

# آشکارسازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی در افق ۲۰۲۵ با استفاده از مدل اتوماتای سلولی CA (مطالعه موردی: شمال شهر اصفهان)

اعظم خدادادی

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

رحیم سرور<sup>۱</sup>

استاد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران مسئول

مجید ولی شریعت پناهی

دانشیار جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، واحد یادگار امام خمینی (ره) شهرری، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۶/۰۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۹/۱۱

## چکیده

جهانی که امروز ما در آن زندگی می‌کنیم، جهان شهری است که متأسفانه نتیجه آن، دوری از محیط طبیعی و پذیرش ناخواسته شرایط نامتعادلی است که از روابط ناموزون انسان‌ها و فضای شهری نشأت می‌گیرد. روش متنوعی‌های برای مدل سازی تغییرات پوشش و کاربری اراضی وجود دارد که از جمله آن‌ها می‌توان به مدل CA مارکوف اشاره کرد. این تحقیق در صدد است الگوی روش شناختی جدید را برای شبیه سازی دینامیک کاربری اراضی شهری، با استفاده از سنجش از دور، GIS و مدل سلول‌های خودکار فراهم نماید. در این پژوهش، شمال شهر اصفهان و حدود تقریبی اراضی اطراف آن به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شد و از تصاویر ماهواره‌ای سال ۱۹۹۱ و سال ۲۰۰۱ و سال ۲۰۱۷ برای تهیه نقشه‌های پوشش اراضی منطقه استفاده شد. این پژوهش به این نتیجه رسید که در پیش‌بینی ده سال آینده در ابتدا تصویر طبقه‌بندی شده سال ۱۹۹۱ و بعد تصویر طبقه‌بندی شده سال ۲۰۰۱ به مدل معرفی گردید که از این طریق ماتریس تبدیلات به دست آمد، برای پیش‌بینی سال ۲۰۲۵، که بعد از این مرحله، تصویر سال ۲۰۱۷ را همراه با ماتریس تبدیلات به دست آمده از دوره قبل و لایه‌های محدودیت رشد به مدل معرفی گردید و پیش‌بینی سال ۲۰۲۵ به دست آمد نشان می‌دهد از مدل زنجیره‌ای CA مارکوف و فیلتر برای پیش‌بینی تغییرات پوشش اراضی در ده سال آینده بهره گرفته شد، این مدل بطور تلفیقی CA-Markov نامیده می‌شود. برای بررسی توانایی مدل مارکوف نیز از روش دقت کلی و ضریب کاپا محاسبه استفاده شد، مدل CA-MARKOV دارای شاخص کاپای ۸۸/۱۳ می‌باشد.

**واژگان کلیدی:** پیش‌بینی، تصاویر ماهواره‌ای، سیستم اطلاعات جغرافیایی، اتوماتای سلولی، زنجیره مارکوف، اصفهان

## مقدمه

تمایل شدید به شهرنشینی و گسترش و توسعه شهرها را در همه جای دنیا می‌توان مشاهده کرد (Pauleit et al, 2005): (295) در سال‌های اخیر توسعه اسپرال با سکونت گاه‌های کم تراکم و توسعه شهری در طول کریدورهای ترابری سبب ایجاد مسائل و مشکلات فراوانی گردیده است (Swenson and Franklin, 2000,717) که این فرایندها، الگوهای اسکان را از لحاظ زیست محیطی ناکارآمد کرده و تأثیر منفی در حوزه پیرامونی سکونتگاه‌ها گذاشته است (Antrop et al, 2000: 260) با رشد سریع نواحی شهری، فرایند شهرنشینی در آینده با تغییرات فزاینده‌ای مواجه می‌گردد. (Fisher, 2006: 53) یکی از این موارد، تغییرات کاربری اراضی شهری است که همیشه با تغییرات چشمگیری همچون تغییرات زیستی در جهان، فرایندهای فیزیکی و اقلیمی، مشکلات شدید زیست محیطی و اکولوژیکی می‌باشد (Latifovic, 2005: 32) در این میان، چگونگی کاربری اراضی در پیوستگی با روند تاریخ تحول شهر و تغییرات فضایی ساخته شده با کالبد شهر، از عواملی هستند که شهر، منظر و سیمای خود را در طی زمان در ارتباط با آنها به دست می‌آورد (Shalin, 1993,9) در این برنامه ریزی که تلاش می‌شود الگوهای اراضی شهری به صورت علمی مشخص شود و مکان فعالیت‌های مختلف در شهر در انطباق و هماهنگی با یکدیگر و سیستم‌ها قرار شهری می‌گیرد (Ziyarie, 1999,125) شهرها سیستم‌هایی پیچیده، باز، پویا و خودسازمانده هستند که در فرایند توسعه آن‌ها، بسیاری از نشانه‌ها پیچیدگی مانند: ابعاد فرکتال، خودمانندی، خودسازماندهی، ظهور و ... وجود دارد. درک مکانیسم فرایند رشد شهری در برنامه ریزی و مدیریت شهری به منظور رسیدن به شکل شهری پایدار بسیار مهم است. مدل‌های فضایی، ابزارهایی مفید برای درک فرایند توسعه شهری، ابزار کمکی سیاست‌گذاری مدیریت و برنامه ریزی شهری و فراهم کننده اطلاعات برای ارزیابی تأثیرات شهری بر محیط زیست و اکوسیستم هستند. بنابراین با مدل سازی سیستم پیچیده شهری، الگوهای فضایی و روندهای رشد شهری را می‌توان شبیه سازی کرد و درک بهتری از سیستم شهر به عنوان یک کل، به دست آورد. طی دو دهه گذشته پژوهشگران برای غلبه بر این نارسایی‌ها، از روش جدیدی به نام مدل اتوماسیون سلولی (CA) که دارای ویژگیهای پویا، غیرخطی، غیرمتمرکز، و پایین به بالا است، استفاده کرده‌اند. در دو دهه گذشته مدل (CA)، می‌تواند در پاسخ وسیله پژوهشگران بسیاری در مطالعات شهری به کارگرفته شده است. در حوزه شهری مدل (CA) به بسیاری از سؤالات شرطی به کار رود، با استفاده از این روش، می‌توان برای رشد شهری - قبل از این که اتفاق بیفتد، سناریوهای مختلف پیش بینی کرد تا بتوان از نقاط ضعف و قوت تصمیم‌گیری‌ها آگاهی یافت. (Kivanloo, 2010,2)

استان اصفهان که در مرکز کشور ایران واقع شده است نیز با رشد شهرگرایی و شهرنشینی مواجه شده است که همین امر موجب از بین رفتن پوشش‌های گیاهی در بسیاری از مناطق آن بخصوص در شمال شهر گردیده است که باید مورد توجه مسئولین ذیربط قرار گیرد. بنابراین اطلاع از چگونگی روند توسعه شهر و مدیریت بر توسعه آتی آن از طریق اطلاعاتی که از روش‌های مختلف در ارتباط با مسائل شهری می‌توان به دست آورد، ضروری به نظر می‌رسد.

ماهواره‌های سنجنش از دور رایجترین منبع داده برای تشخیص و کمی سازی و نقشه سازی الگوهای تغییرات کاربری هستند (Abel El-kawy et al, 2011) بنابراین آشکار سازی و مدل سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از داده‌های سنجنش از دور می‌تواند شناخت مناسبی از چگونگی تغییرات کاربری اراضی ارائه داده و در مدیریت آن

راهکارهای مناسبی ارائه دهد (Coppin et al., 2014; Bark, et al., 2010; Mendoza, et al., 2011) نتایج مورد مطالعه شبیه سازی برای مناطق مختلف، نشان از کاربردی بودن مدل برای شبیه سازی آتی روند شهرهای ایران و سایر نقاط جهان و پیش بینی کاربری اراضی را اثبات می کند.

