

## فصلنامه علمی پژوهش و برنامه‌ریزی شهری

سال ۱۰، شماره پیاپی ۳۹، زمستان ۱۳۹۸

شاپا چاپی: ۵۲۲۹-۲۲۲۸ - شاپا الکترونیکی: ۳۸۴۵-۲۴۷۶

<http://jupm.miau.ac.ir>

مقاله پژوهشی

# تغییرات کاربری اراضی و شبیه‌سازی رشد و توسعه شهری رشت با استفاده از مدل شبکه عصبی و سلول‌های خودکار زنجیره مارکوف

داود اکبری: استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه زابل، زابل، ایران

مینا مرادی زاده: استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

محمد اکبری: استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

پذیرش: ۱۳۹۸/۳/۱۵

صص ۱۷۰-۱۵۷

دریافت: ۱۳۹۷/۷/۱۰

### چکیده

امروزه با توجه به روند رو به رشد جمعیت در شهرها و روستاها و تمایل به زندگی شهری بیشترین تغییرات کاربری اراضی در نواحی شهری به وقوع می‌پیوندد. توسعه سریع شهری در دهه‌های اخیر موجب تغییرات وسیعی در الگوی کاربری زمین پیرامون شهرها شده و تأثیرات زیست‌محیطی و اجتماعی-اقتصادی زیادی را به همراه داشته است. در این پژوهش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تغییرات کاربری اراضی و شبیه‌سازی رشد و توسعه شهر رشت به کمک مدل شبکه عصبی و سلول‌های خودکار زنجیره مارکوف انجام گرفت. برای این منظور از تصاویر سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۷ ماهواره لندست استفاده گردید. پس از پیش پردازش تصویر و انتخاب بهترین ترکیب باندی، تصاویر با روش شبکه عصبی طبقه‌بندی شد. سپس تصاویر طبقه‌بندی شده در مدل‌ساز تغییرات زمین وارد گردید و نقشه‌های خروجی مدل‌ساز با روش CA-MARCOVE برای سال ۲۰۲۷ پیش‌بینی شد. نتایج بدست آمده در فاصله زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ نشان می‌دهد که تغییرات مساحت در اراضی شهری، شالیزار و جنگل به ترتیب به میزان ۹۰۴۱/۸۷، ۷۸۴۱/۰۳ و ۵۵/۷۸ هکتار بوده که میزان آن در شهر رشت مثبت و در شالیزار و جنگل منفی می‌باشد و نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۲۷ با روش CA-MARCOVE نیز موید افزایش قابل توجه کاربری شهری به مقدار ۱۴۱۰۵/۰۴ هکتار در سال‌های آتی است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهند که ادامه روند فعلی تغییرات کاربری اراضی به نتایج مضر زیست‌محیطی و به تبع آن آسیب‌های اقتصادی-اجتماعی جبران‌ناپذیر می‌انجامد. بنابراین ضروری است دستگاه برنامه‌ریزی و مدیریت منطقه، رویکردی جامع برای جلوگیری از مشکلات زیست‌محیطی آتی و مهار توسعه افقی سکونتگاه‌ها در این منطقه در پیش گیرد.

**واژگان کلیدی:** کاربری اراضی، تصاویر ماهواره‌ای، مدل شبکه عصبی، سلول‌های خودکار زنجیره مارکوف، شهر رشت.

<sup>۱</sup> . نویسنده مسئول: [davoodakbari@ut.ac.ir](mailto:davoodakbari@ut.ac.ir) ۰۹۱۵۹۳۸۰۵۱۵

## مقدمه:

اهمیت کاربری اراضی به عنوان یک مولفه اصلی در مدیریت منابع طبیعی، تغییرات محیط زیست و عاملی پویا و مؤثر بر شرایط زیستی ایجاب می کند که همواره اطلاعات کمی و کیفی دقیقی از آن تهیه و تغییرات مربوط به آن در بازه های زمانی کوتاه مدت تعیین گردد (Triantakoustantis and Stathakis, 2015: 194; Akbari and Rezaei, 2018: 94). در این میان، داده های سنجش از دور، داده های چند زمانه گرانبهایی درباره فرایندها و الگوهای تغییر پوشش زمین و کاربری سرزمین فراهم می کنند و به ایجاد یک درک درست از تاثیر فعالیتهای بشری بر منابع طبیعی کمک می نمایند (Esfahanizadeh, 2016: 34). داده های سنجش از دور به دلیل داشتن ویژگی هایی مانند پوشش وسیع، به هنگام بودن، تکراری بودن، توان تفکیک طیفی، رادومتریک و مکانی بالا، فرمت رقومی و امکان پردازش کامپیوتری، از پتانسیل بالایی برای بررسی تغییرات زمانی و مکانی پوشش گیاهی و کاربری اراضی برخوردار هستند (Singh, 1989: 23; Ganeshkumar and Mohan, 2014: 23). رشد شهری یک پدیده جهانی و یکی از مهمترین پدیده های است که بدلیل داشتن جنبه های زیاد اکولوژیکی و همچنین اجتماعی اقتصادی، هم بر طبیعت و هم بر محیط زندگی انسان، تاثیرات زیادی داشته است. افزایش امکاناتی که در اختیار مردم قرار می گیرد، توام با به حداقل رساندن هزینه های زیست محیطی و اقتصادی، تنها در سایه یک رشد شهری برنامه ریزی شده تحقق خواهد یافت. درک فرایند رشد شهری در برنامه ریزی و مدیریت شهری به منظور رسیدن به شکل شهری پایدار بسیار مهم است (Dadashpoor and Zarei, 2013: 38). از این رو از مدل های فضایی که ابزارهایی مفید برای درک فرایند توسعه شهری و ابزاری کمکی برای سیاستگذاری، مدیریت و برنامه ریزی شهری و فراهم کننده اطلاعات برای ارزیابی تاثیرات شهری بر محیط زیست هستند، می توان برای مدل سازی فرایند توسعه شهری استفاده کرد. بنابراین رشد جوامع شهری و به طبع آن تغییرات محیطی ناشی از عوامل انسانی در شهرها و تغییر در پوشش اراضی شهری و غیر شهری این ضرورت را برای مدیران شهری بوجود می آورد تا جهت جلوگیری از رشد بی رویه و بدون برنامه شهرها و تغییر کاربری های اراضی به سمت ساختمان ها و جلوگیری از کاهش پوشش های سبز گیاهی و طبیعی تصمیمات اساسی اتخاذ نمایند (Zarabi et al, 2012: 53).

