Archive of SID.ir

University of Tehran Press

Journal of Environmental Studies
Vol. 50, No. 2, Summer 2024

Journal Homepage: www.Jes.ut.ac.ir
Print ISSN: 1025-8620 **Online ISSN 2345-6922**

Simulation of Urban Development Using the Combined Method of Multi-Criteria Evaluation and SLEUTH Model in Nazarabad City

Meysam Eghbali[1], Seyed Ali Jozi[2]✉, Rokhshad Hejazi[3], Mojgan Zaeimdar[4]

1. Department of Environment, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, Email: Eghbaly1361@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Environment, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, Email: sajozi@yahoo.com
3. Department of Environment, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, Email: rokhshad47@yahoo.com
4. Department of Environment, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. Email: jzaeimdar@yahoo.com

Article Info

Research Article:
Research Paper

Article history:
Received 8 January 2024
Received in revised from 20 February 2024
Accepted 23 February 2024
Publish online 22 August 2024

Keywords:
SLEUTH model,
Urban growth modeling,
Urban planning,
Urban suitability assessment.

ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate the physical growth characteristics of Nazarabad city in the past and predict its future changes until 2050 using the SLEUTH model. In this study, the urban map was extracted from the Landsat satellite images of 1990, 2000, 2010 and 2020, and using the layers of slope, land use, excluded layer, urban extent, transportation network, and hill shade, it was entered into the SLEUTH model and urban growth was simulated in two historical and environmental scenarios. To provide a more favorable prediction of future land use changes in the SLEUTH model in the environmental scenario, the multi-criteria evaluation (MCE) method was used using twenty layers that have the greatest impact on land suitability for urban development. The layers used in the MCE process were related to topography, geology, weather and climate, water resources, biological, urban distances and land use. The results of the first scenario showed that from 2020 to 2050, 390 hectares will be added to the urban land and part of the gardens and agricultural land will be lost. The results of the second scenario showed that 205 hectares of valuable land could remain intact, thus preventing further fragmentation of the land use pattern in the future. The simulation results of the physical development of Nazarabad city showed that the combination of SLEUTH model with MCE can be a very useful tool for city managers to facilitate the evaluation of urban development patterns.

Cite this article: Eghbali, M., Jozi, S. A., Hejazi, R., Zaeimdar, M. (2024). Simulation of Urban Development Using the Combined Method of Multi-Criteria Evaluation and SLEUTH Model in Nazarabad City. Journal of Environmental Studies, 50 (2), 167- 186.

DOI: http//doi.org/10.22059/jes.2024.370630.1008468

© The Author(s). **Publisher:** University of Tehran Press.

DOI: http//doi.org/10.22059/jes.2024.370630.1008468

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

Extended Summary

Introduction

Nazarabad is one of the western cities of Alborz province, which is located at latitude 35° to 47′ 36°53′ and longitude 50°15′ to 50°41′. In this research, SLEUTH model was used to model urban growth. SLEUTH model is used according to the area of urban in different periods, the road transport network, hill shade, slope and the areas excluded from urban development to model urban growth. The model is based on them to model and simulate the development process. In general, the three steps: preparation of input layers, determination of urban growth forecasting scenarios, and calibration and urban growth forecasting.

Material and methods

In the first step, A DEM layer with an azimuth angle of 315 degrees was used to prepare the slope and hillshade map. The layers of urban areas were extracted from Landsat satellite images in four years 1990, 2000, 2010, and 2020 by supervised classification method. Satellite images, existing maps and Google Earth were used for preparing the road map. The excluded layer was prepared for two types of historical and environmental growth scenarios. Roads, rivers and lands outside the legal boundaries of the city have been considered as exceptions in the historical growth. In the scenario of environmental growth, WLC were used to prepare an environmental excluded layer. In the MCE process, 20 sub-criteria were selected and weighted based on the ANP method. Finally, in the SLEUTH model, calibration was achieved in three steps: coarse, fine and final based on cell size, search range and number of Monte Carlo executions. Then the best prediction coefficients are determined by the model.

Discussion

In this study, 2 environmental and socio-economic dimensions consisting of 7 criteria and 20 sub-criteria were collected and weighted to prepare an excluded layer in environmental growth. According to the ANP, distance from residential areas (0.252), suitability of land use (0.22), distance from wetland (0.11) and slope percentage (0.096) are more important. In the historical growth scenario, the built land will increase by 390 hectares from 2020 to 2050. This scenario shows the greatest increase in urban development, which leads to the loss of a huge part of the agricultural area and gardens. In the second scenario, urban growth was predicted based on historical trends and considering environmental considerations. In this scenario, the built land will increase by 185 hectares from 2020 to 2050. In the environmental growth scenario, the amount of land with agricultural value will be preserved compared to the historical growth scenario of 205 hectares. The results show that the ratio of urban growth between 2020 and 2050 in the first and second scenario is 58.47 and 27.7 percent, respectively.

Conclusions

According to the results, taking into account the environmental considerations in excluded layer in the environmental scenario compared to the historical growth scenario, the development with scattered spots will be less and more compact. This issue shows that the application of exceptions in the environmental growth scenario has been more successful than the historical growth scenario in land use and preservation of valuable areas. Considering the existence of many agricultural lands around the city of Nazarabad and the effective role of this use in the land ecosystem and human effects on the ecosystems, the effort to preserve and restore the ecosystems requires increasing our knowledge about how humans benefit and use them.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

نشـریه محیـط شناسـی
دوره ۵۰، شمـاره ۲، تابستان ۱۴۰۳
Journal Homepage: http://Jes.ut.ac.ir
شاپای چاپی: ۸۶۲۰- ۱۰۲۵ شاپای الکترونیکی: ۶۹۲۲- ۲۳۴۵
University of Tehran Press

شبیه‌سازی توسعه شهری با استفاده از روش ترکیبی ارزیابی چند معیاره و مدل SLEUTH در شهر نظرآباد

میثم اقبالی[۱]، سید علی جوزی[۲]✉، رخشاد حجازی[۳]، مژگان زعیم‌دار[۴]

۱. گروه محیط زیست، دانشکده علوم و فنون دریایی، واحد، تهران شمال ، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، رایانامه: Eghbaly1361@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده علوم و فنون دریایی ،واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، رایانامه: sajozi@yahoo.com
۳. گروه مهندسی محیط زیست ، دانشکده علوم و فنون دریایی ، واحد تهران شمال ، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، رایانامه: rokhshad47@yahoo.com
۲. گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده علوم و فنون دریایی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، رایانامه: jzaeimdar@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۸
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۰۴
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۶/۰۱

کلیدواژه‌ها:
ارزیابی تناسب شهری،
برنامه‌ریزی شهری،
مدل SLEUTH،
مدل‌سازی رشد شهری.

چکیده

هدف از این پژوهش، بررسی ویژگی‌های رشد فیزیکی شهر نظرآباد در گذشته و پیش‌بینی تغییرات آتی آن تا سال ۲۰۵۰ با استفاده از مدل SLEUTH است. در این پژوهش، نقشه طبقه شهری از تصاویر ماهواره‌ای لندست سال‌های ۱۳۶۹، ۱۳۷۹، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۹ استخراج و با استفاده از لایه‌های جاده، مستثنائات، شیب و سایه و روشن به مدل SLEUTH وارد و رشد شهری در دو سناریو تاریخی و محیط‌زیستی شبیه‌سازی گردید. برای ارائه یک پیش‌بینی مطلوب‌تر از تغییرات کاربری و پوشش زمین در آینده در مدل SLEUTH در سناریوی محیط‌زیستی از روش ارزیابی چند معیاره (MCE) با استفاده از بیست لایه که بیشترین تأثیر را بر تناسب زمین برای توسعه شهری دارند، استفاده شد. لایه‌های مورد استفاده در فرآیند MCE به توپوگرافی، زمین‌شناسی، هوا و اقلیم، منابع آبی، بیولوژیک، حرایم و فواصل شهری و کاربری اراضی مربوط بودند. نتایج سناریوی اول نشان داد که از سال ۱۳۹۹ تا ۱۴۲۹ میلادی ۳۹۰ هکتار به زمین‌های شهری افزوده خواهد شد و بخشی از باغ‌ها و زمین‌های کشاورزی از بین خواهد رفت. نتایج سناریوی دوم نشان داد، ۲۰۵ هکتار از زمین‌های با ارزش می‌توانند دست نخورده باقی بمانند و از این طریق جلوی تکه‌تکه شدن بیشتر الگوی کاربری زمین را در آینده گرفت. نتایج شبیه‌سازی توسعه فیزیکی شهر نظرآباد نشان داد که ترکیب مدل SLEUTH با MCE به نحو مطلوبی می‌تواند ابزار بسیار مفیدی برای مدیران شهری باشد که ارزیابی الگوهای توسعه شهری را تسهیل نماید.

استناد: اقبالی، میثم.؛ جوزی، سید علی.؛ حجازی، رخشاد.؛ زعیم‌دار، مژگان. (۱۴۰۳). شبیه‌سازی توسعه شهری با استفاده از روش ترکیبی ارزیابی چند معیاره و مدل SLEUTH در شهر نظرآباد. نشریه محیط‌شناسی، ۵۰(۲)، ۱۶۷– ۱۸۶.
DOI: http//doi.org/10.22059/jes.2024.370630.1008468
DOR: 20.1001.1.10258620.1403.50.2.4.3

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران. © نویسندگان.

DOI: http//doi.org/10.22059/jes.2024.370630.1008468

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

۱. مقدمه

تغییر کاربری اراضی شهری یکی از مهم‌ترین فرآیندهای تغییر کاربری زمین است که پویایی سطح زمین را شکل می‌دهد و خدمات اکوسیستمی و کیفیت محیطزیست را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Grimm et al., 2008; Ahern, 2013; Wu, 2014). این تغییرات به نوبه خود بر ظرفیت اکوسیستم برای ارائه خدمات مهم برای حمایت از رفاه انسان تأثیر می‌گذارد. گزارش‌های اخیر نشان می‌دهد که جمعیت جهانی شهرنشین در سال ۲۰۱۸ میزان ۵۵ درصدی از کل جمعیت را به خود اختصاص داده است و تا سال ۲۰۵۰ پیش‌بینی می‌شود این نسبت به ۶۵ درصد برسد (Ibrahim et al., 2018). سرعت شهرنشینی در کشورهای در حال توسعه بسیار سریع اتفاق می‌افتد. این سرعت بالای شهرنشینی باعث بهره‌برداری ناپایدار از منابعی مانند زمین و انرژی (UNDESA, 2012; Cobbinah et al., 2015) و تولید انواع مختلف آلودگی (Cui et al., 2015; Yao et al., 2015) می‌شود به صورتی که سرعت و شدت اختلالات انسانی از سرعت بازیابی اکوسیستم فراتر رفته و منجر به آسیب‌های محیطزیستی تجمعی و حتی غیرقابل برگشت می‌شود (MA, 2005; Han et al., 2015) که توسعه پایدار منطقه را تهدید می‌نماید. ایران به‌عنوان یک کشور در حال توسعه، در حال تجربه رشد مناطق شهری خود است. روند شهرنشینی در ایران طی دهه‌های گذشته با نرخ بالای مهاجرت روستا به شهر همراه با تغییرات سریع اجتماعی- اقتصادی و سیاسی، رشد شهری نامتوازنی را سبب شده است. نسبت جمعیت شهری به کل جمعیت ایران در سال ۱۹۷۶ معادل ۴۷ درصد و در سال ۱۹۹۶ معادل ۶۱ درصد و هم اکنون به بیش از ۷۳ درصد رسیده است که از متوسط شهرنشینی جهان بیشتر است (Fanni, 2006, Foroozesh et al., 2022). این مسئله منجر به تنزل کیفیت محیطزیستی در بسیاری از نقاط ایران به‌ویژه در کلان‌شهرها و شهرهای حاشیه آن‌ها همچون کلان‌شهر کرج و شهرهای اطراف آن نظیر شهر نظرآباد شده است. لذا، توسعه روش‌هایی برای ارزیابی سناریوهای مختلف برنامه‌ریزی رشد شهری و شبیه‌سازی گسترش شهری، با توجه به پیامدهای آتی برای کاربری اراضی و پیشرفت برنامه‌ها و سیاست‌های فضایی کنونی برای برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران شهری و منطقه‌ای از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Bihamta et al., 2015).