در این تحقیق، از داده های ماهواره Land Sat 5، سنجنده TM و همچنین از داده های Land Sat 8 برداشت شده در سال ۱۹۹۱، ۲۰۰۱ و ۲۰۱۷ که تصحیحات هندسی در زون UTM با مبنای ارتفاعی WGS-84 بر روی آن صورت گرفته بود، در محدوده بازتابی VNIR استفاده گردید. تصاویر از نظر مختصات هندسی هم مختصات بودند و نیازی به عملیات تصحیح هندسی نبود. تصاویر به دلیل متفاوت بودن تاریخ اخذ با استفاده از روش نرمالیزاسیون در نرم افزار Envi نرمالیزه گردیدند. که در این روش به دلیل کیفیت رادیومتریکی تصویر سال ۲۰۱۷ به عنوان تصویر مرجع استفاده شد. به دلیل پایین بودن دقت رادیومتریکی باند شش، از این باند طیفی در جهت برآورد نتایج نرمالیزاسیون تصاویر ماهواره ای چند زمانه شهر حوزه شمال اصفهان استفاده نشد. به منظور آشکارسازی بهتر کاربری شهری جهت طبقه بندی، ترکیب باندهای مختلف با انجام تبدیل های طیفی، تجزیه مؤلفه های اصلی، بر روی باندهای اصلی از جمله عملیات ریاضی روی باندها، ایجاد و بکار گرفته شدند. به خاطر نیاز به داشتن بازتاب واقعی سطحی، باید اثرات جوی به کمک روش های تصحیح یا جبران اتمسفری حذف یا کمینه شوند (Yuan & Niu, 2008). سعی شد تا حد امکان این مشکل با استفاده از روش تصحیح جوی QUAC با استفاده از نرم افزار ENVI، بر طرف گردد.

جدول شماره ۱ مشخصات داده های ماهواره ای

ماهواره	سنجنده	تاریخ اخذ تصویر	سیستم تصویر	مبنای ارتفاعی	محدوده بازتابی
Land Sat 5	TM	۱۹۹۱	UTM	WGS-84	VNIR
Land Sat 8	ETM	۲۰۰۱	UTM	WGS-84	VNIR
Land Sat 8	ETM+	۲۰۱۷	UTM	WGS-84	VNIR

Source: (USGS)

### مدل اتوماسون سلولی (CA)

اصطلاح Automata ریاضیدان در دانشگاه کمبریج این مفهوم را (Conway) مفهوم سلول خودکار را به وجود آوردند بعدها کانوی ULAM توسعه داد که نظریه او به نام بازی زندگی مشهور است. مدلسازی شهری به طور جدی از دهه ۱۹۴۰ میلادی و پس از ابداع کامپیوتر آغاز شد. اولین تلاشهایی که در این زمینه به انجام رسید را می توان در قالب تئوری هایی یافت که در آن ها شهر به عنوان یک سیستم ایستا در نظر گرفته شده است. این مدل ها که به مدل های سنتی معروف هستند و تلاش دارند تا تأثیر فعالیت های گوناگون در یک سیستم شهری را در یک زمان ثابت نمایش دهند. برای مثال می توان به تأثیر رشد جمعیت در گسترش شبکه راه ها اشاره نمود. اگرچه این مدل ها در یافتن تعامل موجود بین فعالیت های مختلف در یک شهر، موفق بودند ولی عیب بزرگ آنها عدم تواناییشان اشاره نمود. در ادامه تلاشهای LOWRY در پیش بینی تغییرات محتمل در آینده می باشد. برای مثال می توان به مدل می باشد که با FORRESTER متخصصان برای رفع کاستی های این مدلها به انجام رسید. یکی از پیشگامان این بحث مدل معروف خود در سال ۱۹۶۹ سعی کرد تا تأثیرات رشد صنعتی را بر رشد شهری نشان دهد. ولی با تمام تلاشی که در آن زمان صورت گرفت، این مدلها همچنان با انعطاف پذیری کم و ناتوان در استفاده از جزئیات زیاد محسوب می شوند. در پی پیشرفتهای حاصل شده در بحث مدلسازی گروه دوم از مدل های گروه دوم با نام مدل های شهری geosimulation

گسترش یافتند تا ضعف مدل‌های سنتی را برطرف سازند. این مدل‌ها در واقع به صورت پایین به بالا عمل می‌کنند بدین معنا که اجزای کوچک تشکیل دهنده سیستم و رفتارهای آن‌هاست که روند تغییرات در کل سیستم را باعث می‌شود و برای بررسی رفتار مدل باید از جزء به کل رسید. در CA با وجود این کارهای تئوریک زیادی بعد از دهه ۱۹۷۰ و قبل از ۱۹۸۰ انجام گرفت؛ اما کاربردهای خاص مدل محض به علم جغرافیا، بیشتر پیامدهای کارهای CA مدلسازی شهری تا قبل از دهه ۱۹۸۰ اتفاق نیفتاد. ورود مدل‌های در دهه ۱۹۷۰ در دانشگاه میشیگان است. او حاصل مطالعات خود را در مقاله‌ای تحت عنوان جغرافیای سلولی Tobler در سال ۱۹۷۹ منتشر کرد.

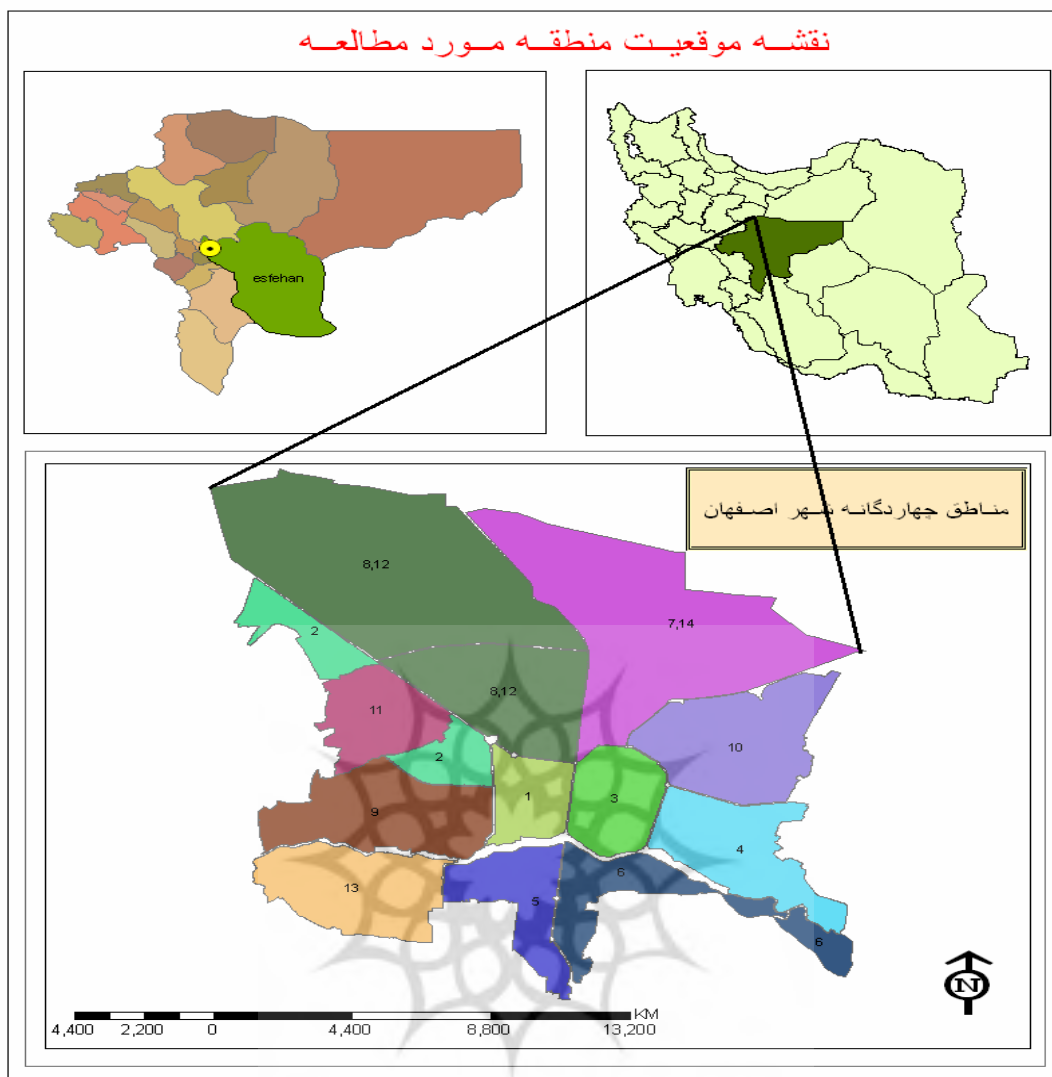
به عنوان یکی از قوی‌ترین انواع این مدل‌ها در مدلسازی شهری بسیار مورد استفاده قرار گرفته است. از توانایی‌های مدل Cellular Automata (CA) مدل می‌توان سادگی ساختار آن را برشمرد در نتیجه برای پیاده سازی مدل در کامپیوتر مشکلات زیادی پیش رو نخواهد بود. در ضمن این مدل توانایی بالایی در مدلسازی پیچیدگی موجود در پدیده شهری برخوردار است. از دیگر مزایای این مدل امکان برقراری ارتباط بین سیستم‌های اطلاعات مکانی و نرم افزارهای دورکاوی می‌باشد. (Kivanloo, 2012, 4)

