

## پیش بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر چند زمانه و مدل زنجیره‌های MARKOV (مورد شناسی: شهر ایلام)

صالح ارخی\* (استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران)

محدثه اصفهانی (دانش آموخته کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تبریز، ایران)

### چکیده

در سال‌های اخیر، اراضی بسیاری از شهرهای ایران به خصوص اراضی حاشیه‌ای شهرها، تحت تأثیر روند شهرنشینی و نیاز شهروندان به مسکن جدید، تغییر کاربری داده و به اراضی ساخته شده تبدیل شده است. با توجه به اینکه شهر ایلام نیز مانند سایر شهرها در سال‌های اخیر با افزایش جمعیت مواجه بوده است، شاهد تغییر و تحولات قابل توجهی در کاربری اراضی شهری این شهر هستیم. در این تحقیق با استفاده از تصاویر چندزمانه لندست مربوط به سال‌های ۱۳۵۵، ۱۳۸۰ و ۱۳۸۶، همچنین با استفاده از تکنیک پردازش تصاویر ماهواره‌ای، به بررسی تغییرات کاربری اراضی در مقطع زمانی ۱۳۵۵ تا ۱۳۸۶ و مقایسه بعد از طبقه بندی پرداخته شده و برای پیش بینی تغییرات کاربری اراضی و به خصوص گسترش فضایی شهر ایلام در سال‌های ۱۴۰۹ (۲۰۲۰ م) و ۱۴۱۹ (۲۰۳۰ م)، از مدل زنجیره‌های مارکوف استفاده شده است. براساس نتایج این تحقیق، تغییرات کاربری‌ها و سطح کاربری‌های منطقه محاسبه و مورد مقایسه و بررسی قرار گرفته‌اند. نتایج طی مقطع زمانی ۱۳۵۵ تا ۱۳۸۶، افزایش ۱۹۰۵/۷۳ هکتاری اراضی مسکونی و تخریب ۲۰۶۶/۱۶ هکتاری کاربری جنگل را نشان می‌دهد و مشخص شد که گسترش شهر ایلام تا چه ابعاد و مقیاسی، به ترتیب «شدت عمل کاربری‌های اراضی مسکونی و کشاورزی» با روند افزایشی و «کاربری‌های جنگل، اراضی بایر و باغ» با روند کاهشی، پیرامون خود را تحت گسترش فضایی - کالبدی خود قرار داده است و با این روند، اراضی مسکونی در سال ۱۳۵۵ با ۲۶۸/۶۷ هکتار و طبق پیش‌بینی‌های انجام شده در سال ۱۴۱۹ به ۲۶۰۰/۷۷ هکتار خواهد رسید. همچنین روند توسعه شهر نشان‌دهنده تمایل گسترش کالبدی - فضایی شهر ایلام در تمامی ابعاد است.

تاریخ دریافت: ۷ بهمن ۱۳۹۶

تاریخ پذیرش: ۱۹ آبان ۱۳۹۷



کلید واژه‌ها:

تغییر کاربری، تصاویر ماهواره‌ای، پیش بینی تغییرات، زنجیره مارکوف، شهر ایلام.

\* نویسنده مسئول: صالح ارخی

پست الکترونیک: arekhi1348@yahoo.com

## مقدمه

در دنیای امروز، از فناوری‌های سنجش از دور و GIS به منظور برنامه‌ریزی و مدیریت کارآمد منابع طبیعی، کشاورزی، محیط زیست و مدیریت شهری استفاده فراوان می‌شود. لایه کاربری اراضی و پوشش زمین از لایه‌های اطلاعاتی بسیار مهم، به‌ویژه در زمینه‌های مذکور محسوب می‌شود که می‌تواند شناخت دقیقی از کمیت و کیفیت مناطق طبیعی و شهری در اختیار کاربران و مدیران قرار دهد (میرباقری و همکاران، ۱۳۸۵: ۷). می‌توان گفت نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی، بخش عمده‌ای از اطلاعات مورد نیاز برنامه‌ریزان در اتخاذ تدابیر صحیح و تصمیم‌گیری‌های اصولی را تأمین می‌کند. شهرها سیستم‌های پیچیده، باز، پویا و خودسازمان‌دهنده هستند و نرخ رشد شهری مهم‌ترین پدیده تغییر شکل سکونتگاه‌های انسانی در کشورهای در حال توسعه است و نیاز به مدیریت بهتر برای این رشد توسط اشخاص، اجتماعات و حکومت‌ها حیاتی است. در این کشورها، شهرها به‌طور معمول دو سوم افزایش جمعیت کل و بیشتر از نصف رشد جمعیت شهری و در نتیجه افزایش طبیعی و مهاجرت روستا به شهر را جذب می‌کنند (Mc Gill, 1998). روش‌های متنوعی برای مدل‌سازی تغییرات پوشش و کاربری اراضی وجود دارد که می‌توان به مدل‌های مارکوف، سلول خودکار مارکوف، ژنومود، مدل‌های آماری و... اشاره کرد. با مدل‌سازی سیستم پیچیده شهری، الگوهای فضایی و روندهای رشد شهری را می‌توان شبیه‌سازی و پیش‌بینی کرد و درک بهتری از سیستم شهر به‌عنوان یک کل به‌دست آورد (رضازاده و همکاران، ۱۳۸۸: ۵۰)؛ بنابراین از مدل‌های فضایی که ابزارهای مفیدی برای درک فرایند توسعه شهری و ابزاری کمکی برای سیاست‌گذاری، مدیریت و برنامه‌ریزی شهری و فراهم‌کننده اطلاعات برای ارزیابی تأثیرات شهری بر محیط زیست هستند، می‌توان برای

مدل‌سازی فرایند توسعه شهری استفاده کرد (He & et al, 2008: 82). بر این اساس، یافتن الگویی مناسب در جهت رشد و توسعه کالبدی شهر اهمیت ویژه‌ای یافته‌است و باید در برنامه‌ریزی‌ها مورد توجه قرار گیرد. توسعه کالبدی - فضایی شهر ایلام با توجه به تحولات جمعیتی آن، نشان می‌دهد که این شهر طی سال‌های ۱۳۵۵ تا ۱۳۹۰ همواره رو به گسترش بوده‌است. با توجه به این اصل که حداقل در ایران هیچ شهری نمی‌توانست وجود داشته باشد، مگر اینکه منابع بالفعل یا بالقوه محیطی شرایط توسعه آن را فراهم سازد، به دنبال رشد فیزیکی شتابان مجتمع‌های زیستی، بخش وسیعی از بهترین و بالطبع باارزش‌ترین اراضی بالافصل، که از دیرباز شرایط زیست محیطی لازم و کافی برای تجمع انسان‌ها در آن‌ها وجود داشته‌است، در معرض نابودی قرار می‌گیرد (محمدزاده، ۱۳۸۵: ۱۰۰). همچنین رشد فیزیکی شهرها، اراضی مرغوب کشاورزی را بلعیده و از بین می‌برد. اکثر شهرهای ایران در مراحل اولیه شکل‌گیری، با هدف استفاده از خاک‌های مرغوب برای زراعت، در کنار یا در میان اراضی مرغوب زراعی استقرار یافته‌اند و به مرور زمان همراه با گسترش روستاها و تبدیل آن‌ها به شهر و سپس توسعه شهرها، اراضی مرغوب زیر پیکر شهرها مدفون شده و فعالیت‌های زراعی، ناگزیر به سمت اراضی نامرغوب عقب‌نشسته‌است (بهرام‌سلطانی، ۱۳۷۱). شهر ایلام هم از این قاعده مستثنی نیست و در این مقاله، مشکل یادشده به‌طور توصیفی ترسیم می‌شود تا بر این مبنای، توجه مسئولان و برنامه‌ریزان بیش‌ازپیش به تلاش برای رفع این معضل معطوف شود. بر این اساس، ضروری است پژوهشی بنیادی و جامع برای بررسی و تجزیه و تحلیل الگوی رشد شهر و ابعاد مختلف آن صورت گیرد تا بتوان به شناسایی الگوی مناسب رشد شهری در مسیر توسعه پایدار اقدام کرد. علاوه بر آن مهم‌ترین ضرورت‌های تحقیق حاضر عبارت‌اند از:

(Rafiee, 2009:431-438). با استفاده از داده‌های چندزمانه سنجش از دور با کمترین زمان و هزینه می‌توان نسبت به استخراج کاربری‌های اراضی اقدام کرد و سپس با مقایسه آن‌ها در دوره‌های زمانی مختلف نسبت تغییرات را ارزیابی و برای سال‌های آتی رشد شهر را شبیه‌سازی و پیش‌بینی کرد (فیضی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۶: ۳). آشکارسازی تغییرات و همچنین پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی، در ارائه دید کلی برای مدیریت بهتر منابع طبیعی و حفاظت اراضی کشاورزی اطراف مناطق شهری و اتخاذ تدابیر سیاست‌های درازمدت مؤثر است. با استفاده از مدل زنجیره‌ای مارکوف، نسبت تبدیل کاربری‌های مختلف و امکان پیش‌بینی آن‌ها در آینده فراهم می‌شود (Muller, 1994: 152) و با پیش‌بینی تغییرات کاربری می‌توان میزان گسترش و تخریب منابع را مشخص کرد و به هدایت این تغییرات در مسیرهای مناسب پرداخت (Hathout, 2002: 233).

