

### مقاله پژوهشی

## پیش بینی تغییرات کاربری اراضی و تعیین الگوی رشد شهری با استفاده از مدل زنجیره‌ای مارکوف و تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه (مورد پژوهی: شهر اراک)<sup>۱</sup>

فاطمه اسمعیل پور، دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه ریزی شهری دانشگاه یزد، ایران  
محمدحسین سرائی<sup>۲</sup>، دانشیار جغرافیا و برنامه ریزی شهری دانشگاه یزد، ایران  
محمدرضا رضایی، دانشیار جغرافیا و برنامه ریزی شهری دانشگاه یزد، ایران  
نجما اسمعیل پور، استادیار گروه شهرسازی دانشگاه یزد، ایران

### چکیده

تغییرات سریع پوشش زمین در حومه شهرهای بزرگ ایران، از جمله شهر اراک به عنوان یک شهر صنعتی و کلانشهر، در دهه‌های اخیر مشکلات فراوانی از جمله تخریب منابع طبیعی، آلودگی‌های زیست‌محیطی و رشد نامناسب شهرها را در برداشته است. که در اغلب موارد، این عوارض ناشی از تغییر غیر اصولی کاربری اراضی بوده است. مطالعه میزان تغییرات و تخریب منابع در سال‌های گذشته و امکان‌سنجی و پیش بینی این تغییرات و الگوی رشد شهر در سال‌های آینده می‌تواند گام مهمی در راستای برنامه‌ریزی و استفاده بهینه از منابع در آینده باشد. در این تحقیق، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه لندست مربوط به سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۸ اطلاعات جانبی و مدل زنجیره‌ای مارکوف و شبکه‌های عصبی مصنوعی، تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین به وقوع پیوسته، طی ۱۸ سال، در شهر اراک مدل شده تا با آشکارسازی تغییرات، میزان تبدیل برای هر دوره و پیش‌بینی کاربری‌ها در چهار کلاس مورد نظر بدست آید. جهت انجام تحقیق ابتدا تصاویر مورد استفاده از نظر بهترین باندها جهت ترکیب بانندی بررسی و انتخاب گردید. در ادامه با روش شبکه عصبی طبقه بندی انجام و ارزیابی صحت و دقت طبقه‌بندی با ضریب کاپا و دقت کلی صورت گرفت. در پایان با بکارگیری مدل پیش بینی مارکوف و رویکرد مدل‌ساز LCM تغییرات کاربری اراضی برای سال ۲۰۲۸ پیش بینی شد. نتایج بدست آمده حاکی از گسترش بی رویه مناطق ساخته‌شده و تخریب شدید اراضی کشاورزی طی دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ و کاهش شدید اراضی بایر و تبدیل آنها به اراضی ساخته‌شده در درون محدوده و حاشیه شهر و کاهش اراضی کلاس کوهستان در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۸ می‌باشد. مدل سازی تغییرات همچنین نشان می‌دهد در دوره ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۸ جهت رشد شهر از شمال و شمال‌شرق به جنوب و جنوب‌غرب (به سمت اراضی کوهستانی و باغی دو روستای الحاق شده به شهر) تغییر خواهد یافت.

**کلمات کلیدی:** پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی، زنجیره‌ای مارکوف، تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه، شهر اراک

<sup>۱</sup>- این مقاله مستخرج از پایان نامه دکتری نویسنده اول با عنوان "تبیین الگوهای رشد شهر با تاکید بر استراتژی‌ها توسعه میان‌افزا (نمونه موردی شهر اراک)" به راهنمایی نویسنده دوم و مشاوره نویسندگان سوم و چهارم می‌باشد.

<sup>۲</sup>- نویسنده مسئول: msaraei@yazd.ac.ir

## مقدمه

با توجه به رشد شهرنشینی در قرن حاضر می‌توان گفت جهان در سده بیست و یکم دچار شهرنشینی فزاینده‌ای شده است. بطوریکه در سال ۱۹۰۰ تنها ۱۳ درصد جمعیت جهان در شهرها زندگی می‌کردند اما هم‌اکنون بیش از نیمی از جمعیت جهان در شهرها زندگی می‌کنند (لئو و وی، ۲۰۰۹: ۵۱). این فشار افزایش جمعیت منجر به گسترش افقی مناطق شهری، تغییر سریع در کاربری زمین و افزایش تخریب زیست محیطی می‌شود (دوان و یاماگوشی، ۲۰۰۹: ۳۹۰). این در حالی است که، رشد فضای اشغال شده توسط مناطق شهری در حال افزایش، سریع‌تر از جمعیت آن است و برآورد شده است که بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۳۰ جمعیت شهری جهان تا ۷۲ درصد افزایش پیدا می‌کند. در حالیکه مناطق ساخته شده ۱۰۰۰۰۰ نفری و بیشتر، می‌تواند تا ۱۷۵ درصد افزایش پیدا کند (تیولد و کابرا، ۲۰۱۱: ۲۱۴۹۸). تغییرات کاربری اراضی و پوشش سرزمین را می‌توان آغاز بهره‌برداری‌های پویای انسان از منابع طبیعی برای برطرف کردن نیازهایش دانست (مشتاقیون و همکاران، ۱۳۹۳: ۲۸). برطرف کردن این نیازها، کاربری‌ها و در نتیجه پوشش‌های متفاوتی در سطح زمین ایجاد می‌کند که درک رشد شهری و تغییرات صورت گرفته در کاربری‌ها نیازمند تهیه نقشه‌های پوشش زمین است.

یکی از راه‌های تهیه نقشه‌های پوشش زمین و بررسی تغییرات آن، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و فرایند طبقه‌بندی تصاویر است. در این زمینه داده‌های سنجنش از دور به دلیل داشتن ویژگی‌هایی مانند پوشش زمین، بهنگام بودن، تکرارپذیری، توان تفکیک بالای مکانی-طیفی و رادیومتریکی قابلیت بالایی برای بررسی تغییرات زمانی و مکانی تغییر کلاس‌های پوشش زمینی دارد (جنسن، ۲۰۰۷: ۵۹۲). سنجنش از دور ابزار موثری برای پایش تغییرات و پشتیبانی از تصمیم‌گیری در برنامه‌ریزی شهری است. در این بین تصاویر دوره‌ای ماهواره لندست یکی از مهمترین منابع داده‌ای برای مطالعه انواع مختلف تغییر کاربری و پوشش زمین می‌باشد و استخراج اطلاعات از تصاویر

ماهواره‌ای به وسیله طبقه‌بندی از پرکاربردترین روش‌های موجود است (میرزایی زاده، ۱۳۹۴: ۳۰). یکی از کاربردهای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای بررسی و کشف تغییرات به وجود آمده در پدیده‌هایی است که ماهیت زمانی مکانی دارد در واقع کشف تغییرات فرایند شناسایی و تعیین نوع و وسعت پوشش یا کلاس‌های پوشش زمین در یک دوره زمانی با استفاده از تصاویر سنجش از دور گفته می‌شود. مدل‌سازی رشد شهری و تغییرات صورت گرفته در کاربری جزء جدایی ناپذیر از برنامه‌ریزی برای توسعه پایدار است. مدیریت کاربری اراضی/تغییر پوشش زمین<sup>۱</sup> نیاز به آگاهی از تغییرات گذشته، برنامه‌ریزی فعلی و تصمیمات مرتبط با آن در جهت تحولات آینده دارد (جهان شکیب و همکاران، ۲۰۱۸: ۳۳۲) بنابراین پیش‌بینی و ارزیابی پتانسیل و تغییرات الگوهای کاربری زمین از طریق مدل‌سازی به برنامه‌ریزان مدیران شهری محیط زیست و منابع طبیعی برای تصمیمات آگاهانه‌تر کمک می‌کند.

رشد شهری در کلانشهر اراک در دوره‌های مختلف متفاوت بوده اما در تمام دوره‌ها گرایش به افزایش مساحت کلاس اراضی شهری و کاهش اراضی کشاورزی و پوشش گیاهی مشهود است. این مساله باعث کاهش اراضی پوشش گیاهی از ۳۰۲۷ در سال ۱۳۶۵ به ۲۷۶۴ هکتار در سال ۱۳۹۰ شده است (بوالحسنی، ۱۳۹۳: ۱۱۴). آگاهی در مورد تغییر پوشش زمین فضایی-زمانی و تغییرات پیش‌بینی شده ممکن است نقش مهمی در روند تصمیم‌گیری داشته‌باشد. پایش رشد به درک گرایش‌های گذشته و الگوهای رشد کمک می‌کند. لذا هدف این پژوهش بررسی روند رشد شهر و تغییرات صورت گرفته در کاربری‌ها و مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری‌ها در سال‌های آتی است. تحقیقات بسیاری در مورد مدل‌سازی رشد شهر در کشورهای مختلف جهان و کشور ایران انجام شده که هر کدام از آنها سعی در پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی شهری و مدل‌سازی آنها داشته‌اند. ون‌نگوین<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۷) با هدف شناسایی و

<sup>۱</sup> Land Use Land Cover(LULC)

<sup>۲</sup> Van Nguyen

پیش بینی گسترش منطقه شهری در هانوی در کشور ویتنام، ابتدا تصاویر ماهواره SPOT-5 را برای سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۰۷، و ۲۰۱۱ به منظور طبقه بندی چهار طبقه آب، پوشش گیاهی، زمین‌های بایر و مسکونی مورد استفاده قرار داده و سپس شاخص سطح غیر قابل نفوذ از باندهای طیفی تصاویر را محاسبه نمودند. از این شاخص برای استخراج اطلاعات سطوح غیرقابل نفوذ منطقه مسکونی استفاده نموده و با استفاده از مدل زنجیره‌ای مارکوف شبیه‌سازی و پیش بینی را برای سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۷ انجام دادند. نتایج نشان داد که سطوح غیرقابل نفوذ هانوی به ترتیب به ۸.۲۷٪ و ۱۴.۰۹٪ از کل منطقه مورد مطالعه، در سالهای ۲۰۱۹ و ۲۰۲۷ افزایش خواهد یافت (ون‌نگوین، ۲۰۱۷: ۱۱).

محمود و پراسانا (۲۰۱۵) نقشه‌های کاربری زمین و پوشش زمین (LULC) از منطقه آسویت مصر را از سال ۱۹۹۰، ۲۰۰۳ و ۲۰۱۵ پردازش کرده و سپس خروجی‌ها در شبکه سلولی خودکار مارکوف پردازش نمودند و برای تولید مدل مناسب برای آینده، ارزیابی چند معیاره (MCE) مورد استفاده قرار دادند. سپس نتیجه گرفتند که ترکیبی از نیروهای هدایت کننده متنوع در دوره‌های مختلف وجود دارد. این یافته نشان داد که روند فعلی توسعه شهری در یک مرحله بحرانی است که در آن مناطق شهری و روستایی در طول ۱۵ سال آینده با فشار بی‌سابقه بر مناطق کشاورزی مواجه خواهند شد و سیاست‌های فعلی نمی‌توانند با چالش‌های آینده در ارتباط با جهت توسعه شهری مواجه شوند. با این حال، مطالعه نشان می‌دهد که سیاست‌های متمایز گسترش معقول شهری مبتنی بر سناریو باید مورد توجه قرار گیرد (محمود و پراسانا، ۲۰۱۵: ۹۹).

