



## اعتبارسنجی و پیش بینی سناریو محور تغییرات کاربری زمین های حوضه آبخیز

### بیرجند در افق ۱۴۰۴

الهام یوسفی رویات\* 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 رویات، ا. و ف. جهانی شکیب. ۱۳۹۸. اعتبارسنجی و پیش بینی سناریو محور تغییرات کاربری اراضی حوضه آبخیز بیرجند در افق ۱۴۰۴. فصلنامه علوم محیطی. ۱۷(۲): ۲۴۱-۲۲۵.

**سابقه و هدف:** در حال حاضر آشکارسازی و مدل سازی تغییرات کاربری زمین ها با استفاده از تصویر های ماهواره ای ابزاری سودمند برای درک تغییرات آینده محیط زیستی مرتبط با فعالیت های انسانی بحساب می آیند. پایش این تغییر ها، ما را در درک درست از روند توسعه در گذشته و الگوهای آتی یاری می دهد و ابزار بسیار مهمی برای تجزیه و تحلیل دلیل ها و پیامدهای شکل گیری و گسترش کاربری ها بمنظور درک بهتر عملکرد سیستم های پوشش زمین ها، مدیریت پوشش زمین ها و شناسایی پهنه های حساس شناخته می شوند. ولی بکارگیری الگوهای پیش بینی شده نیازمند اعتبارسنجی و اصلاح مواردی است که مدل، قادر به پیش بینی آن ها نیست. در این پژوهش با استفاده از پردازش تصویر های ماهواره ای و مدل زنجیره خودکار مارکوف، تغییر های کاربری زمین ها برای حوضه آبخیز بیرجند در افق ۱۴۰۴ مدل سازی، پیش بینی و اعتبارسنجی شده است.

**مواد و روش ها:** در تحقیق حاضر با استفاده از تصویر های لندست ۷، سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۴ و لندست ۸، سال ۲۰۱۴ به آشکارسازی و مدل سازی تغییرات کاربری زمین ها پرداخته شده است. سپس به کمک مدل زنجیره خودکار مارکوف، تغییر های کاربری زمین ها در سال ۲۰۱۴ پیش بینی و مدل سازی شده است. به منظور اعتبارسنجی روش مدل سازی، میزان توافق و توافق نداشتن نقشه پیش بینی و نقشه طبقه بندی شده براساس ضرایب مختلف کاپا(کاپای استاندارد، کاپای مکانی در سطح سلول و کلاس) برآورد شده است. با اعتبارسنجی صورت گرفته تغییر ها در سال ۲۰۲۴ معادل با افق مورد نظر با اعتبار نسبی بالایی، پیش بینی شد. در نهایت به کمک شناسایی پیشران های اصلی توسعه، چهار سناریوی توسعه تدوین شد و از بین آن ها 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، پیش بینی 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 شبیه سازی تغییرات کاربری آینده انجام شده است. از سویی دیگر با توجه به برآیند پیشران ها و مصاحبه با خبرگان متخصص، احتمال رخ دادن سناریوی شماره ۳ (وقوع ۷۰٪ تغییرات ادامه وضع موجود) بیشتر خواهد بود. همچنین از مقایسه ی دو نقشه در واحدهای مختلف روندی حاصل شد، که نشان دهنده ی آن بود که با افزایش واحدهای مقایسه و دانه درشت شدن آن، مقدار توافق نداشتن موجود به سمت توافق بیشتر پیش می رود. همچنین ملاحظه می شود، کاپای مکانی در سلول و کاپای

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

مکانی در کلاس و کاپای عدم اطلاعات دارای اعداد یکسان و متفاوت از کاپای استاندارد هستند.

