- Water lands decreased from 669.24 hectares in 1984 to 587.70 hectares in 2011.

By overlapping the built-up land class during 1984-2011 on the digital height model, the spatial expansion trend of Tabriz metropolis was visually extracted. The metropolis has seen significant growth, while during this statistical period, the population of the cities in the group did not experience such growth. The problem of urban sprawl intensity can be illustrated by the radar graph comparing the changes in the percentage of the area to the percentage of

population changes in Tabriz metropolis between 1984 and 2011. The changes in the area of the cities of Tabriz metropolis have been much faster than the population changes in Tabriz metropolis.

Conclusion

If the results of this research are implemented, minimal damage will be inflicted on agricultural and garden lands during the city's future development. To reduce the horizontal expansion of the city and mitigate associated problems, it is recommended to closely monitor urban areas, utilize clustering and high-rise development methods (compact city), and develop barren and empty lands within the city (infill development). Prioritizing the guidance of urban development in areas other than

agricultural land should be a key focus for the management of Tabriz metropolis.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

The authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article. All authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work. Declaration of competing interest: none.

Conflict of Interest

The authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.

ارزیابی عوامل مؤثر در روند توسعه فیزیکی شهر تبریز با استفاده از روش‌های سنجش از دور

محمدابراهیم عقیفی^۱، وحید سهرابی^۲

۱-دانشیار گروه جغرافیا، واحد لارستان، دانشگاه آزاد اسلامی، لارستان، ایران.

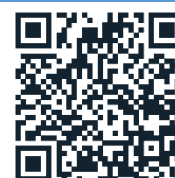
۲- دانشجوی دکترای جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، واحد لارستان، دانشگاه آزاد اسلامی، لارستان، ایران.

چکیده	اطلاعات مقاله
<p>رشد سریع شهرنشینی، فشارهای سنگینی بر سرزمین و منابع اطراف آن‌ها وارد کرده و موجب کاهش پوشش گیاهی، فضاهای باز و مشکلات جدی اجتماعی و زیست‌محیطی شده است. از این رو یک گام اساسی برای مدیریت و برنامه‌ریزی توسعه شهری و همچنین ارزیابی اثرات تجمعی آن، بررسی و شبیه‌سازی توسعه فیزیکی شهر می‌باشد. هدف از این مطالعه، درک عوامل مؤثر در روند توسعه فیزیکی کلان‌شهر تبریز با توجه به مقوله توسعه فضایی پایدار شهری از بعد اکولوژیکی و حفظ شرایط زیست‌محیطی آن در دو دهه آتی می‌باشد. بدین منظور با توجه به قابلیت تفکیک بهینه کاربران، در فرآیند طبقه‌بندی تصاویر، از روش تحلیل تصویر شی‌گرا استفاده شد که آن نیز با تکیه بر اطلاعات طیفی و اطلاعات مربوط به بافت، شکل و محتوا و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه لندست ۵ و ۷ و تکنیک‌های پردازش تصاویر ماهواره‌ای شی‌گرا تغییرات کاربری اراضی در مقطع زمانی ۲۰۱۱-۱۹۸۴ با تأکید بر گسترش فضایی کلان‌شهر تبریز، مورد ارزیابی قرار گرفته است. بر اساس نتایج حاصله، مقدار مساحت کلان‌شهر تبریز (مادرشهر تبریز و شهرهای اقماری) از ۴۳/۰۲۲۷ هکتار در سال ۱۹۸۴ به ۲۸/۶۴۳۲۲ هکتار در سال ۲۰۱۲ رسیده است. مساحت قابل توجهی از توسعه اخیر بر بستر سیلابی و پهنه‌های آسیب‌پذیر از زلزله صورت گرفته که لزوم مدیریت توسعه آتی شهرهای محدوده را می‌طلبد. بدین منظور عوامل مؤثر بر توسعه فیزیکی کلان‌شهر تبریز بر اساس پیشینه تحقیق در قالب ۴۲ شاخص، شناسایی و با استفاده از روش‌های ارزیابی چندمتغیره مبتنی بر ترکیب خطی وزن‌دار فازی CLW نقشه‌سازی شدند و با استخراج اراضی مستعد توسعه فیزیکی آتی به همراه متغیر وابسته تغییرات شهری طی سال‌های ۲۰۱۲-۱۹۸۴ با استفاده سلول‌های خودکار زنجیره مارکوف vokraM-aC به پیش‌بینی الگوی آتی کاربری اراضی در قالب رویکرد حفاظت زیست‌محیطی و منطبق بر اصول توسعه پایدار تا سال ۲۰۳۸ پرداخته شد که در صورت استفاده از نتایج این تحقیق، در توسعه‌های آینده شهر کمترین آسیب به اراضی زراعی و باغی خواهد رسید.</p>	<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۲۴</p> <p>پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۰</p> <p>صص: ۱۳۹-۱۱۷</p> <p>واژگان کلیدی: ارزیابی، توسعه فیزیکی، سنجش از دور، پوشش گیاهی، تبریز.</p>

استناد: عقیفی، محمدابراهیم؛ و سهرابی، وحید. (۱۴۰۳). ارزیابی عوامل مؤثر در روند توسعه فیزیکی شهر تبریز با استفاده از روش‌های سنجش از دور. فصلنامه آینده پژوهی شهری، ۴(۱)، ۱۱۷-۱۳۹.

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان.

©نویسندگان



مقدمه

در سال‌های اخیر رشد شهرنشینی در ایران و افزایش مهاجرت به شهرهای بزرگ کشور، باعث گسترش ناگهانی و غیرطبیعی این شهرها و تخریب زمین‌های حاصلخیز و منابع طبیعی شده و آسیب‌های جبران‌ناپذیری به طبیعت وارد کرده است. با افزایش جمعیت شهر تبریز، رشد زیادی در اراضی ساخته‌شده در منطقه به وجود آمده و باعث تغییرات زیاد کاربری‌ها در پیرامون شهر و تخریب زمین‌های حاصلخیز موجود در حومه شهر شده است؛ به‌گونه‌ای که ادامه این روند می‌تواند آسیب‌های جبران‌ناپذیری به منابع زیست‌محیطی منطقه وارد آورد. در واقع در زمینه تغییرات پوشش زمین و کاربری اراضی، مدل‌ها نقش مهمی در کاوش توسعه آینده احتمالی آن دارند و از قابلیت‌های تشریحی و پیش‌بینی آینده‌ای که مدل‌ها دارا هستند می‌توان به‌عنوان ابزاری برای آگاهی افراد درگیر در تصمیم‌گیری‌های کاربری و پوشش زمین، استفاده کرد به‌طوری‌که از قابلیت پیش‌بینی‌کنندگی مدل‌ها می‌توان به‌عنوان سیستم هشداردهنده اولیه استفاده کرد، بدین ترتیب که تصمیم‌گیران را از نتایج توسعه آینده و مناطق دارای اولویت برای تحلیل‌ها و سیاست‌های میانجی آگاه کرد. مدل‌های پیش‌بینی کاربری اراضی برای برنامه‌ریزی استفاده پایدار از زمین یک نیاز ضروری است (Camus Seko, 2016: 21- Mes. 2016: 19- Seluklagat, 2017: 43).

این مسئله به‌ویژه در کشورهای درحال توسعه که فعالیت‌هایی نظیر: جنگل‌زدایی، توسعه بی‌رویه اراضی کشاورزی موجب شدت بخشیدن به پدیده بیابان‌زایی شده، مورد نیاز است (Eni and Dragovic, 2018: 1). به‌علاوه، پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و برقراری ارتباط بین این تغییرات با عواقب اقتصادی - اجتماعی حاصل از آن اهمیت بسیار بالایی برای مدیریت پایدار اراضی دارد. سنجش از دور که فناوری کلیدی جهت ارزیابی وسعت و میزان تغییرات پوشش اراضی است (عقیفی، ۱۳۹۶: ۵۰). از طریق این فن می‌توان با استفاده از مجموعه تصاویر چندزمانه پردازش آن‌ها با یکی از روش‌های مناسب موجود و با سرعت و دقت بالا نسبت به آشکارسازی تغییرات مورد نظر در منطقه اقدام کرد. به‌کارگیری داده‌های سنجش از دور می‌توان به شیوه‌های علمی و کارآمد به مدیریت مناطق حساس پرداخت. در مدل‌سازی‌های زمانی و مکانی، فناوری سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی نقش محوری را ایفا می‌کنند، به‌گونه‌ای که این فناوری با فراهم آوردن داده‌های چند طیفی و چندزمانه‌ای که از نظر هزینه و زمان مقرون‌به‌صرفه بوده و هم اطلاعات ارزشمندی را برای درک و فهم و پایش الگوها و پروسه پوشش زمین موجب می‌شود؛ بنابراین داده‌های به‌دست‌آمده به‌وسیله این فناوری می‌تواند به‌عنوان مهم‌ترین منبع در فراهم‌سازی داده‌های پایه‌ای برای مدل‌سازی تغییرات پوشش زمین برای سیستم اطلاعات جغرافیایی باشد. با پیش‌بینی تغییرات کاربری می‌توان مقدار گسترش و تخریب منابع را مشخص و این تغییرات را در مسیرهای مناسب هدایت کرد. عقیفی (۱۳۹۶) در خصوص کارایی مدل زنجیره‌ای مارکوف بایستی مطرح کرد که با استفاده از این مدل، نسبت تبدیل کاربری‌های مختلف و امکان پیش‌بینی آن‌ها در آینده فراهم می‌شود. فتح الهی رودباری و همکاران (۱۳۹۷) به مدل‌سازی تغییرات اراضی کاربری با استفاده از مدل‌سازی تغییر زمین LCM در شهرستان نکا پرداختند. کریمی و کمکی (۱۴۰۰) با استفاده از مدل زنجیره‌ای مارکوف به پایش، ارزیابی و پیش‌بینی روند تغییرات مکانی اراضی/پوشش دشت بس طاق پرداختند در این مطالعه تعیین نقشه‌های کاربری پس از انجام تصریحات بر روی تصاویر ماهواره‌ای، تعیین نمونه‌های آموزشی و ارزیابی دقت طبقه‌بندی‌ها با استفاده از ضریب کاپا صورت گرفت. نتایج نشان می‌دهد که طبقه فاقد پوشش/بایر، پویاترین کاربری‌های موجود در منطقه بوده که درصد مساحت این اراضی طی ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۳ به ترتیب برابر (۶۴/۲۱ درصد) افزایشی و (۱۴/۳۱ درصد) کاهش یافته بوده که بیانگر تخریب کلی و جایگزینی کاربری‌های ضعیف‌تر در منطقه است. اصلاح و همکاران، (۱۴۰۰) در تحقیقی به بررسی کارایی مدل زنجیره‌ای مارکوف در برآورد تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای LANDSAT پرداختند. در این تحقیق از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه لندست مربوط به سال‌های ۱۹۷۵، ۱۹۹۰ و ۲۰۰۵ میلادی استفاده شده است. نتایج حاکی از آن است که بیشترین درصد اختلاف مربوط به کلاس اراضی مزروعی (۰/۶۴۶۲۲۲ درصد) بوده و کمترین درصد اختلاف در کلاس فضای سبز (۰/۰۰۵۵۱ درصد) دیده می‌شود. بدین ترتیب می‌توان کارایی خوب این مدل را توجیه کرد. احدنژاد روشتی و همکاران (۱۳۹۰) در مقاله‌ای تحت عنوان ارزیابی و پیش‌بینی گسترش فیزیکی شهرها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه و سیستم اطلاعات جغرافیایی، تغییرات اراضی حاشیه شهری در طی سال‌های ۱۳۹۰ - ۱۳۶۳ را ارزیابی و سپس تغییرات را برای سال ۱۴۰۰ پیش‌بینی کردند. تصاویر مورد استفاده در این تحقیق

مربوط به سنجنده TM ماهواره لندست برای سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۷۹، ۱۳۷۰ و ۱۳۹۰ بود. در این تحقیق علاوه بر بارزسازی، برای کشف و ارزیابی تغییرات صورت‌گرفته بین سال‌های ۱۳۶۳ تا ۱۳۹۰ از روش فازی مبتنی بر شدت انطباق ۱ و مقایسه بعد از طبقه‌بندی ۲ استفاده شد همچنین برای پیش‌بینی روند تغییرات تا سال ۱۴۰۰ از روش ترکیبی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار استفاده شد. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که در طی ۲۷ سال موردبررسی، کاربری‌های اراضی در حدود ۳۴ درصد تغییر کرده‌اند که این تغییر عمدتاً ناشی از فعالیت‌های انسانی و افزایش جمعیت بوده است.

