



An Evaluation of Physical Development of Sahand New Town by Using of Artificial Neural Network

Abolfazl Ghanbari ^{✉1}, Mir Hossein Pourbagher ²

1. Corresponding author, Associate Professor, Dept. of R.S & GIS, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

E-mail. a_ghanbari@tabrizu.ac.ir

2. M. A. Student in R.S & GIS. University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: poorbagher_mhp@yahoo.com.

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 24 January 2023

Revised : 11 February 2023

Accepted: 26 February 2023

Published: 21 July 2024

Keywords:

Physical Development,
Satellite Images,
Google Earth Engine,
Artificial Neural Network.

ABSTRACT

Dynamics is one of the undeniable features of cities that compels city managers to plan. Leading research has examined the physical development of Sahand city from a quantitative perspective. One of the factors encouraging the physical growth and development of cities is population growth. Sahand city, as a relatively new city, has been able to quickly become the third most populous city in East Azerbaijan province. One of the important points of the present study is to investigate the relationship between the physical development of the city with the process of real estate transactions and the combination of remote sensing data and GIS. In this study, using images of Landsat-8, Landsat-7 and Sentinel-2 satellites in the coding environment of Google Earth Engine, their uses and changes during the two periods before and after urbanization (from 2000 to 2008 and from 2008 to 2019) will be categorized and then the next five-year development forecast of Sahand city (until 2025) will be made. Perceptron multilayer artificial neural network (MLP) method has been used as a method for predicting spatial multi-criteria decision making (MCDM). The independent variables used in the present study in predicting the physical development of the city are land price, type of use, slope, slope direction, altitude, distance from urban areas, distance from waterway network, distance from fault, distance from network Passages (main and secondary). The results of classification of satellite images showed that the physical development of Sahand new city has been done in order to turn barren lands into urban land. In addition, physical development was built to turn cheaper land into areas. The built lands have been greatly developed and from 64,155 square meters in 2000 to 682,192 square meters in 2019. Among the image classification methods for land use extraction, the SVM method was the best method and also the Sentinel-2 satellite images had the highest accuracy. The multilayer perceptron artificial neural network was used to predict the future physical development of the new city of Sahand, which according to studies, the development is predicted in directions that are based on the cheapness of the land and the limitations. Geomorphological is like slope and altitude.

Cite this article: Last Name, Initial., Last Name, Initial., & Last Name, Initial. (2024). Title of paper in lower case letters (except for initial letter of first word, initial of first word after a colon, and proper nouns). *Journal of Geography and Planning*, 28 (90), 283-304. <http://doi.org/10.22034/GP.2023.55084.3093>



Introduction

Protecting the natural environment today is a necessary and undeniable thing that is everyone's responsibility. On the other hand, meeting the society's need for housing and the industries' need for large lands indicates the continuous development of urban lands and conflicts with natural boundaries, which is also a necessary and undeniable matter. In order to manage the growing population of Tabriz metropolis and create employment, organize housing and improve the quality of life of citizens and improve the environmental conditions, the new city of Sahand was approved by the High Council of Architecture and Urban Planning. According to the location of Sahand city and its location along the Tabriz-Azershahr axis, the major industries of machine building, tractor manufacturing, engine manufacturers, Tabriz refinery and power plants and petrochemicals are also located in this axis, therefore, the development of Sahand city in this direction can solve problems create a major Paying attention to the fact that the location of the new city of Sahand is on the path of the important industries of Tabriz city and in the vicinity of the main road from Tabriz to Azarshahr doubles the importance of analyzing the geographical directions of the future development of this city. Despite the fact that proximity to industries and access to transportation axes can be considered a positive point in economic development, physical development without a plan and without considering natural and human criteria can be a problem in resource management and population control for officials and It created many basic problems for the planners. On the other hand, considering that the new city of Sahand has been created to adjust the population and prevent the density and rapid growth of the population in Tabriz metropolis, therefore, it is necessary to measure the dimensions of its physical development and to prevent its uneven growth. Necessary measures should be taken. Paying attention to the ever-increasing physical space of the city and the problems caused by this issue will be a problem for city officials and managers in the not-so-distant future. Advancement in methods and redundancy of spatial data has provided a suitable field for researchers and city managers for advanced analysis and analysis. The upcoming research has examined the physical development of Sahand city from quantitative dimensions.

Data and Method

The selection of criteria for the evaluation of the physical development of the city has been done according to the opinion of the experts, as well as a library search in various sources, and the use of real data related to the price of land in the administrative, commercial and residential sectors in the study area is one of the aspects. The difference between this research and other studies in this field is that one of the important points of this research is to examine the relationship between the physical development of the city and the process of real estate transactions and the combination of remote sensing data and geographic information system. In this research, using Landsat-8, Landsat-7 and Sentinel-2 satellite images in the Google Earth Engine coding environment, the uses and their changes during two periods before and after urbanization (from 2000 to 2008 and from 2008 to 2019) were categorized and then the future development of Sahand was predicted. Multilayer perceptron (MLP) artificial neural network method has been used as one of the spatial multi-criteria decision making (MCDM) methods for prediction. The independent variables used in this research in predicting the physical development of the city are: land price, land use type, slope, slope direction, height, distance from urban areas, distance from waterway network, distance from fault, distance from network. Passages (main and secondary).

Results and Discussion

In this research, the MLP method is used to investigate the physical development of the new city of Sahand. For this purpose, the new version of IDRISI Selva software called TerrSet was used. Independent variables and dependent variables, there are some effective parameters in the final result, which can be referred to the stopping conditions of the neural network. These items include the number of training repetitions, expected error, sigmoid or linear function, number of hidden layers (which will be either 1 or two in this software), number of nodes for each layer. The final result of this process is a raster layer in which areas prone to urban physical development are classified in a phased manner between zero and one. Considering that in order to obtain the required data, it was necessary to extract the land use map of the study area, this was obtained by using satellite image processing. To check and evaluate the accuracy of the classification results, the indices of overall accuracy, user accuracy, producer accuracy and Kappa coefficient have been used. In the process of weighting the criteria, after obtaining the weight of all the criteria, it was found that the land price factor, which is used as an innovative factor in this research, has the most importance in the physical development of the city, and its weight is equal to 0.3956, while the distance from the drainage networks has the least importance compared to other sub-criteria. When comparing all sub-criteria with each other, the inconsistency rate was equal to 0.07336, which shows the high accuracy of the comparisons and the compatibility of the ranking for the purpose of pairwise comparisons.

In the data fuzzification process, which was done in order to make the units of sub-criteria equal to each other, all the layers were divided between 0 and 1 using the Fuzzy Membership command. In this research, the linear function was used to divide the fuzzy degrees among the classes of each layer. Among the criteria used in this research, the layers are fuzzy based on the importance of proximity and distance from the determined thresholds. degrees of fuzzy membership, type of function, type of line slope for a linear function are the most important parameters of this section that influence the final results. The use of common methods in the geographic information system to measure and evaluate the state of physical development of cities is always developing and experts are looking for the best method for this purpose. In this research, the combination of fuzzy methods, network analysis (ANP) and neural networks has been used as an innovative method in spatial analysis. The result of the combination of these methods was a raster map that the areas prone to physical development based on this map are suitable areas for physical development including 1107 km (without reducing the area of the current built areas). According to the boundaries of the built areas received from the municipality of this city, the area of the built areas is equal to 845 hectares. The current research shows that only 262 hectares of the remaining areas of the lands of the new city of Sahand are suitable for the physical development of the city in the future. What did it show for the future of the new city of Sahand? The results of the present research with the results of Ameri et al. (2016), in a research on urban development in Mino Island using geographic information system, and their results showed; Despite the fact that the target area is suitable for urban development, the physical structure and social welfare should be considered by the planners.

Conclusion

The results of classification of satellite images showed that the physical development of the new city of Sahand has been done in the direction of converting barren lands into urban use. In addition, physical development was built in order to convert cheaper land into districts. The developed lands have been developed a lot and have reached from 665/6246 hectares in 2000 to 732/9516 hectares in 2019. Among the image classification methods for land use extraction, the SVM method was the best method and the Sentinel-2 satellite images had the highest accuracy. The multi-layer perceptron artificial neural network was used to predict the future physical development of the new city of Sahand, which according to the investigations, the development is predicted in some directions based on the cheapness of the land and also the limitations Geomorphology is like slope and height.



ارزیابی توسعه فیزیکی شهر جدید سهند با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

ابوالفضل قنبری^۱، میرحسین پورباقر^۲

۱. نویسنده مسئول، دانشیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
رایانامه: a_ghanbari@tabrizu.ac.ir

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
رایانامه: poorbagher_mhp@yahoo.com

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۰۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۰۷

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۴/۳۱

کلیدواژه‌ها:

توسعه فیزیکی،

تصاویر ماهواره‌ای،

گوگل ارث انجین،

شبکه عصبی مصنوعی،

شهر جدید سهند.

پویایی یکی از ویژگی‌های غیرقابل انکار شهرها می‌باشد که مدیران شهری را برای برنامه‌ریزی به تکاپو وادار می‌کند. تحقیق پیش‌رو توسعه فیزیکی شهر سهند را از ابعاد کمی مورد بررسی قرار داده است. شهر سهند به عنوان یک شهر نسبتاً جدید، توانسته است به سرعت در جایگاه سومین شهر پرجمعیت استان آذربایجان شرقی قرار گیرد. یکی از نکات مهم تحقیق حاضر، بررسی ارتباط بین توسعه فیزیکی شهر با روند معاملات ملکی و ترکیب داده‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌باشد. در این پژوهش با استفاده از تصاویر ماهواره‌های Landsat-8 و Landsat-7 و Sentinel-2 در محیط کدنویسی گوگل ارث انجین کاربری‌ها و تغییرات آنها طی دو دوره قبل و بعد از شهر شدن (از ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ و از ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۹) دسته‌بندی شد و سپس پیش‌بینی توسعه آتی شهر سهند صورت گرفت. برای پیش‌بینی از روش شبکه عصبی مصنوعی چند لایه پرسپترون (MLP) به عنوان یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی (MCDM) استفاده شده است. متغیرهای مستقل استفاده شده در تحقیق حاضر، در پیش‌بینی توسعه فیزیکی شهر عبارت‌اند از: قیمت زمین، نوع کاربری، شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از مناطق شهری، فاصله از شبکه آبراهه، فاصله از گسل، فاصله از شبکه معابر (اصلی و فرعی). نتایج طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای نشان داد که توسعه فیزیکی شهر جدید سهند در جهت تبدیل زمین‌های بایر به کاربری شهری صورت گرفته است. علاوه بر این توسعه فیزیکی در راستای تبدیل زمین‌های ارزان‌تر به نواحی ساخته شده بود. اراضی ساخته شده دارای توسعه زیادی بوده و از ۶۶۵/۶۲۴۶ هکتار در سال ۲۰۰۰ به ۷۳۲/۹۵۱۶ هکتار در سال ۲۰۱۹ رسیده است. در بین روش‌های طبقه‌بندی تصاویر به منظور استخراج کاربری اراضی، روش SVM بهترین روش بود و همچنین تصاویر ماهواره Sentinel-2 بالاترین دقت را داشت. شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه به منظور پیش‌بینی توسعه فیزیکی آتی شهر جدید سهند مورد استفاده قرار گرفت، که با توجه به بررسی‌های صورت گرفته، توسعه در جهاتی پیش‌بینی شده است که مبتنی بر ارزان بودن زمین و نیز محدودیت‌های ژئومورفولوژیکی مانند شیب و ارتفاع است.

استناد: قنبری، ابوالفضل؛ پورباقر، میرحسین (۱۴۰۳). ارزیابی توسعه فیزیکی شهر جدید سهند. جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۲۸ (۹۰)، ۳۰۴-۲۸۳.

<http://doi.org/10.22034/GP.2023.55084.3093>



مقدمه

تغییر کاربری اراضی و تغییر پوشش سرزمین آسیب‌پذیرترین عامل در هر محیط شهری در شهرهای در حال توسعه است. افزایش زیرساخت‌ها و تراکم جمعیت تمایل به تغییر ویژگی‌های اراضی دارد که به نوبه خود تأثیر آن بر تغییرات آب و هوایی و افزایش لایه غیرقابل نفوذ خواهد بود (Mathan et al, 2020). حفاظت از محیط طبیعی امروزه امری ضروری و غیرقابل انکار است که به عنوان یک وظیفه بر عهده افراد مسئول و حتی غیرمسئول در امر حفاظت به حساب می‌آید. از طرفی دیگر برآورده‌سازی نیاز جامعه به مسکن و نیاز صنایع به زمین‌های وسیع از توسعه بی‌وقفه اراضی شهری و تعارض به محدوده‌های طبیعی خبر می‌دهد، که این نیز امری ضروری و غیرقابل انکار است. (تقوایی و همکاران، ۱۳۹۷: ۳۱-۴۵). در فرآیند پراکندگی شهری کشورهای در حال توسعه، رشد سریع شهرها یکی از مهمترین مشکلات است و در صورتی که این رشد پراکنده و بدون برنامه‌ریزی باشد، برای برنامه‌ریزی و مدیریت شهری مشکلات زیادی خواهد داشت (Amanpour et al, 2017: 139-150). از جمله مسایل حاصل از رشد شهرها می‌توان به تغییرات کاربری اراضی از کشاورزی به مسکونی، صنعتی و تجاری و از بین رفتن پوشش گیاهی و به تبع آن آلودگی آب و هوا و آلودگی صوتی و بسیاری از مسایل دیگر اشاره کرد. بهبود وضعیت و کیفیت هوا در محیط‌های شهری همواره به عنوان تابعی از شکل و مورفولوژی شهرها بوده است (Badach et al, 2020: 7)، از جمله پیامدهای رشد شهرها می‌توان به تغییرات کاربری اراضی از کشاورزی به مسکونی، صنعتی و تجاری و از بین رفتن پوشش گیاهی و به تبع آن آلودگی آب و هوا و آلودگی صوتی و بسیاری از مسایل دیگر اشاره کرد. بهبود وضعیت و کیفیت هوا در محیط‌های شهری همواره به عنوان تابعی از شکل و مورفولوژی شهرها بوده است (Badach et al, 2020: 7)، بنابراین، یکی از موضوعات نگران‌کننده در زمینه مطالعات شهری، آلودگی هوا است که باید مورد توجه محققان قرار بگیرد (Yuan et al, 2014: 247). افزایش آگاهی‌های زیست‌محیطی و تلاش برای مدیریت پایدار منابع طبیعی مستلزم مطالعه و نظارت بر استفاده از زمین، پوشش اراضی، تغییر در مقیاس‌های زمانی در مکان‌های مختلف است. رشد و توسعه بی‌برنامه شهرها همواره به وجود آورنده مسایل خرد و کلان شهری بوده است.

