



جغرافیا و روابط انسانی، تابستان ۱۴۰۵، دوره ۹ شماره ۲، صص ۱۷۵-۱۶۲

شبیه‌سازی تغییرات کاربری زمین در شهر گرگان بر اساس تداوم توسعه وضع موجود با

استفاده از مدل GeoSOS-FLUS

مهسا فسنقری^۱، هادی سلطانی فرد^{۲*}، حامد ادب^۳، الهه اکبری^۳

۱- کارشناسی ارشد رشته جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، گرایش مسکن و بازآفرینی شهری، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی،

دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران. دبیر مطالعات اجتماعی سبزوار. fesanghari.mahsa@gmail.com

۲- گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.

H.soltanifard@hsu.ac.ir

۳- گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران. hadab@hsu.ac.ir

e.akbari@hsu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۱۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۲/۰۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۱/۲۴

چکیده

توسعه شهری و تغییرات سریع در کاربری و پوشش اراضی، یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی و برنامه‌ریزی شهری در دهه‌های اخیر بوده است. این تغییرات که عمدتاً ناشی از گسترش شهرنشینی و فعالیت‌های انسانی هستند، تأثیرات گسترده‌ای بر اکوسیستم‌ها، منابع طبیعی، و پایداری محیط‌زیست بر جای می‌گذارند. مطالعه حاضر با هدف تحلیل روند تغییرات کاربری اراضی و پیش‌بینی تحولات آتی شهر گرگان انجام شده است. در این پژوهش، از مدل GeoSOS-FLUS که ترکیبی از شبکه عصبی مصنوعی و زنجیره مارکوف-اتوماتای سلولی است به‌عنوان ابزاری قدرتمند برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری زمین و پیش‌بینی روند آتی آن استفاده شده است. داده‌های تحقیق شامل تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه لندست (TM، ETM+، OLI) و پارامترهای مختلف جغرافیایی است. نتایج تحقیق نشان داد که رشد شهری در شهر گرگان از الگوی متمرکز و هسته‌ای به الگوی پراکنده و غیریکپارچه تغییر یافته است. این روند منجر به کاهش قابل توجه اراضی کشاورزی، جنگلی و مرتعی شده است. پیش‌بینی‌های مدل حاکی از آن است که در ۲۵ سال آینده، مناطق مسکونی افزایش چشمگیری خواهند یافت و گسترش شهر به مناطق پیرامونی به‌ویژه اراضی طبیعی شدت خواهد گرفت. این تغییرات می‌تواند باعث افزایش فشار بر منابع طبیعی، تخریب اکوسیستم‌ها، و کاهش تنوع زیستی شود. ارزیابی مدل GeoSOS-FLUS نشان داد که این ابزار از دقت بسیار بالایی در شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی برخوردار است بطوریکه مقدار ضریب کاپا و سایر معیارهای ارزیابی نشان‌دهنده دقت مناسب مدل بودند. همچنین، تطابق نتایج مدل با داده‌های واقعی نشان‌دهنده قابلیت بالای این مدل در پیش‌بینی تغییرات آینده است. یافته‌های این تحقیق، علاوه بر شناسایی عوامل مؤثر بر تغییرات کاربری اراضی، می‌تواند به‌عنوان ابزار کاربردی برای مدیران شهری و تصمیم‌گیران در حوزه برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری کاربری زمین به کار رود.

کلمات کلیدی: شبیه‌سازی، رشد شهری، سیستم اطلاعات جغرافیایی، GeoSOS-FLUS

امروزه رشد روزافزون شهرها به منزله برآیند حاصل از ازدیاد جمعیت و مهاجرت‌های بی‌رویه (Brogger & Agergaard, 2019)، منجر به ساخت و سازهای بدون ضابطه و تحولات عمده در ساختار فضایی و گسترش شهرها شده است (Varol et al., 2019). براین اساس می‌توان گفت یکی از مشکلات مهم شهرها، رشد افقی آن‌هاست و به تبع آن گسترش شاخک‌های خزننده شهری بر اراضی پیراشهری می‌باشد، که پیامدهای مختلف زیست محیطی، کالبدی، اجتماعی و اقتصادی را در پی داشته است (سورشجانی و بیگی، ۱۳۹۷). از این رو توسعه شهری به عنوان یک فرایند پویای تغییر کاربری زمین، یک پدیده پیچیده اجتماعی/اقتصادی محسوب می‌شود و می‌بایست متناسب با شرایط اکولوژیکی منطقه انجام شود (عبادی شرف آباد و همکاران، ۱۴۰۳، Li et al., 2003). در بسیاری از شهرهای کشور روند تکامل کالبدی، رابطه قطعی بین جریان‌ات اقتصادی، اجتماعی و نیروها و فرایندهای مدیریتی و گسترش کالبدی آن را نشان می‌دهد (رجب‌دوست، ۱۴۰۰). پژوهش در زمینه‌ی تغییر کاربری و پوشش زمین برای درک تغییرات جهانی زمین امری اساسی است. درک پویایی کاربری اراضی (LULC) و پارامترهای پدیدآورنده و عوامل مسئول چنین تغییری، جهت مدل‌سازی تغییرات آینده کاربری زمین برای حمایت از تصمیمات و استراتژی‌های پایدار و قوی سیاست‌ها حیاتی هستند (Munthali et al., 2019).

