

## پیش‌بینی تغییرات کاربری و پوشش زمین در شهرستان رشت با استفاده از مدل سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف

سید صادق دژکام<sup>۱\*</sup>، بهمن جباریان امیری<sup>۲</sup>، علی اصغر درویش صفت<sup>۳</sup>

۱. کارشناس ارشد محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۲. استادیار گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۳. استاد گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۰/۱۱؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۰۴/۰۱)

### چکیده

افزایش جمعیت شهرنشین در شهرستان رشت در سه دهه اخیر موجب گسترش سریع مناطق انسان‌ساخت شده است و در صورت ادامه این روند، تخریب سیمای سرزمین، تغییر الگو و ساختار اکوسیستم‌های طبیعی و نیمه‌طبیعی این منطقه قابل انتظار خواهد بود. مطالعه حاضر با هدف آگاهی از تغییرات گذشته و پیش‌بینی تغییرات آینده این منطقه برای کمک به برنامه‌ریزی سرزمین طراحی شده است. از این رو پایش تغییرات سرزمین با استفاده از تصاویر سنجنده TM سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۷۸ و ۱۳۹۰ و شیوه مقایسه پس از طبقه‌بندی انجام شد. برای پیش‌بینی تغییرات کاربری و پوشش زمین تا سال ۱۴۰۲ نیز از مدل ترکیبی سلول‌های خودکار- زنجیره مارکوف و براساس اعتبارسنجی قابلیت این مدل در منطقه مورد مطالعه، استفاده شد. نتایج نشان داد که در طی ۲۴ سال گذشته، مناطق انسان‌ساخت ۵۶/۷ درصد افزایش یافته و منجر به نابودی حدود ۱۱ درصد از زمین‌های کشاورزی و ۴ درصد از پوشش جنگلی منطقه شده است. اعتبارسنجی مدل نشان داد که مدل از توان قابل قبولی در پیش‌بینی تغییرات منطقه برخوردار است. نتایج گویای این واقعیت است که در صورت ادامه روند کنونی تغییرات تا سال ۱۴۰۲، مساحت مناطق انسان‌ساخت، ۳۸ درصد نسبت به وضعیت کنونی افزایش خواهد یافت که می‌تواند منجر به تخریب حدود ۱۵ درصد از زمین‌های کشاورزی و ۲ درصد از پوشش جنگلی کنونی منطقه شود. به منظور جلوگیری از ادامه تخریب زمین‌های کشاورزی و مناطق طبیعی در رقابت با الگوی کنونی توسعه مناطق انسان‌ساخت، اجرای سیاست‌های توسعه عمودی و مترکم و برنامه‌ریزی کاربری‌ها بر اساس اصول آمایش سرزمین ضروری است.

**کلید واژه‌ها:** پیش‌بینی، کاربری و پوشش، شهرستان رشت، سلول‌های خودکار، زنجیره مارکوف

## سرآغاز

گسترش شهری<sup>(۱)</sup> با تغییر الگوی کاربری و پوشش زمین موجب تکه‌تکه شدن<sup>(۲)</sup>، جدا افتادگی<sup>(۳)</sup> و تخریب اکوسیستم‌ها می‌شود؛ ترکیب گونه‌ها را ساده و یکنواخت می‌کند، سامانه‌های هیدرولوژیک را آشفته می‌نماید و جریان انرژی و چرخه مواد غذایی را تغییر می‌دهد. بنابراین این فرایند، پیامدهای پیچیده و جبران‌ناپذیری به همراه خواهد داشت (Zhang et al., 2004). از این‌رو، یکی از پیش‌شرط‌های اصلی جهت استفاده بهینه از سرزمین، اطلاع از الگوهای کاربری و آگاهی از تغییرات هر کدام از کاربری‌های در طول زمان است (علی‌محمدی و همکاران، ۱۳۸۸). بدین‌منظور، از رهیافت آشکارسازی تغییرات گذشته و پیش‌بینی تغییرات کاربری و پوشش زمین در آینده، استفاده فراوانی شده است.

آشکارسازی تغییرات کاربری تحت تاثیر محدودیت‌های مکانی، زمانی و طیفی داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده است و روش‌های مختلفی برای اجرای این کار وجود دارد. از این‌رو، انتخاب روش مناسب آشکارسازی تغییرات مرحله‌ای بسیار با اهمیت و مشکل است. (Lu et al., 2004) این روش‌ها را در شش دسته جبری، تبدیلی، طبقه‌بندی، تحلیل بصری، روش‌های پیشرفته و رهیافت سامانه اطلاعات مکانی گروه‌بندی کرده‌اند و ویژگی‌ها، معایب و مزایای خاص هر گروه را بیان نموده‌اند. به اعتقاد آنها روش‌های تفریق تصاویر<sup>(۴)</sup>، تحلیل مولفه‌های اصلی<sup>(۵)</sup> و مقایسه پس از طبقه‌بندی<sup>(۶)</sup> تا کنون پر کاربردترین روش‌های آشکارسازی تغییرات کاربری بوده‌اند. از بین گروه‌های شش‌گانه مذکور، مجموعه روش‌های مبتنی بر طبقه‌بندی، ماتریس اطلاعات کاملی از انواع تغییرات ارائه می‌دهند و علاوه بر این اثرات ناشی از تفاوت‌های اتمسفری بین تصاویر زمان‌های مختلف بر نتایج آشکارسازی تغییرات را به مقدار زیادی کاهش می‌دهند. شیوه پس از طبقه‌بندی رایج‌ترین شیوه اجرایی این گروه می‌باشد که جهت اجرای آن در ابتدا تصاویر ماهواره‌ای چند زمان مختلف به صورت مستقل از هم طبقه‌بندی و به نقشه‌های موضوعی کاربری و پوشش زمین تبدیل می‌شوند. سپس نقشه‌های مختلف پیکسل به پیکسل با هم مقایسه می‌شوند و روند و کمیت تغییرات تعیین می‌شود. این شیوه، با وجود به حداقل رساندن تفاوت آثار اتمسفری، به دلیل استقلال فرایند تولید نقشه‌ها از هم‌دیگر و همچنین ارائه یک ماتریس اطلاعات

تغییرات کامل، نیازمند تخصص و صرف زمان زیادی برای فرایند طبقه‌بندی تصویر می‌باشد و صحت نهایی آشکارسازی تغییرات به کیفیت تصویر هر مقطع زمانی و صحت یکایک نقشه‌های تولید شده از آن‌ها بستگی دارد (Coppin et al., 2004; Ward et al., 2000; Daryaei, 2003).