#### پیشینه تحقیق

در زمینه گسترش شهر و تأثیر آن در تغییرات کاربری اراضی منطقه، به منابع زیر می‌توان اشاره کرد: تینگ وی ژانگ در تحقیقی با عنوان «نیروهای بازار زمین و نقش حکومت در پراکندگی»، به بررسی پراکندگی در شهرهای چین و مقایسه آن‌ها با شهرهای آمریکا پرداخته‌است. حاصل تحقیقات او این است که ۵/۸ میلیون هکتار اراضی کشاورزی از بین رفته یا تغییر کاربری داده، که از این مقدار یک پنجم آن در اثر الگوی گسترش افقی و پراکندگی در طی سال‌های ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۶ به زیر ساختارهای شهری رفته‌است (Zhang, 2000: 134). جنرت و همکاران در سال ۲۰۰۱ برای ارزیابی تغییرات بیابان‌ها در مرکز آریزونا به‌واسطه گسترش مناطق شهری، به آنالیز مکانی کاربری‌های اراضی تهیه‌شده، با استفاده از مدل

-کنترل پراکنش افقی شهر و در پیش گرفتن راهکارهایی برای جلوگیری از این نوع الگوی توسعه، مانند راهکار استفاده از امکانات موجود زمین یا استفاده از اراضی بایر داخل شهر؛  
- هدایت سمت توسعه شهر در جهاتی که باعث از بین رفتن اراضی جنگلی و باغات نشود؛  
- ضرورت کاهش آثار منفی زیست‌محیطی پراکنش افقی، مانند آلودگی هوا، آب، خاک و صوت؛  
- ضرورت تهیه و اجرای برنامه‌های کاربری زمین برای استفاده صحیح از زمین در شهر.  
هدف از این مطالعه، بررسی روند تغییرات کاربری اراضی در مقطع زمانی ۱۳۵۵ تا ۱۳۸۶ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، محاسبه میزان تغییرات کاربری‌ها به یکدیگر با تأکید بر اراضی مسکونی و پیش‌بینی تغییرات احتمالی اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در سال‌های ۱۴۰۹ (۲۰۲۰ م) و ۱۴۱۹ (۲۰۳۰ م) با استفاده از زنجیره مارکوف در شهر ایلام است.

#### اهمیت تحقیق

با توجه به رشد جغرافیایی شهرها، مدل‌هایی که توانایی مدل‌سازی تغییرات را داشته باشند، به‌وجود آمده‌اند. این مدل‌ها می‌توانند اطلاعات به‌هنگام و دقیق در مورد کاربری اراضی شهری به طراحان و برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیرندگان جامعه در راستای رسیدن به توسعه شهری پایدار و استفاده معقول از منابع طبیعی و حداقل‌سازی پیامدهای زیست‌محیطی داشته باشند. از آنجا که تغییرات در کاربری اراضی در سطوح وسیع و گسترده صورت می‌گیرد؛ بنابراین فناوری سنجش از دور یک ابزار مهم در بررسی و پایش تغییرات است. این فناوری به کمک تصاویر ماهواره‌ای، منبع مهمی از داده‌های مربوط به کاربری و پوشش اراضی را فراهم می‌کند که می‌تواند در نظارت بر تغییرات آن‌ها به‌گونه‌ای مؤثر مورد استفاده قرار گیرد

کردند و تغییر فضای سبز شهر تبریز را با استفاده از روش طبقه‌بندی شی‌گرا مورد مطالعه قرار دادند. براساس تحقیق این محققان مشخص شد که بیش از ۴۶ درصد از فضای سبز شهر تبریز در یک دوره زمانی ۱۶ ساله تخریب شده‌است (فیضی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۶). در تحقیق دیگری، ظاهری در سال ۱۳۸۷ نقش روند گسترش کالبدی کلان‌شهر تبریز در ایجاد تغییرات کاربری اراضی حومه شهر و روستاهای حوزه نفوذ را با بهره‌گیری از داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه (TM و ETM<sup>+</sup>) تجزیه و تحلیل کرد و به این نتیجه رسید که تحولات اقتصادی و اجتماعی منبعت از تغییر مناسبات شهر و روستا به صورت مجموعه‌ای مرتبط با یکدیگر در شکل‌گیری این تغییرات کاربری اراضی مؤثر بوده‌اند (ظاهری، ۱۳۸۷). علی‌محمدی و همکاران در سال ۱۳۸۸ به پیش‌بینی کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست سال‌های ۱۹۷۶، ۱۹۸۸ و ۲۰۰۰ و مدل زنجیره‌ای مارکوف در حومه شهر تهران، طی این ۲۴ سال پرداختند و نتایج حاکی از گسترش بی‌رویه مناطق ساخته‌شده و تخریب شدید اراضی کشاورزی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد (علی‌محمدی و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۱۷-۱۳۰). احدنژاد و همکاران در سال ۱۳۹۰ به ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات و پراکنش افقی شهر تبریز با استفاده از تصاویر چندزمانه و GIS در مقطع زمانی ۱۳۶۳ تا ۱۳۸۹ پرداختند. براساس نتایج مشخص شد که گسترش کالبدی- فضایی شهر تبریز در امتداد شرقی و غربی است (احدنژاد و همکاران، ۱۳۹۰).

### معرفی مدل مارکوف

یکی از روش‌های پیش‌بینی تغییر کاربری زمین، روش «زنجیره‌ای مارکوف» است. بنیانگذار این روش «آندره آندروویچ مارکوف»، ریاضی‌دان روسی در سال ۱۹۰۷ است. در این تحقیق با استفاده از مدل زنجیره‌ای

مارکوف و اتوماسیون سلولی از سال ۱۹۱۲ تا ۱۹۹۵ پرداختند. نتایج گسترش مناطق شهری با نتایج افزایش جمعیت در این دوره مطابق بوده‌است (Jenerette and Wu, 2001:620). کایا و همکاران در سال ۲۰۰۶ به پایش رشد شهر در قسمت‌های اروپایی استانبول با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۸۷، ۱۹۹۲، ۱۹۹۷ و ۲۰۰۱ پرداختند. هدف این تحقیق کمی‌کردن رشد در قسمت‌های اروپایی استانبول در دو دهه اخیر بود. تغییرات پوشش اراضی در طی این دوره برای تعیین سرعت تغییرات استفاده شد (Kaya & et al, 2006:23). موبیا و همکاران با استفاده از مدل مارکوف به پیش‌بینی تغییرات پوشش گیاهی در ناکورا، بلات و بالزتر به بررسی پویایی پوشش گیاهی پرداختند (Mubea & et al, 2010: 140). ظاهری در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود به ارزیابی الگوی توسعه فیزیکی شهر رامشیر و مشکلاتی که برای شهروندان ایجاد کرده، پرداخته و در پایان یک الگوی مناسب عرضه کرده‌است (ظاهری، ۱۳۸۱). خسروی در سال ۱۳۸۳، در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود جهت توسعه فیزیکی شهر اندیشک را با استفاده از داده‌های سنجنش از دور تصاویر ماهواره‌ای TM سال ۱۹۸۷ و ETM<sup>+</sup> سال ۲۰۰۲ و همچنین تصویر LISS و PAN سال ۲۰۰۳ مورد بررسی قرار داده و در مرحله بعد جهت توسعه فیزیکی شهر را پیش‌بینی و تعیین کرده‌است (خسروی، ۱۳۸۳). عبدالامیر با استفاده از رویکرد ارزیابی چندمعیاری (MCE) در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی و با هدف شناخت نواحی اولویت‌دار و مناسب جهت توسعه کالبدی برای استفاده برنامه‌ریزان شهری و تصمیم‌گیرندگان فضایی، به بررسی و تحلیل تناسب زمین برای توسعه کالبدی در محور شمال غرب شیراز پرداخت (عبدالامیر، ۱۳۸۴). فیضی‌زاده و حاجی میررحیمی در سال ۱۳۸۶ از تصاویر TM لندست و HDR ماهواره اسپات استفاده

احتمال اینکه هر سلول، متعلق به یک کاربری باشد را بررسی کرده و سلول را به کاربری با بالاترین احتمال عضویت اختصاص می‌دهد. آنالیز مارکوف بر روی مطالعه انواع پوشش گیاهی و تغییر پوشش شهری و غیرشهری متمرکز شده است (خوش‌گفتار و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۷-۳۳). خروجی مارکوف شامل احتمالات تبدیل وضعیت، ماتریس مساحت‌های تبدیل‌شده هر کلاس و درنهایت تصاویر احتمالات شرطی برای تبدیل کاربری‌های مختلف است.

### مواد و روش‌ها

#### - معرفی منطقه مورد مطالعه

شهر ایلام در مرکزیت استان ایلام در مختصات جغرافیایی ۲۵ ۴۶ طول شرقی و ۳۸ ۳۳ عرض شمالی واقع شده است. منطقه مورد مطالعه محدوده‌ای به وسعت ۶۱۹۳/۷۷ هکتار در استان ایلام و ارتفاع مرکز شهر ۱۴۴۰ متر از سطح دریاست (شکل ۱). منطقه ایلام از نظر تقسیمات زمین‌شناسی در بخش زاگرس چین‌خورده قرار گرفته و امتداد ناهمواری‌ها به تبعیت از سیستم زاگرس، شمال‌غربی - جنوب‌شرقی است (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان ایلام، ۱۳۸۵). میانگین بارش سالانه آن حدود ۶۱۶ میلی‌متر است (نجفی، ۱۳۸۹: ۱۹۲). جمعیت منطقه در سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۸۵ در جدول ۱ نشان داده شده است. توسعه کالبدی - فضایی شهر ایلام، با توجه به تحولات جمعیتی این شهر، نشان می‌دهد که این شهر طی سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۸۵ همواره رو به گسترش بوده و طی این دوره دو برابر افزایش جمعیت داشته است.