روش‌های مختلفی برای بررسی روند تغییرات کاربری و پوشش زمین وجود دارد که یکی از این روش‌ها مدل‌سازی است. مدل‌سازی و شبیه‌سازی تغییر کاربری فضایی- زمانی، در سه دهه اخیر به یکی از موضوعات مهم تبدیل شده است. به همین جهت، انواع زیادی از مدل‌ها مانند مدل‌های پویا، آماری و یادگیری ماشین (ML) در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای برآوردن الزامات عملکرد بالا در مدل‌سازی کاربری زمین مورد استفاده قرار گرفته است (Aburas et al., 2019). براین اساس سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از دور به ابزارهای ضروری برای پی‌بردن به تغییرات پوشش کاربری اراضی (LULC) تبدیل شده‌اند (AneeshaSatya et al., 2020). داده‌های استخراج شده از سنجش از دور در تحلیل عملکرد سیستم زمین و الگوها در مقیاس محلی، منطقه‌ای و جهانی در بازه‌های مختلف زمانی از دقت بالایی برخوردار هستند (Islam et al., 2018; Roodposhti et al., 2019).

در این راستا، Sun و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهش خود نقشه توزیع کاربری اراضی در سال ۱۹۸۵ و ۲۰۲۰ و تنظیمات سناریوهای کاربری سه‌گانه را به عنوان ورودی مدل GeoSoS-FLUS برای شبیه‌سازی سه سناریو کاربری آینده در نظر گرفتند. Mansoura و همکاران (۲۰۲۰) با هدف تجزیه و تحلیل پویایی مکانی و زمانی (LULC) طی سال‌های (۲۰۰۸-۲۰۱۸) و شبیه‌سازی گسترش شهری (۲۰۰۸-۲۰۳۸) در شهر نيزوا، استان الدخلیه، عمان از اتوماتای سلولی (CA)-Markov و تکنیک‌های مکانی استفاده کردند. Kai و همکاران (۲۰۲۰) به منظور بررسی الگوی فضایی و روند توسعه پایدار در استفاده از زمین در شهر سانیا در آینده، از مدل GeoSOS-FLUS به عنوان مدل اصلی، استفاده کردند. Wang و همکاران (۲۰۱۹) به منظور ارزیابی اثرات سیاست کاربری زمین در یکی از مناطق نزدیک شانگهای طی بازه زمانی ۱۵ سال از مدل GeoSOS-FLUS توسعه یافته بر اساس مدل اتوماسیون سلولی

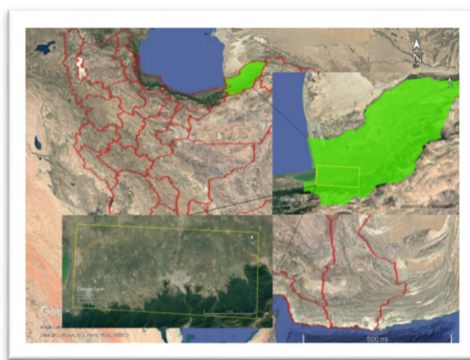
¹ Machine Learning

(CA) به عنوان ابزاری برای شبیه‌سازی سناریوهای تغییر کاربری چندانگانه استفاده کردند. نتیجه ثابت می‌کند که استفاده از مدل **GeoSOS-FLUS** و شبیه‌سازی چند سناریویی تغییر کاربری زمین بر اساس رویکرد **back casting** می‌تواند روش مناسبی برای ارزیابی تأثیر سیاست‌ها بر تغییرات کاربری زمین باشد.

هدف از تحقیق حاضر، مطالعه و شبیه‌سازی رشد شهری گرگان برای بازه زمانی تا سال ۲۰۵۱ است. برای دستیابی به این هدف، از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای سالهای ۲۰۰۱ الی ۲۰۲۱ و سیزده پارامتر مورد استفاده قرار گرفت. پارامترهای مورد استفاده شامل دما، بارش، نوع خاک، ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از آبراهه‌ها، فاصله از نقاط شهری، فاصله از مناطق زلزله خیز، فاصله از آتش سوزی، فاصله از شبکه راه‌ها، فاصله از خطوط راه آهن، فاصله از چاه‌ها هستند. برای پیش‌بینی و شبیه‌سازی رشد شهری از مدل **GeoSOS-FLUS** که ترکیبی از شبکه عصبی مصنوعی و مدل زنجیره مارکوف - اتوماتای سلولی (CA) می‌باشد، استفاده شده است.