**نتیجه‌گیری:** با توجه به نتایج به دست آمده، بعد مکانی- فضایی برای پیشرفت شهری سمت شمال شهر و به درستی تشخیص داده شده است. درعین حال میزان تغییرات کاربری کشاورزی و شهری- روستایی به میزان کمی، کمتر پیش بینی شده که در مورد کاربری کشاورزی این میزان را می توان به احداث تصفیه خانه آب و فاضلاب شهر نسبت داد و در مورد کاربری شهری این میزان به رشد شهری متفاوت در بازه های مورد بررسی برمی گردد. همچنین با وجود بالابودن اعتبار و دقت پیش بینی، برخی پیشران های اصلی توسعه دارای قابلیت پیش بینی در آینده، توسط مدل را نداشته اند. بنابراین پیشنهاد می شود در پژوهش های مربوط به پیش بینی تغییرات، افزون بر اعتبارسنجی شیوه مدل سازی، تنها به نتایج نهایی بسنده نشود، بلکه با در نظر گرفتن پیشران های توسعه به اصلاح نتایج حاصل از مدل نیز اقدام شود.

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

## مقدمه

پوشش زمین ها رخ داده است، مفیدترین اطلاعات برای مدیران منطقه ای نخواهد بود، بلکه سرعت و دلیل تغییر عامل های کنترل کننده آن نیز باید مشخص گردد. (Ramezani and Jafari, 2014)

تاکنون مدل های گوناگون برای مدل سازی تغییرات کاربری زمین ها بکارگرفته شده است، که می توان این مدل ها را به سه دسته تقسیم نمود: مدل های تجربی و آماری، مانند زنجیره های مارکوف (Kamusoko et al., 2009) و مدل رگرسیون (Hu and Lo, 2007)، مدل های از جمله ماشین های سلولی (Han et al., 2009) و مدل های تلفیقی (Hu and Lo (2007). Vaz et al., 2012) در مقایسه ای بین روش های مختلف بیان می کنند که مدل های رگرسیونی برای بررسی کمی تغییر و تجزیه و تحلیل زمانی، کاربرد کمتری دارند. ولی در مقابل، زنجیره های مارکوف با محاسبه احتمالات تحول کاربری زمین ها و میزان تغییر آن ها ابزار کاربردی تری محسوب می شوند (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 پژوهش های داخل کشور نیز زنجیره مارکوف توسط محققان برای ترکیب معیار های اقتصادی- اجتماعی و طبیعی در مدل سازی کاربری زمین ها 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.,

مدل های تغییر های پوشش سرزمین، ابزاری بسیار مهمی برای تجزیه و تحلیل دلیل ها و پیامدهای شکل گیری و گسترش کاربری ها بمنظور درک بهتر عملکرد سیستمهای پوشش زمین ها، مدیریت پوشش زمین ها و شناسایی پهنه‌های حساس شناخته می شوند (Verburg et al., 2004). اطلاعات حاصل از این مدل ها، برای تجزیه و تحلیل نحوه استفاده از سرزمین در وضعیت موجود و پیش بینی وضعیت پوشش سرزمین در سال های آینده بکارگرفته می شوند (Taheriet al., 2013). نوع کاربری زمین ها و پوشش سرزمین را در واقع می توان نتیجه ای روابط متقابل عامل های اجتماعی- فرهنگی و توان بالقوه ای سرزمین دانست (Oñate-Valdivieso and Sendra, 2010). امروزه مدل سازی تغییرات کاربری زمین ها در کنار پیش تغییرات با دقت قابل قبول با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور امکان پذیر می باشد

(Bhatta et al., 2010). در دهه های اخیر ظهور علم سنجش از راه دور منجر به کشف راهبردهای گوناگون در پژوهش هایی 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، برنامه ریزی و اجرای طرح های 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 کاربری و

