

مدل سازی رشد و توسعه شهر اصفهان با استفاده از داده های سنجش از دور در مدل LCM

مرتضی حیدری مظفر^۱، احسان صالح جونقانی^{۲*}

^۱ استادیار گروه عمران - دانشکده مهندسی - دانشگاه بوعلی سینا

m.heidarimozaffar@basu.ac.ir

^۲ کارشناس ارشد سیستم های اطلاعات مکانی - موسسه عمران و توسعه

ehsan.saleh2016@gmail.com

(تاریخ دریافت بهمن ۱۳۹۸، تاریخ تصویب اسفند ۱۳۹۹)

چکیده

جمعیت شهری، به ویژه در کشورهای روبه توسعه به تدریج در حال افزایش است. استفاده بهینه از سرزمین نقش مهمی در برنامه ریزی و مدیریت رشد شهری دارا می باشد. این اصل به ویژه در راستای نیل به توسعه پایدار در نواحی شهری از اهمیت مضاعف برخوردار است. بهره برداری غیراصولی از اراضی نیز رو به گسترش بوده که موجب تخریب و نابودی منابع طبیعی می شود. مطالعه تغییرات کاربری اراضی و تأثیرات گسترده آن بر محیط زیست و درک چگونگی این تغییرات چه از نظر الگوی مکانی و چه از نظر کمیت آن ضروری است. در این مقاله، مدل سازی تغییرات کاربری اراضی شهر اصفهان با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی و در محیط نرم افزار Idrisi انجام گرفت. نقشه های کاربری اراضی با استفاده از تصاویر لندست مربوط به سال های ۱۹۹۷، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۷ ایجاد و همچنین از نقشه های ۱:۲۵۰۰۰ برای شناسایی بهتر منطقه، زمین مرجع کردن و تصحیح هندسی تصاویر ماهواره ای استفاده گردید. مدل سازی پتانسیل انتقال، به کمک الگوریتم شبکه عصبی پرسپترون (Multi Layer Perceptron) انجام شد. سپس با استفاده از برخی متغیرهای دینامیک شامل فاصله از مراکز دانشگاهی، فاصله از مراکز صنعتی، فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از معابر و نیز مدل رقومی ارتفاعی زمین (Digital Elevation Model) به عنوان یک متغیر استاتیک میزان تخصیص تغییرات کاربری ها به یکدیگر آشکار سازی شد. همچنین، به روش زنجیره مارکوف (Markov Chain) پیش بینی نقشه کل تغییرات کاربری اراضی در مدل سازی تغییرات کاربری اراضی (Land Change Modeler) انجام گرفت. نتایج مدل سازی پتانسیل تبدیل کاربری ها در همه زیر مدل ها، دقت بالای ۹۵ درصد را نشان داد. محاسبه صحت مدل پیش بینی نیز با استفاده از ضریب کاپا برابر با ۰/۹ بدست آمد. نتایج از بررسی تغییرات و پیش بینی کاربری اراضی گویای توسعه مناطق شهری اصفهان است. این تغییرات نشان می دهد که دیگر کلاس های کاربری اراضی در حال کاهش است و با توجه به نتایج حاصل از مدل LCM در کل دوره، اراضی شهری از ۲۱۲۳۹ هکتار در سال ۱۹۹۷ به ۲۳۶۰۷ هکتار در سال ۲۰۱۷ افزایش یافته است. پیش بینی می شود که این روند صعودی در آینده نیز ادامه خواهد داشت. مطابق پیش بینی مدل زنجیره مارکوف، اراضی شهری اصفهان تا سال ۲۰۲۷ به حدود ۲۴۰۲۳ هکتار خواهد رسید.

واژگان کلیدی: شهر اصفهان، تصاویر لندست، زنجیره مارکوف، شبکه عصبی پرسپترون، کاربری اراضی، مدل LCM

۱- مقدمه

رشد جمعیت و گرایش به شهرنشینی و همچنین بهره‌برداری‌های نامناسب انسان از منابع موجود موجب تغییرات کاربری اراضی در زمین می‌شود [۱]. این تغییرات نسبت به تأثیر آن بر محیط زیست و نیازهای انسانی، از جمله موضوعات اصلی پژوهش در حوزه تغییرات محیط زیست محسوب می‌گردد. بررسی روند تغییرات کاربری اراضی به کاربری شهری و نیز شناسایی پارامترهایی که در این تغییرات مؤثر است، وابسته می‌باشد. بنابراین مدل‌سازی تغییرات نقش اساسی در تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی‌های میان‌مدت و بلندمدت دارد. بر همین اساس قوانین و روابط مؤثر در تغییر سایر کاربری‌ها به کاربری‌های شهری و همچنین پیش‌بینی فرآیند توسعه شهرها در آینده با روش‌های دقیق و کارآمد بیش از پیش ضرورت دارد [۲].

برای مدل‌سازی الگوهای مکانی تغییرات کاربری زمین دو رویکرد مدل‌های رگرسیون مبنا و مدل‌هایی که بر پایه انتقال مکانی هستند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به اهمیت بالای اثر تغییرات کاربری سرزمین در آینده، لازم است الگوی رشد و تغییرات کاربری‌ها قبل از اتخاذ هرگونه تصمیم‌گیری به مسئولان مربوطه ارائه گردد. با ارائه این الگو می‌توان با برنامه‌ریزی صحیح، کاربری اراضی شهری و آمایش شهری را در مناسب‌ترین جهت هدایت کرد تا ضمن برآورد نیازهای ساکنان شهر، منابع طبیعی، اراضی اطراف شهر و زمین‌های کشاورزی نیز حفظ شود.

در این زمینه مطالعه‌ای در سال ۱۳۹۴ با عنوان مدل‌سازی رشد شهری با استفاده از داده‌های سنجش از دور در شهر بجنورد و با روش تلفیق شبکه عصبی پرسپترون و مدل زنجیره مارکوف انجام شده است. در این مطالعه از تصاویر لندست ۵ مربوط به سال ۱۳۸۴ و لندست ۸ مربوط به سال ۱۳۹۲ جهت تهیه نقشه کاربری اراضی به روش شبکه عصبی مصنوعی چند لایه استفاده شده که با اعمال متغیرهای کیفی، مدل‌سازی رشد شهری بجنورد برای سال ۱۴۱۰ انجام شده است. نتایج مدل‌سازی پتانسیل تبدیل در همه زیر مدل‌ها صحت بالای ۹۵٫۲ درصد را نشان داده است.

نتایج بدست آمده از بررسی تغییرات و پیش‌بینی کاربری اراضی نیز، گویای رشد توسعه منطقه شهری و

متقابلاً کاهش کلاس‌های دیگر کاربری اراضی بوده و با توجه به نتایج حاصل از پژوهش این روند در آینده نیز ادامه خواهد داشت [۳].

در مطالعه‌ای دیگر که در سال ۱۳۹۲ به منظور مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی شهرستان تبریز برای پیش‌بینی سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۴۰۰ انجام شد از مدل‌سازی تغییر زمین در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شده است. برای این کار، تجزیه و تحلیل تغییرات کاربری‌ها، به کمک سه دوره از تصاویر لندست مربوط به سال‌های ۱۳۶۷، ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ انجام شده و نقشه‌های پوشش اراضی بصورت جداگانه برای هر سال تهیه شد. مدل‌سازی پتانسیل انتقال به کمک الگوریتم پرسپترون چند لایه شبکه عصبی مصنوعی و با استفاده از شش متغیر مستقل صورت گرفته و میزان تخصیص هر کاربری به کاربری دیگر، به‌روش زنجیره مارکوف مورد محاسبه قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داد که بین سال‌های ۱۳۶۷ تا ۱۳۹۰ بیشترین سهم در افزایش کاربری‌ها را اراضی شهری و مسکونی داشته‌اند [۴].