شهر رشت مانند سایر نقاط شهری طی سالیان متمادی دچار تغییرات عدیده ای در کاربری های کشاورزی و زراعی- باغی شده و بر کاربری های مسکونی افزوده شده است. تغییر پوشش زمین یکی از عوامل زوال تنوع زیستی و مشکلات زیست محیطی و آلودگی های هوا در آینده خواهد شد، به علاوه تاثیری مستقیم بر منابع آبی و کیفیت آب در این شهر خواهد نهاد، لذا اتخاذ تصمیمات سریع و با برنامه جهت جلوگیری از تبدیل کاربری های اراضی نیازمند جمع آوری اطلاعات مفید و بررسی دقیق تغییرات بوجود آمده در منطقه می باشد. از این رو در این پژوهش با استفاده از تصاویر چند زمانه ماهواره ای به ارزیابی تغییرات کاربری اراضی و شبیه سازی رشد و توسعه شهری در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ پرداخته تا بتوان با استفاده از نتایج حاصل از تحقیق کمک بسزایی در برنامه ریزی های خرد و کلان جهت جلوگیری از تخریب محیط زیست در اختیار کارشناسان قرار داد. در این تحقیق به دنبال دادن پاسخ به این سوال اساسی «تغییر کاربری اراضی در شهر رشت در دهه اخیر چگونه است؟» هستیم. از فرضیه های این تحقیق می توان به موارد زیر اشاره کرد: الف: توسعه راهها در اطراف شهر نشانه ای از توسعه شهر در آن جهت محسوب می شود. ب: با استفاده از تحلیل های مکانی و روش هوشمند می توان تغییرات گسترش شهر را آشکار کرد. ج: با استفاده از مدل ارزیابی بلند مدت اثرات پوشش گیاهی می توان به شکلی کارآمد، به بررسی تغییرات پوشش گیاهی پرداخت.

## پیشینه و مبانی نظری:

در سال ۲۰۱۱ میلادی *Ahadnezhad* و *Hosseini* با استفاده از تصاویر ماهواره ای چندزمانه لندست ۵ و با استفاده از تکنیک های پردازش تصاویر ماهواره ای تغییرات کاربری اراضی در مقطع زمانی ۱۳۶۳ تا ۱۳۸۹ با تاکید بر گسترش فضایی شهر تبریز مورد ارزیابی قرار گرفته و نیز با استفاده از فنون پیش-بینی تغییرات کاربری اراضی از جمله روش سلول های خودکار و زنجیره های مارکوف روند احتمالی گسترش شهر تبریز تا سال ۱۴۰۰ مورد پیش بینی قرار گرفته است. بر اساس نتایج این تحقیق، مشخص شد که گسترش شهر تبریز در چه ابعاد و مقیاسی به ترتیب شدت عمل، کاربری های کشاورزی، مرتعی، آبی، بایر، کوهستانی پیرامون خود را تحت گسترش فضایی-کالبدی خود قرار داده است. بر اساس نتایج حاصله مقدار مساحت شهر تبریز از ۵۷۶۸ هکتار در سال ۱۳۶۳ به ۱۱۸۵۳ هکتار در سال ۱۳۸۹ رسیده و با این روند، طبق پیش بینی های انجام شده در سال ۱۴۰۰ به بیش از ۱۴۳۱۲ هکتار خواهد رسید (Vafaie and Hossein, 2011, 5-6). در سال ۲۰۱۳ میلادی *Vafaie* و همکاران، پایش و پیش بینی روند تغییرات مکانی کاربری اراضی را با استفاده از مدل *LCM* در منطقه میروان مطالعه کردند. تصاویر مورد استفاده تصاویر سنجنده *TM* مربوط به سال های ۱۳۶۸ و ۱۳۹۰ و *ETM+* سال ۱۳۷۹ بود. تصاویر به چهار کلاس جنگل، کشاورزی، منابع آبی و مناطق انسان ساخت طبقه بندی شد. در این تحقیق پیش بینی وضعیت کاربری اراضی برای سال ۱۳۹۰، با استفاده از نقشه های کاربری سال های ۱۳۶۸ و ۱۳۷۹ و به کمک مدل *LCM* و بر پایه شبکه های عصبی مصنوعی و تحلیل زنجیره مارکوف انجام گرفت. بنابر نتایج بدست آمده، در طول دوره ۱۳۶۸-۱۳۹۰، ۱۳۳۴ هکتار جنگل با نرخ ۰/۲۱ درصد در سال، تخریب شده است. همچنین مناطق انسان ساخت، با نرخ سالانه ۷/۵ درصد به مقدار ۲/۶۴ درصد (۹۲۴ هکتار) نسبت به سطح اولیه خود توسعه داشته است (Vafaie et al, 2013: 327).

*Ma'boodi* و همکاران در سال ۲۰۱۵، تحلیلی بر تغییرات کاربری اراضی شهر خوی داشتند این پژوهش با هدف آشکارسازی تغییرات اراضی شهر خوی طی سال‌های ۱۳۶۸-۱۳۹۰ و پیش‌بینی آن تا سال ۱۴۰۰ انجام گرفت. بدین منظور، بعد از تهیه تصاویر ماهواره‌ای لندست مربوط به سال‌های ۱۳۶۸، ۱۳۷۹ و ۱۳۹۰ شهر خوی، آشکارسازی تغییرات کاربری با استفاده از نرم افزار *Arc GIS* و شبیه سازی تغییرات آن با استفاده از مدل زنجیره مارکوف و سلول های خودکار زنجیره مارکوف انجام گرفت. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که سطح اراضی ساخته شده شهری از ۹۹۵/۱۳ هکتار در سال ۱۳۶۸ به ۲۵۵۷/۶۲ هکتار در سال ۱۳۹۰ رسیده است. سطح باغ‌ها و اراضی کشاورزی نیز با روند نزولی به ترتیب از ۷۱۷/۰۳ و ۶۳۳/۲۵ هکتار در سال ۱۳۶۸ به ۱۶۵/۰۶ و ۲۸۸/۵۴ هکتار در سال ۱۳۹۰ کاهش پیدا کرده است. همچنین نتایج شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار نشان می‌دهد سطح اراضی ساخته شده شهری در سال ۱۴۰۰ به ۲۸۷۳/۶۲ هکتار، یعنی ۷۰/۴۷ درصد محدوده طرح جامع خواهد رسید و سطح باغ‌ها و اراضی کشاورزی به ترتیب به ۴۴۳/۹۱ هکتار (۱/۱۰ درصد) و ۱۴۰/۷۶ هکتار (۳/۴۵ درصد) کاهش خواهد یافت (Ma'boodi et al, ۲۰۱۵: ۲۱۸-۲۱۶).

