



فصلنامه علوم محیطی، دوره هفدهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۸

۲۲۹-۲۴۶

## اعتبارسنجی و پیش‌بینی سناریو محور تغییرات کاربری زمین‌های حوضه آبخیز

### بیرجند در افق ۱۴۰۴

الهام یوسفی روبیات\* و فاطمه جهانی شکیب

گروه محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۱۹

**یوسفی روبیات، ا. و ف. جهانی شکیب. ۱۳۹۸.** اعتبارسنجی و پیش‌بینی سناریو محور تغییرات کاربری زمین‌های حوضه آبخیز بیرجند در افق ۱۴۰۴. فصلنامه علوم محیطی. ۱۷(۲): ۲۲۹-۲۴۶.

**سابقه و هدف:** در حال حاضر آشکارسازی و مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین‌ها با استفاده از تصویرهای ماهواره‌ای ابزاری سودمند برای درک تغییرات آینده محیط زیستی مرتبط با فعالیت‌های انسانی بحساب می‌آیند. پایش این تغییرها، ما را در درک درست از روند توسعه در گذشته و الگوهای آتی یاری می‌دهد و ابزار بسیار مهمی برای تجزیه و تحلیل دلیل‌ها و پیامدهای شکل‌گیری و گسترش کاربری‌ها بمنظور درک بهتر عملکرد سیستم‌های پوشش زمین‌ها، مدیریت پوشش زمین‌ها و شناسایی پهنه‌های حساس شناخته می‌شوند. ولی بکارگیری الگوهای پیش‌بینی شده نیازمند اعتبارسنجی و اصلاح مواردی است که مدل، قادر به پیش‌بینی آن‌ها نیست. در این پژوهش با استفاده از پردازش تصویرهای ماهواره‌ای و مدل زنجیره خودکار مارکوف، تغییرهای کاربری زمین‌ها برای حوضه آبخیز بیرجند در افق ۱۴۰۴ مدل‌سازی، پیش‌بینی و اعتبارسنجی شده است.

**مواد و روش‌ها:** در تحقیق حاضر با استفاده از تصویرهای لندست ۷، سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۴ و لندست ۸، سال ۲۰۱۴ به آشکارسازی و مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین‌ها پرداخته شده است. سپس به کمک مدل زنجیره خودکار مارکوف، تغییرهای کاربری زمین‌ها در سال ۲۰۱۴ پیش‌بینی و مدل‌سازی شده است. بمنظور اعتبارسنجی روش مدل‌سازی، میزان توافق و توافقی نداشتن نقشه پیش‌بینی و نقشه طبقه‌بندی شده براساس ضرایب مختلف کاپا (کاپای استاندارد، کاپای مکانی در سطح سلول و کلاس) برآورد شده است. با اعتبارسنجی صورت گرفته تغییرها در سال ۲۰۲۴ معادل با افق موردنظر با اعتبار نسبی بالایی، پیش‌بینی شد. در نهایت به کمک شناسایی پیش‌ران‌های اصلی توسعه، چهار سناریوی توسعه تدوین شد و از بین آن‌ها سناریوی محتمل مبتنی بر رشد جمعیت و میزان مساحت مورد نیاز انتخاب شد.

**نتایج و بحث:** نتایج گویای این پژوهش در فرآیندهای آشکارسازی، اعتبارسنجی مدل، پیش‌بینی و اصلاح آن توسط سناریونویسی نشان داد که مساحت افزایش یافته در کاربری کشاورزی ۵۲۵/۰ کیلومتر مربع و کاربری شهری ۱۸/۹ کیلومتر مربع خواهد بود و با صحت بالای ۹۸ درصد شبیه‌سازی تغییرات کاربری آینده انجام شده است. از سویی دیگر با توجه به برآیند پیش‌ران‌ها و مصاحبه با خبرگان متخصص، احتمال رخ دادن سناریوی شماره ۳ (وقوع ۷۰٪ تغییرات ادامه وضع موجود) بیشتر خواهد بود. همچنین از مقایسه‌ی دو نقشه در واحدهای مختلف روندی حاصل شد، که نشان دهنده‌ی آن بود که با افزایش واحدهای مقایسه و دانه درشت شدن آن، مقدار توافق نداشتن موجود به سمت توافق بیشتر پیش می‌رود. همچنین ملاحظه می‌شود، کاپای مکانی در سلول و کاپای مکانی در کلاس و کاپای عدم اطلاعات دارای اعداد یکسان و متفاوت از کاپای استاندارد هستند.

\*Corresponding Author: Email Address. e\_yusefi\_31@birjand.ac.ir

**نتیجه‌گیری:** با توجه به نتایج به دست آمده، بعد مکانی - فضایی برای پیشرفت شهری سمت شمال شهر و به درستی تشخیص داده شده است. در عین حال میزان تغییرات کاربری کشاورزی و شهری - روستایی به میزان کمی، کمتر پیش‌بینی شده که در مورد کاربری کشاورزی این میزان را می‌توان به احداث تصفیه خانه آب و فاضلاب شهر نسبت داد و در مورد کاربری شهری این میزان به رشد شهری متفاوت در بازه‌های مورد بررسی برمی‌گردد. همچنین با وجود بالا بودن اعتبار و دقت پیش‌بینی، برخی پیش‌بینی‌های اصلی توسعه دارای قابلیت پیش‌بینی در آینده، توسط مدل را نداشته‌اند. بنابراین پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های مربوط به پیش‌بینی تغییرات، افزون بر اعتبارسنجی شیوه مدل‌سازی، تنها به نتایج نهایی بسنده نشود، بلکه با در نظر گرفتن پیش‌بینی‌های توسعه به اصلاح نتایج حاصل از مدل نیز اقدام شود.

**واژه‌های کلیدی:** زنجیره خودکار مارکوف، اعتبارسنجی، پیش‌بینی، سناریو، حوضه آبخیز بیرجند.

## مقدمه

کاربری و پوشش زمین‌ها رخ داده است، مفیدترین اطلاعات برای مدیران منطقه‌ای نخواهد بود، بلکه سرعت و دلیل تغییر عامل‌های کنترل‌کننده آن نیز باید مشخص گردد. (Ramezani and Jafari, 2014) تاکنون مدل‌های گوناگون برای مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین‌ها بکارگرفته شده است، که می‌توان این مدل‌ها را به سه دسته تقسیم نمود: مدل‌های تجربی و آماری، مانند زنجیره‌های مارکوف (Kamusoko et al., 2009) و مدل رگرسیون (HuandLo, 2007)، مدل‌های پویا از جمله ماشین‌های سلولی (Han et al., 2009) و مدل‌های تلفیقی (Vaz et al., 2012). (Hu and Lo (2007) در مقایسه‌ای بین روش‌های مختلف بیان می‌کنند که مدل‌های رگرسیونی برای بررسی کمی تغییر و تجزیه و تحلیل زمانی، کاربرد کمتری دارند. ولی در مقابل، زنجیره‌های مارکوف با محاسبه احتمالات تحول کاربری زمین‌ها و میزان تغییر آن‌ها ابزار کاربردی‌تری محسوب می‌شوند (Courage et al, 2009; Thapa and Murayama, 2011; Guan et al., 2011; Ghosh et al., 2017; Rimal et al., 2017; lu et al., 2018; Hamad et al., 2018) در پژوهش‌های داخل کشور نیز زنجیره مارکوف توسط محققان برای ترکیب معیارهای اقتصادی - اجتماعی و طبیعی در مدل‌سازی کاربری زمین‌ها مورد استفاده قرار گرفته است (Zahheri, 2008; Ali Mohammadi et al., 2010; Sardashti et al., 2010; Taleshi et al., 2018; Raheli Namin and Mortazavi, 2018; Mombeni and Asgari, 2018; Ildemi et al., 2018; Ebrahimi and Kamali, 2017; Rahnama et al., 2017) همچنین در

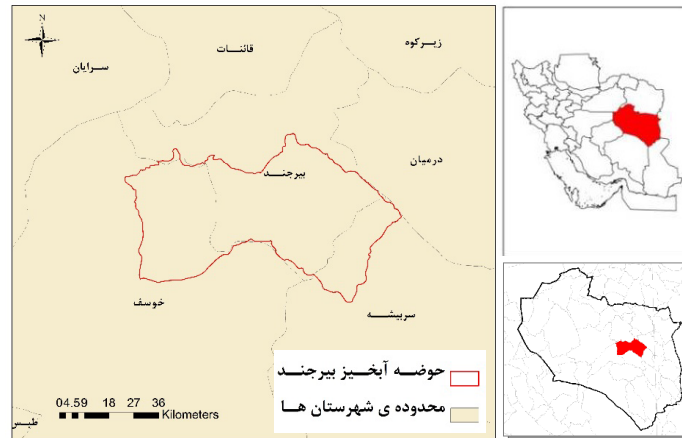
مدل‌های تغییرهای پوشش سرزمین، ابزاری بسیار مهمی برای تجزیه و تحلیل دلیل‌ها و پیامدهای شکل‌گیری و گسترش کاربری‌ها بمنظور درک بهتر عملکرد سیستم‌های پوشش زمین‌ها، مدیریت پوشش زمین‌ها و شناسایی پهنه‌های حساس شناخته می‌شوند (Verburg et al., 2004). اطلاعات حاصل از این مدل‌ها، برای تجزیه و تحلیل نحوه استفاده از سرزمین در وضعیت موجود و پیش‌بینی وضعیت پوشش سرزمین در سال‌های آینده بکارگرفته می‌شوند (Taheri et al., 2013). نوع کاربری زمین‌ها و پوشش سرزمین را در واقع می‌توان نتیجه‌ی روابط متقابل عامل‌های اجتماعی - فرهنگی و توان بالقوه‌ی سرزمین دانست (Oñate-Valdivieso and Sendra, 2010). امروزه مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین‌ها در کنار پیش‌بینی تغییرات با دقت قابل قبول با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور امکان پذیر می‌باشد (Bhatta et al., 2010). در دهه‌های اخیر ظهور علم سنجش از راه دور منجر به کشف راهبردهای گوناگون در پژوهش‌هایی مانند تعیین تغییرات کاربری/پوشش زمین در یک اکوسیستم، تجزیه و تحلیل پویایی تغییرات ژئومورفولوژیکی اشکال مختلف زمین و غیره شده است (Sang et al., 2011). اطلاعات مربوط به کاربری/پوشش زمین و امکان استفاده بهتر از آن برای انتخاب، برنامه‌ریزی و اجرای طرح‌های کاربری زمین برای رفع نیازهای روزافزون نیازهای انسانی و رفاه انسان ضروری است (Nguyen et al., 2018). البته دانستن این که چگونه و کجا، چه نوع تغییر