از سوی دیگر، پیش‌بینی تغییرات کاربری و پوشش سرزمین، یکی از رهیافت‌های مورد استفاده برنامه‌ریزان برای شناسایی و کنترل روند تغییرات کاربری زمین می‌باشد (Brimoh & Onishi, 2007). همچنین، اجرای این فرایند می‌تواند به ارزیابی آثار توسعه، تعیین الگوی‌های بهینه کاربری زمین در طی فرایند آمایش سرزمین و بررسی تاثیر الگوهای مختلف مدیریتی بر الگوی کاربری و پوشش زمین کمک نماید (Deng et al., 2008; Li & Yeh, 2002). از آنجا که عوامل محرک تغییرات کاربری زمین پیچیده هستند و عوامل انسانی و طبیعی این فرایند ممکن است در شدت‌ها و مقیاس‌های متفاوتی تاثیرگذار باشند، تغییرات کاربری سیستمی پویا، غیر خطی و بسیار پیچیده است و شبیه‌سازی آن فرایندی مشکل می‌باشد (Verburg et al., 2002; Lambin et al., 2001). مدل‌ها ابزار مناسبی برای ترجمان پیچیدگی‌های فرآیندهای خارجی در بیان ساده می‌باشند (Candau, 2002). از این‌رو برای رویارویی با این مشکل، تا کنون مدل‌های مختلفی توسط محققان به منظور شبیه‌سازی پیچیدگی و پویایی سرزمین توسعه یافته است. (Singh, 2003) رویکردهای مختلف به منظور مدل‌سازی فضایی را در پنج دسته شامل مدل‌های بر پایه شبکه‌های عصبی مصنوعی<sup>(۷)</sup>، مدل‌های عامل مینا<sup>(۸)</sup>، مدل‌های مکانی-آماری<sup>(۹)</sup>، مدل‌های فراکتالی<sup>(۱۰)</sup> و مدل‌های بر پایه سلول‌های خودکار<sup>(۱۱)</sup> گروه‌بندی کرده است. تحلیل زنجیره مارکوف یکی از مدل‌های آماری است که می‌توان با آن وضعیت سیستم مورد مدل‌سازی را در زمان (t+1) بر اساس وضعیت آن در زمان t پیش‌بینی کرد. مهمترین خروجی آن ماتریس احتمال انتقال<sup>(۱۲)</sup> (از وضعیت ۱ به وضعیت ۲) است. این ماتریس اگر چه اطلاعات مفیدی در بر دارد اما توزیع مکانی انتقال را ارائه نمی‌کند. به منظور ارائه الگوی مکانی توزیع، نیاز است که مدل‌ها اجزای مکانی را نیز در خود جای دهند. سایر خروجی‌های تحلیل زنجیره مارکوف شامل ماتریس مساحت‌های انتقال یافته<sup>(۱۳)</sup> هر نوع کاربری و تصاویر احتمال شرطی<sup>(۱۴)</sup> برای تبدیل کاربری‌های مختلف می‌باشند (Breckling et al.,

شهر اصفهان اقدام نمودند و نتیجه گرفتند در صورت ثابت ماندن روند تغییرات نتیجه صحت پیش‌بینی مدل کمتر از ۷۰ درصد خواهد بود. (احدنژاد و همکاران، ۱۳۹۰) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف به ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات گسترش شهر اردبیل از سال ۱۳۶۳ تا ۱۴۰۰ پرداختند.

شهرستان رشت در چند دهه اخیر، افزایش چشمگیری در جمعیت شهری خود تجربه کرده است به طوری که نسبت جمعیت شهری این شهرستان از ۵۳/۰۲ درصد در سال ۱۳۶۵ به ۷۶ درصد در سال ۱۳۹۰ رسیده است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۰) و مساحت مناطق انسان‌ساخت افزایش قابل توجهی یافته است. از این رو، هدف اصلی تحقیق حاضر، آشکارسازی تغییرات کاربری و پوشش زمین در این منطقه طی سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۰ و ارزیابی جنبه‌های مهم این تغییرات و همچنین پیش‌بینی تغییرات کاربری و پوشش منطقه تا سال ۱۴۰۲ با استفاده از مدل ترکیبی CA\_Markov بر اساس بررسی اولیه در مورد قابلیت این مدل در منطقه مورد تحقیق می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه محدوده سیاسی اداری شهرستان رشت در استان گیلان با مساحت ۱۲۱۵ کیلومتر مربع است و در شکل (۱)، نمایش داده شده است. جمعیت این شهرستان در سال ۱۳۹۰، ۹۱۸۴۴۵ نفر که ۷۶ درصد آن در مناطق شهری ساکن بوده است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۰). متوسط بارندگی سالانه حدود ۱۵۰۰ میلی‌متر، متوسط دمای سالانه ۱۵/۸ درجه سانتی‌گراد و میانگین سالانه رطوبت نسبی هوا ۸۱ درصد می‌باشد. این منطقه به جهت واقع شدن در جلگه مرکزی، وسعت زیاد و حاصل‌خیزی خاک، یکی از مهم‌ترین مناطق کشت برنج کشور است. همچنین، به علت مرکزیت سیاسی استان، قرار گرفتن بر سر مسیر تهران، قزوین، انزلی، آستارا از یک سو و مسیر اصلی گیلان به مازندران و شرق گیلان از سوی دیگر، از رونق بالای اقتصادی و گسترش فعالیت‌های صنعتی برخوردار است (استانداری گیلان، ۱۳۹۱).

(2011; Eastman, 2009; Singh, 2003). به منظور حل این مشکل از مدل سلول‌های خودکار در ترکیب با زنجیره مارکوف<sup>(۱۵)</sup> استفاده می‌شود. به کمک سلول‌های خودکار می‌توان پویایی سیستم‌های پیچیده را شناسایی و در قالب قوانین ساده ارائه کرد و از طریق این قوانین، آینده سیستم را به صورت مکانی مدلسازی نمود (Torrens & O'Sullivan, 2001). سلول‌های خودکار به دلیل ساختار شبکه‌ای، با سیستم اطلاعات جغرافیایی رستری و داده‌های سنجنش از دوری سازگار هستند. مدل‌های زیادی بر پایه سلول‌های خودکار توسعه داده شده‌اند که تفاوت این مدل‌ها به دلیل تفاوت در قوانین انتقال و همچنین روش‌های کالیبراسیون آن‌هاست (رفیعی، ۱۳۸۶).

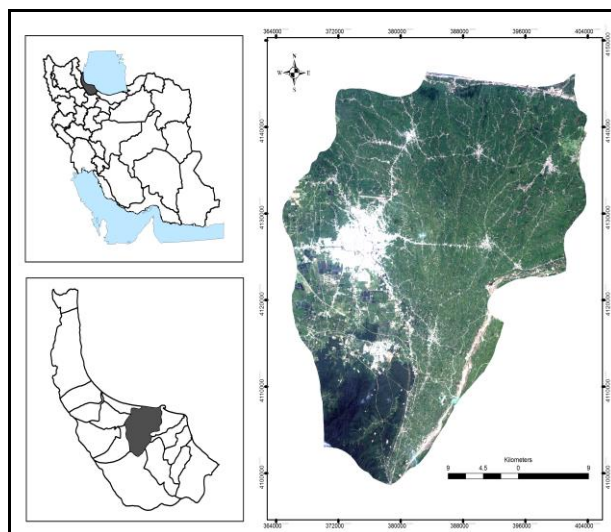
مدل CA\_Markov تاکنون در مطالعات مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است. (Wu et al., 2006) و پیش‌بینی کاربری‌های منطقه پکن چین را طی یک بازه زمانی ۱۵ ساله مورد مطالعه قرار دادند و از مدل زنجیره مارکوف و رگرسیون برای پیش‌بینی استفاده کردند. (Haibo et al., 2011) از سنجنش از دور و مدل زنجیره مارکوف به منظور پیش‌بینی و مدلسازی تغییرات کاربری شهر Tai'an چین استفاده کردند. (Guan et al., 2011) به منظور مدلسازی رشد شهری Saga در ژاپن از مدل ترکیبی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار بهره برده‌اند و این مدل ترکیبی را ابزاری مناسب در این راستا معرفی نمودند.

