

# مدل سازی تغییرات دینامیک کاربری اراضی

## با استفاده از پردازش شیء گرا تصاویر ماهواره‌ای و مدل CA-Markov

### مطالعه موردی: شهر شیراز

حمید ابراهیمی<sup>۱</sup>

علی اکبر رسولی<sup>۲</sup>

احمد احمدپور<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۰۸/۱۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۰۵/۲۰

\*\*\*\*\*

#### چکیده

تغییرات کاربری اراضی از جمله فرآیندهای اجتناب ناپذیر و محصول واکنش میان عوامل انسانی و طبیعی می‌باشد. داده‌های سنجش از دور و روش‌های نوین در زمینه پردازش تصاویر ماهواره‌ای به طور گسترده‌ای برای تعیین نوع، مقدار و محل تغییر کاربری زمین استفاده می‌گردد. نقشه‌های کاربری اراضی و نقشه‌های پیش‌بینی تغییرات مکانی-زمانی کاربری اراضی، تأمین کننده بخش عمده‌ای از اطلاعات مورد نیاز برنامه‌ریزان و مدیران شهری در زمینه اتخاذ تدابیر صحیح و تصمیم‌گیری‌های اصولی در جهت نیل به توسعه پایدار شهری می‌باشند. در این مطالعه با پردازش شیء گرا تصاویر ماهواره‌ای لندست متعلق به سال‌های ۱۳۸۴، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۴ به مدل‌سازی تغییرات دینامیک کاربری اراضی شهر شیراز پرداخته و از مدل تلفیقی زنجیره مارکوف-سلول‌های خودکار در طی دو مرحله، برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی استفاده شده است. در مرحله اول، با استفاده از نقشه کاربری اراضی سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۹، کاربری اراضی سال ۱۳۹۴ پیش‌بینی گردید. به منظور صحت سنجی نتایج حاصله، از نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۹۴ استفاده و نتایج نشان‌دهنده دقت ۸۹ درصدی مدل در این مرحله می‌باشد. در مرحله بعد، با تنظیم پارامترهای مدل طبق مرحله قبل، با استفاده از نقشه کاربری اراضی سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۴ به مدل‌سازی کاربری اراضی سال ۱۳۹۹ پرداخته شد. نتایج حاصل از بررسی تغییرات صورت گرفته در بازه ۲۰ ساله مورد بررسی، نشان‌دهنده تغییر مساحت اراضی ساختمانی از ۳۸ کیلومتر مربع در سال ۱۳۸۴ به ۱۴۲ کیلومتر مربع در سال ۱۳۹۹ می‌باشد که حاکی از رشد قابل توجه اراضی مسکونی در محدوده زمانی مورد بررسی بوده و نیازمند تدوین برنامه‌های اصولی در زمینه بهبود مدیریت شهری می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: کاربری اراضی، سنجش از دور، پردازش شیء گرا، CA-Markov، شهر شیراز

\*\*\*\*\*

۱- کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تبریز (نویسنده مسئول)، hamdebrahimi@gmail.com

۲- استاد، گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تبریز، rasouli@tabrizu.ac.ir

۳- کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ahmad\_ahmadpour17@yahoo.com

## ۱- مقدمه

مورد استفاده قرار می‌گیرند (Walter, 2004: 225). طبقه‌بندی کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، به دو روش پیکسل پایه و شیء‌گرا صورت می‌گیرد (Duro, 2012: 260). روش طبقه‌بندی پیکسل پایه، بر مبنای ارزش‌های عددی تصاویر انجام شده و پیکسل‌های تصویر به عنوان واحد اصلی پردازش محسوب می‌شوند، این در حالی است که بسیاری از پدیده‌های زمین، دارای ارزش‌های عددی یکسانی بر روی تصاویر ماهواره‌ای هستند و طبقه‌بندی بر این اساس نتیجه مطلوبی را ارائه نخواهد کرد (فیضی زاده، ۱۳۸۶). با توجه به مشکلات طبقه‌بندی پیکسل پایه، استفاده از روش طبقه‌بندی شیء‌گرا در طی دهه اخیر با اقبال بسیاری از جانب محققین همراه بوده است (Blaschke, 2010: 2). روش‌های پردازش شیء‌گرای تصاویر ماهواره‌ای (OBIA<sup>۱</sup>)، از جمله روش‌های نوینی می‌باشند که امکان استفاده از اطلاعات محیطی و مکانی را در کنار اطلاعات طیفی فراهم می‌آورند (Feizizadeh et al, 2014: 6). در این روش علاوه بر ارزش عددی پیکسل‌ها از اطلاعات مربوط به بافت، شکل و الگو نیز در طبقه‌بندی استفاده می‌شود.

به منظور پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی تاکنون مدل‌های زیادی مورد استفاده قرار گرفته‌اند که با توجه به ماهیت پیچیده، دینامیک و غیرخطی موضوع چندان مورد توجه نبوده‌اند. این در حالی است که استفاده از مدل ترکیبی CA-Markov که تلفیقی از زنجیره مارکوف و مدل سلول‌های خودکار (Cellular Automata) می‌باشد، به عنوان روشی مناسب در مدل‌سازی مکانی-زمانی تغییرات کاربری اراضی در نظر گرفته می‌شود. به‌طور کلی توانایی مدل‌سازی و شبیه‌سازی سناریوهای مختلف با استفاده از مدل‌های کارآمد در تحلیل‌های مکانی و استفاده از روش‌های نوین در پردازش تصاویر ماهواره‌ای، امکان بررسی و پیش‌بینی تغییرات مکانی-زمانی کاربری اراضی را مقدور می‌سازد.

با توجه به اهمیت موضوع بررسی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی، تحقیقات مختلفی در این زمینه صورت

توسعه فیزیکی شهرها فرآیند پیچیده‌ای است که با مطالعه روابط متقابل میان عوامل بیوفیزیکی و انسانی مورد بررسی قرار می‌گیرد. توسعه فیزیکی شهرها با تغییرات زیادی از جمله تغییرات کاربری اراضی شهری همراه می‌باشد (He et al, 2008). کاربری اراضی از جمله مهم‌ترین شاخص‌هایی بوده که انسان با استفاده از آن، در کنار فراهم ساختن موجبات رشد و توسعه اجتماعی-اقتصادی خود، ساختارها و فرآیندهای محیط زیست را تغییر داده است. کاربری اراضی نشانگر انواع بهره‌برداری از زمین به منظور رفع نیازهای بشری است، از این رو انسان و فعالیت‌های او، عامل تشکیل‌دهنده کاربری اراضی می‌باشند. در نتیجه تغییرات کاربری اراضی از جمله فرآیندهای اجتناب‌ناپذیر بوده و محصول واکنش میان عوامل انسانی و طبیعی می‌باشد. نقشه‌های کاربری اراضی و نقشه‌های پیش‌بینی تغییرات مکانی-زمانی کاربری اراضی، تأمین‌کننده بخش عمده‌ای از اطلاعات مورد نیاز برنامه‌ریزان و مدیران شهری در اتخاذ تدابیر صحیح و تصمیم‌گیری‌های اصولی در جهت نیل به توسعه پایدار شهری می‌باشند. پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در زمینه برآورد تأثیرات توسعه، آماده‌سازی طرح‌های کاربری اراضی، شناسایی الگوهای کاربری اراضی و برنامه‌ریزی با محوریت توسعه پایدار شهری بسیار تأثیرگذار خواهد بود.