ساحانا<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۸) الگوی فضای شهری و روند رشد شهری در مجموعه شهری کولکاتای هندوستان را با استفاده از ماتریس اسپیرال شهری در طی دوره‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰ و ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵، مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. هفت طبقه شهری یعنی هسته اولیه شهری، هسته ثانویه شهری، لبه‌های حومه‌ای، سکونتگاه‌های

<sup>۱</sup> Sahana

پراکنده، فضای باز شهری، ناحیه غیر شهری و سطوح آبی برای تحلیل مقدار و جهت گسترش شهرها انتخاب شدند. آنها دریافتند که گسترش شهرها نتیجه تغییرات کاربری از زمین‌های کشاورزی به شهری است. هسته‌های اولیه و ثانویه شهری در شهرهای تازه توسعه‌یافته افزایش داشته است. مناطق حومه‌ای در شهرهای دور از رودخانه هوگولی، افزایش داشته است، در حالی که فضای باز در تمام شهرهای قدیمی کاهش داشته است (ساحانا و همکاران، ۲۰۱۸: ۱۵۵۷). جدول (۱) خلاصه برخی از مطالعات انجام شده در کشورمان را نشان می‌دهد.

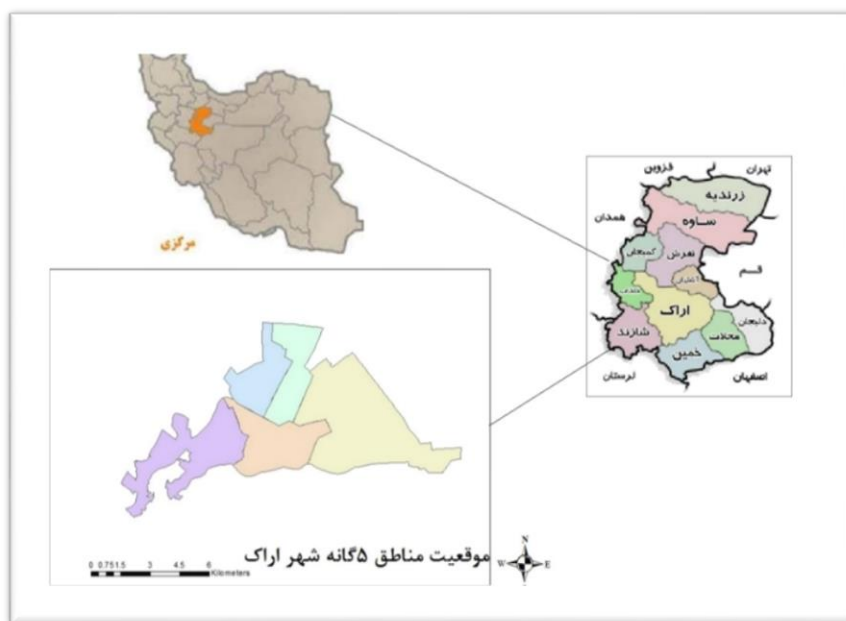
#### داده‌ها و روش

**منطقه مورد مطالعه:** شهرستان اراک بر روی نصف النهار  $۱۶^{\circ} ۴۹'$  تا  $۱۹^{\circ} ۵۰'$  و بر روی مدار  $۳۲^{\circ} ۳۳'$  تا  $۳۴^{\circ} ۴۵'$  قرار گرفته است و  $۴۱۲۹/۰۱۸۸$  کیلومتر مربع مساحت دارد و ۱۹ درصد از مساحت استان را به خود اختصاص می‌دهد (شکل ۱). این شهرستان متشکل از ۲ بخش، ۴ شهر و ۱۰ دهستان است. شهر اراک مرکز استان مرکزی و در بین  $۳۴^{\circ}$  درجه و  $۵$  دقیقه و  $۳۰$  ثانیه عرض شمالی از خط استوا و  $۴۴^{\circ}$  درجه و  $۴۱$  دقیقه و  $۳۰$  ثانیه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار گرفته و مهمترین کانون جمعیتی شهرستان مورد مطالعه می‌باشد (عابدینی و همکاران، ۱۳۹۴: ۶۱). این شهر در سال ۱۳۹۵ دارای ۵۲۰۹۴۴ نفر جمعیت و نسبت به سرشماری ۱۳۹۰ دارای رشد منفی بوده است (۰/۶- درصد).

جدول ۱- خلاصه برخی از مطالعات انجام شده در زمینه تغییرات، مدل سازی و پیش بینی

تغییرات کاربری اراضی در ایران

عنوان پژوهش	سال	پژوهشگران	مورد پژوهی	روشها و نرم افزارهای مورد استفاده	یافته ها و نتایج
الگوسازی گرایش های شهرها با استفاده از الگوی رشد خودکار سلولی	۱۳۹۴	خیرالدین، سالاریان	چالوس	مدل رشد خودکار سلولی (CA)	خروجی های تحلیل و الگوسازی توسعه های درونی و بیرونی را نشان و توسعه بیرونی را تهدیدی برای اراضی کشاورزی و محیط زیست می داند
تلفیق تکنیک های سنجش از دور، GIS و مدل LCM با رویکرد مدلسازی توسعه شهری	۱۳۹۲	حیدریان، رنگزن، ملکی و تقی زاده	تهران	مدلسازی با استفاده از مدل LCM، پیش بینی با استفاده از روش MLP و زنجیره مارکوف	پیش بینی بیشترین توسعه در غرب و شرق تهران
پایش روند تغییرات پوشش زمین	۱۳۹۶	شمسی پور، حیدری و باقری	کرمانشاه	مدل زنجیره CA مارکوف	از مساحت کلاس های مناطق کوهستانی پوشش گیاهی صخره ای و سطوح آبی به کاربری شهری
مدلسازی رشد و توسعه با استفاده از تحلیل های پیشرفته فضایی	۱۳۹۴	مشتاقیون، المدرسی و جمالی	یزد	دو روش CA- Markov و LCM	پیش بینی نقشه خروجی در سال ۲۰۲۰ بیشترین افزایش در اراضی ساخته شده و بیشترین کاهش را برای زمین بایرو گسترش شهر به سمت جنوب و غرب
مقایسه دو روش مارکوف و ژنومد در شبیه سازی محیطی	۱۳۹۶	اسلامی امیرآبادی	میبد	CA-Markov و ژنومد	نشان دادن درصد تبدیل بیشتری در کاربری شهری و پوشش گیاهی در روش ژنومد نسبت به روش مارکوف



شکل ۱- موقعیت شهر اراک در استان و کشور و محدوده و مناطق شهر

**داده‌ها و روش:** داده‌های سنجش از دور مورد استفاده در این پژوهش از داده‌های ماهواره لندست ۸ که دارای دو سنجنده با نام‌های OLI و TIRS است- سنجنده OLI دارای ۹ بانده و سنجنده TIRS سنجنده‌ای حرارتی هست دارای دو بانده می باشد، استفاده و پس از تهیه و پس از بررسی تصاویر دریافتی محدوده مطالعاتی و انطباق آن‌ها با نقشه شبکه معابر موجود، تعداد ۳۰ نقطه کنترل با GPS برداشت شد. سپس از تطابق کامل تصاویر ماهواره‌ای با نقاط GPS و نقشه معابر موجود، تصحیح هندسی انجام شد. داده‌های سنجش از راه دور با بررسی نقشه‌های واحد GIS شهرداری اراک جهت پردازش تصاویر در محدوده قانونی تکمیل شد. نقشه‌های فضایی مجازی مانند Google Earth داده که جهت کنترل طبقه بندی‌ها مفید بود. تجزیه و تحلیل کاربری زمین برای درک تغییر در الگوی رشد شهر و کاربری‌ها در طول زمان در منطقه مورد مطالعه شامل فرایندهای زیر بود:

الف- تهیه بهترین باندها جهت شرکت در ترکیب باندى با استفاده از شاخص OIF در نرم افزار ILWIS ب- طبقه‌بندی تصویر به روش شبکه عصبی ج- ارزیابی صحت طبقه‌بندی با استفاده از ماتریس خطای تشکیل شده ضریب کاپا و دقت کلی و مقایسه وضع موجود منطقه از طریق نقاط GPS زمینی و نقشه‌های Google Earth با نقشه‌های تهیه شده کاربری اراضی د- اجرای مدل‌ساز LCM جهت مدل‌سازی و پایش تغییرات کاربری اراضی به کمک نرم‌افزار TerrSet در سال‌های مورد مطالعه ه- پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی از روش تلفیق زنجیره‌های مارکوف و سلول‌های خودکار. تصاویر مورد استفاده در این پژوهش، تصاویر لندست سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۸ می باشد. جزئیات تصاویر مورد استفاده برای استخراج کلاسهای پوشش زمین در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲- اطلاعات داده های سنجنش از دور مورد استفاده در پژوهش

تاریخ اخذ شده	ماهواره	سنجنده	سین
۲۰۰۰/۰۷/۰۵	لندست ۵	TM	۳۸-۱۶۵
۲۰۱۰/۰۶/۲۹	لندست ۵	TM	۳۸-۱۶۵
۲۰۱۸/۰۷/۰۲	لندست ۸	OLI	۳۸-۱۶۵

الف- انتخاب بهترین ترکیب باندى: در داده‌های سنجنش از دور، محاسبات اولیه برخی شاخص‌های آماری مفید و ضروری است. این محاسبات شامل میانگین، انحراف معیار، ماتریس همبستگی، ماتریس واریانس- کوراریانس در هر باند است. برای استفاده مطلوب از داده‌های چند طیفی، لازم است تا بهترین ترکیب باندى، مشخص شود. انتخاب بهترین ترکیب باندى از طریق مقایسه چشمی تصاویر FCC، مشکل و وقت‌گیر است. بنابراین می‌توان با روش رقومی از پارامتری به نام فاکتور شاخص مطلوب<sup>۱</sup> برای دو منظور زیر استفاده کرد:

<sup>۱</sup> Optimum Index Factor (OIF)



(۱) تعیین مناسب ترین ترکیب بانندی برای ایجاد FCC

(۲) تعیین مناسب ترین باندها برای طبقه بندی رقومی (چاوز و همکاران، ۱۹۸۶).

تعداد ترکیب های بانندی متعددی که حاصل از باندهای طیفی اند، باید ساخته شده و مقایسه شوند. بر اساس رابطه زیر، می توان تعداد ترکیب های سه تایی حاصل از باندهای مورد استفاده را محاسبه کرد.

$$\binom{N}{3} = \frac{N!}{3!(N-3)!} \quad \text{معادله (۱)}$$

$\binom{N}{3}$  تعداد ترکیب سه تایی باندها و N تعداد باندهاست. برای ۷ باند ETM<sup>+</sup> ماهواره ۳۵ ترکیب سه تایی به شرح زیر قابل استخراج است:

$$\binom{N}{3} = \frac{7 \times 6 \times 5 \times 4 \times 3 \times 2 \times 1}{3 \times 2 \times 1 (4 \times 3 \times 2 \times 1)} = 35 \quad \text{معادله (۲)}$$

معمولا در انتخاب ترکیب های بانندی، از باند حرارتی به دلیل ماهیت متفاوت، با باندهای انعکاسی صرف نظر می گردد (علوی پناه، ۱۳۸۲: ۱۲۹). در نرم افزار ILWIS ابتدا ماتریس واریانس - کواریانس و ماتریس همبستگی در نرم افزار ILWIS محاسبه و سپس شاخص OIF بدست می آید.