توسعه فیزیکی شهرها، ناشی از رشد طبیعی جمعیت، مهاجرت روستاییان به شهر و تمرکزگرایی جمعیت و فعالیت و به طور کلی، به بهانه تأمین نیاز مسکن و پیش‌بینی اراضی مسکونی می‌باشد (مرادی و همکاران، ۱۳۹۶: ۳۱۹-۳۳۲). با توجه به غیرقابل انکار بودن امر توسعه فیزیکی شهری که نتیجه میل به شهرنشینی است، باید مکان‌های مناسب از لحاظ دارا بودن توان جغرافیایی اکولوژیکی مناسب برای تخصیص به این کاربری‌ها تعیین گردد تا از آسیب‌رسانی به مناطق جلوگیری و در حفظ محیط زیست منطقه تلاش شود (زیاری و قائمی راد، ۱۳۹۵: ۱۲۵-۱۳۶). عوامل مختلفی در توسعه فیزیکی شهری دخیل هستند و نمی‌توان به صورت مستقیم معیارهایی را با قطعیت کامل به عنوان عوامل صرف نامگذاری کرد. برای مثال بسیاری از عوامل به صورت غیرمستقیم تأثیرات چشمگیری در توسعه کالبدی شهرها دارند که در صورتی می‌توان این تأثیرات را شناسایی و معرفی کرد که یک تحلیل چند معیاره دقیق انجام گیرد. تجزیه و تحلیل تغییر کاربری و پوشش زمین Land Use and Land Cover (LULC) یک ابزار مهم برای مطالعه رشد شهری در سراسر جهان است (Akbar et al, 2019: 1). بررسی و مرور پیشینه موضوع و پژوهش‌هایی که طی سال‌های اخیر انجام شده است، می‌تواند به ارزیابی اولیه ادبیات نظری، فرضیه و تعیین مسیر پژوهش کمک کند در زمینه توسعه و رشد شهرها در داخل و خارج از کشور پژوهش‌های زیادی انجام شده است که بخشی از تحقیق حاضر با الهام گرفتن از نتایج و تجربیات آنها صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

در سال (۱۳۹۰)، پورجعفر و همکاران در ارتباط با توسعه فیزیکی شهر سهند و تعیین محدوده‌های مناسب برای توسعه آتی آن تحقیقی را ارائه داده‌اند که با بهره‌گیری از قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی به این موضوع پرداخته‌اند. در این تحقیق که از نوع توصیفی و تحلیلی است دوره‌های توسعه شهر و فضای فیزیکی و ویژگی‌های جمعیتی شهر سهند مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که توسعه شهر سهند با توجه به فقدان برنامه صحیح برای توسعه دچار مسایل مختلف

بوده است و همچنین فضای مورد نظر برای توسعه آینده آن ۳۲۰۰ هکتار در قسمت شرق و جنوب شرقی صفا سهند پیش بینی شده است.

آفریده و همکاران (۱۳۹۴)، با بررسی شاخص‌های ژئومورفولوژیکی در شهر جدید پردیس، ارتباط توسعه فیزیکی شهر و بستر طبیعی را مورد توجه قرار دادند. این تحقیق یک پژوهش توصیفی-تحلیلی بوده و با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی و روش تحلیل سلسله مراتبی^۱ AHP و قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی صورت گرفته است. با استفاده از شاخص‌های شیب، کاربری اراضی، ارتفاع، فاصله از گسل، فاصله از شبکه‌های زهکشی، فرسایش و زمین‌شناسی، نقشه پهنه‌بندی مناطق دارای پتانسیل گسترش آبی شهر پیشنهاد شد. بر اساس نتایج بخش وسیعی از محدوده فعلی شهر بر روی موانع طبیعی مشکل آفرین قرار دارد و بخش‌های پیش‌بینی شده برای توسعه آبی شهر در قسمت‌های شمال، شمال شرق و شمال غربی شهر قرار دارند.

حسن‌زاده و رنجبرنوازی (۱۳۹۵)، تحقیقی را با عنوان کاربرد مدل Land Transformation Model (LTM) در پیش‌بینی و مدل‌سازی توسعه فیزیکی شهر ایلخچی ارائه داده‌اند. در این تحقیق برای طبقه‌بندی اراضی از تصاویر چندزمانه ماهواره Landsat-5 و روش طبقه‌بندی شی‌گرا برای دوره زمانی ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۰ استفاده شده است. بر اساس نتایج محدوده شهر ایلخچی از ۹۴/۵۹ هکتار در سال ۱۳۶۰ به ۴۳۸/۵۷ هکتار در سال ۱۳۹۰ رسیده است که حدود ۱۹۵ هکتار از این توسعه فیزیکی بر روی اراضی باغی و زراعی اثرگذار بوده است که لزوم مدیریت توسعه در آینده را بر مبنای توسعه پایدار پررنگ می‌کند. بر اساس نتایج، توسعه آبی شهر ایلخچی بر اساس راهبرد حفاظت از اراضی باغی و زراعی و کم‌رشد سبز طبیعی شرقی-غربی به طول پنج کیلومتر و اعمال ممنوعیت توسعه در اطراف آن عملیاتی شده است.

در حوزه ارتباط مسکن با نحوه توسعه فیزیکی شهرها مطالعات مدونی در دست نبود. لذا، با استنتاج از نتایج تحقیق تیموری و همکاران در سال ۱۳۹۵ که به بررسی نقش متغیرهای کالبدی و دسترسی بر قیمت مسکن در شهر سهند پرداخته است می‌توان نتیجه گرفت که امروزه مسکن صرفاً برای رفع نیاز نبوده و به یک منبع سرمایه‌گذاری و معاملاتی تبدیل شده است که خود به یکی از معیارهای توسعه فیزیکی شهر تبدیل شده است.

محمودزاده در سال ۱۳۹۵، در تحقیقی به بررسی توسعه فیزیکی شهر سردرود با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرداخته است. در این تحقیق تغییرات کاربری اراضی از سال ۱۳۶۳ تا ۱۳۹۰ بررسی شده است که بر اساس نتایج مساحت شهر سردرود از ۱۱۱/۲۴ هکتار در سال ۱۳۶۳ به ۵۲۸/۱۲ هکتار در سال ۱۳۹۰ رسیده است که ۱۶۲/۹۴ هکتار از این توسعه بر روی اراضی باغی و زراعی صورت گرفته است و نیازمند برنامه ریزی توسعه پایدار برای آینده می‌باشد. این تحقیق با استفاده از ۱۴ معیار و شبکه عصبی LTM صورت گرفت است.

در ارتباط با آشکارسازی تغییرات و توسعه شهری، رهنما و اجزاشکوهی در سال ۱۳۹۵، تحقیقی را با استفاده از سنجش از دور برای آشکارسازی تغییرات پوشش اراضی شهری گنبدکاووس انجام دادند. در این تحقیق از روش LCM^۲ استفاده شده است. داده‌های مورد استفاده مربوط به تصاویر Landsat سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۷۹، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۳ است. مدل‌سازی با استفاده از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه و ۱۰ معیار صورت گرفت. بر اساس نتایج طی دوره ۲۷ ساله از سال ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۳ شهر گنبدکاووس رشد فیزیکی قابل ملاحظه‌ای داشته و مساحت آن حدود سه برابر در طول دوره مطالعه شده افزایش یافته است. این تغییرات منجر به افزایش ۲۸۵۸/۳۲ هکتار در اراضی شهری و ۱۱۰۶/۴۷ هکتار در اراضی آبی و نیز منجر به کاهش ۲۳۳۱/۷۷ هکتاری در اراضی بایر و ۵۰۲/۴۹ هکتاری در اراضی باغی و پارک‌ها شده است. از مجموعه نتایج این پژوهش با توجه به کاربردی بودن تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که پراکنش افقی به علت آثار نامطلوب اقتصادی و زیست‌محیطی و تأثیر منفی آن بر زمین‌های کشاورزی، شهر را به سمت ناپایداری سوق می‌دهد.

^۱- Analytical Hierarchical Process

^۲- Land Change Model

محمدخان و همکاران ۱۳۹۷، در این تحقیق روند تغییرات نواحی سکونتگاهی شهر مریوان ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۷ بررسی شده و میزان توسعه شهر به سمت مناطق مخاطره آمیز ژئومورفولوژیکی مورد بحث قرار گرفته و در نهایت این روند برای سال ۲۰۳۵ پیش بینی شده است. از تصاویر چند زمانه Landsat و مدل LCM استفاده شده است. بر اساس نتایج وسعت نواحی سکونتگاهی از ۷/۸ کیلومتر مربع در سال ۱۹۲۲ به ۱۶/۶ کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۷ افزایش پیدا کرده است و همچنین بر اساس پیش‌بینی صورت گرفته در سال ۲۰۳۵ این توسعه به ۲۴/۳ کیلومتر مربع خواهد رسید. وسعت نواحی قرار گرفته در مناطق مخاطره آمیز ژئومورفولوژیکی در سال ۱۹۲۲ برابر با ۱/۷ کیلومتر مربع و در سال ۲۰۱۷ به ۳/۳ کیلومتر مربع رسیده است.

حاجی زاده و ماهینی در سال ۱۳۹۸، در تحقیقی مدل‌های پیش‌بینی رشد شهری را مورد مطالعه قرار داده و دلایل عدم استفاده از اغلب این مدل‌ها را عدم آشنایی مدیران با این مدل‌ها معرفی کرده‌اند. در نتیجه مهمترین عوامل در عدم توجه به مدل‌های پیش‌بینی رشد و توسعه شهری در تصمیم‌گیری‌ها به ترتیب شامل ناآشنا بودن تصمیم‌گیران با مدل‌ها، مقبولیت و محبوبیت مدل، راحتی بکارگیری مدل، دستیابی صد در صد به نتایج در آن مدل، عدم اختصاص زمان کافی، اطمینان به پاسخ‌های حاصل، کارایی مدل و قابل درک و ملموس بودن مدل هستند.

مانون‌مانی^۱ و همکاران در سال ۲۰۱۰، تحقیقی پیرامون کاربردهای GIS و سنجش از دور در آشکارسازی تغییرات در مناطق شهری انجام دادند که در آن به تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر فرآیندهای اکولوژیکی و پدیده‌های طبیعی در مناطق شهری پرداخته شده است. داده‌های مورد استفاده این تحقیق شامل تصاویر سنجنده ETM+ ماهواره Landsat-7 برای سال ۱۹۹۰ و داده‌های سنجنده LIS-III ماهواره IRS برای سال ۲۰۰۵ و نقشه‌های توپوگرافی رقومی شده می‌باشد. هدف از این تحقیق، دسترسی به تغییرات کاربری زمین در مناطق شهری و فشار انسان بر زمین و همچنین بررسی رابطه بین فشار انسان بر استفاده از زمین و تأثیرات آن در زیستگاه‌های حیاتی شهری است. برای این منظور از نرم افزار ERDAS استفاده شده است و نتایج آن نشان می‌دهد که از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۵ از ۶۵۱۳،۲۹ هکتار به ۹۳۰۰،۹۷ هکتار افزایش یافته است.

سونداراکومار^۲ و همکاران در سال ۲۰۱۲ بر این عقیده بودند که پراکندگی شهری مسئولیت انواع مسایل زیست محیطی شهری مانند کاهش کیفیت هوا، افزایش رواناب و افزایش سیلاب‌های بعدی، افزایش دمای محلی، وخیم‌تر شدن کیفیت آب و غیره را بر عهده دارد. آنها تحقیقی را برای بررسی تغییرات پوشش گیاهی شهر ویجاواوا از سال ۱۹۷۳ تا ۲۰۰۹ با استفاده از سنجش از دور انجام دادند. در این تحقیق از داده‌های TM و ETM+ ماهواره Landsat استفاده شده است. از طبقه‌بندی نظارت شده و نظارت نشده استفاده شده و سپس با بررسی منابع میدانی و زمینی مشخص شد که دقت طبقه‌بندی بین ۷۳ تا ۸۰ درصد بوده است. با توجه به نتایج این تحقیق مساحت زمین‌های کشاورزی ۶۵/۱۶٪ کاهش یافته است و سطح بی‌حاصل و خشک منطقه با ۶۰/۹۸٪ کاهش یافته است.

اولوفسون^۳ و همکاران (۲۰۱۳)، معتقدند که نقشه‌های نشان دهنده تغییرات زمین باید با ارزیابی دقیق همراه باشد که شامل توضیحات روشنی از طرح نمونه برداری (شامل اندازه نمونه و در صورت لزوم جزئیات طبقه‌بندی)، ماتریس خطا، مساحت یا نسبت مساحت هر دسته طبقه به نقشه، و اقدامات دقت توصیفی مانند دقت کاربر و دقت الگوریتم می‌باشد. علاوه بر آن ارزیابی‌های صحت چاپ شده برای مطالعات تغییر زمین باید اطلاعات مورد نیاز برای برآورد طبقه‌بندی منطقه تغییر و ساخت فواصل اطمینان را گزارش کند.

گلدبلات^۴ و همکاران در سال ۲۰۱۶، با توجه به تغییرات زیست‌محیطی و رابطه آن با رشد شهرنشینی تحقیقی را ارائه دادند که در آن با استفاده از سامانه GEE به طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای پرداخته شده است. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش تولیدات Landsat-7 و Landsat-8 می‌باشند. در نهایت مناطق ساخته شده و ساخته نشده با توجه به بازتاب‌های متفاوت خود مشخص شده و بر اساس آزمون T و آزمون Kolmogorov-Smirnov مشخص شده که اراضی ساخته شده (BU) و اراضی

¹- Manonmani

²- Sundarakumar

³- Olofsson

⁴- Goldblatt

ساخته نشده (NBU) با بازتاب طیفی متفاوتی در همه گروه‌ها قابل تشخیص هستند. علاوه بر آن با محاسبه شاخص‌های NDVI و NDBI می‌توان تفاوت میان اراضی ساخته شده و ساخته نشده را درک کرد.