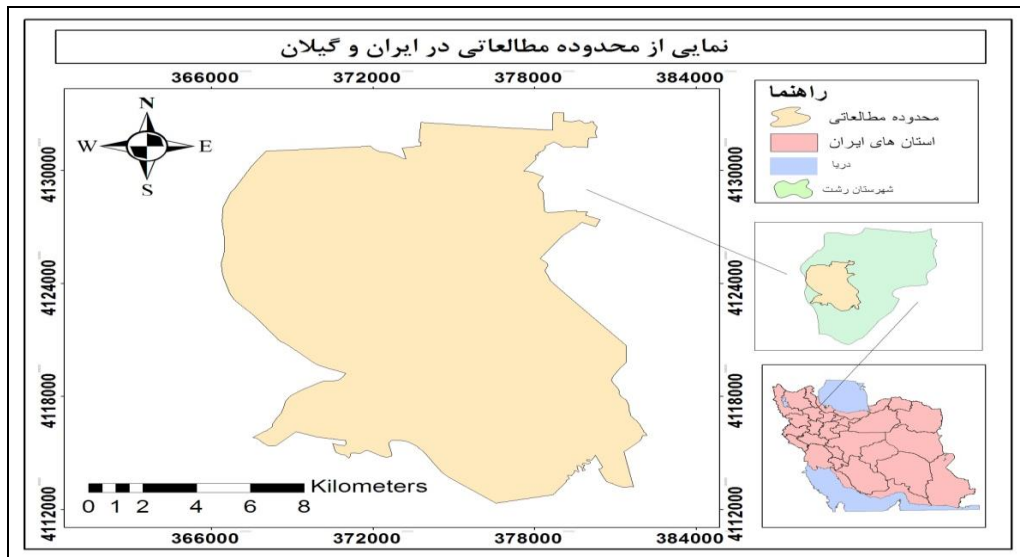
*Ashari* و همکاران در سال ۲۰۱۵، به بررسی پیامدهای تغییر کاربری اراضی پیرامون شهری بر سکونتگاه‌های روستایی در شهرستان ارومیه پرداخت. در این پژوهش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مطالعه نقشه‌های کاربری موجود در طی فاصله زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۳۰، روند توسعه شهر ارومیه و ادغام روستاهای پیرامونی آن را به دست آورده و با استفاده از مدل‌سازی سلول‌های خودکار به پیش‌بینی توسعه شهری در سال‌های آتی اقدام نمود اعتبارسنجی این مدل نشان داد که نقشه پیش‌بینی شده ۸۴ درصد با واقعیت تطابق دارد (Ashari et al, 2015: 155). در تحقیق دیگری که اخیراً توسط *Nazemfar* و *Jafarzadeh* در سال ۲۰۱۹ انجام شده است کارایی هفت روش رایج طبقه‌بندی نظارت‌شده داده‌های ماهواره‌ای در ارزیابی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر سنجنده *TM* و *OLI* ماهواره لندست، *IRS* اسپات ۵، کوئیک برد و ترکیب‌های رنگی متفاوتی از این تصاویر جهت استخراج کاربری‌های اراضی زراعی، مناطق مسکونی و مناطق آبی با استفاده از پردازش شی‌گرا پرداخته شد. نتایج به دست آمده نشان‌دهنده میزان دقت هر یک از روش‌های طبقه‌بندی بوده که شبکه عصبی با دقت کلی ۹۴/۵ و ضریب کاپای ۹۲/۱ به عنوان دقیق‌ترین روش طبقه‌بندی انتخاب شد (Nazemfar and Jafarzadeh, 2019: 119-121).

(. *Aithal* و همکاران در سال ۲۰۱۴ میلادی، در مطالعه‌ای با موضوع رشد شهری با استفاده از مدل *LCM* اقدام به بررسی رشد شهری شهر بنگال هند نمودند. در مطالعه آنان برای استخراج کاربری اراضی شهر از تصاویر لندست متعلق به سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۲ استفاده شد. نقشه کاربری اراضی شامل کلاسهای مناطق ساخته شده، آب، پوشش گیاهی و سایر بوده و با استفاده از مدل *LCM* نقشه توسعه شهری برای سال ۲۰۲۰ استخراج گردید. نتایج این مطالعه نشان داد که مساحت مناطق ساخته شده ۶۱ درصد، پوشش گیاهی ۷ درصد، آب ۵/۵ درصد و سایر کاربریها نیز حدوداً ۳۱ درصد خواهد بود (2014: 112). *Aithal et al*, 2014). *Xian* و *Crane* در سال ۲۰۱۴ میلادی، در پژوهشی با عنوان «ارزیابی رشد شهری در حوضه خلیج تمپا با استفاده از داده‌های سنجنش از دور» با اشاره به تبدیل چشم‌اندازهای طبیعی به اراضی شهری در اثر رشد جمعیت، اقدام به تهیه نقشه‌های تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره-ای لندست نموده و رشد اراضی شهری در طی دوره مورد مطالعه را سه برابر برآورد کرده و با استفاده از مدل *SLEUTH* روند توسعه شهری را تا سال ۲۰۲۵ پیش بینی نموده‌اند (Xian and Crane, 2014: 207). *Stathakis* و *Triantakonstantis* در سال ۲۰۱۵ با استفاده از شبکه عصبی برای پیش‌بینی رشد شهر آتن، به این نتیجه رسیدند که مدل های شبکه عصبی توانسته اند به خوبی پیچیدگی های رشد مناطق شهری را مدل نمایند (Triantakonstantis and Stathakis, 2015: 196).

## مواد و روش تحقیق:

### منطقه مورد مطالعه:

محدوده مطالعاتی شهرستان رشت بوده که در استان گیلان واقع است. شهر رشت در شمال ایران و در مختصات ۲۳°۳۷ شمالی و ۴۹°۶۳ شرقی و با مساحت ۱۳۶ کیلومتر مربع قرار گرفته است. مساحت اراضی شهرستان رشت عبارت‌اند از ۱۴۸۴۵ هکتار جنگل، ۴۵۰۷۸ هکتار اراضی زراعی و ۲۰۳۶ هکتار اراضی مسکونی و بدون مرتع. شکل (۱) نمایی از محدوده مطالعاتی را نشان می‌دهد. میزان جمعیت، یکی از اطلاعات بسیار مهم و پایه‌ای در فرآیند تحلیل تقاضا می‌باشد. شهرستان رشت طبق سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ دارای ۹۵۶ هزار نفر جمعیت و حدود ۳۳۱ هزار خانوار است. از کل جمعیت این شهرستان حدوداً ۲۰۸ هزار نفر در نقاط روستایی هستند و به‌این ترتیب نسبت جمعیت روستایی به کل جمعیت شهرستان ۲۲ درصد می‌باشد. به‌طور کلی محدوده اصلی شهر رشت از نظر پهنه‌بندی در یک محدوده تقریباً مسطح قرار داشته و درصد شیب عمومی شهر صفر تا ۲ درصد است که با حرکت به سمت شمال شهر، از درصد شیب کاسته می‌شود. میزان ارتفاع شهر از سطح دریا و شیب ملایم آن با توجه به شرایط آب و هوایی گیلان، تأثیرات عمده‌ای را بر شرایط زیست محیطی و کالبدی شهر بر جای گذارده که کمابیش در مناطق مختلف شهر، شرایط نسبتاً مشابهی می‌باشند. مهم‌ترین تفاوتی که در این زمینه می‌توان مشاهده نمود، گرایش توسعه کالبدی شهر به سمت جنوب و نیز شمال می‌باشد. حاشیه‌های جنوبی شهر، دارای ارتفاع بیشتری نسبت به سایر مناطق شهر است و از نظر آب و هوایی با توجه به رطوبت شدید هوای شهر، امکان آسایش بیشتری را فراهم می‌سازد و در ضمن فاقد مشکلات آب‌گرفتنی شمال شهر است.