زمین‌ها، پیش‌بینی کاربری زمین‌های آینده مشکل است و در این راستا تحلیل سناریو، ابزاری را برای کمک به بررسی آینده فراهم می‌کند (Rounsevell *et al.*, 2006). تحلیل سناریو برای کشف دامنه وسیعی از شرایط بالقوه آینده در کاربری زمین‌ها و پوشش زمین استفاده می‌شود (Sohl *et al.*, 2012). برنامه‌ریزی مبتنی بر سناریو<sup>۴</sup> ابزار برنامه‌ریزی راهبردی برای دوره‌ی میان مدت به بلندمدت تحت شرایط قطعیت نداشتن<sup>۵</sup> است. این نوع برنامه‌ریزی کمک می‌کند تا راهبردها بهبود یابند، برنامه‌هایی برای مقابله با رویدادهای غیرمنتظره طراحی شود و در مسیر صحیح به درستی گام برداشته شود و همچنین نیروهای پیشران، عامل‌های کلیدی، بازیگران اصلی و قابلیت‌ها برای اعمال نفوذ شناخته شوند (Lindgren and Bandhold, 2003). مولفه‌های کلیدی برای گسترش سناریوها بنابر رویکرد کلاسیک شامل نیروهای پیشران داخلی و خارجی می‌شود (March, Therond and Leenhardt, 2012)؛ پیشران‌های بیوفیزیکی شامل ویژگی‌ها و فرآیندهای محیط‌زیست طبیعی همانند تغییرات آب و هوا، لندفورم، توپوگرافی، توالی گیاهی، فرآیندهای خاک، الگوهای زهکشی و غیره می‌شود. پیشران‌های اجتماعی اقتصادی شامل عامل‌های نهادی، سیاسی، اقتصادی، اجتماعی، جمعیت‌شناسی و غیره می‌شود (Bryasulys *et al.*, 2009). در این پژوهش برای پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین‌ها از مدل زنجیره خودکار مارکوف برای پیش‌بینی تغییرات کاربری کشاورزی و شهری در حوضه آبخیز بیرجند استفاده شده است. یکی از تفاوت‌های این پژوهش با دیگر پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین‌ها با استفاده از زنجیره مارکوف و اتوماتای سلولی استفاده از سناریونویسی برای حل ضعف این روش و انعطاف پذیری بیشتر آن است زیرا این روش آینده را بر اساس روند تغییرات گذشته پیش‌بینی می‌کند، که احتمال دارد این روند در آینده تغییر کند و مورد دوم اعتبارسنجی و سنجش میزان توافق و توافق نداشتن نقشه پیش‌بینی و نقشه طبقه بندی شده براساس ضرایب مختلف کاپا (کاپای استاندارد، کاپای مکانی در سطح سلول و کلاس) است.

مقایسه با تجزیه و تحلیل رگرسیون، تلفیق زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار (CA)<sup>۱</sup>، بر داده‌های جامع سرشماری که اغلب در کشورهای در حال توسعه کمیاب است، متکی نیست (Shafizadeh Moghadam and Helbich, 2013). همچنین Vaz *et al.* (2012) بیان می‌دارند، مدل‌های پویا برای پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین‌ها در آینده نسبت به روش‌های تجربی و آماری کاربردی هستند، ولی روش‌های تجربی و آماری نیز می‌توانند بعنوان روشی تکمیل کننده همراه با مدل‌های پویا استفاده شوند. به هر جهت کاربرد یک مدل تلفیقی که ترکیبی از تکنیک‌های مدل‌سازی مختلف باشد احتمالاً نتیجه بهتری جهت بهبود و درک فرآیندهای تغییر استفاده از زمین بیان می‌کند.

CA عبارتست از یک سیستم دینامیک متشکل از یک مجموعه سلول که بر روی یک شبکه یک یا چندبعدی قرار گرفته‌اند. حالت هر سلول در هر شبکه فضائی معمولی، به حالت قبلی همان سلول و همچنین حالت سلول‌های همسایه بستگی دارد (Malczewski, 2004). از آنجا که مدل‌های CA به گونه‌ی ضمنی، فضائی هستند در موارد شبیه‌سازی توسعه شهری و کاربری‌های دیگر از جمله شبیه‌سازی تغییرات کاربری زمین‌ها، عبور و مرور در آزادراه و یا گسترش آتش، مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Clarke and Gaydos, 1998). همچنین اجتماع CA با GIS و برآورد چند معیاره، نیز مورد مطالعه قرار گرفته است (Wu, 1998).

در مورد اعتبارسنجی<sup>۲</sup> روش‌های مختلفی نیز وجود دارد که در این بین Pontiu *et al.* (2007) را می‌توان نام برد، که در آن نقشه جنگل زدایی شبیه‌سازی شده از طریق مدل BLM<sup>۳</sup> برای ۱۸ اجرای متفاوت، نسبت به یک نقشه مرجع از سال ۱۹۹۹ مورد مقایسه قرار دادند و میزان توافق را از طریق شاخص کاپای توافق، بصورت نماد Kstandard معرفی نمودند و افزون بر آن Kno (کاپا برای اطلاعات نداشتن)، Klocation (کاپا برای موقعیت مکانی در سطح سلول شبکه)، KlocationStrata (کاپا برای موقعیت مکانی در سطح زیربخش) را مطرح نمودند. با وجود پیشرفت در یکپارچگی پیشران‌های بیوفیزیکی و اجتماعی-اقتصادی تغییر کاربری



شکل ۱- نقشه موقعیت حوضه آبخیز بیرجند  
Fig.1- Map of the location of Birjand watershed

## مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق حوضه آبخیز بیرجند استان خراسان جنوبی است (شکل ۱). این حوضه از نظر موقعیت جغرافیایی بین ۴۱° ۵۸' تا ۴۴° ۵۹' طول شرقی و ۳۲° ۴۳' تا ۳۳° ۸۱' عرض شمالی قرار گرفته است و با میانگین بارش سالانه ۱۴۰ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت ۱۶/۵ درجه سانتی‌گراد، براساس طبقه‌بندی‌های اقلیمی جزء منطقه‌های خشک محسوب می‌شود.

