پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری، دورهٔ ۸، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۹
ص ۶۶۹-۶۵۱
DOI: 10.22059/jurbangeo.2020.302154.1281

ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین شهری در شهر لاهیجان

صابر محمدپور* – استادیار گروه شهرسازی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
سامان ابی‌زاده– استادیار گروه هنر و معماری، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران
فرنگیس علیزاده– دانشجوی کارشناسی ارشد شهرسازی و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۱۵ تأیید مقاله: ۱۳۹۹/۰۶/۲۷

چکیده

در سال های اخیر، تغییرات کاربری زمین در شهرهای مختلف ایران، موجب به‌وجودآمدن مشکلاتی مانند افزایش دمای سطح زمین، آلودگی محیط‌زیست، کاهش اراضی کشاورزی و غیره شده است. افزایش روزافزون جمعیت شهرنشین در شهر لاهیجان در چند دههٔ اخیر، موجب تغییرات کاربری زمین شده است؛ از این‌رو سنجش وضعیت این تغییرات در دهه های اخیر و پیش بینی تغییرات آتی ضرورت پژوهش حاضر است. با استفاده از فناوری سنجش‌ازدور می‌توان میزان تغییرات کاربری زمین را بررسی کرد. در این پژوهش تصاویر سنجش از راه دور، در سال‌های ۱۹۹۹، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۸ تهیه شده است. به‌منظور طبقه‌بندی تصاویر سنجش از راه دور از روش خوشه‌بندی در نرم‌افزار GIS استفاده شد. سرانجام نیز پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در سال ۲۰۲۸، با استفاده از مدل زنجیرهٔ مارکوف در نرم افزار TerrSet صورت گرفت. نتایج نشان می دهد مساحت پوشش گیاهی از سال ۱۹۹۹ تا سال ۲۰۰۸ به میزان ۹/۸۸ درصد و در بازهٔ سال های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۸ به میزان ۷/۶۲ درصد کاهش یافته است. درمقابل محیط انسان ساخت در مقایسه با محیط طبیعی افزایش یافته است. نتایج مقایسهٔ مساحت کاربری پوشش گیاهی و مناطق انسان‌ساخت در پیش‌بینی مارکوف برای سال ۲۰۲۸، نشان‌دهندهٔ افزایش قابل توجه محیط انسان‌ساخت به محیط طبیعی با پوشش گیاهی است. پیش بینی صورت‌گرفته نیز نشان می‌دهد، مساحت محیط طبیعی در شهر لاهیجان در سال ۲۰۲۸، به میزان ۳۵/۳۱ درصد در مقایسه با سال ۲۰۱۸ کاهش خواهد یافت. در مقابل محیط انسان‌ساخت افزایش چشم‌گیری یافته است و ۹۳/۸۵ درصد از کل مساحت شهر لاهیجان را به خود اختصاص خواهد داد. برای کاهش این روند می‌توان سیاست های متفاوتی از قبیل نظارت بر ساخت‌وسازهای بی‌رویه و حمایت از مالکان دارای زمین‌های کشاورزی را درپیش گرفت.

واژه‌های کلیدی: تغییرات کاربری زمین، رشد شهری، شهر لاهیجان، مدل زنجیرهٔ مارکوف.

* نویسندهٔ مسئول
Email: s.mohammadpour@guilan.ac.ir

مقدمه

امروزه شهرها با رشد سریع در حال گسترش و توسعه هستند؛ به‌گونه‌ای که در حال حاضر فرایند توسعهٔ شهری یکی از مهم‌ترین موضوعاتی است که پژوهشگران در مسائل شهری با آن روبه‌رو هستند (Razavi, 2014). پیامد عمدهٔ این افزایش جمعیت در جهان، تغییرات سریع کاربری زمین است (Arsanjani et al., 2013). درواقع رشد شهری با تغییر در کاربری زمین و پوشش زمین (LULC)[1] همراه است و عواقب آن بر کل محیط‌زیست اثر می‌گذارد (Rimal et al., 2018). این تغییرات می‌تواند شامل از بین رفتن مناطق کشاورزی، آب‌های زیرزمینی، جنگل‌ها و سایر فضاهای سبز دارای پوشش گیاهی و مزارع بدون پوشش گیاهی باشد (Zali, 2016). همچنین ممکن است مسائل مختلف شهری مانند افزایش تراکم جمعیت، وضعیت مسکن، تحصیلات، اشتغال، دسترسی به امکانات عمومی، کیفیت زیرساخت‌ها و کیفیت زندگی و مواردی از این دست را که از جمله موضوعات مهم اقتصادی- اجتماعی همراه با گسترش شهری هستند، به‌دنبال داشته باشد (Khawaldah, 2016). تغییر در کاربری زمین، پوشش زمین، از بین رفتن زیستگاه و تکه‌تکه‌شدن آن‌ها از علل اصلی از بین رفتن تنوع زیستی هستند. چنین تغییراتی معمولاً ناشی از فعالیت‌های انسانی (برای مثال جنگل‌زدایی، شهرنشینی، تشدید کشاورزی، چرای بیش‌ازحد و تخریب زمین) است. با این حال عوامل طبیعی نیز می‌توانند در این تغییرات نقش داشته باشند (Halmy et al., 2015). به‌دلیل تأثیر تغییرات کاربری زمین بر زیست‌بوم، شناسایی این تغییرات برای فعالان محیط‌زیست و برنامه‌ریزان کاربری زمین، به یک نگرانی تبدیل شده است (Waseem et al., 2015). روند گسترش کاربری اراضی شهری پدیده‌ای بسیار پیچیده و پویاست (Al-sharif and Pradhan, 2014)؛ از این‌رو درک رشد شهری، پیش‌نیاز اساسی شبیه‌سازی تغییر در آینده است. طبقه‌بندی LULC که براساس تصاویر سنجش‌ازدور انجام می‌شود، یکی از مضامین اصلی پژوهش در زمینهٔ تغییرات زیست‌محیطی جهانی است (Rimal et al., 2018). با گذشت زمان، نقشه‌های تغییر کاربری زمین، اطلاعات اساسی را برای برنامه‌ریزی کاربری اراضی فراهم می‌کنند و به درک محرک‌ها و پویایی دگرگونی در پوشش زمین و پیش‌بینی تأثیرات اقتصادی و زیست‌محیطی آینده کمک می‌کنند (Rimal et al., 2018)؛ بنابراین مشاهدهٔ تغییرات کاربری زمین در گذشته به‌منظور درک روند تغییرات و برون‌یابی‌های آینده بسیار کارآمد است (Hamad et al., 2018).

سرعت توسعه در کشورهای درحال‌توسعه بیشتر از کشورهای توسعه‌یافته است (Arsanjani et al., 2013). در چنین کشورهایی الگوی تغییرات کاربری اراضی تجلی توزیع تصادفی شهرک‌های جدید است که به‌عنوان پراکنده‌روی شهری درنظر گرفته می‌شود. این پراکندگی شهری ناشی از تغییر کاربری کشاورزی و تبدیل آن‌ها به زمین‌های تجاری، مسکونی و صنعتی، یعنی مناطق انسان‌ساخت است (Al-sharif and Pradhan, 2014)؛ بنابراین این‌گونه توسعهٔ شهری فراوان، گسسته و متناقض با برنامه‌ها و سیاست‌های محلی است (Rimal et al., 2018). به همین دلیل تغییرات ساختاری پیش‌روی کشورهای درحال‌توسعه تأثیر بیشتری بر بافت شهری دارد (Arsanjani et al., 2013). مدل‌های پیش‌بینی کاربری و پوشش اراضی برای برنامه‌ریزی استفادهٔ پایدار از زمین در کشوری مانند ایران که جزء کشورهای درحال‌توسعه است و بهره‌برداری از زمین در آن با سرعت در حال تغییر است، نیازی ضروری است (رمضانی و جعفری،

1. Land use land cover

۱۳۹۳). در سال‌های اخیر تغییرات پوشش کاربری در شهرهای مختلف ایران، به‌ویژه در شمال کشور موجب بروز مشکلاتی مانند افزایش دمای سطح زمین، آلودگی محیط‌زیست و کاهش اراضی کشاورزی شده است (صادقیان و حسینی، ۱۳۹۴).