در مطالعه کاربردی دیگری که در سال ۲۰۱۲ انجام گرفت برای مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین در توسعه شهری منطقه کاتماندو^۱، نپال^۲، از تصاویر ماهواره‌ای مربوط به سال‌های ۱۹۹۱، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ و با در نظر گرفتن سه زمینه تاریخی، زیست محیطی و حفاظت از منابع، برای پیش‌بینی سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ استفاده شد [۵].

همچنین در مطالعه‌ای دیگر از مدل‌سازی تغییرات اراضی و شبکه عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی تغییرات جنگل در منطقه ملیتامدائو^۳ استفاده شد که از تصاویر ماهواره‌ای مربوط به سال‌های ۱۹۹۳، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۷ به‌عنوان ورودی مدل، آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات سطح جنگل برای سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۲۱ به‌کار گرفته شد. نتایج این مطالعه نشان داد مساحت جنگل در دوره اول از ۱۸/۰۳ درصد وسعت منطقه در سال ۲۰۰۷ به ۱۵/۱۰ درصد وسعت کل در سال ۲۰۱۴ و ۱۲/۶۶ درصد در سال ۲۰۲۱ کاهش خواهد یافت [۶].

^۱ Kathmandu

^۲ Nepal

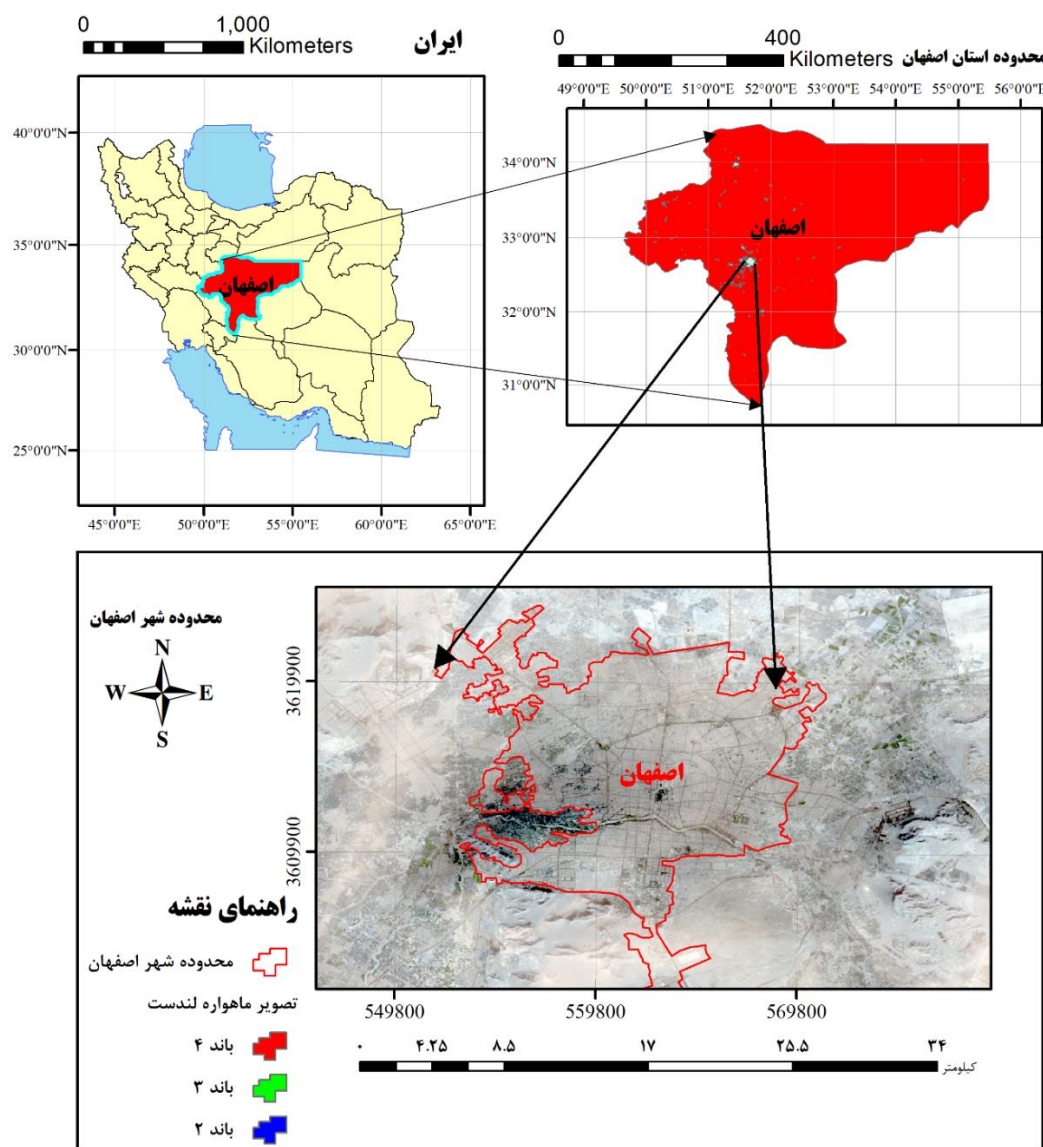
^۳ Melitamdau

۲- مواد و روش‌ها

۱-۲- منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه (شکل ۱)، شهر اصفهان، در طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۸ دقیقه شمالی قرار گرفته است. این شهر وسعتی حدود ۲۳۵ کیلومتر مربع را در بر گرفته است و این شهر بنابر آخرین سرشماری آمار جمعیت کشور در سال ۱۳۹۵ بیش از ۲۲۴۳۲۴۹ میلیون نفر جمعیت دارد. شهر اصفهان به‌عنوان مرکز استان اصفهان با ویژگی منحصر به‌فرد از لحاظ موقعیت مکانی در کشور (قرار گرفتن در مسیر ترانزیتی شمال-جنوب و شرق-غرب)، استقرار صنایع مادر در سطح ملی (ذوب‌آهن و فولاد مبارکه)، یکی از مهم‌ترین شهرهای کشور محسوب می‌شود.

هرکدام از مطالعات انجام گرفته بخشی از پارامترهای فیزیکی توسعه شهری را مدنظر قرار داده بودند. در این مطالعه ابتدا با شناسایی پارامترهای موثر همچون مراکز دانشگاهی، مراکز صنعتی، معابر، مناطق مسکونی پارامتر ارتفاع طبیعی زمین نیز به عنوان یک پارامتر استاتیک استفاده شد. برای ارتقاء دقت مدل پیش‌بینی پتانسیل تغییرات کاربری اراضی استفاده تلفیقی از مدل‌های استفاده شده قبلی، مد نظر قرار گرفته است. بر همین اساس در این مقاله از تلفیق مدل‌های زنجیره مارکوف و شبکه عصبی مصنوعی استفاده می‌شود. نتایج نشان‌دهنده موفقیت این مدل در پیش‌بینی توسعه شهری می‌باشد.