غلامعلی فرد و همکاران (۱۴۰۰) تغییرات پوشش اراضی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و زنجیره مارکوف را در سواحل میانی استان بوشهر در یک دوره ۲۳ ساله (۱۳۹۰ تا ۱۳۶۷) مدل‌سازی کردند. نتایج نشان داد که در طول دوره مطالعه، تغییرات شدید از اراضی باز به اراضی کشاورزی و رهاسازی زمین‌های کشاورزی در منطقه مشاهده شده است. از سال ۱۳۶۷ تا ۱۳۸۴ به میزان ۱۹۷۱۵/۷۶ هکتار به وسعت اراضی کشاورزی افزوده شده و بین سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۰ تنها ۴۸/۱۴٪ از کاربری کشاورزی بدون تغییر مانده است و وسعت زیادی از کشاورزی رهاسازی شده است. احمد و همکاران (۲۰۱۹) با مقاله‌ای تحت عنوان مدل‌سازی رشد شهری با استفاده از تصاویر چندزمانه ماهواره‌ای، رشد شهر داکا را با استفاده از تصاویر ماهواره لندست در سال‌های ۱۹۸۵ و ۱۹۹۹ تحلیل نمودند و سپس رشد شهری برای سال ۲۰۰۹ پیش‌بینی شد. بدین صورت که ابتدا تصاویر در پنج کلاس، طبقه‌بندی شده و سپس بر اساس سه مدل مارکوف تصادفی، سلول‌های خودکار - زنجیره مارکوف و پرسترون چندلایه - زنجیره مارکوف رشد شهر داکا برای سال ۲۰۰۹ شبیه‌سازی گشت سپس بهترین مدل سازگار با واقعیت که پرسترون چندلایه - زنجیره مارکوف بود، انتخاب شده و به‌وسیله آن رشد شهری برای سال ۲۰۱۹ پیش‌بینی گردید. رضانی و جعفری (۱۳۹۹) تحقیقی به آشکارسازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی در افق ۱۴۰۴ با استفاده از مدل زنجیره‌ای CA مارکوف (مطالعه موردی: اسفراین) پرداختند. نتایج این مطالعه کاهش ۵۰۰ و ۴۰۰ هکتاری را به ترتیب در سطح بایر و اراضی کشاورزی نشان داد. به‌علاوه، مدل پیش‌بینی کرد که سطح بایر فقیر ۳۰ هکتار و اراضی شهری ۴۵۰ هکتار در ۱۳ سال آینده (۱۴۰۴-۱۳۸۸) افزایش دارد. دژکام و همکاران (۱۳۹۹) در تحقیقی به پیش‌بینی تغییرات کاربری و پوشش زمین در شهرستان رشت با استفاده از مدل سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف پرداختند. نتایج نشان داد که در طی ۲۰ سال گذشته، مناطق انسان‌ساخت ۵۶/۷ درصد افزایش یافته و منجر به نابودی حدود ۱۱ درصد از زمین‌های کشاورزی و ۴ درصد از پوشش جنگلی منطقه شده است. اعتبارسنجی مدل نشان داد که مدل از توان قابل‌قبولی در پیش‌بینی تغییرات منطقه برخوردار است. وانگ و همکاران^۱ (۲۰۲۰) تغییرات کاربری اراضی منطقه Changping در پکن را با استفاده از تصاویر ماهواره لندست برای سال ۲۰۰۰ پیش‌بینی کردند.

کویر و همکاران^۲ (۲۰۱۹) نیز در مطالعه‌ای اثرهای تغییرات کاربری اراضی در گذشته و آینده را بر روی منطقه حفاظت‌شده‌ای در جنوب اسپانیا با استفاده از مدل زنجیره‌ای CA، مارکوف بررسی کردند. نتایج این مطالعه در منطقه توسعه کشاورزی و مناطق شهری و رهاسازی کاربری‌های گذشته را نشان داد. در این مطالعات و مطالعات مشابه دیگر، علاوه بر مشخص شدن وضعیت تغییرات کاربری اراضی در زمان موردنظر با استفاده از مدل مارکوف، کارایی این مدل در مطالعات پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در تمام این مطالعات از گذشته تاکنون تأیید شده است (Soule & Keklagt, 2017:3).

مس و همکاران^۳ (۲۰۱۶) مدل مارکوف - ژنتیک تاکنون در مطالعات مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است. سو و همکاران^۴ (۲۰۲۰) پایش و پیش‌بینی کاربری‌های منطقه پکن چین را طی یک بازه زمانی ۱۶ ساله مورد مطالعه قرار دادند و از مدل زنجیره مارکوف و رگرسیون برای پیش‌بینی استفاده کردند. بررسی مقدار تغییر و روند تخریب منابع در سال‌های گذشته و پیش‌بینی این تغییرات در سال‌های آینده مسلماً گام مهمی در مهار و کنترل تغییرات غیراصولی، برنامه‌ریزی و استفاده بهینه از منابع سرزمین می‌باشد، بنابراین هدف از تحقیق حاضر بررسی روند تغییرات کاربری اراضی برای طی سالیان گذشته و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین به کمک مدل زنجیره‌های مارکوف در شهر تبریز استان آذربایجان شرقی می‌باشد. با پیش‌بینی تغییرات کاربری می‌توان میزان گسترش و تخریب منابع را مشخص کرده و این تغییرات را در مسیرهای مناسب هدایت کرد.

¹ Wang et al

² Quier et al

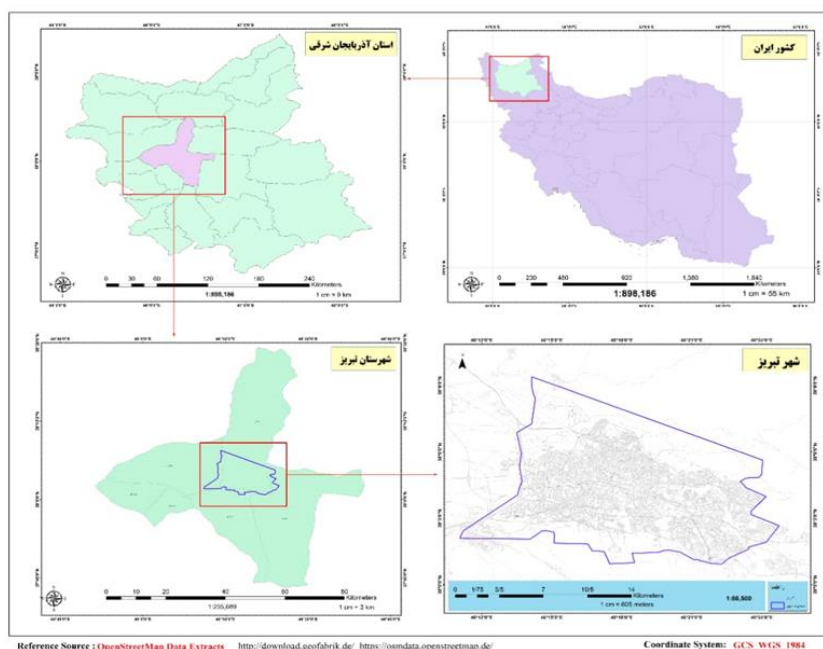
³ Mes et al

⁴ Su et al

مواد و روش پژوهش

منطقه مورد مطالعه

کلان شهر عنوانی است که در مورد شهرهای بزرگ و پرجمعیت به کار می رود. یک کلان شهر معمولاً از یک شهر مرکزی و تعدادی شهر اقماری تشکیل شده است. منطقه کلان شهر تبریز با ۲۲۰ هزار و ۷۱۲ هکتار شامل شهرهای تبریز، صوفیان، خواجه، باسمنج، سردرود، خسروشهر، سهند، ایلخچی، اسکو و سایر روستاهای محدوده اش می باشد. از شمال به شهرستان مرند و از جنوب به مراغه و از شرق به شبستر و از غرب به هریس منتهی می شود که ۴/۸۱ درصد کل وسعت استان آذربایجان شرقی را در برمی گیرد (شکل ۱). از لحاظ طبیعی ارتفاعات سهند از جنوب، دریاچه ارومیه از شرق و ارتفاعات میش و داغ از شمال محدوده مورد مطالعه را دربر گرفته اند. در کل کلان شهر تبریز دارای نه شهر می باشد که بررسی سالنامه های آماری نشان می دهد تعداد جمعیت محدوده مورد مطالعه در سال ۱۳۵۵، ۶۴۷ هزار و ۵۴۲ نفر بوده که در سال ۱۳۹۰ با روند صعودی به یک میلیون و ۶۱۵ هزار و ۳۳۶ نفر افزایش یافته و با توجه به این روند، ضرورت مدل سازی رشد شهری برای جلوگیری از رشد پراکنده شهری و تخریب اراضی مرغوب کشاورزی بیش از پیش احساس می شود (مهندسین مشاور زیستا، ۱۴۰۰: ۵).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

(ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۳)

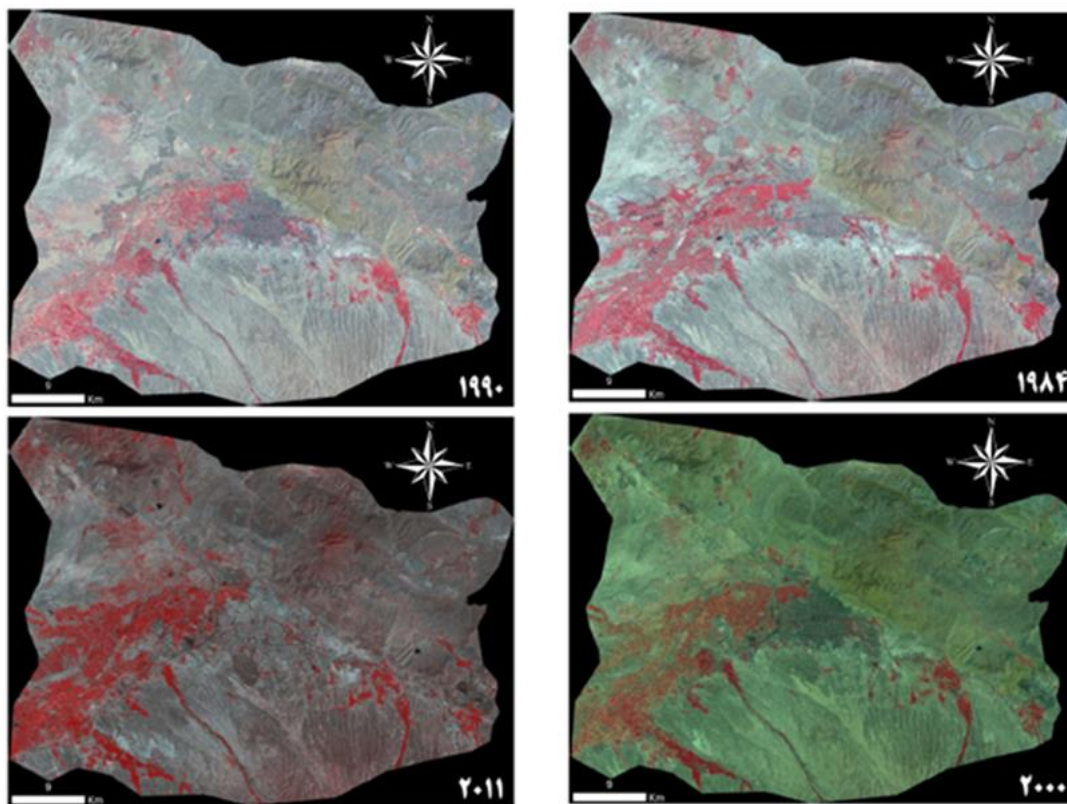
برای رسیدن به اهداف اصلی مطالعه، تصاویر ماهواره ای چند زمانه های سنجنده TM و ETM+ در تاریخ های یاد شده در جدول ۱ و شکل ۲ از کلان شهر تبریز، در فریم ۳۴-۱۶۸ انتخاب و به همراه پارامترهای مؤثر در توسعه شهری و نرم افزارهای Envi، Idrisi، eCognition و ArcGIS به کار گرفته شدند (جدول ۱ و شکل ۲).

جدول ۱- منابع اطلاعات موجود از انواع تصاویر ماهواره ای

سال تصاویر اخذ شده	سنجنده	قدرت تفکیک
۱۹۸۴/۶/۲۳	TM	۳۰ متر
۱۹۹۰/۰۸/۱۹	TM	۳۰ متر
۲۰۰۰/۰۷/۱۴	ETM+	۳۰ متر
۲۰۱۱/۰۶/۱۹	TM	۳۰ متر

(منبع: تحقیقات نگارندگان: ۱۴۰۲)

زمین مرجع کردن تصاویر و تصریحات ارتفاعی با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی با خطای RMS ۰/۴۲ پیکسل (در حد کمتر از نیم پیکسل) با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰ و تصریحات اتمسفری بر پایه روش کاهش ارزش عددی پیکسل‌های تیره با در نظر گرفتن تأثیر محدوده‌های آبی صورت گرفت. با توجه به توانمندی تفکیک مطلوب کاربری‌ها، در روند طبقه‌بندی تصاویر از روش تحلیل شیء‌گرایی تصاویر استفاده شد که علاوه بر اطلاعات طیفی به اطلاعات مربوطه به بافت، شکل و محتوا نیز استناد می‌گردد. واحدهای اساسی پردازش در تحلیل‌های شیء‌گرا، شیء‌های تصویری (سگمنت‌ها) هستند نه پیکسل‌ها. طبقه‌بندی شیء‌گرا فرایندی است که کلاس‌های پوشش اراضی را به اشیای تصویری پیوند می‌دهد و هر یک از شیء‌های تصویری با درجه عضویت معین به کلاس‌های در نظر گرفته شده اختصاص می‌یابند. فرایند طبقه‌بندی در محیط نرم‌افزارهای بسیار تخصصی مانند: ecognition و Definiens Professional Earth نسخه ۷ به صورت یک فرایند تکرارپذیر انجام گرفت تا بالاترین درجه عضویت برای هر کدام از شیء‌های تصویری حاصل آید (رسولی و محمودزاده، ۱۳۸۹: ۵۰).



