

تغییرات کالبدی - فضایی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و به کارگیری روش ترکیبی زنجیره‌های مارکوف و سلول‌های خودکار (مطالعه موردی: شهر کرمانشاه)

میترا محمودیان¹، یوسفعلی زیاری^{2*}، رحیم سرور³

چکیده

در سال‌های اخیر با رشد شهرنشینی، کاربری و پوشش اراضی شهرها مخصوصاً کاربری‌های مجاور مناطق مسکونی که در حاشیه شهرها قرار گرفته‌اند تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی تغییر یافته‌اند. به منظور آگاهی روند تغییرات و همچنین مدیریت بهینه تغییرات کاربری در آینده و در راستای برنامه‌ریزی مناسب ترکیب روش زنجیره‌های مارکوف و سلول‌های خودکار یکی از بهترین روش‌ها و ابزار می‌باشد که هم تغییرات در سال‌های گذشته را نشان می‌دهد و همچنین با توجه به تغییرات گذشته، تغییرات برای آینده را پیش‌بینی می‌کند. با توجه به اینکه در سال‌های اخیر در حوزه استحفاظی شهر کرمانشاه تغییر و تحول قابل توجهی در کاربری اراضی اتفاق افتاده است. از این رو برای پی بردن به نوع و میزان تغییرات رخ داده در منطقه فوق تصاویر سنجنده لندست 7 و 8، سال‌های 1372، 1382، 1392، 1397 مورد استفاده قرار گرفته است. پس از عملیات بارز سازی برای کشف و ارزیابی تغییرات از روش‌های فازی مبتنی بر شدت انطباق (Fuzzy Artmap) و مقایسه بعد از طبقه بندی (Crosstab) استفاده شد. همچنین برای پیش‌بینی روند تغییرات تا سال 1411 از روش ترکیبی زنجیره‌های مارکوف و سلول‌های خودکار استفاده گردیده است. نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان داد که در طی 25 سال مورد بررسی در حدود 34,42 درصد تغییر کاربری در اراضی ساخته شده شهری منطقه مورد مطالعه صورت گرفته که عمدتاً ناشی از فعالیت‌های انسانی بوده است که از جمله می‌توان به گسترش سکونتگاه‌ها و اراضی ساخته شده در روی اراضی کشاورزی در تمامی جهات اطراف شهر کرمانشاه اشاره کرد.

واژگان کلیدی: تصاویر ماهواره‌ای، تغییرات کاربری اراضی، زنجیره‌های مارکوف، سلول‌های خودکار، شهر کرمانشاه.

1. دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

2. استادیار، گروه جغرافیا، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. (نویسنده مسئول) y.ziari@yahoo.com

3. استاد گروه جغرافیا، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

مقدمه

کاربری اراضی شامل انواع بهره برداری از زمین به منظور رفع نیازهای گوناگون انسان است. یکی از پیش شرط‌های اصلی برای استفاده بهینه از زمین، اطلاع از الگوهای کاربری اراضی و دانستن تغییرات هر کدام از کاربری‌ها در طول زمان است (فیضی زاده و همکاران، ۱۳۸۶: ۴۲). درحال حاضر سنجش از دور بهترین ابزار برای پایش تغییرات محیطی و استخراج نوع کاربریهای اراضی می باشد که سرعت و دقت بالایی دارد.

امروزه گسترش شهرنشینی شتابان و گرایش به شهرگرایی در پی افزایش جمعیت، منجر به ابعاد و تنوع الگوی توسعه شهرها شده است. گسترش فیزیکی و کالبدی شهر به دلیل افزایش سریع جمعیت شهری در تمام کشورهای جهان از جمله کشور های درحال توسعه صورت میگیرد (Silveira et al., 2006: 446)

توسعه فیزیکی شهر فرآیندی پویا و مداوم است که طی آن محدوده های فیزیکی شهر و فضای کالبدی آن در جهت های افقی و عمودی از حیث کمی و کیفی افزایش می یابند (جلالیان و همکاران، ۱۳۹۵) و اگر این روند سریع و بی برنامه باشد به توسعه فیزیکی متعادل و موزون شهری نمی انجامد (Nazarnia et al., 2016)

زمین اصلی ترین عنصر در توسعه شهری محسوب می شود، از این رو، تنظیم و کنترل نحوه ی استفاده از آن و همچنین محاسبه ی نیاز واقعی شهر به زمین به منظور تامین کاربری های مختلف، در حل مشکل گسترش فیزیکی شهر موثر است (Wakode et al., 2014).

توسعه ی فیزیکی شهری به مفهوم گسترش و بسط فضای کالبدی شهر است که منجر به تبدیل سایر کاربری های اراضی به کاربری شهری و صنعتی می شود. بنابراین، نحوه استفاده از زمین و مشخص نمودن الگوهای مکانی کاربری و پوشش اراضی در یک منطقه ضروری به نظر می رسد. همچنین، بررسی تغییرات و تحولات کاربری اراضی در یک دوره زمانی مشخص نیز اهمیت دارد. بنابراین، مطالعه و ارزیابی روند گسترش فیزیکی شهر و آگاهی از الگوهای تغییرات کاربری اراضی و بکارگیری نتایج مطالعه در برنامه ریزی شهری ضروری می باشد (کریمی فیروزجانی و همکاران، ۱۳۹۷: ۳۳)

در زمینه استفاده از داده های ماهواره ای در تهیه نقشه تغییرات کاربری اراضی و ارزیابی روند آن مطالعات زیادی صورت گرفته است:

چنگ^۱ (۲۰۰۳) در رساله دکترای خود تحت عنوان «مدل سازی فضایی - مکانی رشد شهری»، ابتدا به بررسی نقاط ضعف و قوت مدل های تلفیقی و سایر مدل ها پرداخته و سپس با توجه به نوع تحلیل های هر یک از مدل ها، امکان اجرایی شدن تکنیک ها و دسترسی و محدودیت داده ها به انتخاب مدل پرداخته است. وی از سه مدل اتومات سلولی، شبکه های عصبی مصنوعی و مدل جهش مینا، به بررسی رشد فضایی - مکانی Wuhan، واقع در بخش مرکزی چین پرداخته است.

سحارا^۲ (۲۰۰۴) در پایان نامه کارشناسی ارشد خود تحت عنوان «تلفیق مدل های عامل محور و اتومات سلولی جهت شبیه سازی رشد شهری»، در وهله ی اول به تحلیل تئوریک این دو مدل پرداخته است و در مرحله ی بعد به جمع - آوری فاکتورهای اصلی اتومات سلولی به ویژه مدل عامل محور^۳ پرداخته است و نتیجتاً رشد فیزیکی شهر Mangalore واقع در قسمت جنوب شرقی هند را با استفاده از این دو مدل تحلیل کرده است. در این پایان نامه نتیجه گیری که از کاربرد این مدل ها حصول می گردد، نشانگر آن است که مدل های عامل محور مانع از مدل سازی

1 . Cheng

2 . Sahara

3 . Agent-based

فرایند رشد فیزیکی شهر در یک فرایند خطی است و تلفیق آن با مدل اتومات سلولی، چارچوب مناسبی برای پیش‌بینی دقیق رشد فیزیکی شهر ارائه می‌دهد.

احدزاد^۱ (۲۰۰۹) در مقاله ای تحت عنوان «ارزیابی و پیش بینی تأثیرات انسانی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی زنجان)»، ابتدا نقشه‌های کاربری اراضی را به روش Fuzzy ART Map تهیه نموده و سپس با استفاده از تصاویر سنجنش از دور، تغییرات کاربری اراضی زنجان را بین بازه زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۸ مورد تحلیل قرار داده و در مرحله بعد با استفاده از مدل‌های سلول‌های خودکار و زنجیره‌های مارکوف، تغییرات کاربری اراضی را تا سال ۲۰۱۵ پیش بینی کرده و در نهایت به بررسی تأثیرات تغییر کاربری بر روی محیط زیست پرداخته است.

میرکنولی و همکاران (۱۳۹۰)، در تحقیقی تحت عنوان "مطالعه و بررسی روند و گسترش کالبدی- فضایی شهر بابلسر با استفاده از مدل‌های آنتروپی شانون و هلدرن" به منظور تحلیل چگونگی گسترش کالبدی - فضایی شهر بابلسر طی سالهای ۱۳۸۹-۱۳۷۹ از مدل‌های آنتروپی شانون و هلدرن بهره گرفته اند. نتایج حاصل از مدل آنتروپی شانون نشان می‌دهد که الگوی گسترش شهر خطی می‌باشد و بر اساس مدل هلدرن ۶۰ درصد از رشد فیزیکی شهر مربوط به رشد جمعیت بوده و ۴۰ درصد مربوط به رشد افقی و اسپرال شهر میباشد که این عامل نتیجه عدم نظارت و کنترل مدیران شهری و نداشتن طرح و برنامه‌ای مدون جهت گسترش فیزیکی شهر بوده است.