تکنولوژی سنجش از دور با دارا بودن قابلیت‌هایی همانند: ارائه اطلاعات به روز و دقیق از کمیت و کیفیت مناطق طبیعی و شهری، پردازش رقومی تصاویر، فراهم نمودن امکان مقایسه زمانی و مکانی پدیده‌ها، عوارض و تنوع محصولات و همچنین به‌عنوان ابزاری قدرتمند در راستای افزایش کارایی مدیریت شهری محسوب می‌گردد؛ به‌طوری‌که از داده‌های سنجش از دور برای تعیین نوع، مقدار و محل تغییر کاربری زمین استفاده می‌گردد (Macleod & Congalton, 1998: 227). تکنولوژی سنجش از دور در سراسر جهان به شکل گسترده‌ای در تهیه نقشه‌های کاربری اراضی

<sup>۱</sup>- Object Based Image Analysis

Peterson و همکاران (۲۰۰۹)، با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک و CA-Markov به بررسی روند و الگو-های تغییرات پوشش جنگلی جهت مدیریت جنگل در جنوب سیبری پرداختند. نگارندگان با استفاده از تصاویر سنجنده‌های مختلف ماهواره لندست در دو دوره مجزا در سال‌های ۱۹۸۹-۱۹۷۵ و ۲۰۰۱-۱۹۹۰ به مدل‌سازی پوشش جنگلی منطقه در سال ۲۰۱۳ پرداختند.

Chen و همکاران (۲۰۰۹) به مقایسه روش‌های طبقه‌بندی پیکسل پایه و شی‌گرا در استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای اقدام نمودند، پژوهشگران پس از انجام طبقه‌بندی با دو روش پیکسل پایه و شی‌گرا نتیجه می‌گیرند که الگوریتم طبقه‌بندی فازی در روش طبقه‌بندی شی‌گرا با دقت کلی ۹۶/۴۲ درصد در مقایسه با الگوریتم طبقه‌بندی حداکثر احتمال در روش طبقه‌بندی پیکسل پایه با دقت کلی ۷۷/۷۹ درصد، در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، از دقت بالاتری برخوردار است.

Huishi و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای QuickBird سال‌های ۱۹۵۹، ۲۰۰۲، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۹ به مطالعه تغییرات پوشش علفزارهای طی ۵۰ سال گذشته پرداخته و با استفاده از مدل CA-Markov اقدام به شبیه‌سازی این منطقه در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰ نمودند، نتایج نشان‌دهنده کاهش ۴ درصدی علفزارهای منطقه می‌باشد.

Rasuly و همکاران (۲۰۱۳)، با استفاده از تصاویر ماهواره لندست مربوط به سال‌های ۱۹۹۹، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۱ با اجرای طبقه‌بندی نظارت‌شده، به تهیه نقشه کاربری اراضی مناطق اطراف معدن مس سونگون پرداخته و سپس با مدل‌های CA-Markov به پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی منطقه در سال ۲۰۱۵ اقدام کرده‌اند. نتایج نشان‌دهنده کاهش ۴ درصدی مساحت اراضی جنگلی منطقه در اثر فعالیت‌های معدن مس سونگون و همچنین دقت مناسب مدل CA-Markov می‌باشد.

Moghadam و Helbich (۲۰۱۳)، با بهره‌گیری از تصاویر

گرفته است که از جمله آن تحقیقات می‌توان به موارد زیر اشاره کرد؛ زبردست و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مربوط به سه دوره زمانی (۲۰۰۲-۲۰۰۶-۲۰۰۸)، به بررسی روند تغییرات پوشش اراضی منطقه حفاظت‌شده ارسباران پرداختند، یافته‌های این پژوهشگران نشان می‌دهد که کاهش مساحت اراضی جنگلی منطقه ارسباران، با شتاب کمتری در ۴ سال اول قابل مشاهده است ولی در دوره دوم طی سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۸ دارای روند پرشتابی بوده به نحوی که بیش از ۱۰ درصد از پوشش‌های جنگلی منطقه ارسباران تخریب شده است.

سرودی و جوزی (۱۳۹۲)، با هدف بررسی تغییرات فضای سبز منطقه ۱ شهرداری تهران، از شاخص NDVI و تصاویر TM و IRS استفاده کرده و با اعمال مدل مارکوف و سلول‌های خودکار مارکوف به پیش‌بینی تغییرات فضای سبز منطقه در سال ۱۴۰۴ اقدام کردند، نتایج این تحقیق حاکی از روند نزولی در وضعیت کمی (وسعت) فضای سبز منطقه داشته ولی وضعیت فضای سبز منطقه از نظر کیفی تغییری نداشته است.

نیکورزم و جوزی (۱۳۹۴)، با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای و شاخص NDVI، به بررسی تغییرات فضای سبز مناطق ۱۸، ۱۹ و ۲۰ شهرداری تهران پرداخته و برای پیش‌بینی تغییرات آینده از مدل زنجیره مارکوف استفاده نموده‌اند. نتایج نشان می‌دهند که بیشترین تغییر در میان کاربری‌های مختلف مربوط به تبدیل کلاس کاربری فضای سبز به اراضی شهری بوده و همچنین افزایش ۱۲/۵ هکتاری در وسعت اراضی شهری در دوره مورد مطالعه مشاهده شده است.

Wood و همکاران (۱۹۹۷) با استفاده از تصاویر سال‌های ۱۹۷۳، ۱۹۷۸ و ۱۹۹۵ سنجنده MSS و TM ماهواره لندست اقدام به تهیه نقشه پوشش اراضی در ۵ کلاس و توسعه مدل مکانی مارکوف برای شبیه‌سازی تغییرات زمانی- مکانی پوشش اراضی کردند، پژوهشگران توانایی پیش‌بینی تغییرات پوشش اراضی توسط مدل مارکوف را بهتر از روش‌های آماری و متریک فضایی ذکر کردند.

اطلاعات طیفی از اطلاعات مربوط به بافت و شکل نیز استفاده می‌شود. فرآیند طبقه‌بندی شیء‌گرا در سه مرحله کلی قابل انجام است که شامل سگمنت سازی (قطعه‌بندی<sup>۲</sup>)، طبقه‌بندی<sup>۳</sup> و ارزیابی صحت طبقه‌بندی می‌باشد. به طور کلی سگمنت به معنی گروهی از پیکسل‌های همسایه در داخل یک ناحیه است که شباهت‌هایی نظیر ارزش عددی و بافت، مهم‌ترین معیار مشترک میان آن‌ها می‌باشد (فیضی زاده، ۱۳۸۶) و مرحله سگمنت سازی اولین مرحله در ریز طبقه‌بندی تصویر به واحدهای تصویری مجزا می‌باشد (Huang & NI, 2008: 215) در سگمنت سازی مفسر عناصر تصویر را بر اساس بافت، تن، رنگ، شکل و سایر عوامل مورد نظر، تفکیک می‌نماید.

به منظور طبقه‌بندی و در تعریف شرایط طبقه‌بندی مفسر می‌تواند از پارامترهای طیفی و بصری مختلفی همچون؛ بافت، شکل، تن، رنگ و شاخص‌های طیفی مختلف استفاده نماید. الگوریتم طبقه‌بندی فازی متناسب با شرایطی است که مفسر برای هر کلاس تعیین می‌کند و همچنین تئوری فازی اجازه می‌دهد که یک پیکسل بر اساس درجه عضویت مشخص به چندین کلاس نسبت داده شود (Tso and Mather, 2001: 157) و بر اساس اختلاف سطوح شیء‌های<sup>۴</sup> موجود انجام می‌شود (Walter, 2004: 231). با تعیین ویژگی‌های مربوط به اطلاعات طیفی و ویژگی‌های هندسی کلاس‌ها در طی فرآیند پردازش تصویر، می‌توان از عملگرهای منطق فازی شامل OR، MAX و AND استفاده نموده و شرایط مناسب برای طبقه‌بندی را تعریف نمود. در مرحله انتهایی بایستی ارزیابی صحت طبقه‌بندی انجام گیرد، به طور کلی اعتبارسنجی بخش مهمی از طبقه‌بندی شیء‌گرا بوده و لازمه استفاده از هر نوع اطلاعات موضوعی، آگاهی از میزان صحت و درستی آن است (Anderson et al, 1975). در فرآیند پردازش شیء‌گرا، روش‌های ارزیابی و اعتبارسنجی

ماهواره لندست در فاصله زمانی بین سال‌های ۱۹۷۳ تا ۲۰۱۰ به بررسی تغییرات کاربری اراضی در بخشی از کشور هندوستان پرداخته‌اند، نتایج نشان‌دهنده کاهش چشمگیر ۲۰ درصدی مساحت زمین‌های بایر و اراضی کشاورزی بوده است. در قسمت بعدی این تحقیق به منظور مدل‌سازی تغییرات در سال‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۳۰ از مدل CA-Markov استفاده شده است.