شلسستو^۱ و همکاران (۲۰۱۷)، در پژوهشی به بررسی طبقه‌بندی اراضی با استفاده از تکنیک‌های مختلف از جمله سامانه GEE پرداختند. در این تحقیق هدف کشف کارایی سامانه GEE برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه در مقیاس‌های بزرگ و سنجنده‌های مختلف به عنوان مثال Landsat-8 و Sentinel-2 است. نتایج طبقه‌بندی در GEE با نتایج به دست آمده از طریق روش شبکه عصبی مصنوعی مقایسه شده و علی‌رغم برتری GEE در زمینه سرعت و دقت در برخی پردازش‌ها و دسترسی به داده‌ها و تولیدات مختلف، نتایج طبقه‌بندی شبکه عصبی مصنوعی نسبت به الگوریتم‌های SVM، درخت تصمیم‌گیری و طبقه‌بندی تصادفی جنگل مورد استفاده در سامانه GEE برتری دارد.

بلجیو^۲ و اوویدیو^۳ در سال ۲۰۱۸، در ارتباط با روش‌های طبقه‌بندی تحقیقی را ارائه دادند که در آن از مجموعه تصاویر ماهواره Sentinel-2 استفاده شده است. در این پژوهش از قابلیت‌های روش TWDTW در طبقه‌بندی به روش‌های شی‌گرا و پیکسل مینا در سه منطقه مختلف ایتالیا، آمریکا و رومانی استفاده شده است. روش مذکور با روش طبقه‌بندی تصادفی جنگل (Random Forest) مقایسه شد و حساسیت TWDTW و Random Forest نسبت به نمونه‌های آموزشی مقایسه شد. بر اساس نتایج مشخص شد که TWDTW مبتنی بر شی از TWDTW مبتنی بر پیکسل در هر سه منطقه مورد مطالعه، با دقت کلی بین ۷۸/۰۵ و ۹۶/۱۹ متغیر است و همچنین مشخص شد که از نظر زمان محاسبه کارایی بالایی دارد. TWDTW نتایج طبقه‌بندی قابل مقایسه‌ای را با Random Forest در رومانی و ایتالیا به دست آورد، اما Random Forest نتایج بهتری در ایالات متحده بدست آورد، جایی که محصولات طبقه‌بندی شده دارای تنوع طیفی درون کلاس بالایی هستند. علاوه بر این، TWDTW نسبت به نمونه‌های آموزشی حساسیت کمتری داشت.

وی‌یانو^۴ و همکاران (۲۰۱۹)، تحقیقی را حول ارتباط پراکندگی شهری و آشکار سازی تغییرات کاربری اراضی در آلتنجو در جنوب پرتغال ارائه دادند. در این پژوهش از شاخص‌های NDVI و NDBI و NDWI و NDbI استفاده شده است. مجموعه این شاخص‌ها هنگام پردازش منجر به ۱۹۲ تصویر مختلف شد که از بسته R dtwSat برای پردازش آنها استفاده شد، یکی از محدود برنامه‌های نرم افزاری منبع باز است که برای پردازش مجموعه‌های بزرگ سری زمانی موجود است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که بین سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۱۲، تغییرات اصلی مربوط به توسعه اراضی شهری برابر با ۵۰ هکتار است، با این حال، در دوره بعدی، ۲۰۱۲-۲۰۱۷، رشد شهری به حدود ۱۰ هکتار کاهش یافته است. روش مورد استفاده در این تحقیق ابزار کمی برای ارزیابی پویایی پراکندگی شهری ارائه می‌دهد و یک استراتژی بالقوه برای تعریف توسعه پایدار شهری را نشان می‌دهد.

قاسم‌خانی و همکاران (۲۰۲۰)، در تحقیقی با استفاده از مدل میانگین وزنی مرتب شده (OWA) توسعه فیزیکی را در شهر شیراز بررسی کردند. این مطالعه توسعه فیزیکی شهر شیراز را برای دو دوره ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۶ و ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۶ مورد بررسی قرار داد. برای این منظور، مدل پیشنهادی در دوره اول (۲۰۱۰-۲۰۱۰) پیاده‌سازی و کالیبره شد و با استفاده از آن برای دوره دوم (۲۰۱۰-۲۰۱۶) ارزیابی شد. با مقایسه نقشه تخمین زده شده تغییرات در داده‌های مرجع و پس از تشکیل ماتریس خطا، مشخص شد که روش OWA-Majority نسبت به سایر روش‌ها بهترین تخمین را دارد. سرانجام، دقت کل و ضریب کاپا برای روش OWA-Majority در دوره دوم به ترتیب ۹۸٫۹۸٪ و ۹۸٫۹۸٪ بود که نشانگر دقت بالا این روش در پیش‌بینی تغییرات است.

با توجه به مطالعات کتابخانه‌ای صورت گرفته در زمینه توسعه فیزیکی شهر، وجه اشتراک تحقیق حاضر با سایر پژوهش‌های صورت گرفته استفاده از تکنیک‌های طبقه‌بندی و آشکار سازی تغییرات صورت گرفته با تأکید بر روش‌های سنجش از دور است. استفاده از داده‌های ملکی، ارزش زمین در مناطق مختلف شهری به عنوان معیارهای سنجش توسعه آبی شهر، استفاده از

¹- Shelestov

²- Belgiu

³- Ovidiu

⁴- Viana

⁵- Ordered Weighted Averaging

داده‌های ماهواره‌های مختلف در طبقه‌بندی و روش مورد استفاده برای به دست آوردن تغییرات صورت گرفته در منطقه مورد مطالعه نیز می‌تواند به عنوان وجوه تمایز این تحقیق با سایر مطالعات صورت گرفته در این زمینه باشد.

با توجه به استفاده از سامانه گوگل ارث انجین (GEE) برای طبقه‌بندی و نیز دسترسی به پایگاه داده‌های بزرگ تصاویر و تولیدات ماهواره Landsat-7 و Landsat-8 و Sentinel-2 و همچنین استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین، نتایج طبقه‌بندی دارای جزئیات بیشتر و دقیق‌تری خواهند بود. پیش‌بینی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی به عنوان تکنولوژی جدید وارد شده در حوزه علم سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند دقت بالای پیش‌بینی را ضمانت کند. علاوه بر این مسایل توانایی سیستم اطلاعات جغرافیایی در تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره مکانی توانسته است در بسیاری از پژوهش‌های انجام شده نتایج خوب و با قطعیت بالایی را ارایه دهد که در این تحقیق نیز با بهره‌گیری از این تکنیک برتری و وزن لایه‌های مورد نظر به خوبی در معیارهای مورد نظر اعمال شده است. با توجه به موقعیت شهر سهند و قرارگیری در امتداد محور تبریز-آذرشهر صنایع بزرگ ماشین‌سازی، تراکتورسازی، موتورسازان، پالایشگاه تبریز و نیروگاه‌ها و پتروشیمی نیز در این محور قرار دارند لذا، توسعه شهر سهند در این مسیر می‌تواند مسایل عمده‌ای را ایجاد کند. توجه به این نکته که موقعیت شهر جدید سهند در مسیر صنایع مهم شهر تبریز و در مجاورت جاده اصلی از تبریز به آذرشهر قرار گرفته است اهمیت تحلیل جهات جغرافیایی توسعه آتی این شهر را دو چندان می‌کند. علی‌رغم اینکه نزدیکی به صنایع و دسترسی به محورهای مواصلاتی می‌تواند در توسعه اقتصادی یک امتیاز مثبت تلقی شود، توسعه فیزیکی بدون برنامه و بدون در نظر گرفتن معیارهای طبیعی و انسانی می‌تواند در مدیریت منابع و کنترل جمعیت برای مسئولان و برنامه‌ریزان مشکلات اساسی و زیادی را به وجود آورد. از طرف دیگر، با توجه به اینکه شهر جدید سهند برای تعدیل جمعیت و جلوگیری از تراکم و رشد سرسام‌آور جمعیت در کلانشهر تبریز به وجود آمده است، لذا، نیاز است تا ابعاد توسعه فیزیکی آن سنجیده شده و برای جلوگیری از رشد ناموزون آن تدابیر مورد نیاز اندیشیده شوند. توجه به افزایش روزافزون فضای فیزیکی شهر و معضلات ناشی از این موضوع در آینده‌ای نه چندان دور گریبان‌گیر مسئولان و مدیران شهری خواهد شد. پیشرفت در روش‌ها و افزونگی داده‌های مکانی، برای بررسی و تحلیل‌های پیشرفته زمینه مناسبی را برای پژوهشگران و مدیران شهری فراهم نموده است.

مبانی نظری

بررسی و شناخت ویژگی‌های طبیعی هر منطقه می‌تواند نقش عمده‌ای را در امر برنامه‌ریزی و مکان‌یابی مناسب جهت توسعه و استقرار ساختمان‌ها و تأسیسات شهری ایفا کند. یکی از مباحث مهم مسایل شهری، مفهوم توسعه پایدار شهری است که توسعه‌ای مبتنی بر نیازهای واقعی و تصمیم‌گیری‌های عقلایی، با در نظر گرفتن ملاحظات مختلف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی محسوب می‌شود. «در ارتباط با دیدگاه جمعیتی سازمان ملل آماری را در سال ۲۰۰۷ منتشر نمود که طی آن جمعیت جهان تا سال ۲۰۳۰ به ۵ میلیارد نفر خواهد رسید (سازمان ملل، ۲۰۰۷). که این رقم در حال حاضر بیش از انتظارات آنها بوده و تقریباً نزدیک به ۸ میلیارد نفر است. این شهرنشینی سریع نه تنها منجر به استفاده گسترده از اراضی می‌شود، بلکه باعث افزایش جمعیت در نواحی شهری و اثرات زیست‌محیطی مرتبط با توسعه نیز می‌گردد (Shen, 2012: 393).

توسعه پایدار شهری مفهوم و واژه‌ای چند بعدی است که پس از رشد سریع شهری و افزایش شهرنشینی و آشکار شدن آثار زیان بار چنین توسعه‌ای بر ابعاد اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی، سیاسی، محیطی و حیات انسان در طی دهه‌های اخیر مطرح شده است (علی‌پور و علی‌احمدی، ۱۳۹۵: ۱). توسعه فیزیکی شهرها، ناشی از رشد طبیعی جمعیت، مهاجرت روستاییان به شهر و تمرکزگرایی جمعیت و فعالیت و به طور کلی، به بهانه تأمین نیاز مسکن و پیش‌بینی اراضی مسکونی می‌باشد (مرادی و همکاران، ۱۳۹۶: ۳۳۲-۳۱۹). از آنجایی که کنترل رشد و توسعه شهرها در کشورهای در حال توسعه امری دشوار است، باید سعی مدیران بر آن باشد تا توسعه را در مسیری هدایت کنند که کمترین آسیب را به منابع مختلف زیست‌محیطی، اقتصادی، فرهنگی، اجتماعی وارد کند، توسعه پایدار توسعه‌ای است که بتواند در دوره زمانی طولانی بدون اینکه خسارتی به محیط زیست وارد کند

تداوم یابد (ماجدی و پورجوهری، ۱۳۸۹: ۲۵-۳۶). توسعه فیزیکی شهر فرآیندی پویا و مداوم است که طی آن محدوده‌های فیزیکی شهر و فضاهای کالبدی آن در جهات عمومی و افقی از حیث کمی و کیفی افزایش می‌یابد و اگر این روند سریع و بی‌برنامه باشد به ترکیب فیزیکی نامناسب از فضاهای شهری خواهد انجامید (صدری و همکاران، ۱۳۹۱: ۱). باید به عوامل اصلی توسعه فیزیکی شهری توجه شود که در شکل‌گیری موقعیت جغرافیایی شهر موثر بوده و عوامل و عوارض طبیعی مانند وجود دره‌ها و تپه‌های شیب‌دار باغات فراوان و... تاثیر فراوان داشته و شکل منحصر به فردی را به ظاهر شهر می‌دهد. توسعه فیزیکی عبارت است از انجام عملیات ساختمانی، مهندسی و یا هرگونه عملیات دیگر در سطح یا زیرزمین یا هرگونه تغییر قابل توجه در استفاده از ساختمان‌ها یا اراضی (کییل ۱۹۶۹ به نقل از سرور و همکاران، ۱۳۹۴). توسعه فیزیکی در قالب فعالیت‌های انسانی یا کاربری‌های اراضی در شهرها و شهرک‌ها نمایان می‌شود (Amoateng et al, 2013: 96-109). شهر از لحاظ فیزیکی می‌تواند در جهاتی موافق با بستر طبیعی توسعه یابد. یکی از دغدغه‌های برنامه‌ریزان شهری یافتن جهت مناسب برای توسعه کالبدی شهرها است (شایان و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۴۷-۱۶۴). رشد و توسعه فیزیکی شهر با عناصر زیست محیطی به صورت مستقیم و غیر مستقیم در تقابل است. امروزه می‌توان به صورت منطقی و علمی روش‌هایی را به منظور شناسایی و کنترل نقاط تقابل توسعه فیزیکی شهر و عناصر زیست‌محیطی یافت. روش‌های مختلفی که از داده‌های مکانی و ترکیب آنها با داده‌های کیفی استفاده می‌کنند از جمله روش‌های مناسب برای کشف و شناسایی ارتباط بین عناصر طبیعی و نیز تقابل آنها با توسعه فیزیکی شهری است. یکی از موارد تقابل توسعه کالبدی شهر از دسترس خارج شدن زمین‌های مرغوب کشاورزی از چرخه تولید محصولات زراعی و به تبع آن وابستگی به واردات همان محصولات است که علی‌رغم تقابل با محیط زیست در تقابل یا منافع اقتصادی نیز می‌باشد. روند روزافزون شهرنشینی و توسعه فیزیکی شهرها و به دنبال آن بروز پیامدهای زیست محیطی که گاهی جبران آنها خارج از کنترل است، اجتماعی و جمعیتی، واکنش‌های گسترده طرفداران زندگی سالم به دور از آلودگی با محوریت بهداشت و سلامت جامعه انسانی و محیط را در پی داشته است. یکی از دلایل اصلی توسعه فیزیکی شهر رشد سرسام آور جمعیت شهرها و از طرفی هجوم مهاجران از روستا به شهر است. «از آنجا که نرخ رشد جمعیت شهری ۴ برابر جمعیت روستایی است، پیش بینی می‌شود که تا سال ۲۰۲۵ تعداد شهرنشینان دو برابر شده و به حدود ۵ میلیارد نفر برسد (Uwe Deichmann, 2008). بر اساس مطالعات صورت گرفته در ارتباط با توسعه شهرنشینی در ایران، شهرهای ایران نیز گام در مسیر افزایش سریع جمعیت و توسعه فیزیکی نهاده و از آمار جهانی رشد شهرنشینی تبعیت می‌کنند (واحدیان بیکی و همکاران، ۱۳۹۰: ۲۹-۴۶).