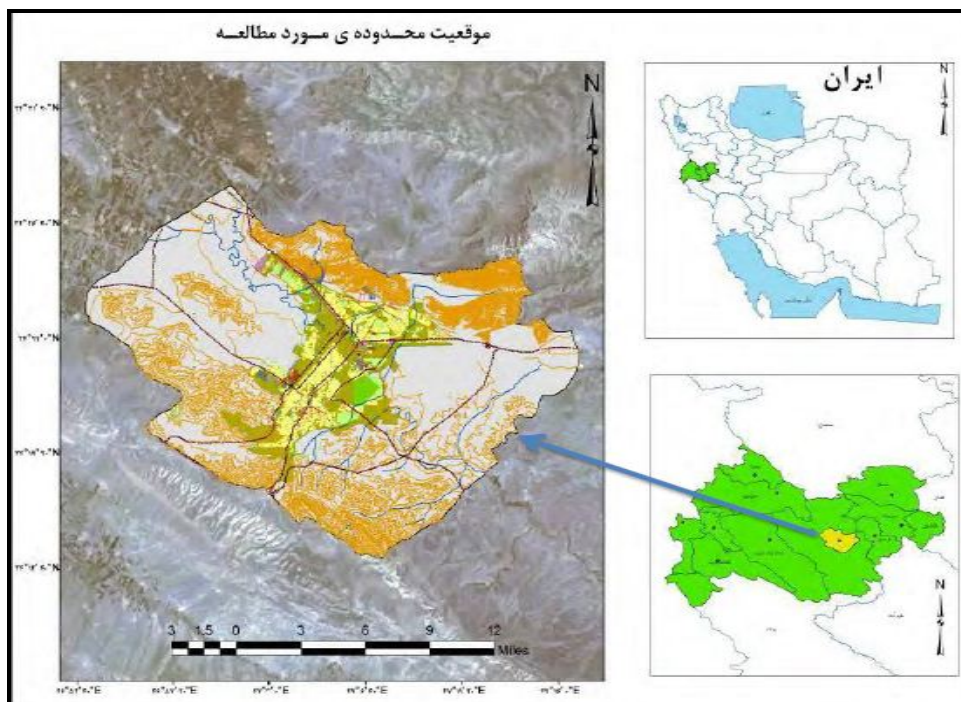
سردشتی و همکاران (۱۳۸۹) جهت آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی حوضه آبریز طالقان از تصاویر ماهواره‌ای لندست TM و ETM مربوط به سال‌های ۲۰۰۲-۱۹۸۷ استفاده نموده است.

پورمحمدی و همکاران (۱۳۸۵) در مقاله ای تحت عنوان «ارزیابی گسترش فضایی- کالبدی شهر زنجان با تاکید بر تغییر کاربری زمین طی دوره ۱۳۸۴-۱۳۵۵»، به بررسی گسترش فیزیکی شهر زنجان و عوامل مؤثر بر این گسترش پرداخته است. در واقع در این مقاله یک رابطه علی و معلولی بین عوامل مؤثر بر گسترش فیزیکی، بالخصوص عوامل انسانی به عنوان علت و گسترش فیزیکی و تغییر کاربری حاصل از آن، به عنوان معلول گسترش فیزیکی، مورد بررسی قرار گرفته است. ایشان در این مقاله از مهاجرت به عنوان اصلی‌ترین عامل گسترش فیزیکی شهر زنجان یاد کرده و تغییر کاربری این شهر را با استفاده از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره ای آیکونوس بین سال‌های ۱۹۷۵-۲۰۰۵، تحلیل نموده است.

در تحقیق حاضر سعی بر این است که با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت شده فازی مبتنی بر نظریه شدت انطباق به ارزیابی تغییرات کاربری حادث شده در محدوده شهری کرمانشاه پرداخته و ضمن پیش بینی روند تغییرات با استفاده از روش تلفیق زنجیره‌های مارکوف و سلول‌های خودکار، میزان تغییرات انواع کاربری‌های به کاربری مسکونی (اراضی ساخته شده) نیز نشان داده شده است.

منطقه مورد مطالعه

محدوده جغرافیایی این تحقیق حوزه استحفاظی شهر کرمانشاه می‌باشد. شهر کرمانشاه نهمین شهر پرجمعیت کشور و مرکز استان کرمانشاه در ایران می‌باشد که دارای جمعیتی بالغ بر ۹۴۷۰۰۰ نفر در سال ۱۳۹۵ و مساحت ۹۳۳۸۹۹۵۶ متر مربع است. شهر کرمانشاه از شمال به کوه فرخشاد، از شمال غربی به کوه طاق بستان و از جنوب به سفید کوه منتهی می‌شود (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). شهر کرمانشاه در موقعیت ۴۷ درجه و ۴ دقیقه شرقی و ۱۹ درجه و ۳۴ دقیقه شمالی قرار دارد و ارتفاع ۱۳۲۲ متر از سطح دریا است (رستمی و همکاران، ۱۳۹۰: ۵۸).



شکل ۱: موقعیت سیاسی شهر کرمانشاه

مواد و روش‌ها

این تحقیق به لحاظ هدف از نوع کاربردی و به لحاظ ماهیت و گردآوری اطلاعات و داده‌ها از نوع توصیفی و تحلیلی می‌باشد که به ارزیابی گسترش فضایی - کالبدی شهر کرمانشاه پرداخته و پیش از استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، برای تهیه نقشه کاربری اراضی منطقه با بهره‌گیری از بازدیدهای میدانی، نمونه‌های تعلیمی برای کاربری‌های موجود در منطقه تهیه شد. نمونه‌های تعلیمی به دو دسته تقسیم می‌شوند: دسته اول برای استفاده در طبقه‌بندی و دسته دوم برای بررسی صحت طبقه‌بندی استفاده شدند؛ سپس در محیط نرم افزار IDRISI SELVA با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و ۸ با روش طبقه‌بندی نظارت شده، طبقه‌بندی شدند. در این روش، ارزش‌های طیفی براساس نمونه‌هایی محاسبه می‌شوند که مفسر بر روی هر پدیده برگزیده است. از آنجا که مناطق نمونه (Traininig Site) پایه طبقه‌بندی را تشکیل می‌دهند، تلاش شد این نمونه‌ها با دقت برگزیده شوند. برای ارزیابی طبقه‌بندی انجام شده از نمونه‌های آزمون استفاده شد. برای این کار، ابتدا با بهره‌گیری از الگوریتم نمونه‌گیری (Sample) تعدادی نمونه خوشه‌ای - تصادفی برگزیده شد و پس از بررسی موقعیت مکانی نمونه‌ها و ثبت واقعات زمینی در محل‌های نمونه، نقشه مربوطه تهیه و به نقشه‌ای رستری براساس طبقات نقشه حاصل از طبقه‌بندی تبدیل شد. با بهره‌گیری از الگوریتم ماتریس خطا در پژوهش حاضر از ضریب کاپا برای بررسی صحت طبقه‌بندی استفاده شد. پیش از انجام این مرحله، دقت هر یک از نقشه‌های تولیدی با توجه به نمونه‌های گرفته شده در عرصه ارزیابی شد. پس از اطمینان از دقت نقشه‌های به دست آمده از طبقه‌بندی، تغییرات به وجود آمده در کاربری اراضی با روی هم‌اندازی دو تصویر و تفاضل آنها با انطباق تصاویر (Cross Tabulation) و تعیین تغییرات صورت گرفته و تبدیل نوع و مقادیر کاربری اراضی مشخص شد؛ به بیان دیگر در این پژوهش از روش پس از طبقه‌بندی به منظور ارزیابی تغییرات صورت گرفته استفاده شد. ماتریس انطباق تصاویر، تغییرات سال‌های مورد ارزیابی تغییرات کاربری اراضی را در محدوده مطالعه شده مشخص کرد.