بسیاری از مدل‌های تغییر کاربری زمین همچون مدل‌های مبتنی بر سلول‌های خودکار (Falah et al., 2020; Feng & Qi, 2018)، مدل‌های عامل مبنا (Malik & Abdalla, 2017; Hosseinali et al., 2013)، شبکه عصبی مصنوعی (Gharaibeh et al., 2020; Shafizadeh et al., 2022)، مدل‌سازی فرکتال (Man & Chen, 2020) و نظایر آن برای کمک به توضیح روند تکاملی رشد شهری و پیش‌بینی تغییرات احتمالی آینده در گستره شهری ایجاد شده‌اند. با این حال، بیشتر این مدل‌ها هنوز با چالش‌های خاص بودن و عدم جهان شمولی مواجه هستند. برخی از مدل‌های تغییر کاربری زمین، از جمله مدل SLEUTH[1] پیشنهاد شده توسط Clarke و همکاران (۱۹۹۷)، جهان‌شمولی نسبتاً خوبی در پیش‌بینی تغییرات شهری دارند. این مدل به‌عنوان یک رویکرد از پایین به بالا به مطالعات اولیه فشرده در مورد علل عمومی رشد شهری در یک منطقه مورد مطالعه یا نیروهای محرک خاص مکان وابسته نیست و به دلیل قوانین شبیه‌سازی نسبتاً ساده و توانایی آن در به تصویر کشیدن الگوهای شهری و سازگاری با سیستم اطلاعات جغرافیایی در مطالعات رشد شهری در بسیاری از کشورها در سراسر جهان به کار گرفته شده است (Kumar & Agrawal, 2023; Liu et al., 2020). همچنین این مدل اجازه می‌دهد تا سیاست‌ها و برنامه‌های توسعه شهری از طریق تغییرات در لایه مستثنئات یا در مجموعه ضرایب مدل گنجانده شود (Liu et al., 2019; Bihamta et al., 2015).

۲. پیشینهٔ پژوهش

SLEUTH در بیش از ۶۶ شهر و منطقه جهت پیش‌بینی تغییرات شهری استفاده شده است (Clarke, 2008) و امروزه به‌طور گسترده‌ای در پیش‌بینی روند توسعه شهرهای مختلف جهان مورد توجه است. به‌طور مثال Liu و همکاران (۲۰۱۹) تغییرات فضایی- زمانی کاربری اراضی/ پوشش اراضی را در شهر Hefei چین بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ بررسی کردند و آن را برای سال ۲۰۴۰ با استفاده از مدل SLEUTH پیش‌بینی نمودند (Liu et al., 2019). Amato و همکاران (۲۰۱۶) برای یکی از شهرهای جنوبی ایتالیا از این مدل جهت

1. SLEUTH (Slope, Land use, Excluded layer, Urban extent, Transportation network, and Hillshade)

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

شبیه‌سازی رشد شهری استفاده کردند. آن‌ها از نمایه Leesale و OSM برای مرحله کالیبراسیون استفاده کردند و نشان دادند سیاست‌گذاری‌های محلی نقش مهمی در توسعه شهری در آینده خواهند داشت (Amato et al., 2016). Bajracharya و همکاران (۲۰۲۰) تأثیر رشد شهر را بر سه منطقه مهم شهر آلبوکِرکی نیومکزیکو مورد آزمون قرار دادند. آن‌ها رشد شهر را بر اساس دو سناریو محتمل با این مدل پیش بردند (Bajracharya et al., 2020). Sakieh و همکاران (۲۰۱۵) با تعریف سه سناریوی رشد تاریخی، رشد فشرده و رشد گسترده در مدل SLEUTH به پیش‌بینی رشد شهر کرج تا سال ۲۰۳۰ پرداختند (Sakieh et al., 2015). Jahanishakib و Erfani (۲۰۲۱) در پژوهشی با استفاده از اتوماتای سلولی در بستر مدل‌سازی SLEUTH، شبیه‌سازی گسترش آینده شهر بیرجند از سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ را با در نظر گرفتن سناریوهای رشد تاریخی و رشد محیط‌زیستی انجام دادند (Jahanishakib & Erfani, 2021). Mahmoudzadeh و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای به کاربرد سناریوی پایه مدل SLEUTH در شبیه‌سازی توسعه شهری تبریز تا سال ۲۰۴۰ پرداختند. نتایج پیش‌بینی نشان می‌دهد سناریوی محیط‌زیستی معتدل برای توسعه فیزیکی کلان‌شهر تبریز بسیار مفید است (Mahmoudzadeh et al., 2019).

شهر نظرآباد به سبب جاذبه اقتصادی و اجتماعی در طول چند دهه گذشته رشد قابل توجهی داشته است. در سال ۱۳۳۲ احداث کارخانه پارچه‌بافی در نظرآباد، وضع این منطقه را به‌کلی عوض کرده و آن را به‌صورت یک شهر کوچک مدرن تبدیل کرد. با تأسیس کارخانه مقدم و جذب مهاجرین از روستاهای اطراف، زمینه تبدیل روستای نظرآباد به شهر فراهم شده و این سکونتگاه بر اساس مصوبه دولت در سال ۱۳۵۸ با بیش از ۱۰۰۰۰ جمعیت به شهر تبدیل شد. بدین‌ترتیب، روند پرشتاب گسترش فیزیکی نظرآباد آغاز شد و به تدریج، روستاهای اطراف را در خود بلعید و زمینه را برای شکل‌گیری سکونتگاه‌های غیررسمی در حاشیهٔ شهر فراهم آورد (Firouznia & Rabbani, 2013). سکونتگاه‌های غیررسمی در حاشیهٔ شهرها، الگویی بیمار است که این امر موجب کاهش همبستگی و اتصال فضایی کالبدی شهری می‌گردد؛ از این‌رو یکی از مهم‌ترین هدف در مدیریت، برنامه‌ریزی توسعه شهری و ارزیابی آثار تجمعی آن، شبیه‌سازی توسعه فیزیکی این شهر است. این مطالعه با هدف مدل‌سازی رشد فیزیکی شهر نظرآباد و پیش‌بینی تغییرات آتی تا سال ۱۴۲۹ با استفاده از مدل SLEUTH انجام شده است و برای ارائه یک پیش‌بینی مطلوب‌تر از تغییرات کاربری و پوشش زمین در آینده در سناریوی محیط‌زیستی از روش ارزیابی چند معیاره (MCE) استفاده گردید.

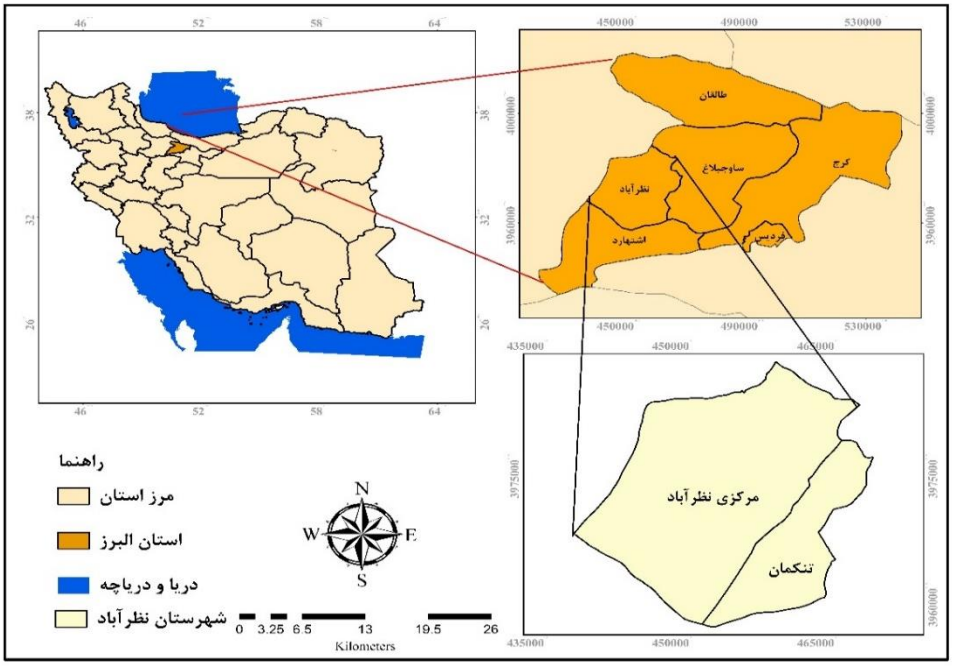
۳. روش‌شناسی پژوهش

۳-۱. منطقه مورد مطالعه

نظرآباد یکی از شهرستان‌های غرب استان البرز است که در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۵۳ دقیقه و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۴۱ دقیقه قرار دارد. مساحت این شهرستان حدود ۵۷۶ کیلومترمربع است و ۱۳۴۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. شهرستان نظرآباد از شمال به بخش مرکزی شهرستان ساوجبلاغ، از جنوب به شهرستان اشتهارد و از شرق به دهستان‌های رامجین و سعیدآباد و از غرب به شهرستان آبیک استان قزوین محدود است. مرکز این شهرستان شهر نظرآباد است. شهر نظرآباد بر اساس سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ جمعیتی معادل ۱۵۲۴۳۷ نفر دارد. در شکل (۱) محدوده منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی شهر نظرآباد در تقسیمات سیاسی ایران (مأخذ: یافته‌های پژوهش)

۳-۲. مواد و روش

مدل SLEUTH به‌منظور مدل‌سازی رشد شهری و پیش‌بینی تغییرات آتی آن کاربرد دارد. این مدل محصول تکاملی پروژه Gigalopolis است که دو مدل رشد شهری و مدل پوشش اراضی Deltatron را شامل می‌شود که تحت یونیکس، لینوکس، سیگوین و شبیه‌ساز یونیکس مبتنی بر ویندوز اجرا می‌شود (Clarke, 2018). اسم این مدل برگرفته از داده‌هایی است که به‌صورت نقشه وارد آن می‌شود. این داده‌ها نقشه کاربری شهری در دوره‌های متفاوت زمانی هستند، نکته قابل ذکر این است که شبکه حمل‌ونقل جاده‌ای و نقشه‌های پستی و بلندی، شیب و مناطق از شهرسازی مستثنا هستند و مدل بر اساس آن‌ها به طراحی و شبیه‌سازی روند توسعه فیزیکی شهر می‌پردازد (Clarke et al., 2008). در این مدل، فرایند رشد شهر به کمک ضرایب پراکندگی، زایش، مقاومت به شیب، گسترش و جاذب جاده و همچنین چهار قانون رشد خودبه‌خود، رشد انتشاری، رشد ذاتی و رشد متأثر از جاده بررسی گردیده است. در این پژوهش از تعاریف ضرایب پنج‌گانه فرایند رشد شهری در جدول (۱) استفاده شده است. در مرحله اول در کالیبراسیون حد آستانهٔ بالا و پایین ضرایب فاکتورهای تغییردهنده سیمای سرزمین تعیین و شناسایی شدند. سپس در ادامه روند رشد شهر در چارچوب چهار قانون عنوان شده در نرم‌افزار مدل و متناسب با منطقه مطالعاتی مورد بررسی انجام گرفته است. در مرحله کالیبراسیون مدل SLEUTH سنجه‌هایی را استخراج می‌کند که به کمک آن‌ها می‌توان از صحت عملکرد مدل در فرایند مدل‌سازی و همچنین روند تغییرات در شبیه‌سازی اطمینان حاصل کرد (Clarke et al., 2008). در انتها پس از اطمینان از صحت نتایج خروجی و با استفاده از مدل می‌توان به مدل‌سازی و پیش‌بینی سیمای آینده سرزمین در چارچوب ضرایب محاسبه شده طی مرحله کالیبراسیون پرداخت.