شکل ۱- نمایی از محدوده مطالعاتی در ایران و گیلان - منبع: مطالعات نویسندهگان، ۱۳۹۷.

**داده‌های مورد استفاده:** در این تحقیق از تصاویر ماهواره لندست استفاده شده است. تصاویر سالهای ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸ توسط سنجنده *TM* ماهواره لندست ۵ و تصویر سال ۲۰۱۷ توسط سنجنده *OLI* ماهواره لندست ۸ گرفته شده است که مشخصات کامل آنها در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱- مشخصات تصاویر مورد استفاده

شماره	ماهواره	قدرت تفکیک مکانی	نوع سنجنده	تاریخ تصویر	سطح مینا	مختصات تصویر
۱	لندست ۵	۳۰	<i>TM</i>	۲۰۰۰	<i>WGS 84</i>	<i>Path : 166</i> <i>Row : 034</i>
۲	لندست ۵	۳۰	<i>TM</i>	۲۰۰۸	<i>WGS 84</i>	<i>Path : 166</i> <i>Row : 034</i>
۳	لندست ۸	۳۰	<i>OLI</i>	۲۰۱۷	<i>WGS 84</i>	<i>Path : 166</i> <i>Row : 034</i>

منبع: مطالعات نویسندهگان، ۱۳۹۷.

لایه‌های رقومی مورد استفاده جهت طبقه‌بندی و بکارگیری سلول‌های خودکار مارکوف عبارتند از: نقاط *GPS* برداشتی جهت طبقه‌بندی تصویر و ارزیابی دقت آن، نزدیکی به راه‌های اصلی، دوری از رودخانه، فاصله از روستاهای اطراف، شیب و ارتفاع.

**آماده سازی و پردازش داده‌ها:** در تصاویر مورد استفاده، جهت انجام تفسیری با دقت مناسب لازم است که تصحیحات مربوط به هندسه و روشنایی تصویر روی آن‌ها اعمال گردد، که نوع این تصحیحات بسته به هدف تغییر می‌کند (Richard and jia, 2006: 439). برای این منظور جهت تصحیح هندسی نقاط کنترل زمینی با استفاده از روش بصری در نرم افزار *Google Earth* و همچنین بازدید میدانی استخراج و میزان *RMSE* کمتر از مقدار مجاز و قابل قبول بود. سپس در مرحله بعد فرایند نمونه‌گیری مجدد انجام گرفت. برای این کار از روش نزدیک‌ترین همسایه استفاده شد. این روش اطلاعات مربوط به روشنایی پیکسل‌ها در تصاویر اصلی را نگه داشته تا اطلاعات مربوط به پیکسل‌ها دچار تغییر نگردد (Richard and jia, 2006: 439).

**شبکه عصبی مصنوعی:** شبکه عصبی مصنوعی (ANNs) مدلی است که پدیده‌های طبیعی را با تقلید از شبکه‌های عصبی بیولوژیکی (ساختار عصب انسان)، تجزیه و تحلیل و شبیه‌سازی می‌کند (Yuan et al, 2002: 26). عناصر پردازشی این شبکه‌ها نورون نام دارد. شبکه‌های عصبی در واقع یک تکنیک ناپارامتریک است که برای کمی‌سازی و مدل‌سازی رفتارها و الگوهای پیچیده مورد استفاده قرار می‌گیرند. انواعی از روش‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی برای طبقه‌بندی کاربری و پوشش اراضی وجود دارد، که از میان آن‌ها متداول‌ترین مدل مورد استفاده برای طبقه‌بندی تصویر در سنجش از دور، شبکه عصبی پرسپترون چندلایه‌ای است. شبکه‌های پرسپترون چندلایه‌ای معمولاً با روش پس انتشار آموزش داده می‌شوند. فرایند آموزش و یادگیری، نیاز به مجموعه‌ای از الگوهای آموزشی با ورودی‌ها و خروجی‌های مطلوب دارد (Yuan et al, 2002: 29).

<sup>1</sup>. Root Mean Square Error

<sup>2</sup>. Nearest Neighbour

<sup>3</sup>. Artificial neural networks

<sup>4</sup>. Neuron

**مدل سلول‌های خودکار:** مدل سلول‌های خودکار یا به اختصار CA در سال‌های اخیر کارایی زیادی برای شبیه‌سازی توسعه اراضی شهری در مناطق مختلف نشان داده است (Wang et al, 2012: 1240). ماهیت دینامیک و هم چنین خصوصیات منحصر به فرد آن در مدل‌سازی عوارض طبیعی و فیزیکی سطح زمین، کاربرد وسیعی در پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و هم چنین توسعه اراضی شهری پیدا کرده است. در مدل CA منطقه مورد مطالعه به سلول‌های عموماً مربع شکل یکسان (همانند مدل داده رستری) تقسیم‌بندی شده و مدل در بستر زمان اجرا می‌شود. تغییر وضعیت سلول  $C_{ij}$  (سلول موجود در سطر  $i$  و ستون  $j$ ) در زمان  $t+1$  به چهار عامل اساسی بستگی دارد که عبارتند از (Wang et al, 2012: 1241): وضعیت سلول در زمان  $t$ :  $t(C_{ij})$  پنجره همسایگی؛ وضعیت همسایگان سلول در زمان  $t$ :  $\Omega t(C_{ij})$  و قوانین تبدیل وضعیت هر کدام از سلول‌ها در بستر زمان که با توجه به قوانین تبدیل، به صورت خودکار به روز می‌شود. در بین مدل‌های دینامیکی، مدل سلول‌های خودکار-مارکوف با تعیین احتمال تغییرات کاربری در فرآیند زنجیره‌ی مارکوف و نیز شبیه‌سازی تغییرات مکانی آن از راه تعیین قوانین محلی با استفاده فیلتر مکانی سلول‌های خودکار و نقشه‌های شایستگی کاربری‌ها به مدل‌سازی دینامیک تغییرات زمانی و مکانی کاربری می‌پردازد. فرآیند تصادفی  $X = [X_t, t \in N]$  یک زنجیره مارکوف نامیده می‌شود، اگر برای هر  $t \in N$  و  $j \in E$ ، رابطه (۱) صادق باشد که در آن،  $E$  یک مجموعه قابل شمارش است (Ma'boodi et al, 2015: 217).

$$P[X_{t+1} = j | X_t, X_1, \dots, X_t] = P[X_{t+1} = j | X_t] \quad \text{رابطه (۱)}$$

عبارت فوق بیانگر احتمال وجود سیستم در زمان  $t+1$  در حالت  $j$  است، به شرط اینکه در زمان  $t$  حالت سیستم مشخص و حالت‌های رخ داده قبلی نیز مشخص باشند. در واقع،  $P$  احتمال شرطی است و بیان می‌کند که نتیجه هر فرآیند در زمان  $t+1$  تنها به شرایط در زمان  $t$  بستگی دارد. فرآیندهایی که چنین خاصیتی دارند یک زنجیره مارکوف مرتبه اول نامیده می‌شوند.