بینی کاربری زمین های آینده مشکل است و در این راستا تحلیل سناریو، ابزاری را برای کمک به بررسی آینده فراهم می کند (Rounsevell et al., 2006). تحلیل سناریو برای کشف دامنه وسیعی از شرایط بالقوه آینده در کاربری زمین ها و پوشش زمین استفاده می شود (Sohl et al, 2012). برنامه ریزی مبتنی بر سناریو<sup>۴</sup> ابزار برنامه ریزی راهبردی برای دوره ی میان مدت به بلندمدت تحت شرایط قطعیت نداشتن<sup>۵</sup> است. این نوع برنامه ریزی کمک می کند تا راهبردها بهبود یابند، برنامه هایی برای مقابله با رویدادهای غیرمنتظره طراحی شود و در مسیر صحیح به درستی گام برداشته شود و همچنین نیروهای پیشران، عامل های کلیدی، بازیگران اصلی و قابلیت ها برای اعمال نفوذ شناخته شوند (Lindgren and Bandhold, 2003). مولفه های کلیدی برای گسترش سناریوها بنابر رویکرد کلاسیک شامل نیروهای پیشران داخلی و خارجی می شود (March, Therond and Leenhardt, 2012)؛ پیشران های بیوفیزیکی شامل ویژگی ها و فرآیندهای محیط زیست طبیعی همانند تغییرات آب و هوا، لندفورم، توپوگرافی، توالی گیاهی، فرآیندهای خاک، الگوهای زهکشی و غیره می شود. پیشران های اجتماعی اقتصادی شامل عامل های نهادی، سیاسی، اقتصادی، اجتماعی، جمعیت شناسی و غیره می شود (Bryasulys et al., 2009). در این پژوهش برای پیش بینی تغییرات کاربری زمین ها از مدل زنجیره خودکار مارکوف برای پیش بینی تغییرات کاربری کشاورزی و شهری در حوضه آبخیز بیرجند استفاده شده است. یکی از تفاوت های این پژوهش با دیگر پژوهش های صورت گرفته در زمینه پیش بینی تغییرات کاربری زمین ها 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 پیش بینی می کند، که احتمال دارد این روند در آینده تغییر کند و مورد دوم اعتبارسنجی و سنجش میزان توافق و توافق نداشتن نقشه پیش بینی و نقشه طبقه بندی شده براساس ضرایب مختلف کاپا (کاپای استاندارد، کاپای مکانی در سطح سلول و کلاس) است.

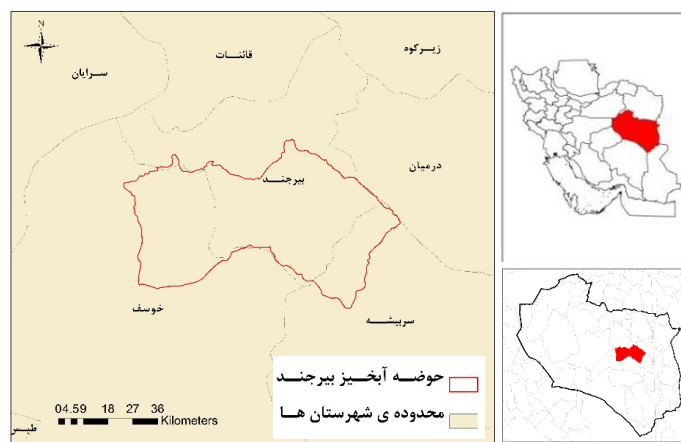
### مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق حوضه آبخیز بیرجند

(2017). همچنین در مقایسه با تجزیه و تحلیل رگرسیون، تلفیق زنجیره مارکوف و سلول های خودکار (CA)<sup>۱</sup>، بر داده های جامع سرشماری که اغلب در کشورهای در حال توسعه کمیاب است، متکی نیست (Shafizadeh Mogh-Adam and Helbich, 2013). همچنین (Vaz et al (2012). بیان می دارند، مدل های پویا برای پیش بینی تغییرات کاربری زمین ها در آینده نسبت به روش های تجربی و آماری کاربردی هستند، ولی روش های تجربی و آماری نیز می توانند بعنوان روشی تکمیل کننده همراه با مدل های پویا استفاده شوند. به هر جهت کاربرد یک مدل تلفیقی که ترکیبی از تکنیک های مدل سازی مختلف باشد احتمالاً نتیجه بهتری جهت بهبود و درک فرآیندهای تغییر استفاده از زمین بیان می کند.