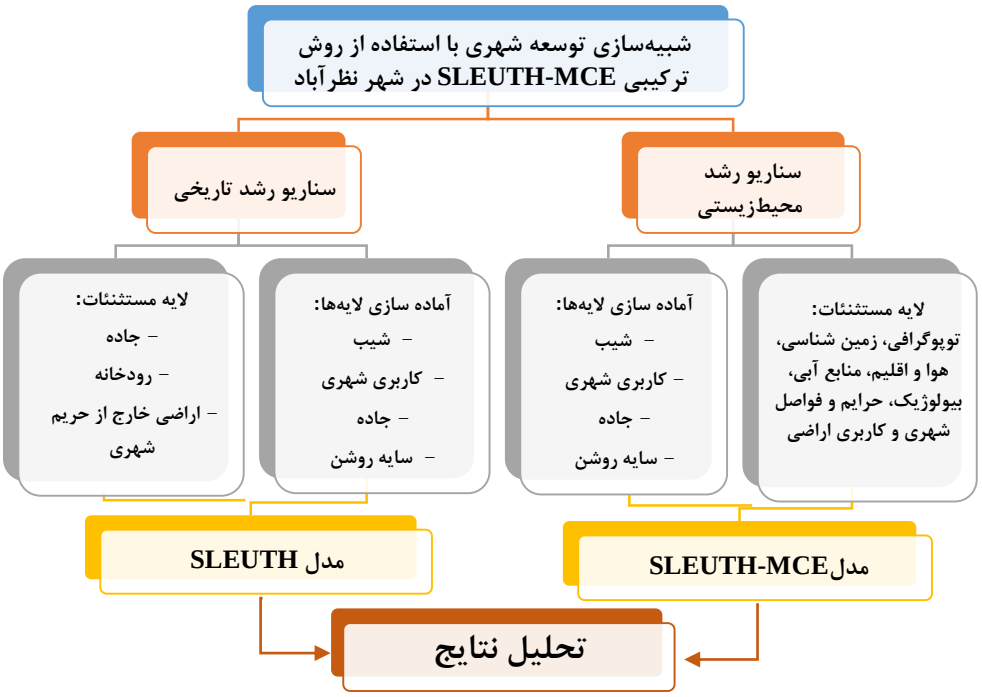
جدول ۱. ضرایب پنج‌گانه (مأخذ: Lu و همکاران، ۲۰۰۹)

ضریب	تعریف
انتشار	تعداد دفعاتی که پیکسل قابل شهرسازی به‌صورت تصادفی در رشد خودکار انتخاب و کنترل می‌شود.
زایش	تعیین و بررسی در طی رشد خودکار احتمال این که پیکسل شهر شده، مرکز جدید توسعه و شهرسازی شود
پخش	تشخیص و بررسی احتمال این که هر پیکسل که به‌عنوان مراکز جدید انتشار تعیین می‌شود، پیکسل اضافی در همسایگی را ایجاد کند.
مقاومت به شیب	این مقاومت نشان‌دهنده تأثیر پستی و بلندی بر توسعه شهری می‌باشد و تأثیر یکسانی بر انواع رشد دارد.
گرایش به جاده	شکل رشد وابسته به جاده به کمک کنترل حداکثر شعاع جستجوی اطراف پیکسل تصادفی انتخاب شده تأثیرپذیر خواهد بود.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

به‌طورکلی سه گام راه‌اندازی مدل SLEUTH به قرار زیر است: تهیه لایه‌های ورودی و تعیین سناریوها پیش‌بینی رشد شهری، کالیبراسیون و پیش‌بینی رشد شهری. مراحل انجام تحقیق در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲. مراحل انجام پژوهش (مأخذ: یافته‌های پژوهش)

۳-۲-۱. تهیه لایه‌های موردنیاز و تعیین سناریوها

مدل SLEUTH به حداقل چهار لایه از مناطق شهری در سال‌های مختلف، دو لایه از شبکه حمل‌ونقل در دو سال مختلف و یک لایه شیب و مستثنیات و نیز لایه روشن پستی و بلندی‌ها برای نمایش خروجی نیاز دارد. در این مدل نیاز است تمام لایه‌های مورد استفاده از نظر هندسی با هم همخوانی داشته باشند در جهت تضمین سامانه مختصات جغرافیایی و یکسان‌سازی، سیستم تصویر واحد و اندازه سلول برابر مورد بررسی قرار گرفتند. به همین منظور از لایه‌های ورودی با اندازه سلول ۳۰ متر، استفاده شده است. در این پژوهش لایه‌های متغیر با سیستم مرجع مختصات (UTM 39n و مبنای WGS84) تحت عملیات پیش پردازش مورد استفاده قرار گرفتند. برای تهیه نقشه شیب و سایه روشن پستی‌ها و بلندی‌ها از نقشه مدل رقومی ارتفاعی با زاویه آزیموتی ۳۱۵ درجه و ارتفاع تابش ۳۰ درجه استفاده گردید. برای لایه‌های مناطق شهری و کاربری اراضی، تصاویر ماهواره لندست سنجنده TM، ETM^+ و OLI از سایت فضایی آمریکا در چهار سال ۱۳۶۹، ۱۳۷۹، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۹ دانلود گردید. تصاویر دانلود شده با توجه به ماه‌های تابستان و درصد ابرناکی قابل قبول انتخاب شدند. طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با الگوریتم طبقه‌بندی نظارت شده حداکثر احتمال[1] در چهار طبقه شهر، کشاورزی، شوره‌زار و تالاب انجام شد و دقت طبقه‌بندی به کمک ماتریس خطا و محاسبه ضریب کاپا مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت لایه مناطق شهری دوره‌های مختلف از طبقه‌بندی مجدد لایه‌های کاربری اراضی تهیه شده استخراج شده است. میزان ضریب کاپا به ترتیب ۰/۸۹، ۰/۹۱، ۰/۹۲ و ۰/۹۶ و صحت کل به ترتیب ۹۷/۴۳، ۹۷/۳۷، ۹۵/۴۴ و ۹۷/۸ درصد در نقشه‌های طبقه‌بندی شده سال‌های ۱۳۶۹، ۱۳۷۹، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۹ به دست آمد. با توجه به نتایج حاصل از ارزیابی دقت در چهار سال مورد مطالعه، میزان تطابق نمونه‌ها با واقعیت زمینی نشان‌دهنده صحت قابل قبول برای نقشه‌های تهیه شده است. در تهیه نقشه جاده‌ها علاوه بر استفاده از تصاویر ماهواره‌ای از نقشه‌های موجود و گوگل ارث جهت

1. Maximum Likelihood Classification (MLC)

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

به‌روزرسانی استفاده شد. لایه مستثنیات در این پژوهش برای دو نوع سناریوی رشد تاریخی و رشد محیطزیستی تهیه شد.

در رشد تاریخی جاده‌ها، رودخانه‌ها و اراضی خارج از حریم قانونی شهر به‌عنوان عوامل مستثنیات در نظر گرفته شده است. در سناریو رشد محیطزیستی از ارزیابی چند معیاره[1] و روش خطی وزن‌دار شده[2] جهت تهیه نقشه مستثنیات محیطزیستی استفاده گردید. روش ترکیب خطی وزن‌دار رایج‌ترین تکنیک در تحلیل ارزیابی و تصمیم‌گیری چندمعیاره است. در این روش برای ارزیابی تناسب شهری مقدار هر پیکسل استفاده می‌شود (رابطه ۱). در فرآیند ارزیابی چند معیاره برای شهرستان نظرآباد، ۲۰ زیرمعیار گنجانده شد. معیارهای مؤثر در تناسب و محدودیت رشد اراضی شهری نظرآباد را با توجه به پارامترهایی همچون توپوگرافی، زمین‌شناسی، هوا و اقلیم، منابع آبی، بیولوژیک، حرایم و فواصل شهری و کاربری اراضی جهت پایداری زمین، کنترل فرسایش و رواناب، حداقل تأثیر بر مناطق حائل رودخانه، حفاظت از محیطزیست، فعالیت لرزه‌ای و حفاظت از منابع آبی انتخاب گردید. در این مرحله پس از یکسان‌سازی لایه‌ها، تمامی لایه‌ها براساس منطق فازی براساس تعریف توابع عضویت در محدوده صفر تا یک استاندارد گردیدند.

$$S = \frac{(\sum_i^n S_{ij} W_{ij})}{\sum_i^n W_i}$$ رابطهٔ (۱)

در این رابطه، X_{ij} = معرف امتیاز معیار iام، Wj = وزن استاندارد شده هر معیار است.

در این پژوهش، با استفاده از فرایند تحلیل شبکه[3] به مقایسه زوجی معیارها پرداخته شد. بر این اساس به منظور تعیین ارجحیت یا اهمیت یک معیار نسبت به معیار دیگر از جدول ترجیحات امتیازدهی استفاده گردید و معیارها براساس میزان اهمیت از ۱ تا ۹ (بی اهمیت= ۱، اهمیت کم= ۳، مهم= ۵، بسیار مهم= ۷، بسیار بسیار مهم= ۹ و مقادیر بینابینی= ۸، ۶، ۴ و ۲) رتبه‌بندی و در قالب یک پرسشنامه در اختیار ۱۵ نفر از کارشناسان مربوطه قرار گرفت. در این مطالعه از نرم‌افزارSuper Decision به‌منظور تحلیل و بررسی معیارها استفاده شد. این نرم‌افزار یکی از نرم‌افزارهای قوی و قابل اطمینان در ارزیابی مدل‌های چند معیاره است.Super Decision دارای قابلیت‌های فراوانی نظیر محاسبه نرخ ناسازگاری، محاسبه وزن نسبی و وزن نهایی معیارها است. در این مرحله ماتریس‌های تکمیل شده به محیط نرم‌افزار وارد گردید تا نرخ ناسازگاری و وزن معیارها مشخص گردد. در این پژوهش تمامی پرسش‌نامه‌هایی که ضریب ناسازگاری کمتر از ۰/۱ داشتند، انتخاب گردیدند. میانگین نرخ ناسازگاری پرسشنامه‌های تأیید شده در این پژوهش ۰/۰۶۳ بوده است. در نتیجه مقایسه زوجی ماتریس‌ها قابل قبول بوده و سازگاری پاسخ‌ها مورد تأیید می‌باشد. در مرحله بعد وزن معیارها از طریق میانگین‌گیری میان آنها به‌دست آمد.

لایه MCE به دست آمده برای ارزیابی تناسب شهری شامل مقادیری در محدوده ۰- ۲۵۵ است. مقادیر بالاتر در نقشه نشان‌دهنده تناسب بیشتر برای کاربری زمین شهری است. لایه بین ۱ تا ۱۰۰ بسط[4] داده شد و مقادیر معکوس شدند به‌طوری که بالاترین تناسب کمترین مقدار را در لایه مستثنئات داشت. مناطق مناسب برای شهرنشینی کمترین مقاومت را در برابر شهرنشینی دارند و بالعکس. به مناطق نامناسب برای شهرنشینی مقدار ۲۵۵ داده شد تا به‌عنوان مناطقی با مقاومت مطلق در برابر شهرنشینی معرفی شود و از این طریق لایه مستثنیات برای سناریو رشد محیطزیستی تهیه گردید.