### بحث و یافته‌های تحقیق:

**استخراج نقشه کاربری اراضی:** با استفاده از نقاط GPS برداشتی تصاویر سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۷ با روش شبکه عصبی، طبقه‌بندی شد. کلاس‌های انتخابی شامل ۷ کلاس، جنگل، مناطق انسان ساخت، شالیزار، شنزار، دریا، آبگیرها و زمین‌های خالی است که پس از انجام طبقه‌بندی، مساحت آنها در سال‌های مورد مطالعه به صورت جدول (۲) بدست آمد.

جدول ۲- مساحت تغییرات کاربری‌ها از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷

	جنگل	شنزار	آب	شالیزار	مناطق انسان ساخت	زمین بایر	دریا
کاربری ۲۰۰۰	۱۰۳۱/۹۵	۱۵/۴۲	۲۱۶۳/۳۳	۸۸۵/۱۲	۶۷۹۳/۹۱	۳۶۳۹/۶۶	۱/۹۴
کاربری ۲۰۰۸	۸۳۵/۲۹	۱۵/۴۲	۲۱۶۳/۳۳	۷۸۶۲/۷	۸۹۴۰/۴۱	۱/۹۴	۱۶۵۷/۹۴
کاربری ۲۰۱۷	۵۵/۷۸	۱/۴۸	۱۳۰۶/۳۹	۷۸۴۱/۰۳	۹۰۴۱/۸۷	۳۳۳۹/۶۵	۴/۷۶

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۷.

همانطور که ملاحظه می‌شود با گذشت زمان بر مساحت مناطق انسان ساخت افزوده و از مساحت کاربری جنگل کاسته شده است. جهت صحت سنجی طبقه‌بندی انجام شده، نتایج حاصله باید با نقشه‌های واقعی زمینی یا نقاط GPS منطقه کنترل شود. بنابراین پیکسل-های نقشه طبقه‌بندی شده با پیکسل‌های نقاط و نقشه‌های واقعی مقایسه شد و ماتریس خطا تشکیل گردید و در نهایت ضریب کاپا و دقت کلی برای تصویر طبقه‌بندی شده به دست آمد که به صورت جدول (۳) می‌باشد.

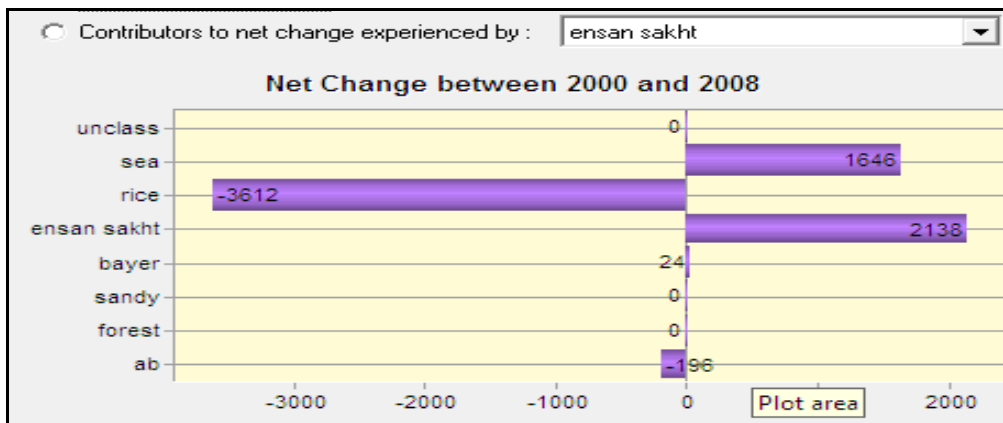
جدول ۳- ضریب کاپا و دقت کلی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷

پارامتر آماری	تصویر سال ۲۰۰۰	تصویر سال ۲۰۰۸	تصویر سال ۲۰۱۷
ضریب کاپا	۸۷٪/۰۲	۸۴٪/۹۴	۸۲٪/۱۶
دقت کلی	۸۸٪/۲۴	۸۵٪/۳۴	۸۴٪/۱۹

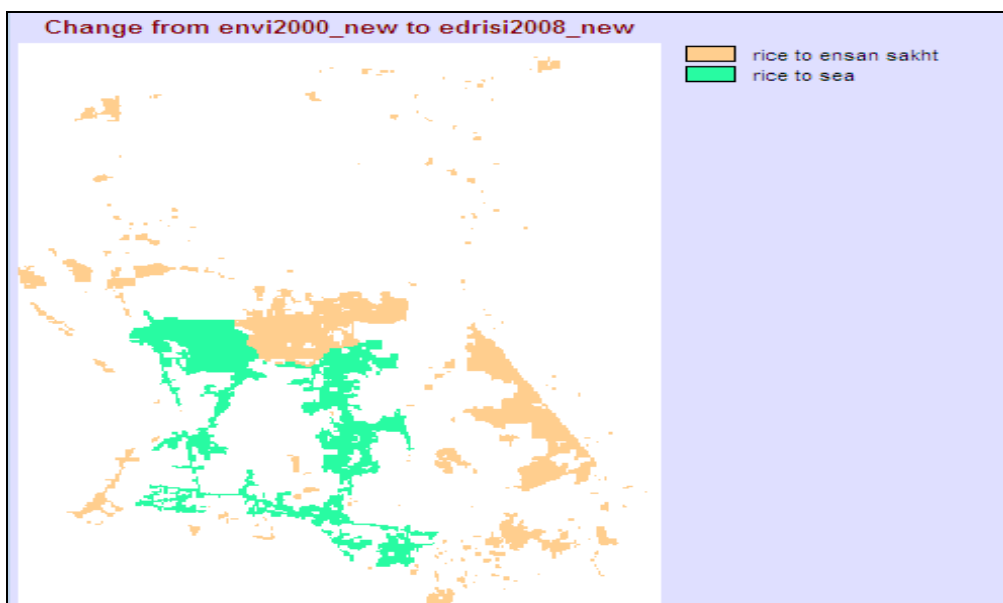
منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۷.

جدول فوق بیانگر دقت بالای نقشه‌های طبقه بندی بدست آمده به میزان بیش از ۸۰ درصد در پارامترهای دقت کلی و ضریب کاپا برای سه سال ۲۰۰۰، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۷ است.