ذاتاً دینامیک و مکانی می‌باشد، که آنرا به عنوان انتخاب اید هالی برای نمایش پروس ههای مکانی CA و دینامیک ساخته است. بخاطر این خصوصیات این روش بطور گسترده‌ای در شبیه سازی کاربری زمین مورد استفاده قرار گرفته است. علاوه بر این، این مدل ساده و از نظر محاسباتی مؤثر می‌باشد و بنابراین امکان مدلسازی دینامیک‌های شهری در قدرت تفکیک بالا را دارد. شباهت میان ساختار CA و داده‌های رستری GIS سبب اجرای مدل‌های CA درون GIS شده است CA به عنوان مدل تحلیلی جهت توانایی مدلسازی دینامیک درون محیط GIS به خدمت گرفته می‌شود. تلفیق GIS و مدل‌های CA برای شبیه سازی دینامیک تغییرات شهری و کاربری زمین می‌تواند شبیه سازی های واقعی از الگوهای شهری و کاربری زمین و ساختار مکانی تولید کند. (Khoshgoftar, 2012, 13)

#### منطقه مورد مطالعه

اصفهان یکی از شهرهای بزرگ و تاریخی ایران است که دارای شهرت جهانی می‌باشد. این شهر سومین شهر بزرگ ایران از نظر جمعیتی (پس از تهران و مشهد) بوده و از مراکز مهم گردشگری، فرهنگی و اقتصادی کشور محسوب می‌شود. در این ۵۱ شرقی و ۴۹' ۵۱" و ۵۸' ۲۶" بررسی محدوده‌ای در طول " ۲۷ ۳۲ شمالی که شامل ۳۲' ۳۲" و ۳۸' ۴۹" عرض جغرافیایی " ۴۰ شهر حوزه شمال اصفهان و اراضی اطراف آن با مساحتی بالغ بر ۱۱۵ هزار هکتار است مورد مطالعه قرار گرفت. (Falahatkar et al, 2008, 47)

در حال حاضر حوزه شمال حوزه شمال اصفهان را دو منطقه ۷ و ۸ تشکیل می‌دهند. این دو منطقه دارای پتانسیل‌های قوی جذب جمعیت می‌باشند، به گونه‌ای که حاصل آن گسترش بی رویه و توسعه فزاینده کالبدی بوده است که بخش وسیعی از این توسعه‌ها، توسعه غیر رسمی، خودرو و بی ضابطه می‌باشد. (Rahmati et al, 2013, 28)



شکل شماره ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه جمع آوری داده‌ها و طبقه‌بندی

Source: authors

### تجزیه تحلیل داده‌ها

#### ورودی‌های اصلی مدل برآورد قوانین تبدیل

ورودی‌های اصلی مدل شامل چهار پارامتر لایه ارتفاع، شیب منطقه، فاصله از مرکز شهر و فاصله از جاده می‌باشد که

در جدول ۲ مقادیر آن نشان داده شده است

جدول شماره ۲ مقادیر آستانه و نوع تابع فازی نقشه شاخص

معیار	شکل تابع	نوع تابع	نقاط کنترل
شیب	شکل S	خطی	کمتر (در منطقه مرکزی و غربی شهر اصفهان)
		کاهشی	بیشتر (منطقه شمالی)
ارتفاع	شکل S	خطی	ارتفاع کمتر (۱۱۱۰)
		کاهشی	ارتفاع بیشتر (۱۵۷۰)
فاصله از مرکز شهر	شکل S	خطی	نقاط نزدیک (بیشترین اهمیت عدد ۱)
		کاهشی	نقاط دور (کمترین اهمیت عدد ۰)
فاصله از جاده	شکل S	خطی	نقاط نزدیک (بیشترین اهمیت عدد ۱)
		کاهشی	نقاط دور (کمترین اهمیت عدد ۰)

Source: (Jafari et al, 2012: 135)

## وزن‌دهی به داده‌ها

برای شناسایی اراضی مناسب توسعه شهر در کلان‌شهر حوزه شمال اصفهان با استناد به تحقیقات انجام‌گرفته از متغیرهای زمین‌شناسی: درصد شیب، ارتفاع، فاصله از مرکز شهر و فاصله از جاده استفاده شد، برای تهیه و آماده سازی بانک اطلاعاتی لایه‌های یادشده از نرم‌افزار ArcGIS10 استفاده شد.

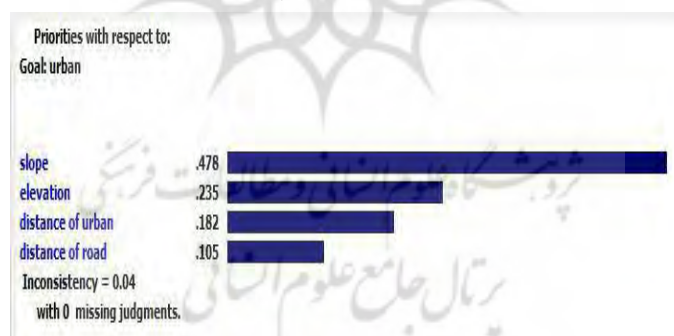
همچنین برای وزن‌دهی در این مرحله از تحقیق با توجه به تشکیل پرسشنامه و مشخص کردن تعداد ۱۰ کارشناس، پرسشنامه تکمیل شد که با توجه به جدول زیر ارجح بودن هر یک از لایه‌ها نسبت به دیگر لایه با عدد خاصی مشخص شد و سپس از نظر کارشناسان میانگین هندسی گرفته شد و بعد میانگین به دست آمده ورودی نرم‌افزار Expert Choise قرار داده شد و سپس وزن هر لایه به دست آمد (شکل ۲). برای رسیدن به این هدف لایه‌ها را با استفاده از دستور fuzzy membership نرمال کرده و وزن‌های به دست آمده از روش AHP<sup>۱</sup> با ابزار Raster Calculator بر روی لایه‌ها اعمال شد (جدول ۳).

جدول شماره ۳ جدول ارجحیت لایه‌ها

مقدار عددی	عبارت زبانی برای تعیین ارجحیت
۹	ارجحیت یا اهمیت کامل و منطبق <sup>۲</sup>
۷	ارجحیت یا اهمیت خیلی قوی <sup>۳</sup>
۵	ارجحیت یا اهمیت قوی <sup>۴</sup>
۳	ارجحیت یا اهمیت کم <sup>۵</sup>
۱	ارجحیت یا اهمیت برابر <sup>۶</sup>
۲,۴,۶,۸	برای ترجیحات مابین عبارات زبانی فوق

Source: Zebardast, 2010, 23

بعد از این مرحله تصاویر فازی را برای ورود به مدل رستر گروپ کرده و آماده ورود به مدل شد.