منطقه مورد مطالعه

شهر گرگان با قرار گرفتن در موقعیت $53^{\circ}49'01''$ تا $55^{\circ}03'41''$ طول شرقی و $36^{\circ}26'56''$ تا $37^{\circ}14'$ عرض شمالی در بخش جنوب غربی استان گلستان و جنوب شرق دریای کاسپین در شمال کشور ایران قرار گرفته است (Shorabi et al., 2018). این شهر با قرار گرفتن در ارتفاع ۱۵۵ متری از سطح دریا و قرار گیری در دامنه شمالی رشته کوه البرز (Alavi et al., 2020) بدلیل برخورداری از موقعیت جغرافیایی و اقلیم متنوع و ممتازی که دارد به عنوان قطب مهم شهری در منطقه و یکی از بزرگترین شهرهای استان مطرح شده است (Pourahmad et al., 2019). شیب این شهر حدوداً ۴٪ است که بهترین و مناسب ترین شیب به جهت ساختن یک شهر می باشد و در نهایت گرگان از سه منطقه شهرداری و ۹۴ محله برخوردار است (Alavi et al., 2020).



شکل ۱، نقشه منطقه مورد مطالعه

مواد و روشها

داده‌های مورد استفاده شامل تصاویر ماهواره‌ای لندست برای سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۶، ۲۰۱۱، ۲۰۱۶ و ۲۰۲۱ است که با توجه به اینکه گرگان دارای آب و هوای معتدل و مرطوب است و در بیشتر مواقع سال با پوشش ابری مکرر و شرایط مه‌آلود مواجه می‌شود، برای جلوگیری از تأثیرات منفی این شرایط جوی بر تصاویر، تصاویر مربوط به ماه‌های

ژوئن، ژوئیه و اوت که دارای پوشش ابری صفر درصد بودند، انتخاب شدند تا از بروز خطاهای جوی و تاثیرات ناشی از ابر و مه جلوگیری شود. پیش‌پردازش و تصحیح خطاهای اتمسفری با **ATCOR** انجام شده است. برای شبیه‌سازی/پیش‌بینی **LULC**، سیزده پارامتر از جمله دما، بارش، نوع خاک، ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از آبراهه‌ها، فاصله از نقاط شهری، فاصله از مناطق زلزله خیز، فاصله از آتش سوزی، فاصله از شبکه راه‌ها، فاصله از خطوط راه آهن، فاصله از چاه‌ها در تحقیق حاضر مورد استفاده قرار گرفت. به منظور طبقه‌بندی و شبیه‌سازی رشد شهری در دهه‌های آینده تا سال ۲۰۵۱، از مدل **GeoSOS-FLUS** که ترکیبی از شبکه عصبی مصنوعی و مدل اتوماتای سلولی-زنجیره مارکوف (**CA-Markov**) است، استفاده شده است. سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۱ نیز با استفاده از این مدل شبیه‌سازی شده‌اند که به بررسی کارایی و دقت این مدل پرداخته شود.

مدل CA-Markov

مدل **CA-Markov** یک مدل ترکیبی از اتوماتای سلولی و زنجیره مارکوف است برای پیش‌بینی توسعه شهری در آینده استفاده می‌شود که در آن، عناصر همجواری مکانی و دانش نحوه توزیع مکانی در نظر گرفته می‌شود. مدل زنجیره مارکوف، نه تنها کیفیت تبدیل کاربریها را در نظر دارد بلکه نرخ تبدیل در بین انواع آنها را لحاظ می‌کند. بر مبنای فرمول احتمال شرطی بیزین، پیش‌بینی تغییرات انواع کاربری براساس رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

$$S(t+1) = P_{ij} \times S(t) \quad (1)$$

که در آن **S** حالت سیستم در زمان **t** و **t+1**، **P_{ij}** ماتریس احتمال تبدیل (رابطه ۲) در یک حالت است.

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

که در آن $(0 \leq P_{ij} < 1 \text{ and } \sum_{j=1}^N P_{ij} = 1, (i,j = 1, 2, \dots, n))$.

مدل اتوماتای سلولی بر مبنای وجود عدم قطعیت در بین عناصر، ساختار و کیفیت داده‌های ورودی مدل تاثیر می‌پذیرد. این مدل عمدتاً بر تعاملات محلی بین تمایز زمانی و عوارض مکانی متمرکز است و توانایی شبیه‌سازی پویای سیستم عوارض خودسازمانده را دارد. این مدل براساس رابطه ۳ تعریف می‌شود.