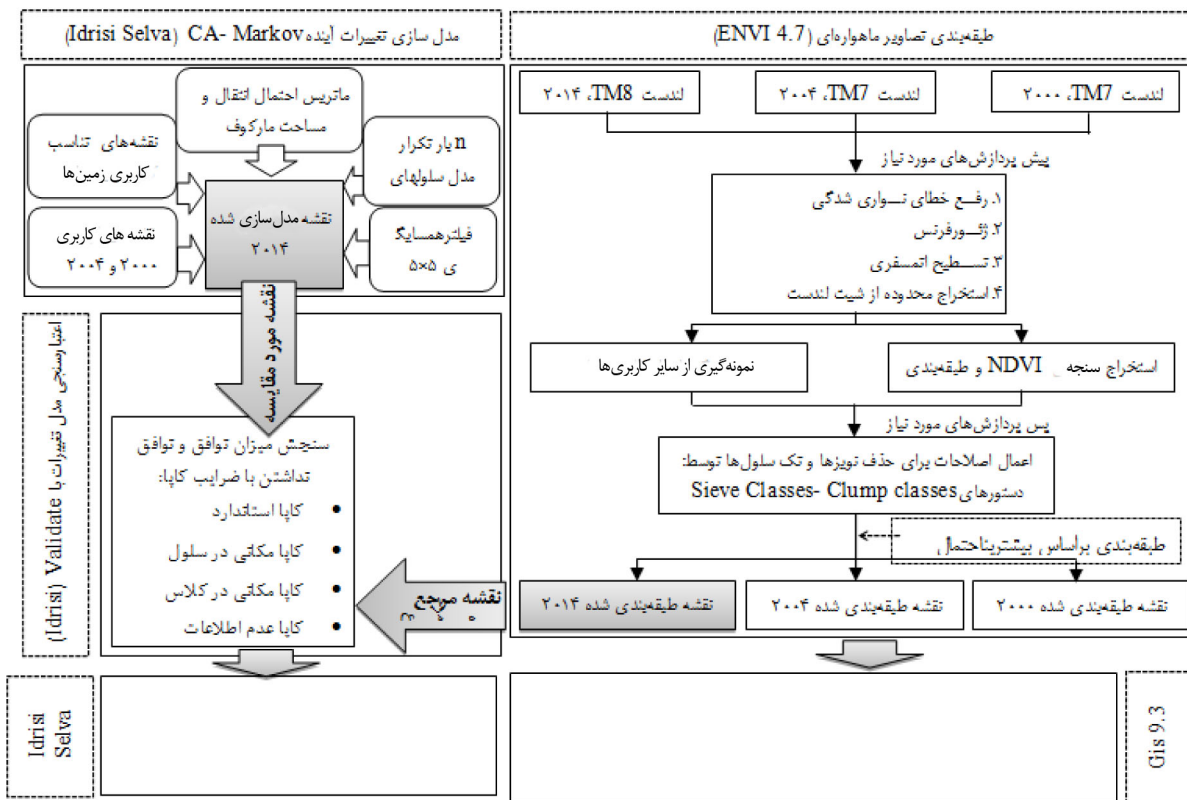
در این پژوهش از داده‌های سنجنده TM ماهواره لندست ۷ مربوط به سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۴ و لندست ۸ در سال ۲۰۱۴ برای تعیین و ارزیابی تغییرات کاربری زمین‌های حوضه آبخیز بیرجند استفاده گردید. در انتخاب این تصاویر معیارهای کمترین تراکم ابر (کمتر از ۱۰ درصد) و بیشترین پوشش گیاهی (هر سه تصویر در ماه جولای یا تیرماه است زیرا در فصل تابستان منطقه دارای بیشترین پوشش گیاهی است) لحاظ گردید.

تحقیق حاضر مطابق با نمودار موجود در شکل شماره (۲) ابتدا با استفاده از تصاویر لندست ۷ سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۴ لندست ۸ سال ۲۰۱۴ به آشکارسازی و مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین‌ها پرداخته است. سپس به کمک مدل زنجیره خودکار مارکوف، تغییرات کاربری زمین‌ها در سال ۲۰۱۴ پیش‌بینی و مدل‌سازی شده است. بمنظور اعتبارسنجی روش مدل‌سازی، میزان توافق و توافقت نداشتن نقشه پیش‌بینی و

نقشه طبقه‌بندی شده براساس ضرایب مختلف کاپا برآورد گردیده است. در نهایت با تعیین اعتبار نسبی روش مدل‌سازی، نقشه تغییرات کاربری زمین‌ها برای سال ۲۰۲۴ در حوضه آبخیز بیرجند در سناریوهای مختلف پیش‌بینی گردید. هدف نهایی این تحقیق اعتبارسنجی و پیش‌بینی کاربری زمین‌ها در افق ۱۴۰۴ است. این هدف به نوبه خود، اطلاعات لازم برای استفاده در الگوریتم‌های تعیین کاربری زمین‌ها خواهد بود. در فرآیند آشکارسازی، ضمن بی‌نیاز بودن تصحیح رادیومتریک بدلیل نوع سنجنده، فصل برداشت تصاویر و شرایط جوی محدوده مورد مطالعه، مجموعه‌ای از عملیات پیش پردازش نظیر تصحیح خطای نواری شدن و ژئورفرنس نمودن و تصحیح اتمسفری تصاویر انجام شد.

سپس سنجه نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی (NDVI)<sup>۶</sup> بر اساس اختلاف باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک تعیین گردید، دلیل این امر خاصیت جذب نور قرمز توسط رنگدانه‌های موجود در کلروفیل، که سبب می‌شود گیاهان انعکاس کمتری در این باند و انعکاس شدیدی در باند مادون قرمز نزدیک داشته باشند (Fatemi and Rezaei, 2006). این سنجه از رابطه (۱) به‌دست می‌آید.  $P_{red}$  و  $P_{nir}$  بترتیب بازتابندگی در باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز است. مقادیر این سنجه بین -۱ و +۱ بوده و نشان دهنده پوشش گیاهی است که محدوده تغییرات معمول برای پوشش گیاهی بین ۰/۲ تا ۰/۸ است.

$$NDVI = \frac{P_{nir} - P_{red}}{P_{nir} + P_{red}} \quad (1)$$



شکل ۲- مراحل کلی انجام تحقیق  
 Fig. 2- The main steps of the research process

آموزشی برای هر کلاس بصورت تصادفی از سطح محدوده مورد مطالعه جمع آوری و سپس ماتریس خطای طبقه بندی استخراج گردید. با توجه به وسعت منطقه‌ی مورد مطالعه و پیچیدگی بالای منطقه که دارای منطقه‌های کوهستانی با مساحت قابل توجه بوده است و بازتاب نور در کوهستان به دلیل جهت‌های مختلف و کانی‌های گوناگون موجود، سبب ایجاد خطا در طبقه بندی توسط نرم افزار Envi می‌باشد. همچنین بدلیل خشک بودن منطقه بسیاری از روستاها و پوشش‌های گیاهی در لابه لای کوه‌ها و بر روی دامنه‌ی کوه‌ها قرار داشتند. مرحله‌ی تسطیح دستی خروجی نهایی طبقه بندی با توجه به لایه‌های کمکی در نرم افزار GIS ضروری تشخیص داده شد و در آنجا پس از مقایسه با لایه‌ی روستاها، لایه‌ی کاربری زمین‌های تهیه شده توسط سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری استان خراسان جنوبی، خروجی سنجه NDVI، تصاویر ماهواره‌ای لندست و تصاویر گوگل ارث به اصلاح نقشه‌های طبقه بندی شده پرداخته شد.

انتخاب نمونه‌های آموزشی با هدف به دست آوردن الگوی تشخیص و طبقه بندی دیگر پدیده‌ها انجام شد. در انتخاب نمونه‌های آموزشی سعی گردید این نمونه‌ها بطور پراکنده در کل تصویر پخش شده باشند تا طبقه بندی از دقت بالایی برخوردار باشد. همچنین بازدید صحرایی برای شناخت محدوده، انتخاب کاربری‌های موجود در محدوده و انتخاب نمونه‌های آموزشی برای معرفی به نرم افزار برای طبقه بندی نظارت شده برای سال‌های بیان شده انجام پذیرفت. در این تحقیق برای طبقه بندی تصاویر ماهواره‌ای و استخراج نقشه کاربری و پوشش زمین‌ها از روش بیشترین احتمال (MAXLIK)<sup>7</sup> که از روش‌های دقیق برای طبقه بندی نظارت شده تصاویر ماهواره‌ای محسوب می‌شود، استفاده شده است. در مرحله‌ی پس پردازش و ارزیابی دقت طبقه بندی، به کمک دستوره‌های Sieve classes و Clump classes برای از بین بردن نویزها و تک سلول‌ها در طبقه بندی‌های به دست آمده اجرا شد. برای انجام ارزیابی صحت، نمونه‌های

به وضعیت‌های مختلف تغییر پیدا می‌کند (Rezazadeh and Mirahmadi, 2009; Thomas and Laurence, 2006). اعتبارسنجی نقشه‌ی مدل‌سازی شده در سال ۲۰۱۴ با مرجع قرار دادن نقشه طبقه بندی شده سال گفته شده با استفاده از رویه‌ای به نام Validate انجام گرفت. اساس کار این رویه بر پژوهش‌های متعددی استوار است (Pontius, 2000; Pontius and Schneider, 2001; Pontius, 2008; Pontius and Millones, 2007; *et al.*). در این رویه میزان توافق و توافق نداشتن بر اساس هفت پارامتر انجام می‌شود. سپس با استفاده از توابعی، سنجه کاپای توافق بصورت نماد Kstandard یا کاپای استاندارد معرفی شده است. افزون بر آن، Kno (کاپا برای اطلاعات نداشتن)، Klocation (کاپا برای موقعیت مکانی در سطح سلول شبکه)، KlocationStrata (کاپا برای موقعیت مکانی در سطح کلاس) توسعه یافته‌اند. با تعیین میزان نسبی اعتبار روش مدل‌سازی تغییرات آینده، میزان تغییرات کاربری در افق ۱۴۰۴ معادل با سال ۲۰۲۴ میلادی پیش‌بینی گردید. در این پژوهش مهمترین نیروهای پیشران در رابطه با کاربری زمین‌ها در دوره‌ی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ بررسی گردید. در نهایت با توجه به پیشران‌های فهرست شده و مصاحبه با خبرگان متخصص چهار سناریو برای پیش‌بینی مدل تغییرات کاربری زمین‌ها در افق ۱۴۰۴ پیشنهاد گردید.