شکل شماره ۲ تصویر وزن پارامترها

Source: authors

## شبیه‌سازی MARKOV

زنجیره‌های مارکوف کاربردهای گسترده‌ای در مدل کردن تغییرات کاربری و پوشش اراضی برای مناطق شهری و غیرشهری داشته‌اند. (Wu, Qiong, 2006, 33) در بیشتر پژوهش‌ها درجه مارکوف برابر با یک و حالت ایستایی با

<sup>۱</sup>Analytical Hierarchy process

<sup>۲</sup>Extremely Preferred

<sup>۳</sup>Very Strongly Preferred

<sup>۴</sup>Strongly Preferred

<sup>۵</sup>Moderately Preferred

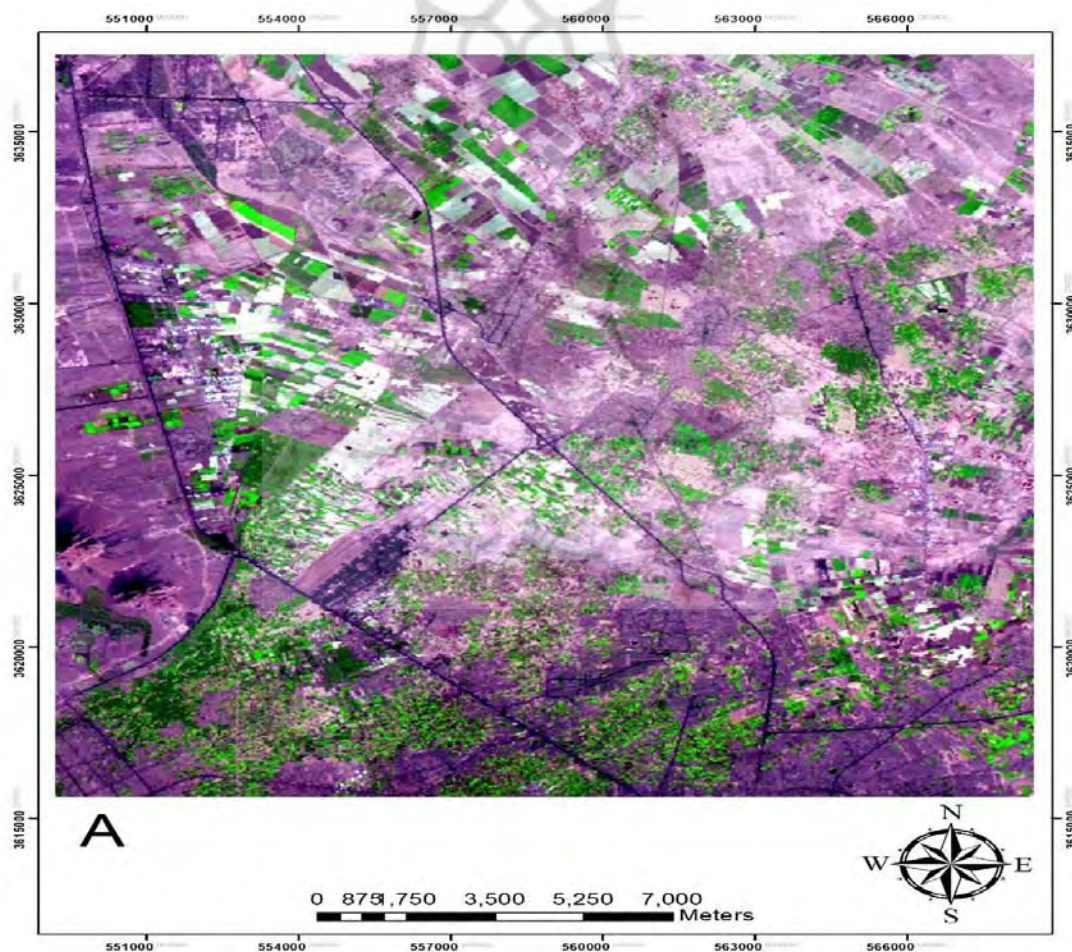
<sup>۶</sup>Equally Preferred

زمان را برای مدل مارکوف قائل بوده‌اند (Houil, 1997: 35). و فقط تعداد محدودی از آنها ایستایی یا درجه مارکوف را برای منطقه مطالعاتی آزمایش کرده‌اند (Bell, 1974, 61).

### یافته‌های پژوهش

#### طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

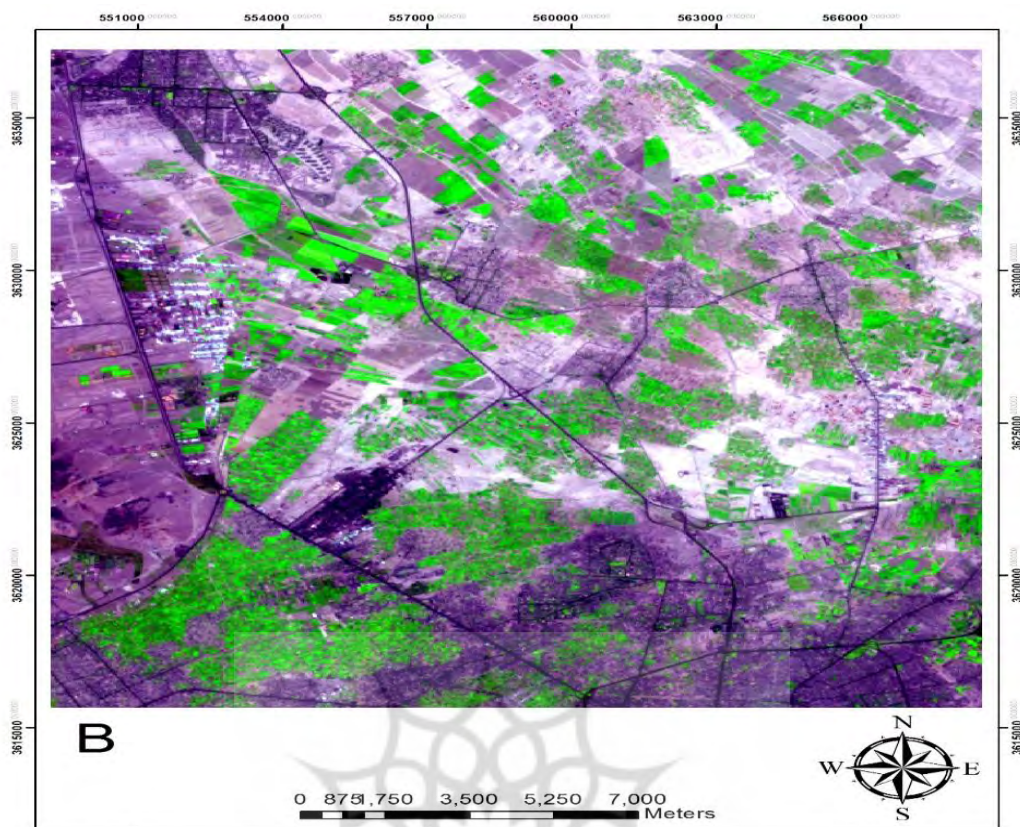
جهت طبقه‌بندی نظارت شده، الگوریتم‌های مختلفی وجود دارد که در تحقیق بسته به هدف، وضعیت کلاس طیفی و دقت مورد نظر از الگوریتم‌های گوناگونی استفاده می‌شود (Shojaeeian, 2013, 24). برای استفاده مطلوب از داده‌های سنجش از دور در مدل‌های CA، در این مطالعه برای طبقه‌بندی از روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده و الگوریتم طبقه‌بندی حداکثر احتمال (MLC)<sup>۱</sup> استفاده شد. برای ترکیبات رنگی در تصاویر TM ترکیب بانندی RGB:741 انتخاب گردید. کلاس‌های اولیه که از تصاویر استخراج شد عبارت‌اند از: ۱- اراضی ساخته‌شده (شهری)، ۲- اراضی کوهستانی، ۳- اراضی کشاورزی و اراضی پارک و فضای سبز (شکل ۳). برای انتخاب نمونه‌های آموزشی از تصویر، برای هر کلاس تعداد N+1 نمونه و با پراکندگی مناسب بر روی تصویر، با کمک داده‌های جانبی، انتخاب گردید.