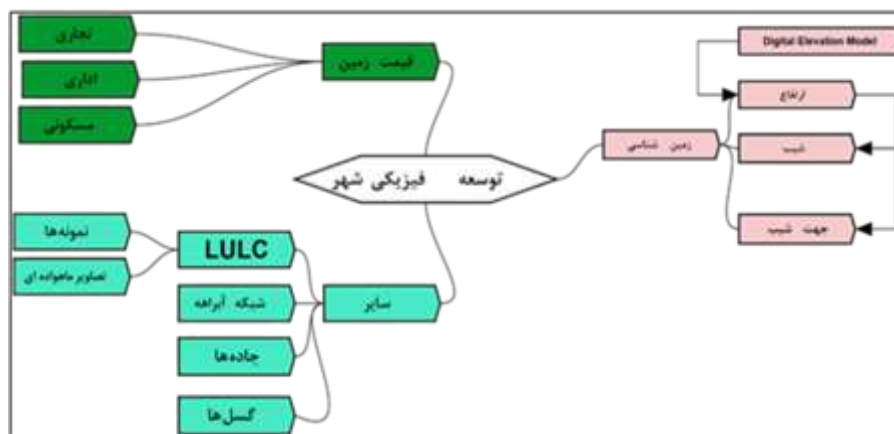
شهر در بستر مکان بنا شده است و یکی از ارکان اصلی هر سکونتگاهی زمین می‌باشد. لذا، مدیریت زمین شهری می‌تواند نقش هسته‌ای و کانونی در مدیریت توسعه فیزیکی شهر داشته باشد. زمین عامل مهم و لاینفک توسعه شهری محسوب می‌شود، با نادیده گرفتن خصوصیات و ویژگی‌های آن از قبیل نوع مالکیت، بایر بودن باغ مزروعی، ساختمان و ... طرح‌های توسعه شهری موفقیت لازم را کسب نخواهد کرد و در واقع قابلیت اجرایی ندارند. عدم وجود مدیریت شهری یکپارچه در برخی کشورها از جمله ایران، برخی دستگاه‌های ملی در اداره و ارایه خدمات شهری در راس قرار دارند که در چنین حالتی باید مدیریت شهری را شامل شهرداری و شعبات یا نمایندگی‌های شهری آن دستگاه‌ها نیز دانست. دولت‌ها و مدیران شهری در بسیاری از کشورها سعی در تدوین قوانین و مقرراتی جهت افزایش دسترسی اقشار مختلف خصوصاً قشر فقیر جامعه به بازار زمین نموده‌اند که در کشورهای مختلف، هر چند مشابهت‌هایی در خصوص وجود مشکلات مربوط به تامین مسکن و زمین مورد نیاز آن وجود دارد. در این راستا مسایل و عوامل مختلفی تأثیرگذار هستند، مانند مسایل حقوقی، تاریخی، سیاسی- اقتصادی، اجتماعی- فرهنگی و محدودیت‌های طبیعی حاکم بر آنها (امیری و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۲۵-۱۴۶). در سال‌های اخیر، اراضی وقفی در توسعه فیزیکی بسیاری از شهرهای ایران تأثیرگذار بوده‌اند و بخشی از این اراضی نیز در جریان توسعه فیزیکی شهر، قرار گرفته‌اند. در حالی که بسیاری از

این اراضی به صورت بلا استفاده، رها شده، از توسعه بازمانده و سبب تشدید توسعه بی‌رویه و پراکنده شهری شده‌اند. بازماندن اراضی موقوفه از توسعه، علاوه بر تشدید پراکنده رویی شهری؛ تداخل بافت شهری، از بین رفتن اراضی کشاورزی و محیط زیست طبیعی اطراف شهر، افزایش هزینه‌های خدمات‌رسانی شهری، مشکلات زیست‌محیطی و آلودگی‌های ناشی از آن، ناسازگاری در کاربری‌های همجوار و کاهش امنیت در بافت‌های مسکونی را موجب شده‌اند (رسولی و همکاران، ۱۳۹۶: ۷۷-۱۱۰).

عوامل مختلفی در توسعه فیزیکی شهری دخیل هستند و نمی‌توان به صورت مستقیم معیارهایی را با قطعیت کامل به عنوان عوامل صرف نامگذاری کرد. برای مثال بسیاری از عوامل به صورت غیرمستقیم تأثیرات چشمگیری در توسعه کالبدی شهرها دارند که در صورتی می‌توان این تأثیرات را شناسایی و معرفی کرد که یک تحلیل چند معیاره دقیق انجام گیرد. تجزیه و تحلیل تغییر کاربری و پوشش زمین (Land Use and Land Cover (LULC) یک ابزار مهم برای مطالعه رشد شهری در سراسر جهان است (Akbar et al, 2019: 1). قیمت زمین یکی از معیارهای با حساسیت بالا است که در بسیاری از پژوهش‌ها به دلیل شکاف اطلاعاتی و در دسترس نبودن اطلاعات مورد توجه و بررسی قرار نگرفته است. دولت متمرکز بوده که از طریق دخالت در واگذاری زمین رایگان و یا ارزان قیمت جهت ساخت واحدهای مسکونی، اعطای تسهیلات از طریق سیستم بانکی و تهیه طرح‌های توسعه شهری با پیامدهایی چون الحاق اراضی و تغییر کاربری صورت گرفته است (مشکینی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۷۵-۱۸۷).

یک گام اساسی جهت مدیریت و برنامه‌ریزی توسعه شهری و هم‌چنین ارزیابی اثرات تجمعی آن بررسی و شبیه‌سازی توسعه فیزیکی شهر می‌باشد (محمودزاده، ۱۳۹۶: ۲۲۱-۲۳۷). زمین شهری به عنوان زمینی تعریف شده است که برای کاربری‌هایی به غیر از کشاورزی استفاده می‌شود. زمین شهری به واسطه ارتباطش با زیرساخت، حمل و نقل و تسهیلات شهری شناخته می‌شود و به طور معمول برای کاربری‌های مسکونی، تجاری، صنعتی، بازرگانی، تفریحی، حمل و نقل و خدمات مورد استفاده قرار می‌گیرد. تغییر در قیمت زمین می‌تواند به طور غیرمستقیم در توسعه فیزیکی شهر دخیل باشد، ولی وقتی این معیار در ارتباط با سایر معیارهای مکانی مورد بررسی واقع شود می‌توان به این نتیجه نیز رسید که آیا معیار است که در تعیین جهت توسعه کالبدی شهر نیز تأثیر چشمگیر دارد یا خیر؟ تغییر در قیمت زمین و مسکن منجر به تغییر در میزان عرضه مسکن یا ساخت و ساز در کل بازار زمین و مسکن می‌شود (اسکندری ثانی و قادری مقدم، ۱۳۹۵). نوسانات قیمت زمین متأثر از معیارهای متعددی از جمله وضعیت اقتصادی جامعه، بینش سیاسی به تغییرات کاربری، تمایل به حفظ محیط زیست، رشد بی‌رویه جمعیت، نیاز به توسعه صنایع در محدوده‌های وسیع و مواردی از این قبیل. به طور کلی روند توسعه کالبدی- فضایی شهرها بازتاب تحولات سیاسی- اقتصادی و اجتماعی است (مه‌دیزاده، ۱۳۸۱). از طرف دیگر نوسانات قیمت زمین به طور مستقیم در روند جهت‌دهی به توسعه فیزیکی شهر تأثیر می‌گذارد. برای مثال افرادی که به دلایل مختلفی برای ادامه زندگی به شهرها مهاجرت می‌کنند به دلیل مسایل مالی ترجیح می‌دهند که در مناطق ارزان قیمت شهرها ساکن شوند، لذا، این بارزترین تأثیر قیمت زمین در جهت‌دهی به رشد فیزیکی شهرها است. مدیریت زمین شهری بخشی از مدیریت شهری بوده و هسته کانونی آن را تشکیل می‌دهد. و در برخی کشورها همچون ایران، مدیریت شهری یکپارچه و واحدی وجود ندارد و دستگاه‌هایی در سطح ملی در اداره و اریه خدمات شهری مشارکت دارند که در چنین حالتی باید مدیریت شهری را شامل شهرداری و شعبات یا نمایندگی‌های شهری آن دستگاه‌ها نیز دانست. دولت‌ها در سراسر جهان اهداف سیاست‌های زمین شهری را دنبال می‌نمایند و آنها برای رسیدن به این اهداف بر طیف وسیعی از ابزارها و نهادهای سیاست تکیه می‌کنند. بسیاری از شهرها از طریق طرح‌های جامع، منطقه‌بندی، قواعد تفکیک، کدهای ساختمانی و دیگر سیاست‌های عمومی برای شکل دادن به توسعه استفاده می‌کنند. این قواعد جهت کمک به حفظ محیط شهری و طبیعی، آماده کردن سرمایه‌گذاری زیر ساخت، توسعه، حفظ و ارتقا ارزش املاک تصویب می‌شوند.

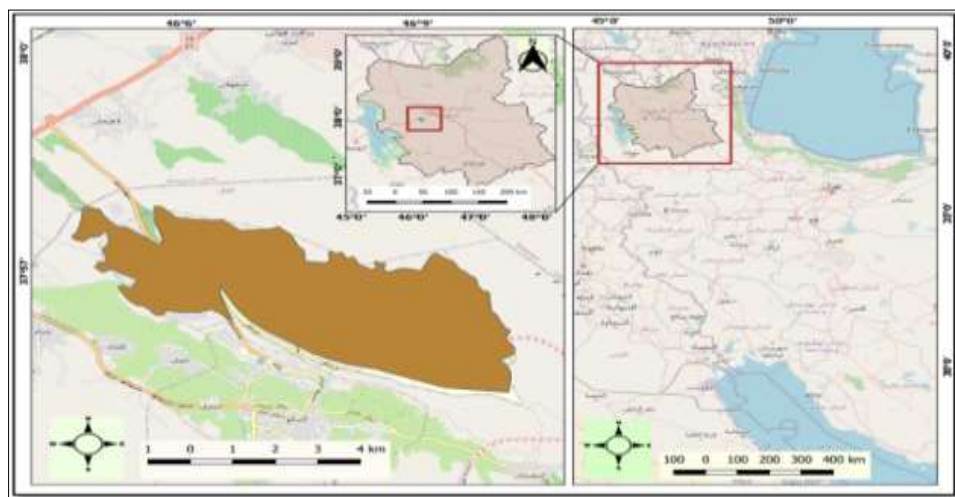
مدیریت زمین شهری بعنوان مؤثرترین ابزار برنامه‌ریزی شهری، مورد توجه برنامه ریزان و سیاست گذاران شهری می‌باشد دولت در طی دهه‌های گذشته هم در عرصه سیاست گذاری، هم دخالت در بازار زمین شهری، نقش داشته است (امبری و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۲۵-۱۳۹). با توجه به قیمت زمین در مناطق مختلف یک شهر، می‌توان صرفاً از نظر قیمت زمین، روند توسعه فیزیکی را پیش بینی کرد. در این پژوهش سعی بر آن است تا با استفاده از قابلیت‌های مهم و بارز سیستم اطلاعات جغرافیایی و بهره‌گیری از تحلیل‌های مکانی آن و ترکیب معیارهای مختلف با یکدیگر تاثیر همه معیارها در نظر گرفته شوند تا در نتیجه آن روند توسعه فیزیکی شهر جدید سهند به درستی مشخص گردد. علاوه بر تمایل افراد در خرید زمین‌های ارزان قیمت، ارائه زمین‌های رایگان یا ارزان قیمت توسط دولت در دهه‌های اخیر نیز به عنوان یک مشوق در توسعه و گسترش فیزیکی شهرها تاثیر گذار بوده است (مشکینی و سجادی، ۱۳۸۹: ۴۷-۶۷). رشد سریع شهرنشینی سبب شده است که فضای فیزیکی-کالبدی شهرها گسترش یافته و زمین‌های پیرامونی خود را که اغلب اراضی کشاورزی مرغوب و باغات می‌باشند را از بین ببرد و در بافت و کالبد خود قرار دهند (مشکینی و تیموری، ۱۳۹۲: ۳۷۵ - ۳۸۷). اطلاع از نوع کاربری و پوشش زمین یکی از مهم‌ترین معیارها برای بررسی و تشخیص توسعه فیزیکی شهرها می‌باشد. لذا در این تحقیق ابتدا با استفاده از روش‌های رایج در استخراج نقشه‌های کاربری زمین و پوشش زمین اقدام به تهیه نقشه کاربری اراضی نمودیم. یکی از وجوه تمایز در استخراج نقشه‌های مورد نیاز در این تحقیق با سایر پژوهش‌های موجود در این زمینه، روش مورد استفاده برای استخراج نقشه‌ها می‌باشد. در این پژوهش با استفاده از کد نویسی در سامانه منبع باز گوگل ارث انجین تصاویر مربوط به سال‌های مورد نظر استخراج و تمامی مراحل طبقه‌بندی ترکیبی (دستی و خودکار) از جمله فراخوانی تصاویر ماهواره‌ای، آشکارسازی طیفی، بهبود کنتراست، نمونه برداری طیفی، نمونه‌برداری و اجرای الگوریتم‌های طبقه‌بندی یادگیری ماشین و ارائه نتایج، در محیط سامانه مذکور انجام شد. همانطور که اشاره شد در آن تحقیق از یک روش یادگیری ماشین و یک روش خوشه‌بندی معمولی برای طبقه‌بندی تصاویر و استخراج عوارض در محدوده مورد مطالعه استفاده شده است. روش ماشین بردار پشتیبان به عنوان روش یادگیری ماشین و روش کمترین فاصله به عنوان روش کلی طبقه‌بندی تصاویر در این تحقیق مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج آنها با یکدیگر مقایسه شده‌اند. تصاویر و تولیدات ماهواره Landsat-7 و Landsat-8 و Sentinel-2 در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفتند. برای اطلاع از ویژگی‌های ارتفاعی منطقه مورد مطالعه از داده‌های ماهواره ALOS استفاده شد که دارای قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متری می‌باشند، و لایه‌های شیب و جهت شیب نیز با استفاده از آن استخراج شد. لایه‌های گسل‌های منطقه نیز از داده‌های طرح آمایش استان آذربایجان شرقی استخراج و فاصله از آن از ۵ تا ۲۵ کیلومتر محاسبه شد. سایر معیارهای مهم در بررسی توسعه فیزیکی شهر شامل فاصله از شبکه معابر، فاصله از سایر نقاط شهری و فاصله از شبکه آبراه می‌باشند. فاصله از معابر و نقاط شهری همجوار بعد از استخراج شبکه معابر با استفاده از لایه منبع باز خیابان‌ها (Open Street Map (OSM در محیط نرم افزار ArcGIS محاسبه شد. برای محاسبه فاصله از شبکه معابر ابتدا با استفاده از مدل رقومی ارتفاع و تحلیل‌های هیدرولوژیکی ابتدا شبکه زهکشی منطقه مورد مطالعه استخراج و سپس تحلیل فاصله روی آنها نیز اعمال شد. بر اساس مدل مفهومی تحقیق، عوامل موثر بر توسعه فیزیکی شهر مشخص شده و تاثیر آنها بر توسعه فیزیکی شهر نمایش داده شده است (شکل ۱).