## نتایج و بحث

آشکارسازی و طبقه‌بندی: نتایج حاصل از آشکارسازی تغییرات پوشش گیاهی از تصویر ماهواره‌ای به کمک سنجه NDVI در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۴ و ۲۰۱۴ به دست آمد. بعنوان نمونه، سنجه پوشش گیاهی در سال ۲۰۱۴ در شکل (۳) نمایش داده شده است. پس از پیش پردازش‌ها، نمونه‌گیری و پس پردازش‌ها نقشه‌های کاربری زمین‌ها با روش بیشترین احتمال در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۴ و ۲۰۱۴ بترتیب به شرح اشکال ۴، ۵ و ۶ به دست آمد. جدول (۱) مساحت کاربری زمین‌های سال‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

مدل‌سازی و اعتبارسنجی: با استفاده از تصاویر طبقه بندی شده سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۴، تغییرات کاربری آینده در سال

پیش‌بینی و مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین‌های آینده به کمک مدل زنجیره خودکار مارکوف، انجام شده است. زنجیره مارکوف یکی از روش‌های معتبر برای مدل‌سازی تغییرات پوشش کاربری زمین‌ها با استفاده از روند فعلی است. فرض اساسی مدل زنجیره مارکوف این است که وضعیت کاربری زمین‌ها در آینده ( $t+1$ ) را می‌توان بعنوان یک تابع از کاربری حال حاضر ( $t$ ) بصورت رابطه (۲) تعریف کرد

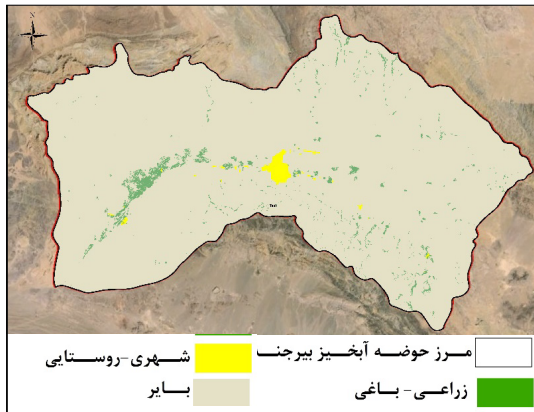
$$x(t+1) = f(xt) \quad (2)$$

که در آن  $x(t+1)$  نشان دهنده کاربری زمین‌ها در زمان  $t+1$  و  $x$  نشان دهنده کاربری زمین‌ها در زمان  $t$  است (Thomas and Laurence, 2006). ساختار مدل زنجیره مارکوف در مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین‌ها شامل یک بردار ( $N$ ) با ابعاد  $M \times 1$  ( $M$  نشان دهنده تعداد کلاس کاربری‌هاست) که توصیف کننده توزیع کاربری حال حاضر و یک ماتریس  $M \times M$  احتمال انتقال ( $P$ ) بین هر جفت از کلاس کاربری زمین‌های  $i$  و  $j$  است. احتمال انتقال طبق رابطه (۳) محاسبه می‌گردد.

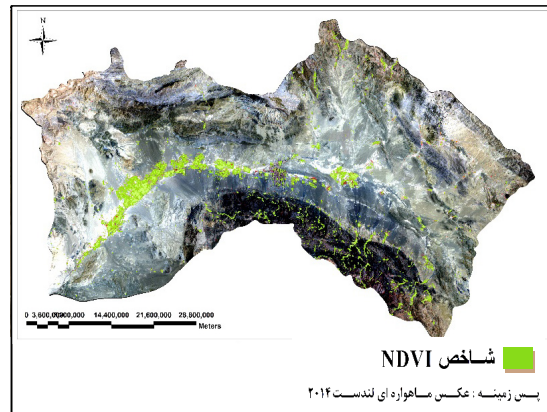
$$\sum_{j=1}^m p_{ij} = 1 \quad i = 1.2.3 \dots m \quad (3)$$

مشخصه اصلی زنجیره مارکوف این است که موقعیت مکانی تغییرات را در نظر نگرفته و عبارتی هیچ درک جغرافیایی ایجاد نمی‌کند (Jokar Arsanjani *et al.*, 2011). به همین دلیل برای اضافه کردن عنصر مکانی به مدل سلول‌های خودکار استفاده می‌شود (Soe and Le, 2006). الگوی بهینه در مدل سلول‌های خودکار با استفاده از توابع انتقالی، شبکه سلولی و وضعیت آن‌ها، همسایگی و روابط متقابل بین سلول تعیین می‌شود (Ali Mohammadi Sarab, 2010). توابع انتقالی در مدل سلول‌های خودکار مجموعه‌ای از شرایط و توابعی هستند که تعریف می‌کنند چگونه حالت هر سلول از زمان  $t$  به  $t+1$  تغییر خواهد کرد (Liu *et al.*, 2008). 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

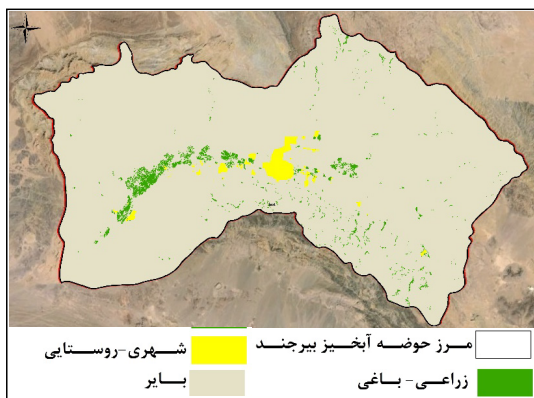




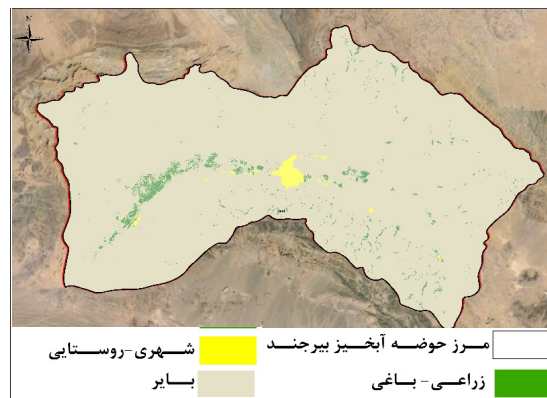
شکل ۴- کاربری زمین‌های حوضه آبخیز بیرجند (سال ۲۰۰۰)  
Fig. 4- Land use in Birjand watershed (2000)



شکل ۳- سنجش پوشش گیاهی حوضه آبخیز بیرجند (سال ۲۰۱۴)  
Fig. 3- Vegetation index of Birjand watershed (2014)



شکل ۶- کاربری زمین‌های حوضه آبخیز بیرجند (سال ۲۰۱۴)  
Fig. 6- Land use in Birjand watershed (2014)



شکل ۵- کاربری زمین‌های حوضه آبخیز بیرجند (سال ۲۰۰۴)  
Fig. 5- Land use in Birjand watershed (2004)

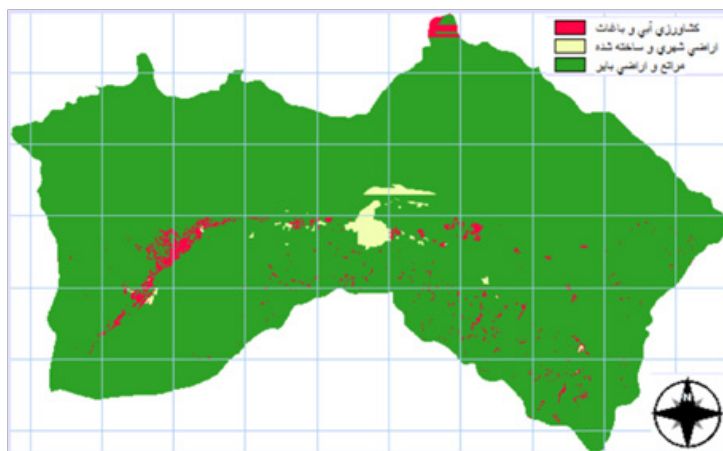
جدول ۱- مساحت کاربری زمین‌ها در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۴ و ۲۰۱۴

Table 1. Area of land use in 2000, 2004, and 2014

2000		2004		2014		سال Year
درصد %	کیلومتر مربع Km <sup>2</sup>	درصد %	کیلومتر مربع Km <sup>2</sup>	درصد %	کیلومتر مربع Km <sup>2</sup>	کلاس کاربری زمین‌ها Land use type
2.21	76.0214	2/3	78.790	2.07	70.915	کشاورزی آبی و باغ‌ها Irrigated agriculture
0.73	25.121	0.83	28.685	1.13	49.154	زمین‌های شهری و ساخته شده Urban land
97.05	3324.33	96.8	3317.91	96/4	33.5.30	مرتع و زمین‌های بایر Renge and barren lands

انجام شد. مقادیر توافق و توافق نداشتن نقشه‌های مدل‌سازی و پیش‌بینی سال ۲۰۱۴ بصورت پارامترهای هفت گانه بشرح جدول (۲) محاسبه گردید. همچنین مقایسه میزان شباهت و توافق به روش اعتبارسنجی Validate چهار نوع کاپا (کاپای استاندارد، کاپای اطلاعات نداشتن، کاپای مکانی در سطح سلول و کاپای مکانی در سطح کلاس) به شرح نمودار موجود در شکل (۸) است، که منتج از محاسبات هفت پارامتر بیان شده است.