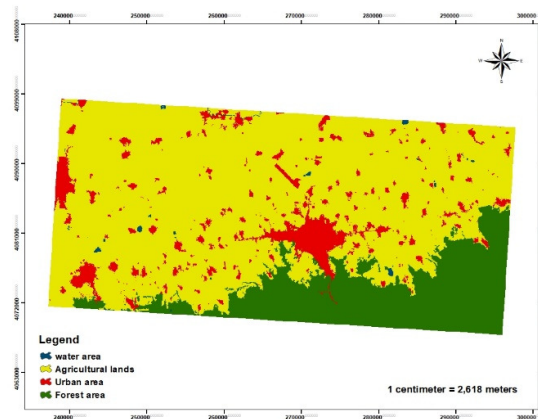
$$S(t, t+1) = f(S(t), N) \quad (3)$$

که در آن، **S** سری حالت‌های سلولی گسسته و محدود، **N** فیلد سلولی، **t** و **t+1** معرف زمانهای مختلف و **f** قانون تبدیل حالت‌های سلولی در فضای محلی است (Sang et al., 2011).

نتایج و بحث

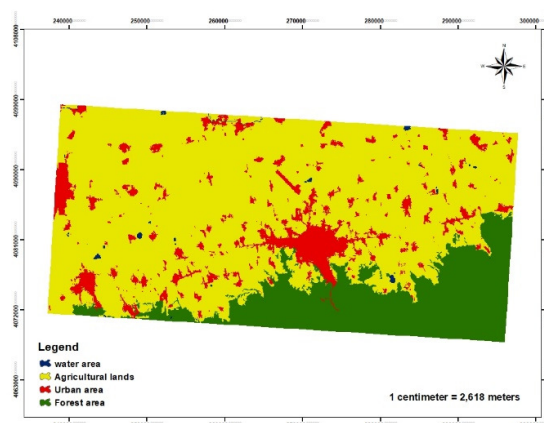
در شکل ۲، نقشه پارامترهای استفاده شده در این تحقیق ارائه شده است.

شکل ۳، نقشه شبیه سازی شده سال ۲۰۱۶ می باشد مطابق نقشه شبیه سازی بدست آمده بیشترین میزان مساحت مربوط به کاربری زراعی می باشد با مساحت حدود ۱۱۴۷,۶۲ کیلومتر مربع و کمترین میزان مساحت نیز متعلق به کاربری آبی می باشد با مساحتی حدود ۳ کیلومتر مربع و کاربری شهری نیز با مساحت ۱۲۳,۷۷ کیلومتر مربع در رتبه سوم قرار دارد.



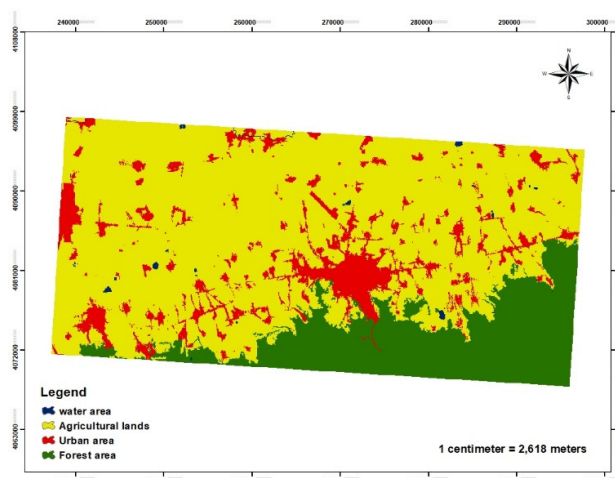
شکل ۳: نقشه شبیه سازی کاربری اراضی سال ۲۰۱۶ تهیه شده با استفاده از مدل CA

شکل ۴، نقشه شبیه سازی شده کاربری های اراضی محدوده مورد مطالعه را در سال ۲۰۲۱ نشان می دهد طبق این شبیه سازی بیشترین مساحت را در میان کاربری ها، کاربری زراعی با مساحتی حدود ۱۱۲۷,۴۴ کیلومتر مربع به خود اختصاص داده است و کمترین مساحت نیز مربوط به کاربری آبی با مساحتی حدود ۳ کیلومتر مربع می باشد. کاربری شهر با مساحت ۱۴۴,۵۷ موجب گسترش کاربری شهری در محدوده کاربری های زراعی شده است که این عمل منجر به زیر ساخت رفتن اراضی زراعی می شود.