(Xin et al., 2012) از ترکیب بهینه‌سازی کلنی مورچگان<sup>(۱۶)</sup>، زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار در مدلسازی زمانی- مکانی تغییرات کاربری شهر پکن استفاده کردند و این مدل را از نظر محاسبه کمیت و توزیع تغییرات کاربری مطلوب ارزیابی نمودند.

(Wang et al., 2012)، در منطقه Changping چین نتایج شبیه‌سازی تغییرات کاربری با استفاده از مدل ترکیبی سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف را مورد ارزیابی قرار دادند و بدین‌منظور از اندازه سلول‌های مختلف استفاده کردند. در ایران (ضیائی‌ان و همکاران، ۱۳۸۸) از سنجنش از دور، سامانه اطلاعات جغرافیایی و مدل سلول‌های خودکار به منظور شبیه‌سازی تغییرات مناطق شهری شهرکرد استفاده کردند و کاربردی بودن مدل برای اجرا در سایر شهرها را اثبات نمودند. (فلاح‌تکار و همکاران، ۱۳۸۸) بررسی توانایی مدل CA\_Markov در پیش‌بینی نقشه پوشش

### تولید نقشه‌های کاربری و پوشش زمین

ابتدا، کیفیت رادیومتری تصاویر بررسی و وضعیت هندسی آن با نقشه‌های توپوگرافی کنترل شد. به دلیل انتخاب روش مقایسه پس از طبقه‌بندی برای بررسی تغییرات و طبقه‌بندی تصاویر هر تاریخ به طور مستقل، از انجام تصحیح اتمسفری خودداری شد. در کارهای اجرایی باید نوع تصویر، طبقات کاربری و پوشش و روش طبقه‌بندی به گونه‌ای انتخاب شوند که اطمینان بالایی به صحت نتایج آن داشت و بر اساس آن از انجام فرایند هزینه بر صحت‌سنجی صرف‌نظر کرد تا بتوان براساس آن‌ها تغییرات گذشته کاربری‌ها و پیش‌بینی تغییرات در آینده را تا حد ممکن به درستی ارایه داد. در تحقیق حاضر، بر اساس شناخت از منطقه، طبقات کاربری موجود و تشابه بازتاب طیفی بعضی از پوشش‌ها، روش‌های خودکار تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای، نمی‌توانست نتایج دقیق و قابل قبولی ارایه نماید. در قیاس با روش خودکار، روش نظارت شده تلفیقی (رقومی - چشمی) نیاز به دانش سنجش از دوری کمتری دارد و متکی بر شناخت مفسر و استفاده از عوامل تفسیر، نقشه‌ها و اطلاعات کمکی موجود و کارهای میدانی می‌باشد و معمولاً نتایج بسیار نزدیک به واقعیت و با دقت مناسب ارایه می‌کند (ریاحی‌بختیاری، ۱۳۷۹؛ درویش‌صفت، ۱۳۹۰؛ وفایی، ۱۳۹۱). از این‌رو، در تحقیق حاضر از روش زمان‌بر و دقیق‌تر تفسیر تلفیقی استفاده شد. برای بارزسازی تصاویر مورد استفاده، ترکیب‌های رنگی مناسبی که به نحو بارزی نشان‌دهنده پدیده‌های منطقه می‌باشند از جمله ترکیب‌های بانندی ۳۲۱، ۴۳۲، ۵۴۳، ۷۵۲ ساخته و بهبود کنتراست شدند. پس از بررسی چشمی تصویر به علت قابل تشخیص نبودن برخی از پدیده‌ها روی تصویر، عملیات بازدید میدانی از منطقه طراحی و اجرا شد. بدین منظور، منطقه مطالعاتی بر روی نقشه به پلات‌های چندگانه تقسیم شد و پس از تعیین مناطق غیرقابل تفسیر در هر پلات، بازدید میدانی از آن‌ها به عمل آمد و با استفاده از سامانه موقعیت‌یاب جهانی، عکس‌برداری از منطقه و تهیه کروکی پدیده‌ها، اطلاعات تکمیلی جمع‌آوری شد. سپس، با استفاده از مجموعه اطلاعات در دسترس و تفسیر تلفیقی تصویر ماهواره‌ای سال ۱۳۹۰، نقشه کاربری و پوشش سال ۱۳۹۰ در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و حداقل واحد نقشه<sup>(۱۷)</sup> ۰/۱۶۲۵ هکتار طبقه‌بندی شد. در مرحله بعد، با رعایت مقیاس و استفاده از اطلاعات جانبی، تفسیر چشمی بر روی



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی شهرستان رشت و ترکیب بانندی ۳۲۱ سنجنده TM

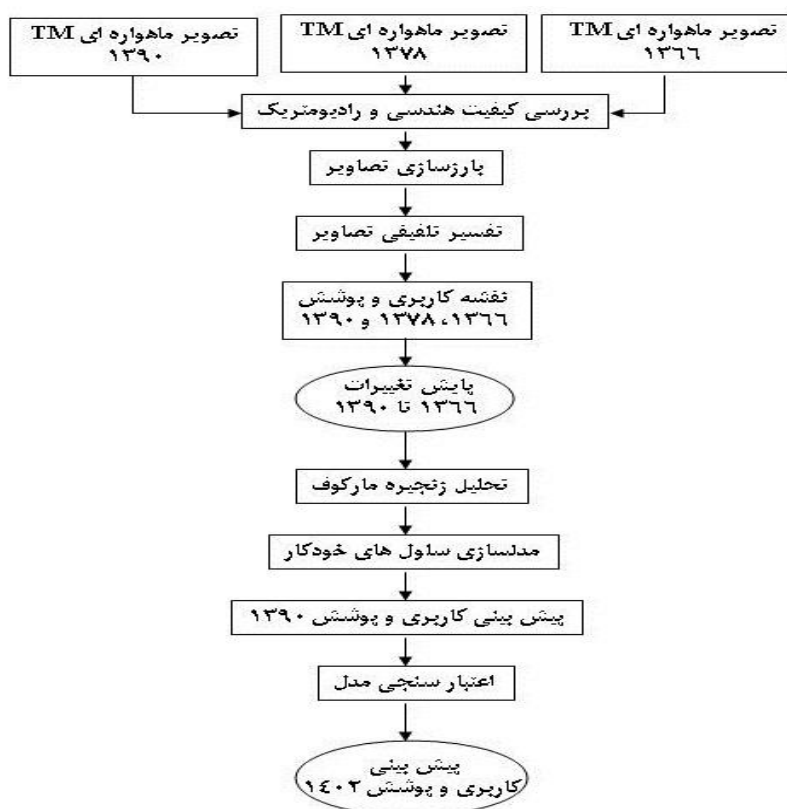
### روش پژوهش

به منظور دستیابی به اهداف تحقیق نیاز به استفاده از سه دوره نقشه کاربری و پوشش زمین وجود داشت که به دلیل عدم وجود این نقشه‌ها، از سه فریم تصویر ماهواره‌ای بدون ابر گذر ۱۶۶ و ردیف ۳۴ سنجنده TM ماهواره لندست مربوط به ماه‌های تیر و مرداد سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۷۸ و ۱۳۹۰ استفاده شد. نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تهیه شده از عکس‌های هوایی سراسری سال ۱۳۷۳، نقشه تقسیمات کشوری مربوط به سال ۱۳۹۰، استان گیلان نیز مورد استفاده قرار گرفتند. علاوه بر داده‌های یاد شده، از اطلاعات حاصل از بازدید میدانی و نقاط برداشت شده بوسیله GPS نیز به منظور کمک به فرایند تهیه نقشه‌های کاربری و پوشش زمین استفاده شد. در این تحقیق، از نرم‌افزارهای Idrisi Taiga, Arc view 3.4, Arc GIS 9.3 و Microsoft Excel مورد استفاده قرار گرفت.