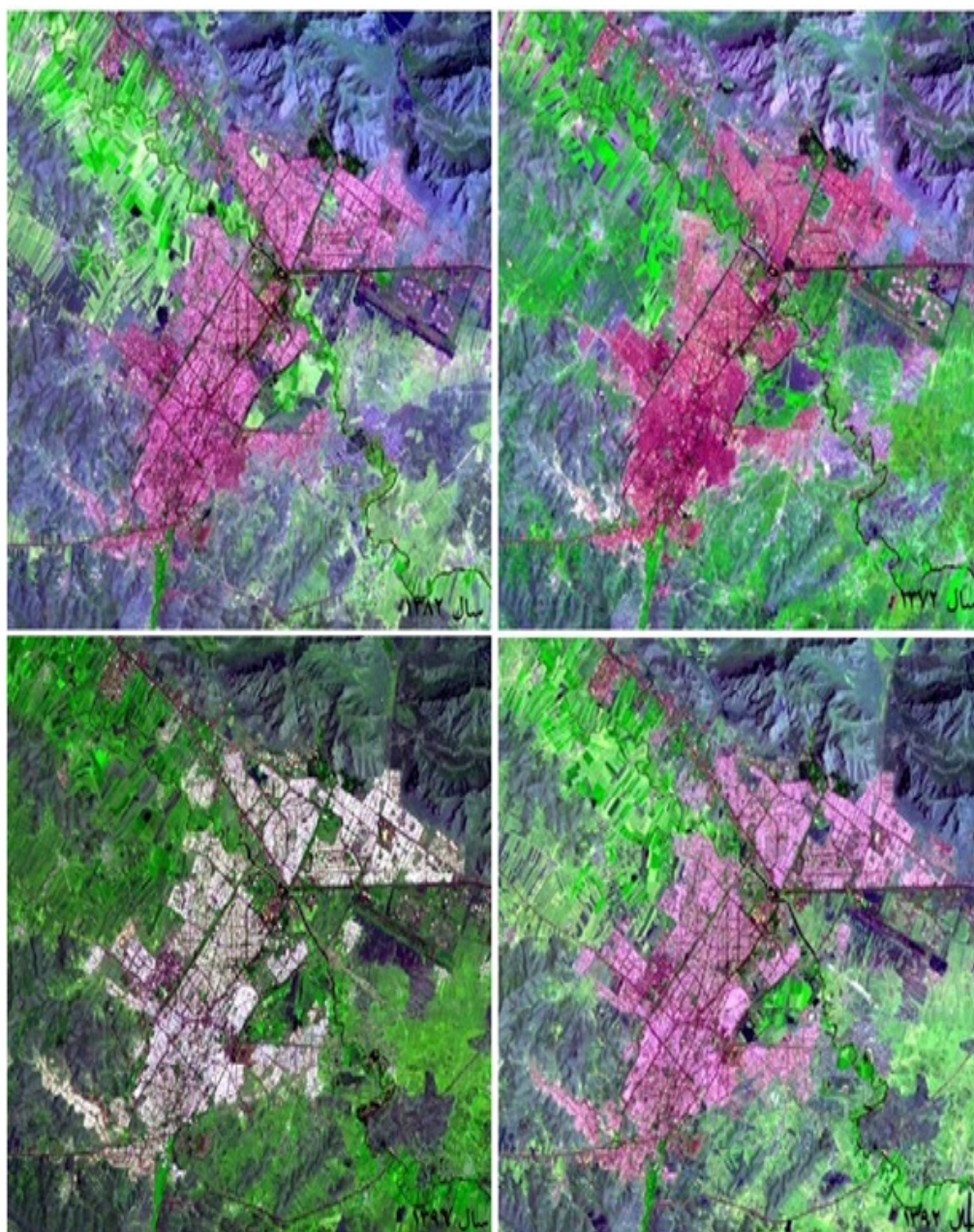
برای پیش‌بینی تغییرات آینده، از مدل ترکیبی کا-مارکوف (Ca Markov) و سلول‌های خودکار در محیط IDRISI SELVA استفاده شده است. مدل تلفیقی سلولهای خودکار و زنجیره مارکوف ترکیبی از مدل زنجیره مارکوف (از دسته مدل‌های تخمین تجربی) و مدل سلولهای خودکار (از دسته مدل‌های شبیه‌سازی پویا) است. در حقیقت این مدل با افزودن مشخصه مجاورت مکانی، به مدل تصادفی زنجیره مارکوف، تغییرات کاربری اراضی را برای دوره‌های آینده شبیه‌سازی می‌کند. با شبیه‌سازی تغییرات کاربری، می‌توان میزان گسترش و تخریب منابع را مشخص کرد (Hathout, 2002: 232). این مدل، احتمال تغییرات کاربری را در سال‌های بررسی شده محاسبه می‌کند؛ به این صورت که در مدل مارکوف و سلول‌های خودکار از نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۷۲ و ۱۳۹۷ و فاصله ۲۵ سال بین آنها، نقشه کاربری اراضی مربوط به ۱۵ سال آینده (۱۴۱۱) پیش‌بینی شد.

جدول ۱: تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و ۸ در بین سالهای ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۷

تعداد باند	سنجنده	ماهواره	تاریخ تصویربرداری (شمسی)
۸	+ETM	لندست ۷	۱۳۷۲/۰۴/۰۱
۸	+ETM	لندست ۷	۱۳۸۲/۰۴/۰۱
۸	+ETM	لندست ۷	۱۳۹۲/۰۴/۰۱
۱۱	OIL/TIRSS	لندست ۸	۱۳۹۷/۰۴/۰۱

همچنین قابل ذکر است که در پژوهش حاضر از تصاویر ماهواره لندست ۷ و ۸ مربوط به خط برداشت ۱۶۴ و ردیف ۰۳۸ استفاده شده است.

در این مطالعه ابتدا تصاویر ماهواره‌ای (لندست ۷ و ۸) ۱۳۸۲، ۱۳۷۲، ۱۳۹۲، ۱۳۹۷ منطقه مطالعه اخذ گردیده و با استفاده نرم افزارهای پردازش تصاویر ماهواره‌ای مورد پردازش قرار گرفتند. مراحل کلی تحقیق در فلو چارت شماره ۱ نشان داده شده است.



شکل ۲: نقشه ترکیب رنگی (۷۴۱) لنداست ETM منطقه مورد مطالعه (منبع: earthexplorer.usgs.gov)

نمودار ۱: مراحل کلی تحقیق با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و داده‌های سنجش از دور

اخذ داده‌های ماهواره‌های لندست ۷ و ۸ (ETM)

۱۳۷۲، ۱۳۸۲، ۱۳۹۲، ۱۳۹۷

بازسازی داده‌های ماهواره‌ای

طبقه بندی داده‌های ماهواره‌ای با استفاده از روش فازی مبتنی بر شدت انطباق- تهیه نقشه کاربری و پوشش اراضی سال‌های ۱۳۷۲،

۱۳۸۲، ۱۳۹۲، ۱۳۹۷

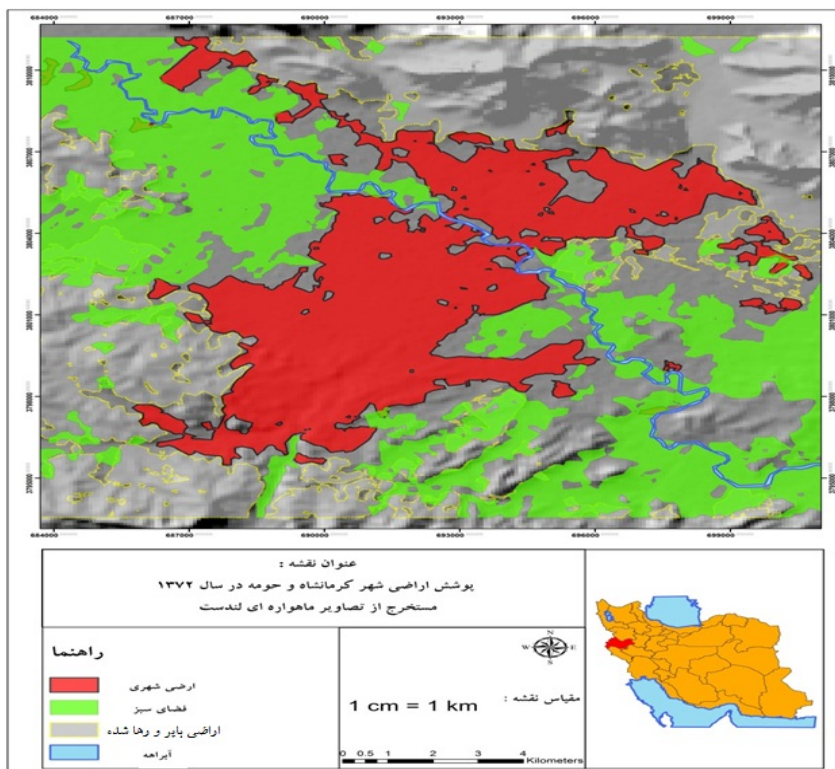
تجزیه و تحلیل داده‌ها و تغییرات حادث شده در کاربری و پوشش اراضی (مدل Crosstab)

تهیه نقشه تغییرات

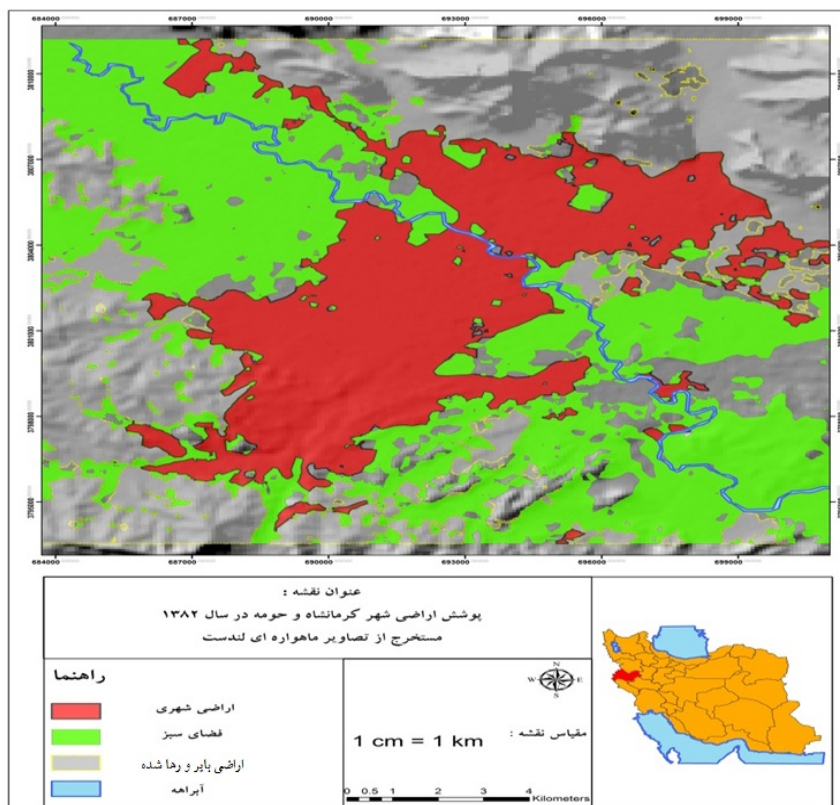
پیش بینی روند تغییرات با استفاده از روش زنجیره‌های مارکوف و سلول‌های خودکار (Markov Chain and Cellular Automate)