شکل (۱). مدل مفهومی تحقیق

داده و روش‌ها

در راستای ساماندهی جمعیت روبه رشد کلانشهر تبریز و ایجاد اشتغال، ساماندهی اسکان و ارتقای کیفیت زندگی شهروندان و بهبود شرایط زیست‌محیطی، شهر جدید سهند در بهمن ماه سال ۱۳۶۶ در استان آذربایجان شرقی در محور ارتباطی تبریز آذرشهر در منطقه پایکوهی در دامنه کوه معروف سهند در فاصله ۲۰ کیلومتری جنوب‌غربی تبریز مکانیابی و در آبان ماه ۱۳۶۹ به تصویب شورای عالی معماری و شهرسازی رسید. مشرف بودن با دره‌های سرسبز و خوش آب و هوای اسکو با چشمه‌های گوارا، وجود دهکده توریستی کندوان به عنوان معماری صخره‌ای و آب معدنی و طبیعت جذاب، تفرجگاه‌های ساحلی دریاچه ارومیه و جزیره اسلامی موهبتی است که شهر جدید سهند را ممتاز ساخته است. اراضی اختصاص یافته به این شهر حدود ۱۲۶۵۰ هکتار است که در دامنه کوه سهند واقع شده است اما تا به امروز (۱۳۹۸) تنها ۴۶/۶۷۲ هکتار از آن ساخته شده است. موقعیت جغرافیایی این شهر به ترتیب طول جغرافیایی $3^{\circ} 46'$ و $15^{\circ} 46'$ و عرض جغرافیایی $37^{\circ} 53'$ و $37^{\circ} 59'$ می‌باشد (شکل ۲).



شکل (۲). موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

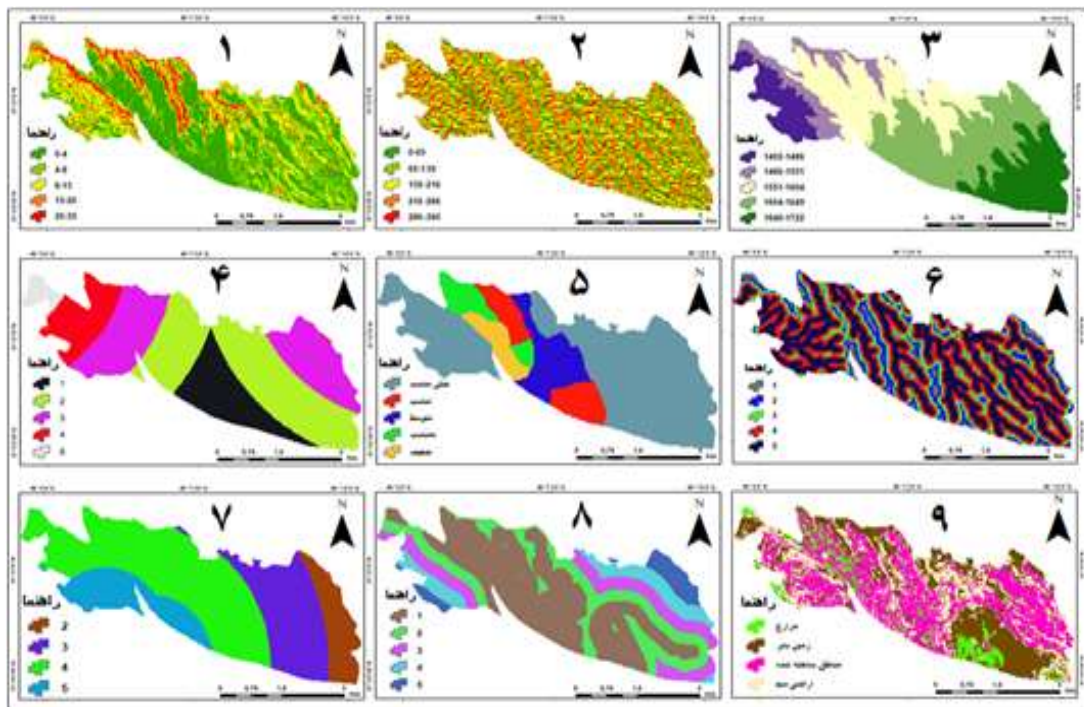
داده‌ها

داده‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر شامل دو گروه کلی معیارهای محیطی و معیارهای انسانی است. در ارتباط با معیارهای محیطی، دو گروه داده‌های مرتبط با زمین‌شناسی (شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از گسل) و هیدرولوژی مورد بررسی قرار گرفت، و در ارتباط با معیارهای انسانی کاربری اراضی، قیمت زمین، فاصله از معابر مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۱).

جدول (۱). معیارهای مورد استفاده در تحقیق به منظور ورود به شبکه عصبی مصنوعی

معیارهای کلی	ردیف	معیار
طبیعی	۱	گسل
	۲	ارتفاع
	۳	شیب
	۴	جهت شیب
	۵	شبکه ابراهه
انسانی	۶	کاربری اراضی
	۷	قیمت زمین
	۸	فاصله از نقاط شهری
	۹	فاصله از معابر اصلی و فرعی

انتخاب معیارها برای ارزیابی توسعه فیزیکی شهری با عنایت به نظر کاشناسان امر و نیز جست و جوی کتابخانه‌ای در منابع مختلف صورت گرفته و استفاده از داده‌های واقعی مربوط به قیمت زمین در بخش‌های اداری، تجاری و مسکونی در منطقه مورد مطالعه یکی از وجوه تمایز پژوهش حاضر با سایر مطالعات انجام شده در این زمینه می‌باشد (شکل ۳).



شکل (۳) نقشه مربوط به معیارها به صورت رستری با استفاده از محیط نرم‌افزاری Arc GIS

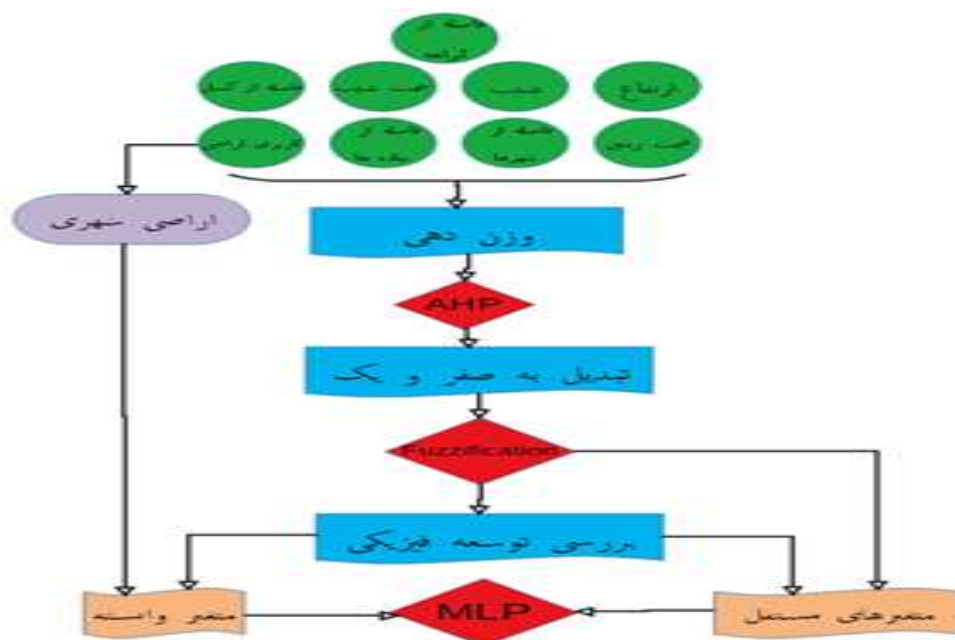
۱. شیب منطقه: شیب یکی از پارامترهای مهم در هنگام ساخت و ساز می‌باشد. از آنجایی که در تحقیق حاضر توسعه فیزیکی مفهومی مقارن با توسعه ساخت و ساز دارد، لذا، بررسی این عامل ضروری بود. شیب منطقه بین صفر تا ۳۵ درجه متغیر می‌باشد. ۱۸/۳۰ درصد از مساحت منطقه در اختیار شیب‌های بین ۳ تا ۶ درجه قرار دارد.
۲. جهت شیب: جهت شیب تحت تأثیر شیب منطقه بوده و در ساخت و ساز و تعیین جهت ساختمان نسبت به نورگیری از آفتاب و مباحث اشرافیت در ساختمان‌سازی تأثیر گذار است.
۳. مدل رقومی ارتفاع منطقه: مدل رقومی ارتفاع بیانگر ارتفاعات و ناهمواری‌های منطقه مورد مطالعه است. ارتفاعات در دسته‌بندی‌هایی قرار گرفته و به ترتیب کمترین و بیشترین ارتفاع منطقه مورد مطالعه برابر با ۱۴۰۲ متر و ۱۷۲۲ متر است.
۴. فاصله از گسل‌ها: فاصله از گسل‌ها نقش مهمی در امنیت و ایمنی ساخت و ساز و مناطق مسکونی دارد. در نقشه فاصله از گسل، فواصل بر اساس تحلیل فاصله اقلیدسی از کمترین فاصله تا بیشترین فاصله در ۵ طبقه دسته‌بندی شد.
۵. قیمت زمین: قیمت زمین پارامتر ابتکاری مورد استفاده در تحقیق حاضر می‌باشد. ابتدا داده‌های قیمت زمین جمع‌آوری شد و سپس به دلیل یکسان‌سازی واحد آن با سایر نقشه‌ها مناطق در ۵ طبقه دسته‌بندی شدند و سپس بر اساس اهمیت هر طبقه در توسعه فیزیکی شهر، به آن متغیر زبانی تعلق گرفت.
۶. فاصله از شبکه زهکشی: شبکه زهکشی در تعیین و شناسایی مناطقی که در معرض خطر سیل‌زدگی قرار دارند اهمیت دارد. فواصل از شبکه آبراهه‌ها هر چه بیشتر باشد آن منطقه برای ساخت و ساز مناسب‌تر خواهد بود.
۷. فاصله از نقاط شهری: نزدیکی به نقاط شهری اطراف، هم می‌تواند مفید باشد (دسترسی به امکانات سایر شهرها)، و هم در برخی موارد مانند ازدحام، تردد بیش از حد، ترافیک و ایجاد زاعه‌نشینی می‌تواند دارای آسیب‌هایی باشد. فواصل استفاده شده به ترتیب شامل ۲،۳،۴،۵ کیلومتر می‌باشند.
۸. فاصله از شبکه معابر: فاصله از معابر به عنوان امتیاز دسترسی محسوب می‌شود. تحلیل فواصل بر اساس فاصله اقلیدسی صورت گرفته و نزدیک‌تری فاصله مناسب‌ترین مناطق هستند.
۹. کاربری اراضی: از مهم‌ترین پارامترهای توسعه فیزیکی شهر نوع کاربری زمین می‌باشد. زمین‌های بایر بهترین گزینه برای تبدیل به مناطق ساخته شده هستند. لایه کاربری اراضی مربوط به طبقه‌بندی تصاویر ماهواره Sentinel-2 می‌باشد. به منظور استخراج تغییرات صورت گرفته در دوره‌های بررسی شده از تصاویر ماهواره‌ای با کیفیت متوسط (۳۰ و ۱۰ متر)، استفاده شد که ویژگی‌های آن در زیر آمده است (جدول ۲).