CA عبارتست از یک سیستم دینامیک متشکل از یک مجموعه سلول که بر روی یک شبکه یک یا چندبعدی قرار گرفته اند. حالت هر سلول در هر شبکه فضائی معمولی، به حالت قبلی همان سلول و همچنین حالت سلول های همسایه بستگی دارد (Malczewski, 2004). از آنجا که مدل های CA به گونه ی ضمنی، فضائی هستند در موارد شبیه سازی توسعه شهری و کاربری های دیگر از جمله شبیه سازی تغییرات کاربری زمین ها، عبور و مرور در آزادراه و یا گسترش آتش، مورد استفاده قرار گرفته اند (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> روش های مختلفی نیز وجود دارد که در این بین (Pontiu et al (2007). را می توان نام برد، که در آن نقشه جنگل زدایی شبیه سازی 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 پیشران های بیوفیزیکی و اجتماعی-اقتصادی تغییر کاربری زمین ها، پیش



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

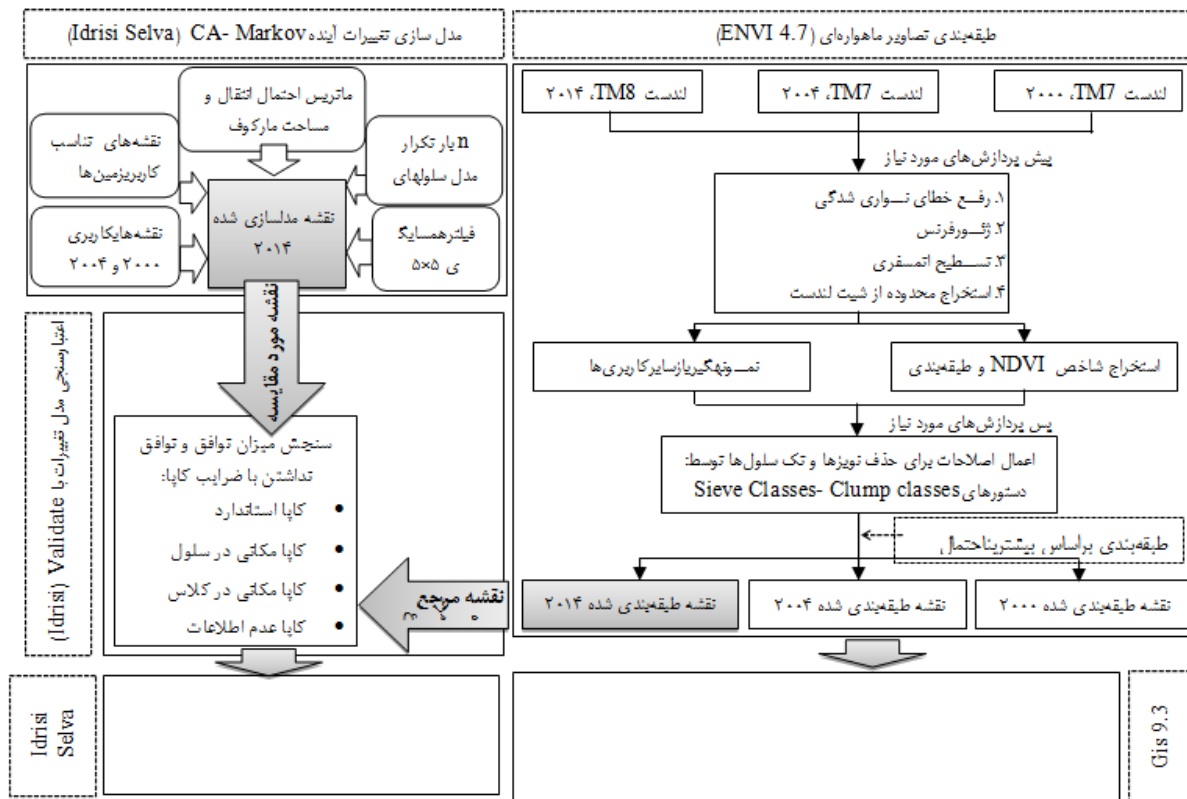
در نهایت با تعیین اعتبار نسبی روش مدل سازی، نقشه تغییرات کاربری زمین ها برای سال ۲۰۲۴ در حوضه آبخیز بیرجند در سناریوهای مختلف پیش بینی گردید. هدف نهایی این تحقیق اعتبارسنجی و پیش بینی کاربری زمین ها در افق ۱۴۰۴ است. این هدف به نوبه خود، اطلاعات لازم برای استفاده در الگوریتم های تعیین کاربری زمین ها خواهد بود. در فرآیند آشکارسازی، ضمن بی نیاز بودن تصحیح رادیومتریک بدلیل نوع سنجه، فصل برداشت تصاویر و شرایط جوی محدوده مورد مطالعه، مجموعه ای 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) بر اساس اختلاف باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک تعیین گردید، دلیل این امر خاصیت جذب نور قرمز توسط رنگدانه های موجود در کلروفیل، که سبب می شود 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) به دست می آید.  $P_{nir}$  و  $P_{red}$  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.