طبقه بندی تصاویر ماهواره‌ای

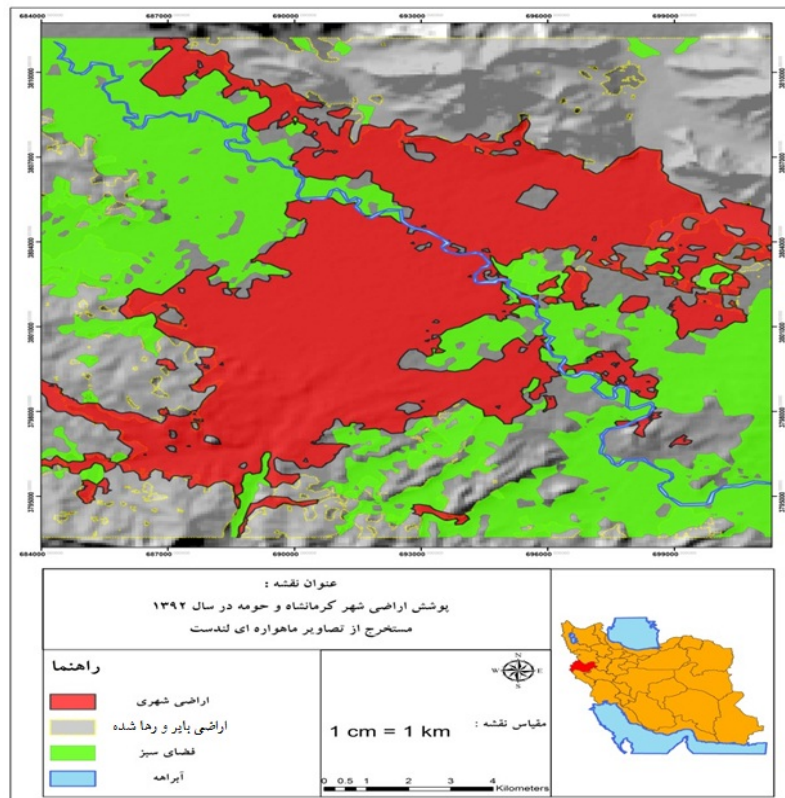
برای طبقه بندی تصاویر ماهواره‌های و استخراج کاربری‌ها و اطلاعات مورد نیاز از آن‌ها روش‌های مختلفی وجود دارد که بسته به نوع و ماهیت پژوهش می‌توان از آن‌ها استفاده کرد. به تازگی برای طبقه بندی تصاویر ماهواره‌ای و استخراج کاربری‌ها روش‌های مصنوعی فازی به خاطر دقت بسیار بالا در مقایسه با روش‌های قدیمی و سستی طبقه بندی نظارت شده از جمله روش طبقه بندی حداکثر احتمال (MLC)، روش حداقل فاصله از میانگین و روش‌های جعبه‌های موازی به طور گسترده ای مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ahadnejad et al, 2009, p660). در این پژوهش برای طبقه بندی تصاویر ماهواره‌ای و استخراج نقشه کاربری و پوشش اراضی از روش فازی مبتنی بر (Fuzzy Adeptive Resonance Theory) که جز روش‌های بسیار دقیق و پیشرفته نظریه شدت انطباقی برای طبقه بندی تصاویر ماهواره‌ای محسوب می‌شود استفاده شده است. برای این منظور ابتدا از تصاویر منطقه مورد مطالعه تصویر ترکیب رنگی ۱،۴،۷ (قرمز ۷، سبز ۴، آبی ۱) تهیه شده و بعد از انتخاب نمونه‌های آموزشی از طبقات مورد نظر، تصاویر به ۵ طبقه شامل اراضی ساخته شده، اراضی کشاورزی، پهنه‌های آبی، اراضی بایر و باغات طبقه بندی شد. با توجه به در دسترس بودن تصاویر هوایی منطقه، آشنایی به منطقه و همچنین استفاده از روش‌های جدید و دقیق طبقه بندی تصاویر ماهواره‌ای و ویرایش‌های لازم جهت اصلاح طبقه بندی انجام شد و مقدار دقت نهایی در حدود ۹۵ درصد برآورد گردید. شکل شماره ۳، ۴، ۵، ۶ کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه در طی سال‌های ۱۳۷۲، ۱۳۸۲، ۱۳۹۲، ۱۳۹۷ را نشان می‌دهند.



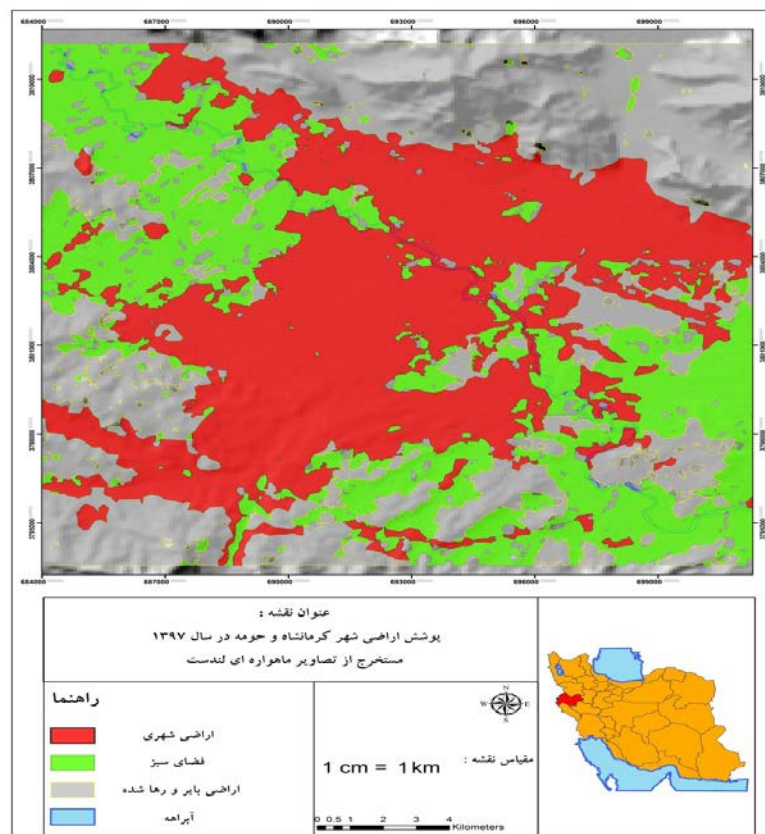
شکل ۳: نقشه پوشش اراضی محدوده مورد مطالعه در سال ۱۳۷۲



شکل ۴: نقشه پوشش اراضی محدوده مورد مطالعه در سال ۱۳۸۲



شکل ۵: نقشه پوشش اراضی محدوده مورد مطالعه در سال ۱۳۹۲



شکل ۶: نقشه پوشش اراضی محدوده مورد مطالعه در سال ۱۳۹۷

جدول شماره ۲: توزیع مساحت کاربری‌ها در منطقه مورد مطالعه (مساحت به هکتار)

ردیف	کاربری	سال ۱۳۷۲	سال ۱۳۸۲	سال ۱۳۹۲	سال ۱۳۹۷
۱	اراضی شهری	۷۰۵۶	۷۸۹۰,۲۷۷	۱۰۷۸۲,۷۹	۱۲۰۹۷,۲۵
۲	فضای سبز	۵۱۲۶	۸۴۵۶,۱۲۷	۷۰۸۱,۹۱۹	۶۴۳۵,۲۳
۳	اراضی بایر و رها شده	۲۲۶۰,۲	۱۸۴۵۵,۱۶	۱۶۹۷۹,۰۳	۱۶۳۱۸,۲۹
۴	آبراهه	۳۶۲	۳۴۴,۴۳	۳۰۲,۲۵	۲۹۵,۲۳
مجموع	*	۳۵۱۴۶	۳۵۱۴۶	۳۵۱۴۶	۳۵۱۴۶

یافته‌های پژوهش

صحت طبقه‌بندی

دقت طبقه‌بندی بیانگر سطح اعتماد به نقشه استخراج شده می‌باشد. به دلیل ایرادات وارده بر دقت کلی اغلب در کارهای اجرایی که مقایسه دقت طبقه‌بندی مد نظر است از شاخص کاپا استفاده می‌شود. چون شاخص کاپا پیکسل‌های نادرست طبقه‌بندی شده را مد نظر قرار می‌دهد (زارع و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۲۹). شاخص کاپا از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$Kappa = \frac{P_o - p_e}{1 - p_e} * 100$$

نتایج مربوط به برآورد دقت طبقه‌بندی‌ها در جدول شماره (۳) آمده است. دقت طبقه‌بندی‌ها به طور کلی بیش از ۸۷ درصد و برای استفاده در مدل مارکوف مناسب است.

جدول ۳: دقت کلی و شاخص کاپا برای تصاویر مورد استفاده

سال	تصویر	دقت کلی	شاخص کاپا
۱۳۷۲	ETM	٪۸۲	٪۸۱
۱۳۸۲	ETM	٪۸۵	٪۸۳
۱۳۹۲	ETM	٪۹۱	٪۸۹
۱۳۹۷	OIL/TIRSS	٪۹۳	٪۸۸

مأخذ: یافته‌های تحقیق

ارزیابی تغییرات کاربری‌ها با استفاده از تصاویر طبقه‌بندی شده

در این بخش نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی تصاویر سال‌های مورد بررسی، برای پی بردن به تغییرات هر یک از کاربری‌ها به سایر کاربری‌ها در محدوده مورد مطالعه با استفاده از روش جداول متعامد (Crosstab) با همدیگر مورد مقایسه قرار گرفتند. (جدول شماره ۴) ماتریس تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین سال ۱۳۹۷ نسبت به سال ۱۳۷۲ را نشان می‌دهد. که در این جدول ردیف‌ها بیانگر کاربری و پوشش زمین سال ۱۳۷۲ و ستون‌ها بیانگر کاربری سال ۱۳۹۷ می‌باشد.