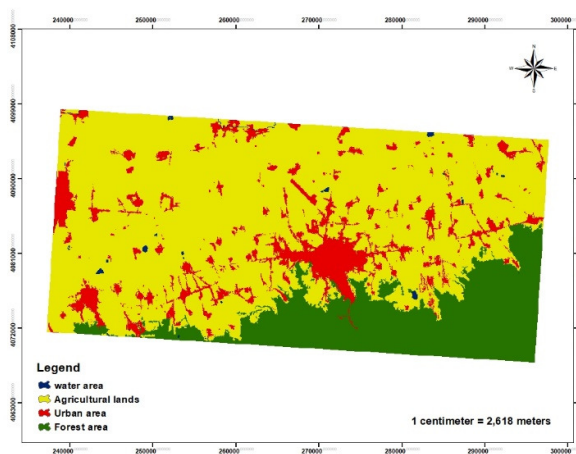
شكل ٤: نقشه شبیه سازی کاربری اراضی سال ٢٠٢١ تهیه شده با استفاده از مدل CA

شكل ٥، نقشه شبیه سازی شده کاربری های اراضی محدوده مورد مطالعه را در سال ٢٠٣١ را نشان می دهد طبق این شبیه سازی بیشترین مساحت را در میان کاربری ها، همچنان کاربری زراعی با مساحتی حدود ١٠٨٨,٣٢٢ کیلومتر مربع به خود اختصاص داده است و کمترین مساحت نیز مربوط به کاربری آبی با مساحتی حدود ٣ کیلومتر مربع می باشد. کاربری شهر با مساحت ١٨٤,٩١ موجب شده است که کاربری شهری در محدوده کاربری های زراعی نفوذ بیشتری داشته باشد.



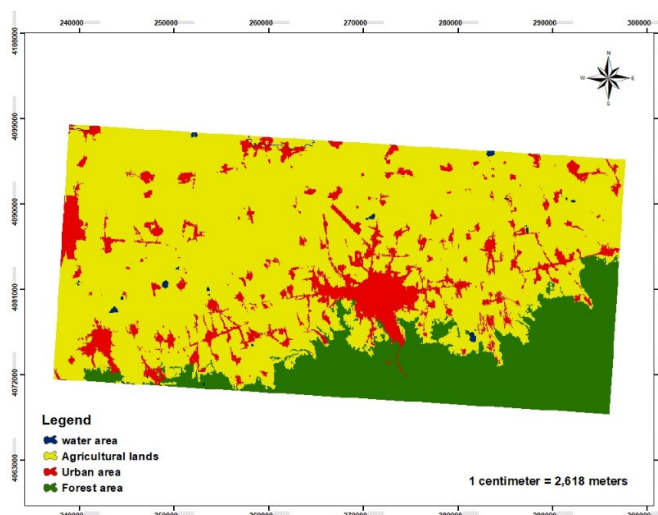
شكل ٥: نقشه شبیه سازی کاربری اراضی سال ٢٠٣١ تهیه شده با استفاده از مدل CA

شکل ۶، نقشه شبیه سازی شده کاربری های اراضی محدوده مورد مطالعه را در سال ۲۰۴۱ را نشان می دهد طبق این شبیه سازی بیشترین مساحت را در میان کاربری ها، همچنان کاربری زراعی با مساحتی حدود ۱۰۳۵,۴۴ کیلومتر مربع به خود اختصاص داده است و کمترین مساحت نیز مربوط به کاربری آبی با مساحتی حدود ۳ کیلومتر مربع می باشد. کاربری شهر با مساحت ۲۲۳,۰۸ در رتبه سوم کاربری ها قرار گرفته است.



شکل ۶: نقشه شبیه سازی کاربری اراضی سال ۲۰۴۱ تهیه شده با استفاده از مدل CA

شکل ۷، نقشه شبیه سازی شده کاربری های اراضی محدوده مورد مطالعه را در سال ۲۰۵۱ را نشان می دهد طبق این شبیه سازی، کاربری زراعی با مساحتی حدود ۱۰۱۴,۳۰ کیلومتر مربع به خود اختصاص داده است که همچنان بیشترین مساحت منطقه را دارا می باشد و کمترین مساحت نیز مربوط به کاربری آبی با مساحتی حدود ۳ کیلومتر مربع می باشد. کاربری شهر با مساحت ۲۶۱,۳۶ در رتبه سوم کاربری ها قرار گرفته است.



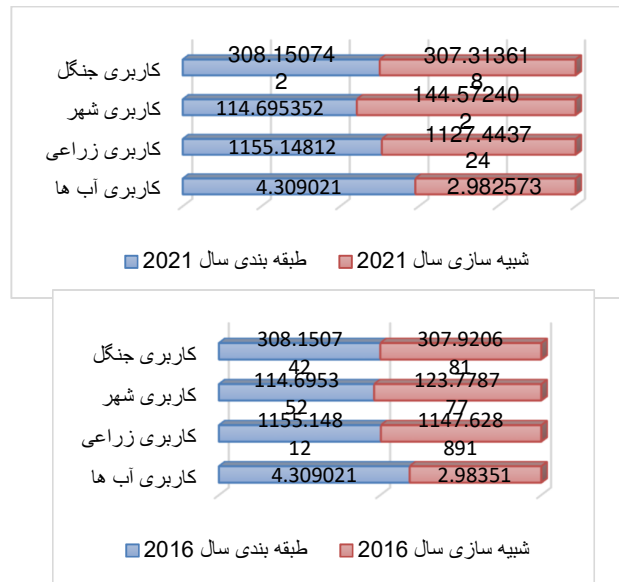
شكل ٧: نقشه شبیه سازی کاربری اراضی سال ۲۰۵۱ تهیه شده با استفاده از مدل CA

با بررسی جدول ۱ و مقایسه تغییرات مساحت کاربری دریافت می شود که روند رشد کاربری تا سال ۲۰۵۱ همچنان ادامه خواهد داشت تقریباً می توان گفت به حد اشباع خواهد رسید.