دژکام، جباریان و درویش‌صفت (۱۳۹۴) با استفاده از مدل سلول‌های خودکار و زنجیرهٔ مارکوف دریافتند مناطق انسان‌ساخت در شهرستان رشت ۵۶/۷ درصد طی ۲۴ سال گذشته افزایش یافته‌اند که این امر به نابودی منابع طبیعی منجر شده است. در صورت ادامهٔ روند کنونی تا سال ۱۴۰۲، مساحت مناطق انسان‌ساخت، ۳۸ درصد در مقایسه با وضعیت کنونی افزایش خواهد یافت. صادقیان و حسینی (۱۳۹۴) در بررسی و پیش‌بینی تغییرات پوشش و کاربری اراضی با استفاده از مدل سلول‌های خودکار مارکوف، به پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در سال ۱۴۰۷ در شهر چالوس پرداختند و نتیجه گرفتند مناطق ساخته‌شده در مقایسه با سال ۱۳۹۳ رشد ۳۹/۹ درصدی خواهد داشت. ابراهیمی، رسولی و احمدپور (۱۳۹۶) در مدل‌سازی تغییرات دینامیک کاربری اراضی با استفاده از پردازش شیءگرا، تصاویر ماهواره‌ای و مدل CA-Markov، شهر شیراز را بررسی کردند. نتایج بررسی تغییرات در بازهٔ ۲۰ سالهٔ بررسی‌شده، نشان‌دهندهٔ افزایش چشم‌گیر مساحت اراضی مسکونی در محدودهٔ زمانی مورد بررسی بوده است. هوانگ و همکاران (۲۰۱۵) با بهره‌گیری از مدل زنجیرهٔ مارکوف و خودکارهای سلولی به‌منظور شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی، نتیجه گرفتند که مدل زنجیره‌ای مارکوف از اعتبار مناسبی برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری زمین شهری برخوردار است. هالمی و همکاران (۲۰۱۵) با شناسایی و پیش‌بینی تغییرات کاربری و پوشش زمین در صحرای ساحلی شمال غربی مصر با استفاده از مدل مارکوف، به این نتیجه رسیدند که در افق پیش‌بینی‌شده، گسترش شهرنشینی در مزارع صورت می‌گیرد و نتایج می‌تواند به فعالیت‌های مدیریتی برای حفاظت از حیوانات وحش منطقه کمک کند. کاوالده (۲۰۱۶) افزایش ۱۴۷ درصدی محیط انسان‌ساخت بین سال‌های ۱۹۸۴–۲۰۱۴ و گسترش ۴۳/۹ درصدی محیط انسان‌ساخت بین سال‌های ۲۰۱۴–۲۰۳۰ را در پیش‌بینی آیندهٔ کاربری زمین/ پوشش زمین در منطقهٔ عمان با استفاده از GIS مبتنی بر مدل مارکوف و سنجش از راه دور نتیجه‌گیری کردند. ریمال و همکاران (۲۰۱۸) در استفاده از مدل دینامیک کاربری زمین و پوشش زمین با استفاده از روش تلفیقی خودکارهای سلولی و مدل زنجیرهٔ مارکوف به این نتیجه دست یافتند که در دره کاتماندو گسترش شهر به سمت غرب و جنوب، سبب از دست رفتن سطح زیر کشت محصولات زراعی می‌شود و ادامهٔ این روند در آینده به سمت شرق و جنوب، تعادل زیست‌محیطی را از بین می‌برد. حاماد و همکاران (۲۰۱۸) گرایش به مناطق پایدار و همگن در پارک ملی کردستان عراق در آینده را با توجه به روند تغییرات کاربری زمین نتیجه‌گیری کردند و اظهار داشتند این وضعیت پیامدهای مثبتی در پارک خواهد داشت.

براساس اولین سرشماری کشور در سال ۱۳۳۵، جمعیت شهر لاهیجان ۱۹٫۸۷۷ نفر بوده که طی سال‌های گذشته جمعیت این شهر همواره افزایش یافته است. در این میان، عواملی مانند بالابودن میزان باروری، بالارفتن سطح بهداشت عمومی، کاهش میزان مرگ‌ومیر و بالابودن مهاجرپذیری از مناطق روستایی شهرستان از جمله مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در این زمینه بوده‌اند. افزایش روزافزون جمعیت شهرنشین در شهر لاهیجان در چند دههٔ اخیر، موجب تغییر کاربری پوشش گیاهی به محیط انسان‌ساخت شده است. پیامدهای زیست‌محیطی ناشی از تغییرات کاربری زمین، مانند

کاهش تنوع زیستی و تخریب زیستگاه‌های طبیعی، بسیار مهم است. سنجش وضعیت این تغییرات در دهه‌های اخیر و پیش‌بینی تغییرات آتی می‌تواند در کاهش این روند کمک شایانی کند؛ از این‌رو پرسش اصلی پژوهش حاضر این است که میزان تغییرات کاربری زمین در شهر لاهیجان بین سال‌های ۱۹۹۹–۲۰۰۸ و ۲۰۰۸–۲۰۱۸ به چه صورت بوده است و پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین در شهر لاهیجان در سال ۲۰۲۸ چگونه خواهد بود؛ بنابراین هدف اصلی پژوهش نیز بررسی تغییرات کاربری و پوشش زمین و پیش‌بینی آن در شهرستان لاهیجان است.

مبانی نظری

تاکنون دیدگاه‌های متعددی دربارهٔ الگوی استفاده از زمین و تغییر پوشش آن مطرح شده است. در دیدگاه اقتصاد کلاسیک، زمین به‌عنوان کالا، ارزش بازاری بالقوه‌ای دارد و می‌تواند وسیله‌ای برای کسب سود باشد. در تئوری‌های اکولوژیک انسانی، رقابت اقتصادی بازار مدار برای فضا، شکل استفاده از زمین را مشخص می‌کند و در تئوری‌های مارکسی، توسعهٔ زمین برحسب استثمار کارگران از سوی سرمایه‌داران تبیین می‌شود. براساس رویکرد رفتاری در مطالعات جامعه‌شناسی‌گرا، الگوی کاربری زمین به‌تنهایی صورت نمی‌گیرد، بلکه نشئت‌گرفته از تصمیم‌گیری‌های افراد و سازمان‌های عمومی و خصوصی است (عزیزی، افراخته و عزیزپور، ۱۳۹۷). کاربری اراضی نشان‌دهندهٔ انواع بهره‌برداری از زمین برای رفع نیازهای بشری است؛ از این‌رو انسان و فعالیت‌های او، عامل تشکیل‌دهندهٔ کاربری اراضی هستند. درنتیجه تغییرات کاربری زمین از جمله فرایندهای اجتناب‌ناپذیر و محصول واکنش میان عوامل انسانی و طبیعی است (ابراهیمی، رسولی و احمدپور، ۱۳۹۷). یکی از این عوامل انسانی مهم، رشد شهری است که درنتیجهٔ رشد جمعیت و فعالیت‌های مکرر انسانی مانند صنعتی‌شدن، مهاجرت از مناطق روستایی به مناطق شهری و اسکان مجدد صورت می‌گیرد که به تغییرات LULC و تغییر الگوی منظر در مقیاس محلی و منطقه‌ای منجر می‌شود (Khawaldah, 2016). گسترش شتابان شهرنشینی نه‌تنها موجب تغییرات اجتماعی–اقتصادی می‌شود، بلکه بر محیط‌زیست نیز تأثیرگذار است و موجب از دست دادن زمین‌های زراعی می‌شود و توسعهٔ پایدار شهری را تهدید می‌کند (Rimal et al., 2018). بیش از ۵۰ درصد جمعیت جهان در سال ۲۰۰۷ در مناطق شهری زندگی می‌کردند، که احتمالاً این رقم تا سال ۲۰۵۰ به حدود ۷۰ درصد می‌رسد (Liu et al., 2015). شهرنشینی بی‌رویه، به تشدید رشد درون‌شهری و رشد بیرونی شهری (پراکنده‌رویی) منجر خواهد شد. این فرایندها به‌ناچار سبب تغییر کاربری و پوشش زمین می‌شود (Khawaldah, 2016)؛ بنابراین نظارت و تشخیص رشد شهری و نتیجهٔ آن تغییر LULC برای برنامه‌ریزان، ارگان‌های دولتی، متخصصان آب و بوم‌شناسان بسیار مهم است (همان).

افزایش روزافزون جمعیت جهانی، نیاز به غذا، سوخت و سرپناه را افزایش می‌دهد؛ درحالی‌که افزایش ثروت به تغییر الگوی مصرف مواد غذایی به سمت کالاهایی منجر می‌شود که به زمین بیشتری نیاز دارند (Zali, 2013). به‌دلیل جهانی‌شدن عرضهٔ مواد غذایی و افزایش تجارت بین‌المللی کالاهای کشاورزی، مکان تولید مواد غذایی در حال تغییر است. تقاضا برای زمین‌های غیرمرتبط با تولید مواد غذایی نیز در حال افزایش است. تقاضاهای بیشتر برای کالاهای کشاورزی را می‌توان با استفاده از مصرف بیشتر کود، سموم دفع آفات یا تغییر در شیوه‌های مدیریتی و گسترش کشاورزی

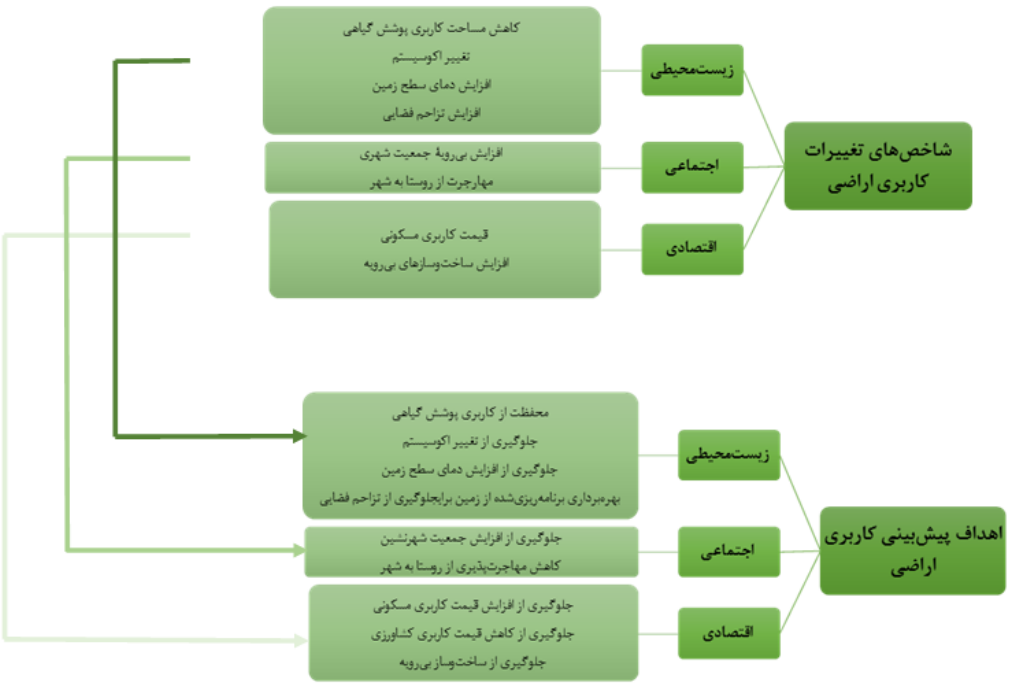
برآورده کرد، اما پیشرفت در عملکرد کشاورزی نیز به کاهش تغییر کاربری اراضی منجر نشده است. تقاضا برای زمین‌های غیرمرتبط با تولید مواد غذایی موجب تزاحم فضایی می‌شود. تزاحم فضایی به ناهماهنگی‌ها و گسترش کاربری‌ها و فعالیت‌های ناسازگار اشاره دارد که سبب پیامدهای زیستی بسیاری می‌شود. تزاحم فضایی نه‌تنها یکی از مفاهیم اساسی جغرافیای مدرن به‌شمار می‌رود، بلکه در علوم اجتماعی نیز از اهمیت فراوانی برخوردار است. درواقع این مقوله حاصل بی‌برنامگی در بهره‌برداری از زمین و کنترل‌نکردن تعارض میان انسان و طبیعت است (عزیزی، افراخته و عزیزپور، ۱۳۹۷).