**اجرای LCM (مدل ساز تغییر زمین):** به منظور پایش تغییرات کاربری اراضی در دوره مطالعاتی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ و پیش بینی تغییرات کاربری اراضی در سال ۲۰۲۷، از مدل ساز تغییر زمین استفاده شد. جهت بررسی تغییرات، دو دوره زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ و ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۷ مورد بررسی قرار گرفت. تغییرات کاربری اراضی در هر دوره جداگانه آشکارسازی و تغییرات رخ داده در هر دوره تشریح شد. تغییرات کاربری‌ها در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ مطابق شکل‌های (۲) و (۳) است.

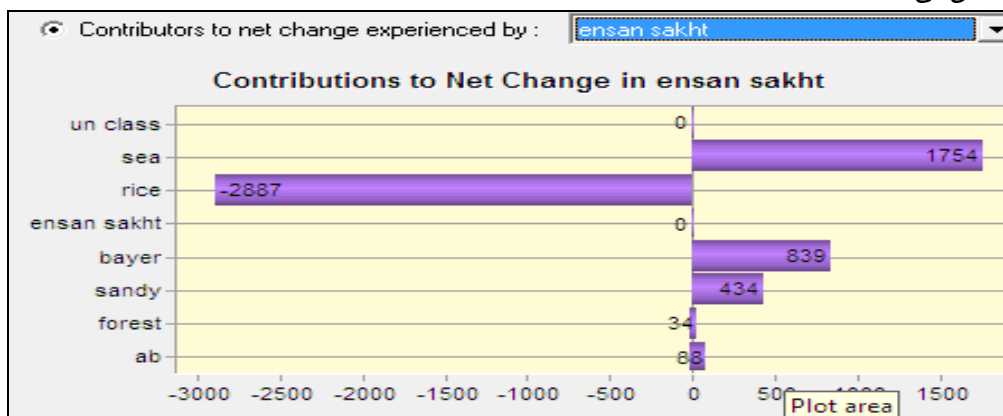


شکل ۲- نمودار تغییرات کل کاربری‌ها از سال ۲۰۰۰ به ۲۰۰۸- منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۷.

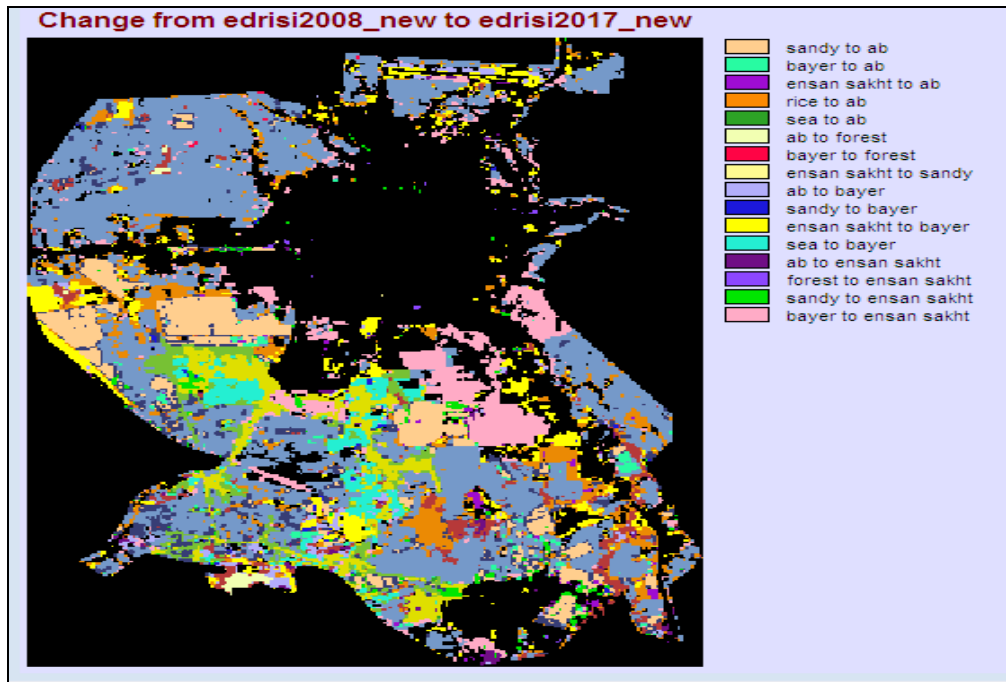


شکل ۳- نقشه تغییرات کاربری‌ها در مدل LCM از سال ۲۰۰۰ به ۲۰۰۸- منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۷.

همانطور که ملاحظه می‌شود از کل مساحت افزایش یافته مناطق انسان ساخت، ۳۶۱۲ هکتار به کاربری شالیزار و ۱ هکتار به کاربری آب تبدیل شده و ۲۱۳۸ هکتار از مناطق انسان ساخت و ۱۶۴۶ هکتار از دریا و ۲۴ هکتار از مناطق بایر به آن اضافه شده است. سپس نمودار تغییرات کل و خالص تغییرات از سال ۲۰۰۸ به ۲۰۱۷ در LCM محاسبه شد. شکل‌های (۴) و (۵) تغییرات کاربری‌ها را در این محدود زمانی نشان می‌دهند.



شکل ۴- نمودار تغییرات کل کاربری‌ها از سال ۲۰۰۸ به ۲۰۱۷- منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۷.



شکل ۵- نقشه تغییرات کاربری‌ها در مدل LCM از سال ۲۰۰۸ به ۲۰۱۷- منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۷.