شکل ۱- نمای شهر اصفهان به‌عنوان منطقه مورد مطالعه

۲-۲- جمع آوری و آماده سازی داده ها

در این مقاله، از نقشه با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ منطقه برای شناسایی عوارض مهم محدوده مطالعاتی، زمین مرجع کردن و تصحیح هندسی تصاویر ماهواره ای استفاده می-شود. تصاویر سال های ۱۹۹۷، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۷ شهر اصفهان اخذ شده با سنجنده های ماهواره لندست شامل TM، ETM+ و OLI و با قدرت تفکیک مکانی متوسط موجود در پایگاه USGS نیز داندود و مورد استفاده قرار می گیرد. مشخصات تصاویر مورد استفاده در این مقاله در جدول ۱ آمده است. با استفاده از روش طبقه بندی (حداکثر احتمال)^۱ در نرم افزار ENVI طبقه بندی تصاویر برای تمامی آن ها انجام می شود. سپس با استفاده از روش تصحیح تصویر به تصویر^۲، تصحیح هندسی سایر باندهای تصاویر انجام می گیرد. همچنین به منظور ساده شدن فرایند تصحیح اتمسفری از تصاویر بدون ابر و دارای بازتاب بالای ۸۰٪ استفاده شد.

برای ارزیابی صحت طبقه بندی تصاویر نیز ماتریس ابهام یا خطا^۳ تکمیل شده و پارامترهای دقت کلی^۴ و ضریب کاپا^۵ به ترتیب با رابطه (۱) و (۲) محاسبه شدند.

$$OA = \frac{1}{N} \sum P_{ii} \quad (1)$$

در رابطه (۱)، N تعداد کل پیکسل های داده مرجع زمینی و $\sum P_{ii}$ مجموعه پیکسل های روی قطر اصلی (مجموعه پیکسل های صحیح طبقه بندی شده) می باشد.

$$K = \left(OA - \frac{1}{q} \right) \left(1 - \frac{1}{q} \right) \quad (2)$$

در رابطه (۲)، q پیکسل هایی است که به اشتباه در کلاس های دیگر طبقه بندی شده اند و OA دقت کلی می باشد [۷].

۳-۲- روند اجرای پژوهش

مراحل کلی، پژوهش انجام شده در فلوچارت شکل ۲ نشان داده شده است. این مراحل شامل: تهیه تصاویر

ماهواره ای، انتخاب بهترین و دقیق ترین حالت طبقه بندی با توجه به داده های موجود، آشکارسازی تغییرات و انتخاب زیر مدل ها، انتخاب لایه های مؤثر، مدل سازی پتانسیل تبدیل کاربری و پیش بینی وضعیت تغییرات آینده است.

پس از اخذ تصاویر و انجام تصحیحات روی آن، طبقه بندی به روش حداکثر احتمال انجام شده است. ارزیابی دقت نتایج طبقه بندی با استفاده از صحت سنجی با داده های مرجع زمینی و تشکیل ماتریس ابهام و محاسبه مقدار پارامتر دقت کلی و شاخص کاپا مشخص صورت گرفت. در مرحله بعد تصاویر طبقه بندی شده در نرم افزار Idrisi فراخوانی شده و با کمک توابع مدل ساز تغییرات کاربری اراضی (LCM) تجزیه و تحلیل کاملی از تغییرات زمین انجام می گیرد. با ایجاد نقشه های کاربری اراضی، نمودار، انتقال طبقه کاربری و روند آنها امکان پذیر خواهد بود به نحوی که همه روند انتقالات و تبدیلات زیر مدل ها به یکدیگر (مانند زمین های بایر، زمین های کشاورزی، مناطق مسکونی و غیره) را قبل از پیش بینی، مدل سازی خواهد کرد. در ادامه، مدل سازی پتانسیل انتقال میان کاربری ها (پتانسیل تبدیل یک کاربری به کاربری دیگر) با استفاده از شبکه های عصبی پرسپترون MLP در نرم افزار Idrisi انجام می شود.

بعد از انجام مراحل فوق، بایستی متغیرهای مؤثر منطقه که می توانند دینامیک یا استاتیک باشند، انتخاب شود. متغیرهای مؤثر در این مطالعه به کمک تصاویر و نقشه ۱/۲۵۰۰۰ شناسایی شد که شامل یک متغیر استاتیک (DEM) منطقه و چهار متغیر دینامیک (نزدیکی به جاده و خیابان، نزدیکی به مناطق مسکونی، نزدیکی به مراکز صنعتی و نزدیکی به مراکز دانشگاهی) می باشد. متغیرها به عنوان لایه ورودی شبکه عصبی پرسپترون انتخاب می شوند، آموزش این شبکه توسط الگوریتم پس از انتشار صورت گرفته که از جمله روش های بهینه کاهش خطا در شبکه عصبی است. سپس وزن های اولیه مربوط به هر کدام از پارامترها انتخاب می شود. سپس خروجی بدست آمده از داده های ورودی با داده های واقعی موجود از منطقه مقایسه می شود. مراحل فوق در نهایت تا رسیدن به کمترین میزان میانگین مربعات خطا ادامه می یابد.

در مرحله بعدی، پیش بینی تغییرات و اعتبارسنجی آن با استفاده از زنجیره مارکوف انجام شده است. در این مرحله خروجی های مدل سازی پتانسیل انتقال به عنوان ورودی مرحله پیش بینی تغییرات استفاده شده است. با

^۱ Maximum Likelihood

^۲ Image to Image

^۳ Confusion or Error Matrix

^۴ Overall Accuracy

^۵ Kappa Coefficient

استفاده از تصاویر مربوط به سال‌های (۱۹۹۷) و (۲۰۰۸)، پیش‌بینی برای سال فعلی انجام می‌شود و نقشه کل تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل LCM بدست می‌آید. در نرم‌افزار Idrisi این مدل بایستی اعتبارسنجی شود که با مقایسه نقشه کاربری اراضی مرجع و نقشه کاربری اراضی بدست آمده از مدل، قابل انجام است. ماتریس خطا تشکیل و با محاسبه ضریب کاپا، صحت و اعتبار مدل قابل ارزیابی می‌شود. زنجیره مارکوف سه دسته خروجی تولید می‌کند که عبارت‌اند از:

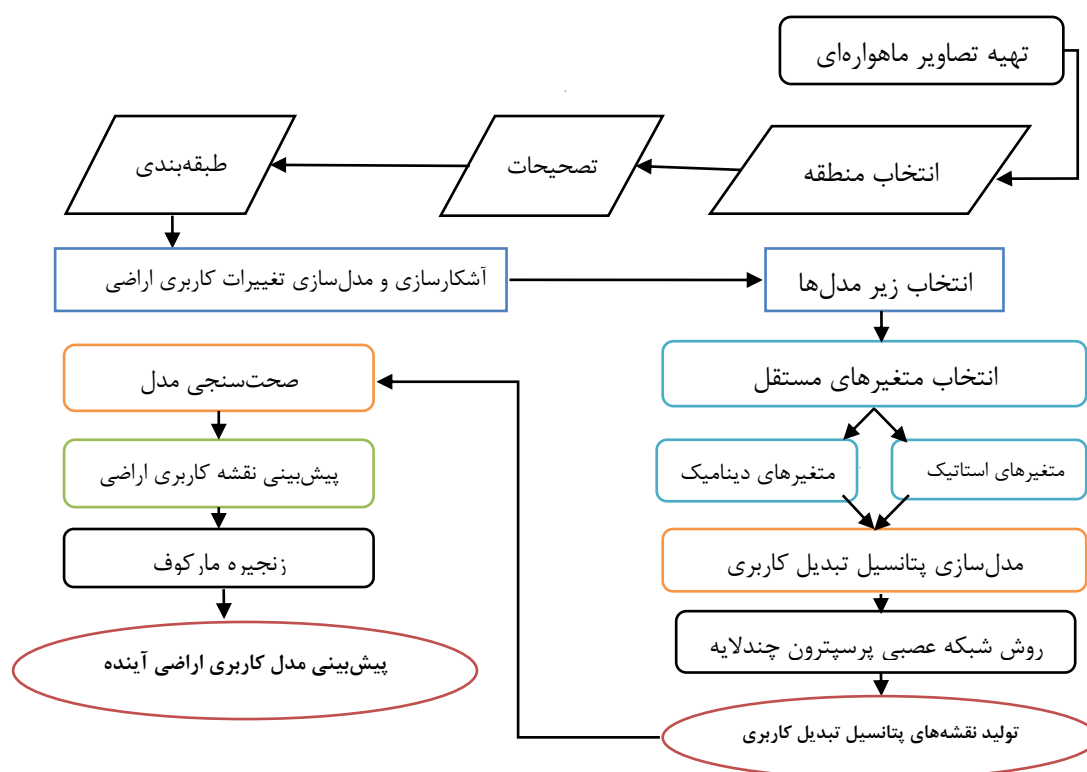
۱- ماتریس احتمال انتقال که احتمال تغییر هر کلاس عارضه به سایر کلاس عوارض موجود را مشخص می‌کند.