۳-۲-۲. کالیبراسیون، محاسبه ضرایب و خودساماندهی مدل SLEUTH

مدل مورد توجه در این پژوهش زیر مدل رشد شهری[5] است. این زیر مدل از دو بخش کالیبراسیون و پیش‌بینی تشکیل می‌شود. در قسمت کالیبراسیون بر پایه سوابق تاریخی منطقه مورد مطالعه، بهترین مجموعه در جهت تعیین و بررسی ضرایب پنج‌گانه می‌باشد. ضرایب نشان‌دهنده سهم تأثیر عوامل بر توسعه شهر است بین صفر تا صد متغیرند (Gandhi & Suresh, 2012) و در سه گام درشت، ریز و نهایی بر اساس اندازه سلول، دامنه جستجو و تعداد اجرای مونت کارلو[6] به دست می‌آیند. روش مونت کارلو جهت شبیه‌سازی رشد برای افزایش

1. Multi Criteria Evalution (MCE)
2. Weighted Linear Combination (WLC)
3. Analytic Network Process (ANP)
4. Stretch
5. Urban Growth Model (UGM)
6. Monto Carlo

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

استواری نتایج به‌کار می‌رود. در هر اجرا، چرخه‌های رشد با توجه به تعداد مونت کارلو تکرار می‌شوند. در نهایت نتایج گام کالیبراسیون وارد چرخه رشد نهایی شده و بهترین ضرایب پیش‌بینی توسط مدل تعیین می‌شود. در جدول (۲) شاخص‌های مورد استفاده در ارزیابی کالیبراسیون نتایج ارائه شده است.

جدول ۲. شاخص‌های ارزیابی کالیبراسیون نتایج در مدل SLEUTH

شاخص	توضیحات
نسبت جمعیت (Population Ratio)	تعداد سلول‌های مدل‌سازی شده سال نهایی تقسیم بر تعداد سلول‌های واقعی شهری در سال آخر مورد بررسی. چنانچه تعداد سلول‌های مدل شده از تعداد سلول‌های واقعی بیشتر باشد، میزان آن از یک کم می‌گردد.
ضریب همبستگی مقایسه‌ای (r^2 Population_Compare)	این ضریب رگرسیون حداقل مربعات است، تعداد سلول‌های شهر مدل‌سازی شده که با تعداد سلول‌های شهری واقعی در سال‌های مورد بررسی مقایسه شده است.
میزان درصد شهر شده (%Urbanized)	رگرسیون حداقل مربعات درصد سلول‌های قابل دسترسی برای شهرنشینی در مقایسه با سلول‌های شهر شده در سال‌های مورد بررسی است.
ضریب همبستگی لبه‌ها (r^2 Edges)	ضریب همبستگی رگرسیون حداقل مربعات لبه شهری مدل‌سازی شده در مقایسه با محاسبه حاشیه شهر مدل شده برای سال‌های مورد بررسی است.
ضریب همبستگی خوشه‌ها (r^2 Cluster)	ضریب همبستگی رگرسیون حداقل مربعات خوشه‌بندی شهر مدل شده در مقایسه با محاسبه خوشه‌بندی شهر سال‌های مورد بررسی است.
نمایه لی و سالی (Lee & Sallee Index)	این نمایه شکلی است که بیان‌کننده میزان برازش فضایی بین پیکسل‌های مدل‌سازی شده و پیکسل‌های شناخته شده شهری در سال‌های مورد بررسی است. نمایه لی و سالی با ترکیب نسبت تقاطع روی اشتراک در سلول‌های شهر شده محاسبه می‌شود.
ضریب همبستگی شیب میانگین (r^2 average slope)	ضریب همبستگی رگرسیون حداقل مربعات میانگین شیب پیکسل‌های شهری مدل‌سازی شده در مقایسه با میانگین شیب سلول‌های واقعی شهر برای سال‌های مورد بررسی است.
مرکز ثقل در راستای محور x (Center of gravity(x))	ضریب همبستگی رگرسیون حداقل مربعات میانگین مقادیر محور x در پیکسل‌های شهری مدل‌سازی شده در مقایسه با پیکسل‌های شهری واقعی در سال‌های مورد بررسی است.
مرکز ثقل در راستای محور y (Center of gravity(y))	ضریب همبستگی رگرسیون حداقل مربعات، میانگین مقادیر محور y در پیکسل‌های شهری مدل‌سازی شده در مقایسه با پیکسل‌های شهری واقعی در سال‌های مورد بررسی است.

۳-۲-۳. پیش‌بینی رشد شهری نظرآباد

پیش‌بینی آخرین مرحله اجرای مدل است. با استفاده از روند تاریخی و قوانین رشد، توزیع شهری و غیرشهری آینده پیش‌بینی می‌شود. در این مرحله از نتایج به دست آمده در مرحله کالیبراسیون، ضرایب نهایی برای منطقه مطالعاتی تعیین شد و بر اساس این ضرایب فایل سناریو مربوط به پیش‌بینی مدل تنظیم گردید. خروجی مدل، تصاویر مدل‌سازی شده مناطق شهری در منطقه مورد مطالعه تا سال ۱۴۲۹ میلادی با فرمت GIF است. در این مطالعه، آستانه ۷۰ درصد برای تصمیم‌گیری در خصوص سلول‌های شهری استفاده شد که به‌وسیله طبقه‌بندی مجدد تصویر احتمال مناطق شهری آینده به دست آمد.

۴. یافته‌های پژوهش

۴-۱. نتایج ارزیابی توان اکولوژیکی شهرستان نظرآباد

در این پژوهش از روش ارزیابی توان اکولوژیکی برای تهیه نقشه مستثنیات پیش‌بینی رشد محیطزیستی شهرستان نظرآباد استفاده گردید. برای این منظور، ۲ بعد محیطزیستی و اجتماعی- اقتصادی مشتمل بر ۷ معیار و ۲۰ زیرمعیار برای تهیه نقشه مستثنیات تدوین گردید. جدول (۳) معیارهای مورد سنجش در مطالعات ارزیابی توان اکولوژیکی شهرستان نظرآباد با هدف استقرار کاربری توسعه شهری را نشان می‌دهد. شکل (۳) نمونه‌ای از نقشه‌های فازی شده معیارها را در تعیین نقشه مستثنیات به‌منظور پیش‌بینی رشد محیطزیستی نشان می‌دهد.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

جدول ۳. معیارهای موثر در ارزیابی توان اکولوژیکی شهرستان نظرآباد با هدف استقرار کاربری توسعه شهری (مأخذ: یافته‌های پژوهش)

بعد	معیار	زیرمعیار	نوع تابع فازی	توضیحات	آستانه‌های فازی‌سازی	آستانه‌های محدودیت
محیط‌زیستی	توپوگرافی	درصد شیب	تابع خطی کاهشی	از صفر تا ۱۳ درصد	صفر تا ۵٪ بسیار مناسب، ۵ تا ۱۰٪ نسبتاً مناسب، ۱۰ تا ۱۵٪ تقریباً مناسب، ۱۵ تا ۲۰٪ نامناسب، مساوی و بیش از ۲۰٪ کاملاً نامناسب	صفر تا ۱۵٪ ارزش یک و بیش از ۱۵٪ ارزش صفر
		ارتفاع	تابع خطی کاهشی	از ۱۱۳۴ تا ۱۳۲۲ متر	زیر ۵۰۰ متر مطلوب، از ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر متوسط و از ۲۰۰۰ متر به بالا نامطلوب	صفر تا ۲۰۰۰ متر ارزش ۱ و بیش از ۲۰۰۰ متر ارزش صفر
	زمین شناسی	سازند زمین‌شناسی	تابع تعریف شده توسط کاربر	نقشه زمین شناسی در ۶ کلاس (Qft1، Qft2، Qcf، Mm,s,l، Mur، Murmg)	طبقات ۱ و ۲ رسوبات آبرفتی ارزش ۱، طبقات ۳ تا ۶ سنگ‌آهک، سنگ‌رس و لس ۰/۵	-
		فاصله از گسل	تابع S شکل افزایشی	از صفر تا ۱۱۱۶۰ متر	صفر تا ۱۰۰۰ متر نامناسب، ۱۰۰۰ تا ۵۰۰۰ متر نسبتاً مناسب و بیش از ۵۰۰۰ متر کاملاً مناسب	صفر تا ۱۰۰۰ متر ارزش صفر و بیش از ۱۰۰۰ متر ارزش ۱
	هوا و اقلیم	متوسط دما سالانه	تابع خطی افزایشی	از ۱۰/۶۶ تا ۱۴ درجه سانتی‌گراد	دما ۱۸ تا ۲۴ درجه سانتی‌گراد بسیار مناسب	-
		متوسط بارندگی سالانه	تابع خطی افزایشی	از ۲۹۷ تا ۳۴۱ میلی‌متر در سال	متوسط بارش ۵۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر در سال بسیار مناسب	-
		نوع اقلیم	تابع خطی کاهشی	دو طبقه اقلیمی نیمه خشک شدید و خشک	مرطوب، نیمه مرطوب، نیمه‌خشک ارزش ۱، اقلیم خشک ارزش ۰/۵ و فراخشک ارزش ۰	-
		متوسط تبخیر سالانه	تابع خطی کاهشی	از ۱۷۵۰ تا ۲۲۴۹ میلی‌متر در سال	نظر کارشناسی	-
	منابع آب	فاصله از پهنه سیلابی	تابع خطی افزایشی	از صفر تا ۱۱۷۸۲ متر	صفر تا ۳۰۰ متر نامناسب، ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ متر نسبتاً مناسب، بیش از ۳۰۰۰ متر بسیار مناسب	صفر تا ۳۰۰ متر ارزش صفر و بیش از ۳۰۰ متر ارزش یک
		فاصله از چاه‌ها و قنات‌ها	تابع خطی افزایشی	از صفر تا ۱۳۷۰۱ متر	کمتر از ۲۵ متر ارزش صفر، بیشتر از ۲۵ متر ارزش بین ۰ تا یک	صفر تا ۲۵ متر ارزش صفر، بیش از ۲۵ متر ارزش یک
		فاصله از رودخانه و آب سطحی	تابع تعریف شده توسط کاربر	فاقد چشمه و فقط رودخانه داریم، از صفر تا ۵۶۹۶ متر	۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر مناسب؛ حریم ۲۵۰ متری و فاصله بیش از ۵۰۰۰ متر نامناسب	صفر تا ۲۵۰ متر ارزش صفر، ۲۵۰ تا ۵۰۰۰ متر ارزش یک و بیش از ۵۰۰۰ متر ارزش ۰
	بیولوژیک	تراکم پوشش گیاهی	تابع خطی کاهشی	بین پنج تا ۷۳٪ بر اساس نقشه NDVI	صفر تا ۳۰٪ مناسب، ۳۰ تا ۶۰٪ نسبتاً مناسب و بیش از ۶۰٪ نامناسب	بیش از ۶۰٪ ارزش صفر و صفر تا ۶۰٪ ارزش ۱
		فاصله از تالاب	تابع خطی افزایشی	تالاب در منطقه موجود هست.	بیشتر از ۱۰۰۰ متر ارزش بین ۰ تا ۱	صفر تا ۱۰۰۰ متر ارزش صفر و بیش از ۱۰۰۰ متر ارزش ۱
اقتصادی و اجتماعی	حرایم و فواصل شهری	فاصله از کاربری صنعتی	تابع خطی افزایشی	از صفر تا ۱۴۹۲۲ متر	از ۱۰۰۰ تا ۵۰۰۰ متر افزایشی و بیش از ۵۰۰۰ متر مناسب	صفر تا ۱۰۰۰ متر ارزش ۰ و بیش از ۱۰۰۰ متر ارزش ۱
		فاصله تا شبکه ارتباطی	تابع خطی افزایشی	از صفر تا ۳۲۷۹ متر	صفر تا ۱۵۰ متر نامناسب، ۱۵۰ تا ۳۵۰ متر نسبتاً نامناسب، ۳۵۰ تا ۵۰۰۰ متر مناسب	صفر تا ۱۵۰ متر ارزش ۰ و بیش از ۱۵۰ متر ارزش ۱