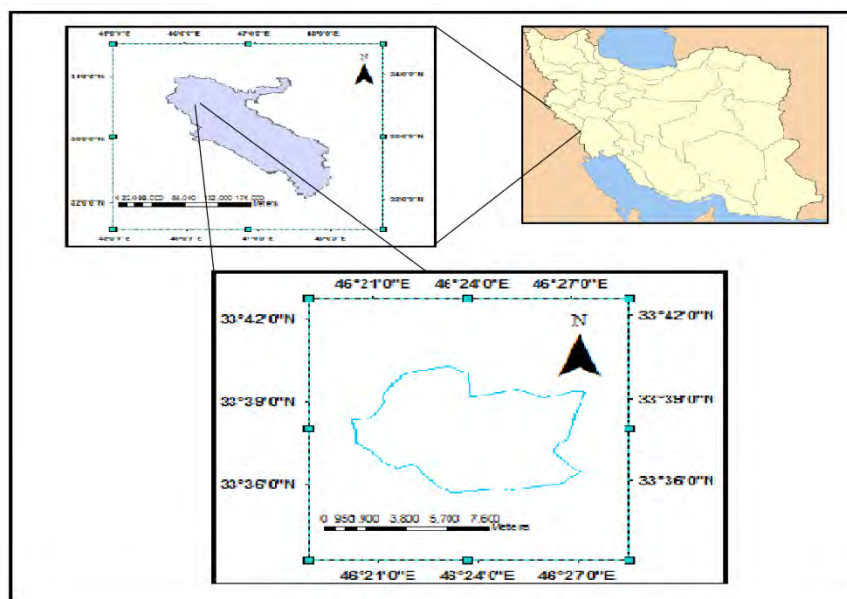
مارکوف به آشکارسازی تغییرات بین سال‌های ۱۳۵۵ تا ۱۳۸۶ و پیش‌بینی فرایند توسعه شهری در سال‌های ۱۴۰۹ (۲۰۲۰ م) و ۱۴۱۹ (۲۰۳۰ م) پرداخته شد. روش زنجیره‌ای مارکوف، براساس یک روش احتمالاتی و با در نظر گرفتن گذشت زمان، تغییرات ایجاد شده را نشان می‌دهد و براساس این تحلیل نسبت تبدیل کاربری‌های مختلف و امکان پیش‌بینی آن‌ها در آینده فراهم می‌شود. با پیش‌بینی تغییرات کاربری می‌توان میزان گسترش و تخریب منابع را مشخص و این تغییرات را در مسیرهای مناسب هدایت کرد (Brown, 2000: 252).

مدل مارکوف، شامل زنجیره متوالی از متغیرهای تصادفی  $X_1, X_2, X_3, \dots$  است؛ به عبارت دیگر، اگر مجموعه‌ای از حالات را به صورت  $S = \{S_1, S_2, S_3, \dots, S_r\}$  داشته باشیم،  $P_{ij}$  از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$P_{ij}^{(n)} = \sum_{k=1}^r P_{ik} P_{kj} \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه:  $P_{ij}$  احتمال رفتن از حالت  $i$  به حالت  $j$  را پس از  $n$  گام نشان می‌دهد.

در این مدل دو نقشه مربوط به دو دوره زمانی به صورت ماتریسی با یکدیگر مقایسه می‌شوند. به طوری که براساس طبقه‌بندی حداکثر احتمال، پیش‌بینی می‌شود که هر پیکسل در هر کلاس با چه احتمالی در همان کلاس مانده یا به کلاسی دیگر تبدیل می‌شود (Eastman, 2006: 320). بنابراین در این طبقه‌بندی توزیع ارزش بازتابی در هر نمونه تعلیمی با یک تابع تراکم احتمال، که براساس تئوری احتمال بیس بنا شده است، نشان داده خواهد شد. این طبقه‌بندی،



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۲)

جدول ۱. روند رشد جمعیت در شهر ایلام در سال‌های مختلف (منبع: سالنامه آماری ایلام ۱۳۸۵، جمعیت)

سال	۱۳۶۵	۱۳۷۰	۱۳۷۵	۱۳۸۵
جمعیت	۸۰۹۳۵	۱۱۶۴۲۸	۱۲۶۳۴۶	۱۶۰۳۵۵

(منبع: سالنامه آماری ایلام، ۱۳۸۵)

#### - داده‌های مورد استفاده

تصاویر استفاده‌شده در این تحقیق، شامل تصاویر MSS<sup>+</sup> ۱۳۸۰، ETM<sup>+</sup> ۱۳۸۶ و TM ۱۳۸۶ از ماهواره لندست هستند و از نرم‌افزارهای ENVI 4.7، Idrisi Selva و Arcgis 9.3 برای پردازش داده‌ها، بارسازی، مدل‌سازی و خروجی گرفتن و از روش‌ها و مدل‌های حداکثر احتمال<sup>۱</sup> برای طبقه‌بندی کاربری‌ها، از مقایسه پس از طبقه‌بندی<sup>۲</sup> برای بررسی تغییرات کاربری‌ها و از مدل زنجیره‌ای مارکوف برای محاسبه تغییرات و پیش‌بینی تغییرات در سال‌های ۱۴۰۹ (۲۰۲۰ م) و ۱۴۱۹ (۲۰۳۰ م) استفاده شده‌است.

#### - روش تحقیق

در این مطالعه، به منظور تصحیح هندسی، از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱/۵۰۰۰۰ تهیه‌شده از سازمان جغرافیایی ارتش استفاده شد. در این مرحله اقدام به اعمال تصحیحات هندسی بر روی تصاویر شد و تصویر سنجنده TM سال ۱۳۸۶ با استفاده از روش تصویر-وکتور، زمین مرجع شد. برای این کار از ۴۷ نقطه کنترل زمینی با پراکنش مناسب و در تقاطع جاده‌ها، آبراهه‌ها و... استفاده شد تا مدل ریاضی که برای پیدا کردن ضرایب مجهول در معادله مورد استفاده قرار می‌گیرد، خطای کمتری داشته باشد. برای تبدیل مختصات تصویر تصحیح‌شده به تصویر تصحیح‌نشده، از تابع درجه اول استفاده شد و برای نمونه‌گیری مجدد ارزش پیکسل‌های تصویر تصحیح‌نشده از روش

1. Maximum Likelihood
2. Post Classification

مقادیر آن‌ها صفر یا نزدیک به یک است (مثل آب). به این ترتیب اثر اتمسفری تابش انحرافی به صورت یک مقدار ثابت به پیکسل‌ها در هر باند اضافه می‌شود؛ به همین دلیل به منظور حذف خطای رادیومتریکی بایستی ارزش پیکسل‌های هر باند از حداقل DN مربوط به هر باند کم شود. کاهش تیرگی پدیده، یک روش ساده است که به طور گسترده در بسیاری از موارد به کار گرفته می‌شود (Chavez et al, 1994: 578). در این مطالعه از این روش به منظور تصحیح رادیومتریکی استفاده شده است. شکل ۲ مراحل مفهومی تحقیق را نمایش می‌دهد.

نزدیک‌ترین همسایه استفاده و در نهایت تصویر سنجنده TM با خطای RMS معادل ۰/۳۷ زمین مرجع شد. تصحیح هندسی تصویر MSS سال ۱۳۵۵ و ETM<sup>+</sup> سال ۱۳۸۰ به روش تصویر به تصویر انجام شد. بدین منظور تصویر ۱۳۸۶ بعد از تصحیح هندسی به عنوان مبنا در نظر گرفته شد. ابتدا نقاط کنترل انتخاب شدند، سپس نقاطی که دارای خطای زیادی بودند از جدول مربوط حذف شدند و در نهایت با حذف ۹ و ۷ نقطه کنترل زمینی، تصویر MSS با ۳۸ و تصویر ETM<sup>+</sup> با ۴۰ نقطه کنترل با خطای معادل ۰/۳۲ و ۰/۳۸ تصحیح شد. به منظور تعیین تغییرات علاوه بر هم‌مختصات بودن تصاویر، باید ابعاد پیکسل‌های آن‌ها نیز یکسان می‌شد که در این تحقیق اندازه همه پیکسل‌ها ۲۸/۵ متر است. در ضمن، تصحیح رادیومتریکی زمانی انجام می‌گیرد که از تصاویر چندزمانه یعنی تصاویری که مربوط به فصول یا سال‌های مختلف، یا سنجنده‌های مختلف هستند، استفاده شود. دو نوع تصحیح رادیومتریکی وجود دارد، تصحیح رادیومتریکی مطلق و تصحیح رادیومتریکی نسبی. روش تصحیح رادیومتریکی مطلق نیازمند ورود داده‌های مربوط به خصوصیات اتمسفریک و کالیبراسیون سنجنده است. انجام این تصحیح در اغلب موارد و به خصوص برای داده‌های قدیمی کار بسیار سختی است (Du & et al, 2002: 128). در مقابل، تصحیحات رادیومتریکی نسبی با هدف کاهش متغیرهای اتمسفریک و غیرمنتظره در میان تصاویر چندزمانه صورت می‌گیرد. یکی از روش‌های تصحیح رادیومتریکی نسبی، «کاهش تیرگی پدیده»<sup>۱</sup> است. در حالت ایده‌آل، پدیده‌های تیره‌رنگ دارای تابش صفر در همه طول موج‌ها هستند. در این روش فرض می‌شود که در هر باند از تصویر می‌توان پیکسل‌هایی یافت که