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

استان خراسان جنوبی است (شکل ۱). این حوضه از نظر موقعیت جغرافیایی بین ۴۱°، ۵۸ تا ۴۴°، ۵۹ طول شرقی و ۴۴°۳۲ تا ۳۳°۸۱ عرض شمالی قرار گرفته است و با میانگین بارش سالانه ۱۴۰ میلی متر و متوسط درجه حرارت ۱۶/۵ درجه سانتی گراد، براساس طبقه بندی های اقلیمی جزء منطقه های خشک محسوب می شود.

در این پژوهش از داده های سنجنده TM ماهواره لندست ۷ مربوط به سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۴ و لندست ۸ در سال ۲۰۱۴ برای تعیین و ارزیابی تغییرات کاربری زمین های 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 مدل سازی تغییرات کاربری زمین ها پرداخته است. سپس به کمک مدل زنجیره خودکار مارکوف، تغییرات کاربری زمین ها در سال ۲۰۱۴ پیش بینی و مدل سازی شده است. بمنظور اعتبارسنجی روش مدل سازی، میزان توافق و توافق نداشتن نقشه پیش بینی و نقشه طبقه بندی شده براساس ضرایب مختلف کاپا برآورد گردیده است.



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

سلول‌ها در طبقه بندی‌های به دست آمده اجرا شد. برای انجام ارزیابی صحت، نمونه‌های آموزشی برای هر کلاس بصورت تصادفی از سطح محدوده مورد مطالعه جمع‌آوری و سپس ماتریس خطای طبقه بندی استخراج گردید. با توجه به وسعت منطقه مورد مطالعه و پیچیدگی بالای منطقه که دارای منطقه‌های کوهستانی با مساحت قابل توجه بوده‌است و بازتاب نور در کوهستان به دلیل جهت‌های مختلف و کانی‌های گوناگون موجود، سبب ایجاد خطا در طبقه بندی توسط نرم‌افزار ENVI می‌باشد. همچنین بدلیل خشک بودن منطقه بسیاری از روستاها و پوشش‌های گیاهی در لابه لای کوه‌ها و بر روی دامنه‌های کوه‌ها قرار داشتند. مرحله‌ی تسطیح دستی خروجی نهایی طبقه بندی با توجه به لایه‌های کمکی در نرم‌افزار 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

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 صحیابی برای شناخت محدوده، انتخاب کاربری‌های موجود در محدوده و انتخاب نمونه‌های آموزشی برای معرفی به نرم‌افزار 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 دستورهای Sieve classes و Clump classes برای از بین بردن نویزها و تک