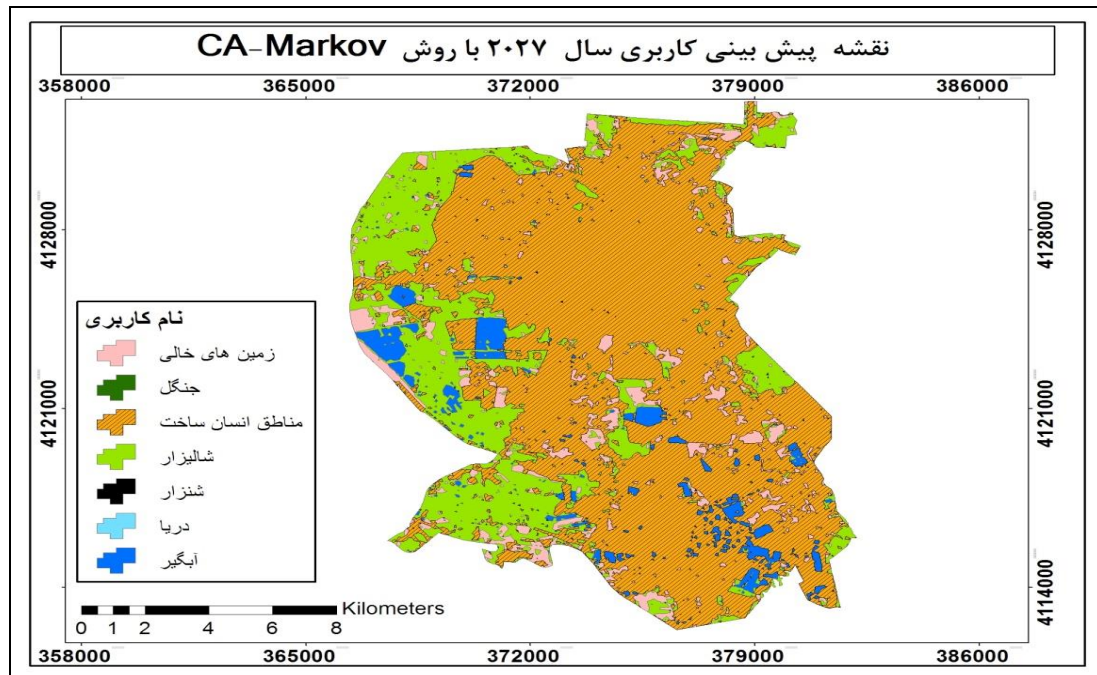
**پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی:** در پژوهش حاضر برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی شهر رشت از روش تلفیق زنجیره‌های مارکوف و سلول‌های خودکار استفاده شده است. برای انجام این روش با استفاده از نرم‌افزار IDRISI ابتدا سه سری از نقشه‌های کاربری اراضی برای سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۱۷ تهیه شد. سرانجام، بر اساس عوامل دخیل در تغییرات کاربری اراضی شهری در منطقه مورد مطالعه ورودی‌های مدل سلول‌های خودکار به صورت جدول (۴) انتخاب گردید. پیش‌بینی صورت گرفته تابعی از ورودی‌های مدل می‌باشد.

جدول ۴- متغیرهای ورودی در مدل شبیه‌سازی سلول‌های خودکار

ردیف	متغیرهای موثر در کاربری اراضی
۱	نزدیکی به راه‌های اصلی
۲	فاصله از رودخانه
۳	طبقات ارتفاعی
۴	شیب
۵	فاصله از روستاهای اطراف

منبع: مطالعات نویسنده‌گان، ۱۳۹۷.

سپس با محاسبه ضریب کرامر در مدل می‌توان، برآوردی از همبستگی هریک از متغیرها با کاربری‌های موجود و به تبع توانایی آن در پیش‌بینی تغییرات کاربری بدست آورد. با تکرار ۱۰۰۰۰ بار آزمون و خطا در شبکه عصبی چند لایه، در تصاویر سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ و ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۷، کالیبره و نقشه‌های پتانسیل تبدیل‌ها تولید شد. در ادامه با توجه به دقت قابل قبول مدل جهت پیش‌بینی، با استفاده از مدل CA-Markov نقشه پیش‌بینی کاربری سال ۲۰۲۷ محدوده مطالعاتی تهیه شد که در شکل (۶) نشان داده شده است.



شکل ۶- نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی شهر رشت با استفاده از CA-Markov برای سال ۲۰۲۷، منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۷.

جدول ۵- مساحت کاربری اراضی سال ۲۰۲۷ با استفاده از CA-Markov

کلاس کاربری	مساحت پیش بینی سال ۲۰۲۷ (هکتار)
جنگل	۰/۱۳
شنزار	۰/۹۶۳۹
آب	۹۷۴/۲۶
شالیزار	۴۹۹۷/۸۲
مناطق انسان ساخت	۱۴۱۰۵/۰۴
زمین بایر	۱۵۹۹/۰۳
دریا	۶/۳۹

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۷.

همانطور از جدول ۵ مشخص است مساحت اکثر کاربری‌ها به جزء مناطق انسان ساخت و دریا کاهش یافته به طوریکه مساحت کاربری جنگل از ۱۰۳۱/۹۵، شنزار از ۱۵/۴۲، آب از ۲۱۶۳/۳۳، شالیزار از ۸۸۸۵/۱۲ و زمین بایر از ۳۶۲۹/۶۶ هکتار در سال ۲۰۰۰ به ۰/۱۳، ۰/۹۶، ۹۷۴/۲۶، ۴۹۹۷/۸۲، ۱۵۹۹/۰۳ هکتار در سال ۲۰۲۷ به ترتیب کاهش می‌یابد. در مقابل مساحت کاربری مناطق انسان ساخت به شدت و به ۱۴۱۰۵/۰۴ هکتار افزایش می‌یابد و کاربری دریا نیز با افزایشی حدود ۶/۳۹ هکتار روبرو می‌شود.

### نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها:

استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست با توجه به در دسترس بودن، پوشش تکراری و هزینه کمتر منبع تأمین داده مفیدی به شمار می‌رود، همچنین تعیین میزان تغییرات پوشش سرزمین و پیش‌بینی کاربری اراضی با استفاده از مدل‌های استفاده شده در تحقیق، می‌تواند جایگزین مناسبی برای روش‌های پرهزینه کشف تغییرات در کوتاهترین زمان ممکن گردد. از دیگر اهداف این تحقیق استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و ابزار LCM جهت پی بردن به تغییرات رخ داده در منطقه در بازه‌های مطالعاتی ۲۰۰۰-۲۰۰۸ و ۲۰۰۸-۲۰۱۷ بود. بنابراین جهت کشف تغییرات از روش شبکه عصبی چند لایه استفاده شد. بررسی تغییرات از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ نشان دهنده افزایش مساحت کلاس شهری بوده است، به طوری که مساحت شهر از ۶۷۹۳،۹۱ هکتار در سال ۲۰۰۰ به ۸۹۴۰،۴۱ هکتار در سال ۲۰۰۸ افزایش یافته است. از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۷ پس از طبقه‌بندی تصویر نیز بالاترین افزایش مساحت مربوط به مناطق شهری مشاهده شد. در طی بازه‌های



زمانی مورد مطالعه کاربری شالیزار، جنگل و مناطق بایر همواره در حال کاهش بوده و کاربری پوشش گیاهی که نقش حفاظتی داشته نیز تبدیل به کاربری شهری شده است.