جدول (۲). ویژگی تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در تحقیق

ردیف	نام ماهواره	قدرت تفکیک مکانی	قدرت تفکیک زمانی
۱	Landsat-7/TM	۳۰ متر	۱۶ روز
۲	Landsat-8/OLI	۳۰ متر	۱۶ روز
۳	Sentinel-2/MSI	۱۰ متر	۵ روز
۴	ALOS	۳۰ متر	-----

یکی از بارزترین ویژگی‌های تحقیق حاضر، استفاده از قابلیت‌های سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی و همچنین ترکیب نتایج آنها با روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی می‌باشد. لازم به ذکر است، روش نهایی برای پیش‌بینی پهنه‌های مستعد برای توسعه فیزیکی شهر با استفاده از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی به دست آمده است. برای آماده‌سازی داده‌ها، ابتدا تصاویر ماهواره‌ای در محیط گوگل ارث انجین (GEE) فراخوانی و پردازش شدند. پردازش سری‌های چند دهه‌ای در یک منطقه بزرگ در یک محیط نرم‌افزاری تحت دستکناپ امکان‌پذیر نبوده و یا با چالش‌ها و هزینه‌های بالایی مواجه است (Hird et al, 2017). در محیط GEE همواره تلاش برای ایجاد فضایی مناسب برای توسعه روش‌ها و الگوریتم‌های طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای صورت می‌گیرد، همچنین پیشرفت‌های اخیر در تحقیقات طبقه‌بندی تصاویر به دنبال تقویت داده‌ها و تکنیک‌های بهینه‌سازی بوده است (Xie et al, 2019). روش‌های مورد استفاده برای طبقه‌بندی تصاویر

شامل دو روش Support Vector Machine و Minimum Distance بودند که از جمله روش‌های یادگیری ماشین هستند. با توجه به اینکه از دو الگوریتم مختلف برای استخراج کاربری اراضی هر سال استفاده شده است و برای سال ۲۰۱۹ به دلیل در دسترس بودن تصاویر ماهواره Sentinel-2 با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر از تصاویر ماهواره مذکور نیز برای مقایسه تأثیر قدرت تفکیک مکانی در بهبود الگوریتم‌ها و داده‌های مورد استفاده برای طبقه‌بندی استفاده شد. تصاویر ماهواره Sentinel-2 در باندهای مرئی دارای قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر هستند و از نظر بسیاری از متخصصان می‌توانند گزینه مناسبی برای طبقه‌بندی عوارض باشند، پیچیدگی پدیده‌های زمینی و اطلاعات بافتی آنها باعث شده است که علی‌رغم کیفیت مکانی ۱۰ متری، در بسیاری از موارد تصاویر Sentinel-2 قادر به تشخیص ویژگی‌های بافتی از اشیا نیستند (Immitzer et al, 2016). هدف اصلی در تحقیق حاضر انجام فرآیندهایی برای دسترسی به نقشه مناطق مستعد توسعه فیزیکی شهر در شهر جدید سهند می‌باشد. این فرآیندها شامل جمع‌آوری داده‌ها، پردازش آنها، وزن‌دهی به معیارها و ورود به شبکه عصبی مصنوعی و استخراج نقشه مورد نظر می‌باشد (شکل ۴).

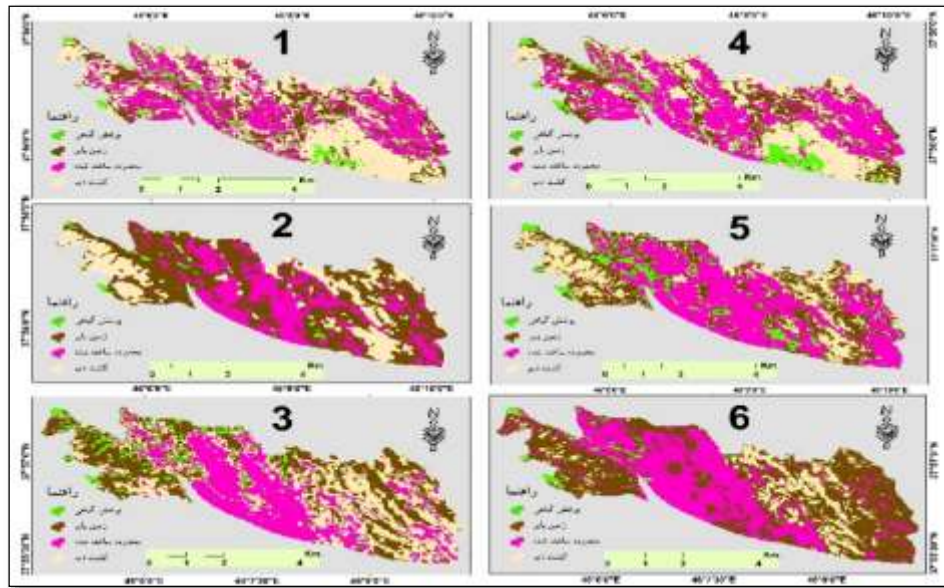


شکل (۴). نمودار جریان روش تحقیق

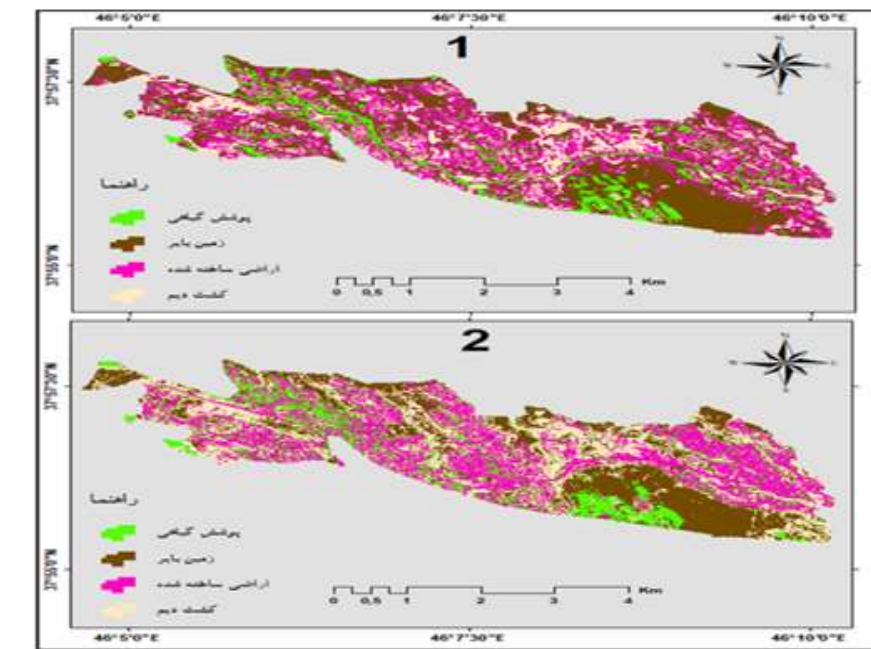
طبقه‌بندی تصاویر

همانطور که ذکر شد برای تحقیق حاضر از ترکیب روش‌های سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی و همچنین سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی استفاده شده است. روش‌های طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای از جمله روش‌های بسیار مفید در زمینه شناسایی ویژگی‌های سطح زمین هستند که می‌توانند جزئیات پوشش سطح زمین را فراهم کنند (Shivakumar, 2016). روش‌های طبقه‌بندی تصاویر در تحقیق پیش‌رو شامل دو روش Support Vector Machine و Minimum Distance به عنوان روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده می‌باشد. لازم به ذکر است که تمامی مراحل طبقه‌بندی تصاویر در محیط GEE صورت گرفته است. از آنجایی که تمامی تصاویر مورد استفاده در سامانه منبع باز GEE دارای تصحیحات مورد نیاز هستند لذا، بعد از فراخوانی تصاویر مستقیماً اقدام به شروع فرآیند طبقه‌بندی نمودیم. تصاویر در ۴ کلاس شامل اراضی ساخته شده، اراضی بایر، پوشش گیاهی و اراضی دیم طبقه‌بندی شدند. با توجه به اینکه از دو الگوریتم و دو ماهواره متفاوت استفاده شده است، در نهایت

۸ نقشه استخراج شد که بعد از بررسی دقت طبقه‌بندی نقشه حاصل از تصاویر ماهواره Sentinel-2 و طبقه‌بندی SVM با ضریب کاپای ۸۹/۶۱ به عنوان ورودی شبکه عصبی انتخاب شد (شکل ۴).



الف: ۱. نقشه استخراج شده سال ۲۰۱۹ با استفاده از الگوریتم MD، ۲. نقشه استخراج شده سال ۲۰۰۸ با استفاده از الگوریتم MD، ۳. نقشه استخراج شده سال ۲۰۰۰ با استفاده از الگوریتم MD، ۴. نقشه استخراج شده سال ۲۰۱۹ با استفاده از الگوریتم SVM، ۵. نقشه استخراج شده سال ۲۰۰۸ با استفاده از الگوریتم SVM، ۶. نقشه استخراج شده سال ۲۰۰۰ با استفاده از الگوریتم SVM،



ب: ۱. نقشه استخراج شده با استفاده از الگوریتم MD، ۲. نقشه استخراج شده با استفاده از الگوریتم SVM.

وزن دهی به معیارها

به منظور مشخص کردن اهمیت و برتری معیارها نسبت به یکدیگر از روش ANP به عنوان یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی استفاده شد. برای غلبه بر مشکلات وابستگی متقابل و بازخورد بین معیارها و گزینه‌های موجود در دنیای واقعی، ANP به عنوان یک روش MCDM جدید پیشنهاد شده است. ANP از مقیاس اصلی ساتی برای محاسبه وزن و اهمیت معیارها نسبت به یکدیگر با استفاده از مقایسه زوجی استفاده می‌کند (Saaty, 2008; 83-98). وابستگی متقابل و بازخورد بین معیارها و گزینه‌های جایگزین در بین روش‌های MCDM باید مورد توجه قرار گیرد (Wang, 2012: 926-935). تمام عناصر یک شبکه می‌توانند با یکدیگر رابطه داشته باشند. استفاده از معیارهای کمی و کیفی و انعطاف‌پذیری از خصوصیات روش ANP هستند (Abedi Gheshlaghi et al, 2020: 481-499). برای انجام فرآیند وزن‌دهی ابتدا ماتریس مقایسات زوجی بعد از استفاده از نظرات جامعه خبرگان متشکل از کارمندان شاغل در شهرداری، اساتید دانشگاه که در ارتباط با موضوع مورد نظر سررشته دارند، دانشجویان و محققان رشته سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی ایجاد شد. نرخ سازگاری باید کمتر از ۰/۱ باشد در غیر این صورت باید در مقایسات تغییرات مورد نیاز صورت بگیرد تا این مقدار به دست آید (رابطه ۱). نرخ سازگاری برای مقایسات در تحقیق حاضر برابر با ۰/۰۷۳ بود که ضریب قابل قبولی می‌باشد.

$$CI = \frac{\lambda - 1}{n - 1} \quad (1)$$

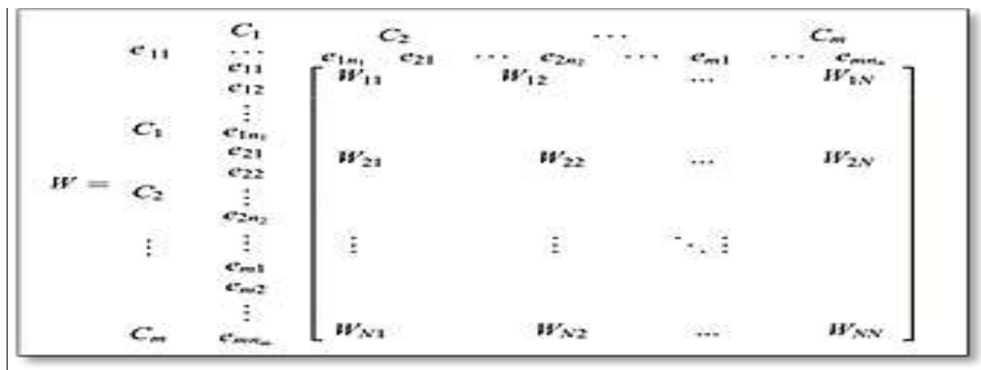
بعد از ایجاد ماتریس مقایسات زوجی، اقدام به ایجاد بردار وزن‌ها شده است که در زیر رابطه مربوط به آن آمده است (رابطه ۲).

$$AW = \lambda \max W \quad (2)$$

در این فرمول $\lambda \max$ بزرگترین مقدار ویژه ماتریس A است. نیاز است تا بردار W نرمال شود که با استفاده از رابطه زیر این کار صورت می‌گیرد.

$$A = \sum_{i=1}^n W_i \quad (3)$$

تشکیل سوپرماتریس اولیه یکی از مراحل مهم در این روش است که تفاوت آن با روش تحلیل سلسله مراتبی را نیز آشکار می‌کند. روش کار به این صورت است که وزن نسبی ماتریس‌های ساخته شده در مراحل قبل در یک ماتریس جدید وارد شده و رابطه متقابل بین عناصر سیستم را نشان می‌دهد (شکل ۵). یک سوپرماتریس در حقیقت یک ماتریس جزبندی شده است که در آن هر بخش از ماتریس رابطه میان دو گره (سطح تصمیم‌گیری) را درکل مسأله تصمیم‌گیری نشان می‌دهد (تکیه‌خواه و همکاران، ۲۰۱۵).



شکل (۵). سوپر ماتریس اولیه

Cf: (Saaty, 1996)

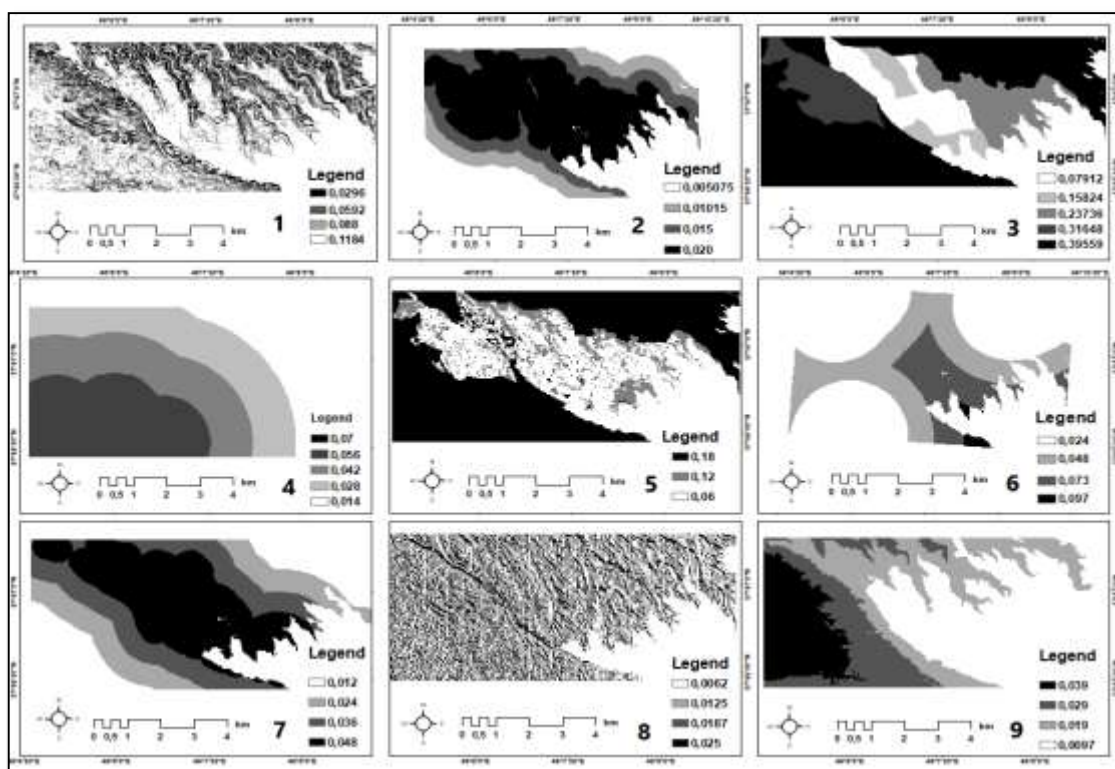
در نهایت بعد از محاسبات ذکر شده در محیط نرم افزار Supper Decision وزن نهایی معیارها به دست آمد (جدول ۳).