۲- ماتریس مساحت انتقال که نشان‌دهنده تعداد پیکسل‌هایی است که احتمالاً به کلاس عوارض دیگر تبدیل شدند.

۳- موقعیت هر کاربری را که با تولید مجموعه‌ای از تصاویر احتمال وضعیت از ماتریس احتمال انتقال نشان می‌دهد. اگر در اعتبارسنجی مدل، صحت مدل اثبات و مورد قبول واقع شود، آنگاه با به‌کارگیری آن، ماتریس مساحت انتقال مارکوف نیز با تصاویر دوره‌های قدیم (۱۹۹۷) و فعلی (۲۰۰۸)، اقدام به پیش‌بینی و شبیه‌سازی نقشه کاربری اراضی در آینده سال (۲۰۲۷) صورت می‌گیرد.

جدول ۱- مشخصات تصاویر اخذ شده منطقه مورد مطالعه

سیستم تصویر	ماهواره	قدرت تفکیک مکانی (باند‌های غیرحرارتی) (m)	قدرت تفکیک رادیومتریک (m)	نوع سنجنده	تاریخ تصویربرداری
UTM, ZONE 39	LANDSAT5	28.5	7	TM	1997.sep.09
UTM, ZONE 39	LANDSAT7	28.5	8	ETM+	2008.june.30
UTM, ZONE 39	LANDSAT8	28.5	12	OLI	2017.june.23



شکل ۲- فلوچارت مراحل پژوهش

۲-۳-۱- مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی (LCM)

مدل‌سازی تغییر اراضی، شامل مجموعه‌ای از ابزارهای هوشمند است که به پیچیدگی‌های تجزیه و تحلیل

تغییرات کاربری اراضی، مدیریت منابع و ارزیابی زیستگاه به‌طور خودکار می‌پردازد. به‌طور کلی آنالیز تغییرات و پیش‌بینی در مدل LCM به‌صورت زیر مدل‌هایی

سازماندهی شده‌اند که یک زیر مدل انتقال می‌تواند شامل یک انتقال یا به صورت یک گروه از انتقالات پوشش زمین (کاربری‌ها) باشد. همه انتقالات زیر مدل‌ها باید قبل از انجام پیش‌بینی تغییرات، مدل‌سازی شوند و بعد از آن آشکارسازی انجام گردد؛ به طوری که وضعیت تغییرات کاربری‌ها و پوشش‌های زمین که از تصاویر محاسبه شده در زمان‌های مختلف مشخص شود [۷].

۲-۳-۲- انتخاب متغیرهای مستقل

متغیرهای مؤثر منطقه به دو دسته دینامیک^۱ یا استاتیک^۲ تقسیم می‌شوند. مستعدترین و مناسب‌ترین متغیرهای مستقل برای انجام مدل‌سازی، با ارزیابی ضریب همبستگی کرامر^۳ انتخاب می‌شوند که نشان‌دهنده ارتباط بین متغیرها و طبقات کاربری اراضی است [۸].

متغیرهای مؤثر در این مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه انتخاب شدند که شامل یک متغیر استاتیک یعنی مدل رقومی زمین^۴ منطقه و چهار متغیر دینامیک شامل نزدیکی به جاده و خیابان، نزدیکی به مناطق مسکونی، نزدیکی به مراکز صنعتی و نزدیکی به مراکز دانشگاهی می‌باشد. متغیرها بعد از انتخاب پارامترهای مؤثر و آماده‌سازی آن‌ها در فرمت فایل‌های GIS وارد نرم‌افزار Idrisi می‌شود، برای هر کدام از متغیرها فاصله اقلیدسی بر پارامترها اعمال و با قوانین فازی استانداردسازی می‌شوند. مراحل فازی کردن برای تمام پارامترهای مؤثر در تغییر کاربری اراضی انجام می‌شود و در نهایت لایه‌های فازی ایجاد شده به صورت یک گروه رستری در فرایند پیش‌بینی، به عنوان لایه ورودی شبکه عصبی پرسپترون استفاده می‌شوند.

۲-۳-۳- پیش‌بینی پتانسیل تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش شبکه عصبی پرسپترون (MLP)

مدل‌سازی توسعه شهری در این مطالعه پتانسیل انتقال میان کاربری‌ها را با استفاده از روش (MLP) نشان می‌دهد. با توجه به متغیرهای معرفی شده به مدل‌ساز تغییر سرزمین، و همچنین متغیرهای مؤثر منطقه، تغییرات و انتقالات کاربری‌ها و پتانسیل بالقوه مورد بررسی

قرار می‌گیرد. در مورد مدل‌سازی توسعه شهری این مطالعه توسط داده‌های آموزشی سنجش از دور در چند بازه زمانی مختلف صورت می‌گیرد که شبکه با بخشی از داده‌ها آموزش دیده، با بخش دیگری از داده‌ها مورد ارزیابی قرار واقع شود.

نتایج بدست آمده از این مرحله، نقشه‌های پتانسیل انتقال هر تغییر را نشان می‌دهد که یک توصیف جامع از هر نوع تغییر را در اختیار کاربر قرار می‌دهد [۹].

آموزش شبکه عصبی پرسپترون توسط الگوریتم "پس از انتشار" انجام می‌شود که بصورت تصادفی وزن‌های اولیه را انتخاب می‌کند و خروجی بدست آمده از داده‌های ورودی را با خروجی واقعی داده‌ها مقایسه می‌کند و با تکرار، در نهایت کمترین میزان میانگین مربعات خطا را ارائه می‌دهد [۱۰]. برای ارزیابی صحت مدل‌سازی پتانسیل تبدیل کاربری با روش شبکه عصبی پرسپترون چندلایه از خطای آموزش و خطای تست استفاده می‌شود.

در شبکه عصبی پرسپترون چند لایه تعداد نرون‌های^۵ لایه ورودی، همان تعداد باندهای تصاویر لندست و تعداد نرون‌های لایه خروجی، همان تعداد کلاس‌های نقشه کاربری اراضی می‌باشد. شایان ذکر است قانونی برای تعیین تعداد نرون‌های لایه پنهان وجود ندارد و این مورد کاملاً تجربی است [۱۱].

به طور کلی سه مرحله در طبقه‌بندی شبکه عصبی وجود دارد که شامل فرایند آموزشی (استفاده از داده‌های ورودی و نمونه‌های آموزشی)، مرحله اعتبارسنجی (موفقیت مرحله آموزشی و صحت شبکه را تعیین می‌کند) و مرحله طبقه‌بندی می‌باشد [۱۲]. شبکه‌های عصبی می‌توانند به تنهایی یا به همراه روش‌هایی همچون زنجیره مارکوف به صورت یک مدل تلفیقی برای مدل‌سازی توسعه شهری به کار برده شوند [۱۳].

