

آشکار سازی و مدل سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از داده‌های

سنجش از دور، مدل زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار. مطالعه موردی: شهر بجنورد

مریم یوسفی^{۱*}، جواد میکائیکی^۲، علی اشرفی^۳، نجمه نیسانی سامانی^۴

^۱ دانشجوی دکتری محیط زیست، گرایش ارزیابی و آمایش سرزمین، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان،

واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران

^۲ دانشیار گروه جغرافیای دانشگاه بیرجند

^۳ عضو هیات علمی دانشگاه بیرجند، دانشجوی دکتری سنجش از دور دانشگاه تهران

^۴ استادیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۱/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۳/۱۱

چکیده

امروزه، بررسی تغییرات کاربری اراضی یکی از موضوعات اصلی پژوهش در حوزه تغییرات جهانی محیط زیست و توسعه پایدار محسوب می‌گردد. در حال حاضر آشکار سازی و مدل سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ابزاری سودمند برای درک تغییرات زیست محیطی در رابطه با فعالیت‌های انسانی به حساب می‌آیند. نظر به رشد مداوم جمعیت و نیاز به برنامه‌ریزی و مدیریت زیرساخت‌های مناسب در شهر بجنورد، در این پژوهش، با استفاده از تصاویر لندست سال ۱۳۷۹ و ۱۳۹۳، تغییرات کاربری اراضی این شهر تا سال ۱۴۰۷ با استفاده از شبکه خودکار مارکوف مدل سازی شد. تصاویر به روش طبقه‌بندی نظارت شده فازی طبقه‌بندی شد و تغییرات کاربری اراضی برای ۱۴ سال آینده مدل سازی گردید. نتایج حاکی از آن است که اراضی کشاورزی آبی و دیم روند کاهشی و اراضی شهری و بایر روند افزایشی خواهند داشت به طوری که اراضی کشاورزی آبی، باغات و دیم از ۱۴/۵ درصد کل محدوده مورد مطالعه در سال ۱۳۷۹ به ۶/۵ درصد کاهش و اراضی شهری از ۶/۷ درصد در سال ۱۳۷۹ به حدود ۱۱/۵ درصد در سال ۱۴۰۷ افزایش پیدا خواهد کرد.

واژه‌های کلیدی: مدل سازی و آشکار سازی تغییرات، کاربری اراضی، زنجیره مارکوف، سلول‌های خودکار، شهر بجنورد

مقدمه

تغییرات آتی و تحولات احتمالی آینده ایفا می‌کند (جوکار ارسنجانانی و همکاران^۲، ۲۰۱۳: ۲۰۳). مدل‌ها که توصیف ساده‌ای از واقعیت و ابزار مناسبی جهت ترجمان پیچیدگی‌های دنیای واقعی در بیان ساده می‌باشند، در درک چنین تغییراتی ابزاری کاربردی محسوب می‌شوند. امروزه مدل سازی تغییرات کاربری اراضی در کنار پایش تغییرات با دقت قابل قبول به آسانی امکان پذیر است. سهم قابل توجهی در این زمینه مدیون پیشرفت‌های صورت گرفته در زمینه سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور است (باهاتا و همکاران^۳، ۲۰۱۰). تکنولوژی سنجش از دور به جهت

بیان مسئله: امروزه، تغییرات کاربری اراضی، یکی از موضوعات اصلی پژوهش در حوزه تغییرات جهانی محیط زیست و توسعه پایدار محسوب می‌گردد. نظر به پویایی تغییرات کاربری اراضی و اثرات گسترده آن بر محیط زیست، درک چگونگی این تغییرات چه از نظر الگوی مکانی و چه از نظر کمیت آن، ضروری به نظر می‌رسد. پایش این چنین تغییرات، ما را در درک درستی از روند توسعه در گذشته و الگوهای رشد در آینده یاری می‌دهد، در حالی که مدل سازی و شبیه سازی تغییرات نقشه بسزایی در درک پیامدهای

2. Jokararsanjani et al
3. Bahata et al

*نویسنده مسئول: yousefi.myb@gmail.com

مدل‌ها را به سه دسته تقسیم نمود: مدل‌های تجربی و آماری، مانند زنجیره‌های مارکوف و مدل رگرسیون (هو و لو^۳، ۲۰۰۷: ۶۶۹)، مدل‌های پویا از جمله ماشین‌های سلولی (هن و همکاران^۴، ۲۰۰۹: ۱۳۶) و مدل‌های تلفیقی (واز و همکاران^۵، ۲۰۰۱: ۶).

هیو و لو^۶ (۲۰۰۷: ۶) در مقایسه‌ای بین روش‌های مختلف بیان می‌کنند که مدل‌های رگرسیونی برای بررسی کمی تغییر و تجزیه و تحلیل زمانی کاربرد کمتری دارند؛ اما در مقابل، زنجیره‌های مارکوف با محاسبه احتمالات تحول کاربری اراضی و میزان تغییر آن‌ها، ابزار کاربردی‌تری محسوب می‌گردند (لوپز و همکاران^۷، ۲۰۰۱: ۲۸۰)؛ همچنین در مقایسه با تجزیه و تحلیل رگرسیون، تلفیق زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار، بر داده‌های جامع سرشماری که اغلب در کشورهای در حال توسعه کمیاب است متکی نیست (شفی زاده و هلبیچ^۸، ۲۰۱۳: ۱۴۸).

همچنین واز^۹ و همکاران (۲۰۱۲: ۲۰۸) معتقد هستند که مدل‌های پویا برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در آینده نسبت به روش‌های تجربی و آماری کاربردی تر هستند، اما روش‌های تجربی و آماری نیز می‌توانند به عنوان روشی تکمیل‌کننده همراه با مدل‌های پویا استفاده شوند. به هر جهت کاربرد یک مدل تلفیقی که ترکیبی از تکنیک‌های مدل‌سازی‌های مختلف باشد، شاید نتیجه بهتری جهت بهبود و درک فرآیندهای تغییر استفاده از زمین ارائه دهد.

تاکنون زنجیره مارکوف، توسط محققین زیادی جهت ترکیب معیارهای اقتصادی اجتماعی و طبیعی در مدل‌سازی کاربری اراضی استفاده گردیده است (کاموسکو و همکاران^{۱۰}، ۲۰۰۹: ۴۳۵).

ارائه اطلاعات به روز، پوشش‌های تکراری و مقرون به صرفه بودن در حوزه پژوهش‌های محیط‌زیست و منابع طبیعی اهمیت بالایی دارد. به‌خصوص تصاویری با قدرت تفکیک متوسط از جمله تصاویر لندست، که علاوه بر در دسترس بودن برای مناطق وسیع، به صورت مداوم، رایگان و به روز در دسترس است (تائنبوک و همکاران^۱، ۲۰۱۲؛ پنتینو و دوکو^۲، ۲۰۱۳).

محدوده مورد مطالعه در این پژوهش شهر بجنورد می‌باشد که در سال‌های اخیر به‌ویژه بعد از معرفی شدن به عنوان مرکز استان خراسان شمالی در سال ۱۳۸۳، دچار تحولاتی از جمله افزایش شدید جمعیت شهرنشین و گسترش سطحی سکونت‌گاه‌های شهری شده است. یکی از پیامدهای رشد جمعیت افزایش تقاضا به استفاده از منابع طبیعی برای برآوردن نیازهای اساسی است، موضوعی که امروزه بسیاری از کشورهای در حال توسعه با مشکلات و مسائل وابسته با آن درگیر هستند، با افزایش جمعیت در یک محدوده جغرافیایی خاص، به یقین تقاضا برای منابع زمین هم در بخش کشاورزی و هم غیرکشاورزی افزایش می‌یابد. از جمله تبعات آن، از دست رفتن منابع کمیاب و حیاتی محدوده، یعنی خاک‌های حاصلخیز و منابع آب کشاورزی خواهد بود. نظر به مشکلات مطرح شده، مدل کردن چگونگی نحوه استفاده از زمین و تغییرات آن در طول زمان و نیز مشخص نمودن الگوهای مکانی کاربری و پوشش اراضی آینده در محدوده مورد مطالعه بسیار ضروری به نظر می‌رسد.

در این پژوهش با استفاده از تصاویر لندست سال ۱۳۷۹ و ۱۳۹۳ به مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی برای ۱۴ سال آینده شهر بجنورد تا سال ۱۴۰۷ با استفاده از شبکه خودکار مارکوف پرداخته شده است. تاکنون روش‌های گوناگونی جهت مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی بکارگرفته شده است، که می‌توان این

3. Hu and Lo
4. Han et al
5. Vaz et al
6. Hu & Lo
7. López et al
8. Shafizadeh and Helbich
9. Vaz et al
10. Kamusoko et al

1. Taubenböck et al
2. Patino and Duque

که بیانگر توافق ۸۹ درصدی پیش‌بینی صورت گرفته با واقعیت است.