به منظور ارزیابی تغییرات کاربری و پوشش زمین در بازه زمانی ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۰، از شیوه مقایسه پس از طبقه‌بندی نقشه‌های کاربری و پوشش زمین در سه مقطع زمانی ۱۳۶۶، ۱۳۷۸ و ۱۳۹۰ استفاده شده است. همچنین، به منظور پیش‌بینی کاربری و پوشش زمین در سال ۱۴۰۲، از مدل ترکیبی CA\_Markov بر اساس اعتبارسنجی نتایج پیش‌بینی آن در شهرستان رشت استفاده شد. مراحل انجام کار که در شکل (۲) ذکر شده‌اند در ادامه به ترتیب توضیح داده خواهند شد.

کاربری و پوشش منطقه تهیه شدند. بر اساس وضعیت منطقه و سطح اول روش طبقه‌بندی (Anderson et al., 1976) ۶ طبقه کاربری و پوشش شامل، انسان‌ساخت، کشاورزی، جنگل، آب، بایر و تالاب نقشه‌سازی شد.

ترکیبات رنگی و تصویر ماهواره‌ای سال ۱۳۷۸ و اصلاح نقشه کاربری و پوشش سال ۱۳۹۰، نقشه کاربری سال ۱۳۷۸ تهیه شد. سپس، با تفسیر تلفیقی تصویر ماهواره‌ای سال ۱۳۶۶ و اصلاح نقشه کاربری سال ۱۳۷۸، نقشه کاربری سال ۱۳۶۶ تهیه شد. در پایان، به منظور کنترل اشتباهات احتمالی تفسیر چشمی، نقشه سال‌های مختلف باهم مقایسه و نقشه‌های نهایی وکتوری



شکل (۲): چارچوب مفهومی پیش و پیش‌بینی تغییرات کاربری و پوشش زمین

### ارزیابی تغییرات گذشته سرزمین

پایش انواع تغییرات کاربری و پوشش، طی سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۰، با استفاده از شیوه مقایسه پس از طبقه‌بندی انجام شد. بدین‌منظور، نقشه‌های وکتوری کاربری زمین با اندازه سلول ۳۰ متری به ساختار سلولی تبدیل شدند. برای پایش تغییرات از برنامه مدل‌ساز تغییر زمین<sup>(۱۸)</sup> نرم‌افزار Idrisi Taiga استفاده شد و کمیت، نرخ و روند انواع تغییرات کاربری و پوشش زمین در سه بازه زمانی (۱۳۶۶ تا ۱۳۷۸)، (۱۳۷۸ تا ۱۳۹۰) و (۱۳۶۶ تا ۱۳۹۰) محاسبه شد.

### اجرای مدل و پیش‌بینی کاربری و پوشش زمین

استفاده از مدل CA\_Markov برای پیش‌بینی نقشه کاربری سال ۱۴۰۲ نیازمند بررسی اولیه قابلیت مدل در پیش‌بینی تغییرات منطقه است. با استفاده از تحلیل زنجیره مارکوف و نقشه‌های کاربری و پوشش زمین سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۷۸، ماتریس احتمالات انتقال وضعیت و ماتریس مساحت‌های انتقال یافته این بازه زمانی ۱۲ ساله محاسبه شدند. سپس، با استفاده از مدل سلول‌های خودکار و نتایج تحلیل مارکوف در بازه زمانی اول، نقشه کاربری و پوشش زمین سال ۱۳۹۰ پیش‌بینی شد. این نقشه پیش‌بینی شده با نقشه کاربری‌های همان سال که از طریق تفسیر تصاویر ماهواره‌ای به‌دست آمده بود، مورد ارزیابی

برای کل منطقه و ضریب کاپا هر یک از طبقات کاربری مورد محاسبه قرار گرفت.

صحت قرار گرفت و مدل اعتبارسنجی شد. پس از اعتبارسنجی مدل، نقشه کاربری و پوشش زمین در سال ۱۴۰۲ با استفاده از نقشه سال‌های ۱۳۷۸ و ۱۳۹۰ پیش‌بینی شد.

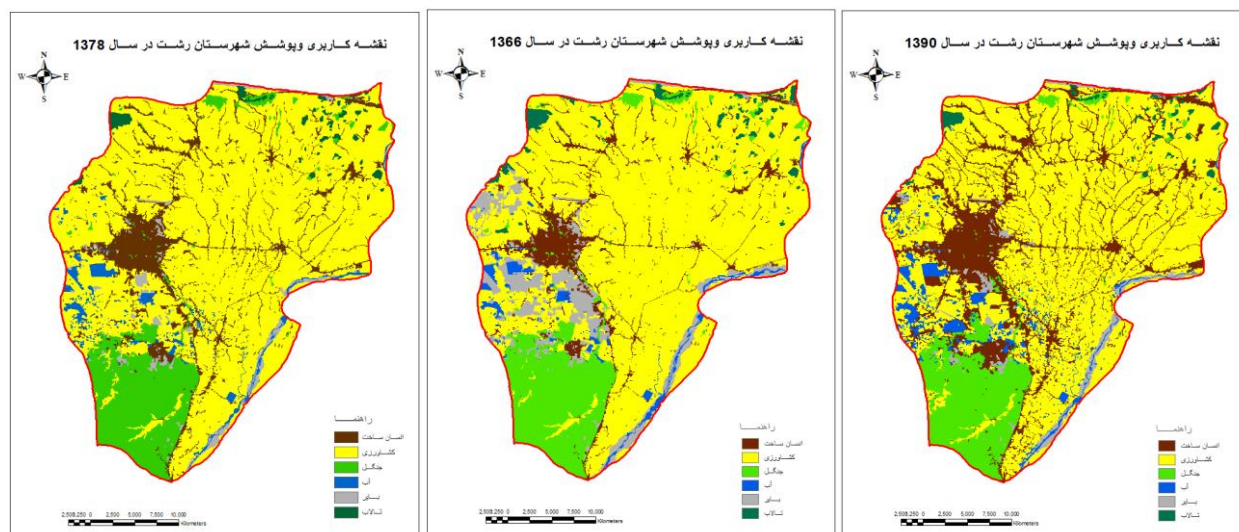
### یافته‌ها

#### نقشه‌های کاربری / پوشش

نقشه‌های کاربری و پوشش زمین در سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۷۸ و ۱۳۹۰ که با استفاده از تفسیر تلفیقی تهیه شدند، در شکل (۳) نمایش داده شده‌اند. همچنین، مساحت انواع کاربری و پوشش زمین در سال‌های مختلف در جدول (۱) ارائه شده است.