جدول ۱ مقایسه تغییرات کاربری های شبیه سازی شده مربوط به سال های ۲۰۱۶ الی ۲۰۵۱

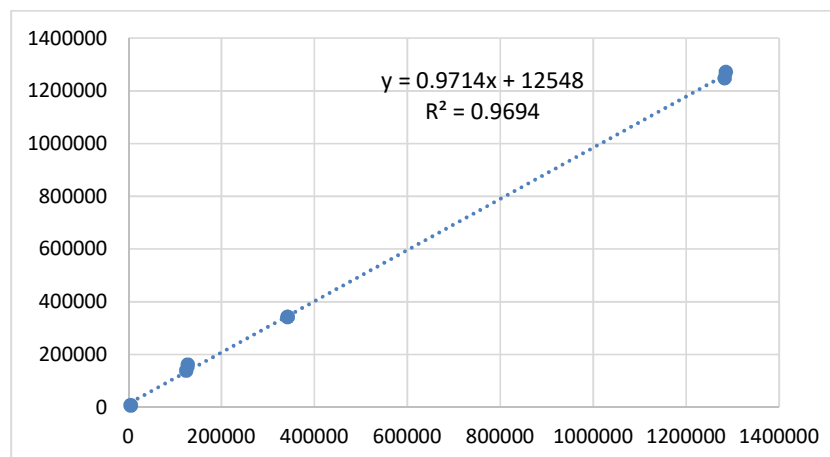
مساحت سال	کاربری آب	کاربری زراعی	کاربری شهر	کاربری جنگل
2016	2.98351	1147.628891	123.778777	307.920681
2021	2.982573	1127.443724	144.572402	307.313618
2031	2.982244	1088.32241	184.911216	306.088422
2041	2.982308	1050.576955	223.88394	304.856853
2051	2.984083	1014.304169	261.366634	303.640653

با توجه به شکل ۸ که به مقایسه میزان تغییرات کاربری های اراضی سال ۲۰۱۶ و ۲۰۲۱ با کاربری های شبیه سازی شده این سال ها پرداخته اند می توان گفت شبیه سازی های انجام گرفته برای کاربری ها تقریباً نزدیک به وضعیت واقعی کاربری های مورد نظر می باشند و می توان گفت شبیه سازی های صورت گرفته دقت لازم برای اطمینان را دارند.



شکل ۸. مقایسه مساحت کاربری های طبقه بندی شده سال ۲۰۲۱ و ۲۰۱۶ با مساحت کاربری های شبیه سازی شده همان سال

همچنین با توجه به شکل ۹ رگرسیون خطی و میزان ضریب همبستگی مساحت کاربری های موجود با کاربری های شبیه سازی شده (به میزان ضریب همبستگی: $R^2 = 0.91971$ ، $R^2 = 0.9546$) می توان دریافت کرد که مدل از دقت مطلوبی برخوردار می باشد.



شکل ۹. رگرسیون لجستیک برای مقایسه بین مساحت کاربری های موجود با شبیه سازی شده سال های ۲۰۱۶ و

با مقایسه با تحقیقات پیشین مشخص می‌شود که **Sun** و همکاران (۲۰۲۱)، **Mansoura** و همکاران (۲۰۲۰)، **Kai** و همکاران (۲۰۲۰) و **Wang** و همکاران (۲۰۱۹) نیز با استفاده از مدل **GeoSOS-FLUS** توانسته‌اند به نتایج مطلوبی در زمینه پیش‌بینی و شبیه‌سازی رشد شهری دست یابند. بنابراین این نتایج نشان می‌دهد که این مدل این امکان را فراهم می‌کند که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و پارامترهای جغرافیایی می‌توان برای پیش‌بینی و شبیه‌سازی رشد شهری اقدام نمود.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، از طریق مدل **GeoSOS-FLUS** که ترکیبی از شبکه عصبی مصنوعی و زنجیره مارکوف-اتوماتای سلولی است، به‌عنوان ابزاری قدرتمند برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری زمین و پیش‌بینی روند آتی آن استفاده شده است. پیش‌بینی‌های مدل حاکی از آن است که در ۲۵ سال آینده، مناطق مسکونی افزایش چشمگیری خواهند یافت و گسترش شهر به مناطق پیرامونی به‌ویژه اراضی طبیعی شدت خواهد گرفت. این تغییرات می‌تواند باعث افزایش فشار بر منابع طبیعی، تخریب اکوسیستم‌ها، و کاهش تنوع زیستی شود.