Berberoglu و همکاران (۲۰۱۶)، با استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی شهری و تصاویر ماهواره‌ای در دوره‌های زمانی مورد نظر به مقایسه نتایج حاصل از برخی تکنیک‌ها از جمله مدل CA-Markov در مدل‌سازی رشد شهری برای شهر آدنا ترکیه پرداختند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان‌دهنده دقت بسیار مناسب این مدل برای پیش‌بینی رشد شهری بوده است. با توجه به منابع مطرح‌شده، بررسی تغییرات کاربری اراضی شهری و پیش‌بینی آینده با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای، روش‌های پیکسل پایه و همچنین مدل CA-Markov توسط محققین مختلفی انجام شده است. لیکن در میان تحقیقات صورت گرفته کمتر به مسئله پردازش شیء‌گرا تصاویر ماهواره‌ای برای تولید نقشه‌های کاربری اراضی پرداخته شده است. استفاده از تکنیک‌های کارآمد و به‌روز در زمینه پردازش تصاویر ماهواره‌ای منجر به افزایش دقت و قابلیت نتایج حاصل از بررسی تغییرات و پیش‌بینی شرایط آینده خواهد شد، به همین دلیل در مطالعه پیشروی به بررسی تغییرات کاربری اراضی شهر شیراز در بازه ۱۵ ساله (۱۳۸۴-۱۳۹۴) با استفاده از پردازش شیء‌گرا تصاویر ماهواره‌ای اقدام و سپس به تهیه نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی شهر شیراز در سال ۱۳۹۹ با استفاده از مدل سلول‌های خودکار- مارکوف (CA-Markov) پرداخته خواهد شد.

## ۲- مبانی نظری تحقیق

### ۲-۱- طبقه‌بندی شیء‌گرا (OBIA)

در پردازش شیء‌گرا تصاویر ماهواره‌ای علاوه بر

<sup>2</sup>- Segmentation

<sup>3</sup>- Classification

<sup>4</sup>- Objects

<sup>1</sup>- Object Based Image Analysis

بعدی می‌باشد (به تعداد پیکسل). ماتریس مساحت‌های انتقال با استفاده از رابطه ۳ محاسبه می‌گردد.

$$A = (A_{ij}) = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{n1} & A_{n2} & \dots & A_{nn} \end{bmatrix} \quad \text{رابطه ۳:}$$

در این معادله A ماتریس مساحت‌های انتقال می‌باشد و A<sub>ij</sub> مجموع مساحت‌های حاصل شده از وضعیت i<sup>m</sup> به وضعیت j<sup>m</sup> در طی سال‌های شروع تا هدف و n تعداد انواع کاربری‌ها می‌باشد (Xin et al, 2012: 14).

### ۲-۳- مدل سلول‌های خودکار CA<sup>۳</sup>

مدل سلول‌های خودکار توسط الم و ون نومن در سال ۱۹۴۰، جهت آماده‌سازی و تهیه چارچوبی برای بررسی رفتار سیستم‌های پیچیده طراحی شده است. مدل CA یک سیستم دینامیک گسسته است که حالت هر سلول در زمان t+1 به وسیله حالت سلول‌های همسایگی در زمان t و مطابق قوانین تبدیل از پیش تعریف شده، تعیین می‌گردد. به عنوان یک مدل تحلیلی با پویایی زمانی- مکانی توانایی شبیه‌سازی دوبعدی تغییرات را دارا بوده و با توجه به انعطاف‌پذیری بالا، سادگی در کاربرد و روابط نزدیک با داده‌های سنجش از دور بسیار پرکاربرد می‌باشد (Stevens et al, 2007: 762). واضح است که مدل CA همانند زنجیره مارکوف می‌باشد، تنها با این تفاوت که در سلول‌های خودکار قوانین انتقال نه تنها بر اساس وضعیت سابق بلکه بر مبنای شرایط همسایگی می‌باشند. این مدل در پیش‌بینی تغییرات از نظر مکانی به دلیل در نظر گرفتن وضعیت و شرایط همسایگی بهتر عمل می‌کند.

### ۲-۴- مدل CA-Markov

با توجه به محدودیت‌های زنجیره مارکوف و مدل CA، استفاده ترکیبی از این دو مدل به عنوان روشی مناسب در مدل‌سازی تغییرات مکانی- زمانی کاربری اراضی مطرح شده است (Li & Reynolds, 1997: 212). در مدل CA-Markov، زنجیره

شامل استخراج شاخص ضریب کاپا<sup>۱</sup>، دقت کلی<sup>۲</sup> طبقه‌بندی و ماتریس خطا بر پایه داده‌های برداشت میدانی می‌باشد.

### ۲-۲- زنجیره مارکوف

زنجیره مارکوف یک مدل ریاضیاتی بوده و توسط آندره مارکوف در سال ۱۹۰۷ ارائه شده است و توانایی مدل‌سازی انتقال از یک حالت به حالت دیگر مطابق با احتمالات ثابت در یک بازه زمانی مشخص بعدی را دارا می‌باشد. تحلیل زنجیره مارکوف یک ابزار مفید برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی، خصوصاً در زمینه تشریح و بررسی تغییرات در شرایط پیچیده به کار گرفته می‌شود (Benito et al, 2010: 319). خروجی زنجیره مارکوف شامل، ماتریس احتمالات انتقال و ماتریس مساحت‌های انتقال می‌باشد. در واقع ماتریس احتمالات انتقال، بیان‌کننده احتمالی است که هر پیکسل در کلاس مشخص بر طبق وضعیت پیشین خود، در طی دوره زمانی معین به کلاس‌های دیگر تبدیل شود. بیان ریاضیاتی ماتریس احتمالات انتقال به صورت رابطه ۱ می‌باشد.

$$P = \begin{bmatrix} p_{00} & p_{01} & \dots & p_{0m} \\ p_{10} & p_{11} & \dots & p_{1m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n0} & p_{n1} & \dots & p_{nm} \end{bmatrix} \quad \text{رابطه ۱:}$$

در ماتریس بالا،  $p_{ij}$  احتمال تبدیل i امین نوع کاربری به j امین نوع از حالت اولیه به حالت نهایی می‌باشد و n تعداد انواع کاربری‌های اراضی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در نهایت پیش‌بینی مدل زنجیره مارکوف براساس رابطه شماره ۲ صورت می‌پذیرد.