شکل ۲- تغییرات بصری کلان‌شهر تبریز در سال‌های ۱۹۸۴-۲۰۱۱
(ترسیم: نگارندگان بر اساس پردازش تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۸۴، ۱۹۹۰، ۲۰۰۰، ۲۰۱۱)

در روش سگمنت‌سازی FNEA، همگنی طیفی (hcolor) یک شیء تصویری از مجموع انحراف معیار برای هر k باند تصویر (σ_k) که در وزن باندها (w_k) ضرب می‌شود، محاسبه می‌گردد.

$$h_{color} = \sum_k w_k \cdot \sigma_k$$

رابطه ۱

در سگمنت‌سازی طیفی برای دخالت‌دادن اشکال بافتی تصاویر از محیط هندسی اشیاء معیار همگنی شکلی (hshape) نیز محاسبه می‌شود که شامل دو معیار فشردگی و نرمی می‌باشد. معیار انحراف فشردگی شکل (cpt) از نسبت طول حاشیه هندسی اشیاء و ریشه دوم تعداد پیکسل‌ها (n) محاسبه می‌شود.

$$cpt = \frac{l}{\sqrt{n}} \quad \text{رابطه ۲}$$

معیار نرمی - کوتاه‌ترین طول حاشیه اشیا - (smooth) از نسبت طول هندسی اشیا (l) به طول حاشیه (b) محاسبه می‌شود.

$$smooth = \frac{l}{b} \quad \text{رابطه ۳}$$

معیار همگنی شکلی از ترکیب دو فاکتور بالا به شکل فرمول زیر بیان می‌شود.

$$h_{shape} = w_{cpt} \cdot h_{cpt} + (1 - w_{cpt}) \cdot h_{smooth} \quad \text{رابطه ۴}$$

برای کمک به مرحله بهینه‌سازی و کاهش دادن یکپارچه همگنی در فرایند سگمنت‌سازی، در هر ترکیب جداگانه، یک شی تصویر با شی مجاور ترکیب می‌شود تا افزایش همگنی در حداقل مشخص شده، انجام گیرد. درجه مناسبت برای هر جفت شی مجاور با تغییر همگنی (Δh) بعد و قبل از ترکیب مجازی (mg) با معیار طیفی (Δh_{color}) بیان می‌شود که در همگنی انحراف معیار وزنی باندها در اندازه‌ها اشیا پیکسل (n) به دست می‌آید.

$$\Delta h_{color} = \sum_k w_k (n_{mg} \cdot \sigma_k^{mg} - [n_{ob1} \cdot \sigma_k^{ob1} + n_{ob2} \cdot \sigma_k^{ob2}]) \quad \text{رابطه ۵}$$

تغییر در همگنی شکل که به علت ترکیب مجازی ایجاد می‌شود، برای فشرده‌گی به صورت ذیل محاسبه می‌شود.

$$\Delta h_{cpt} = n_{mg} \cdot \frac{l_{mg}}{\sqrt{n_{mg}}} - \left(n_{ob1} \cdot \frac{l_{ob1}}{\sqrt{n_{ob1}}} + n_{ob2} \cdot \frac{l_{ob2}}{\sqrt{n_{ob2}}} \right) \quad \text{رابطه ۶}$$

برای نرمی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta h_{smooth} = n_{mg} \cdot \frac{l_{mg}}{b_{mg}} - \left(n_{ob1} \cdot \frac{l_{ob1}}{b_{ob1}} + n_{ob2} \cdot \frac{l_{ob2}}{b_{ob2}} \right) \quad \text{رابطه ۷}$$

زمانی که کوچک‌ترین رشد ممکن از آستانه مقیاس سگمنت‌سازی مشخص شده به وسیله کاربر تجاوز نماید، مرحله ترکیب متوقف می‌شود که با عنوان پارامترهای مقیاس نام‌گذاری شده است. بایستی دقت نماییم که پارامتر مقیاس بزرگ، اشیای تصویری بزرگ‌تری را در سگمنت‌سازی تولید می‌کند. در نهایت برای سگمنت‌سازی چند مقیاسی از فرمول زیر برای تابع سگمنت‌سازی (Sf) استفاده می‌شود:

$$S_f = w_{color} \cdot h_{color} + (1 - w_{color}) \cdot h_{shape} \quad \text{رابطه ۸}$$

$$w_{color} \in [0, 1], w_{shape} \in [0, 1], w_{color} + w_{shape} = 1$$

در مرحله پایانی با تعریف اطلاعات برای کلاس‌های مختلف و تعریف شرایط طبقه‌بندی برای هر کدام از کلاس‌ها با تفکیک شی‌های نمونه‌های آموزشی طبقه‌بندی تصاویر انجام شده و ارزیابی صحت نتایج طبقه‌بندی، با استفاده از ماتریس خطای طبقه‌بندی به اتمام می‌رسد (Benz and et al, 2004: 239).

در مطالعه حاضر با بررسی میدانی و برداشت نمونه‌های تعلیمی با GPS، باتوجه به پراکنش کاربری‌ها از لحاظ پوشش و کاربری اراضی در محدوده کلان‌شهر تبریز، شش کلاس کاربری به این شرح انتخاب شد: اراضی بایر، اراضی ساخته شده، اراضی کشاورزی، اراضی باغی، اراضی مرتعی و اراضی آبی (شکل ۳ و جدول ۲).

جدول ۲- تنظیم تصویر قبل از اجرای طبقه‌بندی

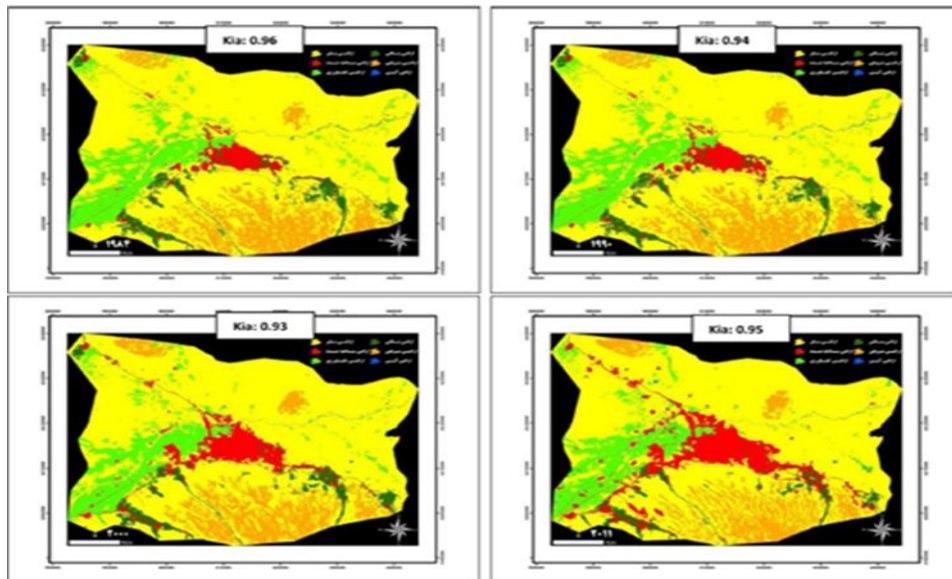
تنظیمات	TM2011 TM 1984, TM1990,ETM+2000,
ترکیب باندی مناسب	۴-۳-۲
وزن باندها	۱-۳-۱
پارامتر مقیاس	۱۰
معیار همگنی شکل و فشردگی	معیار شکل ۰/۲، معیار فشردگی ۰/۵

(منبع: تحقیقات نگارندگان: ۱۴۰۲)

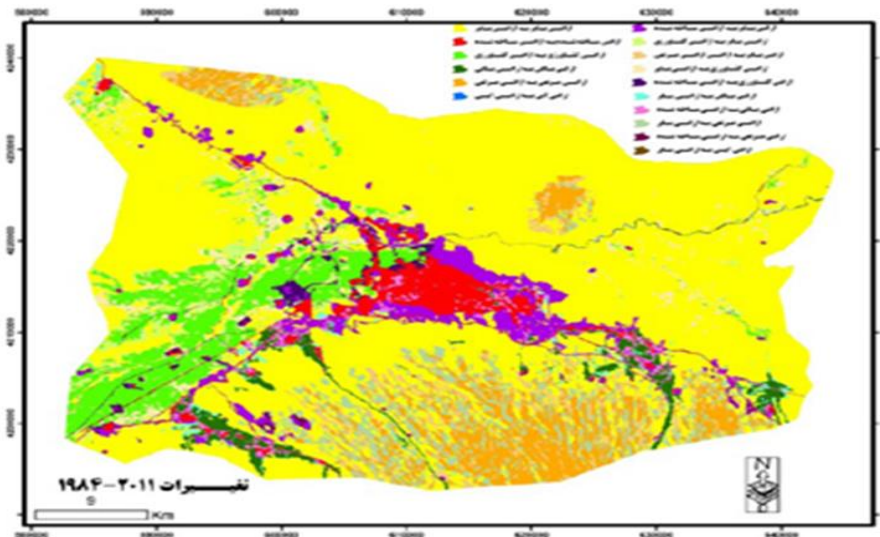
با همپوشانی نقاط تعلیمی و ایجاد تصاویر کاذب‌رنگی مختلف سعی شد در انتخاب نمونه‌های آموزشی، پراکندگی مناطق برداشت نمونه در تمام تصویر رعایت شود تا توزیع نمونه‌ها نرمال باشد. بعد از طبقه‌بندی تصاویر سال‌های ۱۹۸۴، ۱۹۹۰، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۱ نقشه‌های رستری استخراج شده برای تولید نقشه نهایی تغییرات برداری شدند.

بحث و نتایج

توزیع فضایی تغییرات حادث شده در طی سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۱ در شکل ۴ نمایش داده شده است. در این نقشه‌ها با استفاده از تابع پیوند (Union) شش لایه اطلاعاتی طبقه‌بندی شده مربوط به کاربری‌های سال‌های ۱۹۸۴-۲۰۱۱ بر روی هم‌دیگر همپوشانی شده‌اند (شکل ۴). با بررسی‌ها و تحلیل‌های انجام شده بر روی نقشه‌های تغییرات کاربری در GIS جداول مقایسه تغییرات کاربری و پوشش اراضی بر اساس تصاویر طبقه‌بندی شده سال‌های متوالی منطقه به دست آمد (جدول ۳). تغییرات روی داده در اراضی منطقه این گونه می‌باشد که در طی دوره ۱۹۸۴-۲۰۱۱ کلاس اراضی بایر با مساحت ۱۵۱۹۶۲/۶ هکتار در سال ۱۹۸۴ به ۱۴۷۰۵۲ هکتار در سال ۲۰۱۱ کاهش پیدا کرده است. اراضی ساخته شده که در سال ۱۹۸۴ حدود ۷۲۲۰/۳۴ هکتار بوده، در پایان دوره به ۲۲۳۴۶/۸۲ هکتار افزایش پیدا کرده است. اراضی کشاورزی با مساحت ۲۵۳۶۹/۸۳ هکتار در سال ۱۹۸۴ به ۲۲۴۸۹/۰۲ هکتار در سال ۲۰۱۱ کاهش پیدا کرده است. اراضی باغی با مساحت ۱۰۲۴۲/۶۳ هکتار در سال ۱۹۸۴ به ۶۶۵۳/۴۳ هکتار در سال ۲۰۱۱ کاهش پیدا کرده است. اراضی مرتعی با مساحت ۲۵۲۴۸/۱۵ هکتار در سال ۱۹۸۴ به ۲۱۵۸۳/۸۰ هکتار در سال ۲۰۱۱ کاهش پیدا کرده است. اراضی آبی با مساحت ۶۶۹/۲۴ هکتار در سال ۱۹۸۴ به ۵۸۷/۷۰ هکتار در سال ۲۰۱۱ کاهش پیدا کرده است. با همپوشانی کلاس اراضی ساخته شده طی سال‌های ۱۹۸۴-۲۰۱۱ بر روی مدل رقومی ارتفاع در شکل ۵ روند گسترش فضایی کلان‌شهر تبریز به صوت بصری استخراج گردید (شکل ۵). کلان‌شهر شده، درحالی که طی این دوره آماری جمعیت شهرهای مجموعه از چنان رشدی برخوردار نبوده و مسئله شدت پراکنش شهری را می‌توان نمودار راداری مقایسه تغییرات درصد مساحت نسبت به درصد تغییرات جمعیت در کلان‌شهر تبریز بین سال‌های ۱۳۶۳ تا ۱۳۹۰ نشان می‌دهد، تغییرات مساحت شهرهای کلان‌شهر تبریز خیلی سریع‌تر از تغییرات جمعیت شهرهای کلان‌شهر تبریز می‌باشد. این مسئله باعث چند برابر شدن مساحت شهرهای نامنظم شهرهای مجموعه، در بستر اراضی باغی اطراف شهرها مشاهده نمود.