گسترش شهری با تغییر الگوی کاربری و پوشش زمین موجب تکه‌تکه‌شدن، جداافتادگی و تخریب اکوسیستم‌ها می‌شود و ترکیب گونه‌ها را ساده و یکنواخت می‌کند (Zali, 2015). همچنین موجب از بین رفتن تنوع زیستی می‌شود، سامانه‌های هیدرولوژیک را آشفته می‌کند و جریان انرژی و چرخه مواد غذایی را تغییر می‌دهد (دژکام، جباریان امیری و درویش‌صفت، ۱۳۹۴). تغییرات پوشش گیاهی و منظر به‌عنوان اصلی‌ترین عامل کاهش و تلفات گونه‌های گیاهی و حیوانی در سراسر جهان شناخته می‌شود (Selwood et al., 2015). از دیگر پیامدهای این‌گونه تغییرات، افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای است. از سال ۱۹۹۰، ۱۰–۲۰ درصد از انتشار دی‌اکسیدکربن مربوط به تغییرات کاربری زمین گزارش شده است (Alexander et al., 2015). جایگزینی پوشش‌های طبیعی زمین با مصالح ساختمانی موجب تغییر فرایندهای انرژی سطح زمین و درنتیجه افزایش حرارت شهری می‌شود. دمای سطح زمین متغیری کلیدی برای درک تأثیرات استفاده از زمین و پوشش سطح زمین ناشی از شهرنشینی است. تغییرات LULC به روش‌های مختلف با الگوهای حرارتی شهری مرتبط شده‌اند (Fu and Weng, 2016). تغییرات آب‌وهوا (گرم‌شدن کره زمین، وقایع شدید هوا و غیره) و تخریب اکولوژیکی (تغییرات هیدرولوژیکی، فرسایش خاک و غیره) تأثیرات عمیقی بر رفاه انسان و پایداری اجتماعی بلندمدت دارند که موجب تغییر منظر طبیعی نیز می‌َشوند؛ بنابراین این تغییرات از هر دو بعد فضایی و زمانی تأثیرگذار هستند (Liu et al., 2015). چنین تغییراتی، هم ساختار افقی و هم عمودی منظر را دگرگون می‌کنند (Sedlák et al., 2019).

برای مقابله با این مسائل و حفظ توسعهٔ پایدار، تصمیم‌گیرندگان و برنامه‌ریزان شهری به اطلاعات دقیق دربارهٔ مرزهای رشد شهری نیاز دارند (Arsanjani et al., 2013). با پیش‌بینی تغییرات LULC در موارد مختلفی مانند برنامه‌ریزی شهری به‌کمک الگوسازی از رشد شهری استفاده شده است (Halmy et al., 2015)؛ بنابراین همیشه بر برنامه‌ریزی دقیق شهری تأکید شده است (Rimal et al., 2018)؛ از این‌رو یکی از پیش‌شرط‌های اصلی برای استفادهٔ بهینه از زمین، اطلاع از الگوهای کاربری و آگاهی از تغییرات هرکدام از کاربری‌ها در طول زمان است، بدین‌منظور از آشکارسازی تغییرات گذشته و پیش‌بینی تغییرات کاربری و پوشش زمین در آینده، استفادهٔ فراوانی شده است. از آنجا که عوامل محرک تغییرات کاربری زمین پیچیده هستند و این فرایند ممکن است در شدت‌ها و مقیاس‌های متفاوتی تأثیرگذار باشند، تغییرات کاربری سیستمی پویا، غیرخطی و بسیار پیچیده است. شبیه‌سازی تغییرات کاربری زمین نیز فرایندی دشوار است (دژکام، جباریان امیری و درویش‌صفت، ۱۳۹۴). مطالعهٔ میزان تغییرات و تخریب منابع در سال‌های گذشته و امکان‌سنجی و پیش‌بینی این تغییرات در سال‌های آینده می‌تواند گام مهمی در برنامه‌ریزی و استفادهٔ بهینه از منابع و کنترل و مهار تغییرات غیراصولی در آینده باشد (صادقیان و حسینی، ۱۳۹۴). تاریخچهٔ مدل‌سازی شهری کاملاً با میزان درک از سیستم‌های شهری مرتبط است. در ابتدا

مدل‌های شهری به‌صورت توصیفی و ایستا بودند و درنتیجه توانایی لازم برای پیش‌بینی علمی را نداشتند. مدل‌سازی شهری در اواخر دههٔ ۱۹۵۰ و ابتدای دههٔ ۱۹۶۰ در کشورهای آمریکایی و اروپای غربی به شکوفایی رسید. مدل لاری که در سال ۱۹۶۴ طراحی شد، برای نخستین بار در فرایند برنامه‌ریزی شهری کاربرد داشت. در دههٔ ۱۹۷۰، انتقادات گسترده‌ای به این‌گونه مدل‌ها صورت گرفت. درواقع این مدل‌ها، توانایی انعکاس پیچیدگی، پویایی و عوامل غیرخطی سیستم‌ها و زیرسیستم‌های شهری را نداشتند و توانایی آن‌ها در پیش‌بینی و شبیه‌سازی تحولات شهری محدود بود. از دههٔ ۱۹۹۰، نسل جدیدی از مدل‌های شهری متولد شدند که رویکرد آن‌ها انتقال از حالت ماکرو به میکرو، کل‌نگر به جزءنگر، ایستا به پویا، خطی به غیرخطی، بالا–پایین به پایین–بالا، ساختاری به فرایندی و فضا به فضا–زمان بوده است. در این‌گونه روش‌های مبتنی بر پیچیدگی، سطح بالاتری از الگوهای فضایی–زمانی تغییرات کاربری اراضی در مقایسه با دیگر روش‌ها عرضه می‌شود (خواجه برج سفیدی و سلطانی، ۱۳۹۲).

فناوری سنجش‌ازدور با داشتن قابلیت‌هایی مانند ارائهٔ اطلاعات به‌روز و دقیق از کمیت و کیفیت مناطق طبیعی و شهری، پردازش رقومی تصاویر، فراهم‌کردن امکان مقایسهٔ زمانی و مکانی پدیده‌ها، عوارض و تنوع محصولات، ابزاری قدرتمند در راستای افزایش کارایی مدیریت شهری محسوب می‌شود؛ به‌طوری‌که از داده‌های سنجش‌ازدور برای تعیین نوع، مقدار و محل تغییر کاربری زمین استفاده می‌شود. فناوری سنجش‌ازدور در سراسر جهان به شکل گسترده‌ای در تهیهٔ نقشه‌های کاربری اراضی کاربرد دارد (ابراهیمی، رسولی و احمدپور ۱۳۹۶). با توجه به مطالب ذکرشده، به‌طورکلی شاخص‌ها و اهداف مؤثر در تغییرات کاربری زمین و پیش‌بینی آن، شامل سه دستهٔ زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی می‌شوند. شکل ۱ ارتباط شاخص‌های مذکور و اهداف پیش‌بینی کاربری اراضی را نشان می‌دهد.



شکل ۱. مدل مفهومی پژوهش

روش پژوهش

پژوهش حاضر توصیفی- تحلیلی است. روش گردآوری اطلاعات نیز از نوع اسنادی و با استفاده از تصاویر سنجش از راه دور بوده است. تصاویر سنجش از راه دور شهر لاهیجان از سایت USGS[1] با استفاده از ماهوارهٔ Landsat 5-TM در ماه می ۱۹۹۹، ۲۰۰۸ و ماهوارهٔ Landsat 8-OLI در ماه می سال ۲۰۱۸ یعنی با فواصل زمانی حدود ۱۰ سال تهیه شده است. انتخاب ماه می به این دلیل بوده است که وضعیت پوشش گیاهی در ماه می (اردیبهشت و خرداد) در ایران وضعیت مطلوبی دارد.

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها ابتدا تمام باندهای تصاویر سنجش از راه دور در نرم‌افزار GIS با هم ادغام شدند. پس از انتخاب باندهای مناسب برای لایهٔ ادغام‌شده، محدودهٔ مورد نظر به دو خوشهٔ محیط طبیعی و محیط انسان‌ساخت براساس پیکسل‌ها تقسیم‌بندی شده‌اند. به‌دلیل تشابه بازتاب طیفی بعضی از طبقات کاربری‌ها و پوشش‌ها در تصاویر سنجش از راه دور، روش‌های خودکار تجزیه و تحلیل تصاویر نمی‌تواند نتایج دقیق و قابل‌قبولی ارائه کند (دژکام، جباریان امیری و درویش‌صفت، ۱۳۹۰). با توجه به مسئلهٔ تشابه بازتاب طیفی تصاویر، روش نمونه‌گیری از طریق طیف رنگی کاربری‌های موجود نیز به نتایج قابل‌قبولی منجر نشد و طبقه‌بندی کاربری‌ها با اطلاعات وضع موجود هماهنگ نبود؛ بنابراین تصاویر با استفاده از طیف رنگی براساس پیکسل‌های موجود و همچنین شناخت مفسر از شهر مورد نظر با توجه به عوارض طبیعی و انسانی شاخص، خوشه‌بندی شدند. به‌منظور کنترل اشتباهات احتمالی تفسیر چشمی، طبقه‌بندی‌های ایجادشده به‌کمک نقشهٔ کاربری اراضی شهر لاهیجان و همچنین با بهره‌گیری از گوگل‌ارث با هم مقایسه و اعتبارسنجی شدند و تا حد قابل‌قبولی با واقعیت مطابقت داشتند. به این ترتیب صحت نقشه‌های رستری خوشه‌بندی‌شدهٔ سال‌های گذشته تأیید شدند. از مزیت‌های روش نظارت‌نشده این است که با سرعت بالاتر و بدون نیاز به دانش قبلی دربارهٔ زمین انجام می‌گیرد. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی برای طبقه‌بندی اراضی از روش نوین خودکار (ALCC[2]) استفاده شود. این روش نظارت‌نشده، با استفاده از شاخص‌های طیفی و میانگین k[3] به طبقه‌بندی کاربری زمین تصاویر سنجش از راه دور می‌پردازد. روش نوین خودکار (ALCC)، مقرون‌به‌صرفه، عملی و با کاربرد آسان در مناطق مورد مطالعه است و به عملیات رایانه‌ای زیادی نیاز ندارد و از همه مهم‌تر اینکه از دقت بالایی برخوردار است (Gašparović et al., 2019).