1. Dark Object Subtraction

تهیه داده‌های ماهواره‌ای ماهواره لندست

TM1386, ETM1380, MSS1355

انجام تصحیحات هندسی و بارزسازی تصاویر

تهیه نقشه پوشش کاربری زمین

طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از روش حداکثر احتمال و ارزیابی دقت

بررسی تغییرات و تبدیلات (Cross Tab) کاربری اراضی طی سال‌های مورد مطالعه و تهیه نقشه تغییرات

پیش‌بینی روند تغییرات کاربری‌ها با استفاده از مدل مارکوف و سلول خودکار مارکوف

شکل ۲. مراحل کلی تحقیق

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۲)

به سال‌های ۱۳۵۵، ۱۳۸۰ و ۱۳۸۶ شد و در نهایت با استفاده از روش پیشنهادی دلایپان و اسمیت (Dellepian & et al, 1999: 1470) صحت نقشه‌های تولیدی ارزیابی شد (رابطه ۲).

$$OA = \frac{1}{N \sum P_{ij}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در این رابطه: OA دقت کل، N تعداد کل پیکسل‌های آزمایشی،  $P_{ij}$  مجموع پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده است. همچنین ضریب کاپا از رابطه ۳ محاسبه شد.

$$K = \frac{P_o - P_c}{1 - P_c} * 100 \quad \text{رابطه (۳)}$$

پس از طبقه‌بندی کاربری‌های اراضی، به ارزیابی دقت پرداخته شد. برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی، انتخاب یک سری پیکسل‌های نمونه معلوم و مقایسه کلاس آن‌ها با نتایج طبقه‌بندی لازم است؛ بدین دلیل، تصاویر طبقه‌بندی شده با نمونه‌های زمینی تهیه شده به نرم‌افزار ادریسی انتقال یافت و میزان دقت کاربری‌ها به دست آمد.

### - طبقه‌بندی تصاویر

تصاویر چندزمانه استفاده شده در تحقیق پس از تصحیح هندسی، برای تهیه نقشه پوشش زمین مورد بررسی قرار گرفته‌اند. تعداد کاربری‌ها با توجه به تصاویر و نقشه‌های کاربری موجود، شرایط منطقه مورد مطالعه و بازدید میدانی برای تهیه نقشه پوشش زمین، به پنج کلاس تقسیم شده است که عبارت‌اند از: اراضی مسکونی، کشاورزی، جنگل، اراضی بایر و باغ. سپس برای طبقه‌بندی تصاویر از روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال استفاده شده است. در نهایت با استفاده از این روش به تهیه نقشه تغییرات کاربری اراضی از محدوده مورد مطالعه پرداخته شده است.

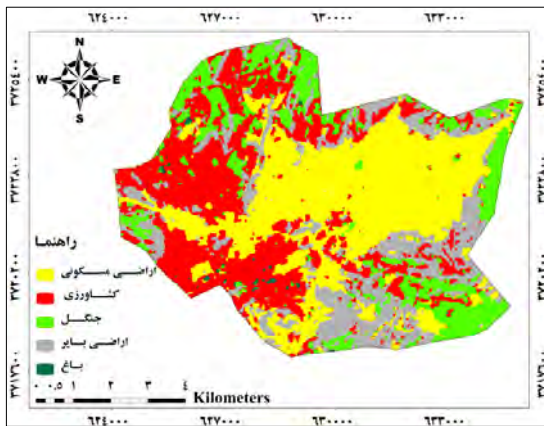
### - ارزیابی دقت نقشه‌ها

به منظور ارزیابی دقت نقشه‌های تولید شده با توجه به آشنایی با منطقه مورد مطالعه و به کمک تفسیر چشمی تصویر رنگی کاذب (MSS321, ETM+432) و (TM432) اقدام به جمع‌آوری نمونه‌های تعلیمی با استفاده از نقشه توپوگرافی منطقه (۱:۲۵۰۰۰۰) متعلق



## نتایج و بحث

تصحیح هندسی تصاویر با میزان خطای ریشه میانگین مربعات (RMSE) حدود ۰/۳۵ پیکسل ثبت شد و با روی هم گذاری لایه‌های خطی رودخانه‌ها بر روی تصویر تطابق یافته، دقت بالای عمل تطابق هندسی مورد تأیید قرار گرفت. در مرحله بعد، با استفاده از ویژگی‌های تصاویر، کلاس‌های پوشش اراضی در محدوده مورد مطالعه وارد شد و نسبت به طبقه‌بندی تصاویر سنجنده لندست اقدام شد. بدین ترتیب نقشه‌های پوشش اراضی مربوط به سال‌های ۱۳۵۵، ۱۳۸۰ و ۱۳۸۶ به دست آمد (شکل‌های ۳، ۴ و ۵).



شکل ۵. پهنه‌بندی کاربری اراضی شهر ایلام، سال ۱۳۸۶  
(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۲)

نتایج حاصل از ارزیابی دقت طبقه‌بندی کاربری‌ها در جدول ۲ ارائه شده‌است. با توجه به نتایج حاصل از ارزیابی دقت در سه سال مورد مطالعه، میزان تطابق نمونه‌ها با واقعیت زمینی بسیار بالاست.

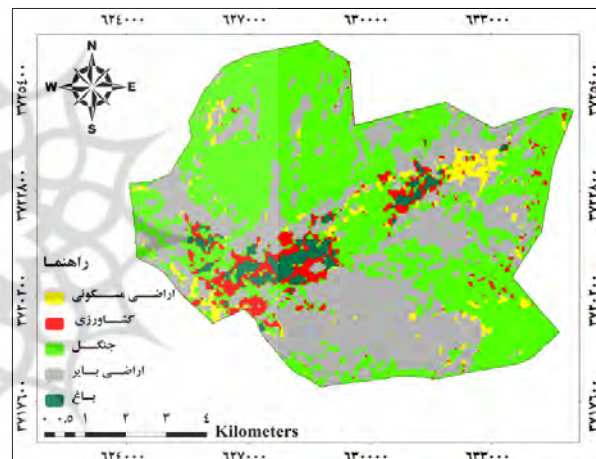
جدول ۲. ارزیابی دقت طبقه‌بندی برای سه نمونه تعلیمی

نام کاربری	۱۳۵۵		۱۳۸۰		۱۳۸۶	
	کاپا	کل	کاپا	کل	کاپا	کل
اراضی مسکونی	۰/۹۶	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۹۸	۱
اراضی کشاورزی	۰/۸۸	۰/۹۰	۰/۹۸	۱	۰/۹۹	۱
جنگل	۰/۹۲	۰/۹۴	۰/۹۵	۰/۹۷	۰/۹۸	۱
اراضی بایر	۰/۹۴	۰/۹۶	۰/۹۸	۱	۰/۹۷	۱
باغ	۰/۹۶	۰/۹۸	۰/۹۲	۰/۹۴	۰/۹۹	۱

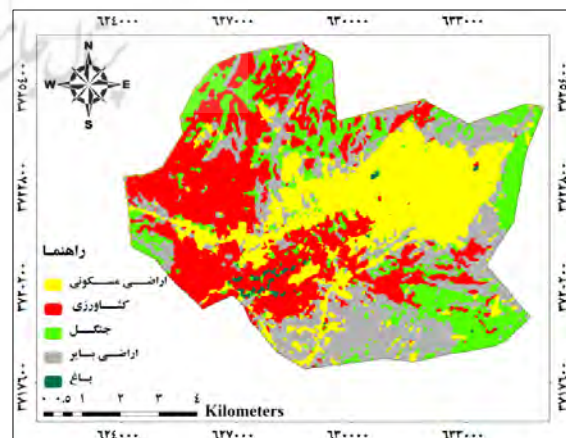
(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۲)

## - مقایسه طبقه‌بندی

آمار مربوط به مساحت و میزان تغییرات اتفاق افتاده طی سه دوره مورد نظر در شکل ۶ و جدول ۳ نشان داده شده‌است. در سال ۱۳۵۵، کلاس جنگل با ۰/۴۹ درصد از کل مساحت منطقه مورد مطالعه، وسیع‌ترین کلاس است. پس از آن به ترتیب کلاس‌های اراضی بایر، اراضی کشاورزی، اراضی مسکونی و در آخر باغ است.