#### اعتبارسنجی مدل

به منظور بررسی میزان توانایی مدل در پیش‌بینی نقشه کاربری و پوشش زمین سال ۱۳۹۰، علاوه بر مقایسه چشمی از روش آماری ماتریس خطا استفاده شد. در این روش، نقشه کاربری و پوشش زمین تهیه شده از روش تفسیر تصویر ماهواره‌ای در سال ۱۳۹۰ به عنوان نقشه مرجع در نظر گرفته شد. از مقایسه دو نقشه، ماتریس خطا تشکیل شد و آماره‌های صحت کلی و ضریب کاپا



شکل (۳): نقشه‌های کاربری و پوشش شهرستان رشت در سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۷۸، ۱۳۹۰

جدول (۱): مساحت انواع کاربری و پوشش زمین در سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۷۸، ۱۳۹۰ و ۱۴۰۲ در شهرستان رشت

سال ۱۴۰۲		سال ۱۳۹۰		سال ۱۳۷۸		سال ۱۳۶۶		کاربری / پوشش
درصد	هکتار	درصد	هکتار	درصد	هکتار	درصد	هکتار	
۲۷/۰۸	۳۲۵۹۲/۶۹	۱۷/۲۳	۲۰۹۵۶/۲۳	۱۰/۶۱	۱۲۹۰۲/۶۷	۷/۴۱	۹۰۱۳/۵	انسان ساخت
۵۴/۸۶	۶۶۷۴۰/۴	۶۳/۳۲	۷۷۰۳۲/۸۹	۷۱/۰۳	۸۶۴۱۴/۳۱	۶۷/۷۳	۸۲۳۹۳/۷۴	کشاورزی
۹/۲۶	۱۱۲۷۰/۳۴	۱۱/۳	۱۳۷۴۲/۷۳	۱۱/۸۵	۱۴۴۲۰/۱۶	۱۲/۷۲	۱۵۴۷۴/۶	جنگل
۵/۷	۶۹۳۳/۶	۴/۲۴	۵۱۶۱/۰۵	۲/۸۵	۳۴۷۴/۰۹	۲/۳	۲۷۹۳/۹	آب
۲/۳۶	۲۸۷۲	۲/۷۴	۳۳۳۲/۹۷	۲/۳۳	۲۸۲۱/۸۶	۷/۸۳	۹۵۳۰/۵۵	بایر
۰/۷۳	۸۹۱/۵۴	۱/۱۷	۱۴۳۱/۶۳	۱/۳۳	۱۶۲۴/۴۱	۲/۰۱	۲۴۵۱/۲۴	تالاب

### آشکارسازی تغییرات

نتایج آشکارسازی تغییرات گذشته منطقه مورد مطالعه در بازه‌های زمانی (۱۳۶۶ تا ۱۳۷۸)، (۱۳۷۸ تا ۱۳۹۰) و (۱۳۶۶ تا ۱۳۹۰) در جدول (۲)، درج شده است. در بازه زمانی ۱۳۶۶ تا ۱۳۷۸، زمین‌های بایر با ۵۱/۸۹ درصد کاهش، بیشترین میزان تغییر را داشته است و بیشتر به زمین‌های کشاورزی و مناطق انسان‌ساخت تبدیل شده‌اند. مناطق انسان‌ساخت نیز در پایان این دوره ۱۲ ساله، با نرخ افزایش سالیانه ۳۲۳/۰۸ هکتار، در مجموع ۳۰/۵۲ درصد نسبت سال ۱۳۶۶ افزایش سطح داشته است. پوشش جنگلی منطقه در این دوره با نرخ کاهش سالیانه ۷۹/۴۱- هکتار، به میزان ۶/۱۶ درصد کاهش سطح داشته است. در دوره زمانی ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۰، پوشش آب با ۵۴/۲۹ درصد

افزایش، بیشترین میزان تغییر را داشته است. همچنین، مناطق انسان‌ساخت در این دوره ۳۷/۷۳ درصد نسبت به سال ۱۳۷۸ افزایش سطح داشته است و به موازات آن ۹/۵۸ درصد از زمین‌های کشاورزی شهرستان به مناطق انسان‌ساخت و استخرهای پرورش آبزیان تغییر یافته‌اند. در مجموع، از سال ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۰ مناطق انسان‌ساخت و پهنه‌های آبی که بیشتر استخرهای آبی‌پروری بودند، به ترتیب ۵۶/۷۳ درصد و ۲۹/۲۳ درصد افزایش سطح داشته‌اند که این افزایش، منجر به کاهش سطح ۶/۶۲ درصد از زمین‌های کشاورزی، ۱۰ درصد از پوشش جنگلی منطقه، ۷۳/۱۲ درصد از زمین‌های بایر و ۳۸/۱۳ درصد از مناطق تالابی منطقه شده است.

جدول (۲): میزان و نرخ تغییرات کاربری و پوشش شهرستان رشت در دوره‌های زمانی مختلف

تغییرات کاربری / پوشش									کاربری / پوشش
۱۳۶۶-۱۳۹۰			۱۳۷۸-۱۳۹۰			۱۳۶۶-۱۳۷۸			
نرخ تغییرات سالیانه	میزان تغییرات کاربری	نرخ تغییرات کاربری	نرخ تغییرات سالیانه	میزان تغییرات کاربری	نرخ تغییرات کاربری	نرخ تغییرات سالیانه	میزان تغییرات کاربری	نرخ تغییرات کاربری	
هکتار	درصد	هکتار	هکتار	درصد	هکتار	هکتار	درصد	هکتار	انسان‌ساخت
+۴۸۲/۲۵	+۵۶/۷۳	+۱۱۵۷۴	+۶۴۱/۳۳	+۳۷/۷۳	+۷۶۹۶	+۳۲۳/۰۸	+۳۰/۵۲	+۳۸۷۷	
-۲۵۱	-۶/۶۲	-۶۰۲۴	-۷۰۲/۰۸	-۹/۵۸	-۸۴۲۵	+۲۰۰/۰۸	+۲/۶۳	+۲۴۰۱	کشاورزی
-۶۴/۸۷	-۱۰	-۱۵۵۷	-۵۰/۳۳	-۴/۱۷	-۶۰۴	-۷۹/۴۱	-۶/۱۶	-۹۵۳	جنگل
+۸۰/۹۱	+۲۹/۲۳	+۱۹۴۲	+۱۰۳/۱۶	+۵۴/۲۹	+۱۲۲۸	+۵۸/۶۶	+۱۶/۹۱	+۷۰۴	آب
-۲۰۵/۸۳	-۷۳/۱۲	-۴۹۴۰	+۲۷/۴۱	+۶/۳۸	+۳۲۹	-۴۳۹/۰۸	-۵۱/۸۹	-۵۲۶۹	بایر
-۴۱/۴۵	-۳۸/۱۳	-۹۹۵	-۱۹/۵	-۱۲/۹۳	-۲۳۴	-۶۳/۴۱	-۳۰/۰۳	-۷۶۱	تالاب