در مرحلهٔ بعد، برای محاسبهٔ مساحت خوشه‌های مورد نظر، تصاویر رستری به تصاویر برداری تبدیل شدند. درنهایت شبیه‌سازی نقشهٔ کاربری اراضی با استفاده از مدل زنجیرهٔ مارکوف در نرم‌افزار TerrSet برای سال ۲۰۲۸ انجام گرفت. نرم‌افزار TerrSet نسخهٔ جدیدی از نرم‌افزار IDRISI با قابلیت‌های متعدد برای شناسایی تغییرات کاربری زمین و همچنین پیش‌بینی تغییرات است. TerrSet سیستمی مبتنی بر شبکهٔ PC است که پژوهشگران در تجزیه و تحلیل دینامیک سیستم زمین به‌منظور تصمیم‌گیری مؤثر و مسئولانه برای مدیریت محیط‌زیست، توسعهٔ منابع پایدار و تخصیص منابع عادلانه به‌کار می‌گیرند. هدف از به‌کارگیری مدل تغییر زمین (LCM[4]) در نرم‌افزار TerrSet، ارزیابی تغییرات و

1. United states geological survey
2. Automatic land cover classification
3. K-means
4. Land change modeller

تولید مدل‌ها، به‌ویژه دربارهٔ پوشش پایدار زمین در وضعیت تغییرات تدریجی است. سه بخش از نتایج را می‌توان در LCM شناسایی کرد: الف) ارزیابی کمی از دسته‌های مختلف LULC، ب) تغییر خالص هر کلاس LULC و ج) مشارکت‌کنندگان در تغییر خالص تجربه‌شده از سوی هر دستهٔ LCM (Hamad et al., 2018).

مدل زنجیره‌ای مارکوف

مدل زنجیره‌ای مارکوف برای پیش‌بینی تغییرات آینده، تغییرات LULC را از یک زمان به زمان دیگر توصیف می‌کند. بورنهام برای اولین بار از این مدل برای مدل‌سازی کاربری اراضی استفاده کرد (Hamad et al., 2018). فرایند کلی استفاده از تکنیک‌های تشخیص تغییرات مارکوف (MCDT[1]) به‌صورت زیر هستند: ابتدا یک ماتریس انتقال پیکسل در هر کلاس ایجاد می‌کند. این همان ماتریس جدول‌بندی متقابل است که می‌تواند برای ارزیابی دقیق استفاده شود. قطر اصلی ماتریس شامل پیکسل‌هایی است که تغییر نکرده‌اند؛ درحالی‌که سلول‌های دیگر حاوی پیکسل‌هایی هستند که تغییر کرده‌اند. مرحلهٔ بعدی تولید احتمالات تغییر میان طبقات است. این کار با تقسیم هر مقدار سلول به‌کمک کل ردیف آن انجام می‌شود. نتیجهٔ این احتمال است که یک کلاس معین در تاریخ ۱ از همهٔ تغییرات ممکن در تاریخ ۲ به کلاس دیگری تبدیل شود (Khawaldah, 2016).

S (t, t+1) * pij*S(t): معادلهٔ محاسبهٔ پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی

S(t): t: وضعیت سیستم در زمان

S(t+1): t+1: وضعیت سیستم در زمان

pij: ماتریس احتمال گذار

$$Pij:\begin{Vmatrix} P_{1.1} & P_{1.2} & \dots & P_{1.N} \\ P_{2.1} & P_{2.2} & \dots & P_{2.N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{N.1} & P_{N.2} & \dots & P_{N.N} \end{Vmatrix}$$

P: احتمال گذار

Pij: وضعیت احتمال تغییر از حالت i به حالت j در زمان بعدی

PN: وضعیت احتمال در هر زمان

حالت گذار پایین احتمال نزدیک به صفر و حالت گذار بالا، احتمال نزدیک به ۱ را خواهند داشت.

در زنجیرهٔ مارکوف، احتمال گذار و خروجی فرایند به‌صورت ماتریسی است که احتمالات تغییرات هر طبقهٔ پوشش زمین به طبقات دیگر را ثبت می‌کند. به‌کمک مدل زنجیرهٔ مارکوف، تجزیه و تحلیل داده‌های مختلف تصاویر LULC، شامل ماتریس گذار، ماتریس ناحیهٔ گذار و مجموعه‌ای از تصاویر موقعیت‌های احتمال صورت می‌گیرد. زنجیرهٔ مارکوف شامل دو احتمال قابل‌توجه است: زنجیرهٔ مارکوف و ماتریس احتمال گذار. مدل‌های انتقال زمانی مفید هستند که سبب تغییر منظر شوند و نمایش مکانیکی آن‌ها دشوار باشد؛ مانند عوامل اقتصادی–اجتماعی. ماتریس‌های احتمال انتقال از

1. Markov change detection techniques

تجزیه و تحلیل زنجیرهٔ مارکوف به‌دست می‌آیند و به‌عنوان یابندهٔ اصلی در این زنجیره درنظر گرفته می‌شوند. احتمال تغییر یک پیکسل به LULC دیگر یا باقی‌ماندن در LULC اصلی را می‌توان با تولید یک ماتریس انتقال احتمال تخمین زد. به‌طورکلی، ماتریس انتقال برای پیش‌بینی نقشهٔ طبقه‌بندی آینده مهم است (Hamad et al., 2018). تجزیه و تحلیل زنجیرهٔ مارکوف الگوی استفادهٔ آیندهٔ زمین را تنها براساس الگوهای شناخته‌شدهٔ استفاده از اراضی گذشته پیش‌بینی می‌کند. این ضعف روش از نظر شبیه‌سازی رشد شهری است؛ زیرا تأثیرات جدید بر ساختار شهری قابل‌ارزیابی نیست (Forsythe et al., 2007).

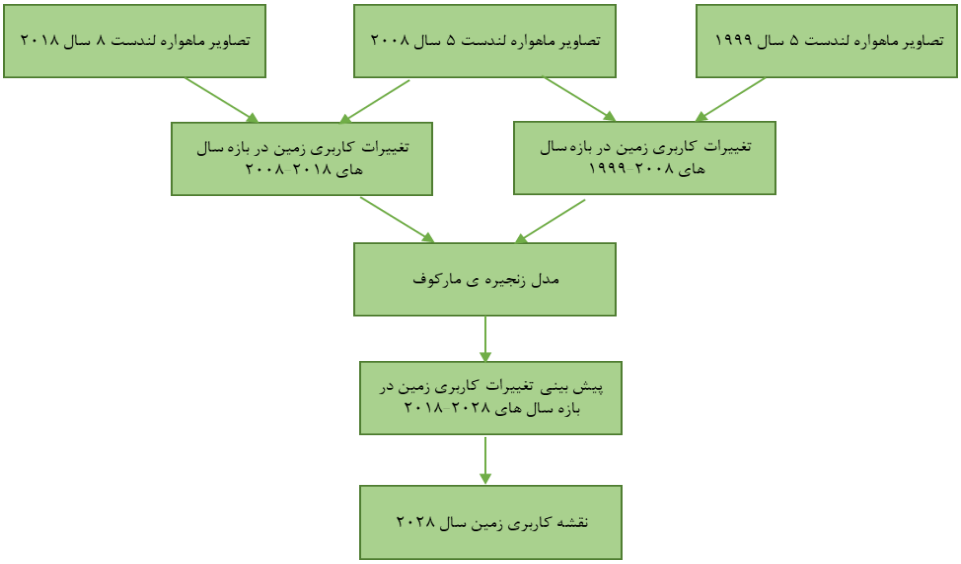
مدل سلول‌های خودکار[1]

مدل سیستم‌های خودکار مکان فضایی تغییر را تشخیص می‌دهد (Rimal et al., 2018). طراحی و کاربرد سلول‌های خودکار، به تاریخ شکل‌گیری محاسبات دیجیتالی برمی‌گردد. در سال ۱۹۴۰ میلادی، استانیسلاو یولام رشد بلورها را در فضای مشبک منظم و ساده‌ای مطالعه کرد. در همان زمان، جاون نیومن، همکار یولام، روی سیستم‌های همتاساز فعالیت می‌کرد. وی به این نتیجه رسید سلول‌های خودکار ساده می‌توانند به‌صورت مجموعه‌هایی از توابع محلی استفاده شوند که این توابع نیز می‌توانند فرمول‌های ریاضی را در فضاهای دوبعدی و سه‌بعدی به وجود آورند که می‌توانند برای دستیابی به اهدافی فرامحلی و جهانی به‌کمک این کنش‌های محلی کاربرد داشته باشند. درواقع این دو دانشمند مبتکران سلول‌های خودکار بودند و این قواعد را به‌منظور پژوهش دربارهٔ رفتار سیستم‌های پیچیده و پویا بسط دادند. سلول‌های خودکار تا سال ۱۹۹۰ کمتر کاربرد داشتند تا اینکه از این دهه، استفاده از این سلول‌ها در زمینه‌های مختلف، رشد جهشی پیدا کرد؛ یعنی زمانی که کامپیوترهایی با قدرت گرافیک بالا به بازار آمدند و مطالعات دربارهٔ تئوری پیچیده، سازمان و تئوری هرج‌ومرج به اوج رسید (آذری، ۱۳۹۰).