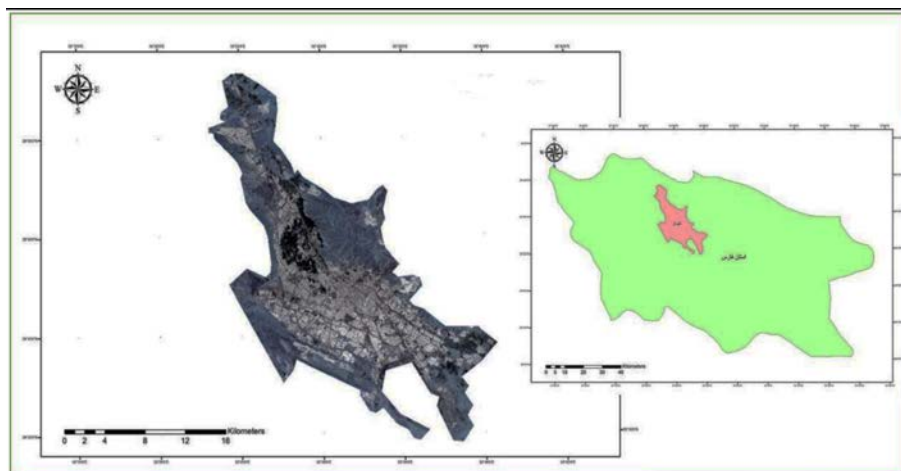
$$p_{(n)} = (p_{n-1})p_{ij} \quad \text{رابطه ۲:}$$

که در این رابطه P(n) احتمال وضعیت هر کدام از کاربری‌ها در هر زمان و P(n - 1) احتمال وضعیت اولیه هر کاربری می‌باشد (Xin et al, 2012: 14)، همچنین ماتریس مساحت‌های انتقال بیانگر کل مساحت‌های مورد انتظار برای تغییر در زمان

<sup>۱</sup>- kappa index

<sup>۲</sup>- Overall Accuracy

<sup>۳</sup>- Cellular Automata



نگاره ۱: منطقه مورد مطالعه

است و متوسط ارتفاع آن از سطح دریا ۱۵۵۰ متر می‌باشد. جمعیت شیراز در آخرین سرشماری صورت گرفته برابر با ۱۷۰۰۶۸۷ نفر بوده است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۲)، موقعیت منطقه مورد مطالعه در نگاره شماره ۱ نشان داده شده است.

### ۳-۳- روند اجرای پژوهش

پژوهش حاضر شامل دو بخش کلی می‌باشد که بخش اول به تهیه نقشه کاربری اراضی شهر شیراز با پردازش فازی شیء‌گرا تصاویر ماهواره‌ای پرداخته و در بخش دوم به مدل‌سازی تغییرات و پیش‌بینی کاربری اراضی برای سال ۱۳۹۹ اقدام شده است.

### ۴- یافته‌ها و نتایج

#### ۴-۱- بخش اول: تهیه نقشه کاربری اراضی

نگاره ۲ مراحل و سطوح مختلف این بخش از پژوهش را نمایش می‌دهد.

به منظور بهبود دقت و افزایش صحت نتایج حاصل از مدل CA-Markov نیاز به تصاویر طبقه‌بندی‌شده با دقت بالا به عنوان ورودی اصلی مدل ضروری است، از این رو استفاده از تکنیک‌های طبقه‌بندی شیء‌گرا مؤثر می‌باشد. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست سال ۱۳۸۴، ETM+ سال ۱۳۸۹ و سنجنده OLI ماهواره لندست سال ۱۳۹۴ می‌باشد. به منظور رفع برخی خطاهای موجود در تصاویر، انجام مرحله

مارکوف تغییرات زمانی میان کلاس‌های کاربری اراضی را به احتمالات تبدیل کرده و تغییرات مکانی میان کلاس‌های کاربری اراضی به وسیله قوانین تعیین‌شده توسط CA مشخص و کنترل می‌گردد (Eastman, 2009). بدین صورت که در ابتدا محاسبه احتمالات تبدیل توسط زنجیره مارکوف صورت گرفته و سپس براساس عملگر مکانی CA به شبیه‌سازی و مدل‌سازی کاربری اراضی در آینده پرداخته خواهد شد.

### ۳- مواد و روش‌ها

#### ۳-۱- ابزار مورد استفاده

تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در جدول شماره ۱ معرفی شده‌اند، همچنین در طی مراحل آماده‌سازی و تجزیه و تحلیل داده‌های پژوهش حاضر از نرم‌افزارهای ArcGIS 10.2، ENVI 5.1، IDRSI Selva و ECognition 9 استفاده شده است.

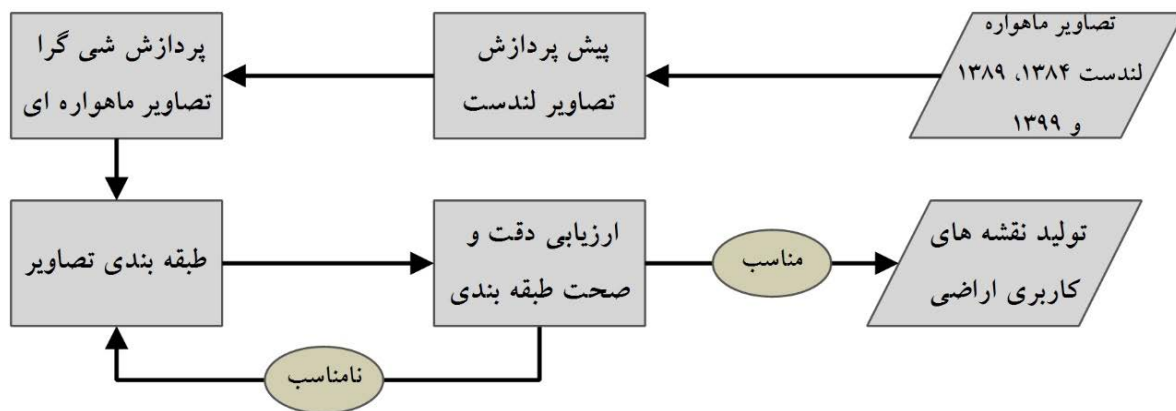
جدول ۱: مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده

نوع ماهواره	نوع سنجنده	تاریخ تصویربرداری	قدرت تفکیک مکانی
لندست ۵	TM	۱۳۸۴/۰۵/۰۶	۳۰ متر
لندست ۷	ETM+	۱۳۸۹/۰۵/۲۸	۳۰ متر
لندست ۸	OLI	۱۳۹۴/۰۵/۲۶	۳۰ متر

#### ۳-۲- منطقه مورد مطالعه

شهر شیراز از نظر جغرافیایی بین ۵۲ درجه و ۲۹ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۳۶ دقیقه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۲۹ درجه و ۴۱ دقیقه عرض شمالی در استان فارس واقع شده





### نگاره ۲: روند انجام پژوهش در بخش اول

برای سگمنت‌سازی تصاویر استخراج گردید. در مرحله طبقه‌بندی تصاویر با تعریف شرایط طبقه‌بندی برای هر یک از طبقات علاوه بر اطلاعات طیفی از اطلاعات مربوط به موقعیت، محتوا، بافت، شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی (NDVI)، شاخص ارتفاع‌یافته پوشش گیاهی (EVI) و مدل رقومی ارتفاع (DEM) نیز به منظور افزایش کارایی طبقه‌بندی کننده مورد استفاده قرار گرفته است.

در تهیه نقشه کاربری اراضی، کلاس‌های در نظر گرفته‌شده شامل مراکز مسکونی و ساختمانی، فضای سبز، شبکه ارتباطی (خیابان‌ها و معابر) و اراضی بایر (بدون کاربری) می‌باشد. در طبقه‌بندی شی‌گرا از الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه (Nearest Neighbor) استفاده‌شده و متناسب با خصوصیات و ویژگی‌های هر یک از کلاس‌ها شرایط طبقه‌بندی تعریف و براساس عملگر فازی عملیات طبقه‌بندی صورت گرفته است. نقشه کاربری اراضی مربوط به سال‌های ۱۳۸۴، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۴ دارای ۴ کلاس؛ مراکز مسکونی و ساختمانی، فضای سبز، شبکه ارتباطی (خیابان‌ها و معابر) و اراضی بایر (بدون کاربری) در نگاره شماره ۳ نمایش داده شده است.