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

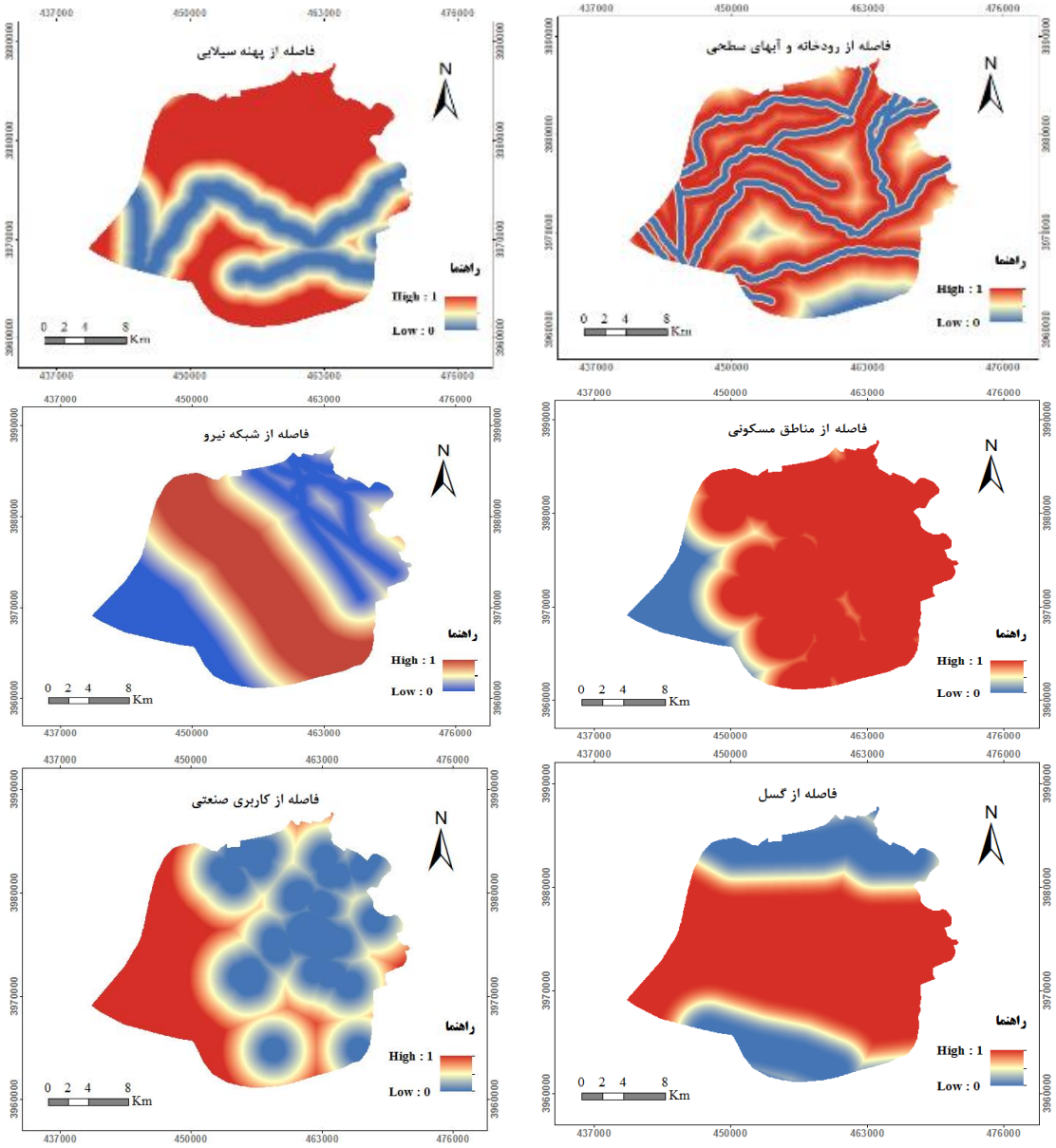
جدول ۳. معیارهای موثر در ارزیابی توان اکولوژیکی شهرستان نظرآباد با هدف استقرار کاربری توسعه شهری (مأخذ: یافته‌های پژوهش)

بعد	معیار	زیرمعیار	نوع تابع فازی	توضیحات	آستانه‌های فازی‌سازی	آستانه‌های محدودیت
		فاصله از اراضی کشاورزی و باغات	تابع تعریف شده توسط کاربر	از صفر تا ۱۲۶۰۲ متر	کمتر از ۵۰ متر ارزش صفر، از ۵۰ تا ۱۵۰ متر تابع خطی افزایشی و بیش از ۱۵۰ کاملاً مناسب	-
		فاصله از شبکه نیرو	تابع تعریف شده توسط کاربر	از صفر تا ۲۲۳۸۱ متر	صفر تا ۲۵۰ متر نامناسب، ۲۵۰ تا ۵۰۰۰ متر متوسط، ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ مناسب و بیش از ۱۰۰۰۰ متر نامناسب	صفر تا ۲۵۰ متر و بیش از ۱۵۰۰۰ متر ارزش صفر، ۲۵۰ تا ۱۵۰۰۰ متر ارزش ۱
		فاصله از مناطق مسکونی	تابع خطی کاهشی	از صفر تا ۱۱۲۰۸ متر	صفر تا ۲۰۰۰ متر کاملاً مناسب، ۲۰۰۰ تا ۴۰۰۰ متر نسبتاً مناسب، ۴۰۰۰ تا ۶۰۰۰ متر نسبتاً نامناسب، ۶۰۰۰ تا ۸۰۰۰ متر نامناسب	صفر تا ۶۰۰۰ متر ارزش یک و بیش از ۶۰۰۰ متر ارزش ۰
		فاصله از فرودگاه	تابع خطی افزایشی	از صفر تا ۲۱۳۹۷ متر	صفر تا ۱۵۰ متر کاملاً نامناسب، ۱۵۰ تا ۳۵۰ متر نسبتاً نامناسب، بیش از ۳۵۰ متر کاملاً مناسب	صفر تا ۱۵۰ متر ارزش صفر و بیش از ۱۵۰ متر ارزش یک
	کاربری اراضی	تناسب کاربری اراضی	تابع تعریف شده توسط کاربر	نقشه کاربری اراضی با ۱۲ کلاس	طبقات باغ، تاکستان و درختکاری ارزش ۰/۶، طبقات زراعت آبی و شوره‌زار ۰/۴، طبقه مرتع ۰/۸ و سایر طبقات ارزش صفر	تالاب، جاده و راه‌آهن، رودخانه، کارخانه، کانال و منطقه مسکونی ارزش صفر و سایر اراضی ارزش یک

براساس روش ANP و با توجه به نظر کارشناسان، فاصله از مناطق مسکونی (۰/۲۵۲)، تناسب کاربری اراضی (۰/۲۲)، فاصله از تالاب (۰/۱۱) و درصد شیب (۰/۰۹۶) اهمیت بیشتری دارند. در این مرحله، لایه‌ها با استفاده از شاخص همپوشانی وزین جهت تهیه نقشه در ارزیابی توان اکولوژیکی شهرستان نظرآباد با هدف استقرار کاربری توسعه شهری ادغام شدند که در شکل‌های (۴ و ۵) نشان داده شده است.

Archive of SID.ir

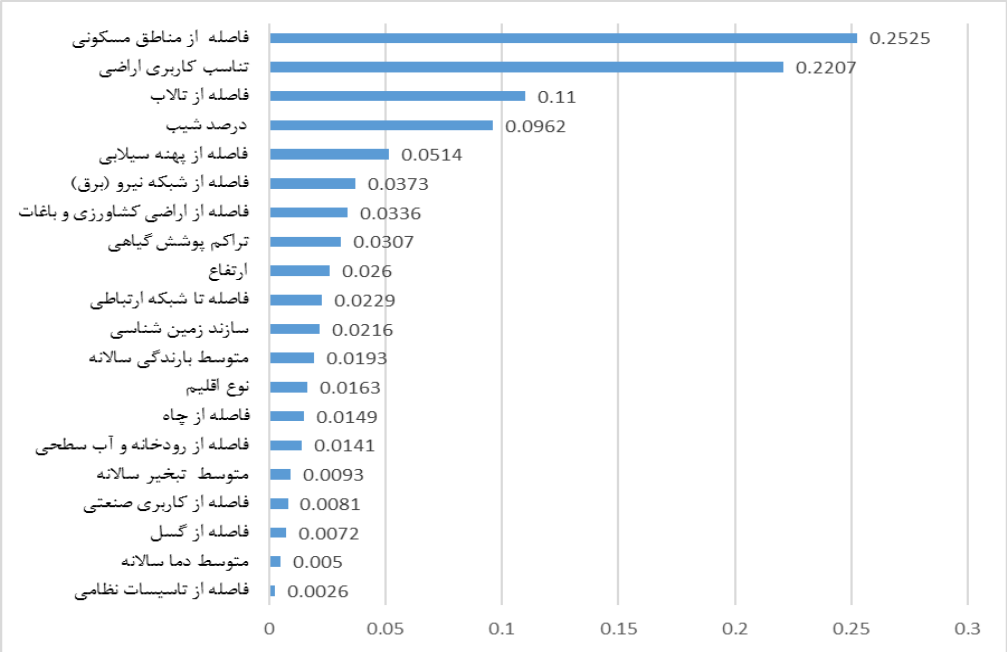
Archive of SID.ir



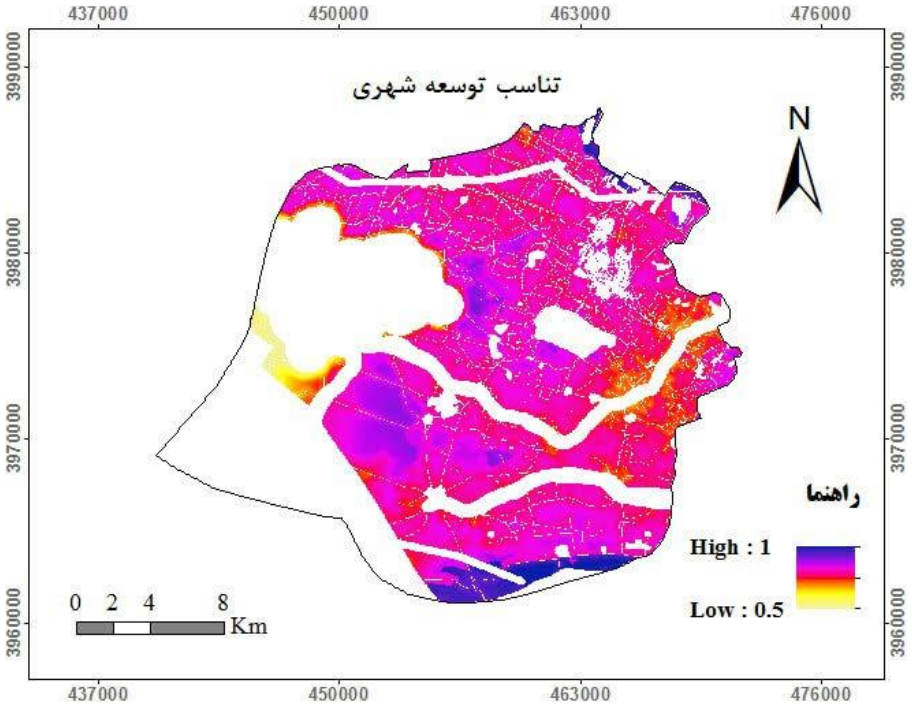
شکل ۳. نمونه‌ای از نقشه‌های فازی شده معیارها در تعیین نقشه مستثنیات به‌منظور پیش‌بینی رشد محیطزیستی (مأخذ: یافته‌های پژوهش)

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



شکل ۴. میزان اهمیت معیارها در ارزیابی توان اکولوژیکی شهرستان نظرآباد با هدف استقرار کاربری توسعه شهری (مأخذ: یافته‌های پژوهش)



شکل ۵. نقشه ارزیابی توان اکولوژیکی شهرستان نظرآباد با هدف استقرار کاربری توسعه شهری (مأخذ: یافته‌های پژوهش)

پس از تهیه نقشه‌های کاربری اراضی نیاز به آشکارسازی تغییرات اتفاق افتاده طی دوره زمانی مورد مطالعه است. بنابر نتایج آشکارسازی تغییرات، در این منطقه در بازه زمانی موردنظر تغییرات در کاربری شهری در جهت رشد و گسترش مناطق مسکونی بود. نتایج نشان داد مساحت شهر در سال ۱۳۶۹ برابر با ۳۱۸ هکتار بوده است و در دوره زمانی ۱۳۷۹– ۱۳۶۹ حدود ۱۲۰ هکتار (۳۷ درصد) به مناطق مسکونی