شکل ۳- کاربری زمین استخراج شده در سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۱
(منبع: نگارندگان بر اساس پردازش تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۸۴، ۱۹۹۰، ۲۰۰۰، ۲۰۱۱)

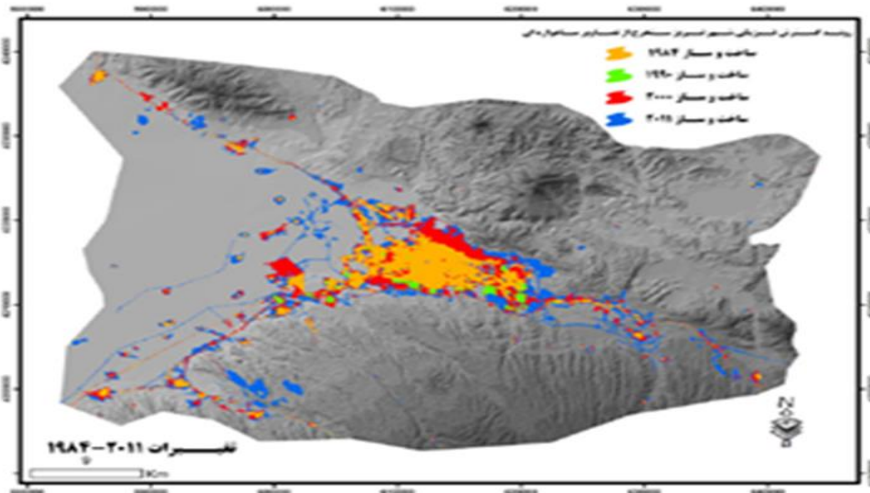


شکل ۴- کاربری زمین استخراج شده در سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۱
(منبع: نگارندگان، بر اساس پردازش تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۸۴-۲۰۱۱)

جدول ۳- مقایسه تغییرات کاربری و پوشش اراضی بر اساس تصاویر طبقه‌بندی شده ۱۹۸۴ و ۲۰۱۱

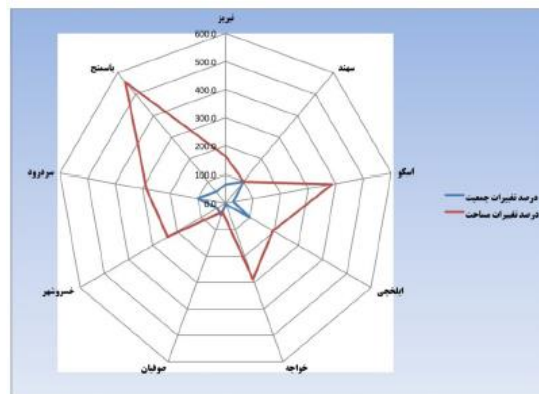
مجموع کلاس‌ها	اراضی آبی	اراضی مرتعی	اراضی باغی	اراضی کشاورزی	اراضی ساخته شده	اراضی بایر	۱۹۸۴-۲۰۱۱
۱۴۷۰۵۲	۲۶۱/۳۶	۱۰۵۸۰/۷۶	۱۷۵۳/۲۹	۶۷۳۸/۵۷	۰	۱۲۷۷۱۸	اراضی بایر
۲۲۳۴۶/۸۲	۴۹/۴۱	۲۷۳/۳۳	۲۷۰۸/۰۱	۲۰۲۶/۸۹	۷۲۲۰/۳۴	۱۰۰۶۸/۸۴	اراضی ساخته شده
۲۲۴۸۹/۰۲	۱۳۴/۹۱	۸/۱۹	۵۲۵/۸۷	۱۶۱۱۶/۷۵	۰	۵۷۰۳/۳۰	اراضی کشاورزی
۶۶۵۳/۴۳	۷/۶۵	۱۰۶/۰۲	۵۱۸۹/۰۴	۳۳۴/۲۷	۰	۱۰۲۶/۴۵	اراضی باغی
۲۱۵۸۳/۸۰	۰	۱۴۲۷۹/۱۳	۶۶/۱۵	۸۷/۴۸	۰	۷۱۵۱/۰۴	اراضی مرتعی
۵۸۷/۷۰	۲۱۵/۹۱	۰/۷۲	۰/۲۷	۷۵/۸۷	۰	۲۹۴/۹۳	اراضی آبی
۰	۶۶۹/۲۴	۲۵۲۴۸/۱۵	۱۰۲۴۲/۶۳	۲۵۳۶۹/۸۳	۷۲۲۰/۳۴	۱۵۱۹۶۲/۶	مجموع کلاس‌ها
۰	۴۵۳/۳۳	۱۰۹۶۹/۰۲	۵۰۵۳/۵۹	۹۲۵۳/۰۸	۰	۲۴۲۴۴/۵۶	تغییرات کلاس
۰	-۸۱/۵۴	-۳۶۶۴/۳۵	-۳۵۸۹/۲۰	-۲۸۸۰/۸۱	۱۵۱۳۶/۴۸	-۴۹۱۰/۵۸	تفریق تصاویر

(منبع: تحقیقات نگارندگان: ۱۴۰۲)

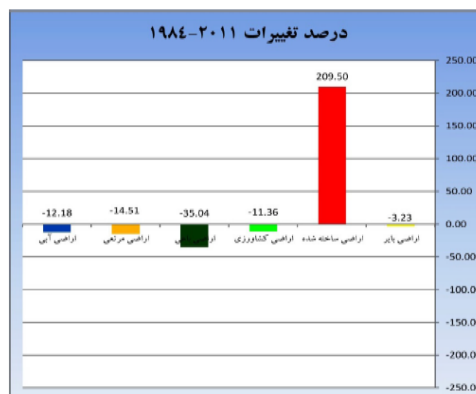


شکل ۵- تغییرات سطح کاربری اراضی ساخته شده
(منبع: نگارندگان، بر اساس پردازش تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۲۰۱۱-۱۹۸۴)

این مسئله به‌خصوص در شهرهای تبریز، سردرود، ایلخچی، خسروشهر و اسکو باعث رشد گسسته شهرها شده و به قابلیت اکولوژیکی آن‌ها آسیب شدیدی وارد کرده است (شکل ۶).



شکل ۶- نمودار راداری مقایسه تغییرات درصد مساحت نسبت به درصد تغییرات جمعیت در سال‌های ۱۳۶۳ تا ۱۳۹۰
(ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲)



شکل ۷- تغییرات درصد سطوح کاربری اراضی کلان‌شهر تبریز بین سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۱
(منبع: نگارندگان، بر اساس پردازش تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۸۴-۲۰۱۱)

مجموع درصد تغییرات کاربری نشان می‌دهد که در رشد اراضی ساخته‌شده، بیشترین سهم به‌طور نسبی از کاهش اراضی باغی، اراضی کشاورزی و اراضی مرتعی ناشی شده است (شکل ۷).

روش ترکیب خطی وزنی (WLC) در فازی سازی داده‌ها

برای شناسایی اراضی مناسب توسعه با رویکرد زیست‌محیطی در کلان‌شهر تبریز با استناد به تحقیقات انجام‌گرفته از متغیرهای زمین‌شناسی، فاصله از گسل، درصد شیب، جهات شیب، بافت خاک، عمق خاک، روان‌گرایی خاک، شرایط زهکشی خاک، ارتفاع، بارش، دما، فاصله از رودخانه، کاربری اراضی، فاصله از مراکز شهری، فاصله از مراکز درمانی، فاصله از مناطق تجاری، فاصله از مناطق صنعتی، فاصله از مراکز اداری، فاصله از مراکز تفریحی رفاهی، فاصله از آثار فرهنگی، فاصله از مراکز آموزشی، فاصله از راه‌های اصلی، فاصله از خطوط انتقال نیرو و تعداد سلول‌های شهری در پنجره ۳×۳ استفاده‌شده است (جدول ۴). برای تهیه و آماده‌سازی بانک اطلاعاتی لایه‌های یاد شده از نرم‌افزار ArcGIS10 و مدل WLC فازی در محیط نرم‌افزار Idrisi استفاده شد و سپس متغیر وابسته تغییرات شهری طی سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۱ به همراه متغیرهای مستقل یاد شده برای مدل‌سازی تا سال ۲۰۳۸ در قالب سلول‌های خودکار زنجیره مارکوف آماده‌سازی شدند.

مدل ارزیابی چندمعیاره به‌منظور بررسی هدف یا اهداف تعریف شده‌ای بر اساس چندین معیار طراحی شده است. ترکیب لایه‌ها در این مدل‌ها به صورت‌های مختلف (And، Or، wlc و...) بوده که در تحقیق حاضر از روش ترکیب خطی وزنی دار فازی WLC به دلیل انعطاف‌پذیری بیشتر نسبت به سایر روش‌ها استفاده گردید. استانداردسازی لایه‌ها یکی از بخش‌های مهم این مدل می‌باشد. به‌علاوه وزن هر یک از فاکتورها نیز از حساسیت بالایی برخوردار است و مجموع وزن فاکتورها در این روش WLC می‌بایستی ۱ باشد. برای رسیدن به این هدف از اوزان به‌دست‌آمده در روش AHP¹ استفاده شد.

روش ترکیب خطی وزنی، رایج‌ترین تکنیک در تحلیل ارزیابی چند معیاری است. این تکنیک، روش امتیازدهی نیز نامیده می‌شود. این روش بر مبنای مفهوم میانگین وزنی استوار است. تحلیلگر یا تصمیم‌گیرنده مستقیماً بر مبنای اهمیت نسبی هر معیار موردبررسی، وزن‌هایی به معیارها می‌دهد. سپس از طریق ضرب کردن وزن نسبی در مقدار آن خصیصه، یک مقدار نهایی برای هر گزینه (مثلاً عنصر تصویر در تحلیل فضایی) به دست می‌آید. پس از آنکه مقدار نهایی هر گزینه مشخص شد، گزینه‌ای که بیشترین مقدر را داشته باشد، مناسب‌ترین گزینه برای هدف موردنظر خواهد بود (شهابی و همکاران، ۱۳۸۸: ۴۴). هدف موردنظر می‌تواند تعیین تناسب زمین برای یک کاربرد خاص یا ارزیابی پتانسیل یک رخداد ویژه باشد. در این روش قاعده تصمیم‌گیری، مقدار هر گزینه A_i را به‌وسیله رابطه ۱ محاسبه می‌کند:

$$A_i = \sum_{j=1}^n w_j \times x_{ij}$$

رابطه ۹

در رابطه ۹ w_j وزن شاخص Z_j ، X_{ij} مقدار است که مکان i در رابطه با شاخص Z_j به خود پذیرفته است. به‌عبارت‌دیگر این مقدار می‌تواند بیانگر درجه مناسب بودن مکان i در ارتباط با شاخص Z_j باشد. N تعداد کل شاخص‌ها بوده و A_i مقداری است که در نهایت به مکان i تعلق می‌گیرد. همان‌طور که قبلاً بیان شد، در این روش می‌بایست مجموع وزن‌ها برابر یک باشد که در صورت عدم وجود چنین شرایطی باید در مرحله آخر، A_i بر مجموع کل وزن‌ها تقسیم گردد. در این صورت خروجی A_i نیز عددی بین صفر و یک خواهد بود. البته از آنجاکه بیشتر یا کمتر بودن مقدار خروجی می‌تواند دلیلی برای مناسب‌تر بودن یا نامناسب‌تر بودن یک گزینه باشد، می‌توان از نرمال کردن وزن‌ها صرف‌نظر کرد. در نهایت گزینه ایده‌آل، گزینه‌ای خواهد بود که دارای بیشترین A_i باشد (پرهیزگار و غفاری گیلان ده، ۱۳۸۵: ۷۳). روش ترکیب خطی وزنی می‌تواند با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و قابلیت‌های همپوشانی این سیستم اجرا شود. فنون همپوشانی در سیستم اطلاعات جغرافیایی اجازه می‌دهد که برای تولید یک لایه نقش‌های ترکیبی (نقشه برون‌داد) با هم ترکیب و تلفیق شوند (شهابی و نیازی، ۱۳۸۸: ۳).

فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در سال ۱۹۷۱ به‌وسیله ساعتی به‌عنوان یک ابزار تحلیل تصمیم‌وسیع برای مشکلات مدل‌های بر ساخت همانند سیاست، اقتصاد، اجتماع و علم مدیریت به وجود آمد که بر اساس آن ارزش‌ها برای مجموع‌های از اهداف به‌صورت دوجه‌دو

¹ Analytical Hierarchy process

مقایسه می‌شوند (Yu, 2002: ۱۹۷۰). در سال ۲۰۱۱ ساعتی و وارگس با به‌کارگیری هر دو مفهوم عقلانیت و شهود AHP را برای انتخاب بهترین راه‌حل، از بین چندین راه‌حل به کار گرفتند (Tolga, 2004, 90).

ارزیابی کارایی راه‌حل‌ها در AHP دارای مراحل زیر می‌باشد:

الف- ایجاد ماتریس مقایسه دوجه‌دو برای معیارهای تصمیم‌گیری،

ب- محاسبه ارجحیت معیارهای نسبت به یکدیگر و

ج- تحلیل پایداری (Hwang, 2004: 672).