با توجه به روند پیش‌بینی شده برای شهر گرگان در ۲۵ سال آینده، به نظر می‌رسد که توسعه شهری این شهر از یک الگوی تک هسته‌ای به سمت یک الگوی متصل و شبکه‌ای حرکت کند. فرضیه‌ای که بیان می‌کند گسترش شهر گرگان از حالت تک هسته‌ای خارج خواهد شد و به شکل الگویی متصل به یکدیگر گسترش خواهد یافت، از جنبه‌های مختلفی قابل تأسیس است. در این مسیر، چندین عامل مؤثر مانند توسعه پایدار، فناوری‌های نوین، نیاز به بهینه‌سازی زمین و منابع، و بهبود شبکه‌های حمل‌ونقل عمومی نقشی اساسی ایفا خواهند کرد.

در پنجاه سال آینده، شهر گرگان به سمت توسعه فضاهای شهری چندمنظوره حرکت خواهد کرد که در آن‌ها ترکیب کاربری‌های مسکونی، تجاری، خدماتی و تفریحی در فضاهای مختلف و نزدیک به یکدیگر قرار خواهند گرفت. این نوع توسعه باعث شکل‌گیری ساختارهایی خواهد شد که از هسته مرکزی شهر فراتر رفته و به‌صورت نقاط پراکنده و متصل به هم شکل می‌گیرند. در این روند، دیگر یک هسته مرکزی تنها برای توسعه نخواهد بود، بلکه نقاط مختلف شهر به هم پیوند خواهند خورد و ساختار فضایی شهر به‌صورت یکپارچه و هماهنگ خواهد شد.

یکی از عوامل مهم در تحقق این روند، توسعه شبکه‌های حمل‌ونقل عمومی و هوشمند است که باعث تسهیل ارتباطات بین بخش‌های مختلف شهر می‌شود. این امر به نوبه خود موجب کاهش نیاز به مرکزیت فیزیکی و توزیع بهتر خدمات

و امکانات شهری در سطح گسترده‌تری خواهد شد. علاوه بر این، توسعه پایدار و استفاده از فناوری‌های نوین در مدیریت منابع شهری و بهینه‌سازی زمین‌ها، به کاهش فشار بر نقاط مرکزی و گسترش متوازن شهر کمک خواهد کرد. در مجموع، با توجه به روندهای مذکور و برنامه‌ریزی‌های شهری آینده، فرضیه‌ای که به گسترش متصل و شبکه‌ای اشاره دارد، بسیار منطقی به نظر می‌رسد. شهر گرگان در آینده به‌طور طبیعی به سمت الگویی متصل و پراکنده حرکت خواهد کرد که در آن بخش‌های مختلف شهری به‌صورت هماهنگ و منسجم به هم پیوند خواهند خورد، و این روند به‌واسطه توجه به اصول توسعه پایدار، استفاده از فناوری‌های نوین و بهینه‌سازی منابع، تحقق خواهد یافت.

پیشنهادهای

برای تسهیل ارتباطات درون‌شهری و پیوند مؤثر بخش‌های مختلف شهر، نیاز است که شبکه‌های حمل‌ونقل عمومی (اتوبوس‌ها، قطار شهری، تراموا و...) به صورت هوشمند و یکپارچه توسعه یابد. استفاده از فناوری‌های نوین در این شبکه‌ها می‌تواند به مدیریت بهتر زمان، کاهش ترافیک و افزایش راحتی دسترسی برای شهروندان کمک کند. در راستای ایجاد فضای شهری متصل، باید سیاست‌هایی برای توسعه مناطق چندمنظوره و ترکیب کاربری‌های مختلف (مسکونی، تجاری، خدماتی، تفریحی) اتخاذ شود. این نواحی می‌توانند به صورت یکپارچه و در نزدیکی یکدیگر توسعه یابند تا از پراکندگی و اتلاف منابع جلوگیری شود. علاوه بر این، توجه ویژه به نواحی حاشیه‌ای و پیرامونی شهر می‌تواند به تسهیل گسترش متصل و متوازن کمک کند. ایجاد زیرساخت‌های مناسب، تأمین خدمات عمومی و تسهیل دسترسی به شبکه حمل‌ونقل عمومی از جمله اقداماتی است که می‌تواند در این راستا مفید باشد. اجرای این پیشنهادات می‌تواند به شکل‌گیری الگویی متصل و هماهنگ برای توسعه شهر گرگان در ۵۰ سال آینده کمک کند و از نظر محیط‌زیستی، اجتماعی و اقتصادی برای شهروندان نتایج مثبت به همراه داشته باشد.