مفاهیم دیدگاه‌ها و مبانی نظری

بررسی مدل زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار: زنجیره مارکوف یکی از روش‌های معتبر جهت مدل‌سازی تغییرات پوشش کاربری اراضی با استفاده از روند فعلی است. فرض اساسی مدل زنجیره مارکوف این است که وضعیت کاربری اراضی در آینده ($t + 1$) را می‌توان به‌عنوان یک تابع از کاربری حال حاضر (t) تعریف کرد

$$x_{(t+1)} = f(x_t) \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن $x_{(t+1)}$ نشان‌دهنده کاربری اراضی در زمان $t+1$ و x نشان‌دهنده کاربری زمین در زمان t می‌باشد (هوت و هابرت می^۳، ۲۰۰۶: ۶۴). ساختار مدل زنجیره مارکوف در مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی شامل یک بردار (N) با ابعاد $M \times 1$ نشان‌دهنده تعداد کلاس کاربری‌ها است که توصیف‌کننده توزیع کاربری حال حاضر و یک ماتریس $M \times M$ احتمالات انتقال (P) بین یک جفت از کلاس کاربری اراضی i و j می‌باشد. احتمال انتقال طبق معادله زیر محاسبه می‌گردد (رابطه ۲).

$$\sum_{j=1}^m pij = 1 \quad i = 1, 2, 3 \dots m \quad (\text{رابطه ۲})$$

ماتریس، احتمال انتقال هر کدام از کاربری‌ها به کاربری دیگر را توضیح می‌دهد. این ماتریس، نتیجه جدول حاصل از تطابق سری زمانی نقشه‌های کاربری اراضی است که بر مبنای خطای نسبی اصلاح شده است. زنجیره مارکوف چند تصویر احتمال ایجاد می‌کند، این تصاویر که از ماتریس مساحت انتقال یافته بدست آمده‌اند، احتمال این که هر نوع پوشش زمین در هر موقعیت در آینده پیدا شود را بیان می‌کند. مشخصه اصلی زنجیره مارکوف این است که موقعیت مکانی تغییرات را در نظر نگرفته و به عبارتی

لی و همکاران^۱ (۲۰۱۱: ۳۷۶۲) سلول خودکار و زنجیره مارکوف را جهت مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی با هدف بررسی توازن رشد شهری و حفاظت از محیط زیست تا سال ۲۰۴۹ بکار برده‌اند. از نتایج این پژوهش افزایش اراضی شهری و کاهش اراضی کشاورزی و پوشش جنگلی بوده است. وینگ^۲ (۲۰۰۲: ۲۸۰) نیز از تلفیق سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور با استفاده از مدل زنجیره مارکوف جهت مدل‌سازی کاربری اراضی و گسترش مناطق شهری و صنعتی در چین استفاده نمودند (۲۰۰۲: ۱۶۵).

علیمحمدی سراب و همکاران (۱۳۸۹: ۸۲) در تحقیقی کاربری مدل سلول‌های خودکار را در شبیه‌سازی گسترش اراضی شهری در حومه جنوب غرب تهران ارزیابی کردند. در این تحقیق، گسترش اراضی مسکونی با استفاده از مدل سلول‌های خودکار شبیه‌سازی شد و با استفاده از مدل وزن‌های شاهد، همبستگی توسعه اراضی مسکونی با داده‌های مکانی مختلف بررسی و از نتایج آن در شبیه‌سازی استفاده شد. نتایج حاصل از این تحقیق، قابلیت‌های مدل سلول‌های خودکار را برای پیش‌بینی و مدل‌سازی تغییرات کاربری در شرایط منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. مهدی اصلاح و همکاران (۱۳۹۳: ۹) کاربری مدل زنجیره‌ای مارکوف درجه اول، جهت برآورد تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین برای شهر تهران و حومه آن طی بازه زمانی ۳۰ ساله را بررسی کرده‌اند.

محمدی و همکاران (۱۳۹۳: ۱۹۲)، در پژوهشی برای افزایش کارایی مدل سلول‌های خودکار و رفع محدودیت‌های آن از تلفیق مدل سلول‌های خودکار با مدل تحلیل سلسله مراتبی در منطقه ۷ شهرداری اصفهان، استفاده کرده و میزان دقت آن را بررسی کردند. ضریب کاپای محاسبه شده برابر با ۰/۸۹ بوده

1. Li et al
2. Weng

3. Houet & Hubert-Moy

استفاده از تصاویر لندست ۵ سال ۱۳۷۹ و لندست ۸ سال ۱۳۹۳ پرداخته است.

روش تحقیق

محدوده و قلمرو پژوهش: محدوده مورد مطالعه شهر بجنورد می‌باشد که در دشت بجنورد در عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۸/۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی در مرکز استان خراسان شمالی قرار گرفته است. شهر بجنورد در سال ۱۳۸۳ به‌عنوان مرکز استان خراسان شمالی معرفی شد. شکل (۱) محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش از داده‌های تصحیح شده سه بُعدی سنجنده تی ام ماهواره لندست ۵ مربوط به سال ۱۳۷۹ و لندست ۸ در سال ۱۳۹۳ استفاده گردید که به‌طور رایگان از سایت زمین شناسی آمریکا^۴ دریافت شد. در انتخاب این تصاویر معیارهای حداقل تراکم ابر و دوره حداکثر رشد گیاه لحاظ گردید. زمانی که داده‌های تاریخ ۱ با الگوریتم حداکثر احتمال طبقه بندی شده باشند و داده‌های آموزشی از همان تصویر استخراج شده باشند و داده‌های زمان ۲ هم به همین ترتیب، در شناسایی تغییرات مهم نیست که تصاویر تصحیح اتمسفری شده باشند (جنسن^۵، ۲۰۰۵: ۲۲۰). مراحل کلی انجام تحقیق به صورت شماتیک در شکل ۲ نشان داده شده است.

هیچ درک جغرافیایی ایجاد نمی‌کند. تغییرات احتمال دارد برای هر کاربری رخ دهد و توزیع مکانی این تغییرات مشخص نیست؛ بنابراین در خروجی مدل‌سازی زنجیره مارکوف هیچ مؤلفه مکانی تولید نمی‌گردد؛ به همین دلیل جهت اضافه کردن عنصر مکانی به مدل، از شبکه خودکار استفاده می‌شود (سوی و لی^۱، ۲۰۰۶: ۳۹۲).

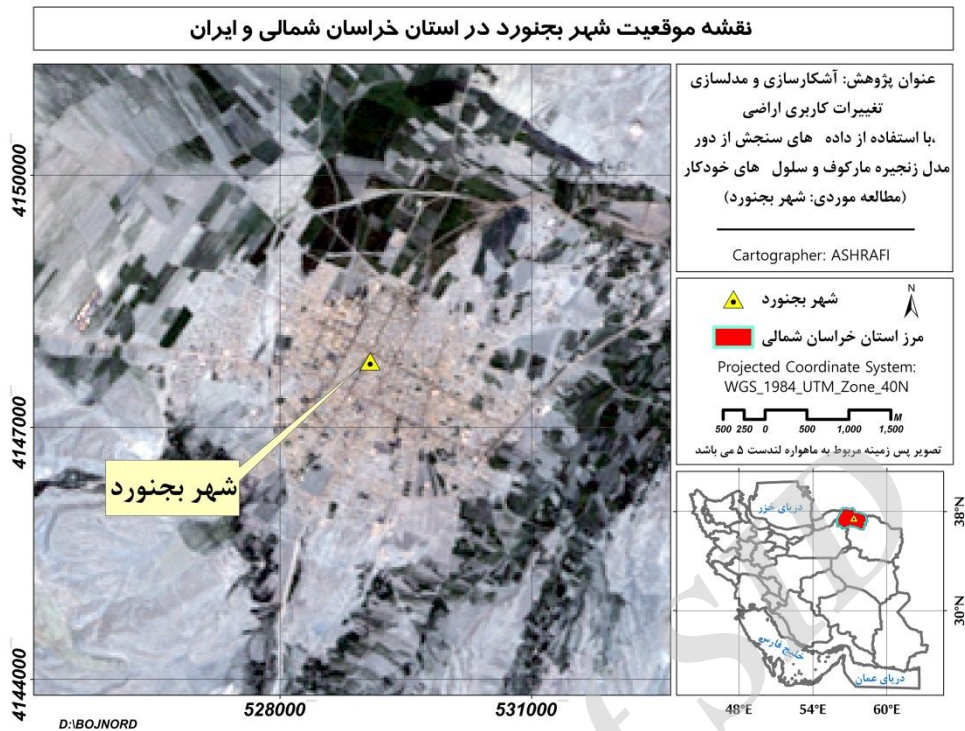
الگوی بهینه در مدل سلول‌های خودکار با استفاده از توابع انتقالی، شبکه سلولی و وضعیت آنها، همسایگی و روابط متقابل بین سلول تعیین می‌گردد (سیلورتون و همکاران^۲، ۱۹۹۲: ۵۳۰؛ علی‌محمدی سراب و همکاران^۳، ۱۳۸۹: ۹۲). توابع انتقالی در مدل سلول‌های خودکار مجموعه‌ای از شرایط و توابعی هستند که تعریف می‌کنند چگونه حالت هر سلول از زمان t تا $t+1$ تغییر خواهد کرد (لیو و همکاران^۳، ۲۰۰۸: ۱۷۱).