شکل ۳. پهنه‌بندی کاربری اراضی شهر ایلام، سال ۱۳۵۵  
(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۲)

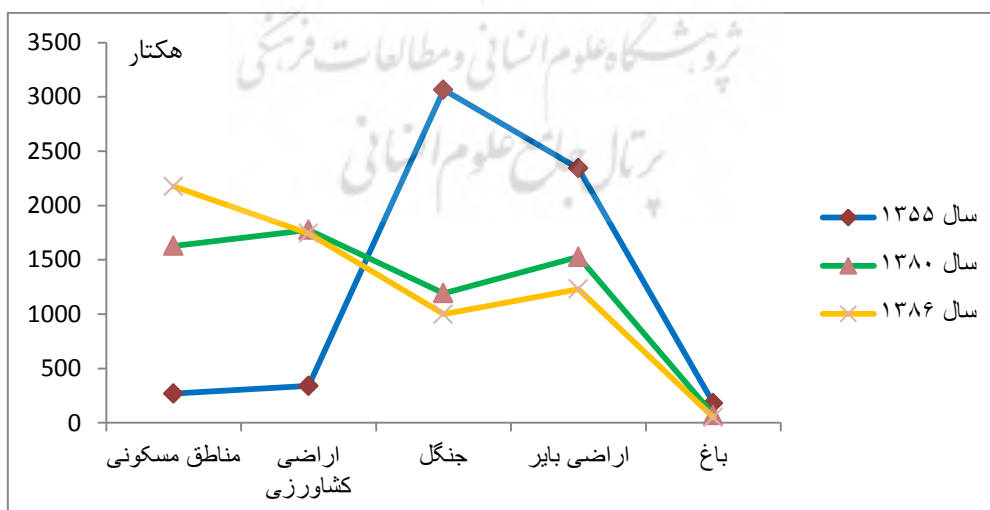


شکل ۴. پهنه‌بندی کاربری اراضی شهر ایلام، سال ۱۳۸۰  
(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۲)

طی دوره ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۶ نیز کلاس اراضی مسکونی با بیشترین افزایش به ۰/۳۵ درصد (۲۱۷۴/۴۰ هکتار) رسیده‌است. کلاس اراضی کشاورزی تغییر محسوسی نداشته و حدود ۳۳ هکتار از مساحتش کاسته شده‌است و سه کلاس اراضی بایر، جنگل و باغ به ترتیب روندی کاهشی داشته‌است.

کاهش جنگل طی ۱۳۵۵ تا ۱۳۸۶ از ۰/۴۹ به ۰/۱۶ درصد (از ۳۰۶۵/۱۹ به ۹۹۹/۰۳ هکتار)، آمار نگران‌کننده‌ای برای تبدیل این اراضی با ارزش به اراضی مسکونی و اراضی کشاورزی است. اراضی مسکونی نیز در این مقطع زمانی از ۰/۰۴ به ۰/۳۵ درصد افزایش یافته‌است. در مجموع در این مقطع زمانی (۳۱ ساله) در دو کلاس اراضی مسکونی و اراضی کشاورزی، به ترتیب روند صعودی و در کلاس‌های جنگل، اراضی بایر و باغ به ترتیب روند کاهشی رخ داده‌است (شکل ۶ و جدول ۳)؛ البته در کلاس اراضی کشاورزی نیز روند کاهشی در حال نمود است و علت آن می‌تواند رشد اراضی مسکونی در منطقه باشد.

در این سال، کلاس اراضی مسکونی با ۰/۰۴ درصد در رده چهارمین کلاس است و دو کلاس جنگل و اراضی بایر تقریباً ۰/۸۶ درصد از مساحت کل را دربر گرفته‌اند. طی دوره ۱۳۵۵ تا ۱۳۸۰ بیشترین کاهش مربوط به کلاس جنگل است که از ۴۹ درصد به ۱۹ درصد رسیده‌است و سپس کلاس اراضی بایر که از ۳۷ درصد به ۲۴ درصد کاهش یافته‌است. در مقابل، کلاس اراضی مسکونی از ۰/۰۴ به ۰/۲۶ درصد ارتقا یافته‌است و بیشترین افزایش در این کلاس رخ داده‌است؛ البته کلاس اراضی کشاورزی نیز از ۰/۰۵ به ۰/۲۸ درصد رسیده‌است که روند افزایشی را نشان می‌دهد. در این دوره کلاس باغ تغییر محسوسی نداشته‌است، ولی روند کاهشی در این کلاس ملموس است؛ بنابراین بیشتر تبدیل‌های صورت گرفته را می‌توان ناشی از گسترش اراضی مسکونی در محدوده جنگل و اراضی بایر دانست. با دقت در تصاویر پهنه‌بندی شده در سال‌های مختلف (اشکال ۳، ۴ و ۵) می‌توان تغییرات را مشاهده کرد. دلیل رقم بالای رشد اراضی مسکونی در این مقطع زمانی را می‌توان ناشی از عامل مهم افزایش جمعیت دانست.



شکل ۶. مساحت کلاس‌های پوشش اراضی طی سال‌های ۱۳۵۵، ۱۳۸۰ و ۱۳۸۶ (منبع: نگارندگان، ۱۳۹۲)

جدول ۳. مساحت کاربری‌های مختلف در سال‌های مورد مطالعه

۱۳۸۶			۱۳۸۰			۱۳۵۵			سال
درصد	پیکسل	هکتار	درصد	پیکسل	هکتار	درصد	پیکسل	هکتار	نام کاربری
۰/۳۵۱۰	۲۴۱۷۴	۲۱۷۴/۴۰	۰/۲۶۲۹	۱۸۱۰۹	۱۶۲۸/۸۸	۰/۰۴۳۶	۲۹۸۷	۲۶۸/۶۷	اراضی مسکونی
۰/۲۸۱۴	۱۹۳۷۷	۱۷۴۲/۹۲	۰/۲۸۶۶	۱۹۷۳۸	۱۷۷۵/۴۱	۰/۰۵۴۸	۳۷۷۴	۳۳۹/۴۶	اراضی کشاورزی
۰/۱۶۱۲	۱۱۱۰۶	۹۹۹/۰۳	۰/۱۹۲۴	۱۳۲۵۱	۱۱۹۱/۹۱	۰/۴۹۴۸	۳۴۰۷۷	۳۰۶۵/۱۹	جنگل
۰/۱۹۸۶	۱۳۶۷۹	۱۲۳۰/۴۱	۰/۲۴۶۴	۱۶۹۷۳	۱۵۲۶/۷۰	۰/۳۷۷۹	۲۶۰۲۸	۲۳۴۱/۱۹	اراضی بایر
۰/۰۰۷۵	۵۲۳	۴۷/۰۱	۰/۰۱۱۴	۷۸۸	۷۰/۸۷	۰/۰۲۸۹	۱۹۹۳	۱۷۹/۲۶	باغ
۱	۶۸۸۵۹	۶۱۹۳/۷۷	۱	۶۸۸۵۹	۶۱۹۳/۷۷	۱	۶۸۸۵۹	۶۱۹۳/۷۷	مجموع

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۲)

### - آمار پایش تغییر

۱۱/۶۱۸ درصد روندی کاهشی داشته است و کمترین تغییرات مربوط به کاربری باغ با ۳/۴۵ درصد است. کاربری کشاورزی با ۱۰/۳۳ درصد و کاربری جنگل با ۹/۵ درصد و اراضی مسکونی با ۳/۴۵ درصد به ترتیب بیشترین تغییرات را داشته است (جدول ۴ و اشکال ۷ و ۸).

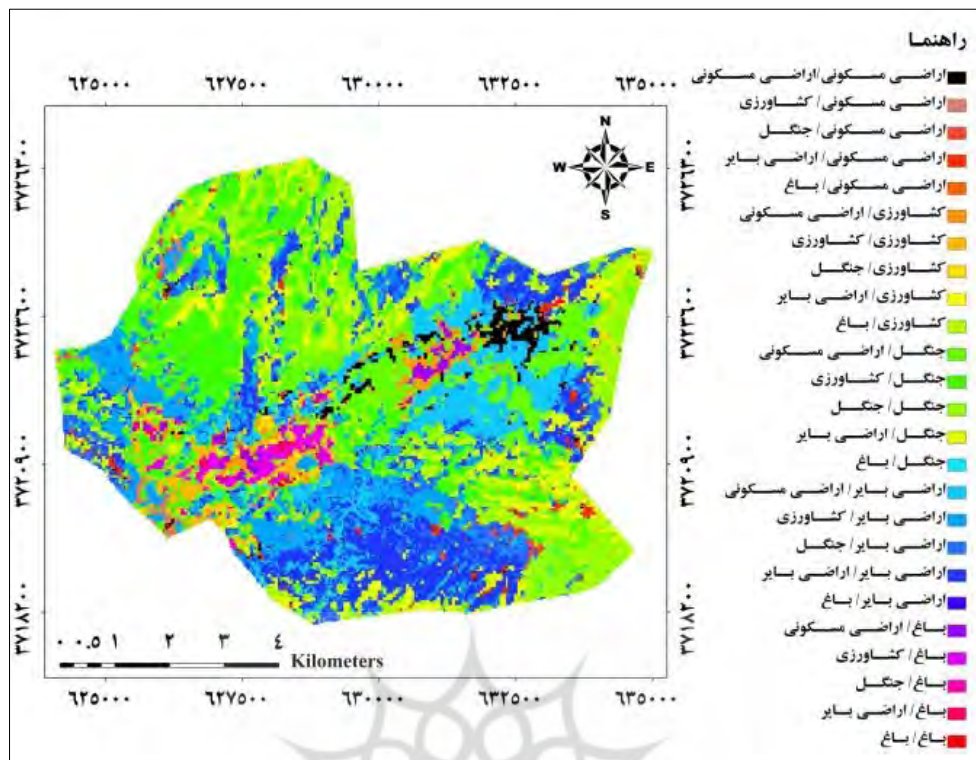
در این بخش، نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی تصاویر سال‌های مورد بررسی برای پی‌بردن به تغییرات هر یک از کاربری‌ها به سایر کاربری‌ها در محدوده مورد مطالعه با استفاده از روش جدول متعامد<sup>۱</sup> با همدیگر مورد مقایسه قرار گرفتند. جدول ۴، ماتریس تغییرات کاربری و پوشش اراضی سال‌های ۱۳۵۵-۱۳۸۰ و ۱۳۸۶-۱۳۸۰ را نشان می‌دهد. همچنان که از جدول ۴ معلوم است، در طی این دو دوره تغییراتی رخ داده است. همان‌طوری که از جدول ۴ برمی‌آید، در دوره ۱۳۵۵-۱۳۸۰ حدود ۷۱/۳۹ درصد تغییرات کاربری در منطقه رخ داده است. بیشترین تغییرات کاربری در اراضی جنگلی با ۳۷/۰۴ درصد که دارای روند کاهشی است و کم‌ترین تغییرات در اراضی مسکونی ۲/۴۵ درصد صورت گرفته و دارای روند افزایشی است. کاربری اراضی بایر نیز با ۲۵/۶۶ درصد تغییر در حال کاسته شدن و دو کاربری اراضی کشاورزی و باغ به ترتیب با ۳/۴۵ و ۲/۷۹ درصد تغییرات کمی داشته‌اند. دوره زمانی ۱۳۸۶-۱۳۸۰ با فاصله زمانی ۶ ساله در حدود ۳۵/۹۴۸ درصد تغییرات را نشان می‌دهد. بیشترین تغییرات کاربری در اراضی بایر با