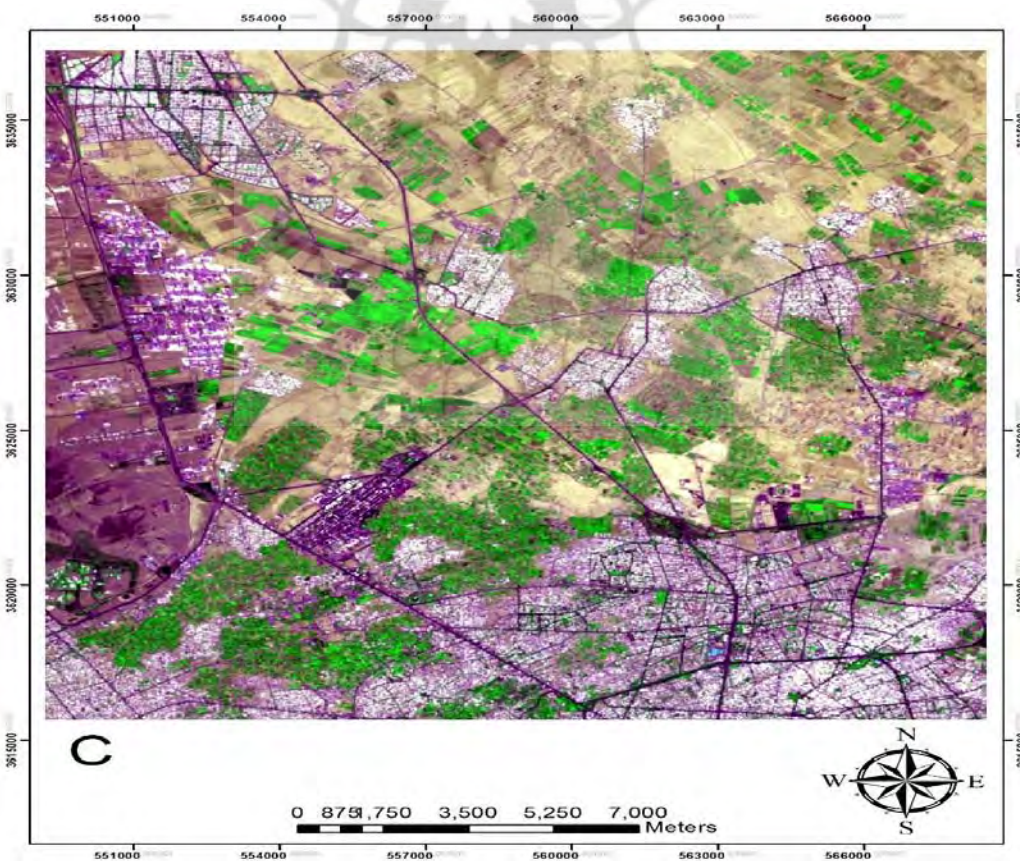
شکل شماره ۳ کلاس‌های اولیه‌ی تصاویر ماهواره‌ای در سال ۱۹۹۱

Source: (USGS)

<sup>۱</sup> - maximum likelihood classification



شکل شماره ۴ کلاس‌های اولیه‌ی تصاویر ماهواره ای در سال ۲۰۰۱ (USGS) Source:



شکل شماره ۳ کلاس‌های اولیه‌ی تصاویر ماهواره ای در سال ۲۰۱۷ (USGS) Source:



در این پژوهش برای ارزیابی صحت تحقیق از دقت کلی طبقه‌بندی و ضریب کاپا استفاده شده است؛ به این صورت که پس از طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از نمونه‌های تعلیمی از هر روش یک نقشه طبقه‌بندی به دست آمد. سپس برای ارزیابی دقت تعدادی از نمونه‌ها برای خطایابی تصویر ماهواره‌های گرفته شد و سپس برای هر خروجی مورد ارزیابی قرار گرفت.

جهت صحت‌سنجی تصاویر طبقه‌بندی شده به طور جداگانه برای هر یک از تصاویر ماتریس خطا تشکیل داده شده و برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی از ضرایب دقت کلی و شاخص کاپا استفاده گردید. ماتریس خطا که ماتریس ابهام نیز نامیده می‌شود حاصل مقایسه پیکسل به پیکسل، پیکسل‌های معلوم (در واقعیت زمینی) با پیکسل‌های متناظر در نتایج طبقه‌بندی است.

جدول شماره ۴ ماتریس خطای طبقه‌بندی سال ۱۹۹۱

کلاس	شهر	پوشش گیاهی	کوهستان	مجموع پیکسل‌های طبقه‌بندی
شهر	56	3	12	71
پوشش گیاهی	0	139	0	139
کوهستان	20	0	97	117
مجموع پیکسل‌های کنترل	76	142	109	327

Source: Research findings

جدول شماره ۵ ماتریس خطای طبقه‌بندی سال ۲۰۰۱

کلاس	شهر	پوشش گیاهی	کوهستان	مجموع پیکسل‌های طبقه‌بندی
شهر	۱۵۳	۱	۴	۱۵۸
پوشش گیاهی	۰	۲۱۵	۰	۲۱۵
کوهستان	۷	۰	۲۱۵	۲۲۲
مجموع پیکسل‌های کنترل	۱۶۰	۲۱۶	۲۱۹	۵۹۵

Source: Research findings

عصرهای قطری در این ماتریس بیانگر تعداد پیکسل‌هایی هستند که به طور صحیح طبقه‌بندی شده‌اند و در مقابل، المان‌های غیر قطری بیانگر پیکسل‌هایی هستند که به طور صحیح طبقه‌بندی نشده‌اند.

جدول شماره ۶ ماتریس خطای طبقه‌بندی سال ۲۰۱۷

کلاس	شهر	پوشش گیاهی	کوهستان	مجموع پیکسل‌های طبقه‌بندی
شهر	۲۰۶	۰	۷	۲۱۳
پوشش گیاهی	۰	۷۹	۰	۷۹
کوهستان	۵	۱	۲۳۲	۲۳۸
مجموع پیکسل‌های کنترل	۲۱۱	۸۰	۲۳۹	۵۳۰

Source: Research findings

با توجه به نتایج بدست‌آمده (جدول شماره ۷) و بر اساس استانداردهای سازمان زمین‌شناسی آمریکا، دقت‌های بدست‌آمده از طبقه‌بندی مورد پذیرش قرار گرفت.

جدول شماره ۷ ارزیابی طبقه‌بندی

تصویر	دقت کلی	شاخص کاپا
TM-1991	۸۹/۳۰	۸۹/۳۰
2001	۹۸/۹۷	۹۶/۰
2017	۹۷/۵۵	۹۶/۰

Source: Research findings

صحت کلی میانگینی از طبقه‌بندی است که نسبت پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی شده به جمع کل پیکسل‌های معلوم را نشان می‌دهد. دیگر پارامتر صحت که از ماتریس خطا استخراج می‌شود ضریب کاپا است. ضریب کاپا صحت طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی محاسبه می‌کند. به این معنی که مقدار کاپا صحت طبقه‌بندی را نسبت به حالتی که یک تصویر کاملاً به صورت تصادفی طبقه‌بندی شود به دست می‌دهد.

### شبیه‌سازی MARKOV

در این مدل احتمال تغییر از یک طبقه پوشش اراضی به طبقه دیگر در جدولی تحت عنوان ماتریس انتقال محاسبه می‌شود. سپس با توجه به این ماتریس و فاصله زمانی مورد نظر نقشه پوشش اراضی سال‌های آتی قابل پیش‌بینی خواهد بود. در این مدل از نقشه پوشش اراضی سال ۱۹۹۱، ۲۰۰۱، ۲۰۱۷ استفاده شد تا ماتریس انتقال به دست آید.