این مدل تلفیقی، برخلاف روش مدل خودکار سلولی قدیمی، نیازی به تعیین قاعده توسط کاربر نداشته و این قواعد و قوانین برای کاربردهای مختلف متغیر است. از طرفی باید به این نکته اشاره کرد که دلیل به کارگیری این مدل تلفیقی، جایگزینی قوانین و پارامترهای خیلی ساده و کارآمد و نیز شبیه‌سازی دینامیک کاربری اراضی برای مقابله با روابط پیچیده تبدیل کاربری اراضی می‌باشد. [۱۴].

۵ Neurons

۱ Dynamic

۲ Static

۳ Kramer Correlation Coefficient

۴ Digital Elevation Model

کاربری‌ها را نشان می‌دهد. این مفهوم در رابطه زیر بیان شده است.

$$k = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r (X_{i+} X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (X_{i+} X_{+i})} \quad (3)$$

در رابطه (۵)، X_{ii} مولفه سطر i و ستون i ماتریس ابهام و X_{i+} نشان‌دهنده مجموع مولفه‌های سطر i ، X_{+i} مجموع مولفه‌های مربوط به ستون i و N تعداد کل پیکسل‌های داده مرجع است. مقدار کاپای نزدیک به عدد ۱ نشان‌دهنده طبقه‌بندی بسیار دقیق است و نیز مقدار نزدیک به عدد صفر نشان‌دهنده طبقه‌بندی ضعیف می‌باشد [۱۷].

۳- یافته‌های پژوهش

تصاویر ماهواره‌ای شهر اصفهان با استفاده از نرم‌افزار Envi و روش حداکثر احتمال، به سه کلاس عارضه (اراضی بایر- کشاورزی، مناطق مسکونی و فضای سبز) طبقه‌بندی شدند. برای انتخاب کاربری‌های مناسب، شناخت کافی از محل اهمیت بالایی دارد. بنابراین با توجه به این آگاهی، برخی از موقعیت کاربری‌ها به عنوان داده‌های آموزشی و برخی دیگر به عنوان داده مرجع در اختیار گرفته شد. پس از طبقه‌بندی تصاویر، پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی اصفهان برای سال ۲۰۲۷ و مدل‌سازی تغییرات اراضی آن، از دو روش شبکه عصبی پرسپترون و زنجیره مارکوف استفاده شد.

۳-۱- مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی شهر اصفهان (LCM)

با استفاده از مدل (LCM) تغییرات هر کاربری به کاربری دیگر در دوره مد نظر تحقیق بدست آمد. تغییرات (کاهش^۳ یا افزایش^۴) مقدار کاربری‌ها در سه کلاس عارضه هدف، شامل اراضی کشاورزی- بایر، مسکونی و فضای سبز مد نظر قرار گرفت. نتایج آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی نشان داد در طول سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۸ مساحتی معادل ۱۵۴۵ هکتار و همچنین در طول سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۷ مساحتی معادل ۸۲۳ هکتار به

ساختار مدل شبکه عصبی بسیار ساده و با استفاده از یک شبکه سه لایه با چند نرون خروجی برای تولید احتمال تبدیل است. کاربران نیاز به تعریف مقادیر پارامتر، قوانین انتقال دقیق و ساختار مدل ندارند و تنها باید داده آموزش را تعیین کنند. برای انواع دیگر مدل‌ها، قوانین انتقال و ساختار مدل منحصر به فرد نیست چون مدل‌های سلول خودکار معمولاً قوانین انتقال و ساختار مدل مختلف اتخاذ می‌کنند.

۲-۳-۴- پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از زنجیره مارکوف

پیش‌بینی تغییرات کاربری‌ها و اعتبارسنجی آن با استفاده از روش زنجیره مارکوف انجام می‌شود. در این مرحله خروجی‌های مدل‌سازی پتانسیل انتقال به عنوان ورودی مرحله پیش‌بینی تغییرات به کار گرفته می‌شود. ابتدا با استفاده از تصاویر مربوط به سال‌های (۱۹۹۷) و (۲۰۰۸)، زمان حال (۲۰۱۷) پیش‌بینی شده و نقشه کل تغییرات کاربری اراضی با استفاده از LCM مدل‌سازی می‌گردد. این مدل در نرم‌افزار Idrisi اعتبارسنجی می‌شود. در این مورد نیز مقایسه نقشه کاربری اراضی فعلی و نقشه کاربری اراضی بدست آمده از مدل، انجام شده و با محاسبه ضریب کاپا، صحت و اعتبار مدل ارزیابی می‌شود. با توجه به نتیجه‌گیری مطالعات [۱۵]، اگر در اعتبارسنجی مدل، صحت مدل اثبات شود آنگاه با به کارگیری آن مدل، ماتریس مساحت انتقال مارکوف اقدام به پیش‌بینی و شبیه‌سازی نقشه کاربری اراضی در آینده (۲۰۲۷) خواهد شد.

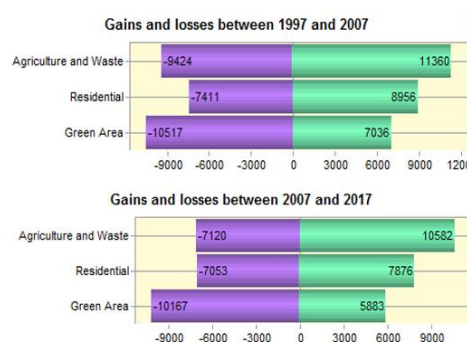
۲-۳-۵- اعتبارسنجی مدل پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی حاصل از روش زنجیره مارکوف

برای صحت‌سنجی پیش‌بینی مدل تغییر کاربری اراضی، استفاده از روش‌های کمی لازم است، در این مقاله از شاخص کاپا (kappa coefficient) برای ارزیابی اعتبار مدل مشابه تحقیق [۱۶]، استفاده شد. شاخص کاپا توسط لیل‌سند^۱ و کیفر^۲ در سال ۲۰۰۰ تعریف شد که معیار سنجش آن استفاده از ماتریس ابهام جهت بررسی صحت طبقه‌بندی می‌باشد و توانایی مدل در پیش‌بینی موقعیت

^۳ Losses
^۴ Gains

^۱ Lillesand
^۲ Kiefer

وسعت اراضی شهری اضافه شد. شکل ۳ می/زان تغییرات کاربری های سه کلاس عارضه مورد بررسی را نشان می دهد.



شکل ۳- تغییرات کاربری اراضی شهر اصفهان طی سال های ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۸-۲۰۰۸ تا ۲۰۱۷

۳-۲- انتخاب پارامترهای موثر بر توسعه شهری

با توجه به ویژگی های منطقه مورد مطالعه، عوامل تاثیرگذار بر توسعه شهری انتخاب شدند. این پارامترهای فیزیکی شامل مراکز صنعتی، مراکز دانشگاهی، مناطق شهری، معابر و جاده ها و DEM (مدل رقومی ارتفاعی) بودند. فاصله اقلیدسی هر پارامتر تا محدوده شهر با استفاده از توابع فازی برای هر یک از پارامترها مشخص شد. انتخاب تاثیرگذارترین پارامترها با استفاده از ضریب همبستگی کرامر تعیین شد که به ترتیب دارای مقادیر ۰/۱۱۱۷، ۰/۲۱۹۵، ۰/۱۹۲۰، ۰/۰۹۶۰ و ۰/۱۵۱۸ هستند.