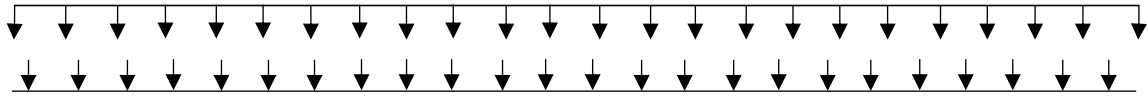
جدول ۴ مقادیر آستانه و نوع تابع فازی، برای استانداردسازی نقشه‌های معیار در منطق فازی را نشان داده است. برای انجام عملیات تلفیق فازی و استخراج نقشه مطلوبیت مکانی توسعه شهری به روش WLC، باتوجه به قابلیت‌های گسترده نرم‌افزار Idrisi در مسائل آنالیز تصمیم‌گیری چندمعیاره، از این نرم‌افزار استفاده گردید و نقشه‌های محدودیت و نقشه‌های معیار با اعمال نمودن اوزان متناظر به‌عنوان وزن‌های معیار تلفیق شدند (شکل ۸ و ۹).

پس از استخراج نقشه‌ها با اعمال ضریب همبستگی بین لایه‌های یاد شده، لایه‌های دارای ضریب همبستگی بالای ۰/۹ از روند تحلیل حذف شد و بین لایه‌های باقیمانده در محیط نرم‌افزار Export Chice ارجحیت لایه‌ها نسبت به یکدیگر تعیین و وزن نهایی هر لایه با ضریب ناپایداری ۰/۴ به دست آمد که باتوجه به کمتر بودن آن از ۰/۱ مدل نهایی به روش ترکیب خطی وزن‌دار اجرا شد (شکل ۱۰ و ۱۱).

جدول ۴- حد آستانه و نوع تابع فازی برای استانداردسازی نقشه‌های معیار در منطق فازی

نام تابع فازی	نوع تابع فازی	حد آستانه		لایه نقشه	ابعاد توسعه شهری
Sigmodial	Symmetric	a یا C	b یا d	زمین‌شناسی	طبیعی
Linear	افزایشی	-	-	فاصله از غسل	
Sigmodial	کاهشی	۰	۱۶۷۵۳	درصد شیب	
Sigmodial	Symmetric	۰	۱۵	جهت شیب	
Sigmodial	Symmetric	-	-	بافت خاک	
Sigmodial	Symmetric	-	-	عمق خاک	
Sigmodial	Symmetric	-	-	روان‌گرایی خاک	
Sigmodial	Symmetric	-	-	شرایط زهکشی خاک	
Linear	کاهشی	۱۲۹۶	۲۴۸۹	ارتفاع	
Linear	افزایشی	۲۴۴	۳۵۴	بارش	
Linear	افزایشی	۵.۳۲	۱۲.۴۲	دما	
Sigmodial	افزایشی	۳۰۰	۹۰۰	فاصله از رودخانه	
Sigmodial	Symmetric	-	-	کاربری اراضی	
Sigmodial	کاهشی	۰	۱۶۶۶۳	فاصله از مراکز شهری	
Linear	کاهشی	۱۰۰	۲۰۰	فاصله از مراکز بهداشتی درمانی	
Linear	کاهشی	۳۰۰	۳۰۰۰	فاصله از مناطق تجاری	
Linear	افزایشی	۲۰۰	۱۵۰۰	فاصله از مناطق صنعتی	
Sigmodial	کاهشی	۱۰۰	۳۰۰۰	فاصله از مراکز اداری	
Sigmodial	کاهشی	۹۰۰	۳۲۰۰	فاصله از مراکز تفریحی رفاهی	
Sigmodial	کاهشی	۰	۷۰۰	فاصله از آثار فرهنگی	
Sigmodial	کاهشی	۷۰۰	۱۲۰۰	فاصله از مراکز آموزشی	
Jshaped	کاهشی	۱۵۰	۷۰۰	فاصله از راه‌های اصلی	
Sigmodial	افزایشی	۹۰	۳۰۰۰	فاصله از خطوط انتقال نیرو	
Sigmodial	Symmetric	-	-	تعداد سلول‌های شهری در پنجره ۳ × ۳	

(منبع: تحقیقات نگارندگان: ۱۴۰۲)



شکل ۸- مدل مفهومی تعیین اراضی مناسب توسعه و پیش‌بینی تغییرات

(ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲)

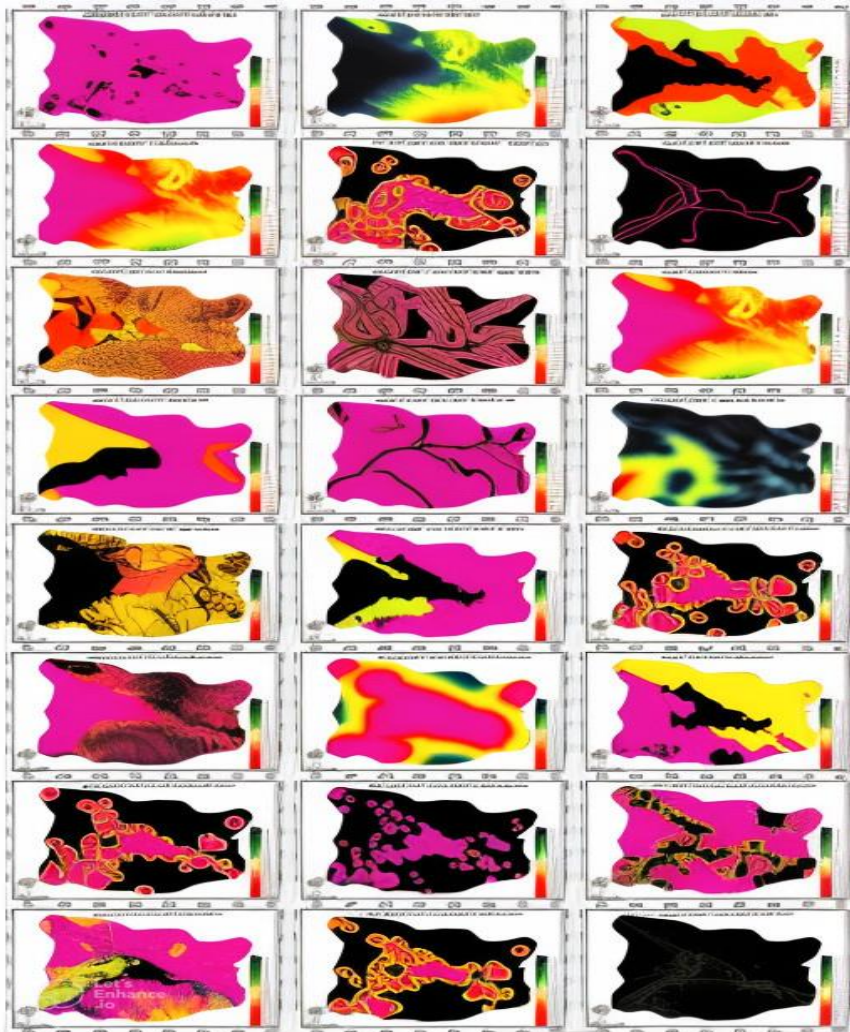
Model Name: suitability

Priorities with respect to:
Goal: Suitability



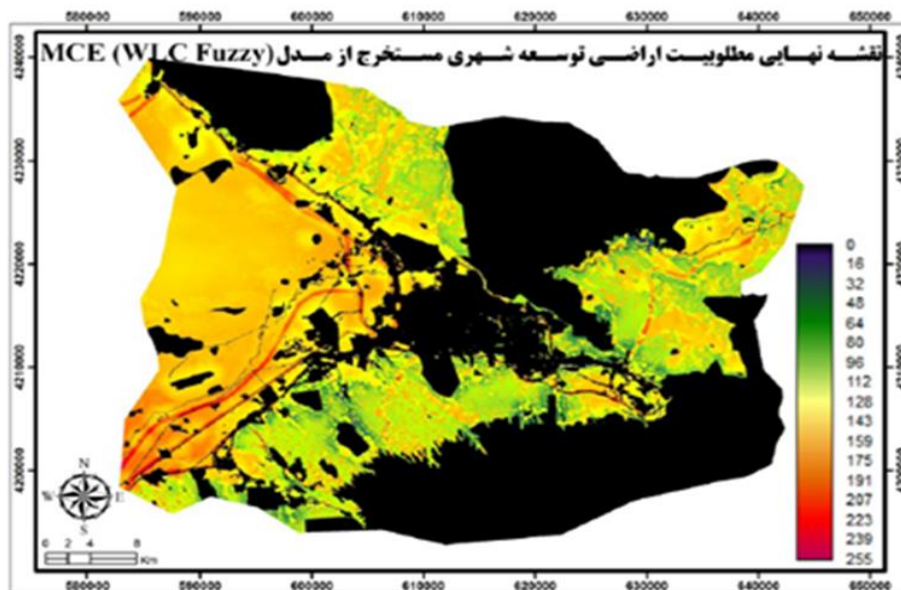
شکل ۹- وزن نهایی و ضریب ناپایداری در محیط نرم‌افزار Export Choice

(ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲)



شکل ۱۰- مجموعه لایه‌های اطلاعاتی استانداردشده

(ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲)



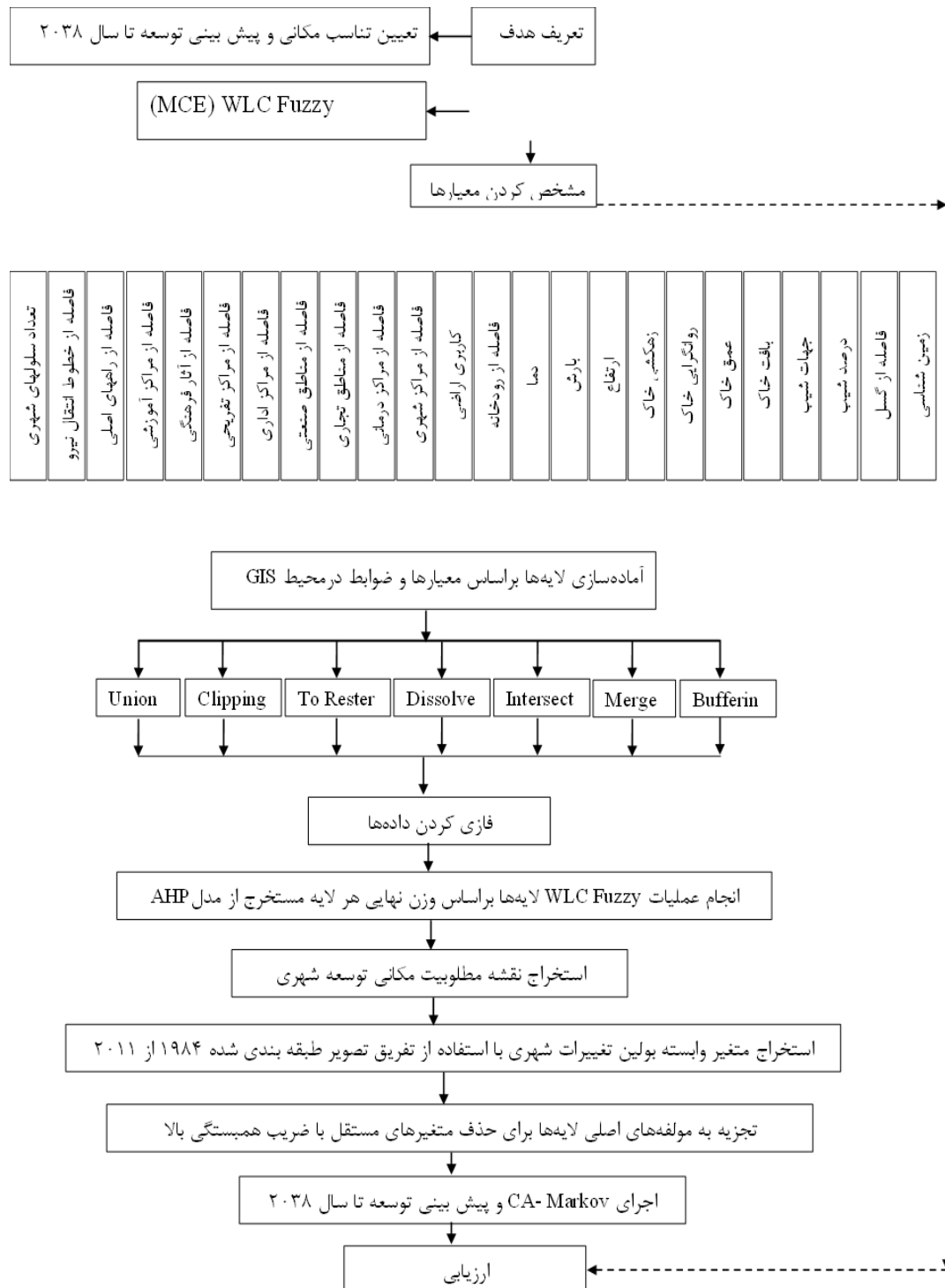
شکل ۱۱- نقشه نهایی درجه‌بندی مطلوبیت اراضی مناسب برای توسعه در کلان‌شهر تبریز بر اساس مدل (MCE WLC Fuzzy) (ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲)