ب- طبقه بندی تصویر: به دو روش انجام می گردد:

- طبقه بندی نظارت نشده: روش های طبقه بندی که فقط متکی به اطلاعات تصویر می باشد و کاربر در کل فرآیند آن نقشی ندارد را روش های طبقه بندی نظارت نشده می گویند. روش های طبقه بندی نظارت نشده از کمترین اطلاعات جانبی برای تصمیم گیری در مورد پیکسل ها استفاده می کنند. در این روش وظیفه کشف کلاس ها به صورت کامل بر عهده الگوریتم است و عامل هیچگونه تعریفی از کلاس ها چه به صورت نام پیکسل های معلوم و یا پارامترهای خاص به الگوریتم وارد نمی کنند

(پیرنظر، ۱۳۹۴: ۱۶۷). این روش با دو دستور ISO Data و K-mean در نرم افزار Envi انجام می‌شود.

- طبقه بندی نظارت شده: طبقه بندی نظارت شده به روش‌های طبقه‌بندی که علاوه بر تصاویر ورودی نیاز به یکسری اطلاعات خارجی درباره منطقه و کلاس‌های مورد نظر دارند و دخالت عامل انسانی در آنها یک امر اجتناب ناپذیر است طبقه‌بندی نظارت شده می‌گویند معمولاً این اطلاعات جانبی به صورت یک سری پیکسل‌های معلوم برای هر کلاس است که به الگوریتم معرفی می‌شوند. الگوریتم‌های طبقه بندی با استفاده از این پیکسل‌های معلوم در مورد سایر پیکسل‌های تصویر تصمیم گیری می‌کند پیکسل‌های معلوم به آن دسته از پیکسل‌ها گفته می‌شود که به یک کلاس مشخص در منطقه اختصاص دارد این پیکسل‌ها از طریق بازدید میدانی نقشه‌های موجود یا مدارک و اطلاعات دیگر درباره منطقه تعیین می‌شوند. بنابراین قبل از انجام یک طبقه بندی نظارت شده همیشه نیاز به تعداد پیکسل معلوم برای هر کلاس است (پیرنظر، ۱۳۹۴: ۱۷۰). در روش طبقه‌بندی نظارت شده از مناطق آموزشی و تعلیمی به عنوان مبنای طبقه‌بندی استفاده می‌شود، به عبارتی در نمونه‌های آموزشی با ارزش‌های طیفی پیکسل‌ها مقایسه و طبقه بندی می‌شود (علوی پناه، ۱۳۸۲: ۲۹۶). این کار در نرم افزار Envi از طریق معرفی Roi ها صورت می‌گیرد.

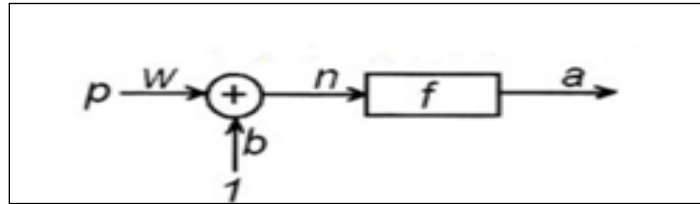
**ج- عملیات میدانی و انتخاب مناطق آموزشی نمونه و انتخاب کلاس‌ها:** در این مرحله با استفاده از نقشه‌های موجود از حوزه مورد مطالعه و مشاوره با کارشناسان مربوطه، کلاس‌های طبقه‌بندی انتخاب شدند. انتخاب کلاس‌های مورد نظر باید با دقت صورت گیرد و همواره به این مهم توجه داشت بین کلاس‌هایی که مفسر انتخاب می‌کند و کلاس‌های ناشی از داده‌های سنجش از دور (کلاس‌های طیفی) تفاوت اساسی وجود دارد. این مرحله بسیار مهمی است که مفسر باید با سعی و خطا، آزمون‌ها و تعریف‌های مناسب از کلاس‌ها، مشکل ناشی از کلاس‌های طیفی و کلاس‌های

اطلاعاتی را حل کند (علوی پناه، ۱۳۸۲: ۲۹۹). پس از انتخاب کلاس‌ها، طبقه‌بندی تصویر انجام می‌شود. روش مورد استفاده برای طبقه‌بندی در این پژوهش شبکه عصبی است که در ذیل به آن پرداخته می‌شود.

شبکه‌های عصبی مصنوعی: یکی از روش‌های هوش مصنوعی<sup>۱</sup> مورد توجه، شبکه‌های عصبی مصنوعی است که بر پایه‌ی ریاضیات و بر اساس تقلید بسیار ساده از سیستم شبکه عصبی بیولوژیک است. شبکه عصبی مصنوعی یک شبیه‌سازی از دستگاه عصبی طبیعی است و شامل مجموعه‌ای از واحدهای عصبی به نام نورون می‌باشد که توسط ارتباطاتی موسوم به اکسون به هم متصل شده‌اند در ابتدا درصدی از داده‌ها به مدل شبکه عصبی مصنوعی برای عمل آموزش وارد شده و در مراحل بعدی درصد باقیمانده داده‌ها برای عمل اعتبارسنجی و آزمایش شبکه استفاده می‌شود (ده بزرگی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۴۴).

عنصر کلیدی در شبکه‌های عصبی مصنوعی، ساختار جدید سیستم پردازش اطلاعات است. این سیستم از تعداد زیادی عناصر پردازشی (نورون‌ها) شدیداً بهم پیوسته تشکیل شده که برای حل یک مسأله با هم هماهنگ عمل می‌کند. شبکه‌های عصبی مصنوعی نیز مانند مغز انسان، با مثال یاد می‌گیرند. یک شبکه عصبی مصنوعی برای انجام وظیفه‌ای مشخص، مانند شناسایی الگوها و دسته‌بندی اطلاعات، در طول یک فرایند یادگیری، تنظیم می‌شود. یک شبکه عصبی مصنوعی، مجموعه‌ای بزرگ از عناصر پردازش‌گر ساده (شبیه به نورون) و متصل به هم است. هر عنصر (عصب مصنوعی) ورودی‌های وزن دار را از دیگر عصب‌ها دریافت، باهم جمع می‌کند و بعد از اجرای حد آستانه به عصب‌های دیگر ارسال می‌کند. در متون فنی برای نمایش این مدل، به طور معمولی از شکلی مشابه شکل (۲) استفاده می‌شود.

<sup>۱</sup> Artificial Intelligence



$$\begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_n \end{bmatrix} [w_n * m] \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_n \end{bmatrix}$$

شکل ۲- مدل ریاضی شبکه‌های عصبی مصنوعی

در این شکل کلاسیک، از علامت  $p$  برای نشان دادن یک سیگنال ورودی استفاده می‌شود. در واقع در این مدل، یک سیگنال ورودی پس از تقویت (یا تضعیف) شدن بر اساس پارامتر  $w$  (پارامتر وزن)، به صورت یک سیگنال الکتریکی با اندازه  $pw$  وارد نورون می‌شود. به جهت ساده‌سازی مدل ریاضی، فرض می‌شود که در هسته سلول عصبی، سیگنال ورودی با سیگنال دیگری به اندازه  $b$  جمع می‌شود. در واقع سیگنال  $b$  خود به معنی آن است که سیگنالی به اندازه واحد (یک) در پارامتری به اندازه  $b$  ضرب (تقویت یا تضعیف) می‌گردد. مجموع حاصل یعنی سیگنالی به اندازه  $pw+b$ ، قبل از خارج شدن از سلول، تحت عمل یا فرآیند دیگری قرار می‌گیرد که در اصطلاح فنی به آن تابع انتقال می‌گویند. این موضوع در شکل به وسیله کادری نشان داده شده است که روی آن علامت  $f$  قرار داده شده است. ورودی این کادر همان سیگنال  $pw+b$  است و خروجی آن یا همان خروجی سلول، با علامت  $a$  نشانه گذاری شده است. در ریاضی، بخش آخر مدل‌سازی با رابطه  $a=f(pw+b)$  نمایش داده می‌شود (وفایی و همکاران، ۱۳۹۲: ۳۲۵).

یکی از روش‌های معمول جهت سنجش دقت طبقه‌بندی انجام شده استفاده از ماتریکس سردرگمی است. اصطلاحاتی مانند Error Matrix و یا confusion matrix نیز معادل ماتریس سردرگمی می‌باشد. در این ماتریس ستون‌ها نشان دهنده واقعیت

زمینی و سطرها نشان دهنده کلاس نقشه‌های تولید شده هستند. همانطور که از نام این ماتریس مشخص است این معنا از آن قابل برداشت است که این ماتریس برای ما مشخص می‌کند که الگوریتم طبقه‌بندی شده کدام کلاس‌ها را و به چه میزان با یکدیگر اشتباه گرفته‌است. عناصر قطر اصلی ماتریس نشان دهنده میزان تطابق کلاس‌ها با واقعیت زمینی و سایر عناصر نشان دهنده میزان عدم تطابق می‌باشد. در واقع عناصر غیرقطری در هر سطح نشان دهنده میزان خطای منظور کردن کلاس و عناصر غیرقطری در هر ستون نشان دهنده میزان خطای حذف برای هر کلاس می‌باشد. با استفاده از این ماتریس می‌تواند فقط دقت کلی طبقه‌بندی را محاسبه نمود که عبارتند از جمع عناصر موجود در اصلی ماتریس تقسیم بر کل نمونه‌ها. دقت کلی میانه‌ای از دقت طبقه‌بندی است که نسبت به سال‌های صحیح طبقه‌بندی شده به جمع کل پیکسل‌ها را مثل‌های معلوم را نشان می‌دهد و به صورت زیر محاسبه می‌گردد (ویلا و همکاران، ۲۰۱۱):

(۴۸۶۹)

$$O.A = \frac{\sum_{i=1}^c E_{ii}}{bn}$$

معادله (۳)

در این رابطه  $c$  تعداد کلاس‌ها،  $N$  تعداد کل پیکسل‌های معلوم،  $E_{ii}$  اعضای قطری و  $O.A$  ماتریس خطا و یا دقت کلی طبقه‌بندی می‌باشد. ضریب کاپا دقت طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی محاسبه می‌کند. به این معنی که ضریب کاپا دقت طبقه‌بندی را نسبت به حالتی که یک تصویر کاملاً به صورت تصادفی طبقه‌بندی شود به دست می‌دهند. یکی از معروف‌ترین برآوردهای کاپا استفاده از عناصر ماتریس خطا عبارت است از:

$$\frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r x_{i+} x_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r x_{i+} x_{+i}} \quad \text{معادله (۴)}$$

$\sum_{i=1}^r x_{ii}$  = مجموع پیکسل‌های قطر اصلی ماتریس خطا،  $x_{i+}$  = مجموع عناصر سطر  $i$  ام،  $x_{+i}$  = مجموع عناصر ستون  $i$  ام،  $N$  = تعداد کل پیکسل‌های آموزشی (نوحه

گر، ۱۳۹۵: ۱۰۲). میزان ضریب کاپا بین صفر تا یک متغیر است و وقتی این ضریب بالای ۰/۸ باشد قابل قبول می‌باشد (پیرنظر، ۱۳۹۴: ۲۰۴).