۲۰۱۴ توسط مدل زنجیره‌ی خودکار مارکوف انجام گرفت. تصاویر احتمالی شرطی خروجی از این روش در طبقه بندی تصاویر با روش بیشترین احتمال نیز مورد استفاده می‌گیرد. سپس نقشه مدل‌سازی و پیش‌بینی سال ۲۰۱۴ با مدل زنجیره خودکار مارکوف بصورت شکل (۷) به دست آمد. بمنظور اعتبارسنجی روش مدل‌سازی در برآورد میزان تغییرات کاربری زمین‌ها، مقادیر مختلف کاپا به کمک رویه Validate



شکل ۷- تغییرات مدل سازی شده‌ی کاربری زمین‌ها ۲۰۱۴ بر پایه تغییرات سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۰  
Fig. 7- Modeled land use change in 2014, based on changes in 2000 and 2004

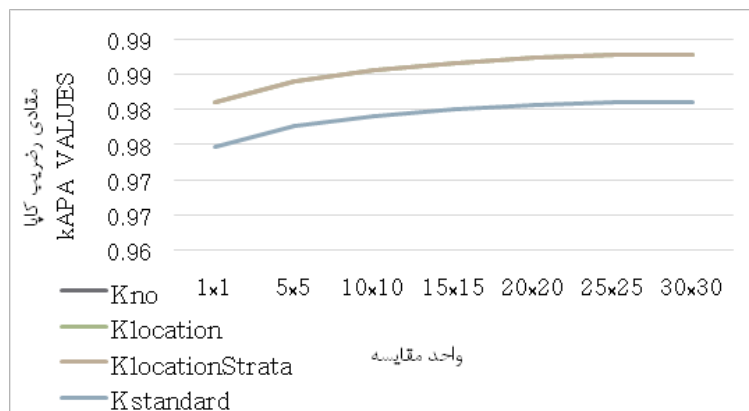
جدول ۲- میزان توافق و توافقی نداشتن میان نقشه‌های طبقه بندی و مدل سازی شده سال ۲۰۱۴  
Table 2. The amount of agreement and disagreement between categorized and modeled maps in 2014

30×30	25×25	20×20	15×15	10×10	5×5	1×1	نوع اجزا / اندازه سلول Cell size/Type
0.2770	0.2734	0.2707	0.2673	0.2634	0.2587	0.25	توافق با توجه به شانسی Agreement according to luck
0.2377	0.2371	0.2358	0.2361	0.2356	0.2361	0.2376	توافق با توجه به مقدار Agreement according to the amount
0	0	0	0	0	0	0	توافق در سطح کلاس Agreement in class level
0.4762	0.4803	0.4840	0.4867	0.4905	0.4939	0.4994	توافق در سطح سلول Agreement in cell level
0.0058	0.0059	0.0062	0.0066	0.0071	0.0080	0.0096	توافقی نداشتن در سطح سلول Disagreement in cell level
0	0	0	0	0	0	0	توافقی نداشتن در سطح کلاس Disagreement in class level
0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	توافقی نداشتن با توجه به مقدار Disagreement according to the amount

این تحقیق انتخاب شده بود، به کمک کاربری زمین‌های سال ۲۰۰۴ و ۲۰۱۴ با استفاده از مدل اعتبارسنجی شده زنجیره خودکار مارکوف به شبیه سازی و پیش‌بینی روند تغییرات کاربری‌ها برای سال‌های آتی پرداخته شد. برای کار با شبکه خودکار مارکوف به سه داده‌ی ورودی نیاز است: اول، یک نقشه طبقه بندی شده کاربری زمین‌های سال پایه (۲۰۱۴)، دوم ماتریس احتمال تغییر مساحت‌های مارکوف که از طریق درصد احتمال تغییر کاربری موجود در جدول (۳) به دست آمده است. این جدول درصد احتمال تغییر هر یک از کاربری‌ها

از مقایسه‌ی دو نقشه در واحدهای مختلف روندی حاصل شد، که نشان دهنده‌ی آن بود، که با افزایش واحدهای مقایسه و دانه درشت شدن آن، مقدار توافق نداشتن موجود به سمت توافق بیشتر پیش می‌رود (شکل ۸). ملاحظه می‌شود در اینجا کاپای مکانی در سلول و کاپای مکانی در کلاس و کاپای اطلاعات نداشتن دارای اعداد یکسان و متفاوت از کاپای استاندارد هستند. در نهایت نتایج حاصل از اعتبارسنجی نشان داد با صحت بالای ۹۸ درصد شبیه‌سازی تغییرات کاربری آینده انجام شده است. از آنجا که سال ۲۰۲۴ (۱۴۰۴ شمسی) بعنوان افق پیش‌بینی در





شکل ۸- نمودار روند تغییر واحدهای مقایسه در میزان توافق  
 Fig. 8- Diagram of the process of change of comparison units in the degree of agreement

پیشران تغییر کاربری زمین‌ها در دوره‌ی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ به ترتیب تغییرات جمعیتی، سطح رفاه مردم، عقاید و طرز تفکر مردم درباره‌ی معیارهای خوب زیستن، طرح‌های کلان مسکن (مسکن مهر)، تقسیم‌های سیاسی مهم مانند تفکیک خراسان جنوبی و انتخاب شهر بیرجند بعنوان مرکزیت استان، خشکسالی، احداث تصفیه خانه فاضلاب، انتقال گاز، برق و دیگر خدمات به روستاها شناسایی شده است. در نتیجه این پیشران‌ها، منطقه مورد مطالعه شاهد کاهش اختلاف زندگی شهری و روستایی از لحاظ خدمات بوده است چرا که در چند سال اخیر سبب رونق گرفتن و بازگشت درصدی از روستاییان شده است.

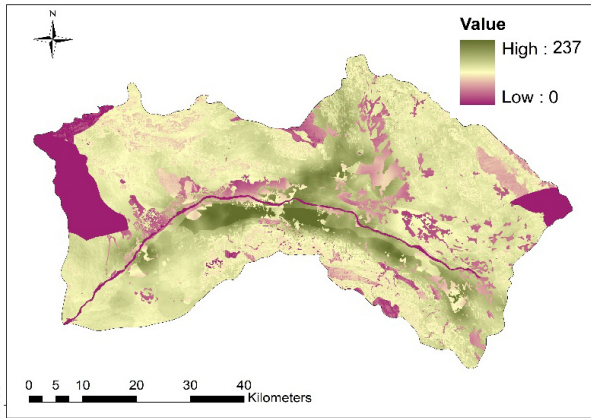
از لحاظ ساختار جمعیت و مهاجرت با توجه به نمودارهای موجود در شکل (۱۱) از دو دهه‌ی گذشته رشد جمعیتی استان، روند به شدت کاهشی داشته و همان طور که در نمودار شکل (۱۲) مشخص است. می‌توان پیش‌بینی کرد میزان جمعیت در سال ۲۰۲۴ روند کاهشی خواهد داشت. بنابراین رشد زمین‌های ساخته شده نیز کاهش خواهد داشت. البته

به کاربری‌های دیگر را در ده سال آینده در حوضه آبخیز بیرجند نشان می‌دهد، وسوم نقشه‌ی ارزش گذاری شده است. بنابراین اشکال (۹) و (۱۰) به ترتیب شایستگی منطقه برای کاربری کشاورزی و شهری با استفاده از تکنیک Anp Fuzzy مورد استفاده قرار گرفت. دلیل ساخت این نقشه‌ها بدین سبب می‌باشد که بر اساس مفهوم روش سلول‌های خودکار احتمال تغییرات در سلول‌های همسایه‌ی حاشیه‌ی هر کاربری امتیاز بالاتری دارد. در نهایت یک بار با استفاده از تصاویر ۲۰۰۰ و ۲۰۱۴ میزان تغییرات کاربری‌ها در سال ۲۰۲۴ پیش‌بینی و مدل‌سازی گردید و بار دیگر با استفاده از تصاویر ۲۰۰۴ و ۲۰۱۴ نقشه‌ی سال ۲۰۲۴ مدل‌سازی شد؛ که با مقایسه‌ی آن دو، نقشه‌ی کاربری زمین‌های به‌دست آمده از سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۱۴ جواب بهتری را نشان داد، که در شکل (۱۱) نشان داده شده است. بنابراین در این قسمت یک سناریوی تحلیل تغییرات کاربری زمین‌ها برای نقشه‌سازی تغییرات در ۱۰ سال آینده توسعه داده شد.