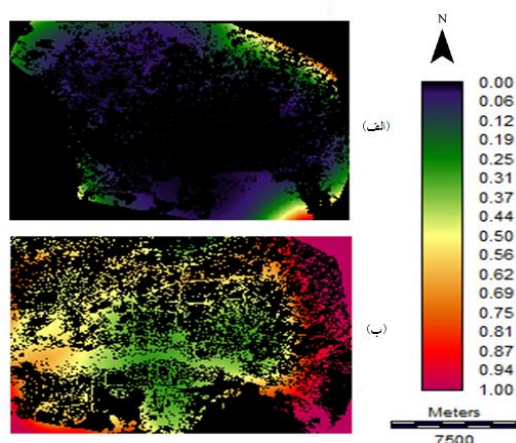
۳-۳- پیش بینی پتانسیل تغییرات کاربری اراضی شهر اصفهان با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی (MLP)

پس از اجرای مدل MLP با در نظر گرفتن پارامترهای تاثیرگذار منطقه، پتانسیل تغییر هر کاربری و تبدیل آن به کاربری دیگر بدست آمد که نتایج آن در شکل ۴ نمایش داده شده است. همچنین شکل ۵ پارامترهای حاصل از اجرای مدل شبکه عصبی پرسپترون (MLP) را نشان می دهد. خطای تست ۰/۱۷۲۹ و خطای آموزش ۰/۱۷۲۲ و همچنین صحت مدل شبکه عصبی نیز ۸۴/۱۸ درصد بدست آمد که بر اساس پژوهش انجام شده [۱۸] دقت بالای ۰/۸۰ درصد، مدل مورد تایید است.

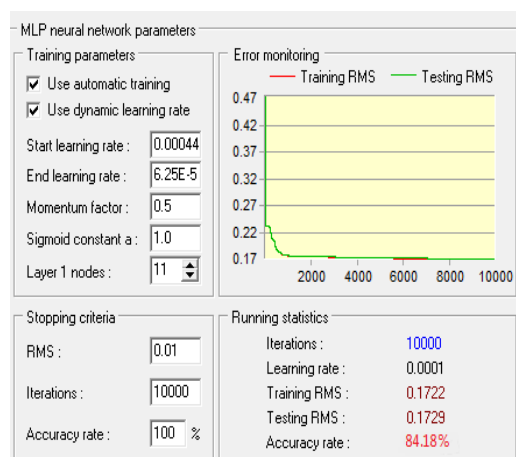
شکل ۴- (الف) پتانسیل تبدیل زیر مدل اراضی بایر و کشاورزی به زیر مدل مسکونی را نشان می دهد که گرایش

تبدیل در قسمت های میانی منطقه به دلیل عدم وجود اراضی بایر و کشاورزی (رنگ مشکی) کمتر بود اما در قسمت های اطراف منطقه بیشتر اتفاق خواهد افتاد.

شکل ۴- (ب) پتانسیل تبدیل زیر مدل فضای سبز به مسکونی را نشان می دهد که گرایش تبدیل زیر مدل فضای سبز به زیر مدل مسکونی در قسمت های میانی محدوده به دلیل تمرکز فضاهای سبز در مرکز شهر اصفهان (رنگ های قرمز، سبز و زرد) وجود دارد اما در قسمت های اطراف منطقه (رنگ مشکی) این گرایش بسیار کمتر دیده می شود.



شکل ۴- نقشه حاصل از اجرای مدل MLP

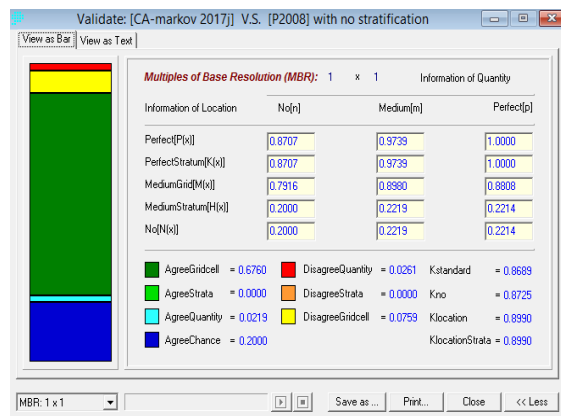


شکل ۵- خطای RMSE در مرحله آموزش و اعتبار سنجی پتانسیل تغییر

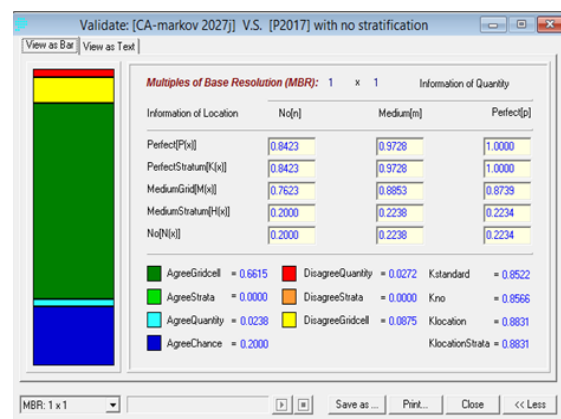
۳-۴- پیش بینی تغییرات کاربری اراضی شهر اصفهان با استفاده از زنجیره مارکوف

نتایج طبقه بندی کلاس عوارض در شکل ۶ نشان می دهد که بیشترین کاهش کاربری اراضی مربوط به کلاس عارضه فضای سبز بوده و بیشترین تغییرات در

پیش‌بینی $N(m)$ ، را به ترتیب برابر $۰/۹$ و $۰/۸۸$ نشان می‌دهند. میزان مغایرت نیز از اختلاف میزان تطابق نقشه با عدد یک حاصل می‌شود که به ترتیب برابر $۰/۱$ و $۰/۱۲$ بوده و قابل اغماض هستند.



شکل ۸- اعتبارسنجی مدل CA-MARKOV برای پیش‌بینی سال ۲۰۱۷



شکل ۹- اعتبار سنجی مدل CA-MARKOV برای پیش‌بینی سال ۲۰۲۷

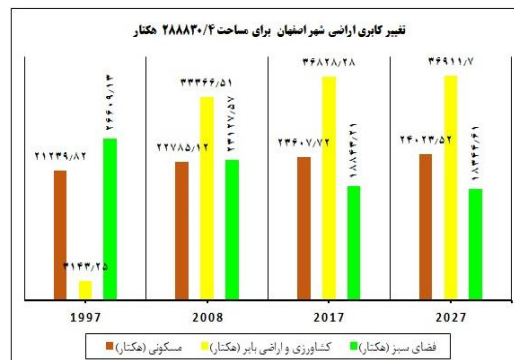
سازگاری احتمالی $N(n)$ ، که بدون داشتن هیچ اطلاعاتی از موقعیت و کمیت بدست می‌آید برای هر دو دوره سال‌های ۲۰۱۷ و ۲۰۲۷ برابر $۰/۲$ بدست آمد. از طرفی توافق ناشی از کمیت (تعداد سلول‌ها برای هر کلاس کاربری برای هر دو نقشه) به ترتیب برابر با $۰/۲۱۹$ و $۰/۲۳۸$ بدست آمد که از رابطه (۴) محاسبه شد:

$$\text{Agree Quantity} = [N(m)] - [N(n)] \quad (4)$$

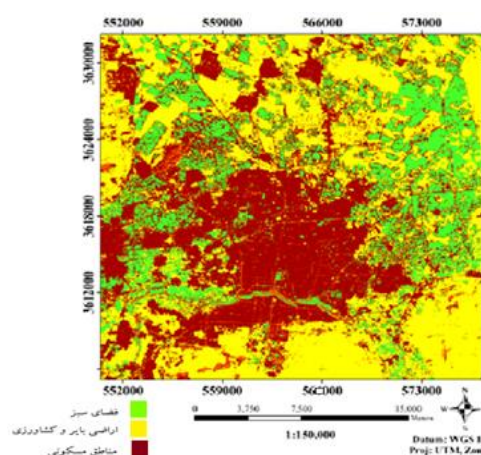
عدم توافق ناشی از کمیت نیز که از رابطه (۵) بدست می‌آید که برای سال ۲۰۱۷ برابر با $۰/۲۶۱$ و برای سال ۲۰۲۷ برابر با $۰/۲۷۲$ بدست آمد.