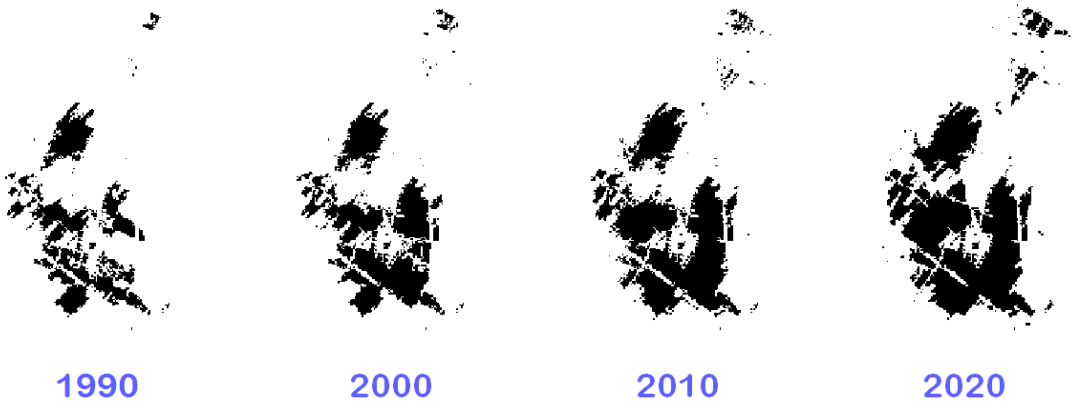
Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

اضافه شده است. این میزان نشان‌دهنده نرخ بالای رشد در منطقه است. میزان افزایش مناطق شهری در دوره زمانی ۱۳۸۹– ۱۳۷۹ و ۱۳۹۹– ۱۳۸۹ به ترتیب برابر با ۱۰۹ (۲۵ درصد) و ۱۲۰ هکتار (۲۲ درصد) است که این مقدار نیز نرخ بالای رشد در منطقه را تأیید می‌کند.

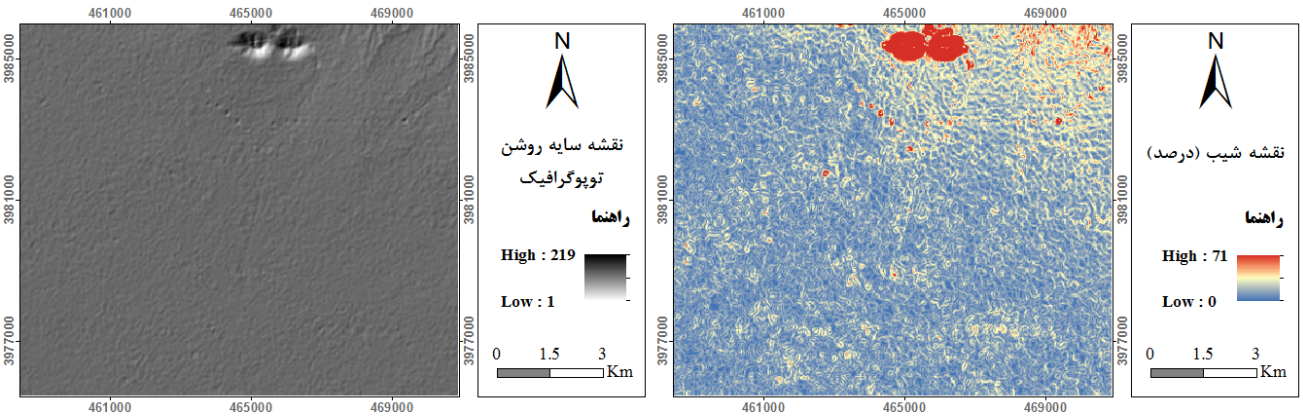
جدول ۴. نتایج آشکارسازی تغییرات در منطقه مطالعاتی (مأخذ: یافته‌های پژوهش)

طبقه	مساحت در سال ۱۳۶۹ (هکتار)	مساحت در سال ۱۳۷۹ (هکتار)	میزان تغییرات		مساحت در سال ۱۳۸۹ (هکتار)	میزان تغییرات		مساحت در سال ۱۳۹۹ (هکتار)	میزان تغییرات	
			افزایش	کاهش		افزایش	کاهش		افزایش	کاهش
شهر	۳۱۸	۴۳۸	۱۲۰	-	۵۴۷	۱۰۹	-	۶۶۷	۱۲۰	-



شکل ۶. تغییرات مناطق شهری در دوره ۱۳۶۹ تا ۱۳۹۹ (مأخذ: یافته‌های پژوهش)

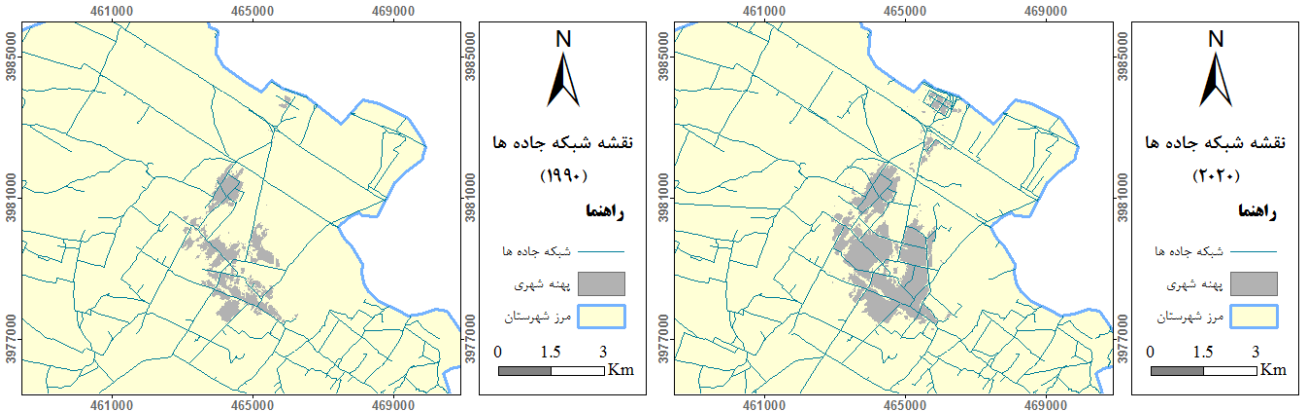
در نهایت داده‌های مورد استفاده جهت پیش‌بینی رشد شهری به مدل SLEUTH وارد گردیدند (شکل‌های ۷ تا ۹).



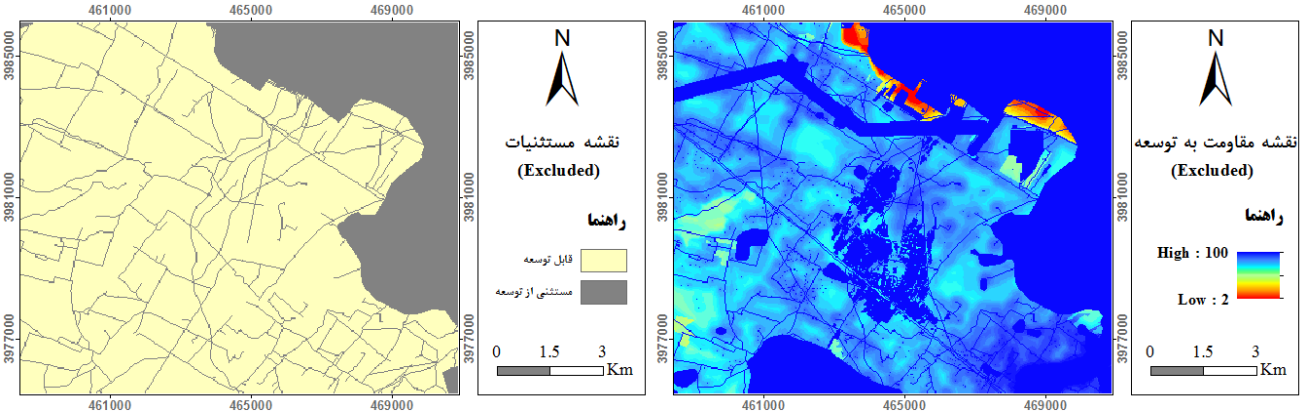
شکل ۷. لایه‌های شیب و سایه روشن توپوگرافیک منطقه مورد مطالعه (مأخذ: یافته‌های پژوهش)

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



شکل ۸. شبکه جاده‌های شهر نظرآباد در سال‌های ۱۳۶۹ و ۱۳۹۹ (مأخذ: یافته‌های پژوهش)



شکل ۹. لایه Excluded اصلی و Excluded طراحی شده (MCE) در منطقه مورد مطالعه (مأخذ: یافته‌های پژوهش)

۴-۲. نتایج کالیبراسیون مدل SLEUTH در شهر نظرآباد

در این پژوهش، کالیبراسیون در سه مرحله درشت، ریز و نهایی صورت می‌گیرد. پس از پایان مراحل سه‌گانه، پنج اجرای برتر مربوط به آن مرحله به دست آمد و با توجه به بیشترین مقادیر OSM ضرایب پنج‌گانه فایل سناریو مرحله بعد تنظیم می‌شود. در این پژوهش، در مرحله کالیبراسیون درشت، پنج تکرار مونت کارلو برای کالیبراسیون درشت اختصاص داده شد و ضرایب انتشار، زایش، پخش، مقاومت به شیب و گرانش به جاده به ترتیب ۰، ۲۵، ۱۰۰ برای مقادیر شروع، گام و توقف تعیین شدند. همچنین گام‌های افزایش ۲۵ در نظر گرفته شد. مرحله کالیبراسیون درشت در ۳۱۲۵ تکرار انجام شد. همچنین، در مرحله کالیبراسیون ریز، هشت تکرار مونت کارلو برای کالیبراسیون ریز اختصاص داده شد و ضرایب انتشار (۲۰- ۰)، زایش (۲۵- ۰)، پخش (۷۵- ۲۵)، مقاومت به شیب (۱۰۰- ۵۰) و گرانش به جاده (۵۰- ۰) برای مقادیر شروع، گام و توقف تعیین شدند. گام‌های افزایش برای ضرایب انتشار، زایش، پخش، مقاومت به شیب و گرانش به جاده به ترتیب ۵، ۵، ۱۰، ۱۰ و ۱۰ در نظر گرفته شد. مرحله کالیبراسیون ریز در ۶۴۸۰ تکرار انجام شد. در بخش نهایی کالیبراسیون با توجه به نتایج به‌دست آمده از مرحله ریز ضرایب پنج‌گانه مرحله نهایی در جدول (۵) تعیین گردید. در این مرحله ضرایب کوچک‌تر می‌شود. تعداد مونت‌کارلو در این مرحله ۱۰ در نظر گرفته شده است و ضرایب انتشار (۲۰- ۰)، زایش (۱۵- ۰)، پخش (۵۰- ۲۵)، مقاومت به شیب (۱۰۰- ۵۰) و گرانش به جاده (۲۵-۰) برای مقادیر شروع، گام و توقف تعیین شدند. همچنین گام‌های افزایش برای ضرایب انتشار، زایش، پخش، مقاومت به شیب و گرانش به جاده به ترتیب ۴، ۳، ۵، ۱۰ و ۵ در نظر گرفته شد. همچنین، مرحله کالیبراسیون نهایی در ۷۷۷۶ تکرار انجام شد. جدول (۵) نتایج آستانه‌های کالیبراسیون را نشان می‌دهد.