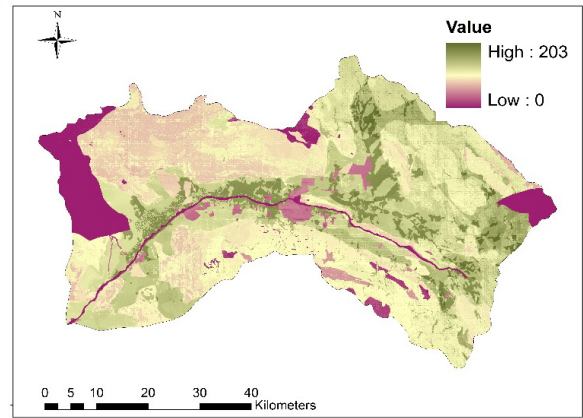
سناریونویسی: در بخش سناریونویسی مهمترین نیروهای

جدول ۳- درصد احتمال تغییر کاربری‌های حوضه آبخیز بیرجند تا سال ۲۰۲۴  
 Table 3. Percentage of the probability of changing land use in Birjand watersheds by 2024

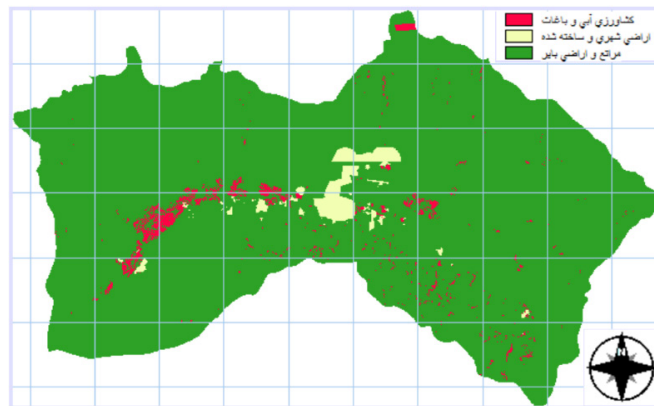
مرتج‌ها و زمین‌های بایر Renge and barren	زمین‌های شهری و ساخته شده Urban land use	کشاورزی آبی و باغ‌ها Irrigated agriculture	کلاس کاربری زمین‌ها Land use type
0.3034	0.0040	0.6926	کشاورزی آبی و باغ‌ها Irrigated agriculture
0.0490	0.9468	0.0042	زمین‌های شهری و ساخته شده Urban land use
0.9868	0.0064	0.0067	مرتج‌ها و زمین‌های بایر Renge and barren lands



شکل ۱۰- نقشه شایستگی کاربری شهری با استفاده از ANP fuzzy  
Fig 10. Urban suitability map using ANP fuzzy and WLC



شکل ۹- نقشه شایستگی کاربری کشاورزی با استفاده از ANP fuzzy  
Fig 9. Agriculture suitability map using ANP fuzzy and WLC



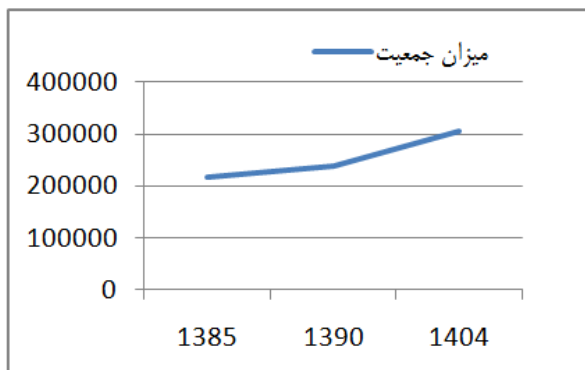
شکل ۱۱- تغییرات پیش بینی شده کاربری زمین ها در سال ۲۰۲۴ (افق ۱۴۰۴)  
Fig. 11- Forecasted land use change in 2024 (1404 horizon)

با توجه به برآیند پیشرانها و مصاحبه با خبرگان متخصص، چهار سناریو برای پیش بینی مدل تغییرات کاربری زمین ها در افق ۱۴۰۴ پیشنهاد شده عبارتند از:

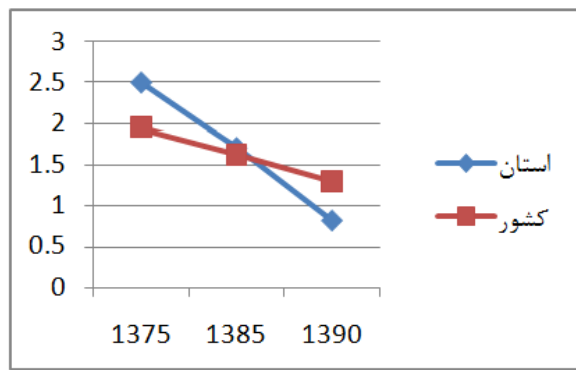
- ✓ سناریوی ۱: سناریوی پیش بینی براساس سابقه تاریخی و استفاده از زنجیره خودکار مارکوف به کمک تصاویر سال های ۲۰۰۰، ۲۰۰۴ و ۲۰۱۴ (ادامه وضع موجود)
- ✓ سناریوی ۲: رخ دادن ۶۰ درصد تغییرات محتمل بر اساس سناریوی ۱
- ✓ سناریوی ۳: رخ دادن ۷۰ درصد تغییرات محتمل بر اساس سناریوی ۱
- ✓ سناریوی ۴: رخ دادن ۸۵ درصد تغییرات محتمل بر اساس سناریوی ۱

بر اساس نظرهای خبرگان و کارشناسی و دلیل های از پیش بیان شده، احتمال رخ دادن سناریوی شماره ۳ بیشتر خواهد بود. جدول ۴ میزان مساحت هر یک از کاربری ها در

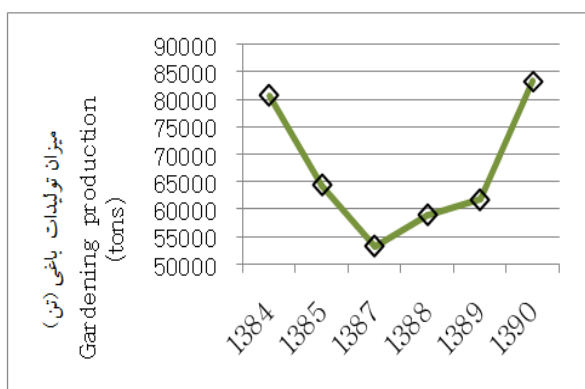
بررسی هرم سنی جمعیت استان نشان می دهد، در چند سال گذشته و در پی سیاست های تشویقی دولت و فرهنگ سازی ها، کم کم قاعده هرم که نشان دهنده میزبان زاد و ولدها است رشد کاهشی ممتد خود را کنار گذاشته و در حال پهن تر شدن خواهد بود. بنابراین نمی توان سناریوهای افزایش رشد جمعیت را در عین احتمال پایین آن، کنار گذاشت. زیرا قسمت پهن هرم به افراد جوان دارای قابلیت باروری تعلق دارد و در صورت مولد بودن این روند کاهشی، جبران خواهد شد. همچنین با توجه به رشد شتابان شهر در ۱۰ سال گذشته بویژه طرح مسکن مهر و رکود چند ساله ای مسکن و متوقف شدن این طرح و همچنین کاهش ۷۵ درصدی ساخت و ساز در سال گذشته و میزان خانه های خالی موجود میزان رشد تغییرات در دهه ای آینده به میزان ده سال گذشته پیش بینی نمی شود.



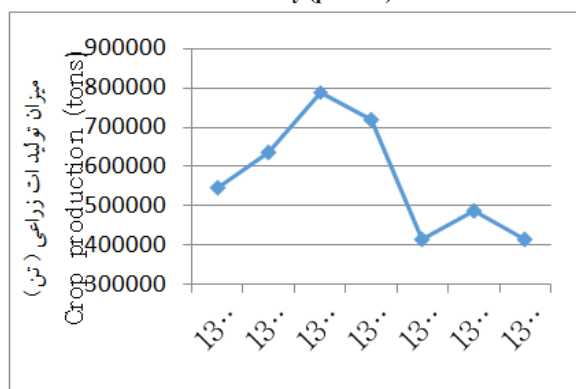
شکل ۱۳- میزان رشد جمعیت در افق ۱۴۰۴  
Fig. 13- Population growth rate in 1404 horizon



شکل ۱۲- مقایسه رشد جمعیت استان با کشور (درصد)  
Fig. 12- Comparison of population growth in the province and the country (percent)



شکل ۱۵- روند تولیدهای باغی  
Fig. 15- Trend of gardening products



شکل ۱۴- روند تولیدهای زراعی  
Fig. 14- Trend of crop products

جدول ۴- وضعیت سناریوهای محتمل برای میزان مساحت کاربریها (کیلومتر مربع) در افق ۱۴۰۴  
Table 4. Status of possible scenarios for user area (Km<sup>2</sup>) in 1404 horizon

سناریوی ۴ Scenario 4	سناریوی ۳ Scenario 3	سناریوی ۲ Scenario 2	سناریوی ۱ Scenario 1	وضع موجود Current situation	کلاس کاربری زمینها Land use type
71.44	71.33	71.25	71.55	70.805	کاربری کشاورزی و زراعی Irrigated agriculture
64.87	67.71	60.15	67.71	48.812	کاربری شهری و ساخته شده Urban land use
3288.7	3291.64	3273.96	3285.75	3305.4	کاربری مرتع و بایر Renge and Barren

کاربری کشاورزی و سکونتگاهها در سطح منطقه به کمک مدل زنجیره خودکار مارکوف تعیین شد، که از دو نظر با پژوهشهای مشابه خود دارای تفاوت است، اولین مورد رفع مشکل انعطاف پذیر نبودن مدل زنجیره مارکوف در پیش بینی آینده با استفاده از سناریو نویسی و مورد دوم اعتبارسنجی نتایج با استفاده از انواع کاپا می باشد. برای این منظور ابتدا با استفاده از نقشه کاربری سالهای ۲۰۰۰ و ۲۰۰۴، نقشه کاربری سال ۲۰۱۴ و ماتریس احتمال تبدیل در این بازه زمانی به دست آمد. سپس با مقایسه

سناریوهای مختلف در افق آتی را بیان می کند.