وضعیت سلول در مدل‌های شهری با توجه به هدف مدل‌سازی و وضعیت سلول‌ها معمولاً طبقه بندی‌های کاربری اراضی، ارزش زمین، پوشش زمین و ... می‌باشد. همسایگی در بردارنده خود سلول و تعدادی سلول دیگر در شعاع خاصی از سلول مورد آزمایش است. بر اثر روابط متقابل بین سلول مورد آزمایش و همسایه آن و تحت تاثیر قوانین انتقال، سلول به وضعیت‌های مختلف تغییر پیدا می‌کند. در یک شبکه، همسایگی معمولاً سلول‌هایی که نزدیکترین سلول به سلول مرکزی هستند اطلاق می‌گردد که ممکن است ارزش آن را در گام بعدی تحت تاثیر قرار دهد (رضا زاده و میر احمدی، ۱۳۸۸: ۵۰).

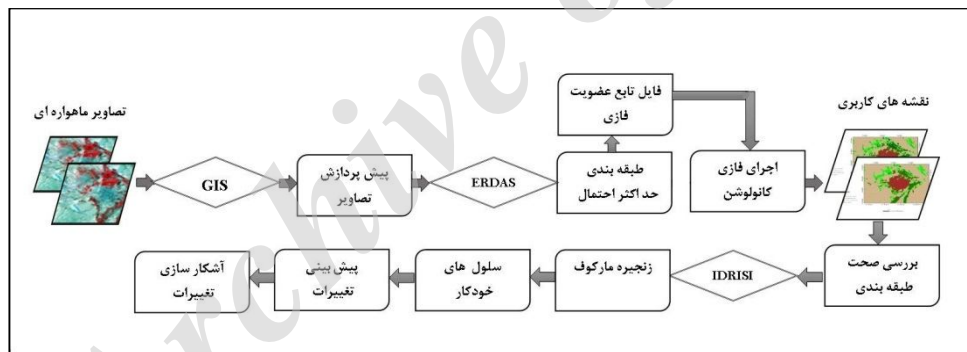
این پژوهش به آشکارسازی و مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تلفیق زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار تا سال ۱۴۰۷ در شهر بجنورد با

4. [Http://earthexplorer.usgs.gov](http://earthexplorer.usgs.gov)
5. Jensen

1. Soe et al
2. Sylvertown et al
3. Liu et al



شکل ۱: محدوده مورد مطالعه، تصویر ماهواره‌ای مربوط به سنجنده تی ام، ماهواره لندست ۵، می‌باشد (برگرفته شده از وب سایت زمین شناسی امریکا)







شکل ۲: مراحل کلی انجام تحقیق

بازدید صحرایی جهت شناخت محدوده، انتخاب کاربری‌های موجود در محدوده و انتخاب نمونه‌های آموزشی برای سال ۱۳۹۳ برای معرفی به نرم افزار جهت طبقه‌بندی نظارت شده انجام پذیرفت. برای سال ۱۳۷۹ از تفسیر چشمی روی تصویر رنگی کاذب و نیز نقشه‌های کاربری اراضی که توسط سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری همزمان با این تاریخ تهیه شده است، استفاده شد. در این مرحله انواع کاربری‌های مختلف بررسی و شناسایی گردید و به شرح جدول (۱) تعیین شد.

پیش‌پردازش، طبقه‌بندی تصاویر و ارزیابی صحت طبقه‌بندی: از آنجا که صحت آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی به صحت تصحیحات هندسی وابسته است، تصاویر تصحیح شده سه بعدی^۱ با دقت مناسب از سایت USGS دریافت شد. تصاویر مورد بازبینی بصری قرار گرفت و مشکل خاصی در تصحیحات هندسی این تصاویر مشاهده نشد.

1. Orthorectify images

جدول ۱: طبقات کاربری اراضی و توصیف آن‌ها

عنوان کلاس کاربری اراضی	شرح	تصویر مربوط به کاربری اراضی
اراضی شهری و انسان ساخت	شامل مناطق شهری، روستایی، شهرک صنعتی، فرودگاه و به‌طور کلی مناطق ساخت بشر	
کشاورزی آبی و باغات	شامل مناطق زراعی که آبیاری آن‌ها با استفاده از آب قنات و چاه‌ها انجام می‌گردد از جمله باغات، اراضی کشت گندم و جو و جنگل‌های دست کاشت	
اراضی تحت کشت دیم	اراضی کشاورزی که صرفاً بارندگی، آب را جهت آبیاری تامین می‌نماید	
مرتع و اراضی بایر	اکثراً شامل بندسارهایی می‌باشد که کشت به بارندگی در آن سال وابسته است به گونه‌ای که در ترسالی کشت و در غیر اینصورت کشت نخواهد شد؛ همچنین این کلاس اراضی را که به طور کلی کشت نمی‌شود و به اراضی رها شده تبدیل شده است شامل می‌گردد. این کلاس مراتع تنک تا انبوه را شامل می‌گردد	

طبقه بندی تصاویر

در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای وجود پیکسل‌های مخلوط امری غیر قابل انکار است به طوری که یک پیکسل ممکن است ترکیبی از چند کلاس کاربری تعریف شده باشد. به عنوان مثال در این پژوهش و کار با تصاویر لندست و قدرت تفکیک ۳۰ متر، هر پیکسل ممکن است شامل کلاس‌های کاربری دیم، کشاورزی و مرتع باشد. یکی از روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده که توانایی تشخیص پیکسل‌های ناهمگن در تصاویر ماهواره‌ای را دارد طبقه بندی فازی می‌باشد. بر عکس طبقه بندی پیکسل مبنا که هر پیکسل را فقط به یک کلاس نسبت می‌دهد، طبقه بندی فازی نشان می‌دهد که هر پیکسل ممکن است عضویت جزئی به چندین کلاس داشته باشد که نتیجه آن طبقه‌بندی نرم است (مادر^۱، ۲۰۰۹: ۳). روش فازی قادر است تا بر مشکل پیکسل‌های مخلوط در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای غلبه کند (مانیب هوشان و همکاران^۲، ۲۰۱۳: ۸). فازی بودن در تصاویر ماهواره‌ای هنگامی رخ می‌دهد که به علت تفکیک مکانی پایین، یک پیکسل در تصویر به طور کامل با یک کلاس همگن اشغال نشده است.

پیکسل ممکن است ترکیبی از چند کلاس کاربری تعریف شده باشد بر این اساس در این پژوهش، بعد از طی مراحل پیش‌پردازش، تصاویر مذکور با روش طبقه‌بندی فازی نیز طبقه‌بندی گردید. برای این منظور نرم‌افزار ERDAS 9.1 مورد استفاده قرار گرفت. معمولاً این روش به صورت ترکیب با روش‌های معمول طبقه بندی بکار می‌رود. در این پژوهش طبقه‌بندی حداکثر احتمال انتخاب و سپس فایل فاصله طیفی (تابع عضویت) ایجاد گردید. با اعمال الگوریتم پیچیدگی فازی^۳ بر روی تصویر هر پیکسل به چندین کلاس تعلق یافت (شکل ۳ و ۴) در مرحله بعد با استفاده از ضرایب وزنی و استفاده از روش پیچیدگی فازی باید هر پیکسل به یک کلاس خاص تعلق پیدا نماید. هنگام انجام طبقه بندی فازی، یک پنجره متحرک که در این پژوهش ۳×۳ انتخاب شده، روی فایل فازی شده (که در آن هر پیکسل به چندین کلاس با یک درجه عضویت تعلق پیدا کرده است) حرکت می‌کند و یک لایه تک کلاسه، با محاسبه فاصله معکوس وزنی در پنجره متحرک ایجاد می‌شود. سپس پیکسلی که در مرکز پنجره متحرک قرار گرفته به کلاسی تعلق می‌یابد که جمع کل فاصله معکوس

1. Mather
2. Manibhushan et al

3. Fuzzy Convolution

مدل سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از شبکه خودکار مارکوف: در این قسمت یک سناریوی تحلیل تغییرات کاربری زمین برای نقشه سازی تغییرات در ۱۴ سال آینده توسعه می شود. از ماژول مارکوف در نرم افزار Idrisi Salva 17.02 برای پیش بینی این تغییرات که به طور کلی بر وضعیت کاربری اراضی در سال و تغییرات کاربری در دوره ۱۴ ساله بین سال های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۳ مبتنی است استفاده می شود. بعد از آن یک ماتریس احتمال انتقال، ماتریس مساحت انتقال یافته و چند تصویر احتمال شرطی ایجاد می شود. هر تصویر احتمال شرطی احتمال انتقال به کاربری دیگر را نشان می دهد. در این قسمت ارزش صفر برای سلول های زمینه و خطای نسبی ۰/۱۵ در نظر گرفته شد. خطای نسبی بدان معنی است که بیشتر نقشه های کاربری داری ۰/۸۵ درصد دقت هستند.