Archive of SID.ir

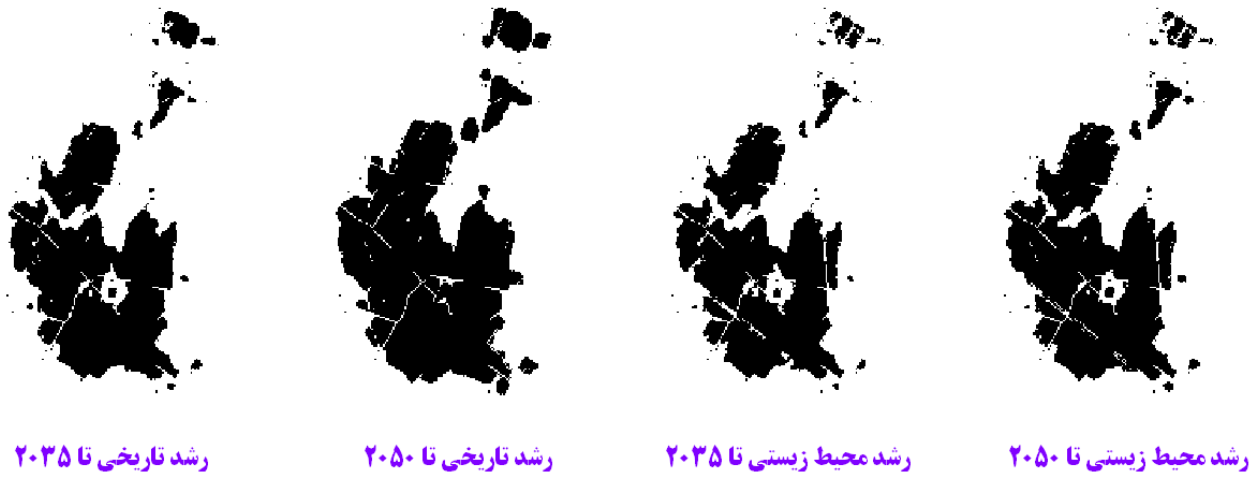
Archive of SID.ir

جدول ۵. آستانه‌های کالیبراسیون (مأخذ: یافته‌های پژوهش)

پارامترهای رشد	کالیبراسیون درشت		کالیبراسیون ریز		کالیبراسیون نهایی		نتایج نهایی
	محدوده	گام	محدوده	گام	محدوده	گام	
انتشار	۰–۱۰۰	۲۵	۰–۲۰	۵	۰–۲۰	۴	۱
زایش	۰–۱۰۰	۲۵	۰–۲۵	۵	۰–۱۵	۳	۱
پخش	۰–۱۰۰	۲۵	۲۵–۷۵	۱۰	۲۵–۵۰	۵	۳۳
مقاومت به شیب	۰–۱۰۰	۲۵	۵۰–۱۰۰	۱۰	۵۰–۱۰۰	۱۰	۷۱
گرانش به جاده	۰–۱۰۰	۲۵	۰–۵۰	۱۰	۰–۲۵	۵	۴
مونت کارلو	۵		۸		۱۰		-
تکرار	۳۱۲۵		۶۴۸۰		۷۷۷۶		-
پارامتر Lee-Sallee	۰/۶۵		۰/۶۵		۰/۶۵		-
شاخص OSM	۰/۳۳		۰/۵۴		۰/۵۷		-

۴-۳. مرحله پیش‌بینی

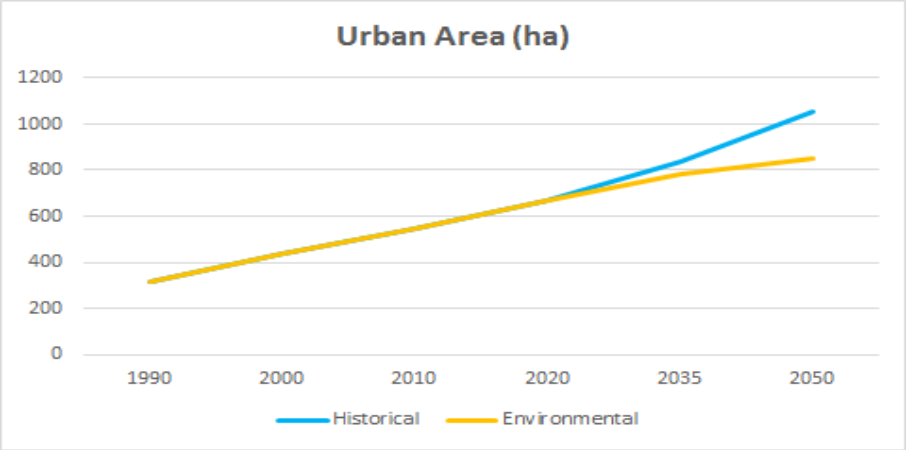
در این بخش دو سناریوی رشد تاریخی شهری و رشد محیطزیستی برای شبیه‌سازی الگوی فضایی رشد شهری تعریف شده است. این سناریوها با توجه به ضرایب پنج‌گانه نهایی به‌دست آمده در مرحله میانگین‌گیری به دست آمدند. در این پژوهش، سلول‌های دارای احتمال ۷۰ درصد به بالا، به‌عنوان مناطق شهری در نظر گرفته شدند (شکل ۱۰). پیش‌بینی رشد شهر نظرآباد بر اساس سناریو تاریخی، بیشترین افزایش وسعت شهری را نشان می‌دهد که به موجب آن مساحت کل شهر از ۶۶۷ هکتار در سال ۱۳۹۹ به ۱۰۵۷ هکتار در سال ۱۴۲۹، یعنی ۵۸/۴۷ درصد گسترش داشته است و شهر نظرآباد به‌طور چشمگیری در این دوره زمانی گسترش می‌یابد. در سناریو رشد محیطزیستی با اعمال محدودیت‌ها در نقشه مستثنئات براساس نقشه ارزیابی تناسب حاصل شده از روش WLC رشد شهر نظرآباد نسبت به سناریو تاریخی کمتر بوده است به‌گونه‌ای که مساحت کل شهر از ۶۶۷ هکتار در سال ۱۳۹۹ به ۸۵۲ هکتار در سال ۱۴۲۹ یعنی ۲۷/۷ درصد گسترش خواهد داشت. با مقایسه دو سناریو مشخص می‌شود که رشد شهری در سناریو محیطزیستی باعث حفظ ۲۰۵ هکتار از اراضی کشاورزی حاشیه شهر نسبت به رشد تاریخی می‌شود. شکل (۱۱) گستره شهر نظرآباد را در دو سناریو نشان می‌دهد.



شکل ۱۰. پیش‌بینی رشد شهری نظرآباد در دو سناریو رشد تاریخی و رشد محیطزیستی (مأخذ: یافته‌های پژوهش)

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



شکل ۱۱. وسعت محدوده شهر نظرآباد در سناریوهای پیش‌بینی رشد شهری تا سال ۱۴۲۹ (مأخذ: یافته‌های پژوهش)

۵. بحث

در این تحقیق، شهر نظرآباد در دو سناریو رشد تاریخی و محیط‌زیستی شبیه‌سازی گردید. در سناریو رشد تاریخی در این تحقیق مشخص شد حدود ۳۹۰ هکتار از اراضی ساخته شده در بین سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۲۹ رشد خواهد کرد. این سناریو بالاترین افزایش را در توسعه شهری را نشان می‌دهد که این امر باعث از بین رفتن بخش وسیعی از ناحیه کشاورزی و باغ‌ها می‌شود. در سناریوی دوم، رشد شهری براساس روند تاریخی و با توجه به ملاحظات محیط‌زیستی پیش‌بینی گردید. در سناریو رشد محیط‌زیستی، اراضی ساخته شده حدود ۱۸۵ هکتار از سال ۱۳۹۹ تا ۱۴۲۹ رشد خواهد کرد. در این سناریو، میزان حفظ اراضی با ارزش کشاورزی نسبت به سناریو رشد تاریخی ۲۰۵ هکتار خواهد بود. در مطالعه حاضر، بیشترین تمایل رشد شهری به حاشیه و ایجاد مراکز جدید شهری در سناریوی رشد تاریخی دیده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد نسبت رشد شهری در بین سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۲۹ به ترتیب در سناریو اول و دوم برابر با ۵۸/۴۷ و ۲۷/۷ درصد است. مطابق با نتایج به دست آمده با در نظر گرفتن ملاحظات محیط‌زیستی در لایه مستثنئات مدل SLEUTH در سناریوی محیط‌زیست نسبت به سناریوی رشد تاریخی، توسعه با پراکندگی لکه‌ای کمتر و فشرده‌تر خواهد بود.

در این مطالعه از مدل‌سازی و شبیه‌سازی رشد در تعیین و تشخیص محورهای مناسب توسعه شهری به‌عنوان معیار پویا استفاده شد. سناریوی مدل SLEUTH رویکردهای متفاوتی در رشد توسعه شهری دارد، بنابراین قابلیت پیش‌بینی تغییرات بر پایه وضعیت اکوسیستم را دارند. لذا اثرات زیست‌محیطی ناشی از توسعه اکوسیستم‌های شهری در گذشته قابل بررسی و در آینده قابل پیش‌بینی می‌باشد. چنین برآوردی دلالت بر ارزیابی اثرات نامطلوب گسترش شهری و پیامدهای ناشی از فرآیند بلندمدت تغییرات کاربری اراضی ناشی از آن دارد (Rafiee et al., 2009; Mahmoudzadeh et al., 2019; Mahiny & Clarke, 2012)؛ بنابراین با تشخیص علت، مدل‌سازی و شبیه‌سازی تغییرات کالبد شهری به‌وسیله مدل‌های پایش و پیش‌بینی‌کننده توسعه و همچنین به دلیل تعاریف سازگار و در دسترس بودن داده‌ها و منابع محاسباتی زمینه اثرات رشد شهری مهیا شده است. در برخی از شهرها، رشد جمعیت و مناطق توسعه یافته منجر به ظهور توسعه‌های پراکنده و کنترل نشده، سکونتگاه‌های غیررسمی و افزایش فقر شهری می‌شود. هم‌سو با نتایج این پژوهش، پژوهش‌های دیگر هم به بررسی رشد شهری در سناریوهای مختلف پرداخته است. Liu و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای به شبیه‌سازی رشد شهری در سناریوهای مختلف با استفاده از مدل SLEUTH در شهر Hefei چین پرداختند. نتایج شبیه‌سازی رشد شهری نشان داد که کاربرد روش SLEUTH در شبیه‌سازی رشد شهری سودمند است و شبیه‌سازی رشد شهری تحت سه سناریو رشد شهری برای مدیران شهری قابل‌استفاده است. نتایج شبیه‌سازی در نهایت نشان داد رشد شهری تحت سناریو محیط‌زیستی و لحاظ کردن محدودیت‌ها در این سناریو مانع از پیش‌بینی غیرمنطقی زمین‌های ساخته شده در آینده و حفظ زمین‌های ارزشمند نظیر مزارع کشاورزی در حومه شهر است که نتایج آن با پژوهش ذیل مشابه است. Jat و همکاران (۲۰۱۷) از مدل‌سازی SLEUTH جهت پیش‌بینی تغییرات حاشیه ناهمگن شهری Ajmer راجستان در هندوستان

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

استفاده کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که SLEUTH نسبت به سایر روش‌های شبیه‌سازی در موضوعاتی که عدم قطعیت در پیش‌بینی رشد شهری مناطق ناهمگن شهری دارند، موفق بوده است. Kumar و Agrawal (۲۰۲۳) و Saxena و Jat (۲۰۲۰) نیز موفقیت‌آمیز بودن پیش‌بینی رشد شهری به کمک مدل SLEUTH را تأیید کرده‌اند.