سلول‌های خودکار زنجیره مارکوف

سلول‌های خودکار مدلهایی هستند که در آن سلول‌های مجاور و پیوسته، از قبیل سلول‌هایی که ممکن است شامل شبکه چهارگوش نیز باشند، حالت یا خصیصه‌های آن‌ها را از طریق کاربرد تکراری قوانین ساده تغییر می‌دهند. مدل‌های CA می‌توانند مبتنی بر سلول‌های باشند که در چندین بعد تعریف می‌شوند. قواعد تغییر حالت سلول از یک حالت به حالت دیگر می‌توانند به صورت ترکیباتی از رشد و یا کاهش، از قبیل تغییر به یک سلول توسعه‌یافته و یا بدون توسعه باشند. این تغییر تابع و منبع، تغییراتی است که در سلول مجاور رخ می‌دهد. همسایگی معمولاً به صورت سلول‌های مجاور و یا سلول‌هایی که نزدیک هم هستند، تعریف می‌شوند. این مدل اولین بار به وسیله یک ریاضی‌دان انگلیسی به نام آلن تا رینگ پیشنهاد گردید. به عنوان مثال ساده‌ترین حالت توسعه شهرها رشد پیوسته است. در صورتی که هشت سلول مجاور یک سلول توسعه یابد، سلول مورد نظر نیز توسعه می‌یابد و به رشد خود ادامه می‌دهد. در صورتی که همسایگی کوچک‌تر باشد و فقط سلول‌های شمال، جنوب، غرب و یا شرق توسعه یابند، این توسعه محدودتر می‌شود. مدل‌های CA می‌توانند در بسیاری از نرم‌افزارها اجرا شوند (فردوسی، ۱۳۸۴: ۶۲). مدل‌سازی زنجیره مارکوف اساساً یک تکنیک شبیه‌سازی از تغییر کاربری زمین برای ایجاد ابزاری برای تجسم و پیش‌بینی احتمال‌های تغییر کاربری زمین (احتمال‌های انتقال) در بین طبقات کاربری زمین با سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) ترکیب شده است. تحلیل زنجیره مارکوف به روش‌های تحلیلی فرایندهای احتمالی تعلق دارد. فرایند مارکوف یک فرایند احتمالی با مشخصات خاص است که آن را از دیگر فرایندهای احتمالی تمیز می‌دهد. برای یک سیستم بهره، مجموعه‌ای از حالات گسسته (کلاس‌ها) S_1 و S_2 و ... و S_n (انواع مختلف کاربری زمین) وجود دارد. این فرایند در یک‌زمان معین تنها می‌تواند یکی از این حالات را داشته و به طور پیاپی از یک حالت به حالت دیگر جابجا شود. احتمال این جابه‌جایی به حالت کنونی بستگی داشته و به حالت‌های قبلی بستگی ندارد؛ این یک فرض مشخص مشخصه‌ای از فرایندهای مارکوف است. احتمال جابه‌جایی از حالت i به حالت j احتمال انتقال P_{ij} نامیده می‌شود و برای هر ترتیبی از سری حالات داده می‌شود. این احتمال‌ها می‌تواند به شکل ماتریس انتقال p نشان داده شود.

$$p = \begin{bmatrix} P_{11} & p_{12} & \dots & p_{1n} \\ p_{12} & p_{22} & \dots & p_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{n1} & p_{n2} & \dots & p_{nn} \end{bmatrix}$$

رابطه ۱۰



شکل ۱۲- مدل مفهومی تعیین اراضی مناسب توسعه و پیش بینی تغییرات

(ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲)

از آنجا که عناصر ماتریس غیرمنفی هستند و جمع عناصر در هر ردیف برابر ۱ است، هر عنصر از ماتریس یک بردار احتمال نامیده می شود و ماتریس p یک ماتریس احتمال است. این ایده به راحتی به ناحیه ای که به تعدادی سلول تقسیم شده و هر سلول می تواند توسط یک نوع معین از کاربری زمین در زمان معین اشغال شده، منتقل شود. سپس احتمال های انتقال بر مبنای داده های مشاهده شده در دوره زمانی محاسبه می شود؛ به این طریق که یک سلول از یک نوع کاربری زمین به کاربری زمین دیگری در دوره زمانی آینده تغییر کند (یا حرکت کند) را نشان می دهد. این احتمال تنها به حالتی که سلول در زمان داده شده در آن است، بستگی دارد، یعنی

به حالت کنونی نوع کاربری زمین و به انواع کاربری زمینی که در گذشته اشغال کرده بودند، بستگی ندارد. به‌طور آشکار، توجیه‌پذیری و قابل قبول بودن به فاصله زمانی مورد بررسی بستگی دارد. با فرض ماتریس p احتمال‌های انتقال، کاربرد آن در پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین در آینده به‌صورت زیر است. به یک بردار It که بتواند توزیع کاربری زمین انواع مختلف در آغاز دوره زمانی را به تصویر بکشد، نیاز است. بردار It ، توزیع انواع کاربری زمین در انتهای دوره پیش‌بینی را نشان می‌دهد که توسط فرمول زیر تعیین می‌شود:

$$Lt = I \times P$$

رابطه ۱۱

توزیع انواع کاربری زمین بعد از k دوره زمانی (از یک مدت معین) با به توان رساندن ماتریس p پیدا می‌شود: (رفعیان، ۱۳۸۹: ۳۴۷).

$$= I \times Pk$$

رابطه ۱۲

باتوجه به دوره زمانی قابل تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده (۲۷ سال) با استفاده از مدل زنجیره مارکوف برای ۲۷ سال آتی (یعنی سال ۲۰۳۸) ماتریس‌های مساحت و احتمال با استفاده از تصاویر طبقه‌بندی شده سال ۱۹۸۴ و ۲۰۱۱ محاسبه شد (جدول ۶ و ۷) و به‌عنوان ورودی در مدل سلول‌های خودکار زنجیره مارکوف به همراه متغیر وابسته تغییرات شهری حاصل از تفریق کلاس اراضی ساخته شده در سال‌های ۲۰۱۱-۱۹۸۴ و شش کلاس مطلوبیت کاربری‌ها با رویکرد حفظ شرایط اکولوژیکی سه دهه رشد آتی کلان‌شهر تبریز اجرا شد که نتایج در شکل ۱۳ و جداول ۸ و ۹ آمده است. با نگاهی به ماتریس تغییرات طی سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۸ در صورت استفاده از مناطق مشخص شده برای توسعه مستخرج از این مدل حداقل آسیب‌ها متوجه کلاس کاربری کشاورزی و باغی خواهد بود. لازم به یادآوری است، جمعیت سال ۱۴۱۷ شهرها بر اساس جمعیت سال ۱۳۹۰ و به روش ترکیبی در محیط نرم‌افزار Spectrum محاسبه شده است.

جدول ۵- ماتریس مورد انتظار در انتقال مساحت بین کاربری‌ها

اراضی آبی	اراضی مرتعی	اراضی باغی	اراضی کشاورزی	اراضی ساخته شده	اراضی بایر	سلول‌ها
۵۶۷۷	۱۳۷۶۴۵	۱۹۷۵۷	۱۰۹۷۷۸	۱۹۳۸۰۷	۱۱۶۷۲۴۷	اراضی بایر
۷۴۴۹	۷۴۴۹	۷۴۴۹	۷۴۴۹	۲۱۱۰۵۳	۷۴۴۹	اراضی ساخته شده
۹۴۳	۱۰۸۷	۴۰۲۸	۱۳۴۹۲۹	۲۵۱۸۰	۸۳۷۱۱	اراضی کشاورزی
۲	۵۵۱	۳۱۸۳۴	۴۳۸۰	۲۲۵۵۶	۱۴۶۰۴	اراضی باغی
۸	۱۱۵۲۸۶	۱۲۰۴	۹۳	۳۱۰۳	۱۲۰۱۲۶	اراضی مرتعی
۱۷۹۱	۰	۸۰	۱۴۱۰	۵۱۷	۲۷۳۲	اراضی آبی

(منبع: تحقیقات نگارندگان: ۱۴۰۲)

جدول ۶- ماتریس احتمال تغییرات بین کاربری‌ها

اراضی آبی	اراضی مرتعی	اراضی باغی	اراضی کشاورزی	اراضی ساخته شده	اراضی بایر	سلول‌ها
۰/۰۰۳۵	۰/۰۸۴۲	۰/۰۱۲۱	۰/۰۶۷۲	۰/۱۱۸۶	۰/۷۱۴۴	اراضی بایر
۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۸۵	۰/۰۰۳	اراضی ساخته شده
۰/۰۰۳۸	۰/۰۰۴۳	۰/۰۱۶۱	۰/۰۵۴	۰/۱۰۰۸	۰/۰۳۳۵	اراضی کشاورزی
۰	۰/۰۰۷۵	۰/۴۳۰۶	۰/۰۵۹۲	۰/۳۰۵۱	۰/۱۹۷۵	اراضی باغی
۰	۱۵۲۸۶/۱	۲۰۴/۱	۳/۹	۱۰۳/۳	۲۰۱۲۶/۱	اراضی مرتعی
۰/۲۷۴۲	۰	۰/۰۱۲۲	۰/۲۱۶	۰/۰۷۹۱	۰/۴۱۸۴	اراضی آبی

(منبع: تحقیقات نگارندگان: ۱۴۰۲)

جدول ۷- تغییرات سطح کاربری اراضی ساخته شده و جمعیت کلان شهر تبریز

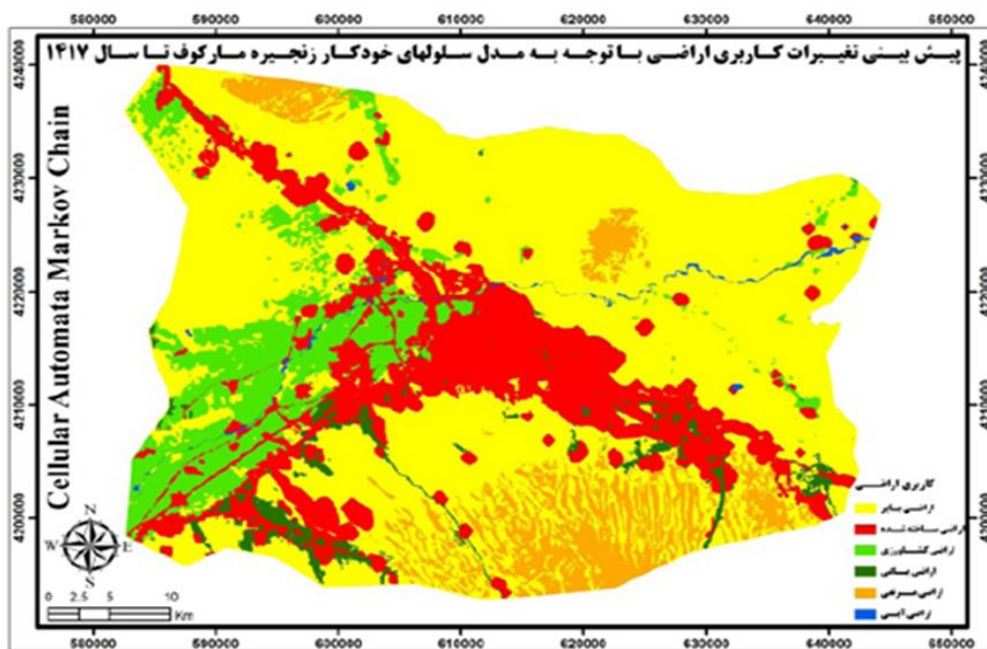
سال	۱۳۶۳(1984)		۱۳۶۹(1990)		۱۳۷۹(2000)		۱۳۹۰(2011)		۱۴۱۷(2038)	
	مساحت	جمعیت	مساحت	جمعیت	مساحت	جمعیت	مساحت	جمعیت	مساحت	جمعیت
تبریز	۵۹۳۱/۹۹	۱۰۶۵۴۸۴	۶۸۵۱/۰۷	۱۲۷۳۸۵۰	۱۱۰۲۳/۹۷	۱۴۹۴۹۹۸	۱۵۵۸۹	۱۴۹۴۹۹۸	۲۸۵۶۹/۹۸	۱۹۰۵۲۴۰
باسمنج	۳۲/۳۱	۸۰۶۶	۴۳/۰۲	۰۵۴۹	۱۱۱/۰۹	۱۱۱۹۰	۲۱۲/۲۶	۱۱۱۹۰	۱۲۷۳/۴۶	۱۴۰۸۱
سردرود	۶۳/۰۹	۱۴۸۹۲	۸۶/۵۸	۱۹۸۸۳	۱۴۳/۲۵	۲۶۸۵۶	۲۴۳/۶۷	۲۶۸۵۶	۶۷۲/۶۳	۳۴۸۴۳
خسروشهر	۱۲۵/۸۲	۱۰۶۷۲	۱۲۶/۶۳	۱۲۴۷۲	۲۳۵/۷۷	۱۲۴۴۷	۴۲۶/۱۱	۱۲۴۴۷	۱۱۰۲/۴۹	۱۵۴۷۸
صوفیان	۱۲۳/۹۳	۷۴۳۳	۱۲۳/۹۳	۸۴۷۴	۱۴۵/۲۳	۹۱۲۶	۱۶۲/۹۵	۹۱۲۶	۳۶۸/۱۹	۱۲۲۵۵
خواجه	۹/۵۴	۴۰۷۰	۹/۵۴	۳۹۶۹	۱۰/۵۳	۳۸۰۱	۳۶/۹۹	۳۸۰۱	۲۱۶/۸۸	۳۸۴۲
ایلخچی	۸۰/۰۱	۹۰۹۶	۸۰/۱۹	۱۱۸۰۳	۱۶۶/۷۳	۱۵۲۳۱	۲۳۶/۷۷	۱۵۲۳۱	۹۷۲/۸۰	۱۶۹۱۷
اسکو	۸۸/۱۱	۱۴۲۷۳	۸۸/۱۱	۱۵۱۳۵	۲۱۶/۶۳	۱۲۳۳۲	۴۲۸/۸۲	۱۲۳۳۲	۸۵۶/۵۳	۱۴۹۹۸
سهند	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵۷۹/۷۵	۰	۲۲۲۸/۰۵	۳۶۸۰۳