جدول ۴: نتایج حاصل از مقایسه کاربری اراضی (پوشش زمین) سال‌های ۱۳۷۲ - ۱۳۹۷ (واحد هکتار)

کاربری‌ها	اراضی شهری	فضای سبز	اراضی بایر و رها شده	آبراهه	مجموع (۱۳۷۲)	درصد تغییرات
اراضی شهری	۷۰۵۶	۰	۰	۰	۷۰۵۶	۲۰,۰۷۶

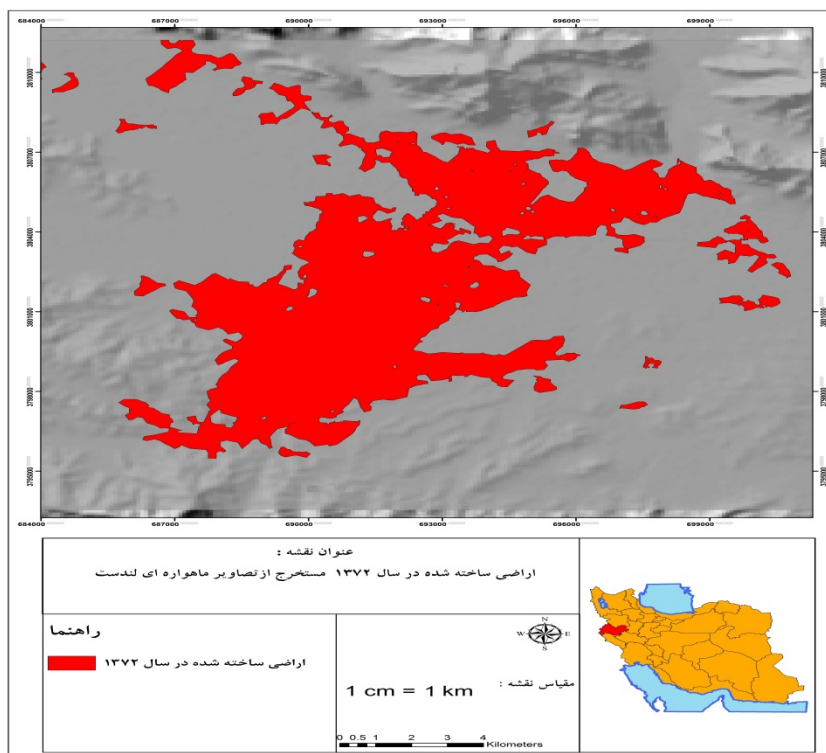
۱۴,۵۸	۵۱۲۶	۰,۰۹	۸۵۷,۴۳	۲۹۳۰,۷۶	۱۳۳۷,۷۲	فضای سبز
۶۴,۳۱	۲۲۶۰۲	۲۷۰,۹۱	۱۵۱۷۴,۲۹	۳۴۹۶,۳۵	۳۶۶۰,۴۵	اراضی بایر و رها شده
۱,۰۳	۳۶۲	۲۴,۲۳	۲۸۶,۵۷	۸,۱۲	۴۳,۰۸	آبراهه
%۱۰۰	۳۵۱۴۶	۲۹۵,۲۳	۱۶۳۱۸,۲۹	۶۴۳۵,۲۳	۱۲۰۹۷,۲۵	مجموع (۱۳۹۷)
%۱۰۰	۰	۰,۸۴	۴۶,۴۳	۱۸,۳۱	۳۴,۴۲	درصد تغییرات

مأخذ: یافته‌های تحقیق

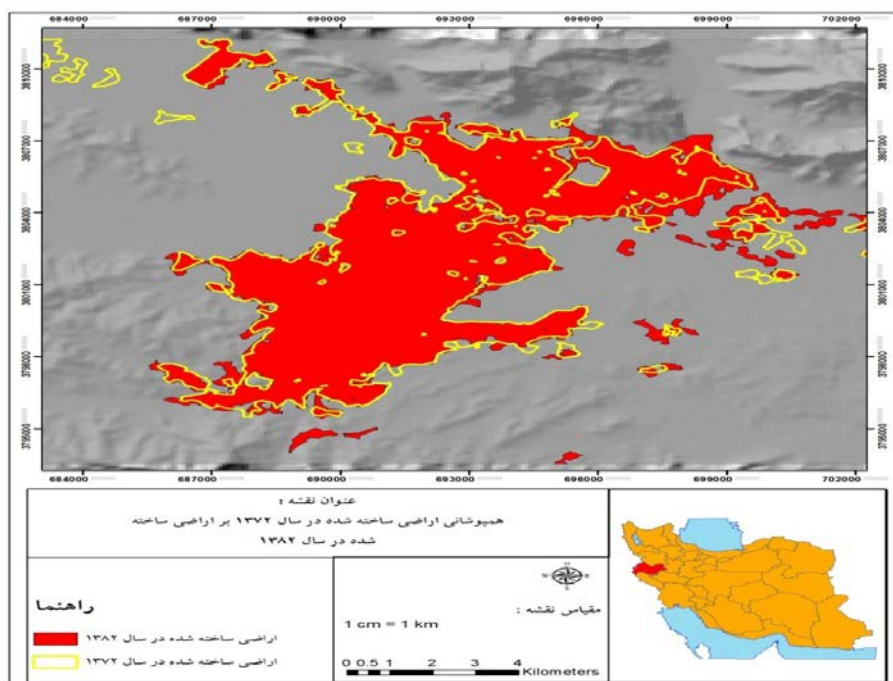
همچنان که از جدول شماره ۴ معلوم است در طی دوره ۲۵ ساله یعنی از سال ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۷ بیشترین تغییرات کاربری اراضی با مقدار ۱۷,۸۸ درصد اختلاف مرتبط با طبقه‌ی اراضی بایر و رها شده می‌باشد و بعد از آن، اراضی ساخته شده که حدود ۱۳,۶۶ درصد اختلاف که تغییر و تبدیل‌های صورت گرفته است. این موضوع نشانگر ارتباط این طبقات می‌باشد که تغییرات صورت گرفته در اراضی بایر و رها شده در راستای توسعه و افزایش مساحت اراضی ساخته شده می‌باشد. طبقه فضاهای سبز با مقدار حدوداً ۴ درصد در مرتبه سوم بیشترین تغییرات می‌باشد که این تغییرات بیشتر در جهت تبدیل به اراضی ساخته شده صورت گرفته است. کمترین درصد تغییرات کاربری اراضی در طی این دوره مربوط است به طبقات آبراهه (۰,۱۹ درصد) تغییرات داشته است.

تحلیل روند رشد اراضی ساخته شده محدوده مورد مطالعه

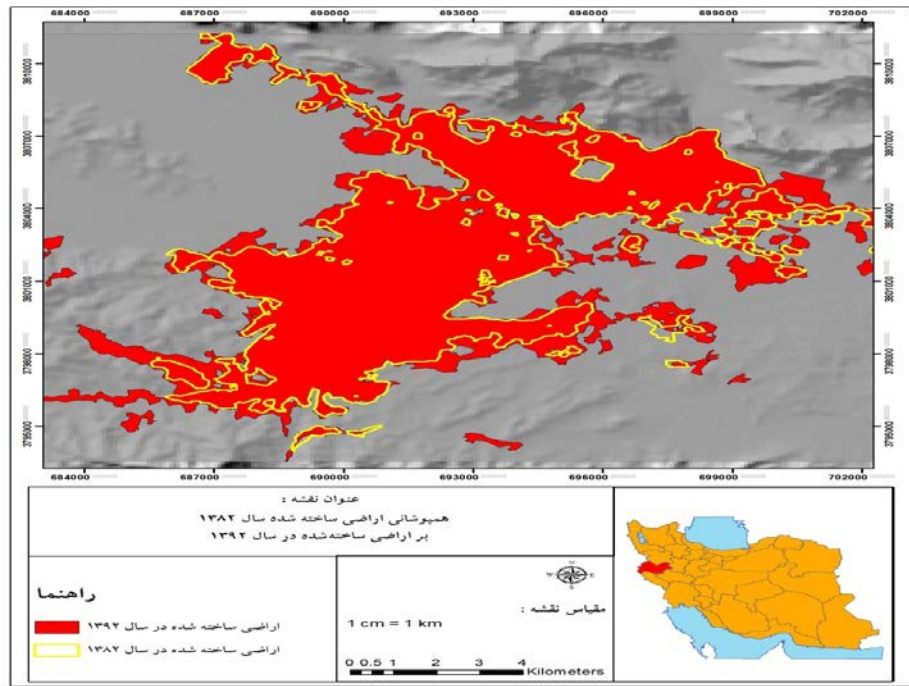
در پژوهش حاضر ابتدا برای بارزسازی اراضی ساخته شده از سایر کاربری‌ها و پی بردن به مراحل رشد و گسترش فیزیکی شهر کرمانشاه، نقشه‌ی مراحل رشد این منطقه در مقاطع ۱۳۷۲ تا سال ۱۳۹۷ تهیه گردید که در (نقشه‌های شماره ۷، ۸، ۹ و ۱۰) نشان داده شده است. در طی این دوره بیشترین طبقه و کاربری که در جهت توسعه فیزیکی و فضایی منطقه به اراضی ساخته شده تبدیل شده، طبقه اراضی بایر و رها شده می‌باشد، در واقع حدود ۳۶۶۰,۴۵ هکتار از اراضی این طبقه به اراضی ساخته شده تبدیل شده است، قابل ذکر است که طبقه اراضی ساخته شده، به هیچ یک از طبقات تبدیل نیافته است. بعد از طبقه اراضی بایر و رها شده، طبقه فضای سبز (۱۳۳۷,۷۲ هکتار) بیشترین تبدیل به کاربری اراضی ساخته شده داشته و آبراهه (۴۳,۰۸ هکتار) کمترین تبدیل به کاربری اراضی ساخته شده داشته است.