خروجی مدل مارکوف، ورودی سلول های خودکار را تشکیل می دهد. فیلتر مجاورت ۵ در ۵ نیز برای توسعه یک فاکتور وزندهی مجاورت مکانی برای تغییر وضعیت سلول ها بر اساس وضعیت همسایه اش استفاده شد. تعداد تکرار برای اجرای سلول خودکار ۱۴ تکرار به اندازه بازه زمانی در نظر گرفته شده برای پیش بینی تغییرات انتخاب شد. با هر تکرار هر تصویر مطلوبیت پوشش زمینی به عنوان نتیجه فیلتر مجاورت در هر کاربری زمین موجود دوباره وزن دهی می شود. خروجی سلول های خودکار نقشه پیش بینی کاربری اراضی در سال ۱۴۰۷ است.

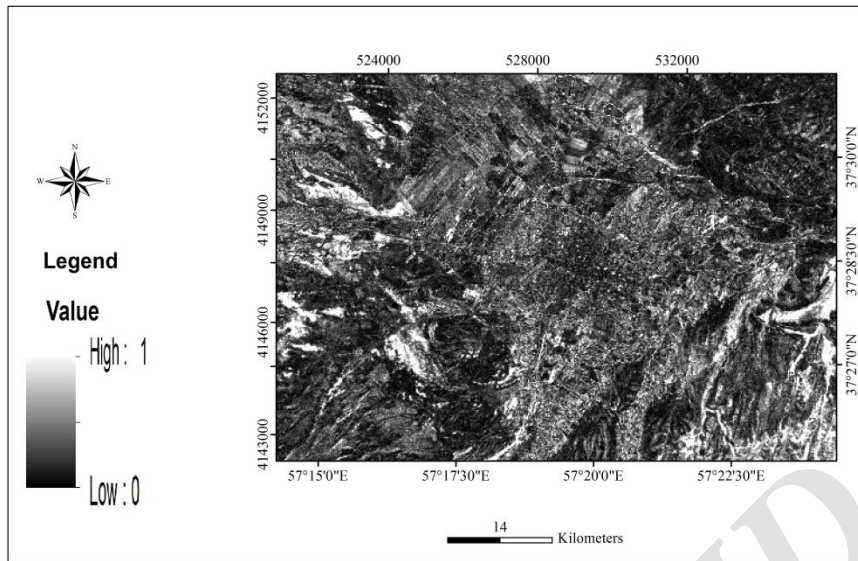
نتایج

یافته های تحقیق به شرح زیر می باشند. شکل ۳ و ۴ تصویر تابع عضویت را برای تصاویر ماهواره سال های مورد بررسی نشان می دهد.

روزی بر روی کل مجموعه لایه طبقه بندی فازی بیشترین باشد. کلاس هایی با ارزش فاصله کمتر بدون تغییر باقی می مانند در حالی که کلاس هایی با ارزش فاصله بیشتر با استفاده از ارزش های پیکسل های مجاور تغییر می کند (راهنمای نرم افزار ایردس^۱، ۱۹۹۹: ۹۳۰). در نهایت تصویر هر دو سال به همین روش طبقه بندی گردید (شکل ۵ و ۶). برای تعیین میزان صحت نقشه های سال ۱۳۹۳، کنترل میدانی و تفسیر بصری بر روی تصاویر رنگی کاذب انجام و ماتریس خطای آن تهیه شد. برای برآورد دقت نقشه برای سال ۱۳۷۹، از نمونه های اخذ شده از نقشه های پوشش اراضی تهیه شده توسط سازمان جنگل ها، مراتع و آبخیزداری کشور (تصاویر و نقشه های سال ۱۳۷۸) و نیز تفسیر بصری و استفاده از نزدیک ترین تصاویر گوگل ارث با قدرت تفکیک بالا در محدوده زمانی شد. برای انجام ارزیابی صحت، نمونه های آموزشی برای هر کلاس به صورت تصادفی از سطح محدوده مورد مطالعه جمع آوری و سپس ماتریس خطای طبقه بندی استخراج گردید. در نهایت دقت کلی، شاخص کاپا به شرح جدول (۲) محاسبه گردید. سپس آشکار سازی تغییرات به روش پس از طبقه بندی^۲ با استفاده از نقشه های بدست آمده در نرم افزار Erdas 9.1 انجام گرفت.

در مرحله بعد به دلیل عدم تفکیک اراضی مرتعی از اراضی مرتفع و برونزدگی های سنگی و با توجه به نقش ارتفاع متوسط محدوده در تغییرات کاربری اراضی، بعد از تهیه نقشه های کاربری اراضی اقدام به اصلاح نقشه ها با مدل ارتفاع رقومی محدوده گردید. با توجه به اینکه حد مناسب شیب برای کشت دیم ۱۲ درصد، برای کشاورزی آبی ۸ درصد و برای مناطق شهری ۱۵ درصد می باشد (مخدوم، ۱۳۸۵: ۲۲۰)، مناطقی با شیب کمتر از ۱۵ درصد از نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه جدا و سپس وارد مدل زنجیره مارکوف شد.

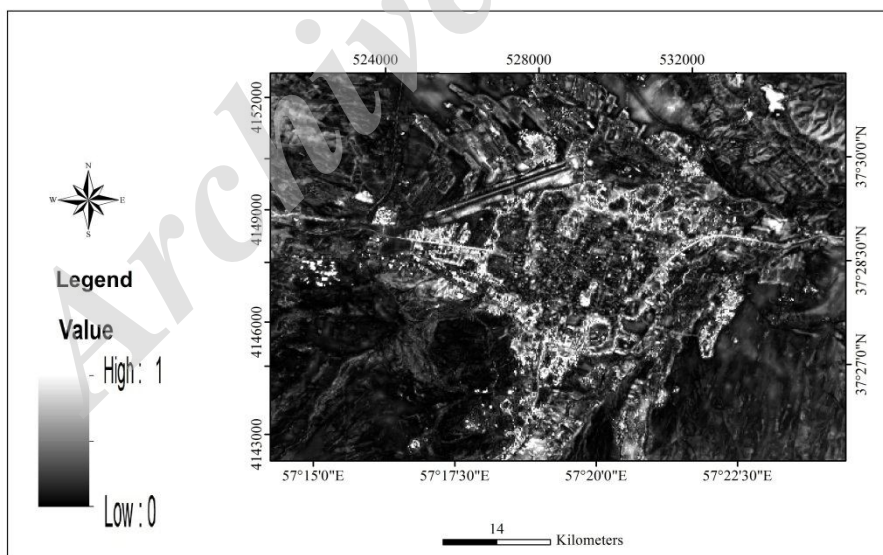
1. Erdas Field Guide
2. Post classification



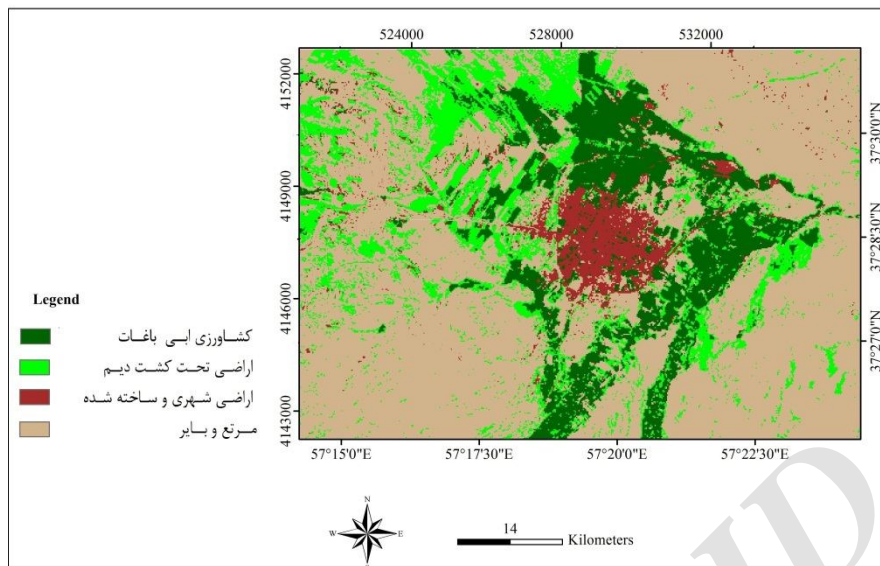
شکل ۳: تصویر تابع عضویت سال ۱۳۷۹ (منبع: یافته‌های پژوهش)

کشاورزی و در تصویر سال ۱۳۹۳ اراضی اطراف شهر درجه عضویت بالاتری دارا هستند. شکل‌های ۵ و ۶ نقشه کاربری اراضی حاصل از اجرای فازی را در سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۹۳ نشان می‌دهند.