جداول ۷ و ۶ ماتریس احتمال انتقال نشان می‌دهد که در سال ۲۰۱۷ بیشترین احتمال تغییر مربوط به پوشش گیاهی می‌باشد و ماتریس احتمال انتقال تا سال ۲۰۲۵ نشان می‌دهد بیشترین تغییرات مربوط به پوشش گیاهی می‌باشد.

جدول شماره ۸ ماتریس تبدیل وضعیت کاربری‌های سال ۱۹۹۱-۲۰۰۱

نام کلاس	شهر	کوهستان	پوشش گیاهی
شهر	۰.۶۲۷۱	۰.۰۶۲۰۷	۰.۱۱۲۳
کوهستان	۰.۱۹۶۹	۰.۷۲۹۶	۰.۰۷۳۵
پوشش گیاهی	۰.۱۷۶۰	۰.۲۹۴۲	۰.۵۲۹۸

Source: Research findings

جدول شماره ۹ ماتریس تبدیل وضعیت کاربری‌های سال ۲۰۰۱-۲۰۱۷

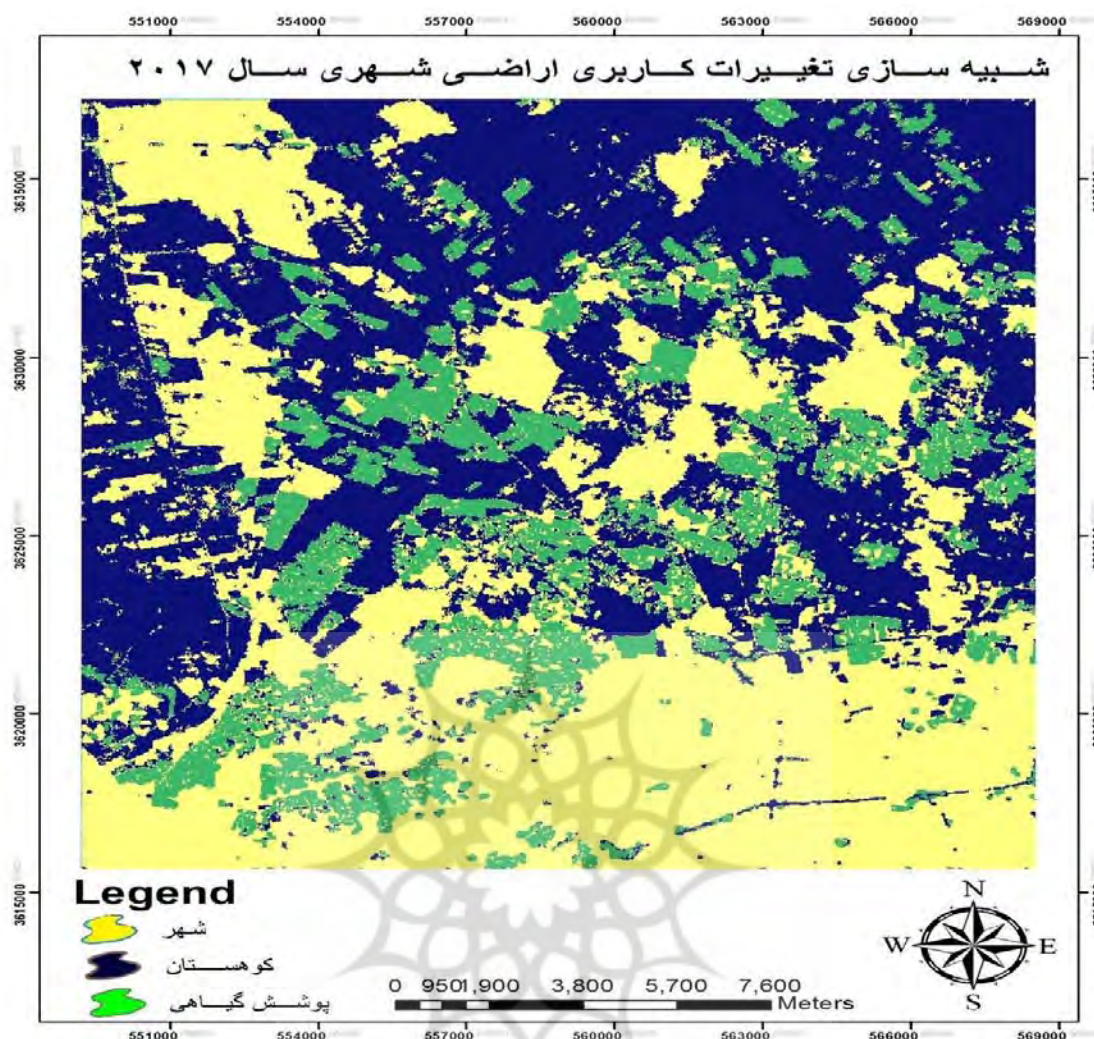
نام کلاس	شهر	کوهستان	پوشش گیاهی
شهر	۰.۹۳۷۵	۰.۰۵۷۵	۰.۰۰۵۰
کوهستان	۰.۲۲۵۵	۰.۷۴۳۳	۰.۰۳۱۲
پوشش گیاهی	۰.۱۷۷۱	۰.۴۵۹۵	۰.۳۶۳۵

Source: Research findings

این ماتریس‌ها حاوی اطلاعات درصد تبدیل هر کلاس به سایر کلاس‌ها هستند، بر اساس نتایج جدول شماره ۹ و ۸ میزان تغییر در کاربری منطقه قابل مشاهده می‌باشد. به این صورت که اعدادی که در قطر ماتریس مشاهده می‌شود بدون تغییر باقی مانده‌اند و اعداد غیر قطری بیانگر کاربری‌هایی هستند که دچار تغییر شده‌اند.

### شبیه‌سازی CA-MARKOV سال ۲۰۰۱-۲۰۱۷

در شبیه‌سازی این سال در گام نخست از زنجیره مارکوف استفاده شد، به این صورت که ابتدا تصویر طبقه‌بندی شده سال ۱۹۹۱ و بعد تصویر طبقه‌بندی شده سال ۲۰۰۱ به مدل معرفی گردید که از این طریق ماتریس تبدیلات به دست آمد، به بیان دیگر سیستم آموزش دید و برای پیش‌بینی سال ۲۰۱۷ آماده گردید، که بعد از این مرحله تصویر سال ۲۰۰۱ را همراه با ماتریس تبدیلات به دست آمده از دور قبل و لایه محدودیت‌های رشد به مدل معرفی گردید و شبیه‌سازی سال ۲۰۱۷ با استفاده از این ماتریس به دست آمد (شکل ۴).



شکل شماره ۴ نقشه شبهه سازی تغییر کاربری اراضی سال ۲۰۱۷

Source: authors

ارزیابی مدل تغییرات کاربری اراضی شهری گاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
 برای ارزیابی مدل‌های به کار برده شده از شاخص کاپا استفاده شد. که نتایج ارزیابی در جدول (۴-۱۱) آورده شده است.