1. Cross Tab

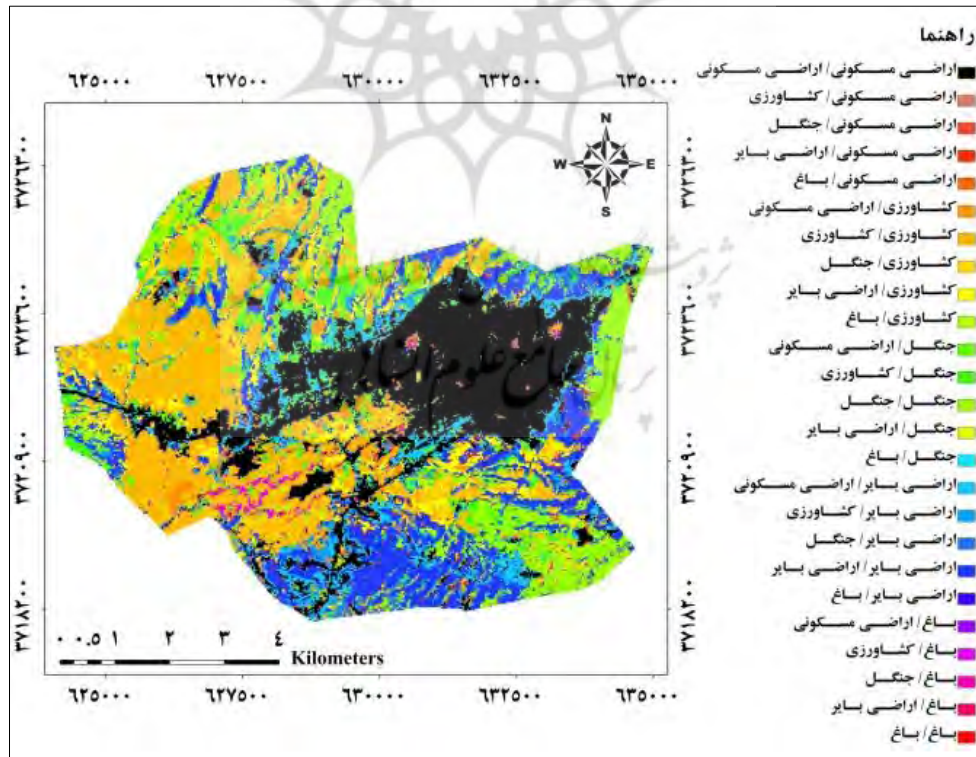
جدول ۴. نتایج آمار پایش تغییرات در کلاس‌های پوشش اراضی طی سال‌های ۱۳۵۵-۱۳۸۶ (هکتار و درصد)

۱۳۸۰-۱۳۸۶		۱۳۵۵-۱۳۸۰		کاربری اراضی	
درصد	هکتار	درصد	هکتار		
۲۲/۸۹	۱۴۱۵/۹۸	۱/۸۹	۱۱۶/۵۷	اراضی مسکونی	اراضی مسکونی
۱/۵۹	۹۸/۳۱	۰/۹۸	۶۱/۰۷	کشاورزی	
۰/۷۲	۴۴/۳۴	۰/۵۷	۳۴/۹۰	جنگل	
۱/۱۱	۶۸/۱۸	۰/۸۷	۵۳/۶۹	اراضی بایر	
۰/۰۳	۲/۰۶	۰/۰۳	۲/۴۲	باغ	
۲/۶۱	۱۶۱/۱۸	۱/۹۶	۱۲۱/۰۷	اراضی مسکونی	کشاورزی
۱۸/۳۴	۱۱۳۶/۵۰	۲/۰۴	۱۲۶/۴۶	کشاورزی	
۳/۶۹	۲۲۸/۴۷	۰/۶۷	۴۱/۴۶	جنگل	
۳/۵۴	۲۱۸/۶۶	۰/۶۲	۳۷/۵۰	اراضی بایر	
۰/۴۹	۳۰/۵۸	۰/۲۰	۱۲/۹۵	باغ	
۲/۷۲	۱۶۸/۵۶	۱۰/۵۹	۶۵۶/۵۳	اراضی مسکونی	جنگل
۴/۴۳	۲۷۴/۰۷	۱۵/۲۹	۹۴۶/۹۸	کشاورزی	
۹/۷۵	۶۰۴	۱۲/۴۳	۷۷۰/۴۱	جنگل	
۲/۱۹	۱۳۵/۵۵	۱۰/۷۵	۶۶۵/۵۳	اراضی بایر	
۰/۱۶	۹/۷۱	۰/۴۱	۲۵/۷۲	باغ	
۶/۷۲	۴۱۶/۸۲	۱۰/۷۹	۶۶۷/۹۶	اراضی مسکونی	اراضی بایر
۳/۱۵	۱۹۴/۸۲	۹/۱۶	۵۶۷/۱۲	کشاورزی	
۱/۷۴	۱۰۸/۲۰	۵/۳۴	۳۳۰/۴۷	جنگل	
۱۳/۰۲	۸۰۶/۳۰	۱۲/۱۵	۷۵۲/۶۰	اراضی بایر	
۰/۰۰۸	-/۵۳	۰/۳۷	۲۳/۰۲	باغ	
۰/۱۸	۱۱/۸۷	۱/۰۷	۶۶/۷۴	اراضی مسکونی	باغ
۰/۶۳	۳۹/۲۱	۱/۱۹	۷۳/۷۵	کشاورزی	
۰/۲۲	۱۳/۹۴	۰/۲۴	۱۴/۶۶	جنگل	
۰/۰۲	۱/۷۰	۰/۲۹	۱۷/۳۶	اراضی بایر	
۰/۰۶	۴/۱۳	۰/۱۰	۶/۷۴	باغ	

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۲)



شکل ۷. نقشه حاصل از قطع دادن نقشه‌های طبقه‌بندی شده سال‌های ۱۳۵۵-۱۳۸۰ (منبع: نگارندگان، ۱۳۹۲)



شکل ۸. نقشه حاصل از قطع دادن نقشه‌های طبقه‌بندی شده سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۸۶ (منبع: نگارندگان، ۱۳۹۲)

## - پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی برای آینده با استفاده از روش زنجیره مارکوف

در این پژوهش به پیش‌بینی میزان تغییرات کاربری اراضی در نرم‌افزار ادریسی با استفاده از روش زنجیره‌ای مارکوف برای سال‌های ۱۴۰۹ (۲۰۲۰ م) و ۱۴۱۹ (۲۰۳۰ م) پرداخته شد و نتایج به دست آمده در جداول ۵ و ۶ نمایش داده شده است. در واقع با مقایسه کاربری اراضی سال ۱۳۵۵ و ۱۳۸۶ و ایجاد ماتریس تبدیل، به پیش‌بینی تغییرات در سال‌های مورد نظر پرداخته شد. در روش زنجیره‌ای مارکوف، تصاویر ماهواره‌ای پوشش زمین بر اساس ماتریس احتمال تغییرات مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. در این روش تصاویر پهنه‌بندی کاربری اراضی را تحلیل کرده و یک خروجی به شکل ماتریس احتمالی تغییرات و یک تصویر خروجی از ماتریس احتمالی تغییرات برای سال افق ارائه می‌دهد (Ahadnejad Reveshty, 2010: 550).