توابع عضویت بر اساس داده‌های آموزشی اخذ شده از روی تصویر ساخته شده و مقدار یک پیکسل را با توجه به اینکه به یک کلاس نزدیک‌تر از کلاس دیگر است بین صفر و یک تعیین می‌کنند. همانطور که مشاهده می‌شود در تصویر سال ۱۳۷۹ اراضی



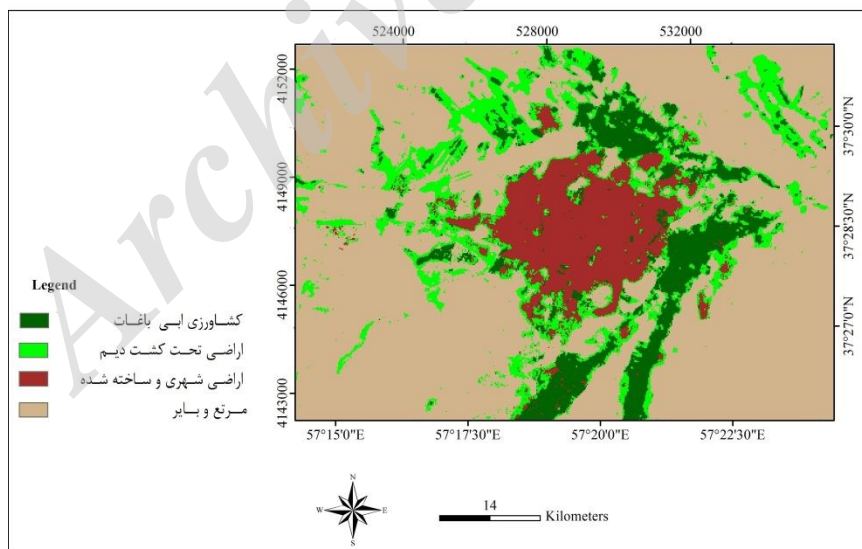
شکل ۴: تصویر تابع عضویت سال ۱۳۹۳ (منبع: یافته‌های پژوهش)



شکل ۵: نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۷۹ (منبع: یافته‌های پژوهش)

۱۳۹۳ نیز به ترتیب ۰/۸۶۶۹ و ۰/۸۵۷۶ بوده است. بر این اساس دقت کلی نقشه سال ۱۳۹۳ دقت بالاتری را نشان می‌دهد.

جدول ۲ نتایج برآورد صحت نقشه‌های سال ۱۳۷۹ و ۱۳۹۳ را نشان می‌دهد. دقت کلی سال ۱۳۷۹ و ۱۳۹۳ به ترتیب ۸۷/۶۳ و ۸۹/۰۰ بوده است؛ همچنین ضریب کاپای نقشه‌های کاربری ۱۳۷۹ و



شکل ۶: نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۹۳ (منبع: یافته‌های پژوهش)

جدول ۲: نتایج برآورد صحت نقشه‌های سال ۱۳۷۹ و ۱۳۹۳

۱۳۹۳	۱۳۷۹	برآورد صحت
۸۹/۰۰	۸۷/۶۳	دقت کلی
۰/۸۵۷۶	۰/۸۶۶۹	ضریب کاپا

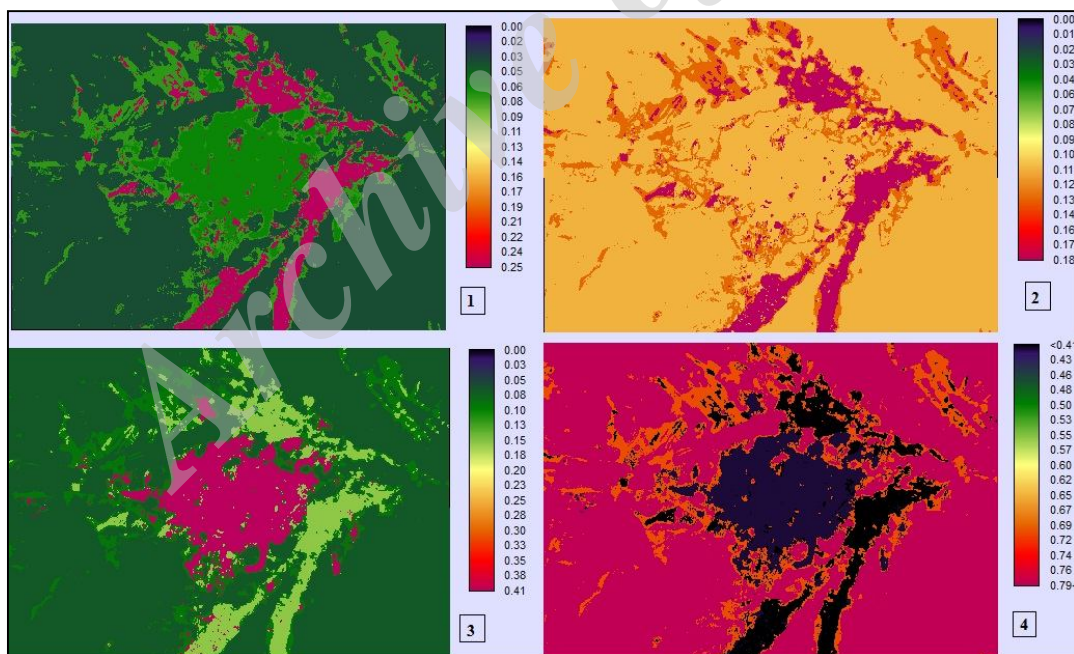
جدول ۳ ماتریس احتمال انتقال کاربری‌های سال ۱۳۹۳ به سال ۱۴۰۷ را نشان می‌دهد؛ بر این اساس احتمال انتقال کاربری اراضی تحت کشت دیم به کلاس مرتع و اراضی بایر با ارزش ۰/۷ بالاترین و احتمال انتقال مرتع و اراضی بایر به کلاس کشاورزی آبی و باغات با ارزش ۰/۰۳ کمترین ارزش را دارد.

جدول ۳: ماتریس احتمال انتقال کاربری‌های سال ۱۳۹۳ به سال ۱۴۰۷

مرتع، اراضی بایر	اراضی شهری و ساخته شده	اراضی تحت کشت دیم	کشاورزی آبی و باغات	کلاس کاربری اراضی
۰/۴۱	۰/۱۵	۰/۱۷	۰/۲۵	کشاورزی آبی و باغات
۰/۷	۰/۰۹	۰/۱۳	۰/۰۷	اراضی تحت کشت دیم
۰/۴۱	۰/۴	۰/۱۱	۰/۰۶	اراضی شهری و ساخته شده
۰/۷۸	۰/۰۷	۰/۱۱	۰/۰۳	مرتع، اراضی بایر