$$\text{DisAgree Quantity} = [P(m)] - [p(n)] \quad (5)$$

حاشیه رودخانه زاینده رود رخ داده است. این تبدیل کاربری منطقی و البته نگران کننده نیز هست، چرا که تمایل گسترش فضای مسکونی در مرکز شهر بیشتر بوده و تنها راه انجام این مهم، از بین بردن فضای سبز حاشیه رودخانه زاینده رود می‌باشد. طبق پیش‌بینی مدل مارکوف روند رشد کاربری شهری اصفهان در سال ۱۹۹۷ میلادی به‌میزان $۲۱۲۳۹/۸۲$ هکتار بوده که در سال ۲۰۲۷ میلادی به $۲۴۰۲۳/۵۲$ هکتار خواهد رسید.



شکل ۶- تغییر کاربری اراضی شهر اصفهان در سال‌های مختلف مطالعه



شکل ۷- پیش‌بینی کاربری اراضی با استفاده از مدل مارکوف برای سال ۲۰۲۷

۳-۵- اعتبارسنجی مدل پتانسیل تغییرات کاربری اراضی حاصل از روش زنجیره مارکوف در شهر اصفهان

محاسبه میزان تطابق یا عدم تطابق نقشه‌های واقعی و نقشه پیش‌بینی شده از مدل‌سازی؛ صحت و مقبولیت مدل را نشان می‌دهد. با مقایسه دو نقشه، چه از نظر تعداد پیکسل‌ها برای هر کلاس عارضه و چه از نظر موقعیت مکانی آن‌ها سازگاری منطقی وجود دارد.

نتایج حاصل از آزمون در شکل ۸ و ۹ برای سال‌های ۲۰۱۷ و ۲۰۲۷، تطابق و سازگاری بین نقشه واقعی و

همچنین توافق و عدم توافق مکانی (موقعیت کلاس ها در دو نقشه واقعی و پیش بینی شده) برای سال ۲۰۱۷ برابر ۰/۶۸ و ۰/۰۷۶ و برای سال ۲۰۲۷ برابر ۰/۶۶ و ۰/۰۸۷ محاسبه شد.

شاخص کاپا (Klocation) که توانایی مدل در پیش بینی موقعیت سلول ها را نشان می دهد برای دوره های مد نظر برابر ۰/۹۰ و ۰/۸۸ بود و Kquantity که توانایی مدل را در پیش بینی تعداد سلول ها را نشان می دهد که با رابطه (۶) محاسبه می شود و برای هر دو سال برابر ۱/۱۰ بدست آمد.

$$Kquantity = \frac{(M(m) - NQML)}{(PQML - NQML)} \quad (6)$$

پارامترهای حاصل از اعتبارسنجی مدل مارکوف برای سال ۲۰۱۷، در جدول ۲ و پارامترهای حاصل از اعتبارسنجی مدل مارکوف برای سال ۲۰۲۷ در جدول ۳ آمده است.

جدول ۲- پارامترهای حاصل از اعتبارسنجی مدل مارکوف برای سال ۲۰۱۷

پارامتر	مقدار (درصد)
توافق کلی $[M(m)]$	89
عدم توافق کلی $1-[M(m)]$	10
توافق مکانی	67
عدم توافق مکانی	0.7
توافق ناشی از شانس $[N(n)]$	20
توافق ناشی از کمیت $[N(m)] - [N(n)]$	0.2
عدم توافق ناشی از کمیت $[P(p)] - [P(m)]$	0.2

جدول ۳- پارامترهای حاصل از اعتبار سنجی مدل مارکوف برای سال ۲۰۲۷

پارامتر	مقدار (درصد)
توافق کلی $[M(m)]$	88
عدم توافق کلی $1-[M(m)]$	11
توافق مکانی	66
عدم توافق مکانی	0.8
توافق ناشی از شانس $[N(n)]$	20
توافق ناشی از کمیت $[N(m)] - [N(n)]$	0.2
عدم توافق ناشی از کمیت $[P(p)] - [P(m)]$	0.2

ناسازگاری کلی در این مطالعه برابر ۵٪ درصد می باشد که تفاوت بین تصویر مرجع و نقشه حاصل از مدل سازی را نشان می دهد. مقدار ضریب کاپا از عدد یک تا کمتر از صفر متغیر است، عدد یک نشان دهنده توافق

کامل بین مقادیر دو متغیر، عدد صفر نشان دهنده برابری تصادفی بودن یا غیر تصادفی بودن این توافق ها می باشد و کمتر از صفر توافق ناشی از شانس می باشد. ضریب کاپای بدون اطلاعات برابر ۳۶ درصد گزارش شد که نشان دهنده توافق کلی بین نقشه بدست آمده از مدل سازی و نقشه مینا می باشد. ضریب کاپا برای مکان نشان دهنده این است که دو نقشه در منطقه توافق کلی دارند که در این مطالعه برابر ۳۵ درصد می باشد. ضریب کاپای استاندارد نیز برابر ۸۷ درصد بدست آمد که روند اندازه گیری جنبه های فضایی و غیر فضایی بین نقشه پیش بینی شده و نقشه مرجع می باشد.

۴- نتیجه گیری و پیشنهادات

هدف اصلی از این مطالعه، توسعه و بکارگیری روشی کارآمد به منظور مدل سازی پیش بینی تغییرات کاربری اراضی در آینده بوده است. در پژوهش های قبلی در محدوده شهر اصفهان، تغییرات کاربری اراضی را تنها در دوطبقه شهری و غیرشهری بررسی کرده اند، در این مقاله، بررسی تغییرات کاربری اراضی، علاوه بر کلاس های عوض قبلی با کلاس عارضه فضای سبز مدنظر قرار گرفت.

از مدل تلفیقی شبکه عصبی پرسپترون (MLP) و زنجیره مارکوف برای پیش بینی فرایند تغییر کاربری اراضی استفاده شد. تصاویر مربوط به سال ۱۹۹۷، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۷ اخذ و در نهایت پیش بینی تغییر کاربری اراضی مربوط به سال ۲۰۲۷ پیش بینی شد. نتایج کمی حاصل نشان داد مدل MLP و زنجیره مارکوف دقت خوبی در مدل سازی تغییر کاربری اراضی ارائه می دهد. شکل کاربری اراضی تولید شده مربوط به سال ۲۰۲۷ در این تحقیق می تواند الگوی مناسبی برای برنامه ریزی های توسعه ای آینده باشد. از همین رو، نتایج این پژوهش الگوی آینده کاربری اراضی را نتیجه داد که می تواند در سایر مطالعات همچون مطالعات محیط زیستی و تغییرات آب و هوایی شهر نیز مورد استفاده قرار گیرد.

اخذ تصاویر با فاصله زمانی کمتر برای مدل سازی تغییرات کاربری اراضی می تواند مفید واقع شود. نتایج نشان داد که پیش بینی صورت گرفته با استفاده از این مدل مذکور، روند افزایش توسعه شهری را با دقت کلی بیش از ۸۰ درصد نتیجه می دهد. این سطح از دقت نسبت به

مطالعات گذشته و مدل‌های دیگر به واقعیت‌های زمینی نزدیک‌تر است.