#### اجرای مدل‌ساز تغییر زمین LCM و تجزیه و تحلیل تغییرات: برنامه LCM در واقع

یک ابزار برای مدیریت و برنامه‌ریزی زمین و همچنین ابزار پشتیبان تصمیم‌گیری می‌باشد. برای درک اینکه در طی دوره ۱۸ ساله، تغییرات حادث شده در منطقه چگونه بوده و کدام کلاس‌ها گسترش و کدام کلاس‌ها کاهش مساحت داشته‌اند، با استفاده از نقشه‌های طبقه بندی شده با استفاده از نرم افزار Terrset، تغییرات در محدوده هر کلاس‌ها آشکار و درصد تغییرات هر کلاس بدست می‌آید. برای اطلاع از درصد مساحت و محیط واقع شده هر کلاس پوشش زمین در محدوده مطالعاتی، با استفاده از نقشه پوشش تهیه شده برای هر دوره تعداد پیکسل تحت هر کلاس محاسبه و مساحت و محیط هر کلاس با ضرب تعداد پیکسل در برگرنده آن در مساحت هر پیکسل در نرم افزار GIS بدست آمد، همچنین درصد کلاس مربوطه نسبت به کل منطقه، برای اطلاع از میزان تغییرات به وقوع پیوسته در دوره‌های بعدی بدست آمد (علی محمدی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۲۱).

مدل مارکوف و CA مارکوف: احتمال تغییرات پوشش اراضی یک سیستم به یک وضعیت در یک زمان خاص ( $t_2$ ) از اطلاعات مربوط به همان سیستم در زمان گذشته ( $t_1$ ) به دست می‌آید و به اطلاعات زمان‌های قبل از  $t_1$  بستگی ندارد که آن را یک فرایند یک مرتبه‌ای ۳ گویند. در مدل مارکوف تغییرات کاربری و پوشش اراضی در زمان دوم با استفاده از توزیع آن در زمان اول با محاسبه ماتریس انتقال به دست می‌آید. زنجیره مارکوف به صورت زیر نشان داده می‌شود (راجیتا و همکاران، ۲۰۱۰: ۴۴۲۷).

$$vt_2 = Mvt_1 \quad \text{معادله (۵)}$$

$vt_1$ : بردار پوشش زمین در زمان اول،  $vt_2$ : بردار پوشش زمین در زمان دوم،  $M$ :

ماتریس احتمال انتقال  $m \times m$  برای فاصله زمانی  $\Delta t = t_2 - t_1$

احتمال انتقال بین دو وضعیت ( $P_{ij}$ ) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$P_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_i} \quad \text{معادله (۶)}$$

که  $n_i$  برابر است با:

$$n_i = \sum_{j=1}^q n_{ij} \quad \text{معادله (۷)}$$

$n_{ij}$ : تعداد پیکسل‌های کلاس  $i$  از زمان اول که به کلاس  $j$  در زمان دوم تبدیل شده اند،  $q$ : کل تعداد کلاس‌ها. زنجیره مارکوف سه خروجی دارد که عبارتند از: ماتریس احتمال انتقال که در آن احتمال تغییر هر کلاس به سایر کلاس‌های موجود مشخص شده است، ماتریس مساحت انتقال که نشان دهنده تعداد پیکسل‌هایی از هر کلاس که محتمل است به کلاس‌های دیگر تبدیل شوند. مدل مارکوف همچنین موقعیت هر کاربری را با تولید مجموعه‌ای از تصاویر احتمال وضعیت از ماتریس احتمال انتقال نشان می‌دهد. در مرحله آخر از مدل‌سازی با استفاده از ماتریس مساحت انتقال در مدل CA مارکوف میتوان نقشه شبیه سازی شده از کاربری اراضی در آینده را به دست آورد (فن و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۲۶).

### نتایج و بحث

۱- نتایج آماده‌سازی و پیش‌پردازش تصویر: پس از بررسی تصاویر دریافتی لندست محدوده مطالعاتی و انطباق آن‌ها با نقشه شبکه معابر موجود تعداد ۳۰ نقطه کنترل با GPS برداشت شد که تطابق کامل تصاویر ماهواره‌ای با نقاط GPS و نقشه معابر موجود تأیید گردید.

۲- نتایج ایجاد ترکیبات رنگی: با استفاده از شاخص OIF، بهترین باندها جهت شرکت در ترکیب باندی و طبقه بندی تصویر سال‌های مطالعاتی به دست آمد که در جدول (۱) تا (۹) نشان داده شده است. در این راستا ابتدا لازم است تا ماتریس واریانس- کواریانس و ماتریس همبستگی در نرم افزار ILWAIS محاسبه گردد تا نرم افزار بتواند شاخص OIF را بدهد. جدول ۳ تا ۵ ماتریس واریانس- کواریانس، ماتریس همبستگی و بالاترین رتبه‌بندی شاخص OIF میانگین و انحراف استاندارد<sup>۱</sup> ضریب همبستگی در هر باند را نشان می‌دهد.

جدول ۳- ماتریس واریانس- کواریانس تصویر سال ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۸

سال	2000	b1	b2	b3	b4	b5	b7
۲۰۰۰	b1	۳۳۹۵/۷۵	۳۵۰۶/۰۸	۴۴۹۹/۵۳	۲۳۵۷/۲۶	۳۹۵۳/۴۶	۳۴۴۰/۷۹
	b2	۳۵۰۶/۰۸	۳۷۴۲/۰۸	۴۸۲۹/۰۴	۲۵۲۹/۹۳	۴۲۷۱/۷۲	۳۷۱۰/۹۸
	b3	۴۴۹۹/۵۳	۴۸۲۹/۰۴	۶۴۳۷/۵۱	۳۳۶۱/۲۹	۵۷۱۵/۳۶	۴۹۶۵/۲۸
	b4	۲۳۵۷/۲۶	۲۵۲۹/۹۳	۳۳۶۱/۲۹	۱۸۷۷/۳۵	۳۱۰۳/۴۳	۲۶۳۵/۳۹
	b5	۳۹۵۳/۴۶	۴۹۶۵/۲۸	۵۷۱۵/۳۶	۳۱۰۳/۴۳	۵۷۹۱/۷۵	۴۸۸۹/۵۱
	b7	۳۴۴۰/۷۹	۳۷۱۰/۹۸	۴۹۶۵/۲۸	۲۶۵۷/۳۹	۴۸۸۹/۵۱	۴۲۷۷/۵۸
۲۰۱۰	باند	b1	b2	b3	b4	b5	b7
	b1	۱۷۹۸/۹۸	۱۸۰۷/۷۲	۲۳۰۰/۹۶	۱۸۳۰/۰۱	۲۰۰۷/۰۷	۱۶۶۵/۵۵
	b2	۱۸۰۷/۷۲	۱۸۶۸/۶۲	۲۳۸۷/۷۵	۱۸۹۹/۱	۲۰۷۶/۶۹	۱۷۲۰/۱۷
	b3	۲۳۰۰/۹۶	۲۳۸۷/۷۵	۳۱۳۶/۳۵	۲۴۸۸/۹۶	۲۷۱۶/۳	۲۲۴۷
	b4	۱۸۳۰/۰۱	۱۸۹۹/۱	۲۴۸۸/۹۶	۲۰۷۶/۶۹	۲۲۱۴/۸۸	۱۸۱۰/۵۸
	b5	۲۰۰۷/۰۷	۲۰۷۶/۶۹	۲۷۱۶/۳	۲۲۱۴/۸۸	۲۶۹۹/۴۸	۲۱۸۸/۸۳
۲۰۱۸	2000	b2	b3	b4	b5	b6	b7
	b1	۱۷۹۸/۹۸	۱۸۰۷/۷۲	۲۳۰۰/۹۶	۱۸۳۰/۰۱	۲۰۰۷/۰۷	۱۶۶۵/۵۵
	b2	۱۸۰۷/۷۲	۱۸۶۲/۶۲	۲۳۸۷/۷۵	۱۸۹۹/۱	۲۰۷۶/۶۹	۱۷۲۰/۱۷
	b3	۲۳۰۰/۹۶	۲۳۸۷/۷۵	۳۱۳۶/۳۵	۲۴۸۸/۹۶	۲۷۱۶/۳	۲۲۴۷
	b4	۱۸۳۰/۰۱	۱۸۹۹/۱	۲۴۸۸/۹۶	۲۰۷۶/۶۹	۲۲۱۴/۸۸	۱۸۱۰/۵۸
	b5	۲۰۰۷/۰۷	۲۰۷۶/۶۹	۲۷۱۶/۳	۲۲۱۴/۸۸	۲۶۹۹/۴۸	۲۱۸۸/۸۳
b7	۱۶۶۵/۵۵	۱۷۲۰/۱۷	۲۲۴۷	۱۸۱۰/۵۸	۲۱۸۸/۸۳	۱۸۳۵/۲۸	