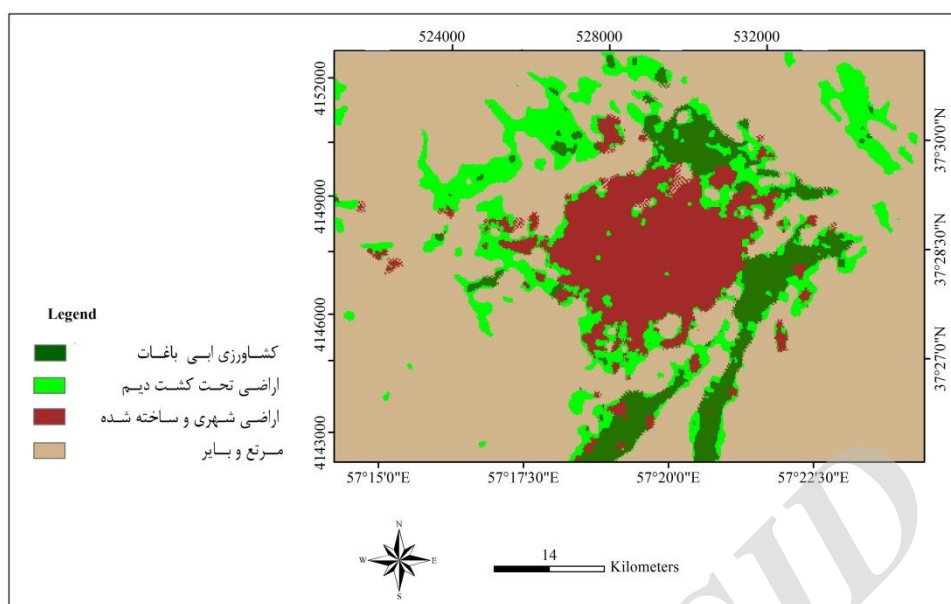
احتمال شرطی بودن کلاس اراضی شهری و انسان ساخت و تصویر ۴ احتمال شرطی بودن مراتع و اراضی بایر را نشان می‌دهد؛ همانطور که از تصاویر مذکور پیداست نواحی با بیشترین ارزش نشان‌دهنده ظهور کاربری مورد نظر در آن نواحی می‌باشد.

شکل ۷ احتمال شرطی را نسبت به هر کلاس نشان می‌دهد. تصاویر احتمال شرطی، احتمال اینکه هر نوع کاربری اراضی در هر پیکسل در واحد زمان مشاهده می‌شود را نشان می‌دهد، به طوری که تصویر ۱ احتمال شرطی بودن کلاس کشاورزی آبی، تصویر ۲ احتمال شرطی بودن کلاس کشاورزی دیم، تصویر ۳



شکل ۷: تصویر ۱ احتمال شرطی بودن کلاس کشاورزی آبی، تصویر ۲ احتمال شرطی بودن کلاس کشاورزی دیم، تصویر ۳ احتمال شرطی بودن کلاس اراضی شهری و انسان ساخت و تصویر ۴ احتمال شرطی بودن مراتع و اراضی بایر (منبع: یافته‌های پژوهش)

خروجی مدل سلول‌های خودکار تصویر نهایی پیش بینی تغییرات کاربری اراضی در سال می‌باشد (شکل ۸).



شکل ۸: نقشه کاربری اراضی سال ۱۴۰۷ (منبع: یافته های پژوهش)

سال ۱۴۰۷ خواهد رسید. اراضی شهری و ساخته شده نیز از سال ۱۳۷۹ روند صعودی داشته به طوری که از ۱۰۹۹ هکتار در سال ۱۳۷۹ با حدوداً ۵۵۰ هکتار افزایش به ۱۶۴۹ هکتار رسیده است. پیش بینی ها نشان می دهد این اراضی به ۱۸۷۳ هکتار در سال ۱۴۰۷ افزایش خواهد یافت. اراضی بایر نیز روند صعودی خواهد داشت و در سال ۱۴۰۷ حدوداً ۷۰ درصد محدوده مورد مطالعه را در بر خواهد گرفت.

مساحت کاربری ارضی به تفکیک سال های مورد بررسی در جدول ۴ ارائه شده است. کاربری کشاورزی آبی و باغات از ۲۳۶۵ هکتار در سال ۱۳۷۹ به ۱۴۸۲ هکتار در سال ۱۳۹۳ کاهش یافته است. طبق مدل ارائه شده، این کاهش همچنان روند نزولی خواهد داشت به طوری که به ۱۰۵۵ هکتار در سال ۱۴۰۷ خواهد رسید. به همین ترتیب اراضی تحت کشت دیم از ۲۶۶۹ هکتار در سال ۱۳۷۹ به ۱۹۳۴ هکتار

جدول ۴: مساحت کاربری اراضی در سال های ۱۳۷۹، ۱۳۹۳ و ۱۴۰۷

۱۴۰۷		۱۳۹۳		۱۳۷۹		کلاس کاربری اراضی
درصد	هکتار	درصد	هکتار	درصد	هکتار	
۶/۵	۱۰۵۵	۹/۱	۱۴۸۲	۱۴/۵	۲۳۶۵	کشاورزی آبی و باغات
۱۱/۹	۱۹۳۴	۱۲/۹	۲۱۰۳	۱۶/۴	۲۶۶۹	اراضی تحت کشت دیم
۱۱/۵	۱۸۷۳	۱۰/۱	۱۶۴۹	۶/۷	۱۰۹۹	اراضی شهری و ساخته شده
۶۹/۹	۱۱۳۳۸	۶۷/۶	۱۰۹۶۶	۶۲/۵	۱۰۰۶۷	مرتفع، اراضی بایر

سال ۱۳۹۳ تبدیل شده است؛ همچنین نتایج جدول حاکی از آن است که ۲۷/۱ درصد از کشاورزی آبی و باغات و حدود ۶۵ درصد از اراضی تحت کشت دیم نیز به اراضی مرتعی یا بایر تبدیل شده است.

جدول ۵ نتیجه آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی بین سال های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۳ را نشان می دهد. همانطور که از جدول پیداست، ۱۳/۴ درصد از اراضی کشاورزی آبی و باغات و ۷/۵ از اراضی تحت کشت دیم در سال ۱۳۷۹ به اراضی شهری و ساخته شده در

جدول ۵: آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۳ (درصد)

۱۳۹۲	۱۳۷۹					
	کلاس کاربری اراضی	کشاورزی آبی و باغات	اراضی تحت کشت دیم	اراضی شهری و ساخته شده	مرتع، اراضی بایر	کل
	کشاورزی آبی و باغات	۳۹/۵	۷/۹	۵/۳	۲/۷	۱۰۰
	اراضی تحت کشت دیم	۱۹/۹	۱۸/۹	۹/۷	۱۰/۱	۱۰۰
	اراضی شهری و ساخته شده	۱۳/۴	۷/۵	۵۳/۹	۵/۳	۱۰۰
	مرتع، اراضی بایر	۲۷/۱	۶۵/۵	۳۰/۹	۸۱/۸	۱۰۰
	کل	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

کشاورزی آبی باغات در سال ۱۳۹۳ و ۳ درصد از اراضی دیم به اراضی شهری در سال ۱۴۰۷ تبدیل خواهد شد؛ همچنین ۲۱ درصد از اراضی دیم و ۸ درصد از اراضی کشاورزی آبی، مراتع و اراضی بایر سال ۱۴۰۷ را تشکیل خواهد داد.

جدول ۶ ماتریس بدست آمده از آشکارسازی تغییرات در دو سال ۱۳۹۳ و ۱۴۰۷ را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۶ روند تبدیل اراضی کشاورزی به مناطق شهری و انسان ساخت تا سال ۱۴۰۷ هم ادامه خواهد داشت. به طوری که حدود ۱۰ درصد از اراضی

جدول ۶: آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی سال ۱۳۹۳ تا ۱۴۰۷ (درصد)

سال ۱۴۰۷	سال ۱۳۹۳					
	کلاس کاربری اراضی	کشاورزی آبی و باغات	اراضی تحت کشت دیم	اراضی شهری و ساخته شده	مرتع و اراضی بایر	کل
	کشاورزی آبی و باغات	۷۰/۱	۰/۴	۰/۳	۰	۱۰۰
	اراضی تحت کشت دیم	۱۲/۴	۷۵	۱/۸	۱/۲	۱۰۰
	اراضی شهری و ساخته شده	۹/۳	۳/۱	۹۷/۶	۰/۵	۱۰۰
	مرتع، اراضی بایر	۸/۱	۲۱/۳	۰/۱	۹۸	۱۰۰
	کل	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

خروجی زنجیره مارکوف به صورت یک ماتریس احتمال انتقال، یک ماتریس احتمال مساحت و چند تصویر احتمال شرطی است. خروجی مدل سلول خودکار تصویر نهایی پیش بینی تغییرات کاربری- اراضی در سال می‌باشد. امروزه روش‌های مختلفی برای پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی وجود دارد که در این تحقیق از روش مارکوف خودکار یا به عبارتی زنجیره مارکوف و تلفیق آن با سلول‌های خودکار استفاده گردید. این روش بر اساس داده‌های موجود در نقشه کاربری اراضی بنا شده است. داده‌های مورد استفاده تصاویر لندست ۵ و ۸ به ترتیب در سال ۱۳۷۹ و ۱۳۹۳ بوده است. به علت قدرت تفکیک ۳۰ متری تصاویر لندست و امکان جای گرفتن چند

در این پژوهش از تصاویر لندست ۵ در سال ۱۳۷۹ و لندست ۸ سال ۱۳۹۳ جهت آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری‌ها تا سال ۱۴۰۷ بهره گرفته شد. در این روش مدل‌سازی از دو نقشه کاربری اراضی تهیه شده برای دو مقطع زمانی مختلف استفاده گردید. جهت تهیه نقشه کاربری اراضی از روش فازی بهره گرفته شد. طبقه‌بندی فازی مرز خاصی را جهت طبقه‌بندی تعریف نمی‌کند و هر پیکسل می‌تواند به چندین کلاس تعلق داشته باشد. پس از تهیه نقشه کاربری اراضی، و بررسی صحت نتایج حاصل از طبقه‌بندی نقشه‌ها برای ورودی زنجیره مارکوف، استفاده شد.