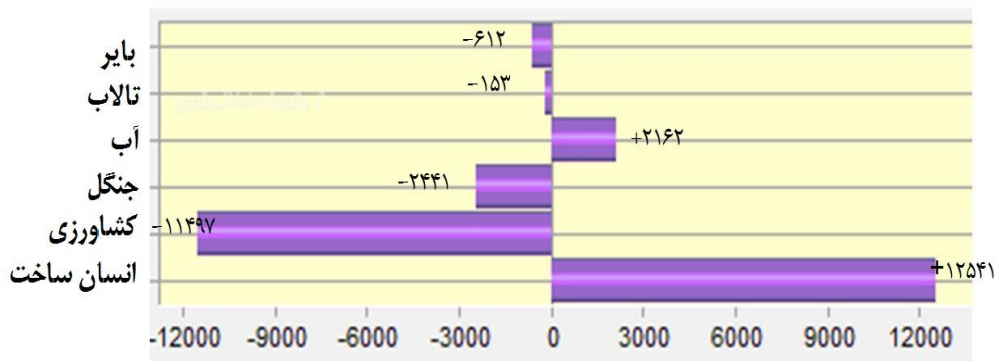
### پیش‌بینی کاربری و پوشش

نتایج مقایسه مساحت کاربری‌های واقعی و پیش‌بینی شده سال ۱۳۹۰ در جدول (۳)، ذکر شده است. نقشه‌های پیش‌بینی شده سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۴۰۲ در شکل (۴) نمایش داده شده‌اند. همچنین، تغییرات خالص پیش‌بینی شده کاربری و پوشش در بازه ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۲ در شکل (۵) نمایش داده شده‌اند. مساحت نقشه پیش‌بینی شده کاربری و پوشش زمین با مساحت کاربری و پوشش در سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۷۸ و ۱۳۹۰ بیان‌گر این است که طی سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۴۰۲ افزایش چشم‌گیری در

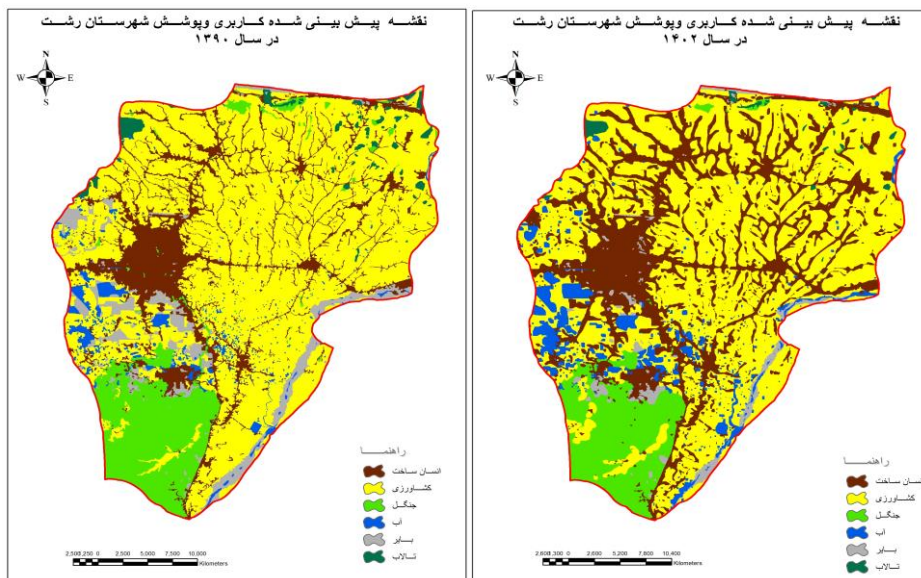
سطوح انسان‌ساخت و پوشش آبی منطقه ایجاد شده است. همچنین، نتایج بیان‌گر روند کاهشی پوشش جنگلی، تالاب، بایر و کاربری کشاورزی در طی این بازه زمانی بوده است. نتایج پیش‌بینی تغییرات خالص کاربری‌ها در ۱۲ سال آینده نشان می‌دهد که در صورت ادامه روند کنونی تغییرات در منطقه تا سال ۱۴۰۲، مساحت مناطق انسان‌ساخت و پهنه‌های آبی به ترتیب ۱۲۵۴۱ و ۲۱۶۲ هکتار افزایش خواهند یافت و کاربری کشاورزی و پوشش‌های جنگل، تالاب و زمین‌های بایر به ترتیب ۱۱۴۹۷، ۲۴۴۱، ۱۵۳ و ۶۱۲ هکتار کاهش سطح خواهند داشت.

جدول (۳): مقایسه مساحت کاربری و پوشش واقعی و پیش‌بینی شده در سال ۱۳۹۰ (بر حسب هکتار)

کاربری / پوشش	مساحت واقعی	مساحت پیش‌بینی شده
انسان ساخت	۲۰۹۵۶/۲۳	۱۸۷۲۴/۷۷
کشاورزی	۷۷۰۳۲/۸۹	۷۶۵۵۱/۵۷
جنگل	۱۳۷۴۲/۷۳	۱۳۸۰۰/۰۶
آب	۵۱۶۱/۰۵	۳۶۴۵
بایر	۳۳۳۲/۹۷	۷۰۱۹
تالاب	۱۴۳۱/۶۳	۱۹۱۹/۲۵



شکل (۴): نقشه‌های کاربری و پوشش شهرستان رشت در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۴۰۲



شکل (۵): نمودار تغییرات خالص پیش‌بینی شده در بازه ۱۳۹۰ زمانی تا ۱۴۰۲ (به هکتار)



**اعتبارسنجی مدل**

ضریب کاپا طبقات مختلف کاربری و پوشش زمین در منطقه مورد مطالعه در جدول (۴)، درج شده است.

آماره‌های حاصل از ماتریس خطای مقایسه نقشه‌های واقعی و پیش‌بینی شده سال ۱۳۹۰ شامل صحت کلی، ضریب کاپای کل و

**جدول (۴): آماره‌های حاصل از ماتریس خطا نقشه‌های واقعی و پیش‌بینی شده سال ۱۳۹۰**

ضریب کاپا برای طبقات کاربری و پوشش					ضریب کاپا	صحت کلی (درصد)
تالاب	بایر	آب	جنگل	کشاورزی		
۰/۹۹	۰/۸۶	۰/۷۴	۰/۹۹	۰/۹	۰/۹	۹۴/۳۴
انسان‌ساخت					۰/۸۷	

**بحث و نتیجه‌گیری**

پیکسل‌هایی که درست پیش‌بینی شده است، پیکسل‌هایی که نادرست پیش‌بینی شده است را نیز دخالت می‌دهد. از این رو معیار دقیق‌تری برای بررسی صحت پیش‌بینی می‌باشد (مخدوم و همکاران، ۱۳۸۱). بررسی و مقایسه چشمی نتایج مدل با نقشه مرجع نیز نشان داد اگرچه مدل در برخی از جاها مناطق کشاورزی را به اشتباه به مناطق بایر اختصاص داده است و نیز در پیش‌بینی پهنه‌های آبی اشتباهاتی داشته است ولی در مجموع عملکرد قابل قبولی داشته است (علی‌محمدی و همکاران، ۱۳۸۸؛ Baker, 1989). از آنجایی که این مدل بر اساس ماتریس تبدیل کاربری دوره زمانی اول (۱۳۶۶ تا ۱۳۷۸)، نقشه کاربری و پوشش سال ۱۳۹۰ را پیش‌بینی نمود، به علت یکسان نبودن روند تغییرات کاربری در دوره اول و دوم، که ناشی از تفاوت در میزان تاثیر فاکتورهای اقتصادی و اجتماعی بر تغییرات کاربری‌هاست، منطقی به نظر می‌رسد که تغییرات پیش‌بینی شده توسط مدل تا حدودی با واقعیت متفاوت باشد (فلاح‌تکار و همکاران، ۱۳۸۸).