### نتیجه گیری

بطور معمول در مدل سازی تخصیص کاربری پس از تهیه نقشه های تناسب، به محاسبه مساحت مورد نیاز کاربریها پرداخته می شود (Karimi, 2010). برآورد میزان تقاضای کاربریها نیز با استفاده از مدل های اجتماعی-اقتصادی، روش های آماری، روش های برنامه ریزی خطی چندهدفه و یا زنجیره مارکوف انجام می شود. در این پژوهش، مساحت مورد نیاز

باوجود بالابودن اعتبار و دقت پیش‌بینی، برخی پیش‌بینی‌های اصلی توسعه دارای قابلیت پیش‌بینی در آینده، توسط مدل را نداشته‌اند.

بمنظور اصلاح و در نظر گرفتن تغییرات پیش‌بینی نشده توسط مدل زنجیره خودکار مارکوف، بعد از پیش‌بینی میزان تغییرات کاربری‌ها، چند سناریو بر پایه پیش‌بینی‌های اصلی توسعه نوشته شد. در دهه‌ی گذشته بدلیل انتخاب شهر بیرجند بعنوان مرکز استان خراسان جنوبی، طرح مسکن مهر، تغییرات جمعیتی و خشکسالی تغییرات کاربری‌ها سریع و شدید بوده است، ولی پیش‌بینی می‌شود، این تغییرات در دهه‌ی آینده به این میزان نباشد. بنابراین از بین سناریوهای مختلف، سناریوی محتمل با احتمال وقوع ۷۰ درصد از تغییرات پیش‌بینی شده (سناریوی ۳) منتج از زنجیره خودکار مارکوف با توجه به مستندات و نظرات کارشناسان انتخاب شد. نتایج گویای این پژوهش طی فرآیندهای آشکارسازی، اعتبارسنجی مدل، پیش‌بینی و اصلاح آن توسط سناریونویسی نشان داد؛ مساحت افزایش یافته در کاربری کشاورزی برابر با ۲۱۰ سلول ۵۰ در ۵۰ متر معادل با ۰/۵۲۵ کیلومتر مربع و در کاربری شهری ۷۵۶۰ سلول ۵۰ در ۵۰ متر معادل با ۱۸/۹ کیلومتر مربع خواهد بود. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های مربوط به پیش‌بینی تغییرات، افزون بر اعتبارسنجی شیوه مدل‌سازی، تنها به نتایج نهایی بسنده نشود بلکه با در نظر گرفتن پیش‌بینی‌های توسعه به اصلاح نتایج حاصل از مدل اقدام شود.

### پی‌نوشت‌ها

- <sup>1</sup> Cellular Automata (CA)
- <sup>2</sup> Validation
- <sup>3</sup> Behavioral Landscape Model (BLM)
- <sup>4</sup> Scenario Planning
- <sup>5</sup> Uncertainty
- <sup>6</sup> Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)
- <sup>7</sup> Maximum Likelihood

Ahadnejad, M. and Rabet, A., 2010. Evaluation and forecast of Haman Impacts Based on Land use changes using Multi Temporal Satellite Imagery and GIS: A Case Study on Zanjan, Iran (1984-2009). Proceedings of The Joint International Conference on Theory, Data Handling and

نقشه کاربری مدل‌سازی شده و نقشه آشکارسازی شده از تصاویر ماهواره‌ای سال ۲۰۱۴، اعتبار روش مدل‌سازی شده و اطلاعات مورد استفاده برآورد گردید. اعتبارسنجی با صحت بالای ۹۸ درصد شبیه‌سازی امکان پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین‌های آینده را در سال ۲۰۲۴ فراهم کرد. میزان خطای کل در برآورد تغییرات آینده برابر ۱/۱۹ درصد و میزان دقت کل برابر با ۹۸/۸۰ درصد ارزیابی شد، بنابراین پیش‌بینی با دقت بالایی از لحاظ مساحت کاربری‌ها صورت گرفته و قابل قبول خواهد بود. برآورد دقت یا صحت نقشه‌های مدل‌سازی شده با ضریب کاپا که بطور معمول در مقایسه با حالت تصادفی انجام می‌شود، برای زمان‌هایی کاربرد دارد که با کمبود اطلاعات مواجه هستیم، بنابراین هنگام داشتن اطلاعات بیشتر از وضعیت محیط زیست منطقه یک نقشه پایه می‌تواند کارآمدتر واقع شود. در این تحقیق نیز با بکارگیری روش آشکارسازی تغییرات نقشه مرجع به جای نقشه تصادفی برای اعتبارسنجی نقشه مدل‌سازی شده فراهم گردید.

همچنین از بعد مکانی - فضایی نیز برای پیشرفت شهری سمت شمال شهر و به درستی تشخیص داده شد. درعین حال دیده می‌شود که میزان تغییرات کاربری کشاورزی و شهری - روستایی به مقدار کمی، کمتر پیش‌بینی شده که در مورد کاربری کشاورزی این میزان را می‌توان به احداث تصفیه خانه آب و فاضلاب شهر نسبت داد که سبب شده در اطراف آن کشاورزی صورت بگیرد و این بر اساس مدل قابل پیش‌بینی نبوده و در مورد کاربری شهری نیز با توجه به اینکه رشد شهری در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۴ کمتر از میزان رشد در سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۱۴ بوده است، این تفاوت وجود دارد زیرا سیاست طرح مسکن مهر و همچنین مرکز استان شدن شهر بیرجند در سال ۲۰۰۴ موجب رشد شهری بیشتری در طول ۱۰ سال گذشته شده است. ولی بطور کلی بر مبنای دقت ۹۸/۸۰ درصد که بسیار مناسب بوده پیش‌بینی برای سال ۲۰۲۴ انجام گردید.

### منابع

Vodelling in Geo Spatial Information Science. 26th-28th May, Hong kong.

Ali Mohammadi Sarab, A., Motakan, A. and Mirbageri, B., 2010. Evaluation of the Efficiency of Cellular Autom-

- ata Model in Simulation of Urban Distribution in the Suburbs of Southwest of Tehran. *Space planning and design*. 2, 82-102. (In Persian).
- Bandhold, H. and Lindgren, M., 2003. *Scenario planning, the link between future and strategy*. Palgrave Macmillan Publisher: London.
- 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, 96-111.
- Bryasulys, H., 2009. Analytical patterns of land use change. Translation by Rafiean, M., Mahmoudi, M. Azarakhsh Press. Tehran, Iran. (In Persian).
- Clarke, K.C. and Gaydos, L.J., 1998. Loose-coupling a cellular automaton model and GIS: long-term urban growth prediction for San Francisco and Washington/Baltimore. *International Journal of Geographical Information Science*. 12(7), 699-714.
- Courage, K., Masamu, A., Bongo, A. and Munyaradzi, M., 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*. 29, 435–447.
- Ebrahimi, F. and Kamali, A., 2017. Predict possible change in land use by using satellite imagery and CA-Markov model. *Journal of Water and Soil Conservation*. 24(4), 259-271. (In Persian).
- Fatemi, S.A. and Rezaei, Y., 2008. *The basics of remote sensing*. Azadeh Press. Tehran, Iran. (In Persian)
- Ghosh, P., Mukhopadhyay, A., Chanda, A., Mondal, P., Akhand, A., Mukherjee, S., Nayak, S.K., Ghosh, S., Mitra, D., Ghosh, T. and Hazra, S. 2017. Application of cellular automata and markov-chain model in geospatial environmental modeling-A review. *Remote Sensing Ap- plications: Society and Environment*. 5, 64-77.
- Guan, D., Li, H., Inohae, T., Su, W., Nagaie, T. and Hokao, K., 2011. Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model. *Ecological Modelling*. 222(20), 3761-3772.
- Hamad, R., Balzter, H. and Kolo, K., 2018. Predicting land use/land cover changes using a CA-Markov Model under two different scenarios. *Sustainability*. 10(10), 3421.
- Han, J., Hayashi, Y., Cao, X. and Imura, H., 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, 133 - 141.
- Hu, Z. and Lo, C., 2007. Modeling urban growth in Atlanta using logistic regression. *Computers. Environment and Urban Systems*. 31, 667 - 688.
- Ildemi, A.R., Noori, H., Naderi, M., Aghabeig, S. and Zanee Vand, H., 2018. Land use change prediction using Markov chain and CA Markov Model (case study: Gareen Watershed). *Journal of Watershed Management Research*. 8(16), 232-240. (In Persian).
- Jokar Arsanjani, J., Kainz, W. and Mousivand, A., 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, 329-345.
- Kamusoko, C., Aniya, M., Adi, B. and Manjoro, M.R., 2009. Rural sustainability under threat in Zimbabwe e simulation of future land use/cover changes in the Bindura district based on the Markov-cellular automata model. *Applied Geography*. 29, 435- 447.
- Karimi, M., 2010. *Development of Multi-criteria analysis methods for land use allocation*. Ph.D. Thesis. Khaje Nasir Tusi University, Tehran, Iran.