این محدوده دانست. نتایج این مطالعه می‌تواند در برنامه‌های آمایش استان مورد استفاده قرار گیرد. به‌طوری که در ارائه پیشنهادها آمایشی برای مدیریت مناطق شهری می‌توان از آنها بهره‌گرفت. برخی از تغییرات پیش‌بینی شده در این پژوهش مانند کاهش اراضی کشاورزی، تغییر کاربری و توسعه بی‌رویه شهری تخریب منابع طبیعی را به همراه خواهد داشت و می‌تواند در آینده مدیریت شهری را دچار چالش کند که می‌توان با بهره‌گیری از نتایج مدل سازی‌ها برنامه‌هایی تدوین کرد که تغییرات مخرب در آینده را کاهش دهد. به دلیل اینکه آمایش سرزمین در ایران بصورت خطی صورت می‌گیرد و براساس وضعیت موجود برای آینده برنامه‌ریزی می‌شود، در نتیجه قبل از برنامه‌ریزی آگاهی از وضعیت محتمل آینده می‌تواند در طراحی استراتژی‌های مدیریتی شهر بجنورد سودمند واقع گردد.

در نهایت، نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که روش مورد استفاده قابلیت پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی را دارد. همچنین ضرایب کاپا و دقت کلی حاصل از ارزیابی صحت نقشه‌های کاربری اراضی به روش فازی نشان‌دهنده دقت بالای این روش در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد.

نتایج این تحقیق نیز در راستای پژوهش‌های محققان دیگری همچون گان و همکاران^۱ (۲۰۱۱: ۳۷۶۳) نیز قرار دارد، آن‌ها نیز کاهش اراضی دیم و کشاورزی آبی و افزایش اراضی شهری و بایر را در محدوده مورد مطالعه خود نیز گزارش داده‌اند. اصلاح و همکاران (۱۳۹۳: ۱۰) نیز در بررسی کارایی مدل زنجیره مارکوف در برآورد تغییرات کاربری اراضی با استفاده از ماهواره لندست، مدل مارکوف و همچنین صحت آن در پیش‌بینی تغییرات کاربری مفید و قابل استفاده ذکر می‌کنند. نتایج حاصل از پژوهش آنان نشان می‌دهد که اراضی مزروعی در بازه زمانی مورد مطالعه به شدت کاهش یافته است.

کاربری در یک پیکسل، از روش فازی جهت طبقه‌بندی تصاویر در نرم‌افزار ایردس استفاده گردید. نظریه مجموعه‌های فازی به منظور از بین بردن ابهام در داده‌ها به کار می‌رود.

تحلیل تصاویر سنجش از دور با استفاده از مجموعه‌های فازی دشوار و مشکل است، اما با توجه به اینکه در داده‌های سنجش از دور، اغلب تعیین مرز بین دو رده مختلف آسان نیست، می‌توان از نظریه مجموعه‌های فازی به صورت کیفی به خوبی استفاده کرد (سفینیان و خداکرمی، ۱۳۹۰: ۱۰۰).

فرآیند مارکوف در جایی استفاده می‌شود که وضعیت آینده سیستم را بتوان به صورت کلی بر اساس وضعیت ما قبل سیستم مدل‌سازی کرد. تحلیل زنجیره مارکوف، تغییرات کاربری زمین از یک دوره به دوره دیگر را بیان کرده و از آن به عنوان پایه‌ای برای نقشه سازی تغییرات آینده استفاده می‌کند. این کار با استفاده از توسعه یک ماتریس احتمال تغییرات کاربری از زمان ۱ به زمان ۲ انجام می‌گیرد که به عنوان پایه ای برای نقشه‌سازی دوره‌های آینده استفاده خواهد شد.

نتایج حاصل از پیش‌بینی مارکوف در این تحقیق نشان می‌دهد که حدود ۱۰ درصد از اراضی کشاورزی آبی باغات در سال ۱۳۹۳ و ۳ درصد از اراضی دیم به اراضی شهری در سال ۱۴۰۷ تبدیل خواهد شد؛ همچنین ۲۱ درصد از اراضی دیم و ۸ درصد از اراضی کشاورزی آبی، مراتع و اراضی بایر سال ۱۴۰۷ را تشکیل خواهد داد که گویای نقش تحولات جمعیتی و به تبع آن نیاز به مسکن و سایر کاربری‌های مورد نیاز شهری می‌باشد. با توجه به پیش‌بینی انجام شده در این مقاله شاهد از بین رفتن اراضی کشاورزی اطراف شهر بجنورد و تبدیل آن به اراضی ساخته شده خواهیم بود. علت گسترش کاربری شهری و انسان ساخت در بازه زمانی ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۳ معرفی این شهر به عنوان مرکز استان خراسان شمالی و به تبع آن نیاز وجود زیرساخت‌های وسیع‌تر جهت پاسخ به نیازهای جمعیتی و مهاجرت به شهر بوده است. خشکسالی‌های اخیر را نیز می‌توان دلیلی بر کاهش اراضی دیمی در

1. Guan et al

اراضی جهت برنامه‌ریزی‌های آتی در این طرح‌ها استفاده گردد.

پیشنهاد می‌شود الگوهای توسعه عمودی شهری و متراکم‌سازی مورد توجه برنامه‌ریزان و مدیران شهری قرار گیرد تا از ادامه این روند رقابتی که نتیجه آن، کاهش زمین‌های مرغوب، کاهش تولید محصولات کشاورزی و کاهش سطح مراتع و اکوسیستم‌های طبیعی و ... به نفع گسترش روز افزون مناطق انسان ساخت است جلوگیری شود.

منابع

- اصلاح، مهدی. سید علی المدرسی و مهدی مفیدیفر و شاهرخ ملک زاده بافقی. ۱۳۹۳. بررسی کارایی مدل زنجیره ای مارکوف در برآورد تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست. نخستین همایش ملی کاربرد مدل‌های پیشرفته تحلیل فضایی (سنجش از دور و GIS) در آمایش سرزمین، تهران.
- رضا زاده، رضاییه. مهرداد میراحمدی. ۱۳۸۸. مدل اتوماسیون سلولی، روشی نوین در شبیه‌سازی رشد شهری، نشریه علمی پژوهشی فناوری آموزش، دوره چهارم، شماره یکم، تهران.
- سفیانیان، علیرضا و لقمان خداکرمی. ۱۳۹۰. تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از روش طبقه بندی فازی (مطالعه موردی سه زیر حوزه آبخیز کبودر آهنگ، رزن - قهاوند و خونجین - تلخاب در استان همدان، آمایش سرزمین، دوره سوم، شماره چهارم، تهران.
- علیمحمدی سراب، عباس. علی‌اکبر متکان و بابک میرباقری. ۱۳۸۹. ارزیابی کارایی مدل سلول‌های خودکار در شبیه‌سازی گسترش اراضی شهری در حومه جنوب غرب تهران. مدرس علوم انسانی - برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره چهاردهم، شماره دوم، تهران.
- قربانی، رسول. محمد رضا پور محمدی و حسن محمودزاده. ۱۳۹۳. رویکرد زیست محیطی در مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی محدوده کلانشهر تبریز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه‌ای، ارزیابی چند معیاری و سلول‌های خودکار زنجیره مارکوف (۱۳۶۳-۱۴۱۷). فصلنامه علمی و پژوهشی مطالعات شهری، دوره دوم، شماره هشتم، سنندج.