یکی از ضعف‌های مدل CA\_Markov، عدم دخالت عوامل فیزیکی و اقتصادی-اجتماعی موثر بر تغییرات کاربری، با وجود پویا بودن عوامل و فرایند تغییرات کاربری طی زمان است (وفایی، ۱۳۹۱). عوامل سیاسی، اقتصادی و اجتماعی مانند: سیاست‌های جمعیتی، سیاست‌های توسعه مناطق، جذابیت‌های اقتصادی کاربری‌ها و تغییرات جمعیتی متغیرهای زمانی هستند که به ویژه در کشور در حال توسعه‌ای مانند: ایران قابل پیش‌بینی برای دوره بلند مدت نیستند. از این‌رو، به علت در نظر نگرفتن تغییرات این عوامل در پیش‌بینی تغییرات کاربری و پوشش در مدل مذکور، ممکن است نتایج آن در بلند مدت قابل اتکا نباشد ولی با توجه به

بررسی تغییرات روی داده در منطقه نشان می‌دهد که کم بودن شیب زمین‌های کشاورزی و همچنین مجاورت و دسترسی مناطق انسان‌ساخت به این زمین‌های مرغوب، منجر به رقابت مناطق انسان‌ساخت با این کاربری و تخریب آن طی زمان شده است. کاهش سطح پوشش جنگلی، عمدتاً در ناحیه جنوبی شهر رشت، به علت رشد مناطق انسان‌ساخت و توسعه شهرک صنعتی رشت در مرز جنگل اتفاق افتاده است که لزوم تعیین حریم جنگل و مدیریت سازمان‌های مسوول به منظور جلوگیری از تخریب این جنگل‌ها را مطرح می‌سازد. تغییراتی نیز در سطح پوشش لکه‌های جنگلی شهری در طی زمان روی داده است که بیشتر به دلیل پویایی شهر، از سطح آنها کاسته شده است. افزایش تعداد و سطح استخرهای پرورش آبزیان که نشان از افزایش شدید توجه به اقتصاد آبی‌پروری در کنار سایر فعالیت‌ها دارد، موجب کاهش سطح کاربری کشاورزی و پوشش بایر در منطقه شده است. شدت این روند در دوره دوم حدود چهار برابر بیشتر از دوره اول بوده است که احتمالاً به علت سیاست تقویت صنعت آبی‌پروری و افزایش تسهیلات این فعالیت در دوره اخیر در منطقه بوده است. سطح وسیعی از پوشش بایر منطقه (۷۳/۱۲- درصد) طی ۲۴ سال گذشته به کاربری‌های انسان‌ساخت و کشاورزی تبدیل شده‌اند که به علت شیب مناسب و دسترسی آسان به آن‌ها بوده است.

صحت‌سنجی نتایج حاصل از مدل CA\_Markov با استفاده از روش ماتریس خطا، نشان داد پیش‌بینی مدل از صحت کلی و شاخص کاپای بالایی برخوردار بوده است. اگرچه هر دو معیار صحت کلی را ارایه می‌کنند، آماره ضریب کاپا علاوه بر

۱۳۹۰). همچنین، پیشنهاد می‌شود کاربری‌های منطقه براساس آمایش سرزمین برنامه‌ریزی شوند تا از طریق مکان‌یابی اصولی آن‌ها تضاد و رقابت بین کاربری‌ها به خصوص کاربری‌های انسان‌ساخت با سایر کاربری و پوشش‌ها کاهش یافته و با وجود حفظ زمین‌های کشاورزی و حفاظت از عرصه‌های طبیعی، مناطق انسان‌ساخت مورد نیاز جمعیت نیز توسعه یابند.

### یادداشت‌ها

1. Urban Sprawl
2. Fragmentation
3. Isolation
4. Image Differencing
5. Principal Component Analysis
6. Post Classification Comparison
7. Artificial Neural Networks
8. Agents Based Models
9. Spatial-Statistical Models
10. Fractal Based Models
11. Cellular Automata Model
12. Transition Probability Matrix
13. Transition Areas Matrix
14. Conditional Probability Images
15. CA\_Markov
16. Ant Colony
17. Map Unit
18. Land Change Modeler

این که اغلب هدف پیش‌بینی تغییرات کاربری، ارزیابی پیامدهای سناریوی‌های مختلف به ویژه ادامه روند موجود است؛ نتایج این پیش‌بینی به رغم اختلاف نسبت به آنچه در آینده اتفاق خواهد افتاد، می‌تواند هشدار برای وضعیت کاربری‌ها در آینده باشد (علی‌محمدی و همکاران، ۱۳۸۸). از این رو پیشنهاد می‌شود با دخالت دادن عوامل موثر در تغییرات کاربری‌ها تا حدودی این نقطه ضعف مدل را جبران نموده و قابلیت اطمینان از نتایج مدل افزایش یابد.

نتایج پیش‌بینی کاربری و پوشش زمین گویای این نکته است که اگر شرایط و روند حاکم بر تغییرات سرزمین در طی ۲۴ سال گذشته، در ۱۲ سال آینده نیز برقرار باشد، مساحت مناطق انسان‌ساخت، ۳۸ درصد نسبت به وضعیت کنونی افزایش خواهد یافت که این روند افزایشی، می‌تواند منجر به تخریب حدود ۱۵ درصد از زمین‌های کشاورزی و ۲ درصد از پوشش جنگلی منطقه شود. ادامه این روند رقابتی و گسترش کنترل نشده مناطق انسان‌ساخت به علت نیاز به زمین و فضای زیاد، می‌تواند منجر به کاهش زمین‌های مرغوب، تکه‌تکه شدگی آنها، کاهش تولید محصولات کشاورزی و ذخایر غذایی، تغییر الگو، ساختار و عملکرد اکوسیستم‌های نیمه‌طبیعی و طبیعی شود (Grimm et al., 2000). از این رو به نظر می‌رسد، بهتر است سیاست‌های توسعه عمودی شهری و متراکم سازی به ویژه در شهر رشت مورد توجه قرار گیرد تا از ادامه این روند جلوگیری شود (احدنژاد و همکاران،

### فهرست منابع

- احدنژاد روشتی، م.؛ زلفی، ع. و شکری پور، ح. ۱۳۹۰. ارزیابی و پیش‌بینی گسترش فیزیکی شهرها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: شهر اردبیل ۱۴۰۰-۱۳۶۳). فصلنامه آمایش محیط، شماره ۱۵، ص ۱۰۷-۱۲۴.
- ضیائی‌ان فیروز آبادی، پ.؛ شکیبی، ع.؛ متکان، ع. و صادقی، ع. ۱۳۸۸. سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل سلول‌های خودکار به عنوان ابزاری برای شبیه سازی تغییرات کاربری زمین‌های شهری (مطالعه موردی: شهر کرد). مجله علوم محیطی، سال هفتم، شماره اول: ۱۳۳-۱۴۸.
- درویش صفت، ع. ۱۳۹۰. درسنامه سنجش از دور در جنگل. دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- رفیعی، ر. ۱۳۸۶. مکان‌یابی ایستگاه‌های انتقال پسماند جامد شهری با توجه به روند رشد شهر (مطالعه موردی شهر مشهد)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته محیط‌زیست، دانشگاه تهران.