(منبع: نگارندگان بر اساس پردازش تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۲۰۱۱-۱۹۸۴ و سرشماری مرکز آمار ایران)

جدول ۸- مقایسه تغییرات کاربری و پوشش اراضی بر اساس تصاویر طبقه‌بندی شده ۲۰۳۸-۲۰۱۱

مجموع کلاس‌ها	اراضی آبی	اراضی مرتعی	اراضی باغی	اراضی کشاورزی	اراضی ساخته شده	اراضی بایر
اراضی بایر	۱۱۸۶۰۵/۴۲	۳۸۴/۸۴	۱۲۹۴/۶۵	۸۵۱/۸۵	۷۱۳۲/۶۸	۱۵۸/۲۲
اراضی ساخته شده	۱۶۸۹۳/۲۷	۲۱۱۴۳/۹۷	۱۸۱۴/۹۴	۱۸۹۱/۸۹	۳۸۵/۵۶	۳۷/۶۲
اراضی کشاورزی	۴۴۴۰/۳۴	۳۵۱/۴۵	۱۹۰۸۹/۹۹	۱۲۷/۳۵	۳۳/۷۵	۱۲۰/۱۵
اراضی باغی	۱۴۳۷/۳۰	۴۰۰/۷۷	۳۷۱۴۳	۳۷۴۲/۹۲	۴۷/۸۸	۵/۵۸
اراضی مرتعی	۴۹۷۲/۴۱	۶/۶۶	۱۸/۹۹	۲۸/۹۸	۱۳۹۷۱/۵۱	۰/۶۳
اراضی آبی	۵۷۹/۰۶	۴۹/۶۸	۱۱۶/۲۸	۵/۷۶	۰/۴۵	۲۶۵/۰۵
مجموع کلاس‌ها	۱۴۷۰۴۷/۱۳	۲۲۳۴۶/۸۲	۲۲۴۸۹/۰۲	۶۶۵۳/۴۳	۲۱۵۸۳/۸۰	۵۸۷/۷۰
تغییرات کلاس	۲۸۴۴۱/۷۱	۱۲۰۲/۸۲	۳۳۹۹/۰۳	۲۹۱۰/۵۱	۷۶۱۲/۲۹	۳۲۲/۶۵
تفریق تصاویر	-۱۸۵۶۰/۶۱	۰۵۱۹۸۲۲	۱۶۷۵/۷۱	-۸۷۵/۳۴	۲۵۸۳/۰۹	-۴۲۸/۵۸

(منبع: تحقیقات نگارندگان، ۱۴۰۲)



شکل ۱۳- پیش بینی تغییرات کاربری اراضی با توجه به مدل سلول‌های خودکار زنجیره مارکوف در کلان شهر تبریز

(ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲)

نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها

در این مقاله ابتدا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست سنجنده TM و ETM+ در طی دوره ۲۷ ساله از سال ۱۳۶۳ تا ۱۳۹۰ در کلان‌شهر تبریز تغییرات کاربری اراضی با روش شیء‌گرا و ماتریس CrossTab ارزیابی شد. نتایج حاکی از آن است که منطقه مورد مطالعه در سال ۱۳۶۳ در حدود ۷۲۲۰/۳۴ هکتار کاربری اراضی ساخته شده داشته است که این مقدار در سال ۱۳۹۰ به حدود ۲۲۳۴۶/۸۲ هکتار افزایش یافته است. با توجه به اینکه جمعیت کلان‌شهر تبریز (تبریز، شهرهای اقماری) در سال ۱۳۶۳ نزدیک به ۹۵۷ هزار و ۳۱۰ نفر بوده و در سال ۱۳۹۰ به یک میلیون و ۳۳۶ هزار نفر رسیده است، تراکم در شهر تبریز به‌عنوان شهر مرکزی در طی همین سال، از ۱۵۱ نفر در هکتار به ۹۶ نفر کاهش یافته است. کاهش تراکم یکی از عواملی است که منجر به پدیده گسترده‌تری شهری و به تبع آن تغییرات کاربری‌ها شده که این مسئله را در کاهش اراضی باغی و کشاورزی به میزان ۶۴۷۰/۰۱ هکتار در نتیجه گسترش افقی بوده است. اکثر شهرهای ایران، در مراحل اولیه شکل‌گیری با هدف استفاده از خاک‌های مرغوب به منظور زراعت، در میان اراضی زراعی استقرار یافته‌اند و به‌مرور زمان همراه با گسترش روستاها و تبدیل آن‌ها به شهر و سپس توسعه شهرها، اراضی مرغوب زیر پیکر شهرها مدفون شده و بالطبع بخش وسیعی از بهترین و با ارزش‌ترین اراضی بلافصل شهرها به زیر ساخت‌وساز رفته است. برای جلوگیری از این مسئله با استفاده از تکنیک تحلیل چندمعیاره ترکیب خطی وزن‌دار نقشه مطلوبیت مکانی توسعه شهری با استفاده از بیست‌و‌چهار عامل شناسایی و تعیین گردید و سپس با استفاده از مدل سلول‌های خودکار زنجیره مارکوف برای ۲۷ سال آتی، روند توسعه فیزیکی کلان‌شهر تبریز استخراج شد. با نگاهی به ماتریس تغییرات و نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۳۸ مشخص می‌شود، در صورت استفاده از نتایج این تحقیق کمترین آسیب‌ها متوجه کاربری باغات و کشاورزی در دهه‌های آتی خواهد بود؛ بنابراین راهکار افزایش فشردگی کالبدی و استفاده از شیوه‌های مربوط به آن به منظور هدایت توسعه کلان‌شهر تبریز به سمت پایداری بیشتر، باید در دستور کار برنامه‌ریزان و متولیان امور شهری قرار گیرد. در واقع بی‌توجهی به ضوابط و مقررات گسترش کالبدی - فضایی شهر در سال‌های اخیر، به‌خصوص ۳۰ سال گذشته، مایه نابودی اراضی کشاورزی یا تبدیل عامدانه آن‌ها به کاربری بایر شهری و سپس به کاربری‌های ساخته شده، گردیده است. با مشخص شدن نوع الگوی توسعه کلان‌شهر تبریز و تأثیر آن بر زمین‌های کشاورزی، پیشنهاد می‌شود به منظور کاهش پراکنش افقی این شهر و در نتیجه کاهش مشکلات ناشی از آن نظارت بیشتر بر محدوده‌های شهری، استفاده از شیوه‌های انبوه‌سازی و بلندمرتبه‌سازی (شهر فشرده)، استفاده از زمین‌های بایر و خالی موجود در داخل شهر (توسعه میان‌افزار)، هدایت سمت توسعه شهر در جهاتی غیر از زمین‌های کشاورزی در اولویت دست‌اندرکاران مدیریت کلان‌شهر تبریز باشد.

منابع

- اصغری سراسکانرود، صیاد؛ ریاحی نیا، مریم. (۱۳۹۹). پتانسیل یابی منابع آب زمینی در دشت خرم‌آباد با استفاده از روش منطق فازی و شبکه عصبی مصنوعی، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال نهم، شماره ۲، پائیز ۱۳۹۹، صص ۱۵۸-۱۴۱. [gmpj.2020.11823](https://www.geomorphologyjournal.ir/article_118230.html)
- بحرینی، حسین. (۱۳۹۸). تهران چگونه شهری است و چه باید باشد؟، مجله محیط شناسی؛ شماره ۱۵: ویژه‌نامه تهران. <https://civilica.com/doc/1577687>
- بریاوسولیس، هلن. (۱۳۸۹). الگوهای تحلیلی تغییر کاربری زمین؛ ترجمه رفیعان محتبی، محمودی مهران؛ انتشارات آذرخش؛ تهران.
- پورمحمدی، محمدرضا؛ جمالی، فیروز؛ اصغری زمانی، اکبر. (۱۳۹۷). ارزیابی و پیش‌بینی گسترش فضایی - کالبدی شهرهای ایران، مطالعه موردی شهر زنجان، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۳، بهار ۱۳۹۷، صص ۲۹-۴۶. <https://www.sid.ir/paper/5586/14>
- حیدری مظفر، مرتضی؛ شهواند، مرتضی. (۱۴۰۰). پهنه بندی دشت کویر آهنگ به منظور احداث سد زیرزمینی به روش ترکیب نقشه‌های فازی، فصلنامه اطلاعات جغرافیایی، دوره ۳۰، شماره ۱۱۷، بهار ۱۴۰۰. [20.1001.1.25883860.1400.30.117.7.4](https://doi.org/10.22131/sepehr.2021.244453)
- خورشیدی علی کردی، محمدصادق؛ حقیقت، معصومه؛ طالب بیدختی، ناصر؛ نیکو، محمدرضا. (۱۳۹۸). مدل حل اختلاف چند هدفه‌ی بهره برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی بر مبنای رویکرد برنامه ریزی آرمانی، مجله مهندسی منابع آب، سال دوازدهم، شماره ۴۳، صص: ۱۳۱-۱۵۱. <https://sid.ir/paper/169566/fa>
- رستمی، رحیمه؛ باقری، میلاد؛ ارگانی، میثم؛ حسن‌وند، مصطفی. (۱۳۹۸). ارزیابی پتانسیل و الگوی رشد بهینه شهر تبریز مبتنی بر استفاده از شبکه‌های عصبی، پژوهش‌های جغرافیایی انسانی، دوره ۵۱، شماره ۳، پائیز ۱۳۹۸، صص ۷۳۱-۷۴۵. [10.22059/jhgr.2019.275737.1007860](https://doi.org/10.22059/jhgr.2019.275737.1007860)

رسولی، علی اکبر؛ محمودزاده، حسن. (۱۳۸۹). مبانی سنجش از دور دانش پایه، انتشارات علیمان؛ ۱۹۲.

روهینا، آیت؛ احمدی، حسن؛ معینی، ابوالفضل؛ شهریور، عبدال. (۱۳۹۹). مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی با استفاده از منطق بولین و روش ahp در آبخیز امام زاده جعفر گجساران، فصلنامه پژوهش‌های آبخیزداری، دوره ۳۳، شماره ۴، شماره پیاپی ۱۲۹، زمستان ۱۳۹۹، ص ۱۶-۲.

https://wmrj.areeo.ac.ir/article_121795.html. 10.22092/wmej.2020.126600.1228

شکوئی، حسین. (۱۳۷۳). دیدگاه‌های نو در جغرافیای شهری، انتشارات سمت؛ ۵۶۸.

شهبابی، هیمین؛ نیازی، چیا. (۱۳۹۸). بررسی فاکتورهای موثر در مکان‌یابی ایستگاه‌های امداد و نجات جاده سقز - سنندج با استفاده از مدل ترکیب خط وزنی، همایش ژئوماتیک ۸۸، تهران. <https://www.sid.ir/paper/463396/fa>

شبهه، اسماعیل. (۱۳۸۹). مقدمه‌ای بر مبانی برنامه‌ریزی شهری، انتشارات دانشگاه علم و صنعت؛ ۲۴۰.

عقیفی، محمد ابراهیم؛ سهرابی، وحید. (۱۴۰۱). ارزیابی وضعیت بیابان زایی در دشت شهر بابک با استفاده از مدل مدالوس و داده‌های سنجش از دور، فصلنامه اکو سیستم‌های طبیعی ایران، دوره ۱۴، شماره ۱، شماره پیاپی ۵۱، خرداد ۱۴۰۲، ش ۵۹-۳۸.

<https://sanad.iau.ir/fa/Article/983390?FullText=FullText>

عقیفی، محمد ابراهیم؛ سهرابی، وحید. (۱۴۰۱). پایش یخچال‌های اشتراک‌نکوه حوضه آبریز گهر لرستان و ارتباط آن با کاهش پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر modis و شاخص ndsi بین سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۵، فصلنامه اکو سیستم‌های طبیعی ایران، دوره ۱۳، شماره ۳، پیاپی ۴۹، ص ۷۵-۵۸.

<https://sanad.iau.ir/journal/nei/Article/700854?jid=700854>

علمرادی، هژیر؛ روحی مقدم، عین اله؛ خالقی، مهسا؛ بامری، ابوالفضل. (۱۴۰۱). پیش‌بینی و پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از مدل‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS و روش‌های یادگیری ماشین (مطالعه موردی: دشت زاهدان)، فصلنامه هیدرولوژی، سال هفتم، شماره ۲، زمستان ۱۴۰۱. <https://www.sid.ir/paper/1053702/fa>. 10.22034/hydro.2022.48571.1250.