<sup>1</sup> Mean per band & Std. per band



جدول ۴- ماتریس همبستگی تصویر سال ۲۰۰۰

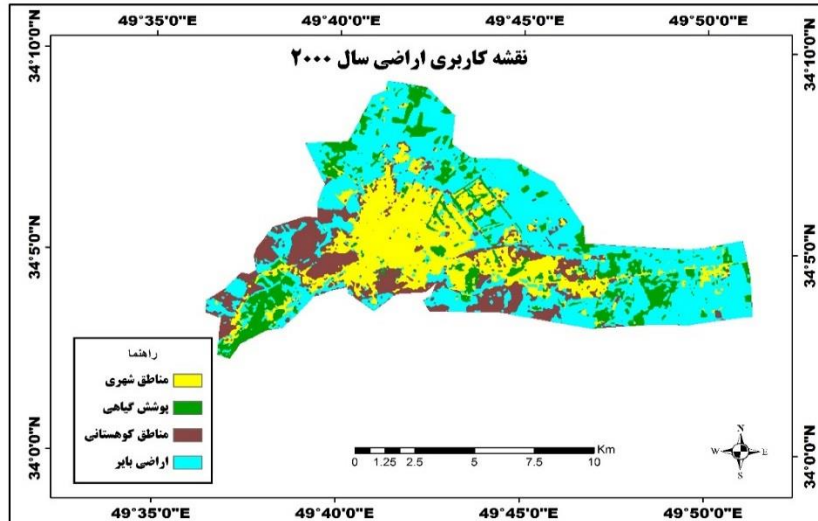
سال	2000	b1	b2	b3	b4	b5	b7
۲۰۰۰	b1	۱	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۹۳	۰/۸۹	۰/۹
	b2	۰/۹۸	۱	۰/۹۸	۰/۹۵	۰/۹۲	۰/۹۳
	b3	۰/۹۶	۰/۹۸	۱	۰/۹۷	۰/۹۴	۰/۹۵
	b4	۰/۹۳	۰/۹۵	۰/۹۷	۱	۰/۹۴	۰/۹۴
	b5	۰/۸۹	۰/۹۲	۰/۹۴	۰/۹۴	۱	۰/۹۸
	b7	۰/۹	۰/۹۳	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۹۸	۱
	Mean per band	۸۳/۱۴	۸۵/۸۶	۱۱۱/۲۵	۹۵/۹۴	۱۰۳/۴۱	۸۸/۶۷
	Std. per band:	۵۸/۲۷	۶۱/۱۷	۸۰/۲۳	۴۳/۳۳	۶۷/۱۰	۶۵/۴۰
۲۰۱۰	2010	b1	b2	b3	b4	b5	b7
	b1	۱	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۹۵	۰/۹۱	۰/۹۲
	b2	۰/۹۹	۱	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۹۲	۰/۹۳
	b3	۰/۹۷	۰/۹۹	۱	۰/۹۷	۰/۹۳	۰/۹۴
	b4	۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۹۷	۱	۰/۹۳	۰/۹۳
	b5	۰/۹۱	۰/۹۲	۰/۹۳	۰/۹۳	۱	۰/۹۸
	b7	۰/۹۲	۰/۹۳	۰/۹۴	۰/۹۳	۰/۹۸	۱
	Mean per band	۴۴/۸۲	۴۵/۲۲	۵۷/۹۹	۴۷/۱۲	۵۳/۴۲	۴۳/۹۸
Std. per band:	۴۲/۴۱	۴۳/۲۳	۵۶	۴۵/۶۱	۵۱/۹۶	۴۲/۸۴	
۲۰۱۸	2000	b1	b2	b3	b4	b5	b7
	b1	۱	۱	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۹۷
	b2	۱	۱	۱	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۸
	b3	۰/۹۹	۱	۱	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۸
	b4	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹	۱	۰/۹۸	۰/۹۸
	b5	۰/۹۶	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۱	۱
	b7	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۱	۱
	Mean per band	۸۸۷۳/۶۲	۹۴۵۷/۹۷	۱۰۶۹۷/۶۰	۱۲۶۷۶/۱۶	۱۲۶۸۶/۷۵	۱۱۱۲۱/۹۹
Std. per band:	۶۲۷۶/۴۵	۶۷۰۸/۱۵	۷۶۲۳/۸۲	۹۱۲۶/۱۱	۹۲۴۶/۲۸	۸۰۰۱/۱۵	

در نتیجه محاسبات فوق چنانچه در جدول ۵ نیز آمده بهترین ترکیب بانندی برای سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ ترکیب بانندی ۴،۳ و ۵ و برای سال ۲۰۱۸ ترکیب بانندی ۵،۳ و ۷ بدست آمد.

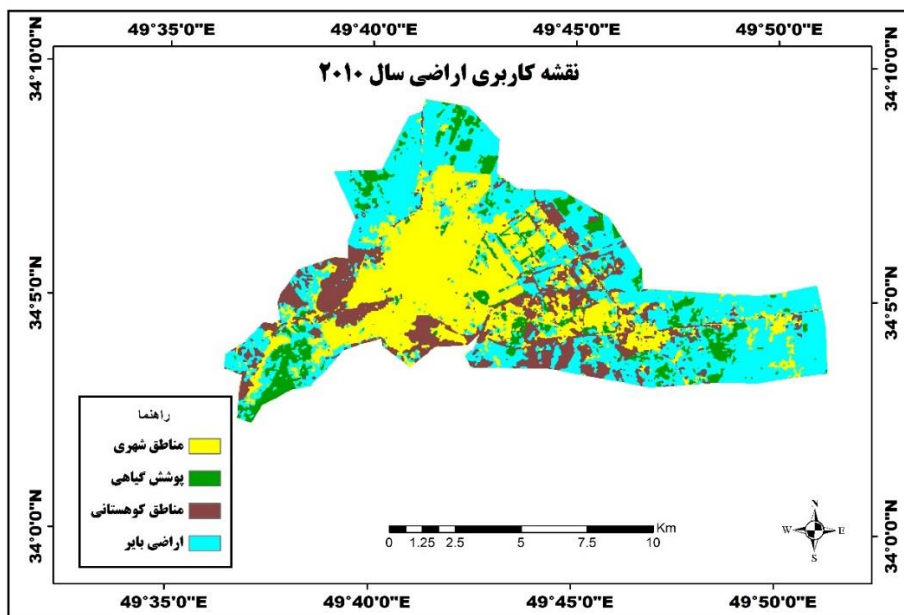
جدول ۵- بالاترین رتبه بندی شاخص OIF در سال ۲۰۱۰، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۸

OIF Index Highest Ranking											
۲۰۱۸				۲۰۱۰				۲۰۰۰			
b3	b4	b5	۸۹۲۲/۱۸	b3	b4	b5	۵۴/۰۲	b3	b5	b7	۷۷/۴۱
b1	b3	b5	۸۷۹۱/۹۲	b1	b3	b5	۵۳/۴۶	b1	b3	b5	۷۶/۹۳
b2	b3	b5	۸۵۰۸/۸۹	b2	b3	b5	۵۳/۱۵	b2	b3	b5	۷۶/۶۶
b3	b5	b7	۸۴۲۲/۸۱	b3	b5	b7	۵۲/۸۵	b1	b3	b7	۷۲/۵۳
b3	b4	b7	۸۳۹۷/۱۷	b3	b4	b7	۵۰/۹۰	b2	b3	b7	۷۲/۳۷
b1	b4	b5	۸۳۹۰/۳۸	b1	b4	b5	۵۰/۱۴	b1	b5	b7	۷۱/۹۵

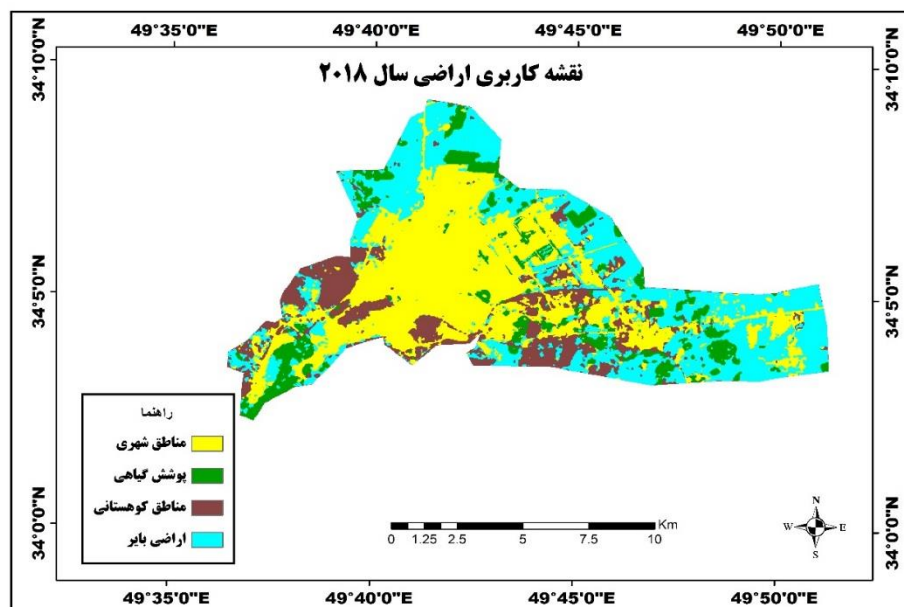
۳-۲- طبقه‌بندی تصویر و ارزیابی صحت طبقه‌بندی: با توجه به بازدیدهای میدانی و نظرات کارشناسان و متخصصان کلاس‌های کاربری تعریف شد. کلاس‌های کاربری‌ها شامل مناطق شهری، پوشش گیاهی، مناطق کوهستانی، اراضی بایر بود که نقشه‌های کاربری آن برای سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۸ تهیه شد (شکل‌های ۲ تا ۴)



شکل ۲- نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۰۰ با روش شبکه عصبی

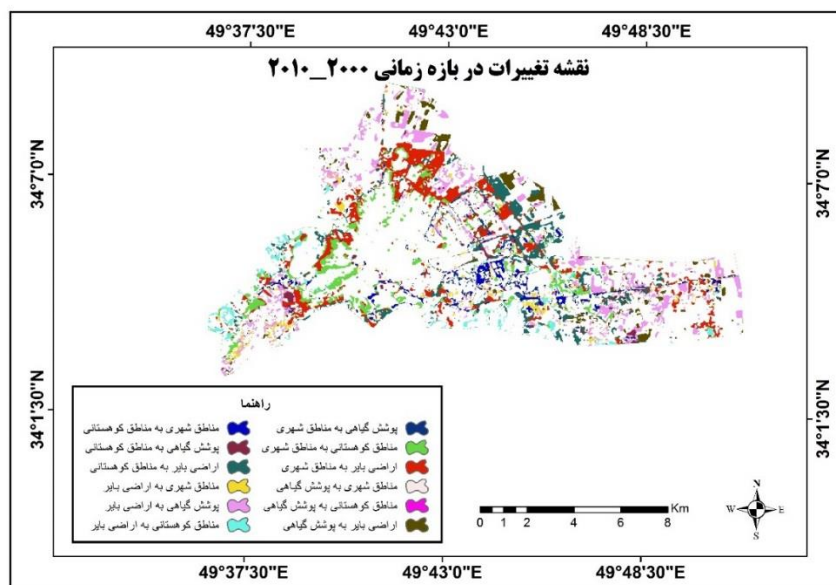


شکل ۳- نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۰ با روش شبکه عصبی



شکل ۴- نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۸ با روش شبکه عصبی

پس از تهیه نقشه کاربری اراضی، نقشه تبدیل کاربری‌ها نیز تهیه شد (شکل ۵ و ۶) و سپس مساحت کلاس‌های کاربری‌ها از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ استخراج شد تا تبدیل و تغییرات آنها از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ مشخص شود که نتایج آن در جدول (۶) تا (۸) ارائه گردیده است.



شکل ۵- نقشه تغییرات سال ۲۰۰۰ به ۲۰۱۰ به روش طبقه‌بندی شبکه عصبی

نقشه ۵ محل جغرافیای تبدیل کلاس‌ها به یکدیگر را نشان می‌دهد. باتوجه به نقشه و راهنمای آن عمده تغییرات شهر در این دهه مربوط به تبدیل اراضی بایر به مناطق شهری (در حومه‌های داخل محدوده در آن زمان) و اراضی پوشش گیاهی به اراضی بایر در حواشی شهر (بیرون از محدوده در آن زمان) در سمت شمال و شمالشرق شهرو نشان از توسعه شهر به این سمت می‌باشد. جدول شماره ۶ مساحت، درصد و میزان تغییرات این تبدیل کاربری‌ها را به هکتار و درصد نشان می‌دهد.