در این تحقیق پیش‌بینی رشد فیزیکی شهر رشت در سال‌های آتی یعنی سال ۲۰۲۷ مورد بررسی قرار گرفت. بدین صورت که ابتدا نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۱۷ با استفاده از مدل CA-MARKOV بدست آمد. مقایسه نتایج نقشه پیش‌بینی بدست آمده با نقشه بدست آمده از طبقه بندی تصویر، نشان دهنده دقت بالای آن بود. نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۲۷ نیز موید افزایش قابل توجه کاربری شهری به مقدار ۱۴۱۰۵،۰۴ هکتار در سال‌های آتی بوده است. با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان به بررسی تغییرات پوشش گیاهی پرداخت و از تغییر و تبدیلات بی‌رویه آن جلوگیری کرد. چرا که پوشش گیاهی نقش بسیار مهمی در کاهش مسائل محیطی در مناطق شهر دارد. در مقابل از بین رفتن پوشش گیاهی باعث ایجاد بحرانهای محیطی شدید در رابطه رشد سریع شهرنشینی و شکل‌گیری جزیره حرارتی شهر دارد. در نتیجه وجود پوشش گیاهی بعنوان یک شاخص پایداری زیست محیطی در جوامع شهری در نظر گرفته می‌شود. بنابراین مدیریت مناسب پوشش گیاهی بعنوان بخشی جدایی‌ناپذیر در هر توسعه پایدار شهری شمرده می‌شود. از آنجایی که تخریب پوشش گیاهی و افزایش دمای سطحی می‌تواند اثرات نامطلوبی بر محیط اطراف داشته باشد، شناسایی حساسیت‌های (بحران) محیطی ناشی از این عامل ضروری است چرا که می‌تواند نقش مهمی را در مدیریت‌های توسعه شهری بازی کند. به طور کلی آنچه می‌توان از این تحقیق استنباط نمود این است که فناوری سنجش‌ازدور در امر کشف تغییرات در طی دوره‌های زمانی مختلف بسیار کارآمد بوده و در صورت در دسترس بودن داده‌هایی کامل و تصاویری چند زمانه می‌توان به نتایج کارآمدی رسید که امکان ارائه راهکارهایی برای پیش‌بینی، پیشگیری از مسائل ناخوشایند و پیشرفت یک منطقه ارائه داد. استفاده از این تکنیک سبب کاهش هزینه‌ها می‌گردد تا آنجایی که از این علم به عنوان فناوری هزاره سوم یاد می‌شود، بر این اساس پیشنهادهای زیر ارائه می‌گردد.

- استفاده از مدل‌های دیگر از جمله CA-ANN، ژئومد و رگرسیون لجستیک، به منظور پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه و مقایسه آن با نتایج تحقیق حاضر.
- استفاده از تصاویری با قدرت تفکیک مکانی بالا مانند SPOT و ASTER IRS و... که دید مناسب خوبی را جهت طبقه‌بندی به محقق ارائه می‌دهد.
- آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی و روند آن در دهه‌های قبل و مقایسه آن با دو دهه اخیر در منطقه مورد مطالعه
- عوامل موثر در شکل‌گیری و تغییرات شهرها در طول زمان تغییر می‌کنند و حتی از شهری به شهر دیگر و منطقه‌ای به منطقه‌ای دیگر متفاوت هستند. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که بخش‌های مختلف شهر برای یافتن پارامترهای بهینه‌ی مدل سلول‌های خودکار در نظر گرفته شده و با هم مقایسه شوند.

## References:

1. Ahadnezhad, M. and S.A. Hosseini, (2011): *The Evaluation and Predicting of Urban Sprawl using Multi-Temporal Satellite Imagery and GIS (A Case Study Tabriz City 1984-2010)*. *Research and Urban Planning*, Vol. 2, No. 4., pp. 1-20.
2. Aithal, B.H., V. Raok, and T.V. Ramachandra, (2014): *Modeling and geo-visuisation of urban growth, Conference on conservation and sustainable management of wetland ecosystem in Western Ghats*.
3. Akbari, M. and M.R. Rezaei, (2018): *Assessment of Land Use Changes in the 3rd Zone of Isfahan Metropolis*. *Research and Urban Planning*, Vol. 9, 34, pp. 93-104.
4. Ashari, E., A. Abdollahi, S. Karimzade and R. Azizi (2015): *Study on urban land use change impacts on rural settlement strategy using automated cell model (case study city of Urmia)*. *Journal of Geographical Space Preparation, Golestan University Scientific-Research Quarterly*, pp. 161-151.
5. Dadashpoor, H. and A. Zarei, (2013): *Forecasting of Urban Development Changes in Noshahr County Using Lucia Model*. *Research and Urban Planning*, Vol. 3, No. 11, pp. 37- 58.
6. Esfahanizadeh, R. (2016): *Urban Development Analysis Using Remote Sensing and Spatial Information System, Case Study: Lahijan City, MSc Thesis, Department of Civil Engineering, Department of Civil Engineering, Assistant Professor : Dr. Rahmatullah Farhudi*.

7. Ganeshkumar B. and M. Mohan, (2014): *Urban Sprawl Spatial Modeling using SLEUTH Model. International Journal of Geospatial Engineering and Technology*, Vol. 1, No. 1, pp. 22 – 28.
8. Ma'boodi, M., T. Hakimi and H. Hakimi (2015): *Analysis of Land Use Changes and Urban Sprawl Simulation in Mid-Sized Cities (Case Study: Khoy City). Urban Planning Geography Research*, Vol. 3, No. 2, pp. 221-222.
9. Nazemfar, H. and J. Jafarzadeh (2019): *Investigation of the Effectiveness of Satellite Image Classification Methods in Evaluating Urban Land Use Changes Using Scale Optimization in Object Oriented Processing (Case Study: Ardabil City). Journal of Research and Programming Urban Planning*, Vol. 10, No. 36, pp. 117–128.
10. Richard, J.A. and X. jia, (2006): *Rmeote sensing digital image analysis: An introduction 4th, springer*, 439p.
11. Singh, A. (1989): *Digital Change Detection Techniques Using Remotely Sensed Data. International Journal of Remote Sensing*, 10(6), pp. 989-1003.
12. Triantakontantis, D. and D. Stathakis, (2015): *Urban Growth Prediction in Athens, Greece, Using Artificial Neural Networks. International Journal Civil structural Constr. Archit. Eng*, 9, 193-197.
13. Vafaie, S., A.A. Darvishat and M. Pirboghhar (2013): *Monitoring and Forecasting of Land Use Spatial Changes Using the LCM Model (Case Study: Marivan Area). Iranian Forestry Journal, Iranian Forestry Association*, Vol. 5, No. 3, pp. 323-336.
14. Wang, S., Q. Zheng, and X. Zang, (2012): *Accuracy assessments of land use change simulation based on Markov-cellular automata model. Procedia Environmental Sciences* 13:1238–1245.
15. Xian, G. and M. Crane, (2014): *Assessments of urbangrowth in the Tampa Bay watershed using remote sensing data. Journal of Remote Sensing of Environment*. No 97.pp. 203-215.
16. Yuan, D., C.D. Elvidge, and R.S. Linetta, (2002): *Survey of multi spectral methods for land cover change analysis. Remote Sensing Change Detection environmental monitoring methods and application*, 43, pp. 24-33.
17. Zarabi, A., J. Alizadeh and H. Askari, (2012): *Analysis and Evaluation of Land Use in Small Rural-Towns using GIS Case Study: Rural-Town Of Aslandvz (In Ardebil Province). Research and Urban Planning*, pp. 51-76.