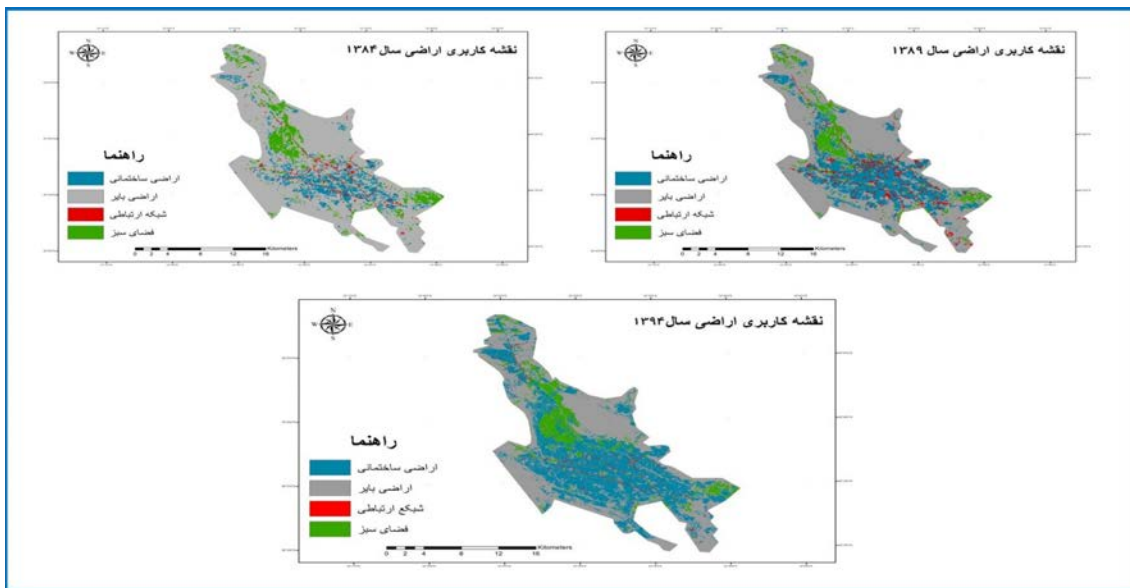
ارزیابی دقت نقشه‌های طبقه‌بندی حاصل از داده‌های سنجش از دور عمدتاً با استفاده از پارامترهای آماری ارزیابی دقت از جمله دقت کلی نقشه و ضریب کاپا صورت می‌گیرد. به منظور صحت سنجی نتایج حاصل، استفاده از

پیش‌پردازش بر روی تصاویر ضروری است (Rasuly et al, 2013). (3) با توجه به نوع طبقه‌بندی، مرحله پیش‌پردازش تصاویر شامل تصحیحات هندسی و اتمسفری خواهد بود. تصاویر مورد استفاده در این پژوهش زمین مرجع بوده و با توجه به قرارگیری دریاچه مهارلو در جنوب شرقی شهر شیراز، به منظور تصحیح اتمسفری از روش چاوز (کاهش ارزش عددی پیکسل‌های تیره) بهره گرفته شده است (Chavez, 1988).

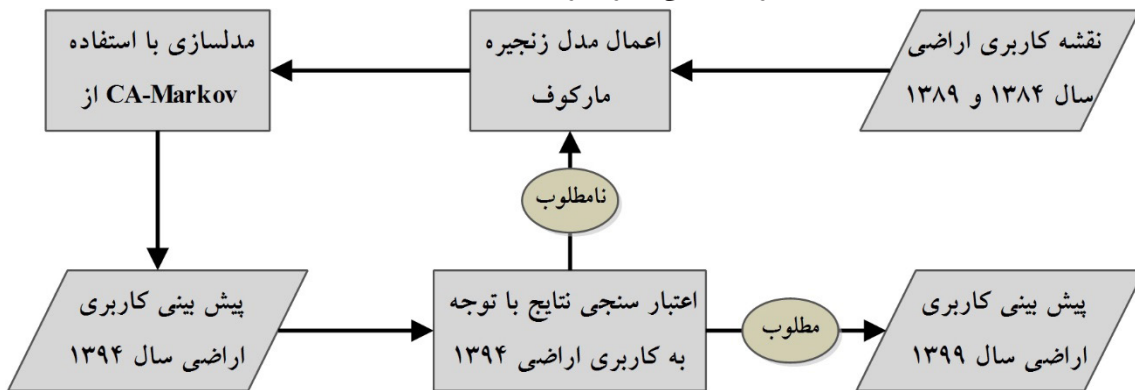
پس از مرحله پیش‌پردازش و آماده‌سازی تصاویر، اولین مرحله از طبقه‌بندی شی‌گرا سگمنت‌سازی بوده و از الگوریتم Multiresolution Segmentation استفاده شده است. این الگوریتم با به حداقل رساندن میانگین مکانی ناهمگنی‌ها و به هم پیوستن<sup>۱</sup> متوالی پیکسل‌ها در تصویر اقدام به ایجاد شی‌های تصویری<sup>۲</sup> می‌کند (Baat & Schape, 1999). تنظیم پارامتر مقیاس به طور مستقیم در میانگین اندازه شی‌ها تأثیرگذار بوده و ارزش‌های بزرگ امکان ایجاد شی‌های تصویری بزرگ را داشته و برعکس انتخاب ارزش عددی کوچک به عنوان مقیاس سگمنت‌سازی شی‌های تصویری کوچک را ایجاد می‌کند. علاوه بر روش سگمنت‌سازی و پارامتر مقیاس عواملی همچون رنگ، شکل و فشردگی در کیفیت سگمنت‌سازی مؤثر می‌باشند (فیضی زاده و همکاران، ۱۳۸۷: ۲۰). در این پژوهش، پارامتر مقیاس ۱۰، معیار شکل ۰/۴ و معیار فشردگی ۰/۲ به عنوان شرایط بهینه

<sup>۱</sup>- Merge

<sup>۲</sup>- Objects



نگاره ۳: نقشه کاربری اراضی شهر شیراز در سال‌های ۱۳۸۴، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۴



نگاره ۴: روند انجام پژوهش در بخش دوم

۴-۲- بخش دوم: مدل‌سازی تغییرات و پیش‌بینی کاربری اراضی  
 روند انجام بخش دوم از پژوهش در نگاره شماره ۴ نمایش داده شده است.

در مدل CA-Markov احتمال تغییر از یک طبقه کاربری اراضی به طبقه دیگر در جدولی تحت عنوان ماتریس انتقال محاسبه و سپس با توجه به ماتریس احتمال انتقال و فاصله زمانی مورد نظر نقشه کاربری اراضی سال‌های آتی قابل پیش‌بینی خواهد بود. زنجیره مارکوف به منظور محاسبه احتمالات تبدیل براساس نقشه‌های کاربری اراضی استخراج شده از تصاویر سال‌های ۱۳۸۴، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۴ مورد استفاده قرار گرفت. دو ماتریس احتمالات انتقال با

داده‌های واقعیت زمینی که با استفاده از GPS اخذ می‌شود و همچنین استفاده از نقشه‌های تاریخی موجود بسیار متداول است. نتایج حاصل از ارزیابی نقشه‌های طبقه‌بندی شده کاربری اراضی در جدول شماره ۲ نمایش داده شده است. نتایج حاصل نشان‌دهنده مطلوبیت بسیار مناسب نقشه‌های کاربری اراضی تولید شده با استفاده از روش شی‌گرا می‌باشد.