مدل سلول‌های خودکار مارکوف (CA-Markov)

مدل CA-Markov ترکیبی از Cellular Automata و ماتریس احتمال انتقال است که به‌کمک جدول‌بندی متقاطع دو تصویر متفاوت ایجاد می‌شود (Hamad et al., 2018). مدل یکپارچهٔ سیستم‌های خودکار مارکوف به‌عنوان یک روش مدل‌سازی قوی‌تر و مؤثر برای شبیه‌سازی تغییر شناخته شده است (Rimal et al., 2018). درواقع این مدل، ترکیبی از خودکارهای سلولی و زنجیرهٔ مارکوف برای پیش‌بینی روند و ویژگی‌های LULC در طول زمان است. همچنین یکی از ابزارهای پشتیبانی برنامه‌ریزی برای تجزیه و تحلیل تغییرات زمانی و توزیع مکانی LULC است. افزون‌براین مدل مذکور به‌طور گسترده‌ای برای توصیف پویایی LULC، پوشش جنگلی، پراکندگی شهری، رشد گیاهان و مدل‌سازی مدیریت حوضه‌های آبی استفاده می‌شود و در سیاست طراحی و برنامه‌ریزی استفاده از کاربری اراضی و اهداف توسعه بسیار مهم است؛ بنابراین ضروری است مطالعهٔ LULC به‌منظور درک روابط متقابل میان انسان و محیط‌زیست از دید بلندمدت انجام شود. این مدل اغلب در نظارت، مدل‌سازی اکولوژیکی، تغییرات شبیه‌سازی، روند LULC و پیش‌بینی میزان تغییرات کاربری اراضی و ثبات توسعهٔ آینده زمین در منطقه استفاده شود (Hamad et al., 2018).

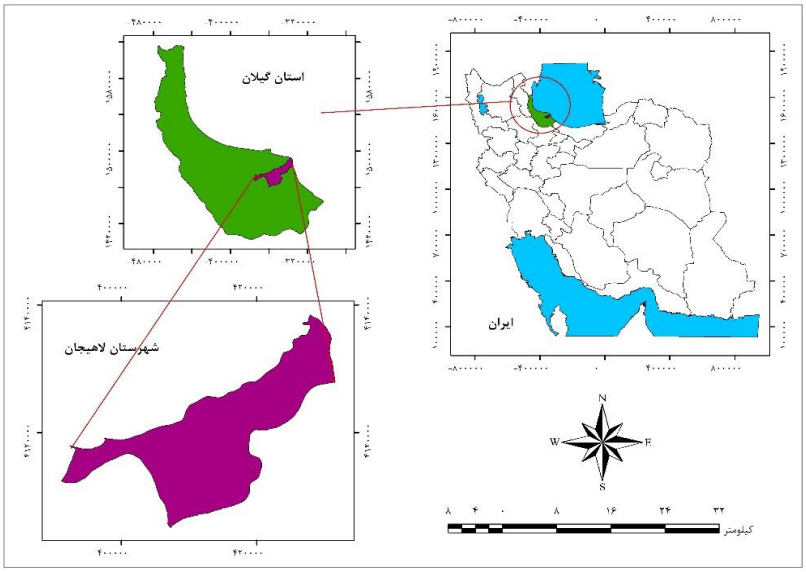
1. Cellular automata



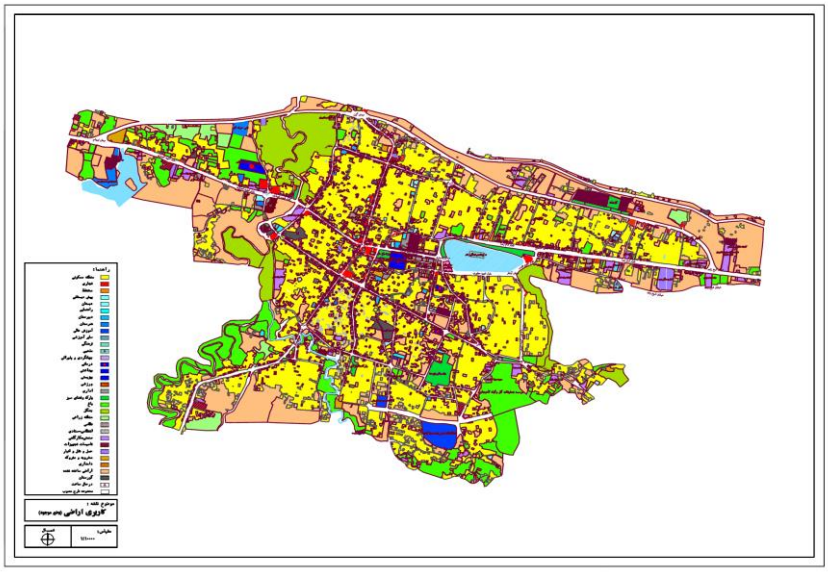
شکل ۲. فرایند روش پژوهش

مطالعهٔ موردی لاهیجان

شهر لاهیجان در شرق استان گیلان، در بخش مرکزی شهرستان لاهیجان واقع شده است. مساحت این شهر حدود ۱۴۳۳ هکتار است که ۳/۲ درصد از مساحت شهرستان لاهیجان را به خود اختصاص داده است. جمعیت ساکن در این شهر براساس سرشماری سال ۱۳۹۰، ۹۴۰۵۱ نفر و در سال ۱۳۹۵، ۱۰۱,۰۷۳ نفر گزارش شده است. بررسی روند تغییرات جمعیت نشان می‌دهد، جمعیت این شهر همواره رو به افزایش بوده که این امر ناشی از رشد طبیعی جمعیت و رشد ناشی از مهاجرت بوده است. همچنین جمعیت شهر طی دورهٔ شصت ساله (۱۳۳۵–۱۳۹۵) به حدود پنج برابر رسیده است. شهر لاهیجان با قرارگرفتن در مسیر ارتباطی اصلی منطقه که بزرگراه شرقی– غربی اصلی شهرستان نیز محسوب می‌شود، از نظر ارتباطات منطقه‌ای موقعیت مناسبی دارد.



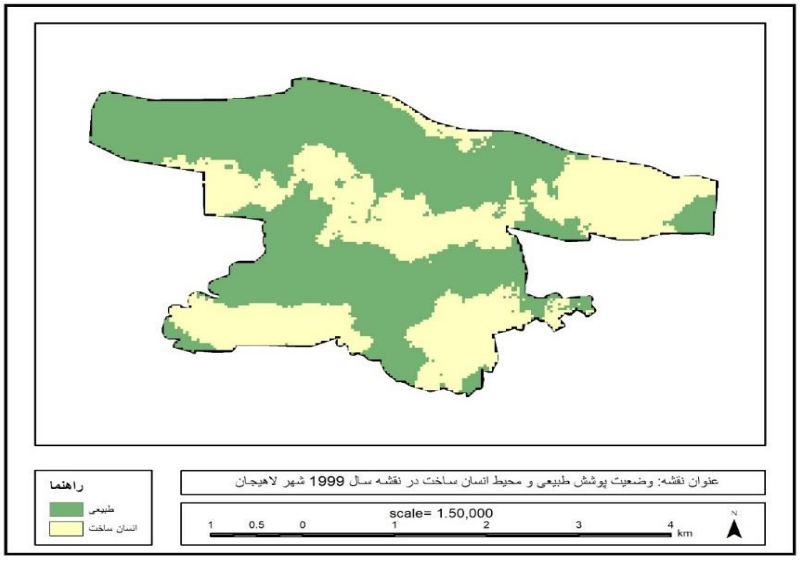
شکل ۳. موقعیت شهرستان لاهیجان



شکل ۴. کاربری اراضی وضع موجود شهر لاهیجان

یافته‌های پژوهش

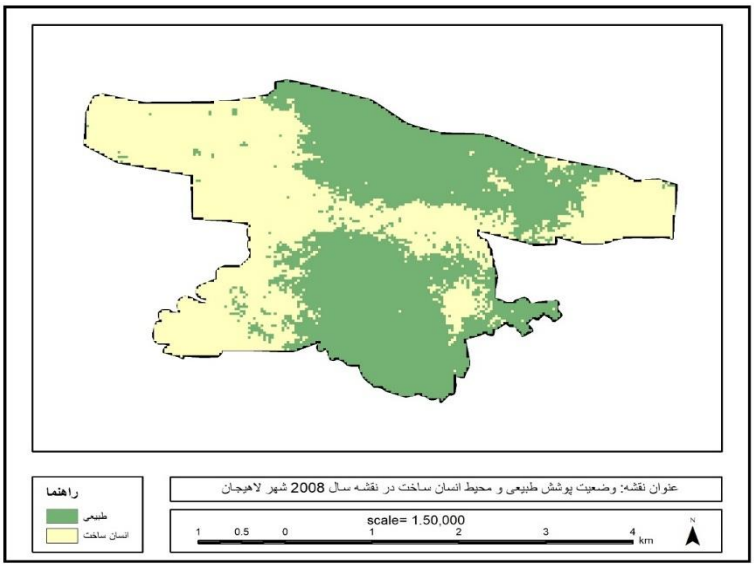
با توجه به شکل ۵، میزان پوشش گیاهی در سال ۱۹۹۹ در شهر لاهیجان برابر با ۸۳۵ هکتار و محیط انسان‌ساخت برابر با ۵۸۱ هکتار بوده است. به عبارت دیگر، میزان مساحت محیط طبیعی در سال مذکور ۵۸/۹۶ درصد و محیط انسان‌ساخت، ۴۱/۰۴ درصد از کل اراضی شهری را تشکیل داده‌اند. در بخش مرکزی شهر، به‌صورت نواری شکل تجمع پیکسل‌های مربوط به محیط انسان‌ساخت قابل‌مشاهده است. همچنین در بخش شمال شرقی و بخش‌های از جنوب شهر نیز شکل‌گیری محیط انسان‌ساخت قابل‌شناسایی است. از سوی دیگر، محیط طبیعی در سال ۱۹۹۹ در شهر لاهیجان مساحت قابل‌توجهی را به خود اختصاص داده است؛ یعنی تا سال مذکور ساخت‌وسازهای زیادی در سطح شهر صورت نگرفته است.