- Liu, X.P., Li, X., Shi, X., Wu, S.K. and Liu, T., 2008. Simulating complex urban development using kernel-based non-linear cellular automata. *Ecological Modelling*. 211, 169–181.
- López, E., Boccoa, G., Mendoza, M. and Duhau, E., 2001. Predicting land-cover and land-use change in the urban fringe, A case in Morelia city, Mexico. *Landscape Urban Planning*. 55, 271-285.
- Lu, Q., Chang, N.B., Joyce, J., Chen, A.S., Savic, D.A., Djordjevic, S. and Fu, G., 2018. Exploring the potential climate change impact on urban growth in London by a cellular automata-based Markov chain model. *Computers, Environment and Urban Systems*. 68, 121-132.
- Malczewski, J., 2004. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. *Progress in Planning*. 62(1), 3-65.
- March, H., Therond, O. and Leenhardt, D., 2012. Water futures: Reviewing water-scenario analyses through an original interpretative framework. *Ecological Economics*. 82, 126– 137.
- Mombeni, M. and Asgari, H.R., 2018. Monitoring, assessment and prediction of spatial changes of Land Use / Cover using Markov Chain Model (case study: Shushtar-Khuzestan). *Scientific - Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*. 27(105), 35-47. (In Persian).
- Oñate-Valdivieso, F. and Sendra, J.B., 2010. Application of GIS and remote sensing techniques in generation of land use scenarios for hydrological modeling. *Journal of Hydrology*. 395(3-4), 256-263.
- O'Sullivan, D. and Unwin, D.J., 2003. *Geographic Information Analysis*. John Wiley and Sons. USA.
- Pontius, R.G. and Millones, M., 2008. Problems and solutions for kappa-based indices of agreement. *Studying, Modeling and Sense Making of Planet Earth*. Mytilene. Greece.
- Pontius, R.G. and Schneider, L.C., 2001. Land-cover change model validation by an ROC method for the Ipswich watershed, Massachusetts, USA. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 85 (1-3), 239-248.
- Pontius, R.G., 2000. Quantification error versus location error in comparison of categorical maps. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 66(8), 1011-1016.
- Pontius, R.G., Walker, R., Yao-Kumah, R., Arima, E., Aldrich, S., Caldas, M. and Vergara, D., 2007. Accuracy assessment for a simulation model of Amazonian deforestation. *Annals of The Association of American Geographers*. 979(4), 677-695.
- Raheli Namin, B. and Mortazavi, S., 2018. Predicting the spatial land use changes and development of residential areas using CA\_Markov and Geomod methods. Case study: Ghara-su basin, Golestan Province. *Geographical Space Journal*. 18(62), 159-169. (In Persian).
- Rahnama, M., Ajza Shokouhi, M. and Ata, B., 2017. Detection of land use / land cover changes in Gonbad-e-Kavus City using remote sensing. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*. 26(103), 147-160. (In Persian).
- Ramezani, N. and Jafari, R., 2014. Land use and land cover change detection in 1404 using CA Markov chain model (Case study: Esfaraen). *Journal of Geographic Research*. 29(4), 83-96. (In Persian).
- Reza Zadeh, R. and Mir Ahmadi, M., 2009. Cellular automata model, a new approach to the simulation of urban growth. *Journal of Technology Education*. 1, 47-55. (In Persian).
- Rimal, B., Zhang, L., Keshtkar, H., Wang, N. and Lin, Y., 2017. Monitoring and modeling of spatiotemporal urban expansion and land-use/land-cover change using integrated markov chain cellular automata model. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 6(9), 1-21.
- Rounsevell, M.D.A., Reginster, I., Araujo, M.B., Carter, T.R., Dendoncker, N., Ewert, F., House, J.I., Kankaanpaa,

- S., Leemans, R., Metzger, M.J., Schmit, C., Smith, P. and Tuck, G., 2006. A coherent set of future land use change scenarios for Europe. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 114, 57–68.
- Sang, L., Zhang, C., Yang, J., Zhu, D. and Yun, W., 2011. Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA–Markov model. *Mathematical and Computer Modelling*. 54(3-4), 938-943.
- Sardashty, M., Ghanavati, A. and Zahiyan, P., 2010. Detection of land use change in the Taleghan watershed from 1987 to 2002 using Landsat satellite imagery and Remote Sensing. 9th National Geomatics Conference. 9th-10th May, Tehran.
- Shafizadeh Moghadam, H. and Helbich, M., 2013. Spatiotemporal urbanization processes in the megacity of Mumbai, India: A Markov chains-cellular automata urban growth model. *Applied Geography*. 40, 140-149.
- Soe, W.M. and Le, W., 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, 390–404.
- Sohl, T.L., Sleeter, B.M., Saylor, K.L., Bouchard, M.A., Reker, R.R., Bennett, S.L., Sleeter, R.R., Kanengieter, R.L. and Zhu, Z., 2012. Spatially explicit land-use and land-cover scenarios for the United States. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 153, 1– 15.
- Taheri, M., Ghulam Ali Fard, M., Reyahi Bakhtiari, A.S.R. and Rahim Oghli, Sh., 2013. Modeling of Land Cover Changes in Tabriz City using artificial neural network and Markov Chain. *Natural Geography Research*. 45(4), 97-112. (In Persian).
- Taleshi, M., Afrakhteh, H. and Rahimipour Sheikhaninejad, M.A., 2018. Monitoring and simulation of land cover pattern in rural areas of East Guilan using Markov chain model & cellular automata. *Geographical Space Journal*. 18(61), 295-316. (In Persian).
- Thapa, R.B. and Murayama, Y., 2011. Urban growth modeling of Kathmandu metropolitan region, Nepal. *Computers, Environment and Urban Systems*. 35(1), 25-34.
- Thomas, H. and Laurence, H.M., 2006. Modelling and projecting land-use and land-cover changes with a cellular automaton in considering landscape trajectories: an improvement for simulation of plausible future states. *EARSeLeProceedings*. 5, 63–76.
- Vaz, E., Nijkamp, P., Painho, M. and Caetano, M., 2012. A multi-scenario forecast of urban change: a study on urban growth in the Algarve. *Landscape and Urban Planning*. 104, 201- 211.
- Verburg, P.H., Schot, P.P., Dijst, M.J. and Veldkamp, A., 2004. Land use change modeling: current practice and research priorities. *GeoJournal*. 61(4), 309-324.
- Zahheri, M., 2008. The role of the propagation of the city of Tabriz in the Making of land use change in the suburbs and peninsula areas (case study: Elwasfli, Marawab Gardens, Shadabad Mishihkh and Kandrud Villages). *Geography and Development Journal*. 11, 1-6.





Environmental Sciences Vol.17/ No.2 / Summer 2019

229-246

## Scenario-based validation and prediction of land use changes in Birjand watershed in 1404

Elham Yusefiroobiat\* and Fatemeh Jahanishakib

Department of environment, Faculty of environment, University of Birjand

Received: 2018.07.10 Accepted: 2018.11.10

**Yusefiroobiat, E. and Jahanishakib, F., 2019.** Scenario-based validation and prediction of land use changes in Birjand watershed in 1404. *Environmental Sciences*. 17(2): 229-246.

**Introduction:** Nowadays, detection and modeling land use changes using satellite imagery is a useful tool for understanding future environmental changes associated with human activities. Monitoring these changes will help us understand the development process in the past and future patterns. Land-cover change models are important tools for analyzing the causes and consequences of shaping and expanding land uses for a better understanding of the performance of land cover systems and management and identifying sensitive areas. But applying the predicted patterns requires validation and correction of cases that the model can't predict. In this research, using satellite imagery processing and Cellular Automated Markov chain (CA-Markov) model, agriculture and urban land use changes of Birjand watershed were modeled and predicted in 1404.

**Material and methods:** In the present study, first land use changes were revealed and modeled using Landsat 7 in 2000, and Landsat 8 in 2014. Then, using the CA-Markov Model, land use changes in 2014 were predicted and modeled. To validate the modeling method, the consistency and inconsistency between the predicted map and the classified map were estimated on different kappa (Kstandard, Kno, Klocation, and KlocationStrata) coefficients. Validation of the changes in 2024 was predicted with high relative validity. Finally, by identifying the main drivers of developments, four scenarios of development were developed. A probable scenario based on population growth and the required area was selected among them.

**Results and discussion:** The results of this research showed the detection, validation, prediction and correction of the model by scenario analysis. The increase in agricultural and urban lands will be 0.525 and 18.9 km<sup>2</sup>, respectively. Validating with an accuracy of over 98%, the simulation allowed prediction of future land use changes in 2024. From different scenarios, the probable scenario with an occurrence probability of 70% of the forecasted changes (scenario 3) resulting from the CA-Markov was selected according to the documentations and experts' opinions. Also, a comparison of two maps in different units resulted in a trend that by increasing the comparison units and coarse grain, the amount of the disagreement would go further towards the agreement. It is noted here that the Klocation in the cell, KlocationStrata, and Kno had the

---

\*Corresponding Author: *Email Address:* e\_yusefi\_31@birjand.ac.ir

same numbers, and different from the Kstandard.

**Conclusion:** According to the results, the spatial dimension of urban development in the north of the city was correctly identified. At the same time, the level of agricultural and urban-rural changes was less predicted. In the case of agriculture land use, this lower prediction was due to the construction of urban sewage treatment and in the case of urban land use, this difference can also be attributed to different urban growth in different periods. Also, despite the credibility and accuracy of prediction, some of the main drivers of development have no predictability by the model in the future. Therefore, it is suggested that research in predicting changes, in addition to validating the modeling approach, not only satisfy the final results, but also modify the results of the model by taking into account development drivers.

**Keywords:** Cellular Automated Markov, Validation, Prediction, Scenario, Birjand watershed.