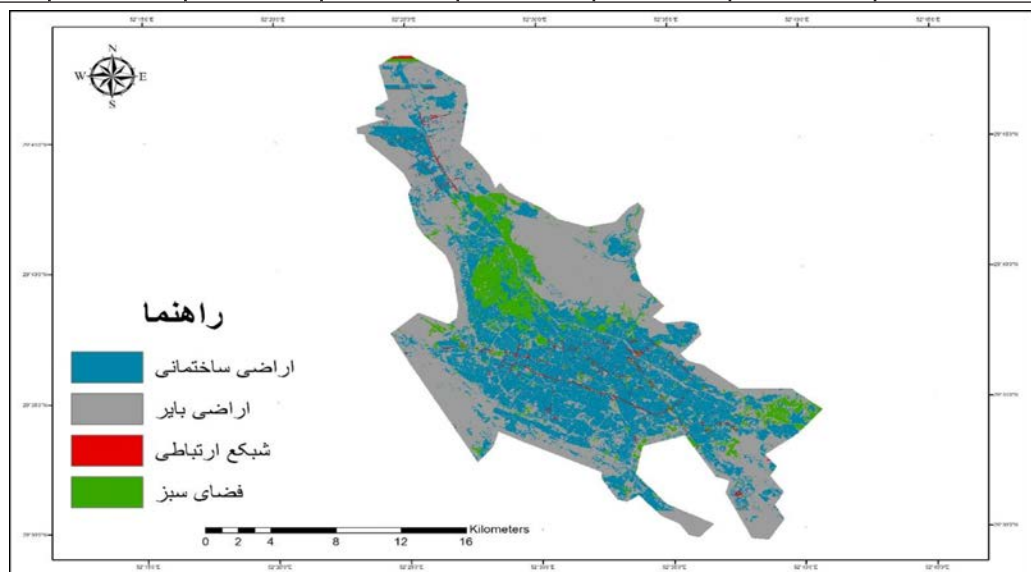
جدول ۲: نتایج ارزیابی دقت نقشه‌های طبقه‌بندی شده

تصویر	تاریخ	دقت کلی	ضریب کاپا
لندست ۵	۱۳۸۴/۰۵/۰۶	۸۷/۶	۰/۸۵
لندست ۷	۱۳۸۹/۰۵/۲۸	۸۵/۳	۰/۸۲
لندست ۸	۱۳۹۴/۰۵/۲۶	۹۴	۰/۹۲



جدول ۳: ماتریس احتمال انتقال

ماتریس احتمال انتقال (بین ۱۳۸۹-۱۳۹۴، ۵ سال دوم)				ماتریس احتمال انتقال (بین ۱۳۸۴-۱۳۸۹، ۵ سال اول)				کلاس‌های کاربری اراضی
فضای سبز	شبکه معابر	اراضی بایر	اراضی ساختمانی	فضای سبز	شبکه معابر	اراضی بایر	اراضی ساختمانی	
۰/۱۲۵	۰/۲۸۵	۰/۴۳۴	۰/۹۰۵	۰/۰۱۴	۰/۰۱۲	۰/۱۰۲	۰/۸۷۱	اراضی ساختمانی
۰/۰۸۰	۰/۲۲۹	۰/۶۶۰	۰/۴۵۰	۰/۱۰۲	۰/۵۳۶	۰/۲۶۲	۰/۵۹۸	اراضی بایر
۰/۱۱۶	۰/۲۹۵	۰/۱۳۷	۰/۰۳۰	۰/۱۱۸	۰/۱۱۱	۰/۱۵۲	۰/۰۳۶	شبکه معابر
۰/۸۵۱	۰/۰۰۶	۰/۱۰۸	۰/۰۳۳	۰/۵۶۸	۰/۰۲۵	۰/۱۹۷	۰/۲۰۹	فضای سبز



نگاره ۵: نقشه  
پیش‌بینی کاربری  
اراضی ۱۳۹۴

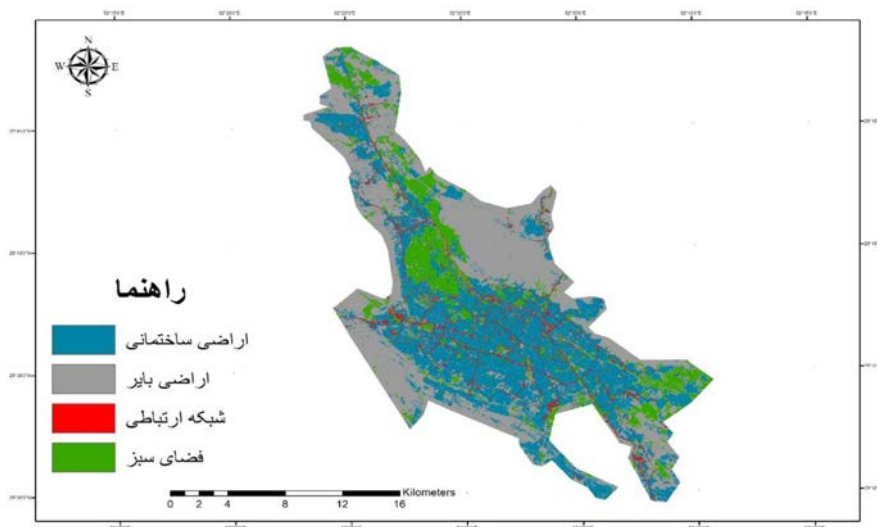
استفاده شده است. نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی سال ۱۳۹۴ تولید شده (نگاره شماره ۵) و به منظور ارزیابی نتایج حاصل از مدل CA-Markov از نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۹۴ حاصل از پردازش شیء‌گرا به عنوان نقشه واقعیت زمینی استفاده شده است.

نتایج حاصل از صحت سنجی مدل، نشان‌دهنده دقت کلی ۸۹ درصد و ضریب کاپا ۰/۸۷ می‌باشد. از این‌رو نتایج حاصل از مدل CA-Markov با توجه به مطالعات (Huishi و همکاران ۲۰۱۲، Rasuly و همکاران ۲۰۱۳) قابلیت بسیار خوبی در پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی شهر شیراز داشته، در نتیجه با تنظیم و کالیبراسیون پارامترهای موردنظر مدل و با استفاده از نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۴، به پیش‌بینی کاربری اراضی شهر شیراز در سال ۱۳۹۹ پرداخته شده و نتایج به دست آمده در نگاره شماره ۶ نشان داده شده است. همچنین در جدول شماره ۴ میزان تغییرات صورت گرفته

توجه به فاصله زمانی تصاویر به صورت جداول متقاطع از نقشه‌های کاربری زمین (۱۳۸۴-۱۳۸۹ و ۱۳۸۹-۱۳۹۴) تولید شده است (جدول شماره ۳).

طبق جدول شماره ۳ و در فاصله زمانی ۵ ساله اول، بیشترین احتمال تغییر مربوط به اراضی بایر و کمترین احتمال تغییر به شبکه معابر اختصاص داشته و بیشترین احتمال تغییر بین کلاس‌ها به صورت تبدیل اراضی بایر به اراضی ساختمانی می‌باشد. همچنین در فاصله زمانی ۵ ساله دوم، بیشترین احتمال تغییر مربوط به اراضی بایر و کمترین احتمال تغییر به فضای سبز اختصاص داشته و بیشترین احتمال تغییر بین کلاس‌ها به صورت تبدیل اراضی بایر به اراضی ساختمانی می‌باشد.