همچنین بر اساس نتایج حاصل از پژوهش قربانی و همکاران (۱۳۹۳: ۱۸) اراضی کشاورزی کاهش و رشد شهری در بازه زمانی مورد مطالعه افزایش یافته است و نتایج حاصل از بیش بینی تغییرات کاربری اراضی نیز نشان دهنده ادامه این روند بوده است. نتایج پژوهش مجیدی، (۱۳۹۳: ۹۱) در ارزیابی تغییرات اراضی حاشیه شهر ارومیه در طی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۳ و سپس پیش بینی روند تغییرات تا سال ۲۰۳۵ از روش ترکیبی زنجیره‌های مارکوف و سلول‌های خودکار نشان داد که رشد شهر ارومیه همواره باعث از بین رفتن اراضی کشاورزی و باغات این شهر و تبدیل شدن آن به اراضی مسکونی شده است.

علی محمدی و همکاران (۱۳۸۸: ۱۳۰) در مطالعه خود با عنوان پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل زنجیره‌ای مارکوف، به دلیل جزئی بودن خطای حاصل از اجرای مدل قابلیت مدل مارکوف را برای پیش بینی تغییرات کاربری اراضی بالا گزارش نموده‌اند.

پیشنهادها

پیشنهاد می‌گردد برای محدوده‌های شهری جهت دستیابی به نتایج دقیق‌تر از تصاویری با قدرت تفکیک مکانی بالاتر برای تولید نقشه‌های کاربری اراضی استفاده گردد. در صحت نتایج پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل مارکوف عوامل مختلفی از جمله بازه‌های زمانی دو تصویر استفاده شده جهت تشکیل ماتریس وضعیت تبدیل، دقت و صحت داده‌های مورد استفاده و همچنین تعداد دوره ماتریس تبدیل وضعیت دخالت دارند. انتخاب بهینه هر یک از عوامل فوق سبب خواهد شد که نتایج پیش‌بینی شده توسط مدل به واقعیت‌های زمینی نزدیک‌تر شود.

پیشنهاد می‌گردد نتایج حاصل از چنین پژوهش‌هایی با طرح‌های جامع شهری مقایسه و تا حد امکان از نتایج حاصل از پیش‌بینی تغییرات کاربری

- automata model and system dynamic model in Beijing, China, *Applied Geography*, 26: 3–4, Netherlands.
15. Guan, Dongjie, Li Haifeng and Takuro Inohae and Weici, Su and Nagaie Tadashi. 2011. Modeling Urban Land Use Change by the Integration of Cellular Automaton and Markov Model, *Ecological Modelling*, 222: 20–22, Netherlands.
 16. Li, HaiFeng, Inohae Takuro and Su Weici and Nagaie Tadashi and Hokao Kazunori. 2011. Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model. *Ecological Modelling*, 222: 20, Netherlands.
 17. Jensen, J.R. 2005. Introductory digital image processing 3rd edition, In Upper Saddle River: Prentice hall.
 18. Arsanjani, Jamal JOKAR. Wolfgang Kainz and Ali Jafar Mousivand. 2011. Tracking dynamic land use change using spatially explicit Markov Chain based on cellular automata: the case of Tehran", *International Journal of Image and Data Fusion*, 2: 4, United Kingdom.
 19. López, Erna, Gerardo Bocco and Manuel Mendoza, and Emilio Duhau. 2001, Predicting land-cover and land-use change in the urban fringe, a case in Morelia city, Mexico, *Landscape Urban Planning*, 55: 4, Netherland.
 20. Li, Xia Yeh, and Antony, G.O. 2004. Data mining of cellular automata's transition rules, *International Journal of Geographical Information Science*, 18: 8, United Kingdom.
 21. Li, Zhong, W., Zeng Guang, M. and Zhang Huan. 2007. The integrated eco-environment assessment of the red soil hilly region based on GIS a case study in Changsha City, China, *Ecological Modeling*. 202: 540–546. Netherland.
 22. Liu, Xiaoping, Li Xia and Shi Xun. Wu Shaokun, K. and Liu, Tao. 2008. Simulating complex urban development using kernel-based non-linear cellular automata. *Ecological Modeling*, 211: 1–2, Netherland.
 23. Mather, Paul M. 1999. Land Cover Classification Revisited. In: Atkinson. P. مجیدی، حسین. ۱۳۹۳. ارزیابی و شبیه‌سازی رشد آتی کلانشهر ارومیه در افق سال ۲۰۳۵ میلادی با مدل سلولهای خودکار و RS. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد. غلامعلی خمر: دانشگاه زابل، دانشکده جغرافیا، گروه جغرافیا.
 ۷. محمدی، محمود. احسان مالکی پور و علیرضا صاحبقرانی. ۱۳۹۳. مدل‌سازی گسترش شهر در اراضی پیرامونی با استفاده از سلول‌های خودکار (CA) و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) (مطالعه موردی: منطقه ۷ اصفهان). مطالعات و پژوهش‌های شهری منطقه ای، دوره پنجم، شماره هجدهم، دانشگاه اصفهان.
 ۸. مخدوم، مجید. ۱۳۹۳. شالوده آمایش سرزمین، نوبت پانزدهم، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.
 9. Bhatta, B. Saraswati, S and Bandyopadhyay, D. 2010. Quantifying the degree-of- freedom, degree-of-sprawl, and degree-of-goodness of urban growth from remote sensing data, *Applied Geography*, 30: 1, Netherlands.
 10. Kamusoko, Courage. Aniya Masamu and Bongo Adi and Munyaradzi Manjoro. 2009. Rural sustainability under threat in Zimbabwe simulation of future land use/cover changes in the Bindura district based on the Markov–cellular automata model, *Applied Geography*, Vol 29: No 3, Netherlands.
 11. Hu, Zhiyong, and Lo, C.P. 2007. Modeling urban growth in Atlanta using logistic regression. *Computers, Environment and Urban Systems*, 31: 6. United Kingdom.
 12. Han, Ji. Hayashi yoshotisugu and Cao Xin and Imura Hidefomi. 2009. Application of an integrated system dynamics and cellular automata model for urban growth assessment: a case study of Shanghai, China, *Landscape and Urban Planning*, 91: 3, Netherlands.
 13. Houet, Thomas and Laurence Hubert-Moy. 2006. Modeling and projecting land-use and land-cover changes with Cellular Automaton in considering landscape trajectories." *EARSel eProceedings*, 5: 1, United States
 14. He, Chunyang. Okada Norio and Zhang Qiaofeng and Shi Peijun and Zhang, Jingshui. 2006. Modeling urban expansion scenarios by coupling cellular

- fragmented, extensive? A comparison of urban growth in twenty-five global cities using remotely sensed data, pattern metrics and census information. *Urban Studies*, 45: 30, United Kingdom.
30. Taubenböck, Hannes. Thomas Esch and Andreas Felbier and Michael Wiesner and Achim Roth, and Stefan Dech. 2012. Monitoring urbanization in mega cities from space. *Remote sensing of Environment*, 117, Netherland.
31. Vaz, Eric. Nijkamp Peter and Painho Marco, and Caetano Mario. 2012. A multi-scenario forecast of urban change: a study on urban growth in the Algarve, *Landscape and Urban Planning*, 104: 20, Netherland.
32. Wu, Flong. 2002, Calibration of stochastic cellular automata: the application to rural-urban land conversions. *International Journal of Geographical Information Science*, 16: 8, United Kingdom.
33. Weng, Qihao. 2002. Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modeling"; *Journal of Environmental Management* , 64: 3, United state.
34. Wang, Jing. Yongqi Chen and Xiaomei Shao and Yanyu Zhang, and Yingui Cao. 2012. Land-use changes and policy dimension driving forces in China: Present, trend and future. *Land Use Policy*, 29, Netherland.
- M. and Tate, N.J., (Eds.). *Advances in Remote Sensing and GIS Analysis*, UK: John Wiley and Sons, United States.
24. Manibhushan, Nilanchal Patel. Gadadhar Sahoo and Anil Kumar Singh. 2013. Image classification for different land use and land covers using fuzzy logic for the improvement of accuracies, *Journal of Agricultural Science*, 3: 278, United Kingdom.
25. Patino, Jorge. E. and Duque Juan, C. 2013. A review of regional science applications of satellite remote sensing in urban settings. *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol 37: 1-17. United Kingdom.
26. Moghadam, Hossein Shafizadeh, and Marco Helbich. 2013. Spatiotemporal urbanization processes in the megacity of Mumbai, India: A Markov chains-cellular automata urban growth model", *Applied Geography*, 40: 140-149. Netherland.
27. Sylvertown, Jonthan. Holtier Sennino. 1992. Cellular automaton models of inter specific competition for space the effect of pattern on process, *Journal of Ecology*, 80: 3, United Kingdom.
28. Soe, Minit. Le Weng. 2006. Multicriteria decision approach for land use and land cover change using Markov chain analysis and a cellular automata approach, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 32: 6, United Kingdom.
29. Schneider, Annemarie. Woodcock Curtis. 2008. Compact, dispersed,