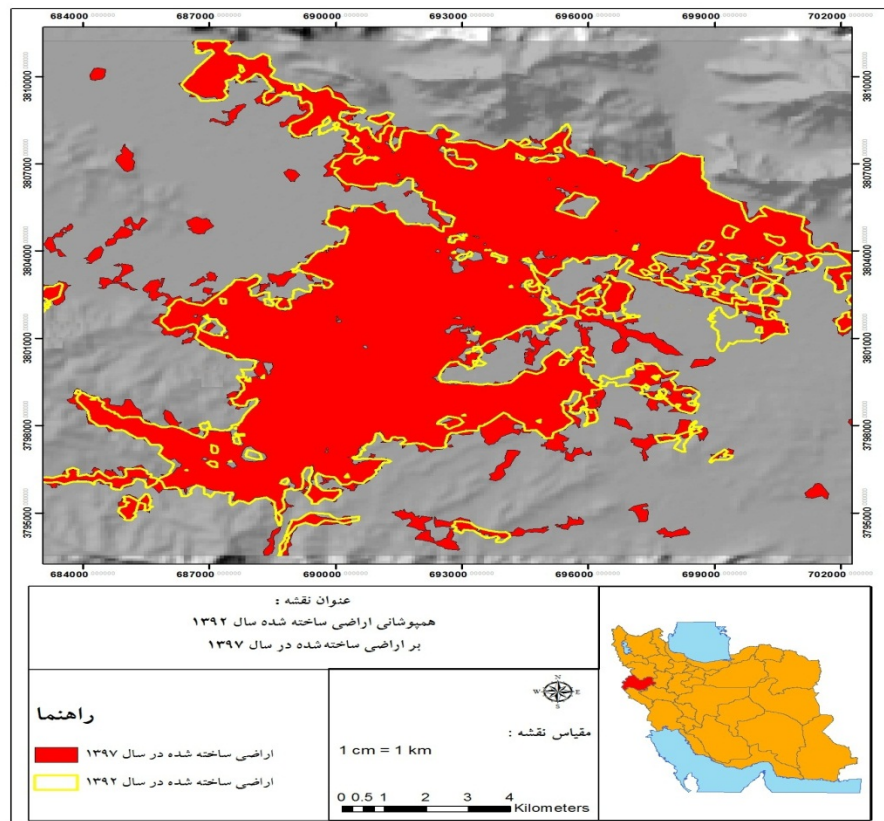
شکل ۷: نقشه رشد اراضی ساخته شده سال ۱۳۷۲ در شهر کرمانشاه



شکل ۸: نقشه رشد اراضی ساخته شده سال ۱۳۸۲ در شهر کرمانشاه



شکل ۹: نقشه رشد اراضی ساخته شده سال ۱۳۹۲ در شهر کرمانشاه



شکل ۱۰: نقشه رشد اراضی ساخته شده سال ۱۳۹۷ در شهر کرمانشاه

نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که بیشترین رشد اراضی ساخته شده در جهت توسعه فیزیکی محدوده، طی دوره ۱۳۷۲ تا ۱۳۸۲ صورت گرفته، در حدود ۴۵۳,۷۴ هکتار و هم چنین کمترین رشد اراضی ساخته شده، در دوره ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۲ صورت گرفته که حدود ۲۸۹۲,۵۱ هکتار به مساحت طبقه اراضی ساخته شده افزوده شده است.

پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی برای ۱۵ سال آینده

در مقاله حاضر از دو روش زنجیره‌های مارکوف و تلفیق آن با سلول‌های خودکار استفاده شده است. روش زنجیره مارکوف از یک جفت از تصاویر پوشش زمین و خروجی ماتریس احتمال انتقال، انتقال ماتریس منطقه و مجموعه‌ای از تصاویر احتمال مشروط تشکیل می‌شود (Ahadnejad et al, 2009, p662).

برای تحلیل بهتر و دقیق‌تر پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی برای سال ۱۴۱۱ در مطالعه‌ی حاضر از روش زنجیره‌های مارکوف برای پیش‌بینی تغییرات احتمالی کاربری‌ها نسبت به همدیگر استفاده شده است. اساس این روش به این صورت می‌باشد که ابتدا یک زوج از نقشه‌های کاربری اراضی تهیه شده برای دو مقطع زمانی مختلف با همدیگر مقایسه گردیده و خروجی آن بصورت یک ماتریس احتمالاتی می‌باشد که نشان‌دهنده‌ی میزان احتمال تغییرات در یک کاربری و نیز تبدیل آن به سایر کاربری‌ها می‌باشد. به منظور انجام روش زنجیره‌های مارکوف در این تحقیق نقشه کاربری تهیه شده برای سال ۱۳۷۲ به عنوان نقشه پایه و نقشه کاربری سال ۱۳۹۷ به عنوان نقشه پیرو به صورت ورودی‌های مدل در نظر گرفته شده و سپس با در نظر گرفتن مدت زمان ۱۵ سال جهت پیش‌بینی تغییرات، سال ۱۴۱۱ به عنوان سال پیش‌بینی تغییرات در مدل مد نظر قرار گرفت تا ماتریس تغییرات احتمالی کاربری‌ها حاصل شود. در نهایت نتایج حاصل از بکارگیری زنجیره‌های مارکوف به عنوان داده‌های ورودی برای انجام روش سلول‌های خودکار در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است. در حقیقت مدل سلول‌های خودکار- مارکوف، مؤلفه‌های مجاورت مکانی و دانش کاربر نسبت به توزیع مکانی احتمال تبدیل کاربری‌ها را به مدل زنجیره مارکوف اضافه می‌کند (فتحی زاده، ۱۳۹۷: ۱۶) جدول شماره ۵ نتایج پیش‌بینی روند تغییرات سال ۱۴۱۱ را با استفاده از زنجیره‌های مارکوف نشان می‌دهد:

جدول شماره ۵: احتمال تغییر کاربری‌های مورد مطالعه تا سال ۱۴۱۱ بر اساس روش زنجیره‌های مارکوف (درصد)

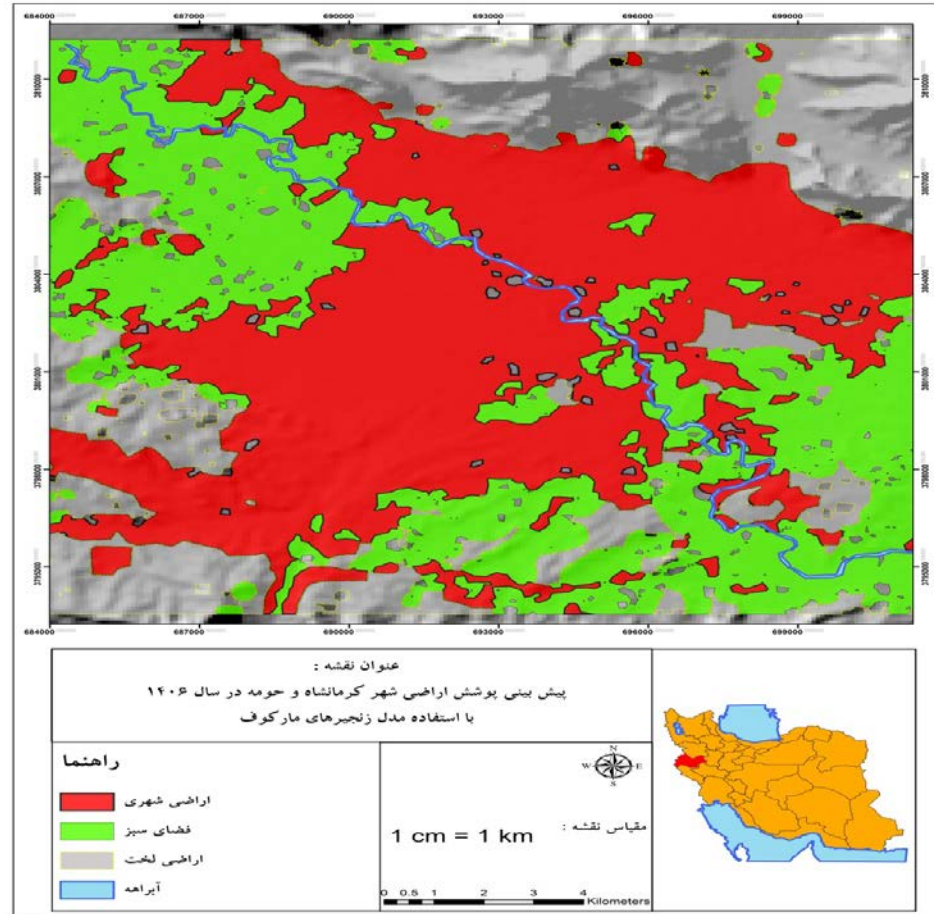
کاربری ها	اراضی شهری	فضای سبز	اراضی بایر و رها شده	آبراهه
اراضی شهری	۱۰۰	۰	۰	۰
فضای سبز	۱۱,۲۶	۸۷,۵۷	۰,۲۷	۰,۹
اراضی بایر و رها شده	۲۵,۱۷	۱۱,۹۷	۶۲,۴۶	۰,۴
آبراهه	۴,۴۸	۱۶,۷۵	۳,۶۳	۷۵,۱۴