محدودیت‌هایی در انجام این تحقیق وجود داشت که به برخی از آنها اشاره می‌شود:

پیش‌بینی توسعه شهری یک پروژه محلی و منطقه‌ای محسوب می‌شود، بنابراین به مشاهدات و اندازه‌گیری‌های محلی نیاز دارد؛ اما از آنجایی که داده‌های استفاده شده در این مقاله تصاویر ماهواره‌ای هستند و در مقیاس بزرگتر اخذ می‌شوند، نیاز به کالیبره‌شدن با مقیاس کوچکتر دارند. از این‌رو بهترین روش برای حل این مشکل، استفاده از نقاط کنترل زمینی است. به دلیل هزینه و نیز زمان‌بر بودن این عملیات، موفق به ایجاد داده‌های مرجع و شبکه مناسب از نقاط زمینی نشده و یک محدودیت برای مطالعه حاضر محسوب می‌شود.

از طرفی، علاوه بر عوامل فیزیکی موثر در پیش‌بینی توسعه شهری (جاده‌ها، مناطق آموزشی و ...)، عوامل آماری مثل آمار جمعیت برای هر منطقه، جذب مهاجرین، آمار میزان درآمد، آمار مناطق زلزله‌خیز و غیره نیز کیفیت و کمیت مدل پیش‌بینی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. اما از آنجایی که اطلاعات صحیح این موارد در اختیار نویسندگان نبود، بنابراین دقت نتایج به دلیل این موارد کاهش یافته است.

گرچه پیش‌بینی مناسبی با توجه به پارامترهای ارزیابی‌شده، در تولید نقشه کاربری اراضی برای سال ۲۰۲۷ بدست آمد، اما به جهت کاستن از نواقص و همچنین افزایش دقت کار پیشنهاد می‌شود:

۱- علاوه بر پارامترهای مورد استفاده در پیش‌بینی و مدل‌سازی تغییر کاربری اراضی و توسعه شهری که در این مقاله استفاده گردید؛ در تحقیقات آتی از پارامترهای اجتماعی- اقتصادی نیز در مدل‌سازی توسعه شهری استفاده شود.

۲- در اختیار داشتن اطلاعات مربوط به طرح تفصیلی، جامع و سایر طرح‌های برنامه‌ریزی شهری می‌تواند با مدل‌سازی دقیق‌تر تغییرات اراضی شهری به سیاست‌گذاری‌های شهرداری‌ها از لحاظ گسترش فیزیکی شهرها کمک کند.

۳- استفاده از نقشه کاربری دقیق‌تر می‌تواند منجر به پیش‌بینی بهتر تغییرات باشد و همچنین به کارگیری پارامترهای مربوط به تشخیص مناطق خطر به منظور کاهش خسارات حاصل از بلایای طبیعی همچون زلزله توصیه می‌شود.

۴- همچنین پیشنهاد می‌شود، با استفاده از روش‌های هوشمند نظیر الگوریتم ژنتیک یا ازدحام ذرات به جای روش‌های تجربی که در لایه پنهان شبکه عصبی پرسپترون نتایج پیش‌بینی تغییرات را بهتر نمود.

تشکر و قدردانی

این مقاله، از پایان‌نامه دانشجویی کارشناسی ارشد نویسنده مسئول استخراج شده است. بدین وسیله از تمامی کسانی که با در اختیار قراردادن داده‌ها و حمایت‌های معنوی خودشان در تکمیل پژوهش نویسندگان را یاری کردند، قدردانی و تشکر می‌شود.

مراجع

- [1] Yuan, D. and Elvidge, C. (1998) NALC Land Cover Change Detection Pilot Study: Washington D.C Area Experiments, Remote Sensing of Environment, Vol. 66, No. 2, PP. 166-178.
- [2] Jabbari, Mohammad Kazem. Ahmadi, Simin. (2012) " Modeling More attention with ease Geographic information system and Automatic cells Publishers of Azarkalak. , P. 98.
- [3] Yousefi, Maryam. Ashrafi, Ali (2015). " Urban Development of Bojnourd Using Remote Sensing Data. Regional Planning Quarterly, 6 (21), 179-192.
- [4] Taheri, Mohammad. gholamalifard, Mehdi. RiahiBakhtiari, Alireza. Rahim oghli, Shahin. (2013) " Modeling of Tabriz Land Cover Changes Using Artificial Neural Network and Markov Chain". Natural Geography Research, 45(4), 97-121.
- [5] Thapa, R.B. and Murayama, Y. (2012) "Scenario Based Urban Growth Allocation in Kathmandu Valley, Nepal Landscape and Urban Planning" Vol. 105, No. 1-2, PP. 140-148.
- [6] Murayama, Y. Khoi, D.D., Murayama, Y. (2010) "Forecasting Areas Vulnerable to Forest Conversion in the Tam Dao National Park Region, Vietnam". Remote Sensing 2(5): 1249-1272.
- [7] Zarei, Reza. Al-Sheikh, Ali Asghar. (2012) " Modeling Urban Development Using Cellular Automation and Genetic Algorithm Shiraz City" Journal of the Research and Urban Planning, 3(11), 1-16.

- [8] Heidarian, Peyman. Rangzan, Kazem. Maleki, Saeid. Taghizadh, Ayubi. (2014) " Integrating Remote Sensing Techniques, LCM and GIS Model with Urban Development Modeling Approach (Case Study: Tehran City Clan)" *Geographical studies of arid regions*, 5(17), 87-100.
- [9] Eastman, J.R. (2012). IDRISISelva; Clark Labs, Clark University: Worcester, MA, USA.mataandsosio-atoolfor exploring the impact of climatechangeontheislandofstlucia•Spatial information for land use management.
- [10] Bishop, C.M. (1995). *neural Networks for Pattern Recognition*, Clarendon Press, Oxford.
- [11] Mishra, V. N., Rai, P. K., & Mohan, K. (2014). Prediction of land use changes based on land change modeler (LCM) using remote sensing: a case study of muzaffarpur (BIHAR), India. *Journal of the Geographical Institute'JovanCvijic'SASA*, 64(1).
- [12] Mas, J.F. (2003) "An Artificial Neural Networks Approach to Map Land Use/cover Using Landsat Imagery and Ancillary Data". *Proceedings of the International Geosciences and Remote Sensing Symposium IEEE IGARSS 2003*, 10(3):3498-3500.
- [13] Chen, M., Su, W., Li. L., C, Yue.A. In addition, Li, H. (2010) "of Pixel-based and Obgectoriented Knowledge based Classification Methods Using SPOT5 Imagery". *wseas Transactions on Information Science and Applications*, ISSN:1790-0832:477-489.
- [14] Losiri, C, Tripathi, N. K., & Mozumder, C. (2016). Comparing three transition potential models: A case study of built-up transitions in North-East India. *Computers, Environment and Urban Systems*, 59, 38-49.
- [15] Yeh, A.G.O., Li, X. (2002) "A cellular automata model to simulate development density for urban planning ". *Environ. Plann.* 29, 431–450.
- [16] Tewolde, M. G., & Cabral, P. (2011). Urban sprawl analysis and modeling in Asmara, Eritrea. *Remote Sensing*, 3(10), 2148-2165.
- [17] Pijanowski, B. C., Tayyebi, A., Delavar, M. R., &Yazdanpanah, M. J. (2009). Urban expansion simulation using geospatial information system and artificial neural networks. *International Journal of Environmental Research*, 3(4), 493-502.
- [18] Eastman, J.R. (2009, 2012) *IDRISI Taiga, Guide to GIS and Remote Processing*, Worcester: Clark University.