- ریاحی بختیاری، ح. ۱۳۷۹. تعیین مناسب‌ترین روش تهیه نقشه‌های پوشش منابع طبیعی در مقیاس ۱: ۲۵۰۰۰۰ با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در ناحیه دشت ارژن، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته جنگلداری، دانشگاه تهران.
- علی محمدی، ع.؛ موسیوند، ع. و شایان، س. ۱۳۸۸. پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین‌های و پوشش زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل زنجیره‌ای مارکوف. فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره ۱۴، شماره سوم، ص ۱۱۷-۳۰.
- وفایی، س. ۱۳۹۱. پایش و پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین‌های با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته جنگلداری دانشگاه تهران.
- فلاح‌تکار، س.؛ سفینیان، ع.؛ خواجه‌الدین، ج. و ضیاعی، ح. ۱۳۸۸. بررسی توانایی مدل CA مارکوف در پیش‌بینی نقشه پوشش زمین‌های (مطالعه موردی: شهر اصفهان)، مجموعه مقالات همایش ژئوماتیک، سازمان نقشه برداری، تهران.
- مرکز آمار ایران. ۱۳۹۰. نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۰.
- مخدوم، م.؛ درویش صفت، ع.؛ جعفر زاده، ه. و مخدوم، ع. ۱۳۸۱. ارزیابی و برنامه‌ریزی محیط زیست با سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.

پورتال استانداری گیلان. ۱۳۹۰. قابل دسترسی در: [www.gilan.ir](http://www.gilan.ir)

- Anderson, J. R.; Hardy, E. E.; Roach, J. T. & Wi, R. E. 1976. A land Use and Land Cover Classification Scheme for Use with Remote Sensor Data, U.S. Geological Survey Professional Paper 964.
- Baker, W. L. 1989. A review of models of landscape change. *Landscape Ecology* 2: 111-133.
- Braimoh, A.K. & T, Onishi. 2007b. Geostatistical techniques for incorporating spatial correlation into land use change models. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 9: 438-446.
- Breckling, B.; Pe'er, G. & Matison, G. *Modeling Complex Ecological Dynamics*. 2011. Springer. 397P.
- Candau, J. 2002. Temporal calibration sensitivity of the SSLEUTH Urban Growth Model. Master thesis, Geography, University of California at Santa Barbara, 129 p.
- Coppin, P.; Jonckheere, I.; Nackaerts, K. & Muys, B. 2004. Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review, *International Journal of Remote Sensing*, 25: 1565- 1596.
- Daryaei, J. 2003. Digital Change Detection Using Multi-scale Wavelet Transformation & Neural Network. M.Sc. Thesis. Submitted to ITC. Netherland.
- Deng, X.Z.; Su, H.B. & Zhan, J.Y. 2008. Integration of multiple data sources to simulate the dynamics of land systems. *Sensors* 8: 620-634.
- Eastman, J.R. 2009. *IDRISI Tiga Guide to GIS and Image Processing*, Clark University, Worcester, MA 01610- 1477 USA. 327p.
- Grimm, N. B.; Grove, J. M.; Pickett, S. T. & Redman, C. L. 2000. Integrated approaches to long-term studies of urban ecological systems, *BioScience*, 50(7): 571-584.
- Guan, D.; Li, H.; Inohae, T.; Su, W.; Nagaie, T. & Hokao, K. 2011. Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model. *Ecological Modelling* 222: 3761- 3772.
- Haibo, Y.; Longjiang, D.; Hengliang, G. & Jie, Z. 2011, Tai'an land use Analysis and Prediction Based on RS and Markov Model. *Procedia Environmental Sciences* 10: 2625- 2630.

- Lambin, E.F.; Turner, B.L.; Geist, H.J.; Agbola, S.B.; Angelsen, A.; Bruce, J.W.; Coomes, O.T.; Dirzo, R.; Fischer, G.; Folke, C.; George, P.S.; Homewood, K.; Imbernon, J.; Leemans, R.; Li, X.B.; Moran, E.F.; Mortimore, M., Ramakrishnan, P.S., Richards, J.F., Skanes, H., Steffen, W., Stone, G.D., Svedin, U., Veldkamp, T.A.; Vogel, C. & Xu, J.C. 2001. The causes of land use and land cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change* 11:261–269.
- Li, X. & Yeh, A.G. 2002. Neural-network-based cellular automata for simulating multiple land use changes using GIS. *International Journal of Geographical Information Science* 16: 323–343.
- Lu, D. S.; Mausel, P.; Brondizio, E. S. & Moran, E. 2004. Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*. VOL. 25, NO. 12: 2365–2407.
- Singh, A.K. 2003. Modeling Land use/ Land cover Changes Using Cellular Automata in Geo-Spatial Environment. M.s Theses. ITC. Netherland. 58p.
- Torrens, P. M. & O'Sullivan, D. 2001. Cellular automata and urban simulation: where do we go from here? *Environment and Planning B: Planning and Design*, 28: 163-168.
- Verburg, P.H.; Soepboer, W.; Veldkamp, A.; Limpiada, R. & Espaldon, V. 2002. Modeling the spatial dynamics of regional land use: the CLUE-S model. *Environmental Management* 30: 391–405.
- Wang, S.; Zheng, Q. & Zang, X. 2012. Accuracy assessments of land use change simulation based on Markov-cellular automata model. *Procedia Environmental Sciences* 13:1238– 1245.
- Ward, D.; Phinn, S. R. & Murray, A.T. 2000. Monitoring growth in rapidly urbanizing areas using remotely sensed data. *Professional Geographer*, 52, 371–386.
- Wu, Q.; Li, H.; Wang, R.; Paulessen, J.; He, Y.; Wang, M.; Wang, B. & Wang, Z. 2006. Monitoring and predicting land use change in Beijing using remote sensing and GIS. *Landscape and Urban Planning* 78: 322–333.
- Xin, Y.; Qi, Z.X. & Na, L.L. 2012. A spatiotemporal model of land use change based on ant colony optimization, Markov chain and cellular automata. *Ecological Modelling* 233: 11–19.
- Zhang, L.; Wu, J.; Zhen, Y. & Shu, J. 2004. A GIS-based gradient analysis of urban landscape pattern of Shanghai metropolitan area, China. *Journal of Landscape and Urban Planning*: 69: 1–16.