مأخذ: نگارندگان (در این جدول ستون‌ها مربوط به ۱۴۱۱ و ردیف‌ها مربوط به ۱۳۹۷ می‌باشد)

براساس پیش‌بینی‌های انجام شده مقدار اراضی ساخته شده از ۱۲۰۹۷,۲۵ هکتار در سال ۱۳۹۷ به ۱۴۴۲۰,۴۰ هکتار در سال ۱۴۱۱ خواهد رسید (جدول شماره ۶). بیشترین مساحت پوشش زمین در سال ۱۴۱۱ مرتبط است با اراضی ساخته شده (۴۱,۰۳ درصد) که حدود ۱۴۴۲۰,۴۰ هکتار از اراضی منطقه را اشغال می‌کند. کمترین مساحت در طی این مدت مربوط به طبقه تپه (۰,۳۵ درصد) می‌باشد که حدود ۱۲۳,۰۱ هکتار از اراضی منطقه را در بر خواهد گرفت. در پیش‌بینی‌های انجام گرفته بیشترین طبقه اراضی ساخته شده به هیچ یک از طبقات تغییر نخواهد یافت و ۱۰۰ درصد ابقاء خواهد شد. همچنین پیش‌بینی می‌گردد در ۱۵ سال آینده بیشترین تغییرات در طبقه‌ی اراضی بایر و رها شده (۲۵,۱۷ درصد) صورت خواهد گرفت که کاربری مذکور بیشتر به اراضی ساخته شده تبدیل خواهد شد و در مرتبه‌ی بعدی اراضی فضای سبز (۱۱,۲۶ درصد) بیشترین تغییر در راستای اراضی ساخته شده را خواهد داشت. در

واقع با توجه به نتایج بدست آمده اراضی ساخته شده از بالاترین پایداری برخوردار بوده و در مقابل اراضی فضای سبز و اراضی بایر و رها شده از پایداری کمی برخوردار خواهند بود.

همچنین (شکل شماره ۱۱) نقشه کاربری اراضی پیش‌بینی شده برای محدوده مورد مطالعه با استفاده از تلفیق روش‌های زنجیره‌های مارکوف و سلول‌های خودکار را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱: نقشه پوشش اراضی محدوده مورد مطالعه در سال ۱۴۱۱

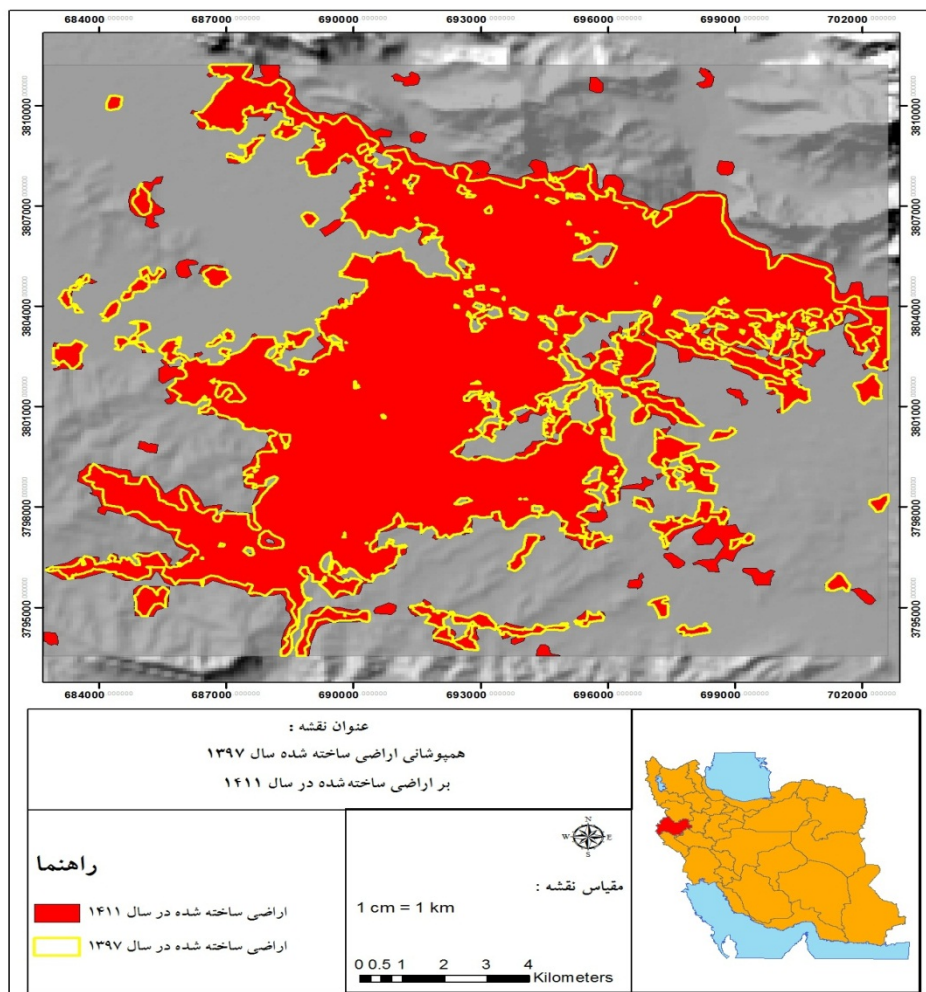
با توجه به تحلیل‌ها و پیش‌بینی‌های صورت گرفته در پژوهش حاضر، مساحت کاربری‌های اراضی پیش‌بینی شده برای سال ۱۴۱۱ به شرح جدول شماره ۶ می‌باشد:

جدول ۶: مساحت کاربریها در محدوده مورد مطالعه (هکتار)

ردیف	کاربری	سال ۱۳۷۲	سال ۱۳۸۲	سال ۱۳۹۲	سال ۱۳۹۷	۱۴۱۱
۱	اراضی شهری	۷۰۵۶	۷۸۹۰,۲۷۷	۱۰۷۸۲,۷۹	۱۲۰۹۷,۲۵	۱۴۴۲۰,۴۰
۲	فضای سبز	۵۱۲۶	۸۴۵۶,۱۲۷	۷۰۸۱,۹۱۹	۶۴۳۵,۲۳	۱۱۳۰۲,۹۵
۳	اراضی بایر و رها شده	۲۲۶۰۲	۱۸۴۵۵,۱۶	۱۶۹۷۹,۰۳	۱۶۳۱۸,۲۹	۹۲۹۹,۶۳
۴	آبراهه	۳۶۲	۳۴۴,۴۳	۳۰۲,۲۵	۲۹۵,۲۳	۱۲۳,۰۱
جمع	*	۳۵۱۴۶	۳۵۱۴۶	۳۵۱۴۶	۳۵۱۴۶	۳۵۱۴۶

مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۷

در ادامه نقشه اراضی ساخته شده پیش‌بینی شده برای سال ۱۴۱۱ شهر کرمانشاه در شکل شماره ۱۲ نشان داده شده است:



شکل ۱۲: نقشه رشد اراضی ساخته شده سال ۱۴۱۱ در شهر کرمانشاه

قابل ذکر است که پیش‌بینی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که اراضی ساخته شده شهری شهر کرمانشاه که در سال ۱۳۷۲ برابر با ۷۰۵۶ هکتار می‌باشد در سال ۱۴۱۱ به ۱۴۴۲۰٫۴۰ هکتار خواهد رسید.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

زمین اصلی‌ترین عنصر در توسعه شهری محسوب می‌شود. از این رو کنترل نحوه‌ی استفاده از آن و همچنین محاسبه نیاز واقعی شهر به زمین، به منظور تامین کاربری‌های مختلف در زمان حال و تعمیم و تطبیق ارقام و کمیت‌های به دست آمده به آینده در حل مشکل زمین و مسکن و رشد مناسب شهرها، موثر واقع می‌شود در این راستا پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی شهری و جهات توسعه شهری با استفاده از روش‌های نوین برنامه‌ریزی، در راستای ضرورت ارزیابی اصولی گسترش شهری و اثرات سوء آن بر دیگر کاربری‌ها نمایان می‌سازد. در این راستا در پژوهش حاضر روند تغییرات در کاربری اراضی با مقایسه چهار دوره سال‌های ۱۳۷۲، ۱۳۸۲، ۱۳۹۲، ۱۳۹۷ با استفاده از مدل Crosstab و پیش‌بینی تغییرات برای سال ۱۴۱۱ با روش ترکیبی زنجیره‌های مارکوف و سلول‌های خودکار، صورت پذیرفت.

نتایج بدست آمده تغییرات کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه از سال ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۷ در حدود ۳۴,۴۲ درصد تغییرات کاربری اراضی نشان می‌دهد. طی دوره‌ی ۲۵ ساله بیشترین تغییرات کاربری اراضی با مقدار ۱۷,۸۸ درصد مربوط به اراضی بایر و رها شده می‌باشد و بعد از آن اراضی ساخته شده که حدود ۱۳,۶۶ درصد اختلاف که تغییر و تبدیل‌های صورت گرفته است. طبقه فضاهای سبز با مقدار حدوداً ۴ درصد در مرتبه سوم بیشترین تغییرات قرار دارد. نتایج حاصله از پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی شهر کرمانشاه نشان داد که با این روند فعلی گسترش آتی و تغییرات کاربری، میزان کاربری اراضی ساخته شده شهری در سال ۱۴۱۱ به ۱۴۴۲۰/۴۰ هکتار خواهد رسید. همچنین نتایج پیش‌بینی برای ۱۵ سال آینده نشان می‌دهد که اراضی بایر و رها شده با (۲۵,۱۷ درصد) و اراضی فضای سبز با (۱۱,۲۶ درصد) بیشترین تغییر کاربری به اراضی ساخته شده شهری شامل می‌شود.