جدول (۳). وزن نهایی ANP معیارها

وزن	معیار	ردیف	وزن	معیار	ردیف
۰/۳۹۵۶	قیمت زمین	۶	۰/۰۲۵	جهت شیب	۱
۰/۰۴۸۸	فاصله از جاده ها	۷	۰/۰۳۹	ارتفاع	۲
۰/۰۷۰۵	فاصله از مناطق شهری	۸	۰/۰۹۸	فاصله از غسل	۳
۰/۱۱۸۴	شیب	۹	۰/۰۲۰۳	فاصله از آبراهه	۴
			۰/۱۸۳۷	کاربری اراضی	۵

فرآیند فازی سازی داده‌ها

استفاده از متغیرهای زبانی در ایجاد یک مقیاس واحد برای اندازه‌گیری و مقایسه معیارها با واحدهای اندازه‌گیری متفاوت مفید است. از طرفی دیگر استفاده از منطق فازی در MCDM سازگاری واحدها برای هم‌پوشانی نهایی را فراهم می‌سازد. ترکیب روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) با تکنیک‌هایی مانند منطق فازی، روشی بسیار مفید برای مقابله با مشکلات تصمیم‌گیری فراهم می‌کند (Sánchez et al, 2020). تئوری مجموعه فازی به عدم قطعیت‌ها می‌پردازد و باعث شده است که بخش قابل توجهی از مشکلات و پیچیدگی‌ها حل شود (Mahmoudi et al, 2019). منطق فازی راه‌حل بسیاری از عدم-قطعیت‌ها و دانش نادرست در تصمیمات مردم بوده است (Özkan et al, 2020). منطق فازی می‌تواند به عنوان پایه ریاضیاتی بسیاری از متغیرها و سیستم‌های مبهم و نادرست باشد (Abedi Gheshlaghi et al, 2020: 481-499). توابع مختلف فازی برای تبدیل طبقات لایه‌ها به درجات فازی موجود می‌باشند. از جمله این روش‌ها می‌توان به Large، Small، Gaussian، Linear، MSLarge، MSSmal، Near فازی‌سازی لایه‌ها از دستور Fuzzy Membership در نرم افزار Arc Map استفاده شد. به ترتیب لایه‌های رستری آماده شده در مراحل قبلی به عنوان ورودی وارد شده و خروجی آن یک لایه رستری جدید با درجات عضویت فازی بین صفر و یک نتیجه تبدیل رسترهای طبقه‌بندی شده بر اساس رتبه‌های بین ۱ تا ۵ به ارزش‌های فازی بین ۰ و ۱ تبدیل شده است (شکل ۶).



شکل (۴). لایه‌های فازی شده و دارای وزن: ۱. لایه شیب با درجات عضویت فازی ۲. لایه فاصله از شبکه آبراهه با درجات عضویت فازی ۳. لایه قیمت زمین با درجه عضویت فازی ۴. لایه فاصله از نقاط شهری اطراف با درجه عضویت فازی ۵. لایه کاربری زمین با درجه عضویت فازی ۶. لایه فاصله از گسل‌ها با درجه عضویت فازی ۷. لایه فاصله از جاده‌ها با درجه عضویت فازی ۸. لایه جهت شیب با درجه عضویت فازی ۹. لایه ارتفاع با درجه عضویت فازی.

شبکه عصبی مصنوعی MLP

شبکه‌های عصبی مصنوعی یا شبکه‌های عصبی مصنوعی (Artificial Neural Networks - ANN) یا به زبان ساده‌تر شبکه‌های عصبی سیستم‌ها و روش‌های محاسباتی نوین برای یادگیری ماشینی، نمایش دانش و در انتها اعمال دانش به دست آمده در جهت پیش‌بینی شبکه‌های عصبی مصنوعی یا شبکه‌های عصبی مصنوعی (Artificial Neural Networks - ANN) یا به زبان ساده‌تر شبکه‌های عصبی سیستم‌ها و روش‌های محاسباتی نوین برای یادگیری ماشینی، نمایش دانش و در انتها اعمال دانش به دست آمده در جهت پیش‌بینی پاسخ‌های خروجی از سامانه‌های پیچیده هستند. ایده اصلی این گونه شبکه‌ها تا حدودی الهام گرفته از شیوه کارکرد سیستم عصبی زیستی برای پردازش داده‌ها و اطلاعات به منظور یادگیری و ایجاد دانش می‌باشد. این سیستم از شمار زیادی عناصر پردازشی فوق‌العاده به هم پیوسته با نام نورون تشکیل شده که برای حل یک مسأله با هم هماهنگ عمل می‌کنند و توسط سیناپس‌ها (ارتباطات الکترومغناطیسی) اطلاعات را منتقل می‌کنند. در این شبکه‌ها اگر یک سلول آسیب ببیند بقیه سلول‌ها می‌توانند نبود آن را جبران کرده، و نیز در بازسازی آن سهیم باشند. این شبکه‌ها قادر به یادگیری‌اند. مثلاً با اعمال سوزش به سلول‌های عصبی لامسه، سلول‌ها یاد می‌گیرند که به طرف جسم داغ نروند و با این الگوریتم سیستم می‌آموزد که خطای خود را اصلاح کند. یادگیری در این سیستم‌ها به صورت تطبیقی صورت می‌گیرد، یعنی با استفاده از مثال‌ها وزن سیناپس‌ها به گونه‌ای تغییر می‌کند که در صورت دادن ورودی‌های جدید، سیستم پاسخ درستی تولید کند.

یکی از روش‌هایی که برای تعیین مکان مناسب توسعه شهر استفاده می‌شود، روش شبکه عصبی است. از آنجا که رشد شهری پدیده‌های پیچیده است و در آن تعدادی از متغیرها با هم تعامل غیرخطی دارند، استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای مدل کردن توسعه و رشد شهری کاملاً منطقی است. شبکه‌های عصبی مصنوعی با ساختار نقشه‌سازی غیرخطی و برای مدلسازی سیستم‌های متصل به یکدیگر مانند مغز متشکل از نرون‌ها توسعه داده شده‌اند. شبکه‌های عصبی پرسپترون چند لایه از پرکاربردترین شبکه‌های عصبی کاربردی هستند (شیروانی، ۱۳۹۵: ۲۵). یکی از پایه‌ای‌ترین مدل‌های عصبی موجود، مدل پرسپترون چند لایه یا به اختصار است که عملکرد انتقالی مغز انسان را شبیه‌سازی می‌کند (محمودزاده، ۱۳۹۶: ۲۲۳). در این نوع شبکه عصبی، بیشتر رفتار شبکه‌ای مغز انسان و انتشار سیگنال در آن مد نظر بوده است و از این رو، گهگاه با نام شبکه‌های پیش‌خورد نیز خوانده می‌شوند. هر یک از سلول‌های عصبی مغز انسان، موسوم به نورون (Neuron)، پس از دریافت ورودی (از یک سلول عصبی یا غیر عصبی دیگر)، پردازشی روی آن انجام می‌دهند و نتیجه را به یک سلول دیگر (عصبی یا غیر عصبی) انتقال می‌دهند. این رفتار تا حصول نتیجه‌ای مشخص ادامه دارد، که احتمالاً در نهایت منجر به یک تصمیم، پردازش، تفکر و یا حرکت خواهد شد. مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی از مدل‌های اطلاعات محور به‌شمار می‌آیند. یکی از نکات مهم در حین استفاده از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه تعلیم یا آموزش شبکه است تا از مسأله بیش‌برازش جلوگیری شود (رستمی و همکاران، ۱۳۹۸). در این تحقیق از روش MLP برای بررسی توسعه فیزیکی شهر جدید سهند استفاده شده است. برای این منظور از نسخه جدید نرم افزار IDRISI Selva تحت عنوان، TerrSet استفاده شد. متغیرهای مستقل و متغیر وابسته، برخی پارامترهای مؤثر در نتیجه نهایی وجود دارند که می‌توان به شروط توقف شبکه عصبی اشاره کرد. این موارد شامل تعداد دوره‌های تکرار آموزش، خطای مورد انتظار، تابع سیگموئید یا خطی، تعداد لایه‌های پنهان (که در این نرم افزار ۱ و یا دو خواهد بود)، تعداد نودها برای هر لایه اشاره نمود. نتیجه نهایی این فرآیند یک لایه رستری است که در آن مناطق مستعد توسعه فیزیکی شهری به صورت فازی بین صفر تا یک طبقه‌بندی شده‌اند.

بحث و بررسی

با توجه به آنکه برای به دست آوردن داده‌های مورد نیاز به استخراج نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه نیاز بود، این امر با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای به دست آمد. برای بررسی و ارزیابی دقت نتایج طبقه‌بندی از شاخص‌های دقت کلی، دقت کاربری، دقت تولید کننده و ضریب کاپا استفاده شده است (رابطه ۴).

$$Kappa = \frac{(TC \times TTC) - \sum(CT \times RT)}{(TC)^2 - \sum(CT \times RT)} \quad (4)$$

TC: تعداد کل نمونه‌های برداشت شده؛

TTC: تعداد نمونه‌های درست طبقه‌بندی شده؛

CT: مجموع نمونه‌های برداشت شده در ستون‌های ماتریس؛

RT: مجموع نمونه‌های برداشت شده در سطرهای ماتریس؛

با توجه به نتایج این ضرایب، نقشه حاصل از تصاویر ماهواره Sentinel-2 با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر و الگوریتم طبقه‌بندی SVM نتایج قابل قبولی را ارائه داد. نتایج ارزیابی دقت برای سایر الگوریتم‌ها در جدول زیر آمده است (جدول ۴).

جدول (۴). نتایج ارزیابی دقت در الگوریتم‌های طبقه‌بندی

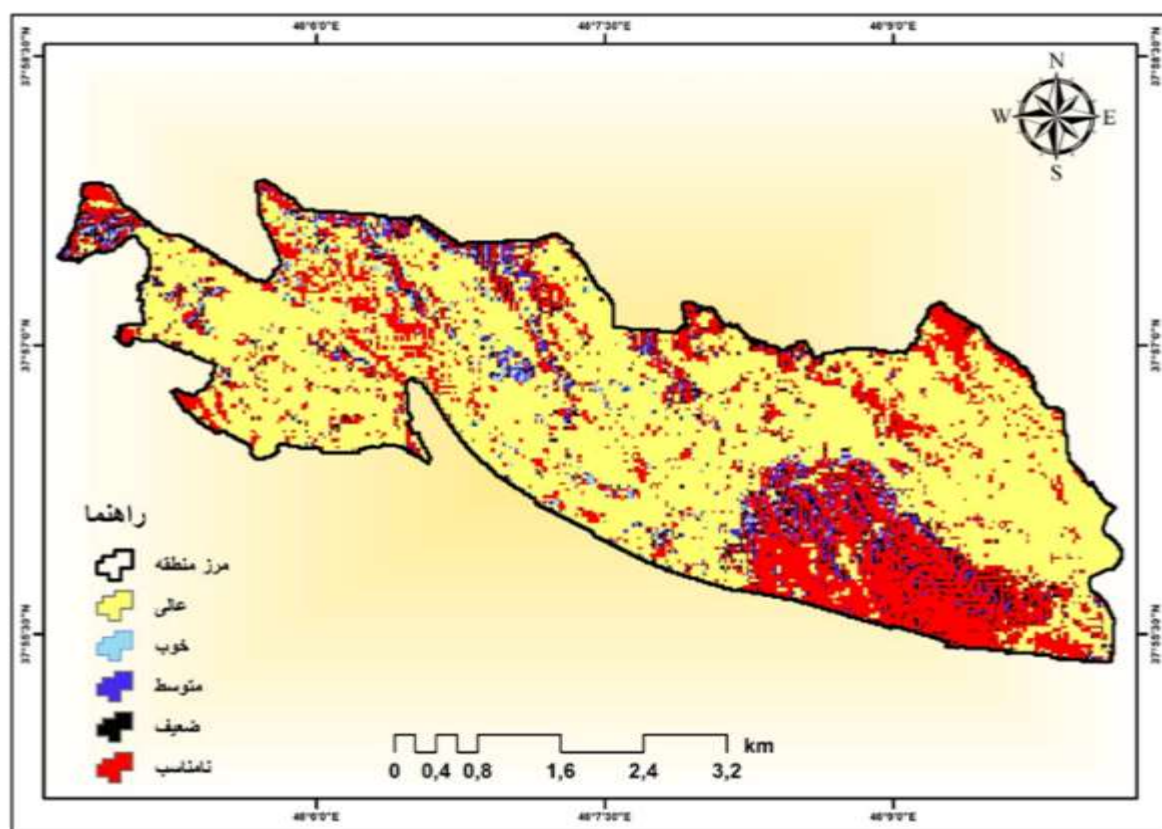
Minimum Distance				Support vector machine				الگوریتم
Sentinel-2	Landsat-8	Landsat-7	Landsat-7	Sentinel-2	Landsat-8	Landsat-7	Landsat-7	ماهواره
2019	2019	2008	2000	2019	2019	2008	2000	سال
81/08	80/06	77/37	71/14	92/06	83/63	80/06	81/95	دقت کاربر
82/94	81/43	75/13	72/74	92/63	87/39	81/43	78/7	دقت تولید کننده
81/77	81/32	76/61	73/9	92/45	86/78	81/32	79/66	دقت کلی
75/14	73/35	67/34	63/38	89/61	81/15	73/35	71/13	ضریب کاپا

در فرآیند وزن دهی به معیارها، بعد از به دست آوردن وزن تمامی معیارها مشخص شد که عامل قیمت زمین که در این تحقیق به عنوان عاملی ابتکاری مورد استفاده قرار گرفته است دارای بیشترین اهمیت در توسعه فیزیکی شهری می‌باشد که وزن آن برابر با ۰/۳۹۵۶ می‌باشد در حالی که فاصله از شبکه‌های زهکشی دارای کمترین اهمیت نسبت به سایر زیرمعیارها بوده است. در هنگام مقایسه همه زیرمعیارها با یکدیگر نرخ ناسازگاری برابر با ۰/۰۷۳۳۶ بوده است که نشان دهنده دقت بالای مقایسات و سازگاری رتبه دهی به منظور مقایسات زوجی است. در فرآیند فازی‌سازی داده‌ها که به منظور یکسان سازی واحد زیرمعیارها با یکدیگر انجام شد، تمامی لایه‌ها با استفاده از دستور Fuzzy Membership بین ۰ و ۱ تقسیم‌بندی شدند. در این تحقیق از تابع خطی برای تقسیم درجات فازی در بین طبقات هر لایه استفاده شد. در بین معیارهای مورد استفاده در تحقیق حاضر لایه‌ها بر اساس اهمیت نزدیکی و دوری از آستانه‌های تعیین شده فازی‌سازی شده‌اند. درجات عضویت فازی، نوع تابع، نوع شیب خط برای تابع خطی از مهم‌ترین پارامترهای این بخش هستند که در نتایج نهایی تأثیرگذار می‌باشند (جدول ۵).