علی نژاد، خلیل؛ عقیفی، محمد ابراهیم؛ موغلی، مرضیه. (۱۴۰۱). ارزیابی زیست محیطی بیابان زایی در حوضه آبخیز شهر اصفهان با استفاده از مدالوس و داده‌های سنجش از دور، فصلنامه کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در برنامه‌ریزی، دوره ۱۳، شماره ۴، شماره پیاپی ۵۰، اسفند ۱۴۰۱، ش ۲۲-۴۲. <https://sanad.iau.ir/journal/gisrs/Article/703787?jid=703787>

فردوسی، بهرام. (۱۳۹۹). امکان سنجی و کاربرد سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری در توسعه فیزیکی شهر، نمونه موردی شهر سنندج، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم انسانی دانشگاه تربیت مدرس.

کامیاب، حمیدرضا؛ ماهینی عبدالرسول سلمان؛ حسینی سید محسن؛ مهدی غلامعلی فرد. (۱۴۰۰). اتخاذ رهیافت اطلاعات محور با کاربرد روش رگرسیون لجستیک برای مدل‌سازی توسعه شهری گرگان، فصلنامه محیط‌شناسی، شماره ۵۴، تابستان ۱۴۰۰. https://jes.ut.ac.ir/article_21477.html

مالجفسکی، ی. (۱۴۰۰). سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چند معیاری، ترجمه اکبر پرهیزکار، عطا غفاری گیلانده، انتشارات سمت، تهران.

مهندسین مشاور معماری و شهرسازی زیستا. (۱۴۰۰). طرح مجموعه شهری تبریز، وزارت مسکن و شهرسازی، سازمان مسکن و شهرسازی استان آذربایجان شرقی.

ویلیامز کاتی؛ برتون الزابت؛ جنکنز مایک. (۱۳۹۹). دستیابی به شکل پایدار شهری (شکل پایداری و حمل و نقل)؛ ترجمه واراژ مرادی مسیحی؛ شرکت پردازش و برنامه‌ریزی شهری؛ تهران.

References:

- Afifi, Mohammad Ibrahim, Sohrabi, Vahid (2022), Evaluation of desertification status in the ShahrBabak plain using the Medawos model and remote sensing data, Iranian Natural Ecosystems Quarterly, Volume 14, Number 1, Issue 51, May 2022, pp. 38-59. [In Persian] <https://sanad.iau.ir/fa/Article/983390?FullText=FullText>
- Afifi, Mohammad Ibrahim, Sohrabi, Vahid (2022), Monitoring the glaciers of the Gahar Lorestani basin and its relationship with vegetation cover reduction using modis images and ndsi index between 2001-2016, Iranian Natural Ecosystems Quarterly, Volume 13, Number 3, Issue 49, 2021, pp. 58-75. [In Persian] <https://sanad.iau.ir/journal/nei/Article/700854?jid=700854>
- Ali Nezhad, Khalil, Afifi, Mohammad Ibrahim, Moghli, Marzieh (2022), Environmental assessment of desertification in the Isfahan watershed using Medawos and remote sensing data, Journal of Geographic Information Systems and Remote Sensing in Planning, Volume 13, Number 4, Issue 50, March 2022, pp. 42-22. [In Persian] <https://sanad.iau.ir/journal/gisrs/Article/703787?jid=703787>
- Almoradi, Hejir, Rouhimeh, Aynollah, Khalkhi, Mahsa, Bamri, Abolfazl (2022), Prediction and zoning of groundwater quality using GIS geographic information system models and machine learning methods (case study: Zahedan plain), Hydrology Quarterly, Volume 7, Number 2, Winter 2022. [In Persian] <https://www.sid.ir/paper/1053702/fa>
- Anderson, W.P; Kanaroglou, P.S; Miller, E.J. (2021) urban form, energy and the environment: a review of issues, evidence and policy; Urban Studies; 33 (1), 7-35. <https://ideas.repec.org/a/sae/urbstu/v33y1996i1p7-35.html>
- Asghari Saraskanrood, Sayyad, Riyahi Nia, Maryam (2020), Groundwater resource potential in Khorramabad plain using fuzzy logic and artificial neural network, Quantitative Geomorphological Research, Volume 9,

- Number 2, Fall 2020. **[In Persian]** https://www.geomorphologyjournal.ir/article_118230.html
- Bahreini, Hossein (2019); How is Tehran a city and what should it be? Environmental Science Magazine; Number 15: Tehran Special Issue. **[In Persian]** <https://civilica.com/doc/1577687/>
- Benz, U.C., Hoffmann, P., Willhauck, G., Lingenfelder, I. & Heynen, M. (2019). Multi-resolution, objectoriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. ISPRS Journal of photogrammetry and Remote Sensing 58: 239-258. <https://www.researchgate.net/publication/>
- Bhatta, B (2019); Analysis of Urban Growth and Sprawl from Remote Sensing; DataSpringer; London; p 191.
- Bogart, W. (2019). Don't Call It Sprawl: Metropolitan Structure in the 21 st Century; New York: Cambridg Unoversity Press. 196 pp Definiens Professional RefrenceBook. Definiens AG, (2006), D-80339 München Germany.
- Briassoulis, Helen (2010); Analytical models of land use change; Translated by Rafieyan Mojtaba, Mahmoudi Mehran; Azarkhsh Publications; Tehran. Rasouli, Ali Akbar; Mahmoudzadeh, Hassan (2010); Fundamentals of remote sensing, Alimran Publications; 192. **[In Persian]**
- E. Holden., (2004). Ecological footprints and sustainable urban form, Journal of Housing and Built Environment. No 19. Pp. 91-109. [https://www.researchgate.net/publication/226423712 Ecological footprints and sustainable urban for m](https://www.researchgate.net/publication/226423712_Ecological_footprints_and_sustainable_urban_for_m)
- Ferdowsi, Bahram (2020), Feasibility and application of decision support system in physical development of the city, a case study of Sanandaj city, Master's thesis in Geography and Urban Planning, Faculty of Humanities, Tarbiat Modares University. **[In Persian]**
- Geotge Zian, Mike Crane. (2015). Assessments of urban growth in the Tampa Bay watershed using remote sensing data, Journal of Remote Sensing of Environment. No 97. Pp. 203-215 . [https://www.researchgate.net/publication/223469168 Assessment of Urban Growth in Tampa Bay Water shed Using Remote Sensing Data](https://www.researchgate.net/publication/223469168_Assessment_of_Urban_Growth_in_Tampa_Bay_Water_shed_Using_Remote_Sensing_Data)
- Heydari Mozaffar, Morteza, Shahavand, Morteza (2021), Classification of the Kobtar Ahang plain for the construction of an underground dam using a combination of fuzzy maps, Geographic Information Quarterly, Volume 30, Number 117, Spring 2021. **[In Persian]** <https://doi.org/10.22131/sepehr.2021.244453>
- Hwang, H. 2019. Web-based multi-attribute analysis model for engineernig project evaluation, Journal of Computer & industrial engineering. No 46. Vol 46, Issue 4, July, PP 669-678. [https://www.researchgate.net/publication/222701637 Web-based multi-attribute analysis model for make-or-buy decisions](https://www.researchgate.net/publication/222701637_Web-based_multi-attribute_analysis_model_for_make-or-buy_decisions)
- Jamal Joker Arsanjania, Marco Helbich, Wolfgang Kainz, Ali Darvishi Boloorani. (2012). Integration of logistic regression, Markov chain and cellular automata models to simulate urban expansion, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. No 21. Pp. 265-275. [https://www.researchgate.net/publication/257129056 Integration of logistic regression Markov chain and cellular automata models to simulate urban expansion](https://www.researchgate.net/publication/257129056_Integration_of_logistic_regression_Markov_chain_and_cellular_automata_models_to_simulate_urban_expansion)
- Jian-zhou Gong, Yan-sui Liu, Bei-cheng Xia, Guan-wei Zhao. (2019). Urban ecological secutity assessment and forecasting, based on a cellular automata model: A case study of Guangzhou, China, Journal of Ecological Modelling. No 220. Pp. 3612-3620. [https://www.researchgate.net/publication/317612180 Urban Ecological Security Simulation and Prediction Using an Improved Cellular Automata CA ApproachA Case Study for the City of Wuhan in China](https://www.researchgate.net/publication/317612180_Urban_Ecological_Security_Simulation_and_Prediction_Using_an_Improved_Cellular_Automata_CA_ApproachA_Case_Study_for_the_City_of_Wuhan_in_China)
- José I. Barrodo, Luca Demicheli. (2013). Urban sustainability in developing countries' megacities: modelling and predicting futture urban groeth in Lagos, Journal of Urban sustainability in developing countries' megacities. No 5. Pp. 297-310. [https://www.researchgate.net/publication/222676443 Urban sustainability in developing countries%27 megacities Modelling and predicting future urban growth in Lagos](https://www.researchgate.net/publication/222676443_Urban_sustainability_in_developing_countries%27_megacities_Modelling_and_predicting_future_urban_growth_in_Lagos)
- Kamyab, Hamid Reza; Mahini, Abdolrasoul Salman; Hosseini, Seyed Mohsen; Mahdi Gholamali Fard (2021), Adopting an information-based approach using logistic regression method for urban development modeling in Gorgan, Environmental Science Quarterly, Number 54, Summer 2021. **[In Persian]** https://jes.ut.ac.ir/article_21477.html
- Khorshidi, Ali Kordi, Mohammad Sadegh, Haqiqat, Ma'soumeh, Taleb Bidakhti, Naser, Nikoo, Mohammad Reza (2019), A multi-objective conflict resolution model for integrated surface and groundwater resources management based on ideal planning approach, Water Resources Engineering Journal, Volume 12, Number 43, pp: 131-151. **[In Persian]** [SID. https://sid.ir/paper/169566/fa](https://sid.ir/paper/169566/fa).
- Malchewski, Y., 2021. Geographic Information System and Multi-Criteria Decision Analysis, translated by Akbar Parhizkar, Ata Ghaffari Gilandeh, Samt Publications, Tehran. Zista Architectural and Urban Planning Consultants, 2021. Tabriz urban complex plan, Ministry of Housing and Urban Development, East Azerbaijan Housing and Urban Development Organization. **[In Persian]**

- Nancy E. McIntyre, K. Knowles-Yáñez, and D. Hope. (2017). Urban Ecology as an Interdisciplinary Field: Difference in the use of “Urban” Between the Social and Natural Sciences, *Journal of Urban Ecosystems*. No 4. Pp. 5-24.
- Poumohammadi, Mohammad Reza, Jamali, Firouz, Asghari Zamani, Akbar (2018), Evaluation and prediction of spatial-physical expansion of Iranian cities, a case study of Zanzan city, *Geographical Research*, Number 63, Spring 2018, pp. 29-46. **[In Persian]** <https://www.sid.ir/paper/5586/14>
- Rohina, Ayat, Ahmadi, Hassan, Moeini, Abolfazl, Shahrivar, Abdul (2020), Suitable areas for the construction of underground dams using Boolean logic and AHP method in the Imamzadeh Jafar Gachsaran watershed, *Watershed Research Quarterly*, Volume 33, Number 4, Winter 2020. **[In Persian]** https://wmrj.areeo.ac.ir/article_121795.html
- Rostami, Rahimeh, Bagheri, Milad, Organi, Meysam, Hasanvand, Mostafa (2019), Evaluation of potential and optimal growth pattern of Tabriz city based on the use of neural networks, *Human Geography Research*, Volume 51, Number 3, Fall 2019. **[In Persian]** [10.22059/jhgr.2019.275737.1007860](https://doi.org/10.22059/jhgr.2019.275737.1007860)
- Shahabi, Haiman; Niazi, Chia (2019); Investigating effective factors in locating rescue stations on the Saqqez-Sanandaj road using a combined weighted line model, *Geomatics 88 Conference*, Tehran. **[In Persian]** <https://www.sid.ir/paper/463396/fa>
- Shakui, Hossein (1994); *New perspectives in urban geography*, Samt Publications; 568. **[In Persian]**
- Shi'a, Ismail (2010); *An introduction to urban planning principles*, University of Science and Technology Publications; 240. **[In Persian]**
- Sudhira, H.S; Ramachandra, T.V (2017). Characterising Urban Sprawl from Remote Sensing Data and Using Landscape Metrics; 10th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management, Iguassu Falls, PR Brazil, July 11-13. https://www.researchgate.net/publication/237590571_Characterising_urban_sprawl_from_remote_sensing_data_and_using_landscape_metrics
- Tolga, E., Demircan, L., Kahraman, C.2015. Operating system selection using fuzzy replacement analysis and analytic hierarchy process, *Journal Production economics*. No 97. Vol 97, Issue 1, 18 July, PP 89-117. https://www.researchgate.net/publication/223395472_Operating_system_selection_using_fuzzy_replacement_analysis_and_analytic_hierarchy_process
- Williams, Cathy; Elizabeth Burton; Mike Jenkins (2020); *Achieving Sustainable Urban Form (Sustainability and Transportation)*; Translated by Vara Moradi Masih; Urban Processing and Planning Company; Tehran. **[In Persian]**
- Yu, C. (2012). A GP-AHP method for solving group decision-making fuzzy AHP problems, *Journal of Computer & Operation Research*. No 29, Issue 14, December, PP 1969-2012 https://www.researchgate.net/publication/220306350_Use_of_fuzzy_AHP_for_evaluating_the_benefits_of_information-sharing_decisions_in_a_supply_chain