در مرحله بعدی و به منظور اعمال مدل CA-Markov، از نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۸۹ به عنوان نقشه مبنا و ماتریس احتمالات انتقال مربوط به سال‌های ۱۳۸۴ - ۱۳۸۹



نگاره ۶: نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی سال ۱۳۹۹

جدول ۴: تغییرات مساحت کلاس‌های کاربری اراضی

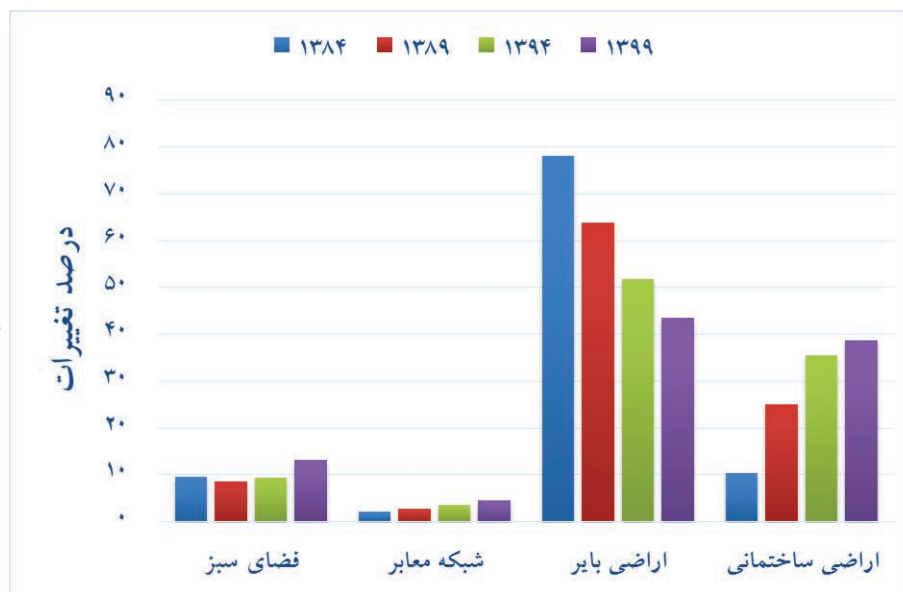
درصد	مساحت (km <sup>2</sup> )	درصد	مساحت (km <sup>2</sup> )	درصد	مساحت (km <sup>2</sup> )	درصد	مساحت (km <sup>2</sup> )	
۱۰/۳	۳۸	۷۸	۲۸۶	۲/۲	۸	۹/۵	۳۵	سال ۱۳۸۴
۲۵	۹۲	۶۳/۸	۲۳۴	۲/۷	۱۰	۸/۵	۳۱	سال ۱۳۸۹
۳۵/۴	۱۳۰	۵۱/۸	۱۹۰	۳/۵	۱۳	۹/۳	۳۴	سال ۱۳۹۴
۳۸/۷	۱۴۲	۴۳/۶	۱۶۰	۴/۶	۱۷	۱۳/۱	۴۸	سال ۱۳۹۹
	+۱۰۴		-۱۲۶		+۹		+۱۳	میزان تغییرات

در گذشته و پیش‌بینی شرایط ۵ ساله بعدی ارائه شده است. Zhou و همکاران (۲۰۰۸) و Pierce (۲۰۱۵)، بهره‌گیری از تکنیک‌های طبقه‌بندی شی‌گرا و استفاده از اطلاعات طیفی و پارامترهای دیگر تصویری به طور همزمان منجر به افزایش دقت نقشه‌های کاربری اراضی استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای خواهد شد. از این رو در این مطالعه از تکنیک طبقه‌بندی شی‌گرا فازی و علاوه بر اطلاعات طیفی از اطلاعات مربوط به موقعیت، محتوا، بافت، شاخص NDVI، شاخص EVI و مدل رقومی ارتفاع نیز به منظور افزایش کارایی طبقه‌بندی کننده استفاده شده است. مقایسه یافته‌های این تحقیق از نظر دقت کلی پیش‌بینی کننده با تحقیقات پیشینیان از جمله؛ زبردست و همکاران (۱۳۸۹)، سرودی و جوزی (۱۳۹۲)، Peterson و همکاران (۲۰۰۹) و Rasuly و همکاران (۲۰۱۳) نشان دهنده دقت بسیار مناسب مدل ترکیبی استفاده شده در مدل‌سازی تغییرات دینامیک در گذشته و پیش‌بینی شرایط ۵ ساله بعدی ارائه شده است.

### ۵- ارزیابی و بحث

همواره موضوع تغییر کاربری اراضی و رشد ناهمگون شهری از مشکلات اساسی کشورهای در حال توسعه بوده است (Li & Yeh, 2000). نتایج حاصل از این پژوهش نشان‌دهنده رشد سریع شهر شیراز در دوره ۱۵ ساله مورد بررسی بوده است، رشد اراضی شهری و انسان ساخت به طور کلی در مجاورت اراضی ساخته شده قبلی بوده که این روند گسترش متراکم شهری در تحقیقات دیگری نیز مشاهده شده است (Liu et al, 2010; Martellozzo & Clarke, 2011). با توجه به تأثیرگذاری مستقیم صحت نقشه‌های کاربری اراضی مورد استفاده در مدل‌سازی وضعیت آینده، در این مطالعه از تکنیک طبقه‌بندی شی‌گرا به عنوان یک روش بسیار قدرتمند در پردازش تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده است (Blaschke,

نگاره ۷: درصد تغییرات کاربری اراضی



تعریف‌شده و عملیات طبقه‌بندی صورت گرفت. به منظور پیش‌بینی کاربری اراضی در سال ۱۳۹۹ از مدل تلفیقی CA-Markov استفاده شده، در مرحله اول با استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۹ به پیش‌بینی کاربری اراضی سال ۱۳۹۴ پرداخته شد. صحت سنجی خروجی مدل با استفاده از نقشه کاربری اراضی موجود سال ۱۳۹۴ مورد آزمون قرار گرفته و نتایج نشان دهنده دقت ۸۹ درصدی خروجی مدل می‌باشد. در مرحله بعدی با استفاده از نقشه‌های سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۴ به مدل‌سازی کاربری اراضی شهر شیراز در سال ۱۳۹۹ پرداخته شده است. با بررسی تغییرات صورت گرفته در طی بازه ۲۰ ساله مورد بررسی، مساحت اراضی ساختمانی از ۳۸ کیلومترمربع در سال ۱۳۸۴ به ۱۴۲ کیلومترمربع در سال ۱۳۹۹ افزایش داشته و همچنین تغییرات مساحت کاربری فضای سبز در مقطع ۵ ساله اول با کاهش ۴ کیلومترمربعی همراه بوده، در صورتی که در مقاطع بعدی رشد کاربری فضای سبز مشاهده می‌شود. به طور کلی نتایج بدست آمده نشان دهنده وقوع تحولات گسترده در شهر شیراز در طی دوره زمانی مورد بررسی بوده؛ به طوری که میزان شهرنشینی و رشد مراکز سکونتی به شکل قابل توجهی افزایش یافته است. نتایج بدست آمده از تحقیق حاکی از سودمندی و کارایی تکنیک‌های پردازش شیء‌گرا تصاویر

کاربری اراضی شهری می‌باشد. در این مطالعه با استفاده از روش فازی شیء‌گرا در مرحله طبقه‌بندی تصاویر به تولید نقشه‌های کاربری اراضی با دقت بالا پرداخته شده و سپس با بهره‌گیری از تکنیک تلفیقی CA-Markov و نقشه‌های کاربری اراضی به مدل‌سازی تغییرات آینده شهر شیراز پرداخته شده است. نتایج حاصل از بررسی تغییرات صورت گرفته در گذشته و پیش‌بینی شرایط ۵ ساله بعدی در نگاره شماره ۷ نمایش داده شده است.

## ۶- نتیجه‌گیری

با توجه به پیچیدگی موضوع مدل‌سازی تغییرات دینامیک کاربری اراضی شهری استفاده از روش‌های به‌روز و کارآمد در زمینه تجزیه و تحلیل اطلاعات ضروری می‌باشد. از این‌رو به منظور تهیه نقشه کاربری اراضی شهر شیراز در دوره ۱۵ ساله مورد بررسی از تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های پردازش شیء‌گرا تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده است. با در نظر گرفتن کلاس کاربری‌های تعریف‌شده (اراضی ساختمانی، اراضی بایر، شبکه معابر و فضای سبز)، پارامترهای سگمنت‌سازی بهینه برای تصاویر مشخص و شرایط طبقه‌بندی برای هر یک از کلاس‌ها با استفاده از الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه تحت عملگرهای فازی

تغییرات فضای سبز با مدل مارکوف و شاخص NDVI و تبیین راهبردها با مدل SWOT، مطالعه موردی: مناطق ۱۸، ۱۹ و ۲۱ شهرداری تهران، دو فصلنامه پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری، سال ششم، شماره ۱، صص ۵۳-۷۲.