شکل ۵. وضعیت پوشش طبیعی و محیط انسان‌ساخت در نقشهٔ سال ۱۹۹۹ شهر لاهیجان

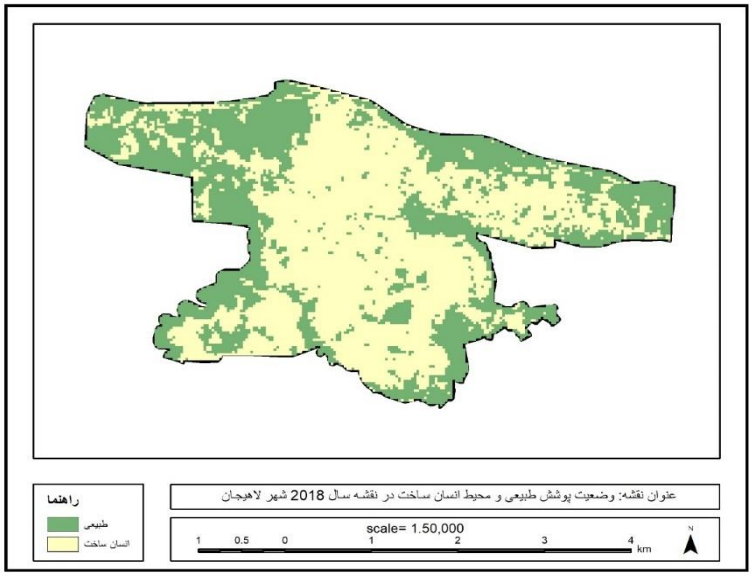
با گذشت ۹ سال، یعنی در سال ۲۰۰۸، میزان مساحت محیط طبیعی در شهر لاهیجان برابر با ۷۲۱ هکتار و محیط انسان‌ساخت برابر با ۶۹۵ هکتار شده است. به عبارت دیگر میزان مساحت محیط طبیعی در سال مذکور ۴۹/۰۸ درصد و محیط انسان‌ساخت، ۵۰/۹۲ درصد از کل اراضی شهری را تشکیل داده‌اند. بررسی‌ها حاکی از آن است که مساحت پوشش گیاهی از سال ۱۹۹۹ تا سال ۲۰۰۸، به میزان ۱۱۳ هکتار و از طرفی مساحت محیط انسان‌ساخت در فاصلهٔ زمانی سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۸ به میزان ۱۱۴ هکتار است. تفاوت میزان پوشش گیاهی و محیط انسان‌ساخت در سال ۱۹۹۹ نیز ۲۵۴ هکتار بوده است؛ یعنی مساحت محیط طبیعی به میزان ۲۵۴ هکتار بیشتر از محیط انسان‌ساخت بوده است. از سوی دیگر مساحت محیط انسان‌ساخت در سال ۲۰۰۸ به میزان ۲۷ هکتار بیشتر از محیط طبیعی و نشان‌دهندهٔ کاهش شدید مساحت محیط طبیعی در بازهٔ زمانی سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۸ است.

با توجه به شکل ۶، علاوه‌بر بخش مرکزی، شمال شرقی و بخش‌هایی از جنوب شهر که در سال ۱۹۹۹ محیط‌های انسان‌ساخت در آن‌ها شکل گرفته بود، در قسمت غربی و شمال غربی نیز شاهد شکل‌گیری محیط‌های انسان‌ساخت هستیم. این امر نشان‌دهندهٔ افزایش مهاجرت به شهر لاهیجان و رشد طبیعی جمعیت در بازهٔ بین سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۸ است.



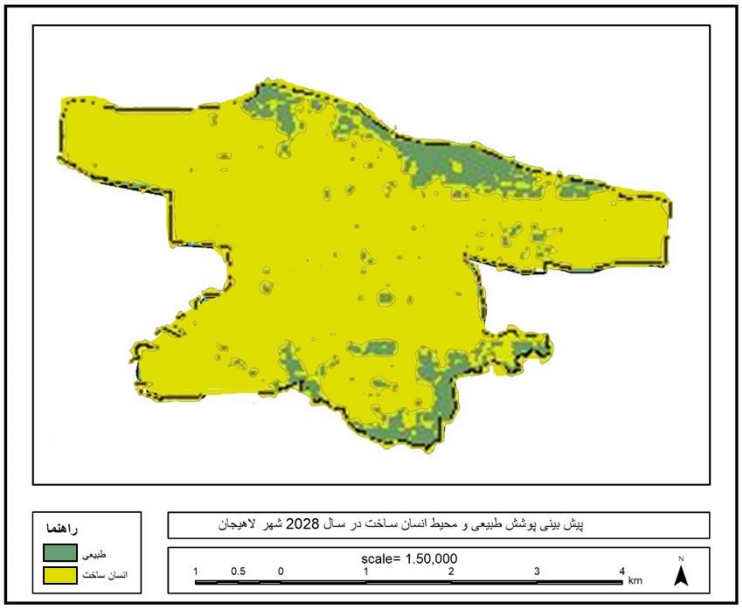
شکل ۶. وضعیت پوشش طبیعی و محیط انسان‌ساخت در نقشهٔ سال ۲۰۰۸ شهر لاهیجان

با توجه به شکل ۷، مساحت پوشش گیاهی از سال ۲۰۰۸ تا سال ۲۰۱۸ به میزان ۱۳۵ هکتار کاهش‌یافته و مساحت محیط انسان‌ساخت در فاصلهٔ زمانی ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۸، به میزان ۱۳۴ هکتار بیشتر شده است. مساحت محیط انسان‌ساخت در سال ۲۰۱۸ به میزان ۲۴۲ هکتار بیشتر از مساحت محیط طبیعی و نشان‌دهندهٔ افزایش شدید محیط انسان‌ساخت در مقایسه با محیط طبیعی است. با توجه به سرشماری مرکز آمار ایران، جمعیت شهر لاهیجان از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ حدود ۲۸,۰۰۰ نفر افزایش یافته است. بازهٔ ۱۰ ساله مرکز آمار با اختلاف ۲ سال در مقایسه با سال‌های مورد بررسی تصاویر پژوهش حاضر بررسی شدند. باید توجه داشت که افزایش جمعیت نیاز به ساخت‌وساز را افزایش می‌دهد و به همین دلیل محیط‌های طبیعی تخریب‌شده و ساختمان‌های مسکونی جای آن‌ها را می‌گیرند.



شکل ۷. وضعیت پوشش طبیعی و محیط انسان‌ساخت در نقشهٔ سال ۲۰۱۸ شهر لاهیجان

در این پژوهش، پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین برای سال ۲۰۲۸ در شهر لاهیجان با استفاده از نرم‌افزار TerrSet صورت گرفته است. به‌دلیل مقیاس کار در نرم‌افزار TerrSet، مساحت کل محدوده حدود ۲/۵ برابر از مساحت اصلی کمتر است؛ از این‌رو مساحت هرکدام از دسته‌بندی‌های محیط طبیعی و محیط انسان‌ساخت نیز به همین میزان کمتر در نرم‌افزار نشان داده شده است. با استفاده از تناسب و با توجه به مساحت واقعی کل محدوده، مساحت واقعی کاربری با پوشش گیاهی و کاربری‌های انسان‌ساخت محاسبه شده است.



شکل ۸. پیش‌بینی پوشش طبیعی و محیط انسان‌ساخت در سال ۲۰۲۸ شهر لاهیجان

نتایج مقایسهٔ مساحت کاربری پوشش گیاهی و مناطق انسان‌ساخت در پیش‌بینی مارکوف برای سال ۲۰۲۸، نشان‌دهندهٔ افزایش قابل‌توجه محیط انسان‌ساخت از محیط طبیعی با پوشش گیاهی است. پیش‌بینی انجام‌شده نشان می‌دهد، مساحت محیط انسان‌ساخت در سال ۲۰۲۸، برابر با ۱۳۲۹ هکتار و مساحت کاربری پوشش گیاهی، ۸۷ هکتار است. نتایج نشان‌دهندهٔ افزایش چشم‌گیر محیط انسان‌ساخت در مقابل پوشش طبیعی است. با توجهٔ به نقشهٔ پیش‌بینی‌شده، تنها قسمت اندکی از اراضی شهر لاهیجان با پوشش طبیعی در سال ۲۰۲۸ میلادی که معادل با سال ۱۴۰۷ شمسی است، باقی خواهد ماند.

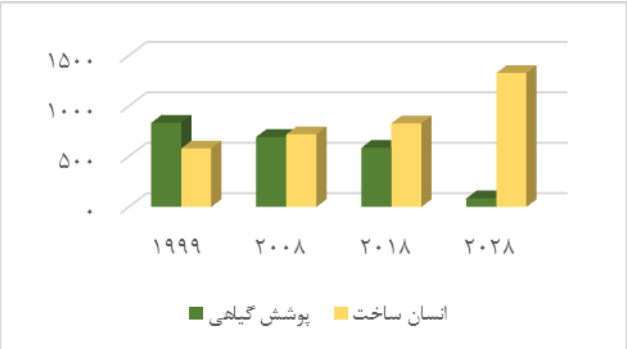
با توجه به جدول‌های ۱ و ۲، مساحت پوشش گیاهی طی سال‌های مذکور، روندی کاهشی و مساحت محیط انسان‌ساخت روندی افزایشی داشته‌اند. مقایسهٔ بازه‌های زمانی بررسی‌شده نشان می‌دهد، با گذشت زمان این روندها با کاهش و افزایش شدیدتری مواجه هستند؛ به‌طوری‌که در سال ۱۹۹۹، تفاوت مساحت محیط طبیعی در مقایسه با محیط انسان‌ساخت ۲۵۴ هکتار بوده است؛ یعنی مساحت پوشش گیاهی ۲۵۴ هکتار بیشتر از محیط انسان‌ساخت است؛ درحالی‌که در سال ۲۰۰۸، این رقم به ۲۷- هکتار می‌رسد؛ یعنی مساحت محیط انسان‌ساخت در سال ۲۰۰۸، به میزان ۲۷ هکتار بیشتر از مساحت محیط طبیعی است.