جدول ۶- مساحت تغییرات کاربری‌ها برحسب هکتار و درصد از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰  
طبقه‌بندی شبکه عصبی

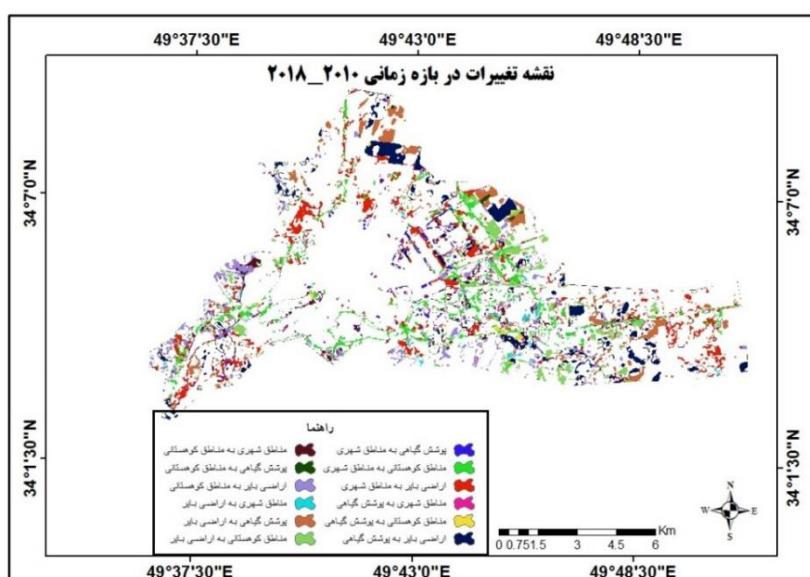
میزان تغییرات		سال ۲۰۱۰		سال ۲۰۰۰		کلاس‌ها
درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	
۸/۷۷	۱۱۲۵/۲۷	۳۳/۰۵	۴۲۳۶/۳	۲۴/۲۷	۳۱۱۱/۰۳	شهری
-۴/۵۲	-۵۸۰/۰۵	۱۰/۰۰۵	۱۲۸۲/۴۱	۱۴/۵۳	۱۸۶۲/۴۶	پوشش گیاهی
۱/۱۱	۱۴۲/۹۲	۱۶/۵۶	۲۱۲۳/۳۷	۱۵/۴۵	۱۹۸۰/۴۵	کوهستان
-۵/۳۶	-۶۸۸/۱۴	۴۰/۳۷	۵۱۷۴/۸۲	۴۵/۷۴	۵۸۶۲/۹۶	بایر

نتایج جدول حاکی از تغییر تمام کلاس‌های کاربری‌هاست اما بیشترین تغییر مثبت مربوط به کاربری اراضی شهری و در تغییرات منفی مربوط به کاهش اراضی بایر در طول دوره موردنظر می‌باشد.

جدول ۷- مساحت کاربری‌های تبدیل شده از سال ۲۰۰۰ به ۲۰۱۰ و از سال ۲۰۱۰ به ۲۰۱۸

کاربری	۲۰۱۰ به ۲۰۰۰ (هکتار)	۲۰۱۸ به ۲۰۱۰ (هکتار)
پوشش گیاهی به شهر	۹۸/۹۱	۱۰۲/۳۳
کوهستان به شهر	۵۹۱/۳۹	۴۳۰/۰۲
بایر به شهری	۹۴۷/۲۵	۶۹۷/۹۵
شهری به پوشش گیاهی	۵۵/۷۱	۳۲/۰۴
کوهستان به پوشش گیاهی	۴/۷۷	۳۷/۶۲
بایر به پوشش گیاهی	۳۱۵/۲۷	۵۱۶/۶
شهری به کوهستان	۲۵۲/۰۹	۱۴۰/۲۲
پوشش گیاهی به کوهستان	۹۱/۱۷	۳۵/۹۱
بایر به کوهستان	۵۹۹/۲۲	۳۶۳/۹۶
شهری به بایر	۲۰۴/۴۸	۷۸/۵۷
پوشش گیاهی به بایر	۷۶۵/۷۲	۳۸۱/۶
کوهستان به بایر	۲۰۳/۴	۳۴۱/۳۷

بیشترین تغییر کاربری از سال در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۸ بازهم مربوط به تبدیل اراضی بایر به اراضی شهری است با توجه به ثابت بودن محدوده شهر در این دوره می‌توان این دوره را شروع توسعه درونی دانست (شکل ۶). دومین تغییرات کاربری مربوط به تغییر اراضی کوهستان به اراضی شهری می‌باشد (جدول ۷).



شکل ۶- نقشه تغییرات سال ۲۰۱۰ به ۲۰۱۸ به روش طبقه‌بندی شبکه عصبی

جدول ۸- مساحت تغییرات کاربری‌ها از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۸ طبقه‌بندی شبکه عصبی

میزان تغییرات		سال ۲۰۱۸		سال ۲۰۱۰		کلاس‌ها
درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	
۷/۶۴	۹۷۹/۴۷	۴۰/۶۹	۵۲۱۵/۷۷	۳۳/۰۵	۴۲۳۶/۳	شهری
۰/۵۱	۶۶/۴۲	۱۰/۵۲	۱۳۴۸/۸۳	۱۰/۰۰۵	۱۲۸۲/۴۱	پوشش گیاهی
-۲/۰۹	-۲۶۸/۹۲	۱۴/۴۶	۱۸۵۴/۴۵	۱۶/۵۶	۲۱۳۳/۳۷	کوهستان
-۶/۰۶	-۷۷۶/۹۷	۳۴/۳۱	۴۳۹۷/۸۵	۴۰/۳۷	۵۱۴۷/۸۲	بایر

مقایسه جدول ۶ و ۸ و توجه به میزان تغییرات این نتایج بدست دهد که:

۱- درصد افزایش اراضی شهری در دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ بیشتر از دوره ۲۰۱۸ - ۲۰۱۰ بوده است (کاهش درصد رشد از ۸.۷۷ به ۷.۶۴ درصد). این کاهش با کاهش رشد جمعیت شهر نیز تطابق دارد.

۲- درصد کاهش پوشش گیاهی در دوره ۲۰۱۸ - ۲۰۱۰ کاهش داشته است (از ۴.۵۲- به ۰.۵۱ درصد). این موضوع به دلیل کاهش گسترش شهر و کلاس کاربری شهری (مورد ۱) نیز می تواند می باشد.

۳- درصد کاهش بیشتر کوهستان در دوره ۲۰۱۸ - ۲۰۱۰ نسبت به دوره ۲۰۱۰ - ۲۰۰۰ نشان از شروع گسترش شهر به سمت ارتفاعات و در نتیجه تغییر جهت رشد شهر (از شمالشرق به جنوب و جنوب غرب) دارد.

۴- کاهش اراضی بایر در هر دوره نشان از توسعه میان افزا در شهراراک در طول هر دو دوره دارد.

نقشه‌های تهیه شده کاربری اراضی، در ادامه با نقاط GPS زمینی، نقشه وضع موجود منطقه مقایسه و با استفاده از ماتریس خطای تشکیل شده ضریب کاپا و دقت کلی آن به دست آمد. ضریب کاپا و دقت کلی در حالتی که عددی بالا ۸۰٪ باشد قابل قبول می باشد در غیر این حالت باید تصاویر طبقه بندی شده با نقاط برداشتی جدید طبقه بندی مجدد انجام شود و ضریب کاپا و دقت کلی آن محاسبه شود. در جدول ۹ و ۱۰، پارامترهای آماری محاسبه شده آمده است. براساس این جداول ضریب دقت کلی و کاپا در هر سه دوره بالای ۹۰ و قابل قبول می باشد.

جدول ۹- ماتریس خطا، ضریب کاپا و دقت کلی در طبقه بندی سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰

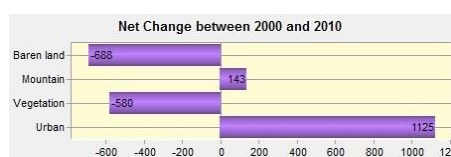
Class	تست کلاس کوهستان	تست اراضی بایر	تست کلاس پوشش گیاهی	تست اراضی بایر	جمع	تست کلاس کوهستان	تست اراضی بایر	تست کلاس پوشش گیاهی	تست اراضی بایر	جمع
	سال ۲۰۰۰	سال ۲۰۱۰								
Unclassified	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
کوهستان	۴۰	۴	۰	۰	۴۴	۴۴	۰	۰	۴	۴۸
شهری	۰	۳۶	۰	۰	۳۶	۰	۳۲	۰	۰	۳۲
پوشش گیاهی	۰	۰	۴۰	۴	۴۴	۰	۰	۴۴	۲	۴۶
بایر	۰	۰	۰	۴۰	۴۰	۴	۰	۰	۶۶	۷۰
جمع	۴۰	۴۰	۴۰	۴۴	۱۶۴	۴۸	۳۲	۴۴	۷۲	۱۹۶
Overall Accuracy = (156/164)	%۹۵/۱۲					%۹۴/۹۰				
Kappa Coefficient	۰/۹۳۵					۰/۹۳۰۱				

جدول ۱۰- ماتریس خطا، ضریب کاپا و دقت کلی در طبقه بندی سال ۲۰۱۸

Class	تست کلاس کوهستان	تست اراضی ساخته شده	تست کلاس پوشش گیاهی	تست اراضی بایر	جمع
Unclassified	۰	۰	۰	۰	۰
شهری	۷۲	۴	۰	۰	۷۶
پوشش گیاهی	۰	۷۵	۰	۰	۷۵
کوهستان	۰	۰	۷۰	۰	۷۰
بایر	۰	۱	۴	۶۴	۶۹
جمع	۷۲	۸۰	۷۴	۶۴	۲۹۰
Overall Accuracy = (281/290)	%۹۶/۸۹۶۶				
Kappa Coefficient	۰/۹۵۸۶				



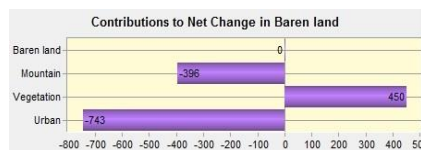
**اجرای مدل ساز Lcm:** نقشه‌های طبقه‌بندی کاربری‌های تهیه‌شده (شکل ۲ تا ۴)، جهت مدل‌سازی و پایش تغییرات کاربری اراضی وارد نرم‌افزار ادیسی شد، تا تغییرات کاربری‌ها در سال‌های مورد مطالعه مدل‌سازی گردد. نمودار این مدل تغییرات کل و خالص ایجادشده و تغییرات هر کلاس به نفع کلاس‌های دیگر را نشان می‌دهد (شکل‌های ۹ تا ۱۲). تغییرات کاربری‌ها نشان می‌دهد اراضی بایر در سال ۲۰۰۰ به ۲۰۱۰، به مقدار ۶۸۸ و پوشش گیاهی به مقدار ۵۹۰ پیکسل کاهش یافته است (توسعه شهر در دوره ۲۰۱۰-۲۰۰۰). در کاربری کوهستان و شهر به مقدار ۱۴۳ و ۱۱۲۵ پیکسل افزایش مساحت مشاهده گردید. در شکل‌های ۱۱ تا ۱۴ نیز نشان داده شده است که مقدار کاهش یا افزایش هر کاربری، به چه میزان از کاربری‌های دیگر بوده است. براساس شکل ۱۰، اراضی بایر به نفع اراضی کوهستانی و اراضی شهری تغییر کاربری داده‌اند. در مقابل افزایش ناچیز پوشش گیاهی ناشی از اراضی بایر و بخش ناچیز دیگری از آن ناشی از اراضی کوهستان (شکل ۱۱) بوده است. در این بازه زمانی تمام کاربری‌ها به نفع اراضی شهری کاهش داشته‌اند (شکل ۱۲). کاربری پوشش گیاهی نیز به سه کلاس دیگر تبدیل شده و کاهش داشته است (نمودار ۱۴).