با توجه به آنچه که بیان شد برنامه‌ریزی مناسب در راستای حفظ کالبد شهر کرمانشاه با هدف جلوگیری از تخریب اراضی کشاورزی و تبدیل آن به اراضی ساخته شده شهری، توجه جدی مدیران و برنامه‌ریزان شهری برای شهر کرمانشاه را می‌طلبد. بنابراین نتایج این پژوهش می‌تواند به عنوان هشدار برای برنامه‌ریزان شهری شهر کرمانشاه باشد که بتوانند با انجام برنامه‌ریزی‌های مناسب از رشد بی‌رویه و لجام گسیخته شهر کرمانشاه جلوگیری به عمل آورند. در این راستا با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان پیشنهادات زیر را ارائه نمود:

-تاکید بر سیاست های عمودی سازی در شهر کرمانشاه با تاکید بر اراضی بایر و رها شده داخل مجموعه شهر کرمانشاه ؛

- اتخاذ سیاست ایجاد کمربند سبز با تاکید بر حفظ اراضی کشاورزی اطراف شهر کرمانشاه ؛

- ارائه تسهیلات حمایتی از فعالیت های کشاورزی اطراف شهر کرمانشاه با هدف تولید محصولات کشاورزی تامین کننده نیاز شهروندان ساکن شهر؛

- ایجاد پارک های ملی در حوزه استحفاظی شهر کرمانشاه با رویکرد گردشگری و تجاری (ایجاد تسهیلات امکان خرید مستقیم محصولات کشاورزی)؛

- کنترل بیشتر بر اراضی کشاورزی با هدف جلوگیری از تخریب آنها (تهیه نقشه های مالکیت و کاداستر برای اراضی کشاورزی)؛

- جلوگیری از ساخت و ساز در حریم پهنه های آبی موجود در محدوده شهر کرمانشاه؛

منابع

۱. احدنژاد روشتی، محسن. زلفی، علی. شکری‌پور دیزج، حسین (۱۳۹۰) "ارزیابی و پیش‌بینی گسترش فیزیکی شهرها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی شهر اردبیل ۱۳۶۳ - ۱۴۰۰)", فصل‌نامه آمایش محیط، شماره ۱۵، صص ۱۲۴ - ۱۰۷.
۲. پورمحمدی، محمدرضا، جمالی، فیروز و اصغری زمانی، اکبر (۱۳۸۵) "ارزیابی گسترش فضایی - کالبدی شهر زنجان با تاکید بر تغییر کاربری زمین طی دوره ۱۳۸۴ - ۱۳۵۵ (۲۰۰۵ - ۱۹۷۵)", فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۳، صص ۲۹-۴۶.
۳. رستمی، مسلم. بهمن اورامانی، مظفر. خانه باد، ناصر (۱۳۹۰) "تحلیل پراکنش فضایی پارک‌های منطقه یک شهر کرمانشاه با استفاده از GIS"، فصلنامه چشم‌انداز جغرافیایی (مطالعات انسانی)، سال هشتم، شماره ۱۵، صص ۵۰-۶۹.
۴. زارع، محمد. تیموریان، تیمور. جوری، محمد حسن (۱۳۹۶) "پایش تغییرات کاربری اراضی/ پوشش با استفاده از شاخص‌های شدت تغییرات، درجه پویایی و مقایسه پس از طبقه‌بندی"، فصلنامه اکوسیستم‌های طبیعی/ایران، سال هشتم، شماره ۲۷، صص ۱۳۶-۱۲۳.
۵. سردشتی، ماهرخ و همکاران (۱۳۸۹) "آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی حوضه طالقان از سال ۲۰۰۲-۱۹۸۷ با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست و سنجنش از دور"، همایش ملی ژئوماتیک ۱۹، اردیبهشت ۱۳۸۹.
۶. فتحی زاده، حسن. زارع، محمد. کریمی، حاجی. خنامانی، علی (۱۳۹۷) "شبیه سازی زمانی- مکانی تغییرات سیمای سرزمین با استفاده از مدل تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار (مطالعه موردی: منطقه خشک و نیمه خشک میمه دهران)", دو فصلنامه خشک بوم، جلد ۸، شماره ۱، صص ۲۶ - ۱۱.
۷. فیضی زاده، بختیار. حاجی میر رحیمی، سید محمود (۱۳۸۶) "آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش طبقه بندی شی‌گرا (مطالعه موردی: شهرک اندیشه)", همایش ژئوماتیک ۱۷، سازمان نقشه برداری، صص ۴۰ - ۵۰.
۸. کریمی فیروزجانی، محمد. کیاورز، مجید و کلاتری، محسن (۱۳۹۷) "پایش و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و گسترش فیزیکی شهر بابل در دوره زمانی ۱۴۱۹ - ۱۳۶۴ با استفاده از تصاویر چند زمانه لندست"، نشریه علمی - پژوهشی برنامه‌ریزی توسعه کالبدی، سال سوم، شماره ۷، صص ۵۲ - ۳۲.
۹. مرکز آمار ایران (۱۳۹۵) سالنامه آماری استان کرمانشاه.
۱۰. میرکتولی، جعفر. قدمی، مصطفی. مهدیان بهنمیری، معصومه. محمدی، سیده سحر (۱۳۹۰) "مطالعه و بررسی روند و گسترش کالبدی- فضایی شهر بابل با استفاده از مدل‌های آنروپی شانون و هلدرن"، مطالعات برنامه‌ریزی سکونتگاه‌های انسانی (چشم‌انداز جغرافیایی)، دوره ۶، شماره ۱۶، صص ۱۳۳ - ۱۱۵.
11. Ahadnejad, M (2002). "Environmental land use Chang detection and assessment using with multi -temporal satellite imagery", *Mapasia 2002*, Bangkok, Thailand.
12. Ahadnejad, M., Maruyama, Y., Yamazaki, F (2009). "Evaluation and Forecast of Human Impacts based on Land Use Changes using Multi-Temporal Satellite Imagery and GIS: A Case study on Zanjan, Iran", *J. Indian Soc. Remote Sensing*, No: 37:659 669.
13. Cheng, J. (2003). "Modelling Spatial & Temporal Urban Growth. Doctoral Dissertation Netherlands": *International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC)*.

14. Gong, P (1993) "Change Detection Using Principal Component Analysis and Fuzzy Set Theory", *Can, J. Remote Sensing*, 19(1) 22- 29.
15. Hathout, S. (2002) "The use of GIS for monitoring and predicting urban growth in East and West St Paul, Winnipeg, Manitoba, Canada". *Journal of Environmental Management*, 66: 229-238.
16. Lahti, J. (2008) "Modeling urban growth using Cellular Automata: A case study of Sydney, Australia. (Msc)". *Geo-Information Science and Earth Observation*.
17. Megahed, Y., Cabral, P., Silva, J., & Caetano, M. (2015) "Land cover mapping analysis and urban growth modeling using remote sensing techniques in Greater Cairo Region—Egypt". *ISPRS International Journal of Geo- Information*, 4(3), 1750-1769.
18. Mishra, Monalisha, Mishra, Kamal Kant & Subudhi, A. P., (2014) "Urban sprawl mapping and land use change analysis using remote sensing and GIS (Case study of Bhubaneswar City, Orissa)". Retrieved from www.gisresources.com
19. Nazarnia, N., Schwick, C., & Jaeger, J. A. (2016) "Accelerated urban sprawl in Montreal, Quebec City, and Zurich: Investigating the differences using time series 1951–2011". *Ecological Indicators*, 60, 1229-1251.
20. Norris, J.R. (1997). *Markov Chains*. Cambridge University Press.
21. Silveira, J. J., Espíndola, A. L., & Penna, T. J. P. (2006) "Agent-based model to rural– urban migration analysis". *Physical A: Statistical Mechanics and its Applications*, 364, 445-456.
22. Sisodia, P. S., Tiwari, V., & Dahiya, A. K. (2016) "Urban Sprawl Monitoring using Remote Sensing and GIS Techniques of the City Jaipur, India". *International Journal of Applied Geospatial Research (IJAGR)*, 7(3), 93-104.
23. Sudhira, H. S. (2004) "Integration of Agent-Based And Cellular Automata Models for Simulating Urban Sprawl", Master of Science Thesis. *The Netherlands: International Institute for geo-Information Science and Earth Observation Enschede*.
24. Wakode, Hemant Balwant, Klaus, Baier, Ramakar, Jha. & Raffig, Azzam, (2014) "Analysis of urban growth using Lands at TM/ETM data and GIS- a case study of Hyderabad, India". *Arabian Journal of Geosciences*, 7(1), 109-121.
25. Wu, Q., Li, H.Q., Wang, R.S., Paulssen, J., He, Y., Wang, Min., Wang, B.H., & Wang, Z. (2006) "Monitoring and predicting land use change in Beijing using remote sensing and GIS", *Landscape and urban planning*, Article in press.