جدول ۱. مساحت و درصد پوشش گیاهی و محیط انسان‌ساخت در سال‌های ۱۹۹۹، ۲۰۰۸، ۲۰۱۸ و ۲۰۲۸

نوع کاربری	سال ۱۹۹۹		سال ۲۰۰۸		سال ۲۰۱۸		سال ۲۰۲۸	
	هکتار	درصد	هکتار	درصد	هکتار	درصد	هکتار	درصد
پوشش گیاهی	۸۳۵	۵۸/۹۶	۶۹۵	۴۹/۰۸	۵۸۷	۴۱/۴۶	۸۷	۶/۱۴
انسان‌ساخت	۵۸۱	۴۱/۰۴	۷۲۱	۵۰/۹۲	۸۲۹	۵۸/۵۴	۱۳۲۹	۹۳/۸۵

جدول ۲. تفاوت مساحت پوشش گیاهی و محیط انسان‌ساخت در سال‌های ۱۹۹۹، ۲۰۱۸، ۲۰۰۸ و ۲۰۲۸

سال	مساحت پوشش گیاهی (هکتار)	مساحت انسان‌ساخت (هکتار)	تفاوت مساحت پوشش گیاهی و محیط انسان‌ساخت (هکتار)
۱۹۹۹	۸۳۵	۵۸۱	۲۵۴
۲۰۰۸	۶۹۵	۷۲۱	-۲۷
۲۰۱۸	۵۸۷	۸۲۹	-۲۴۲
۲۰۲۸	۸۷	۱۳۲۹	-۱۲۴۲



شکل ۹. مساحت (هکتار) پوشش گیاهی و محیط انسان‌ساخت در سال‌های ۱۹۹۹، ۲۰۱۸، ۲۰۰۸ و ۲۰۲۸

روند تبدیل پوشش گیاهی به محیط انسان‌ساخت در سال ۲۰۱۸ شدت بیشتری یافته است و به میزان ۲۴۲ هکتار مساحت محیط انسان‌ساخت از محیط طبیعی بیشتر می‌شود. با توجه به تغییرات کاربری پوشش گیاهی و محیط انسان‌ساخت در بازه‌های زمانی ۱۹۹۹–۲۰۰۸ و ۲۰۰۸–۲۰۱۸، پیش‌بینی مارکوف برای سال ۲۰۲۸ نیز حاکی از روند بسیار شدیدتر تبدیل مساحت محیط طبیعی به محیط انسان‌ساخت در مقایسه با بازه‌های زمانی گذشته است. این افزایش در سال ۲۰۲۸، به میزان ۱۲۴۲ هکتار برآورد شده است؛ یعنی کاربری محیط انسان‌ساخت ۱۲۴۲ هکتار بیشتر از محیط دارای پوشش گیاهی است؛ به‌طوری‌که کاربری دارای پوشش گیاهی تنها ۸۷ هکتار از کل شهر لاهیجان را به خود اختصاص می‌دهد. با توجه به شکل ۹، روند افزایش محیط انسان‌ساخت و کاهش محیط طبیعی بین سال‌های مورد بررسی، به‌خوبی قابل‌شناسایی است.

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه شهرهای شمال ایران در معرض تخریب شدید اراضی کشاورزی هستند و تغییر کاربری اراضی به‌صورت افزایشی در بسیاری از این شهرها، از جمله لاهیجان در حال انجام است، بررسی روند تغییرات کاربری اراضی و پیش‌بینی تغییرات در آینده، کمک شایانی به برنامه‌ریزان خواهد کرد. به‌دلیل اهمیت این موضوع، شهر لاهیجان به‌عنوان مورد مطالعاتی انتخاب شد. تاکنون پژوهشی دربارهٔ تغییرات پوشش کاربری زمین با استفاده از روش مدل سلول‌های خودکار مارکوف در این شهر انجام نشده است. وجه تمایز دیگر این پژوهش با سایر پژوهش‌های مشابه، استفاده از نرم‌افزار TerrSet است؛ یعنی نسخهٔ جدیدی از نرم‌افزار IDRISI با قابلیت‌های متعدد برای شناسایی تغییرات کاربری زمین و همچنین پیش‌بینی تغییرات. بیشتر پژوهش‌های مشابه برای پیش‌بینی مارکوف از نرم‌افزار IDRISI استفاده کرده‌اند. همچنین نمونهٔ پژوهش داخلی در این زمینه تاکنون با استفاده از TerrSet انجام نشده است. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی از قابلیت‌های این نرم‌افزار برای شناسایی دقیق تغییرات و همچنین پیش‌بینی آیندهٔ تغییرات استفاده شود تا نتایج به‌روز و قابل‌انطباق بیشتری با واقعیت باشند.

مدل سلول‌های خودکار مارکوف، به‌صورت خطی به پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین می‌پردازد؛ درحالی‌که شهر، سیستم پیچیده‌ای متشکل از متغیرهای خطی و غیرخطی است. همچنین به‌دلیل استفاده از سلول‌ها برای شناسایی کاربری‌های مختلف، امکان خطا در نقشه‌های تولیدشده براساس تصاویر سنجش از راه دور وجود دارد؛ بنابراین برای پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین تنها نباید به این روش اکتفا کرد؛ زیرا محرک‌های مختلفی اعم از اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و غیره می‌توانند بر تغییرات کاربری زمین تأثیر بگذارند. برای کاهش سیر صعودی تخریب محیط طبیعی در شهر لاهیجان، باید نظارت دقیقی بر ساخت‌وسازها صورت بگیرد تا ساخت‌وسازهای بی‌رویه و غیرقانونی متوقف شود. معافیت‌های مالیاتی برای دارندگان زمین‌های کشاورزی یا ارائهٔ تسهیلات برای بهره‌برداری این افراد راهکار مناسبی به‌منظور جلوگیری از تغییرات کاربری است؛ زیرا یکی از دلایل عمدهٔ تغییرات کاربری پوشش گیاهی به کاربری انسان‌ساخت، بعد اقتصادی و بهره‌مندی مالی است. با توجه به ارزش بالای کاربری‌های مسکونی و تجاری در مقابل زمین‌هایی با پوشش گیاهی، افراد به‌دنبال گرفتن مجوز برای تغییر کاربری به مسکونی یا تجاری هستند. اگرچه سود

مالی حاصل از این تغییرات به نفع افراد خواهد بود، در درازمدت خسارت‌های جبران‌ناپذیری به جامعه و کشور تحمیل خواهد شد. ضروری است با وضع قوانین جامع و کاربردی، مجوز تغییرات این‌گونه کاربری‌ها و تخریب پوشش‌های گیاهی به حداقل برسد. پیشنهاد می‌شود کاربری‌های شهر براساس طرح‌های فرادست برنامه‌ریزی شوند تا به‌کمک مکان‌یابی اصولی آن‌ها رقابت ناسالم و تضاد میان کاربری‌های انسان‌ساخت با کاربری همراه با پوشش گیاهی کاهش یابد. از سوی دیگر، در کنار حفاظت از عرصه‌های طبیعی و حفظ زمین‌های کشاورزی، باید مناطق انسان‌ساخت مورد نیاز جمعیت نیز توسعه یابند. به‌منظور ترویج کاربری منطقی زمین و دستیابی به محیط شهری پایدار، باید افزایش رشد شهری نیز در کنار وضع قوانین مناسب تغییرات کاربری زمین کنترل شود. با وجود اینکه تغییرات کاربری زمین در بسیاری از موارد کنترل‌شدنی نیست، با آینده‌نگری و برنامه‌ریزی مناسب می‌توان روند این تغییرات را در سال‌های آتی کنترل کرد و به حداقل رساند.

منابع

ابراهیمی، حمید، رسولی، علی‌اکبر و احمد احمدپور (۱۳۹۶). «مدل‌سازی تغییرات دینامیک کاربری اراضی با استفاده از پردازش شیءگرای تصاویر ماهواره‌ای و مدل CA-Markov (مطالعهٔ موردی: شهر شیراز)»، *فصلنامهٔ علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی*، شمارهٔ ۱۰۸، صص ۱۳۷-۱۴۹.

آذری، مهدی (۱۳۹۰). *مدل‌سازی گسترش فیزیکی شهرها جهت نیل به توسعهٔ پایدار شهری با استفاده از سلول‌های خودکار (مطالعهٔ موردی شهر مراغه)* پایان‌نامهٔ کارشناسی‌ارشد رشتهٔ جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، استاد راهنما: محسن احدنژاد، زنجان: دانشگاه زنجان.

خواجه برج‌سفیدی، آرمان و علی سلطانی (۱۳۹۲). «شبیه‌سازی و تحلیل الگوی رشد شهری کلان‌شهر اهواز با استفاده از مدل ترکیبی مارکوف-سلول‌های خودکار (Marcov-CA)»، *صفه*، شمارهٔ ۶۲، صص ۶۳-۷۶.

دژکام، صادق، جباریان امیری، بهمن و علی‌اصغر درویش‌صفت (۱۳۹۴). «پیش‌بینی تغییرات کاربری و پوشش زمین در شهرستان رشت با استفاده از مدل سلول‌های خودکار و زنجیرهٔ مارکوف»، *پژوهش‌های محیط‌زیست*، شمارهٔ ۱۱، صص ۱۹۳-۲۰۴.