جدول شماره ۱۰ ارزیابی مدل

مدل	CA-MARKOV
Kappa	۸۸/۱۳

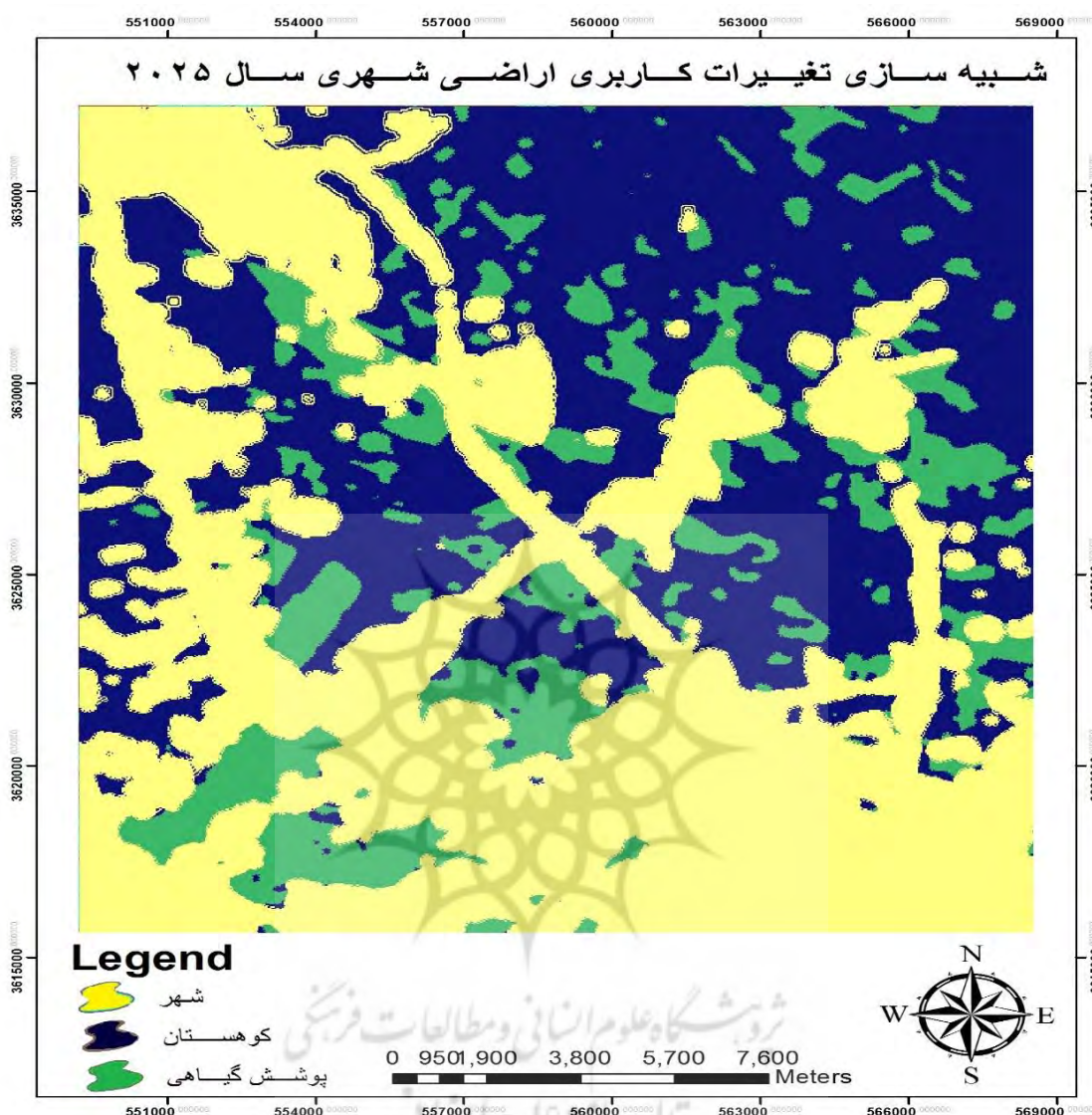
Source: Research findings

جهت ارزیابی از تعداد نقاط یکسان برای خروجی مدل استفاده شد که نشان می‌دهد مدل CA-MARKOV دارای شاخص کاپای ۸۸/۱۳ می‌باشد.

#### پیش‌بینی رشد شهری تا سال ۲۰۲۵ در منطقه ۷ و ۸

در پیش‌بینی سال ۲۰۲۵ در گام نخست از زنجیره مارکوف استفاده شد، به این صورت که ابتدا تصویر طبقه‌بندی شده سال ۲۰۰۱ و بعد تصویر طبقه‌بندی شده سال ۲۰۱۷ به مدل معرفی گردید که از این طریق ماتریس تبدیلات به دست آمد، به بیان دیگر سیستم آموزش دید و آماده شد برای پیش‌بینی سال ۲۰۲۵، که بعد از این مرحله، تصویر

سال ۲۰۱۷ را همراه با ماتریس تبدیلات به دست آمده از دوره قبل و لایه‌های محدودیت رشد به مدل معرفی گردید و پیش‌بینی سال ۲۰۲۵ به دست آمد. (شکل ۵)



### نتیجه گیری

در حال حاضر حوزه شمال اصفهان را دو منطقه ۷ و ۸ تشکیل می دهند که این دو منطقه دارای پتانسیل‌های قوی جذب جمعیت می‌باشند، به گونه‌ای که حاصل آن گسترش بی رویه و توسعه فزاینده کالبدی بوده است که بخش وسیعی از این توسعه‌ها، توسعه غیر رسمی، خودرو و بی ضابطه می‌باشد. در این پژوهش با استفاده از نقشه‌های پوشش، کاربری زمین که از تصاویر ماهواره‌ای (سال‌های ۱۹۹۱، ۲۰۰۱، ۲۰۱۷) دست آمد، داده‌های فیزیکی، سلول‌های خودکار - مارکوف و همچنین، رشد شهری و تغییرات کاربری زمین در شمال شهر حوزه شمال اصفهان شبیه سازی شد. بر اساس سناریوی کالیبراسیون شده سال ۲۰۱۷، مدل CA Markov رشد شهری و تغییرات کاربری زمین تا سال ۲۰۲۵ پیش بینی شد.

علاوه بر آن، محدودیت‌ها و فاکتورهایی همچون شیب، ارتفاع، توپوگرافی، زمین‌های کشاورزی و... نیز با ضرایب متفاوت در پیش بینی مسیر و مکان بهینه در نظر گرفته شد. نقشه شبیه سازی شده در این مطالعه بر اساس مفاهیم تصمیم سازی چندمعیاره، راه‌های استراتژی مناسبی برای برنامه ریزان شهری مهیا می‌کند. حوزه شمال جغرافیایی شهر اصفهان به عنوان قسمتی از شهر، در چهار دهه اخیر دارای رشد افقی نامتوازن و غیرهوشمندی بوده است که در اثر افزایش جمعیت، مهاجرت‌های درون شهری و برون شهری و تخصیص کاربری‌های بدون برنامه و خودرو و فاقد خدمات مورد نیاز و ضروری، طی سه دهه گذشته به شدت در معرض توسعه قرار گرفته است. ساختار این منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر عوامل مختلف و متفاوتی شکل گرفته که وجود تنوع بیش از حد این عوامل موجب آشفتگی و ناخوانایی شخصیت کالبدی در این منطقه شده است.

می‌توان گفت مسائل دیگری مانند اراضی کشاورزی و مادی‌ها، روستاها، شهرک‌های طراحی شده و وجود اقشاری از طبقات مختلف در سازمان تقسیمات کالبدی این مناطق مؤثر می‌باشد. وجود اراضی کشاورزی فراوان در این مناطق باعث پراکندگی نواحی شهری و حتی در برخی موارد پراکندگی محلات و عدم پیوستگی آنها شده است.

در یک جمع بندی کلی می‌توان توانمندی‌ها و امکانات توسعه در حوزه شمال شهر را به شرح زیر دسته بندی کرد:

۱- وجود مجموعه‌های شهری طراحی شده مانند خانه حوزه شمال اصفهان و ملک شهر که زمینه را در شرایط عدم برنامه ریزی برای گسترش رسمی و غیر رسمی (محل امیر عرب، غرب نوبهار و...) به وجود آورده است.

۲- وجود اراضی کشاورزی پراکنده و جزیرهای در درون بافت‌های شهری و مابین محلات که به دلیل نزدیک بودن به مرکز شهر، وجود تأسیسات شهری و شبکه معابر باعث گردیده اراضی مذکور به عنوان پتانسیل‌های توسعه به حساب آیند.