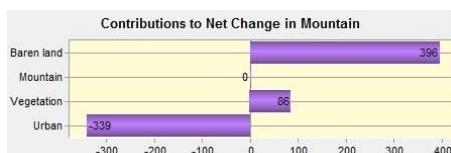
شکل ۹- نمودار تغییرات کل کاربری‌های سال ۲۰۰۰ به ۲۰۱۰



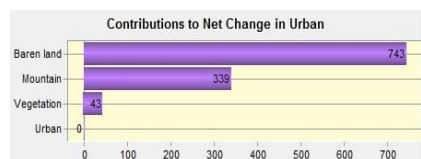
شکل ۱۰- نمودار تغییرات خالص کاربری شهری به سایر کاربری‌ها سال ۲۰۰۰ به ۲۰۱۰



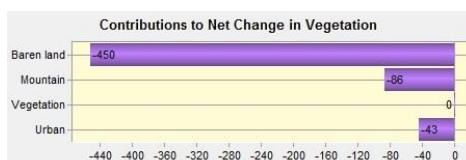
شکل ۱۱- نمودار تغییرات اراضی بایر به سایر کاربری‌ها سال ۲۰۰۰ به ۲۰۱۰



شکل ۱۲- نمودار تغییرات اراضی کوهستان سال ۲۰۰۰ به ۲۰۱۰

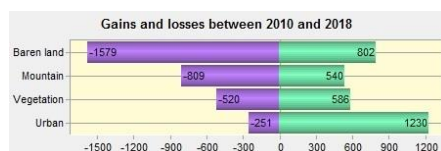


شکل ۱۳- نمودار تغییرات اراضی شهری سال ۲۰۰۰ به ۲۰۱۰



شکل ۱۴- نمودار تغییرات اراضی پوشش گیاهی سال ۲۰۰۰ به ۲۰۱۰

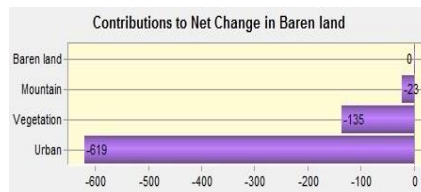
در نهایت نمودارهای تغییرات برای سال‌های ۲۰۱۰ به ۲۰۱۸ نیز به دست آمد که در شکل‌های (۲۱) تا (۲۶) نشان داده شده‌است. تغییرات کلاس اراضی شهری از اراضی بایر (شکل ۲۵) نشان از توسعه درونی در این دوره (۲۰۱۸-۲۰۱۰) می‌باشد.



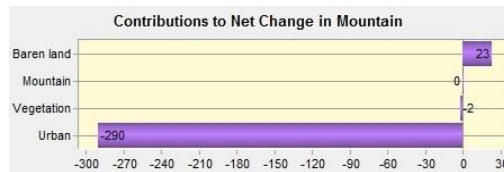
شکل ۲۱- نمودار تغییرات کل کاربری‌های سال ۲۰۱۰ به ۲۰۱۸



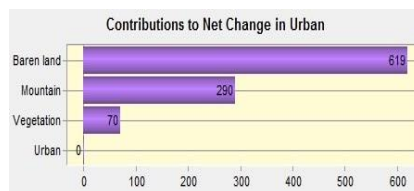
شکل ۲۲- نمودار تغییرات خالص کاربری ها سال ۲۰۱۰ به ۲۰۱۸



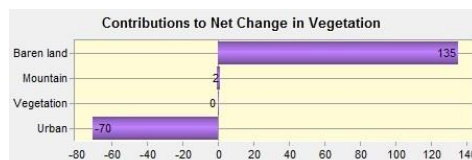
شکل ۲۳- نمودار تغییرات خالص کاربری اراضی بایر سال ۲۰۱۰ به ۲۰۱۸



شکل ۲۴- نمودار تغییرات خالص کاربری کوهستان سال ۲۰۱۰ به ۲۰۱۸



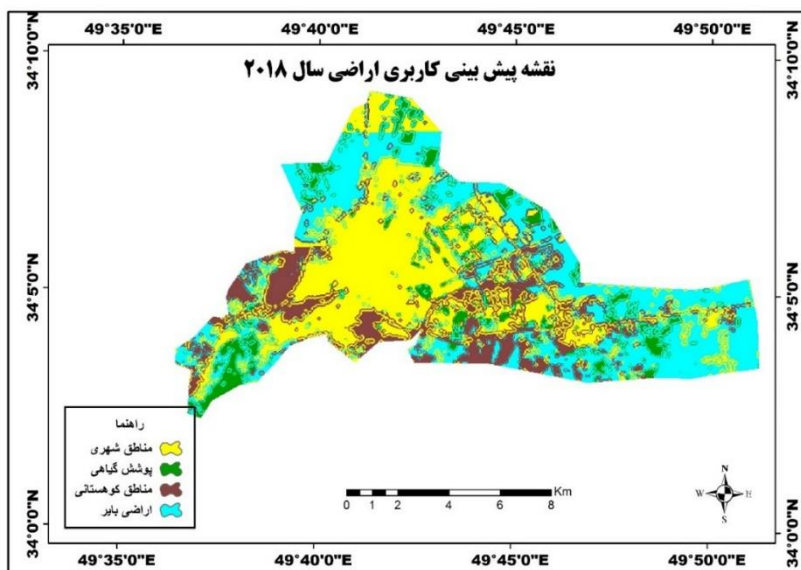
شکل ۲۵- نمودار تغییرات خالص کاربری شهر به سایر کلاس ها سال ۲۰۱۰ به ۲۰۱۸



شکل ۲۶- نمودار تغییرات خالص کاربری پوشش گیاهی سال ۲۰۱۰ به ۲۰۱۸

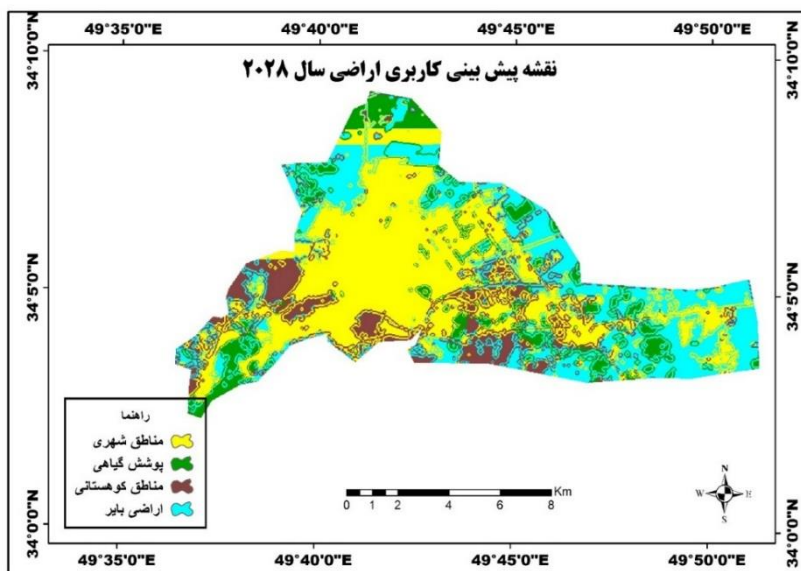
### پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی

در پژوهش حاضر برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی شهر اراک از روش تلفیق زنجیره‌های مارکوف و سلول‌های خودکار استفاده شده است. برای انجام این روش با استفاده از نرم‌افزار IDRISI ابتدا نقشه‌های کاربری اراضی برای سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۸ تهیه شد. در این مرحله با استفاده از ماتریس تبدیل وضعیت دوره اول (۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰) برای سال ۲۰۱۸ تغییرات پوشش زمین پیش‌بینی شد. هدف از اینکار کالیبره کردن مدل مارکوف برای سال ۲۰۱۰ می‌باشد که داده‌های واقعی آن موجود است و از تصویر طبقه‌بندی شده همان سال، قابل استخراج می‌باشد. نتایج بدست آمده از پیش‌بینی برای سال ۲۰۱۸، در گام بعدی با داده‌های واقعی، برای اطلاع از درصد خطای موجود آنها چک گردید. لازم به ذکر است که این پیش‌بینی با فرض درستی درجه یک بودن و ایستایی ماتریس تبدیل وضعیت نسبت به زمان صورت گرفته است تا فارغ از تست فرض‌های اولیه مارکوف، نتایج بررسی شده و اختلاف آن با نتایج بدست آمده در روش جدید ارزیابی گردد. سرانجام، بر اساس مدل سلول‌های خودکار به صورت نقشه پیش‌بینی ۲۰۱۸ و ۲۰۲۸ به دست آمد که در شکل (۲۷) و (۲۸) نشان داده شده است.



شکل ۲۷- نقشه پیش بینی کاربری اراضی اراک با استفاده از CA-Markov برای سال

۲۰۱۸



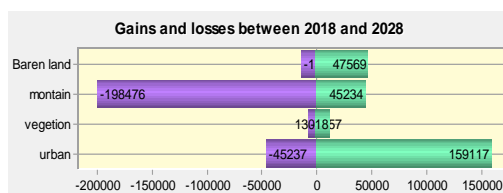
شکل ۲۸- نقشه پیش بینی کاربری اراضی اراک با استفاده از CA-Markov برای سال

۲۰۲۸

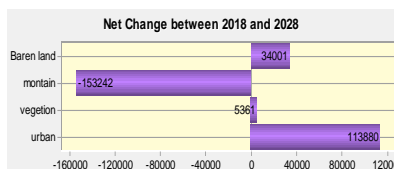
پیش بینی مساحت کلاس کاربری‌ها در جدول شماره ۱۱ آمده براساس شکل‌های تغییرات کلاس‌ها به یکدیگر در شکل‌های ۲۹ تا ۳۴ نشان می‌دهد اگر چه در دوره‌های قبل عمده تغییرات از کلاس اراضی بایر بود اما از سال ۲۰۱۸ تا ۲۰۱۸ عمده تغییرات مربوط به کلاس کوهستان خواهد بود و تغییرات این اراضی چشمگیر خواهد بود (شکل ۳۰). با توجه به این که اراضی کوهستانی شهر در جهت جنوب و جنوب‌غرب واقع شده اند پس پیش بینی می‌شود جهت رشد شهر هم از سمت شمال و شمال‌شرق به سمت جنوب و جنوب‌غرب شهر دور از انتظار نیست. تغییرات کلاس کوهستان عمدتاً به نفع اراضی شهری و پوشش گیاهی خواهد بود (شکل ۳۱ و ۳۲).