رمضانی نفیسه و جعفری رضا (۱۳۹۳). «آشکارسازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی در افق ۱۴۰۴ با استفاده از مدل زنجیره ای CA مارکوف (مطالعه موردی: اسفراین)»، *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، دوره ۲۹، شماره ۴، صص ۸۳-۹۶.

صادقیان، عماد و سید زین‌العابدین حسینی (۱۳۹۴). بررسی و پیش‌بینی تغییرات پوشش و کاربری اراضی با استفاده از مدل سلول‌های خودکار مارکوف، *اولین همایش علمی-پژوهشی افق‌های نوین در علوم جغرافیا و برنامه‌ریزی، معماری و شهرسازی ایران*، انجمن علمی توسعه و ترویج علوم و فنون بنیادین، تهران.

عزیزی، اصغر، افراخته، حسن و فرهاد عزیزپور (۱۳۹۷). «تحلیلی بر تزاحم فضایی در ناحیهٔ گردشگری روستایی برغان»، *نشریهٔ تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، شمارهٔ ۴، صص ۱-۲۰.

Alexander, P., Rounsevell, M. D., Dislich, C., Dodson, J. R., Engström, K., & Moran, D. (2015). Drivers for Global Agricultural Land Use Change: The Nexus of Diet, Population, Yield and Bioenergy. *Global Environmental Change*, *35*, 138-147.

Al-Sharif, A. A., & Pradhan, B. (2014). Monitoring and Predicting Land Use Change in Tripoli Metropolitan City Using an Integrated Markov Chain and Cellular Automata Models in GIS. *Arabian Journal of Geosciences*, *7*(10), 4291-4301.

Arsanjani, J. J., Helbich, M., Kainz, W., & Boloorani, A. D. (2013). Integration of Logistic Regression, Markov Chain and Cellular Automata Models to Simulate Urban Expansion. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *21*, 265-275.

Azari, M. (2012). *Modeling the Physical Expansion of Cities to Achieve Sustainable Urban Development Using Cellular Automata (Case Study of Maragheh City)* (Master's Thesis in Geography and Urban Planning). Supervisor: Ahadnejad, M., Zanjan: Zanjan University. *(In Persian)*

Azizi, A., Afrakhteh, H., & Azizpour, F. (2018). An Analysis of Spatial Conflict in Borgan Rural Tourism Area. *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*, *5*(4), 1-20. https://doi.org/10.29252/jsaeh.5.4.1. *(In Persian)*

Das, M., & Ghosh, S. K. (2017). Measuring Moran's I in a Cost-Efficient Manner to Describe a Land-Cover Change Pattern in Large-Scale Remote Sensing Imagery. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, *10*(6), 2631-2639.

Dejkam, S., Jabarian, A. B., & Darvish Sefat, A. A. (2015). Predicting Land Use Change and Land Cover in Rasht City Using Automatic Cell Model and Markov Chain. *Environmental Researches*, *6*(11), 193-204. *(In Persian)*

Ebrahimy, H., Rasuly, A., & Ahmadpour, A. (2019). Modeling Dynamic Changes of Land Use with Object Based Image Analysis and CA-Markov Approach (Case Study: Shiraz City). Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR), *27*(108), 137-149. https://doi.org/10.22131/sepehr.2019.34625. *(In Persian)*

Fu, P., & Weng, Q. (2016). A Time Series Analysis af Urbanization Induced Land Use and Land Cover Change and Its Impact on Land Surface Temperature with Landsat Imagery. *Remote Sensing of Environment*, *175*, 205-214.

Gašparović, M., Zrinjski, M., & Gudelj, M. (2019). Automatic Cost-Effective Method for Land Cover Classification (ALCC). *Computers, Environment and Urban Systems*, *76*, 1-10.

Halmy, M. W. A., Gessler, P. E., Hicke, J. A., & Salem, B. B. (2015). Land Use/Land Cover Change Detection and Prediction in the North-Western Coastal Desert of Egypt Using Markov-CA. *Applied Geography*, *63*, 101-112.

Hamad, R., Balzter, H., & Kolo, K. (2018). Predicting Land Use/Land Cover Changes Using a CA-Markov Model Under Two Different Scenarios. *Sustainability*, *10*(10), 3421.

Huang, J., Wu, Y., Gao, T., Zhan, Y., & Cui, W. (2015). An Integrated Approach Based on Markov Chain and Cellular Automata to Simulation of Urban Land Use Changes. *Applied Mathematics & Information Sciences*, *9*(2), 1-7.

Keesstra, S., Nunes, J., Novara, A., Finger, D., Avelar, D., Kalantari, Z., & Cerdà, A. (2018). The Superior Effect of Nature Based Solutions in Land Management for Enhancing Ecosystem Services. *Science of the Total Environment*, *610*, 997-1009.

Khajeh Borj Sefidi, A., & Soltani, A. (2013), Simulation and Analysis of Ahvaz Metropolitan's Urban Growth Pattern Using Combined Model of Markov Chain and Cellular Automata (Marcov-CA). *Sofeh*, *62*, 63-76. *(In Persian)*

Khawaldah, H. A. (2016). A Prediction of Future Land Use/Land Cover in Amman Area Using GIS-Based Markov Model and Remote Sensing. *Journal of Geographic Information System*, *8*(3), 412-427.

Liu, X., Liang, X., Li, X., Xu, X., Ou, J., Chen, Y., ... & Pei, F. (2017). A Future Land Use Simulation Model (FLUS) for Simulating Multiple Land Use Scenarios by Coupling Human and Natural Effects. *Landscape and Urban Planning*, *168*, 94-116.

Mantyka-Pringle, C. S., Visconti, P., Di Marco, M., Martin, T. G., Rondinini, C., & Rhodes, J. R. (2015). Climate Change Modifies Risk of Global Biodiversity Loss Due to Land-Cover Change. *Biological Conservation*, *187*, 103-111.

Mas, J. F., Kolb, M., Paegelow, M., Olmedo, M. C., & Houet, T. (2014). Modelling Land Use/Cover Changes: A Comparison of Conceptual Approaches and Softwares. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.09.010.

Myint, S. W., & Wang, L. (2006). Multicriteria Decision Approach for Land Use Land Cover Change Using Markov Chain Analysis and a Cellular Automata Approach. *Canadian Journal of Remote Sensing*, *32*(6), 390-404.

Newbold, T., Hudson, L. N., Hill, S. L., Contu, S., Lysenko, I., Senior, R. A., ..., & Day, J. (2015). Global Effects of Land Use on Local Terrestrial Biodiversity. *Nature*, *520*(7545), 45-50.

Ramezani, N. & Jafari, R. (2014). Land use/cover change detection in 2025 with CA-Markov chain model (case study: Esfarayen). *Geographical Research*, *29*(4), 83-96.

Razavi, B. S. (2014). Predicting the Trend of Land Use Changes Using Artificial Neural Network and Markov Chain Model (Case Study: Kermanshah City). *Research Journal of Environmental and Earth Sciences*, *6*(4), 215-226.

Rimal, B., Zhang, L., Keshtkar, H., Haack, B., Rijal, S., & Zhang, P. (2018). Land Use/Land Cover Dynamics and Modeling of Urban Land Expansion by the Integration of Cellular Automata and Markov Chain. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, *7*(4), 154.

Sadeghian, E., & Hosseini, S. Z. A. A. (2015). Study and Prediction of Land Change and Land Use Changes Using Markov Automated Cell Models. *First Scientific Research Conference on New Horizons in Geography and Planning, Architecture and Urban Planning,* Scientific Association of the Development and Promotion of Fundamental Science and Technology, Tehran. *(In Persian)*

Sedlák, P., Komárková, J., Jech, J., & Mašín, O. (2019). Low-Cost UAV as a Source of Image Data for Detection of Land Cover Changes. *Journal of Information Systems Engineering and Management*, *4*(3), 1-9.

Selwood, K. E., Mcgeoch, M. A., & Mac Nally, R. (2015). The Effects of Climate Change and Land Use Change on Demographic Rates and Population Viability. *Biological Reviews*, *90*(3), 837-853.

Sun, H., Forsythe, W., & Waters, N. (2007). Modeling Urban Land Use Change and Urban Sprawl: Calgary, Alberta, Canada. *Networks and Spatial Economics*, *7*(4), 353-376.

Tang, J., Wang, L., & Yao, Z. (2007). Spatio-Temporal Urban Landscape Change Analysis Using the Markov Chain Model and a Modified Genetic Algorithm. *International Journal of Remote Sensing*, *28*(15), 3255-3271.

Tattoni, C., Ciolli, M., & Ferretti, F. (2011). The Fate of Priority Areas for Conservation in Protected Areas: A Fine-Scale Markov Chain Approach. *Environmental Management*, *47*(2), 263-278.

Yang, X., Zheng, X. Q., & Lv, L. N. (2012). A Spatiotemporal Model of Land Use Change Based on Ant Colony Optimization, Markov Chain and Cellular Automata. *Ecological Modelling*, *233*, 11-19.

Zali, N., & Abizadeh, S. (2013). Analyzing Urban Green Space Function Emphasizing Green Space Features in District 2 of Tabriz Metropolis in Iran. *Anuario Do Instituto De Geociencias*, *36*(1). https://pdfs.semanticscholar.org/9bde/2a9d3cb42b15062932af0808dcbce0fd5729.pdf

Zali, N., Abizadeh, S., & Baghernia, A. (2013). New Urbanism and Urban Design: Tools for Changing Behavioral Patterns of the Citizens. *Internatıonal Journal of Natural and Engineering Sciences*, *7*(1), 31-36.

Zali, N., Rabbani, T., & Vahidi Motti, V. (2015). Application of Prospective Structural Analysis for Identification of Strategic Variables in the Future Development of Baneh City in Iran. *European Spatial Research and Policy*, *22*(1), 153-171.

Zali, N., Rahimpoor, M., Saed Benab, S., Molavi, M., & Mohammadpour, S. (2016). The Distribution of Public Services from the Perspective of Sustainable Spatial Equality in the Tabriz Metropolitan in Iran. *Ema-Journal of Land Use, Mobility and Environment*, *9*(3), 287-304.