زنجیره مارکوف، تغییرات ایجاد شده در منطقه مورد مطالعه را بر حسب زمان مشخص می‌کند. در این تحقیق میزان تغییرات کاربری اراضی شهر ایلام تا سال‌های ۱۴۰۹ (۲۰۲۰ م) و ۱۴۱۹ (۲۰۳۰ م) بررسی شده است. جدول ۵ نتایج پیش‌بینی تغییرات کاربری‌ها را در سال ۱۴۰۹ (۲۰۲۰ م) نمایش می‌دهد. بیشترین افزایش سطوح کاربری مربوط به اراضی مسکونی با افزایش ۳۸۴/۸ هکتاری خواهد بود. این افزایش سطح در کلاس اراضی کشاورزی با افزایش ۱۶/۶۳ هکتاری و باغ با افزایش ۱۳/۴۹ هکتاری رخ داده است؛ اما افزایش در کاربری اراضی مسکونی، به ترتیب مربوط به کاهش کلاس‌های جنگل با ۲۱۶/۹۴ هکتار و اراضی بایر با ۱۹۷/۹۸ هکتار است. بیشترین میزان کاهش سطح در کاربری جنگل رخ داده است و بیشترین افزایش سطح نیز مربوط به کاربری اراضی مسکونی است و همچنان روندی افزایشی دارد.

جدول ۵. مساحت پیش‌بینی شده برای سال ۱۴۰۹ (۲۰۲۰ م) با استفاده از مارکوف و ماتریس تبدیل ۱۳۸۶-۱۳۵۵ (واحد هکتار)

نام کاربری	اراضی مسکونی	اراضی کشاورزی	جنگل	اراضی بایر	باغ	مجموع ۱۳۸۶
اراضی مسکونی	۱۱۵۲/۶۰	۴۳۲/۷۴	۲۲۸/۸۳	۳۳۸/۵۶	۲۱/۶۷	۲۱۷۴/۴۰
اراضی کشاورزی	۷۹۰/۴۷	۷۲۸/۹۴	۱۱۰/۸۱	۸۴/۵۵	۲۸/۱۵	۱۷۴۲/۹۲
جنگل	۱۸۶/۸۲	۳۰۱/۰۵	۳۱۰/۳۲	۱۹۹/۱۴	۱/۷۰	۹۹۹/۰۳
اراضی بایر	۴۰۶/۸۳	۲۷۴/۳۴	۱۳۲/۱۳	۴۰۸/۹۳	۸/۱۸	۱۲۳۰/۴۱
باغ	۲۲/۴۸	۲۲/۴۸	۰	۱/۲۵	۰/۸۰	۴۷/۰۱
مجموع ۱۴۰۹	۲۵۵۹/۲۰	۱۷۵۹/۵۵	۷۸۲/۰۹	۱۰۳۲/۴۳	۶۰/۵۰	۶۱۹۳/۷۷

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۲)

در مقطع زمانی ۱۴۱۹-۱۳۸۶ نیز پیش‌بینی بدین صورت بوده است (جدول ۶). بیشترین افزایش سطوح کاربری مربوط به اراضی مسکونی با ۴۲۶/۳۷ هکتار است. کاربری باغ و کشاورزی به ترتیب با ۱۴/۵ و ۹/۶۴ هکتار افزایش خواهند داشت. کاربری‌های جنگل و

اراضی بایر نیز به ترتیب با ۲۳۵/۹۸ و ۲۱۴/۵۳ هکتار روند کاهشی خواهند داشت؛ بنابراین این افزایش در مساحت اراضی مسکونی با کاهش اراضی بایر و جنگل ارتباط دارد.

جدول ۶. مساحت پیش‌بینی شده برای سال ۱۴۱۹ (۲۰۳۰ م) با استفاده از مارکوف و ماتریس تبدیل ۱۳۸۶-۱۳۵۵ (واحد هکتار)

نام کاربری	اراضی مسکونی	اراضی کشاورزی	جنگل	اراضی بایر	باغ	مجموع ۱۳۸۶
اراضی مسکونی	۱۰۹۳/۶۱	۴۸۰/۴۳	۲۳۶/۴۹	۳۴۲/۰۹	۲۱/۷۸	۲۱۷۴/۴۰
اراضی کشاورزی	۷۸۸/۹۴	۶۶۰/۳۱	۱۳۴/۵۶	۱۳۳/۶۶	۲۵/۴۵	۱۷۴۲/۹۲
جنگل	۲۵۲/۹۵	۲۹۷/۵۶	۲۵۶/۲۸	۱۸۸/۰۹	۴/۱۵	۹۹۹/۰۳
اراضی بایر	۴۴۲/۲۵	۲۹۳/۷۶	۱۳۵/۷۲	۳۴۹/۲۶	۹/۴۳	۱۲۳۰/۴۱
باغ	۲۳/۰۲	۲۰/۵۰	۰	۲/۷۸	۰/۷۱	۴۷/۰۱
مجموع ۱۴۱۹	۲۶۰۰/۷۷	۱۷۵۲/۵۶	۷۶۳/۰۵	۱۰۱۵/۸۸	۶۱/۵۱	۶۱۹۳/۷۷

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۲)

در طی دوره ۲۳ و ۳۳ ساله پیش‌بینی تغییرات کاربری‌ها بدین نتیجه رسیدیم که بیشترین تغییرات کاربری مربوط به دو کاربری اراضی مسکونی با روند افزایشی و کاربری جنگل با روند کاهش شدید خواهد بود و با توجه به افزایش میزان جمعیت در شهر ایلام، بایستی تدابیری برای برنامه‌ریزی‌های دقیق گسترش فضایی-کالبدی شهر اندیشیده شود تا از کاربری با ارزش جنگل محافظت به عمل آید و از تخریب جنگل برای ساخت‌وسازهای انسانی جلوگیری شود.

### نتیجه‌گیری

هدف از مدل‌سازی، کمک به برنامه‌ریزان شهری و سایر پژوهشگران است تا بتوانند یک پیش‌بینی از وضعیت محدوده شهرها و دیگر تغییرات کاربری اراضی در آینده داشته باشند. مدل‌های فضایی ابزارهای مفیدی برای درک فرایند توسعه شهری، ابزار کمکی سیاست‌گذاری، مدیریت و برنامه‌ریزی شهری و فراهم‌کننده اطلاعات برای ارزیابی تأثیرات شهری بر کاربری‌های دیگر هستند. با استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل مارکوف، در تحقیق حاضر، رشد شهری و تغییرات کاربری اراضی بررسی و پیش‌بینی شده است. نتایج تبدیل و تغییر کاربری در دوره مطالعاتی ۳۱ ساله (۱۳۸۶-۱۳۵۵) حاکی از گسترش اراضی مسکونی و

تخریب شدید کاربری جنگل است و در مبحث تغییرات کاربری اراضی منطقه نیز بیشترین تغییرات کاربری در کاربری جنگل با ۰/۳۳ درصد روند کاهش و سپس اراضی مسکونی با ۰/۳۱ درصد روند افزایشی صورت گرفته است و در روش جدول متعامد نیز کاربری جنگل بیشترین تبدیل و تغییر را داشته و از میزان مساحتش بسیار کاسته شده است و کاربری اراضی مسکونی با بیشترین میزان ثبات کاربری و همچنین بلعیدن کاربری‌های دیگر بر مساحتش افزوده شده است و در نهایت در مبحث رشد شهری و تغییرات کاربری اراضی تا سال‌های ۱۴۰۹ (۲۰۲۰ م) و ۱۴۱۹ (۲۰۳۰ م) با استفاده از ماتریس تبدیل ۱۳۸۶-۱۳۵۵ و مدل مارکوف مورد پیش‌بینی قرار گرفت که نشان از ادامه تخریب جنگل در سال‌های آتی و همچنین کاهش اراضی بایر در ۲۳ و ۳۳ سال آینده دارد و کاربری اراضی مسکونی متناسب با افزایش جمعیت افزایش خواهد یافت. در واقع بی‌توجهی به ضوابط و مقررات گسترش کالبدی-فضایی شهر در سال‌های اخیر، مایه نابودی کاربری جنگل یا تبدیل عامدانه آن‌ها به کاربری اراضی مسکونی شده است.

ویژگی جوامع شهری امروز، سبب ناپایداری انسان‌ها و محیط زیست شده است. درک مکانیسم فرایند رشد شهری به منظور رسیدن به شکل شهری پایدار بسیار مهم است. با وجود اینکه اغلب کارشناسان امور

برنامه شهر که اغلب نتیجه فعالیت سوداگران و بورس‌بازان زمین است، جلوگیری کنند.

- استفاده از شیوه‌های انبوه‌سازی و بلندمرتبه‌سازی: یکی از بهترین روش‌های محدود کردن گسترش افقی شهر، توسعه عمودی و بلندمرتبه‌سازی (شهر فشرده) است. همچنین استفاده از این روش باید به‌همراه کاهش زیربنا و قطعات تفکیکی باشد.

- استفاده از زمین‌های بایر و خالی موجود در داخل شهر: با توجه به مزایای استفاده از این زمین‌ها، باید به استفاده از این زمین‌ها در توسعه آینده شهر اولویت داده شود.

- هدایت توسعه شهر در جهاتی غیر از اراضی جنگلی: از آنجا که توسعه فیزیکی شهر امری اجتناب‌ناپذیر است و با ورود جمعیت به شهرها، گسترش فیزیکی شهر نیز ضرورت می‌یابد، باید سعی شود توسعه شهر به سمتی هدایت شود که اراضی جنگلی و باغات در این فرایند نابود نشود.