جدول ۱۱- مساحت کاربری اراضی سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۲۸ با استفاده از CA-

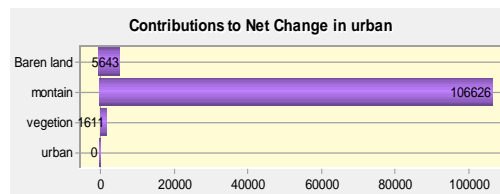
Markov			کلاس کاربری
درصد تغییرات	مساحت پیش بینی سال ۲۰۲۸ (هکتار)	مساحت پیش بینی سال ۲۰۱۸ (هکتار)	
۷	۵۷۲۱/۴۸	۴۸۲۴/۲۷	شهر
۲/۷	۱۴۳۵/۹۵	۱۰۸۲/۱۶	پوشش گیاهی
-۳/۶	۱۹۸۲/۸۸	۲۴۵۲/۸۶	کوهستان
-۶	۳۶۷۶/۵۹	۴۴۵۷/۶۱	اراضی بایر



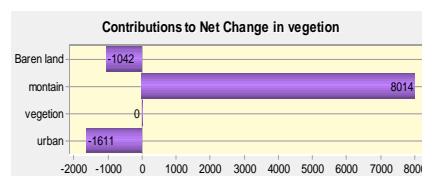
شکل ۲۹- نمودار تغییرات کل کاربری‌های سال ۲۰۱۸ به ۲۰۲۸



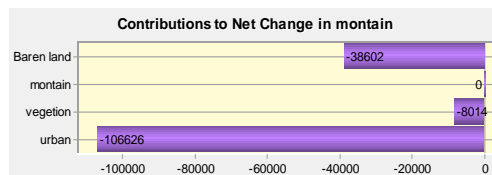
شکل ۳۰- نمودار تغییرات خالص کاربری شهری به سایر کاربری‌ها سال ۲۰۱۸ به ۲۰۲۸



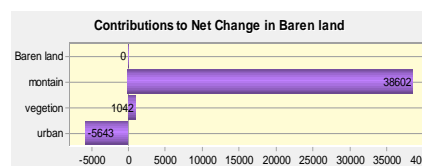
شکل ۳۱- نمودار تغییرات اراضی شهری به سایر کاربری‌ها سال ۲۰۱۸ به ۲۰۲۸



شکل ۳۲- نمودار تغییرات خالص کاربری پوشش گیاهی سال ۲۰۱۸ به ۲۰۲۸



شکل ۳۳- نمودار تغییرات خالص کاربری کوهستان سال ۲۰۱۸ به ۲۰۲۸



شکل ۳۴- نمودار تغییرات خالص کاربری اراضی بایر سال ۲۰۱۸ به ۲۰۲۸

**نتیجه گیری:** همانگونه که از نتایج آشکارسازی تغییرات پیداست، در طی دوره مطالعاتی ۱۸ ساله حاکی از گسترش اراضی ساخته شده، ناشی از تغییرات در اراضی کشاورزی حومه شهر در شمال و شمالشرق در دهه ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ و اراضی بایر است که بیشترین استعداد را برای تبدیل به اراضی ساخته شده دارند. ادامه این روند در دهه

۲۰۱۰ تا ۲۰۱۸ حاکی از تغییر اراضی بایر و کوهستان به اراضی ساخته شده و شهری است.

الگوی رشد شهر اراک در دهه ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ اسپیرال و در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۸ الگوی توسعه درونی و در دهه ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۸ الگوی رشد توسعه از لبه (ناشی از الحاق دو روستای کرهرود و سنجان به شهر) و توسعه درونی خواهد بود. به طور کلی از پیش شرطها و محدودیت‌های مدل مارکوف، ایستایی و در نظر گرفتن روند سرعت قبلی تغییرات است (علیمحمدی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۲۷) ولی بر اساس ساختار کلی مارکوف که اگر سرعت تغییرات با همان سرعت تغییرات دوره پیشین ادامه پیدا کند، در سال هدف، تغییرات در کاربری‌ها به این صورت خواهد بود که:

- ۱- هرچند اراضی شهری افزایش دارند اما درصد رشد آن نسبت به دوره های قبلی کند تر خواهد بود (از ۸.۷۷ به ۷ درصد).
- ۲- پوشش گیاهی کاهش رشد نداشته و حتی اندکی افزایش هم خواهد داشت (از ۴.۵۲- به ۲.۷ درصد)
- ۳- درصد کاهش اراضی کوهستان قابل توجه می باشد (از ۲.۹- به ۳.۶-). این کاهش نشان از تمایل رشد شهر به سمت ارتفاعات شهرداری.
- ۴- کاهش اراضی بایر ادامه خواهد داشت ولی سرعت آن تغییر چندانی نخواهد داشت (از ۶.۰۶- به ۶- درصد)

### منابع

- بوالحسنی، ندا (۱۳۹۳)، بررسی روند تغییرات کاربری اراضی شهری (۹۰-۱۳۴۵) (مورد مطالعه: شهر اراک)، استاد راهنما: دکتر سلیمانی، دانشگاه خوارزمی، دانشکده علوم جغرافیایی، شهریور ۹۳
- پیرنظر، مجتبی (۱۳۹۴)، راهنمای کاربردی نرم افزار Envi و پردازش تصاویر ماهواره‌ای، انتشارات ناقوس، چاپ اول



حیدریان، پیمان، کاظم رنگزن، سعید ملکی و ایوب تقی زاده (۱۳۹۳)، تلفیق تکنیک‌های سنجش از دور، GIS و مدل LCM با رویکرد مدلسازی توسعه شهری (نمونه موردی: کلانشهر تهران)، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال پنجم، شماره هفدهم، صص ۸۷-۱۰۰

خیرالدین، رضا و فردیس سالاریان (۱۳۹۶)، الگوسازی گرایش‌های فضایی شهرها با استفاده از الگوی رشد خودکار سلولی جهت امکان سنجی و انتظام توسعه فضایی شهر چالوس، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره ۳۹، صص ۱۷۶-۱۵۳

ده بزرگی، مه رو، ملکیان، آرش، احسانی، امیرهوشنگ (۱۳۹۴)، ارزیابی عملکرد شبکه عصبی مصنوعی در پیش بینی خشکسالی هواشناسی در شمال غربی ایران نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی سال پانزدهم شماره ۳۶، صص ۱۵۶-۱۳۹

شمسی‌پور، علی اکبر، سوسن حیدری و کیوان باقری (۱۳۹۶)، پایش روند تغییرات پوشش زمین در شهر کرمانشاه با مدل CA مارکوف، پژوهش‌های جغرافیای برنامه ریزی شهری، دوره ۵، شماره ۳، صص ۵۱۴-۴۹۵

عابدینی، موسی، میرزاخانی، بهاره و آتنا عسکری (۱۳۹۴)، پهنه‌بندی ژئومورفولوژیکی تناسب زمین در شهرستان اراک با استفاده از مدل منطق فازی (با رویکرد توسعه آتی شهر اراک)، فصلنامه برنامه ریزی منطقه‌ای، سال پنجم، شماره ۱۸

علی محمدی، عباس، علی جعفر موسیوند، سیاوش شایان (۱۳۸۹)، پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل زنجیره مارکوف، مدرس علوم انسانی برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره چهاردهم، شماره ۳، صص ۱۳۰-۱۱۷

مشتاقیون، مریم، سید علی المدرسی و علی اکبر جمالی (۱۳۹۴)، مدلسازی رشد و توسعه شهر بیابانی یزد با استفاده از تحلیل‌های پیشرفته فضایی، در بازه زمانی ۱۹۹۹-۲۰۲۰، کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی، سال سوم شماره اول، صص ۴۷-

نوحه گر، احمد، محمد کاظمی، سید جواد احمدی، حمید غلامی و رسول مهدوی (۱۳۹۵)، استفاده از تکنیک‌های پیکسل مبنا و زیر پیکسل مبنا جهت شناسایی مناطق دگرسانی (مطالعه موردی محدوده تنگ بستانک استان فارس)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال پنجم، شماره ۱، صص ۸۹ تا ۱۰۹

وفایی، ساسان، درویش صفت، علی اصغر، پیرباوقار، مهتاب، (۱۳۹۲)، پایش و پیش بینی روند تغییرات مکانی کاربری اراضی با استفاده از مدل LCM (مطالعه موردی: منطقه مریوان)، مجله جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران، سال پنجم، شماره ۳، صص ۳۲۳ تا ۳۳۶.

- Dewan, A. M., & Yamaguchi, Y. (2009). Land use and land cover change in Greater Dhaka, Bangladesh: Using remote sensing to promote sustainable urbanization. *Applied Geography*, 29(3), 390-401.
- Jahanishakib, F., Mirkarimi, S. H., Salmanmahiny, A., & Poodat, F. (2018). Land use change modeling through scenario-based cellular automata Markov: improving spatial forecasting. *Environmental monitoring and assessment*, 190(6), 332.
- Jensen, J.R. (2007), *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*, Pearson Prentice Hall, p: 592.
- Luo, J., & Wei, Y. D. (2009). Modeling spatial variations of urban growth patterns in Chinese cities: The case of Nanjing. *Landscape and Urban Planning*, 91(2), 51-64.
- Mahmoud, H., & Divigalpitiya, P. (2015, November). Modeling Future Land Use and Land-Cover Change in the Asyut Region Using Markov Chains and Cellular Automata. In *International conference on Smart and Sustainable Planning for Cities and Regions* (pp. 99-112). Springer, Cham
- Tewolde, M. G., & Cabral, P. (2011). Urban sprawl analysis and modeling in Asmara, Eritrea. *Remote Sensing*, 3(10), 2148-2165.
- Van Nguyen, T., Van Nguyen, N., Le, H. T. T., La, H. P., & Bui, D. T. (2017, October). Detection and Prediction of Urban Expansion of Hanoi Area (Vietnam) Using SPOT-5 Satellite Imagery and Markov Chain Model. In *International Conference on Geo-Spatial Technologies and Earth Resources* (pp. 119-133). Springer, Cham
- Sahana, M., Hong, H., & Sajjad, H. (2018). Analyzing urban spatial patterns and trend of urban growth using urban sprawl matrix: A study on Kolkata

urban agglomeration, India. *Science of the Total Environment*, 628, 1557-1566.

Rajitha, K., C. K. Mukherjee, Vinu R. Chandran, and M. M. Prakash Mohan, (2010), Landcover

change dynamics and coastal aquaculture development: a case study in the East Godavari delta, Andhra Pradesh, India using multi-temporal satellite data, *International Journal of Remote Sensing*, 31 (16), 4423 - 4442.

Villa, A., Benediktsson, J.A., Chanussot, J. and Jutten, J. (2011). "Hyperspectral Image Classification With Independent Component Discriminant Analysis". *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. Vol. 49. No. 12. pp. 4865-4876.