۳- وجود محورهای قوی و مرتبط با مرکز شهر (کاوه، زینبیه، امام خمینی، رباط و...) که این مناطق را به عنوان یکی از جاذبه‌های سکونت در شمال حوزه شمال اصفهان مطرح نموده است.

۴- با مشخص نمودن حریم برای شهر اصفهان می‌توان تا حدود زیادی از تخریب اراضی کشاورزی و باغات موجود در حومه شهر جلوگیری نمود.

۵- تلاش برای تعیین نیروهای محرک و عوامل تأثیر بر روی رشد شهری و استخراج پارامترها و قوانین تبدیل برای تغییرات کاربری اراضی در شهرها و بویژه در کلان‌شهرهای ایران و شهرهای کشورهای در حال توسعه که دارای الگوی رشد شهری مشابه با شهرهای کشور ما هستند.

از مجموعه مطالب گفته شده می‌توان چنین دریافت که روند پراکنده رویی در منطقه شهری هفت و هشت شهر اصفهان تأثیر بسزایی بر تخریب اراضی کشاورزی داشته است. دلیل این امر را می‌توان در گرایش افراد به سکونت در اراضی پیرامون شهر و همچنین امکان احداث مسکن دوم یا الگوهای تک خانواری (ویلائی) به دلیل قیمت پایین اراضی دانست. اما آنچه اهمیت دارد تأکید بر روند گرایش توسعه فضایی پراکنده در اراضی کشاورزی و جنگلی این منطقه شهری است که می‌تواند در آینده خسارت‌های جبران ناپذیری را بر این منطقه و حتی سطوح بالاتر (استان اصفهان) وارد آورد. برای بهبود روند و جلوگیری از تخریب روزافزون اراضی طبیعی با ارزش که در این منطقه شهری وجود دارند، لازم است جهت گیری‌های حال حاضر برنامه‌ریزی و مدیریت متحول

گردد. بدین ترتیب، مجموعه‌ای از توصیه‌ها و راهبردهای اجرایی برای بهبود و حتی کاهش سرعت روند تخریب اراضی کشاورزی ارائه می‌گردد:

- تدوین برنامه‌ای مدون و به روزرسانی شده از کاربری اراضی منطقه شهری
- اعمال خط مشی‌ها و سیاست‌های دقیق برای عدم ترویج سوداگری زمین در منطقه شهری مورد نظر
- عدم ارائه مجوز ساخت و پروانه ساختمانی در اراضی منطقه شهری (با تأکید بر عدم جانمایی در کاربری‌های کشاورزی، بابی و زارعی)
- پهنه‌بندی و منطقه‌بندی اراضی طبیعی و اولویت دهی به توسعه‌های آتی در اراضی با ارزش کمتر استفاده از رویکردهای توسعه درون‌زا، توسعه در اراضی قهوه‌ای، توسعه میان‌افزا و... برای پاس‌گویی به نیاز جمعیت در حال رشد منطقه

- اتخاذ دیدگاه جامع و راهبردی در اراضی کشاورزی و مزارع منطقه شهری
- تأکید بر اختلاط کاربری و استفاده از الگوهای توسعه شهر فشرده برای کاهش تأثیر پراکنده رویی بر کاربری زمین

به دلیل اهمیت فراوان این منطقه شهری در شکل‌گیری الگوهای فضایی، جمعیتی، اقتصادی و... می‌توان پژوهشهایی را با جهت‌گیری به سمت و سویی نوین مطرح کرد. به طور مثال پیشنهاد می‌شود با بررسی نقش جریان‌های سیاسی-مدیریتی، جریان‌های فضایی جمعیتی و فعالیت‌ها، روند پراکنده رویی در این منطقه شهری دقیق بررسی شود.

با توجه به اینکه در بیشتر مدل‌های پیش‌بینی اساس بر ثابت بودن روابط متقابل تغییرات و علت‌های آن در طول زمان است ولی فرآیندهای تغییرات استفاده از زمین پویا هستند از این‌گونه مدل‌سازی‌ها را در دوره‌های کوتاه مدت اجرا شوند. در نهایت تصاویر مورد استفاده در این تحقیق به دلیل محدودیت دسترسی به تصاویر با قدرت تفکیک بالا، دارای قدرت تفکیک ۳۰ متری بودند، که پیشنهاد می‌شود در تحقیق‌های بعدی از تصاویری با قدرت تفکیک بهتر استفاده شود.

## Reference

- Antrop, M., (2000), Changing patterns in the urbanized countryside of Western Europe. *Landscape Ecol.* 15, 257-270.
- Abd El-kawy, O. R., et al. Land use land cover change detection in the western Nile delta of Egypt using remote sensing data. *Applied Geography*, 2011, 31(2), 483-494
- Bell, K. P., Irwin, E. G., (2002), Spatially explicit micro-level modelling of land use change at the rural-urban interface. *Agricultural Economics* 27T 217-232.
- Chapin, Francis. Stuart (1972), *Urban land use planning*, Second edition, University of Illinois
- Fallahtakar, Samareh, Safiyanian, Alireza, Khajeeddin, Seyyed Jamaloddin, Ziaei Hamid Reza (2008), Investigating the trend of land cover changes in Isfahan during the last four decades using remote sensing, *Journal of Agricultural Science and Technology*, 13th, No.47, A), Spring 1
- Jafari, Hamid Reza, Yousef Rafiee, Ramezani Mehrin, Majid Nasiri, Hossein, 2012, Locating Urban Waste Disposal Using AHP, SAW in GIS Environment Case Study of Kohkilouyeh and Boiz Ahmad, 2001, pp. 131 to 140
- Khoshgoftar, Mahmoud Mahdi, Talei, Mohammad, Malekpour, Peyman (2010) Time-spatial modeling of urban growth A method based on the integration of Markov Automata, National Geosciences Conference, National Surveying Organization

- Keyvanlou, Keyvan, 2012, Modeling of urban landslide using urban cell modeling model of Isfahan city, The fourth urban planning and management conference, Holy Mashhad
- Latifovic R, Fytas K, Chen J, Paraszczak J. (2005), Assessing land cover change resulting from large surface mining development. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 7(1): 29-48.
- Mirbagheri, B. (2006). Urban Landuse Change Simulation Using Remote Sensing Data And Cellular Automata Model. MSc. Thesis. Shahid Beheshti University. Iran.
- Pauleit, S., Ennos, R., Golding, Y., (2005), Modeling the environmental impacts of urban land use and land cover change a study in Merseyside, UK. *Landscape and Urban Planning* 71, 295-310.
- Rasool, R (1999) "Univers culturel des migrantset la planification urbane lecas des villes nourelles" These du doctorat, Alain Iarrius, universte du Toulouse II le Mirail T. Ioulouse. pp.3
- Rahmati, Safar Ghaed, Heydarinejad, Nasim (2013) Physical expansion of cities and the necessity of determining the safe urban environment (sample: Isfahan city), *Geography Magazine and Environmental Studies*
- Shojaein, Ali, Mokhtari Chalchah, Sadegh, Soleimanirad, Ismail, Keshtkar, Leila, 2015 Comparison of the Performance of Parametric and Nonparametric Methods in Land Coverage Classification Using Landsat Satellite Images (Case Study: Part of Dezful City) *Quarterly Journal of Geographic Information Systems* Volume 24, Issue 93, Spring 94
- Shalin, Claude, (1993) *Urban Dynamics or Dynamics, Cities*, Translated by Asghar Nazarian, Mashhad, Astan Quds Razavi Publishing.
- Wu. Q., Li, H.Q., Wang, R.S., Paulussen, J., He, Y., Wang, M., Wang, B.H., Wang, Z., "Monitoring and predicting land use change in Bijing using remote sensing and GIS" *Landscape and urban planning*, Vol. 78, pp. 322-333, 2006
- Zaybardast, Esfandiar, 2010, Application of Analytical Hierarchy Process in Urban and Regional Planning, *Ziba Magazine*, No. 10, Tehran.
- Zayari, Keramatollah (1999) *Principles and Methods of Regional Planning* of Yazd University Press