7- Anderson, J & et al (1975), A Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data, United States Government Printing Office, Washington.

8- Baatz, M & Schäpe, A (1999), Object-Oriented and Multi-Scale Image Analysis in Semantic Networks, 2nd International Symposium on Operationalization of Remote Sensing, Enschede, ITC.

9- Benito, P.R & et al (2010), Land use change in a Mediterranean metropolitan region and its periphery: assessment of conservation policies through CORINE Land Cover data and Markov models. Forest Systems 19: 315-328.

10- Berberoğlu, S & et al (2016), Cellular automata modeling approaches to forecast urban growth for Adana, Turkey: A comparative approach. Landscape and Urban Planning 153: 11-27.

11- Blaschke, T (2010), Object based image analysis for remote sensing, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 65(17): 2-16.

12- Chavez, P.S (1998), An Improved Dark-Object Subtraction Technique for Atmospheric Scattering Correction of Multispectral Data, Remote Sensing of Environment 24(3): 459-479.

13- Chen, M & et al (2009), Comparison of pixel-based and object-oriented knowledge-based classification methods using spot5 imagery, swears transactions on information science and applications 6(3): 477- 489.

14- Duro, D.C & et al (2012), A comparison of pixel-based and object-based image analysis with selected machine learning algorithms for the classification of agricultural landscapes using SPOT-5 HRG imagery, Remote Sensing of Environment 118 : 259-272.

15- Eastman, J.R., (2009). IDRISI Selva Manual, Accessed in IDRISI 17, Worcester, MA: Clark University, PP. 230-237.

16- Feizizadeh, B & et al (2014), Object-Based Image Analysis and Digital Terrain Analysis for Locating

ماهواره و مدل تلفیقی CA-Markov در ارزیابی و پیش‌بینی مکانی تغییرات کاربری اراضی بوده و نتایج این تحقیق قابل استفاده و مؤثر در مدیریت شهری و طراحی برنامه‌های توسعه شهری در راستای نیل به توسعه پایدار می‌باشد.

## ۷- پیشنهادات

نگارندگان بر این باورند که در تحقیقات آینده، استفاده از روش‌های ماشین‌بردار پشتیبان (SVM) و جنگل تصادفی در طبقه‌بندی شیء‌گرا تصاویر ماهواره‌ای، تلفیق مدل CA-Markov با یادگیری عمیق (Deep Learning) به منظور افزایش دقت و قابلیت پیش‌بینی کننده و در نهایت بحث تحلیل حساسیت و عدم قطعیت مدل CA-Markov و پارامترهای آن در مدل‌سازی تغییرات آتی کاربری اراضی شهری به عنوان تحقیقاتی ارزشمند مطرح خواهند شد.

## منابع و مأخذ

- ۱- زبردست، لعبت و همکاران (۱۳۸۹)، ارزیابی روند تغییرات پوشش اراضی منطقه حفاظت‌شده ارسباران در فاصله زمانی ۲۰۰۲، ۲۰۰۶ و ۲۰۰۸ میلادی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، پژوهش‌های محیط زیست، شماره ۱، صص ۲۳-۳۳.
- ۲- سرودی و جوزی؛ منا و سید علی (۱۳۹۲)، سنجش از دور و اجرای مدل مارکوف برای بررسی تغییرات فضای سبز شهری (مطالعه موردی: منطقه ۱ شهرداری علوی)، محیط شناسی، سال سی و نهم، شماره ۱، بهار ۹۲، صص ۱۱۳-۱۲۲.
- ۳- فیضی‌زاده، بختیار (۱۳۸۶)، مقایسه روش‌های پیکسل پایه و شیء‌گرا در تهیه نقشه‌های کاربری اراضی مطالعه موردی جلگه شرقی دریاچه ارومیه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز.
- ۴- فیضی‌زاده، بختیار و همکاران (۱۳۸۷)، کاربرد داده‌های سنجش از دور در آشکارسازی تغییرات کاربری‌های اراضی شهری، مجله هنرهای زیبا، سال نهم، شماره ۳۴، صص ۲۴-۱۷.
- ۵- مرکز آمار ایران (۱۳۹۲)، سالنامه آماری استان فارس.
- ۶- نیکورزم و جوزی؛ یاسمن و سید علی (۱۳۹۴)، بررسی

- India: A Markov chains-cellular automata urban growth model. *Applied Geography* 40: 140-149.
- 27- Peterson, L. K & et al (2009), Forested land-cover patterns and trends over changing forest management eras in the Siberian Baikal region, *Forest Ecology and Management* 257: 911-922.
- 28- Rasuly, A & et al (2013), Simulation of land use/cover change dynamics in future based on Markov-CA model, *ISPRS International Journal of Geo-Information* 2: 1-13.
- 29- Stevens, D & et al (2007), "iCity: A GIS- CA modeling tool for urban planning and decision making", *Environmental Modelling & Software* 22: 761-773.
- Tso, B & Mather, P.M (2001), *Classification Methods for Remotely Sensed Data*, 2th Edition, Taylor and Francis Publication, London.
- 30- Walter, V (2004), Object-based classification of remote sensing data for change detection. *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing* 58(3): 225-238.
- 31- Wood, E. C & et al. (1997), The development of a land cover change model for southern Senegal, In: *Land use modeling workshop*, June 5-6, Sioux Falls, SD. Santa Barbara, CA: National Center for Geographic Information and Analysis.
- 32- Xin, Y & et al (2012), A spatiotemporal model of land use change based on ant colony optimization, Markov chain and cellular automata, *Ecological Modelling* 233: 11-19.
- Landslides in the Urmia Lake Basin, *IEEE Journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing* 7(12): 4806-4817.
- 17- He, C.Y & et al (2008), Modeling dynamic urban expansion processes incorporating a potential model with cellular automata. *Landscape Urban Plan* 86: 79-91.
- 18- Huang, L & Ni, L (2008), Object-oriented classification of high resolution satellite image for better accuracy, *Proceedings of the 8th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences*, Shanghai, P. R. China, PP: 211-218.
- 19- Huishi, D & et al (2012), Land Coverage Changes in the Hulun Buir Grassland of China Based on the Cellular Automata-Markov Model, *International Conference on Geological and Environmental Sciences IPCBEE*, Vol.36, IACSIT Press, Singapore.
- 20- Kamusoko, C & et al (2009), Rural Sustainability under Threat in Zimbabwe – Simulation of Future Land Use/cover Changes in the Markov- Cellular Automata Model, *Applied Geography* 29: 435-447.
- 21- Li, H & Reynolds, J.F (1997), Modeling Effects of Spatial Pattern, Drought, and Grazing on Rates of Rangeland Degradation: A Combined Markov and Cellular Automaton Approach, In Quattro chi, D. A., & Godchild, M. F. (eds.), *Scale in Remote Sensing and GIS*, Boca Raton, Florida: Lewis Publishers, PP. 211-230.
- 22- Liu, D & et al (2010), Assessing object-based classification: advantages and limitations. *Remote Sensing Letters* 1(4):187-194.
- 23- Liu, X & et al (2010), A new landscape index for quantifying urban expansion using multi-temporal remotely sensed data. *Landscape Ecology* 25(5): 671-682.
- 24- Macleod, R.S & Congalton R.G (1998), A quantitative comparison of change detection algorithms for monitoring grass from remotely sensed data, *Photogrammetric and Engineering Remote Sensing* 64(3): 207-216.
- 25- Martellozzo, F & et al (2011), Measuring urban sprawl, coalescence, and dispersal: a case study of Pordenone, Italy. *Environment and Planning-Part B* 38(6): 1085.
- 26- Moghadam, H. S & et al (2013), spatiotemporal urbanization processes in the megacity of Mumbai,