منابع

- رجب‌دوست، ا. (۱۴۰۰). واکاوی نقش نیروها و عوامل مدیریتی- شهری بر روند گسترش کالبدی محدوده‌های شهری؛ نمونه مورد پژوهش شهر فسا. جغرافیا و روابط انسانی، ۲(۱۲)، ۳۷۴-۴۰۷.
- سورشجانی، ر. ح.، بیگی، ا. (۱۳۹۷). بررسی رابطه الگوهای فضایی کاربری زمین شهری بر رشد و گسترش شاخک‌های خزنده شهری مطالعه موردی: شهر رشت. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۸(۵۱)، ۸۵-۶۵.
- عبادی شرف آباد، م.، عابدینی، ا.، ثبات ثانی، ن. (۱۴۰۳). تحلیل توسعه شهری و تغییر کاربری اراضی در شهر ارومیه. مجله جغرافیا و روابط انسانی، ۷(۴)، ۷۹۸-۷۸۸.

- Aburas, M. M., Ahamad, M. S. S., Omar, N. Q. (2019). Spatio-temporal simulation and prediction of land-use change using conventional and machine learning models: a review. *Environmental monitoring and assessment*, 191(4), 191-205. doi:<https://doi.org/10.1007/s10661-019-7330-6>
- Alavi, S. A., Meshkini, A., Kerami, J., Auxiliary, B. C., & Neshat, A. H. (2020). *Analysis of local processes in urban spatial distribution (case study: Gorgan city)*. 51(4), 825–851.
- AneeshaSatya, B., Shashi, M., Deva, P. (2020). Future land use land cover scenario simulation using open source GIS for the city of Warangal, Telangana, India. *Applied Geomatics*, 12(3), 281-290 .
- Brogger, D. R., Agergaard, J. (2019). The Migration Urbanisation Nexus in Nepal's Exceptional Urban Transformation. *Population, Space and Place*, 25(8), 1-13 .
- Islam, K., Rahman, M. F., & Jashimuddin, M. (2018). Modeling land use change using Cellular Automata and Artificial Neural Network: The case of Chunati Wildlife Sanctuary, Bangladesh. *Ecological Indicators*, 88, 439–453. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.01.047>
- Kai, J., Shengnan, W., Lixia, G., Qin, Z. (2020) .Spatial Distribution Simulation and Trend Analysis of Land Use in Sanya Based on GeoSOS-FLUS Model. *Urban and Regional Planning*, 5(4), 97-108. doi:10.11648/j.urp.20200504.11
- Li, L., Sato, Y., Zhu, H. (2003). Simulating spatial urban expansion based on a physical process. *Landscape and Urban Planning*, 64(2-1), 76-67 .doi:[https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(02\)00201-3](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(02)00201-3)
- Mansoura, S., Al-Belushib, M., Al-Awadhia, T. (2020). Monitoring land use and land cover changes in the mountainous cities of Oman using GIS and CA-Markov modelling techniques. *Land Use Policy*, 91, 1-15 .
- Munthali, M. G., Davis, N., Adeola, A. M., Botai, J. O., Kamwi, J. M., Chisale, H. L., Orimoogunje, O. O. (2019). Local Perception of Drivers of Land-Use and Land-Cover Change Dynamics across Dedza District, Central Malawi Region. *sustainability*, 11(3), 832
- Pourahmad, A., Hossam, M., Ashor, H., & Mohammadpour, S. (2019). An analysis of the physical-spatial expansion pattern of Gorgan city using Shannon and Heldren entropy models. *Journal of Research and Urban Planning*, 1(3), 1–18.
- Roodposhti, M. S., Aryal, J., & Bryan, B. A. (2019). A novel algorithm for calculating transition potential in cellular automata models of land-use/cover change. *Environmental Modelling and Software*, 112, 70–81. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.10.006>
- Sang, L., Zhang, C., Yang, J., Zhu, D., and Yun, W., (2011). Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA-Markov model. *Mathematical and Computer Modelling*. 54. 938-943.
- Shorabi, S. N., Hamzah, S., Kiavers, M., & Afsharipour, S. (2018). Investigating the spatial-temporal changes of land use, expansion of Zohri and its effect on Efasai Earth surface temperature using multi-temporal Landsat images (case study: Zahar Gorgan). *Geography Studies of Urban Planning*, 6(3), 545–568.
- Sun, Q., Qi, W., Yu, X. (2021). Impacts of land use change on ecosystem services in the intensive agricultural area of North China based on Multi scenario analysis. *Alexandria Engineering Journal*, 60(1), 1703-1716. doi:<https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.11.020>
- Varol, B., Yilmaz, E. O., Maktav, D., Bayburt, S., Gürdal, S. (2019). Detection of Illegal Constructions in Urban Cities: Comparing LIDAR Data and Stereo KOMPSAT 3 Images with Development Plans. *Remote Sensing*, 52(1), 335-344 .

Wang, Y., Shen, J., Yan, W., Chen, C.(2019) .Backcasting approach with multi-scenario simulation for assessing effects of land use policy using GeoSOS-FLUS software. *MethodsX*, 6, 1384-1397.