جدول (۵). درجه عضویت فازی لایه‌های معیار

ردیف	نام لایه	رتبه بندی طبقات	تابع	شیب مثبت	شیب منفی	درجه عضویت فازی
۱	شیب	۱-۲-۳-۴-۵	خطی		●	0/25-0/5-0/75-1
۲	فاصله از شبکه آبراهه	۱-۲-۳-۴-۵	خطی	●		0/25-0/5-0/75-1
۳	قیمت زمین	۱-۲-۳-۴-۵	خطی		●	0/20-0/60-0/80-1
۴	فاصله از نقاط شهری	۱-۲-۳-۴-۵	خطی		●	0/20-0/60-0/80-1
۵	کاربری زمین	۱-۲-۳-۴-۵	خطی		●	0/33-0/40-0/66-1
۶	فاصله از غسل‌ها	۱-۲-۳-۴-۵	خطی	●		0/25-0/5-0/75-1
۷	فاصله از جاده‌ها	۱-۲-۳-۴-۵	خطی		●	0/25-0/5-0/75-1
۸	جهت شیب	۱-۲-۳-۴-۵	خطی		●	0/25-0/5-0/75-1
۹	ارتفاع	۱-۲-۳-۴-۵	خطی		●	0/25-0/5-0/75-1

استفاده از روش‌های رایج در سیستم اطلاعات جغرافیایی برای سنجش و ارزیابی وضعیت توسعه فیزیکی شهرها همواره در حال توسعه بوده و متخصصان به دنبال دستیابی به بهترین روش برای این منظور هستند. در تحقیق حاضر نیز از ترکیب روش‌های فازی، تحلیل شبکه (ANP) و شبکه‌های عصبی به عنوان روش ابتکاری در تحلیل‌های مکانی استفاده شده است. نتایج حاصل از ترکیب این روش‌ها یک نقشه رستری بود که مناطق مستعد توسعه فیزیکی را برای آینده شهر جدید سهند نشان داد (شکل ۷).



شکل (۷). مناطق مستعد توسعه فیزیکی در شهر جدید سهند

بر اساس این نقشه مناطق مناسب برای توسعه فیزیکی شامل ۱۱۰۷ کیلومتر (بدون کم کردن مساحت محدوده‌های ساخته شده فعلی) می‌باشد. با توجه به مساحت محدوده‌های ساخته شده که از شهرداری این شهر دریافت شده است، مساحت محدوده‌های ساخته شده برابر با ۸۴۵ هکتار می‌باشد که در صورت کم کردن این مقدار از نتایج به دست آمده توسط شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده در تحقیق حاضر، تنها ۲۶۲ هکتار از مساحت‌های باقی مانده از زمین‌های شهر جدید سهند قابلیت مناسب برای توسعه فیزیکی شهر را در آینده دارند.

نتیجه‌گیری

توجه به این نکته که آیا قیمت زمین می‌تواند در توسعه فیزیکی شهرها تأثیر داشته باشد یا خیر در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که در کنار سایر معیارها می‌تواند تأثیر بارزتری داشته باشد. علاوه بر استفاده از داده‌های مناسب و صحیح، استفاده از روش مناسب نیز یکی از شروط به دست آوردن نتایج صحیح و دقیق می‌باشد. در تحقیق حاضر، استفاده از روش‌های طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین دارای دقت بالایی برای استفاده از نتایج بود. علاوه بر آن استفاده از معیارهایی همچون قیمت زمین و معیارهای زمین‌شناسی و کاربری اراضی و تحلیل برتری و اهمیت هر کدام از آنها در توسعه فیزیکی شهر نشان داد که قیمت زمین و شیب و کاربری اراضی از سایر معیارها تأثیر بیشتری داشته و می‌تواند تعیین کننده جهت توسعه فیزیکی شهرها باشند. تحلیل و همپوشانی در محیط شبکه‌های عصبی مصنوعی نیز نشان داد که حصول نتایج نزدیک به واقعیت می‌تواند در گرو استفاده از روش‌های مناسب باشد. نتایج تحقیق حاضر با نتایج عامری و همکاران (۱۳۹۶)، در تحقیقی توسعه شهری در جزیره مینو را با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی بررسی کردند و نتایج آنها نشان داد؛ علی‌رغم اینکه منطقه مورد نظر برای توسعه شهری مناسب است، ساختار کالبدی و رفاه اجتماعی باید مورد نظر برنامه‌ریزان قرار بگیرد.

منابع

- تقوایی، مسعود؛ قیومی محمدی، حمید و یوسف نصیری. (۱۳۹۲). تحلیل فضایی توسعه فیزیکی شهر اقلید با استفاده از روش **AHP**، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۲۸: ۵۴-۳۱.
- محمودزاده حسن. (۱۳۹۶). کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در مدل سازی و پیش بینی تغییرات کاربری اراضی شهر سردرود (۱۴۱۰-۱۳۶۳). جغرافیا و برنامه ریزی، دوره ۲۱، شماره ۶۰: ۲-۲۲۱.
- زیاری، کرامت اله و طیبه قائمی‌راد. (۱۳۹۵). تحلیل توان جغرافیای اکولوژیکی بر توسعه فیزیکی شهر رشت، جغرافیا (برنامه ریزی منطقه ای)، ۶ (۳): ۱۲۵-۱۳۶.
- شیروانی، حسین. (۱۳۹۵). شبکه های عصبی مصنوعی با رویکرد کاربرد در علوم کشاورزی و منابع طبیعی، انتشارات دانشگاه ولی عصر(عج)، دانشگاه رفسنجان.
- علیپور، کیوان و نسرین علی احمدی. (۱۳۹۵). مفهوم توسعه و نظریه های توسعه شهری، دومین کنفرانس ملی مهندسی عمران، بابل - مؤسسه علمی تحقیقاتی کومه علم آوران دانش، ۲۵ آذر.
- مردای مهدی؛ پریزادی، طاهر و مرتضی مرادی. (۱۳۹۷). الزامات توسعه شهر از درون، مورد مطالعاتی: شهر بروجرد، معماری و شهرسازی آرمان شهر، ۲۳: ۳۳۲-۳۱۹.
- قرخلو، مهدی و اصغر عابدینی. (۱۳۸۷). ارزیابی چالشها و مشکلات شهرهای جدید و میزان موفقیت آنها در ایران: شهر جدید سهند. برنامه ریزی و آمایش فضا (مدرس علوم انسانی)، ۱۳، ۱ (۶۰): ۱۶۵-۱۱۹.
- عماری، سحر؛ دشتی، سولماز و جعفر مرشدی. (۱۳۹۶). ارزیابی توان اکولوژیک به منظور توسعه شهری با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: جزیره مینو)، فصلنامه انسان و محیط زیست، ۱۵ (۴۰): ۶۱ تا ۷۰.
- عمرزاده، داود؛ پورمردان، سامره، ولیزاده کامران، خلیل، فیضی زاده، بختیار و هدی خلایقی. (۱۳۹۹). قابلیت سنجی توسعه گردشگری طبیعی (اکوتوریسم) در استان آذربایجان غربی بر اساس تحلیل های مکانی GIS جغرافیا و برنامه ریزی، دوره ۲۶ (۷۹): ۲۵۶-۲۴۳.

physical development of Eqld city using AHP method, Quarterly Journal of Geographical Research, 28: 31-54. [In persian]

Mahmoudzadeh Hassan. (2017). Application of artificial neural network in modeling and predicting land use changes of Sardrood city (1984-1989). Geography and Planning, Volume 21, Issue 60: 221-2. [In persian]

Ziari, Keramatollah and Tayyebah Ghaemi-Rad. (2016). Analysis of the power of ecological geography on physical development of Rasht city, Geography (Regional Planning), 6 (3): 125-136. [In persian]

Shirvani, Hossein. (2016). Artificial neural networks with application approach in agricultural sciences and natural resources, Vali Asr University Press, Rafsanjan University. [In persian]

Alipour, Keyvan and Nasrin Ali Ahmadi. (2016). The concept of development and urban development theories, Second National Conference on Civil Engineering, Babol - Scientific Research Institute of Kumeh Alam Avaran Danesh, 15 Azar. [In persian]

Mardaye Mehdi; Parizadi, Taher and Morteza Moradi. (2018). Requirements for city development from within, case study: Borujerd city, Arman Shahr Architecture and Urbanism, 23: 332-319. [In persian]

Qarkhloo, Mehdi and Asghar Abedini. (2008). Evaluating the challenges and problems of new cities and their success rate in Iran: New Sahand city. Planning and Spatial Planning (Humanities Department), 13, 1 (60): 119-165. [In persian]

Amari, Sahar; Dashti, Solmaz and Jafar Morshedi. (2017). Ecological Capacity Assessment for Urban Development Using Geographic Information System (Case Study: Minoos Island), Quarterly Journal of Humanity and Environment, 15(40): 61-70. [In persian]

- Omarzadeh, Davud; Pourmoradian, Samereh, Valizadeh Kamran, Khalil, Feizizadeh, Bakhtiar and Hoda Khalaghaghi. (2019). Feasibility Assessment of Natural Tourism Development (Ecotourism) in West Azerbaijan Province Based on Spatial GIS Analyses. *Geography and Planning*, Volume 26(79): 256-243. [In persian]
- Akbar, Tahir Ali, Quazi K. Hassan, Sana Ishaq, Maleeha Batool, Hira Jannat Butt, and Hira Jabbar . (2019), Investigative spatial distribution and modelling of existing and future urban land changes and its impact on urbanization and economy, *Remote Sensing*, 11(2): 105.
- Abedi Gheshlaghi, Hassan, Bakhtiar Feizizadeh, and Thomas Blaschke. (2020), GIS-based forest fire risk mapping using the analytical network process and fuzzy logic, *Journal of Environmental Planning and Management*, 63(3): 481-499.
- Amanpour, Saeid, Mohammad Javid Kamelifar, and Hojjat Bahmaei (2017), Analysis of landuse change in metropolises using satellite imagery analysis in Envi case study: Ahvaz metropolis geographical data, 26(139-150).
- Hird, Jennifer N., Evan R. DeLancey, Gregory J. McDermid, and Jahan Kariyeva (2017), Google Earth Engine, open-access satellite data, and machine learning in support of large-area probabilistic wetland mapping. *Remote sensing*, 9 (12): 1315.
- Xie, Saining, Alexander Kirillov, Ross Girshick, and Kaiming He. (2019), Exploring randomly wired neural networks for image recognition. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*, pp. 1284-1293.
- Immitzer, Markus, Francesco Vuolo, and Clement Atzberger. (2016), First experience with Sentinel-2 data for crop and tree species classifications in central Europe, *Remote Sensing*, 8(3): 166.
- Mathan, M., and M. Krishnaveni. (2020), Monitoring spatio-temporal dynamics of urban and peri-urban land transitions using ensemble of remote sensing spectral indices—a case study of Chennai Metropolitan Area, India, *Environmental Monitoring and Assessment*, 192 (1): 15.
- Mahmoudi, Saeed, Amir Jalali, Maryam Ahmadi, Parvin Abasi, and Nader Salari (2019), Identifying critical success factors in Heart Failure Self-Care using fuzzy DEMATEL method, *Applied Soft Computing*, 84: 105729.
- Shivakumar, B. R., and S. V. Rajashekararadhya. (2017), Spectral similarity for evaluating classification performance of traditional classifiers, In *2017 International Conference on Wireless Communications IEEE, Signal Processing and Networking (WiSPNET)*, pp. 1999-2004.
- Sánchez-Garrido, Antonio J., and Víctor Yepes. (2020), Multi-criteria assessment of alternative sustainable structures for a self-promoted, single-family home, *Journal of Cleaner Production*, 258: 120556.
- Saaty, Thomas L. (2008), Decision making with the analytic hierarchy process, *International journal of services sciences*, 1: 83-98.
- Omkar, S. N., M. Manoj Kumar, Dheevatsa Mudigere, and Dipti Muley (2007), Urban satellite image classification using biologically inspired techniques, In *2007 IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, pp. 1767-1772. IEEE.
- Özkan, Barış, Eren Özceylan, Mehmet Kabak, and Metin Dağdeviren. (2020), Evaluating the websites of academic departments through SEO criteria: a hesitant fuzzy linguistic MCDM approach, *Artificial Intelligence Review*, 53 (2): 875-905.
- Wang, Tsung-Cheng. (2012), The interactive trade decision-making research: An application case of novel hybrid MCDM model, *Economic Modelling*, 29 (3): 926-935.
- Yuan, C., Ng, E., & Norford, L. K. (2014), Improving air quality in high-density cities by understanding the relationship between air pollutant dispersion and urban morphologies, *Building and Environment*, 71: 245-258.
- Badach, J., Voordeckers, D., Nyka, L., & Van Acker, M. (2020), A framework for Air Quality Management Zones-useful GIS-based tool for urban planning: Case studies in Antwerp and Gdańsk, *Building and Environment*, 106743.