- مطالعه استعداد زمین‌های کشاورزی: اگر استفاده از زمین‌های کشاورزی برای ساخت‌وسازهای شهری اجتناب‌ناپذیر شود، ضروری است با توجه به طبقه‌بندی زمین‌های پیرامون شهر براساس عواملی نظیر نوع خاک، فرسایش، شیب زمین، عمق و بافت خاک، قابلیت آبیاری، زهکشی، قابلیت نگهداری آب و غیره تا جایی که ممکن است زمین‌هایی که استعداد جنگل‌داری کمتری دارند، به محدوده شهر اضافه شود.

#### منابع

احدزاد روشتی، محسن؛ حسینی، سید احمد. (۱۳۹۰). ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات و پراکنش افقی شهرها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه و سیستم اطلاعات جغرافیایی (نمونه موردی: شهر تبریز در مقطع زمانی ۱۳۸۹-۱۳۶۳). مجله پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، سال دوم، شماره چهارم، صص ۲۰-۱.

شهری بر اهمیت این منطقه واقف‌اند، همچنان این حوزه، منطقه‌ای فراموش شده در عرصه تحقیقات شهری به‌ویژه در ایران است. با توجه به نتایج این پژوهش، نقشه‌ها، جدول‌ها و دیاگرام‌های مربوط به آن، عمده‌ترین تأثیر گسترش فضایی-کالبدی حواشی شهر ایلام بر اراضی جنگلی و بایر است که ریه‌های شهر محسوب می‌شوند. نابودی این اراضی، مشکلات زیست‌محیطی متعددی برای شهر متوسط به‌وجود می‌آورد. از مجموع بحث‌های این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که پراکنش افقی، به‌علت آثار نامطوب اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی و تأثیر منفی بر اراضی جنگلی، شهر را به سمت ناپداری بیشتر سوق می‌دهد؛ بنابراین راهکار افزایش فشردگی کالبدی و استفاده از شیوه‌های مربوط به آن به‌منظور هدایت توسعه شهر به سمت پایداری بیشتر، باید در دستور کار برنامه‌ریزان و متولیان امور شهری قرار گیرد. در واقع بی‌توجهی به ضوابط و مقررات گسترش کالبدی-فضایی شهر در سال‌های اخیر، به‌خصوص ۳۰ سال گذشته، مایه نابودی اراضی جنگلی یا تبدیل عامدانه آن‌ها به کاربری بایر شهری و سپس به کاربری‌های ساخته شده شده است.

#### پیشنهادها

با مشخص شدن نوع الگوی توسعه این شهر و تأثیر آن بر اراضی جنگلی، به‌منظور کاهش پراکنش افقی این شهر و در نتیجه کاهش مشکلات ناشی از آن، پیشنهادهای زیر مطرح می‌شود.

- نظارت بیشتر بر محدوده‌های شهری: یکی از علل اصلی پراکنش افقی، برنامه‌ریزی نکردن سازمان‌های مرتبط و برنامه‌ریزان برای چگونگی گسترش و توسعه شهری یا اجرانکردن طرح‌های موجود است؛ بنابراین سازمان‌های شهری مانند شهرداری باید از رشد بدون



فیضی زاده، بختیار؛ حاجی میرحیومی، سید محمود. (۱۳۸۶). آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش طبقه‌بندی شی گرا (مطالعه موردی: شهرک اندیشه). نقشه‌برداری، انجمن علمی مهندسی نقشه برداری و ژئوماتیک ایران، سال ۱۹، شماره ۹۹، صص ۱۰-۱.

محمدزاده، رحمت. (۱۳۸۶). بررسی زیست‌محیطی توسعه شتابان شهرها با تأکید بر شهرهای تهران و تبریز. مجله توسعه ناحیه‌ای، دانشگاه فردوسی مشهد، شماره نهم، پاییز و زمستان ۸۶، صص ۹۳-۱۱۲.

میرباقری، وهب؛ آبکار، علی‌اکبر؛ اسدی راشد، هانیه. (۱۳۸۵). بررسی امکان تولید نقشه پوشش گیاهی در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ در استان اصفهان با استفاده از تصاویر روزانه سنجنده MODIS، مجموعه مقالات همایش ژئوماتیک، سازمان نقشه‌برداری، تهران.

نجفی، اسماعیل. (۱۳۸۹). قابلیت‌ها و محدودیت‌های ژئومورفولوژیکی توسعه فیزیکی شهر ایلام. پایان‌نامه کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران.

Ahadnejad Reveshty, M (2010). Evaluation and forecast of human impacts based on land use changes using multi temporal satellite imagery and GIS: a case study on Zanjan, Iran(1984-2009), proceedings of the joint international conference on theory, Data Handling and modeling in Geo spatial information science, Hong kong: 548-552.

Brown, D.G; Pijanowski, B.C and Duh, J.D (2000). Modeling the relationships between land use and land cover on private lands in the Upper Midwest, USA. Journal of Environment 59: 247-263.

Chavez, P.S.J.R and Mackinnon, D.J (1994). Automatic detection of vegetation changes in the southwestern United States using remotely sensed images. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 60: 571-583.

Dellepian, S.G and Smith, P.C (1999). Quality assessment of image classification algorithms for land cover mapping: A review and a proposal for a cost based approach, International Journal of Remote Sensing. 20: 1461-1486.

Du, Y; Teillet, P.M and Cihlar, J (2002). Radiometric normalization of multitemporal high-resolution satellite images with quality control for

بهرام سلطانی، کامبیز. (۱۳۷۱). مجموعه مباحث و روش‌های شهرسازی، محیط زیست تهران: مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری ایران. ۲۴۰ص

خسروی، مریم. (۱۳۸۳). تعیین جهت توسعه فیزیکی شهر اندیمشک با استفاده از داده‌های سنجنش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم.

خوش‌گفتار، مهدی؛ طالعی، محمد. (۱۳۸۹). شبیه‌سازی رشد شهری در تهران با استفاده از مدل CA-Markov. مجله سنجنش‌آز دور و GIS ایران، انجمن سنجنش از دور و GIS ایران و دانشگاه شهید بهشتی، سال دوم، شماره دوم، صص ۱۷-۳۳.

رضازاده، راضیه؛ میراحمدی، مهرداد. (۱۳۸۸). مدل اتوماسیون سلولی روشی نوین در شبیه‌سازی رشد شهری. نشریه فناوری آموزش، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، جلد ۴، شماره ۶، صص ۴۷-۵۵.

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان ایلام. (۱۳۸۵). جایگاه استان ایلام در تحقق جهت‌گیری‌های آمایش سرزمین سالنامه آماری ایلام (جمعیت).

طاهری، غلامرضا. (۱۳۸۱). الگوی توسعه فیزیکی شهر رامشیر و ارائه یک الگوی مناسب. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

ظاهری، محمد. (۱۳۸۷). نقش روند گسترش کالبدی شهر تبریز در ایجاد تغییرات کاربری اراضی حومه شهر و روستاهای حوزه نفوذ (مطالعه موردی: روستاهای الوار سفلی، باغ معروف، شادآباد مشایخ و کندرود)، مجله جغرافیا و توسعه، دانشگاه سیستان و بلوچستان، شماره ۱۱، صص ۱۹۸-۱۸۱.

عبدالامیر، کرم. (۱۳۸۴). بررسی تحلیل تناسب زمین برای توسعه کالبدی در محور شمال غرب شیراز با استفاده از رویکرد ارزیابی چندمعیاری (MCE) در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (ساج-gis). پژوهش‌های جغرافیایی، دانشگاه تهران، شماره ۵۴، صص ۹۳-۱۰۶.

علی‌محمدی، عباس؛ موسیوند، علی‌جعفر؛ شایان، سیاوش. (۱۳۸۸). پیش‌بینی کاربری اراضی و پوشش زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل زنجیره‌ای مارکوف. برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دانشگاه تربیت مدرس، دوره ۱۴، شماره ۳، صص ۱۳۰-۱۱۷.

- merropolitan area, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 8: 18-25
- Mc Gill, R (1998). Urban Management in Developing Countries. Cities. Vol, 1. No 6.
- Mubea, K.W; Ngigi, T.G and Mundia C.N (2010). Assessing application of Markov chain analysis in predicting land cover change: A case study of Nakuru Municipality: 126-144.
- Muller, M.R and Middleton, J (1994). A Markov model of landuse change dynamics in the Niagara Region, Ontario, Canada. Landscape Ecology 9: 151-157.
- Rafiee, R; Mahiny A and Khorasani, N (2009). Assessment of changes in urban green spaces of mashad city using satellite data, International journal of Applied Earth Observation and Geoinformation: 431-438.
- Zhang, T (2000). Urban Sprawl in China: Land Market Force and Government s Role, cities: the international journal of urban planing and studies, Vol. 17: 123-135.
- land cover change detection. Remote Sensing of Environment 82: 123° 134.
- Eastman, J.R; McKendry, J and Fulk, M.A (2006). Change and time series analysis. In: Explorations in Geographic Informations Systems Technology, United Nations Institute for Training and Research (UNITAR), Geneva: 325.
- 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.
- He, C; Okada, N; Zhang, Q; Shi P and Li, J (2008). Modeling dynamic urban expansion processes incorporating a potential model with cellular automata, landscape and urban planning, No.86: 79-91.
- Jenerette, G.D and Wu, J (2001). Analysis and simulation of land use change in the central Arizon Phoenix region , USA", Landscape Ecology., Vol 16: 611-626.
- Kaya, S and Curran, P.J (2006). Monitoring urban growth on the European side of the Tstanbul