از جمله نقاط ضعف مدل SLEUTH این است که تنها عوامل محیطی (فیزیکی) را در امر مدل‌سازی دخالت می‌دهد. لذا نتایج مدل‌سازی، تنها بر پایه عوامل فیزیکی است و فاکتورهای اقتصادی و اجتماعی در آن دخالت داده نشده است. تفاوت این پژوهش با سایر پژوهش‌ها، در استفاده از روش ارزیابی چند معیاره در تهیه نقشه مستثنات در سناریو محیطزیستی به‌منظور اعمال عوامل محیطزیستی و اقتصادی-اجتماعی برای حفظ اراضی اکولوژیک مهم در قالب مدل‌سازی پویا است. همسو با این پژوهش، پژوهشی توسط Mahiny و Clarke (۲۰۱۲) و Chaudhuri و Clarke (۲۰۱۳) انجام گردید. Mahiny و Clarke (۲۰۱۲) بیان کردند ترکیب مدل‌سازی SLEUTH با MCE نسبت به استفاده تنها از روش SLEUTH و یا MCE می‌تواند به‌عنوان ابزاری برای برنامه‌ریزی پویایی کاربری زمین در نظر گرفته شود. Chaudhuri و Clarke (۲۰۱۳) از مدل‌سازی SLEUTH در یکی از شهرهای متروپلیس هندوستان (Kolkata UA) استفاده کردند. هدف آن‌ها از این مطالعه، ارزیابی رابطه بین شهری شدن و نیروهای محرکه آن جهت بررسی این که آیا نیاز به یکپارچه کردن اطلاعات نیروهای محرکه در مدل SLEUTH وجود دارد یا خیر و یافتن اثربخش‌ترین رویکرد برای ادغام این اطلاعات بود. مقایسه نتایج SLEUTH تغییریافته آن‌ها با SLEUTH تغییر نیافته مؤید سود بردن مدل از اضافه کردن نیروهای محرکه جدید بود.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

روند گسترده شهرنشینی و کمبود زیرساخت‌های شهری از یک‌طرف و سیر کاهش اراضی محیطزیستی ناشی از آن یکی از مهم‌ترین چالش‌های جهان در قرن بیست و یکم است. از این‌رو پیش‌بینی الگوهای مختلف رشد شهری تحت سناریوهای مختلف به‌منظور اجرای مدیریتی کارآمد در زمینه حفاظت از منابع با ارزش محیطزیستی، امری ضروری است. لذا، پژوهش حاضر با هدف مدل‌سازی رشد فیزیکی شهر نظرآباد و پیش‌بینی تغییرات آتی تا سال ۱۴۲۹ با استفاده از مدل SLEUTH در دو سناریو تاریخی و محیطزیستی انجام شده است. در این مطالعه، برای ارائه یک پیش‌بینی مطلوب‌تر از تغییرات کاربری و پوشش زمین در آینده در مدل SLEUTH در سناریوی محیطزیستی از روش ارزیابی چند معیاره استفاده گردید. در سناریو رشد تاریخی، اراضی ساخته شده حدود ۵۸/۴۷ درصد از سال ۱۳۹۹ تا ۱۴۲۹ رشد خواهد کرد در حالی که در رشد محیطزیستی اراضی ساخته شده حدود ۲۷/۷ درصد رشد خواهد کرد. نتایج نشان داد لحاظ کردن محدودیت‌های محیطزیستی همچون توپوگرافی، زمین‌شناسی، هوا و اقلیم، منابع آبی، بیولوژیک، حرایم و فواصل شهری و کاربری اراضی در سناریو پیش‌بینی رشد محیطزیستی، منجر به حفظ ۲۰۵ هکتار از اراضی می‌گردد که این مسئله نشان می‌دهد اعمال محدودیت‌ها در سناریو رشد محیطزیستی نسبت به سناریوی رشد تاریخی در استفاده از زمین و حفظ پهنه‌های با ارزش موفق‌تر عمل کرده است. با توجه به وجود زمین‌های کشاورزی فراوان در اطراف شهر نظرآباد و نقش مؤثر این کاربری در اکوسیستم زمین و اثرات انسان روی بوم‌سازگان‌ها، تلاش در جهت حفاظت منابع و بازیابی افزایش دانش نوین در مورد چگونگی بهره‌مندی و استفاده انسان از آن‌ها لازم و ضروری است. همواره یک ارتباط مستقیم و روشنی بین توسعه شهری و رشد فیزیکی و تناسب زمین وجود دارد. یعنی برای تحقق هدف توسعه فضای شهری لزوم توجه به شاخص‌های اثرگذار که توسط متخصصان بومی هر منطقه تعیین می‌گردد، می‌تواند در ارتقا کیفیت محیطی، زیستی نقش به سزایی ایفا نماید. همچنین پیشنهاد می‌شود به‌منظور بررسی دقیق‌تر الگوی مکانی و زمانی تغییرات از روش تحلیل گرادیان سیمای سرزمین و آنالیز موزاییک استفاده شود تا اثر توسعه مناطق انسان ساخت بر ساختار سیمای سرزمین و واکنش سایر کاربری و پوشش‌ها در مقابل رشد شهری بررسی شود.

۷. منابع

Ahern, J. (2013). Urban landscape sustainability and resilience: the promise and challenges of integrating ecology with urban planning and design. *Landscape ecology*, 28, 1203-1212.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

Amato, F., Maimone, B. A., Martellozzo, F., Nolè, G., & Murgante, B. (2016). The effects of urban policies on the development of urban areas. *Sustainability*, 8(4), 297.

Bajracharya, P., Lippitt, C.D., & Sultana, S. (2020). Modeling urban growth and land cover change in Albuquerque using SLEUTH. *The Professional Geographer*, 72(2), 181-193.

Bihamta, N., Soffianian, A., Fakheran, S., & Gholamalifard, M. (2015). Using the SLEUTH urban growth model to simulate future urban expansion of the Isfahan metropolitan area, Iran. *Indian Society of Remote Sensing*, 43, 407-414.

Cui, E., Ren, L., Sun, H. (2015). Evaluation of variations and affecting factors of eco environmental quality during urbanization. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 3958-3968.

Chaudhuri, G., & Clarke, K. (2013). The SLEUTH land use change model: A review. *Environmental Resources Research*, 1(1), 88-105.

Clarke, K.C., Hoppen, S., & Gaydos, L. (1997). A Self-Modifying Cellular Automaton Model of Historical Urbanization in the San Francisco Bay Area. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 24, 247–261.

Clarke, K.C. (2008). A decade of cellular urban modeling with SLEUTH: Unresolved issues and problems. *Ch*, 3, 47-60.

Clarke, K.C. (2018). *A Short Presentation of SLEUTH*. Springer International Publishing AG 2018, University of California Santa Barbara, USA.

Cobbinah, P.B., Erdiaw-Kwasie, M.O., & Amoateng, P. (2015). Rethinking sustainable development within the framework of poverty and urbanization in developing countries. *Environmental. Development*, 13, 18e32.

Falah, N., Karimi, A., & Harandi, A.T. (2020). Urban growth modeling using cellular automata model and AHP (case study: Qazvin city). *Modeling Earth Systems and Environment*, 6, 235-248.

Fanni, Z. (2006). Cities and urbanization in Iran after the Islamic revolution. *Cities*, 23, 407–411.

Feng, Y., & Qi, Y. (2018). Modeling patterns of land use in Chinese cities using an integrated cellular automata model. *Geo-information*, 7(10), 403.

Firouznia, G., & Rabbani, M.R. (2013). Analysis of the industry's role in the Evolution of settlements (Case study: Nazarabad). *Physical Social Planning*, 1(3), 103-112. (inPersian).

Foroozesh, F., Monavari, S.M., Salmanmahiny, A., Robati, M., & Rahimi, R. (2022). Assessment of sustainable urban development based on a hybrid decision-making approach: Group fuzzy BWM, AHP, and TOPSIS–GIS. Sustain. *Cities Soc*. 76, 103402.

Gandhi, S.I., & Suresh, V.M. (2012). Prediction of urban sprawl in Hyderabad city using spatial model, remote sensing and GIS techniques geography. *Scientific Research*, 1(2), 80-82.

Gharaibeh, A., Shaamala, A., Obeidat, R., & Al-Kofahi, S. (2020). Improving land-use change modeling by integrating ANN with Cellular Automata-Markov Chain model. *Heliyon*, 6(9).

Grimm, N.B., Faeth, S.H., Golubiewski, N.E., Redman, C.L., Wu, J., Bai, X., & Briggs, J.M. (2008). Global change and the ecology of cities. *Science*, 319(5864), 756-760.

Han, B., Liu, H., & Wang, R. (2015). Urban ecological security assessment for cities in the Beijing–Tianjin–Hebei metropolitan region based on fuzzy and entropy methods. *Ecological Modelling*, 318, 217-225.

Hosseinali, F., & Alesheikh, A.A. (2013). Assessing Urban Land-Use Expansion in Regional Scale by Developing a Multi-Agent System. *Humanities*, 20(2), 23-44.

Ibrahim, M., El-Zaart, A., & Adams, C. (2018). Smart sustainable cities roadmap: Readiness for transformation towards urban sustainability. *Sustainable Cities and Society*, 37, 530–540.

Jahanishakib, F., & Erfani, M. (2021). Simulation of Urban Land Use Growth Scenarios Using the Cellular Automata Method of SLEUTH. *Journal of Environmental Studies*, *47*(3), 245-266. (inPersian).

Jat, M.K., Choudhary, M., & Saxena, A. (2017). Urban growth assessment and prediction using RS, GIS and SLEUTH model for a heterogeneous urban fringe. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 20(2), 223-241.

Kumar, V., & Agrawal, S. (2023). Urban modelling and forecasting of landuse using SLEUTH model. *Environmental Science and Technology*, 20(6), 6499-6518.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

Liu, Y., Li, L., Chen, L., Cheng, L., Zhou, X., Cui, Y., ... & Liu, W. (2019). Urban growth simulation in different scenarios using the SLEUTH model: A case study of Hefei, East China. *PLoS One*, 14(11), e0224998.

Liu, D., Clarke, K. C., & Chen, N. (2020). Integrating spatial nonstationarity into SLEUTH for urban growth modeling: A case study in the Wuhan metropolitan area. *Computers, Environment and Urban Systems*, 84, 101545.

Lu, T., Man-chu, L., & Yong-xue, L. (2009). Study of urban expansion simulation on the condition of ecological environment protection: A case study in Dianchi Basin in Kunming. *Urban Remote Sensing Joint Event*. Shanghai, China.

MA. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends*. Island Press, Washington, DC.

Mahiny, A. S., & Clarke, K. C. (2012). Guiding SLEUTH land-use/land-cover change modeling using multicriteria evaluation: towards dynamic sustainable land-use planning. *Environment and planning B: planning and design*, 39(5), 925-944.

Mahmoudzadeh, H., Vahedi Aghjea, A., & Herischian, M. (2019). Application of Scenario Based SLEUTH Model for Urban Growth Simulation (Case Study: Tabriz Metropolitan Area). *Geographical Urban Planning Research (GUPR), 7*(3), 553-580. (inPersian).

Malik, A., & Abdalla, R. (2017). Agent-based modelling for urban sprawl in the region of Waterloo, Ontario, Canada. *Modeling earth systems and environment*, 3, 1-9.

Man, X., & Chen, Y. (2020). Fractal-based modeling and spatial analysis of urban form and growth: A case study of Shenzhen in China. *Geo-Information*, 9(11), 672.

Rafiee, R., Salman Mahini, A., Khorasani, N., Darvishsefat, A., and Danekar, A. (2009). Simulating Urban Growth in Mashhad City, Iran Throuth the SLEUTH Model. *Cities*, 26, 19- 26.

Sakieh, Y., Salmanmahiny, A., Jafarnezhad, J., Mehri, A., Kamyab, H., & Galdavi, S. (2015). Evaluating the strategy of decentralized urban land-use planning in a developing region. *Land use policy*, 48, 534-551.

Saxena, A., & Jat, M.K. (2020). Analysing performance of SLEUTH model calibration using brute force and genetic algorithm–based methods. *Geocarto International*, 35(3), 256-279.

Shafizadeh, H., Valavi, R., Asghari, A., Minaei, M., & Murayama, Y. (2022). On the spatiotemporal generalization of machine learning and ensemble models for simulating built- up land expansion. *Transactions in GIS*, 26(2), 1080-1097.

UNDESA. (2012). *World Urbanization Prospects*: the 2011 Revision. United Nations, New York.

Wu, J. (2014). Urban ecology and sustainability: The state-of-the-science and future directions. *Landscape and urban planning*, 125, 209-221.

Yao, L., Liu, J., Wang, R., Yin, K., & Han, B. (2015). A qualitative network model for understanding regional metabolism in the context of Social–Economic–Natural Complex Ecosystem theory. *Ecological informatics*, 26, 29-34.

Archive of SID.ir