توابع انتقالی در مدل سلول های خودکار مجموعه ای از شرایط و توابعی هستند که تعریف می کنند 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 به وضعیت های مختلف تغییر پیدا می کند (Rezazadeh and Thomas and Laurence, 2006). Mirahmadi, 2009 اعتبارسنجی نقشه ی مدل سازی شده در سال ۲۰۱۴ با مرجع قرار دادن نقشه طبقه بندی شده سال گفته شده با استفاده از رویه ای به نام Validate انجام گرفت. اساس کار این رویه بر پژوهش های متعددی استوار است (Pontius and Schneider, 2001; Pontius, 2000; Pontius et al., 2007; Pontius and Millones, 2008). در این رویه میزان توافق و توافق نداشتن بر اساس هفت پارامتر انجام می شود. سپس با استفاده از توابعی، سنجه کاپای توافق به صورت نماد  $K_{standard}$  یا کاپای استاندارد معرفی شده است. افزون بر آن،  $K_{no}$  (کاپا برای اطلاعات نداشتن)،  $K_{location}$  (کاپا برای موقعیت مکانی در سلول شبکه)،  $K_{locationStrata}$  (کاپا برای موقعیت مکانی در سطح کلاس) توسعه یافته اند. با تعیین میزان نسبی اعتبار روش مدل سازی تغییرات آینده، میزان تغییرات کاربری در افق ۱۴۰۴ معادل با سال ۲۰۲۴ میلادی پیش بینی گردید. در این پژوهش مهمترین نیروهای پیشران در رابطه با کاربری زمین ها در دوره ی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ بررسی گردید. در نهایت با توجه به پیشران های فهرست شده و مصاحبه با خبرگان متخصص چهار سناریو برای پیش بینی مدل تغییرات کاربری زمین ها در افق ۱۴۰۴ پیشنهاد گردید.

### نتایج و بحث

آشکار سازی و طبقه بندی: نتایج حاصل از آشکار سازی تغییرات پوشش گیاهی از تصویر ماهواره ای به کمک سنجه NDVI در سال های 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

جنوبی، خروجی سنجه NDVI، تصاویر ماهواره ای لندست و تصاویر گوگل ارث به اصلاح نقشه های طبقه بندی شده پرداخته شد.

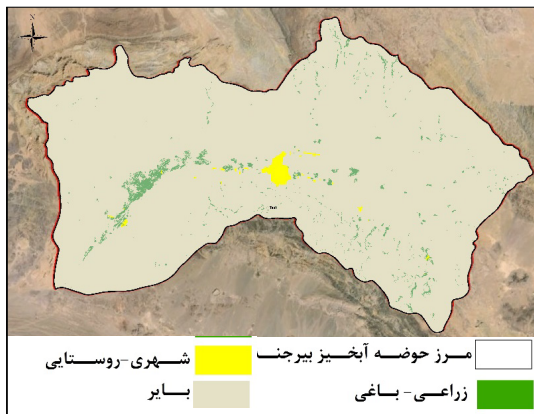
پیش بینی و مدل سازی تغییرات کاربری زمین های آینده به کمک مدل زنجیره خودکار مارکوف، انجام شده است. زنجیره مارکوف یکی از روش های معتبر برای مدل سازی تغییرات پوشش کاربری زمین ها با استفاده از روند فعلی است. فرض اساسی مدل زنجیره مارکوف این است که وضعیت کاربری زمین ها در آینده ( $t+1$ ) را می توان بعنوان یک تابع از کاربری حال حاضر ( $t$ ) بصورت رابطه (۲) تعریف کرد

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

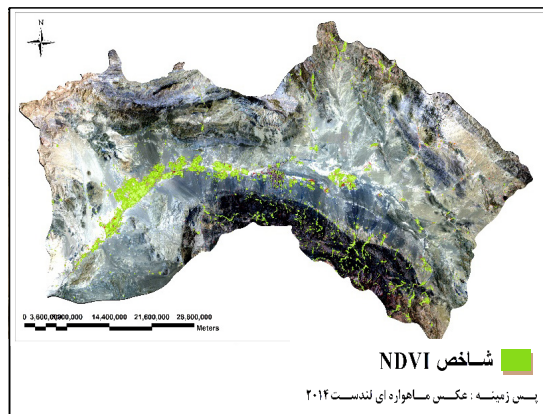
که در آن  $x(t+1)$  نشان دهنده کاربری اراضی در زمان  $t+1$  و  $x$  نشان دهنده ی کاربری زمین ها در زمان  $t$  است (Thomas and Laurence, 2006). ساختار مدل زنجیره مارکوف در مدل سازی تغییرات کاربری زمین ها شامل یک بردار ( $N$ ) با ابعاد  $1 \times M$  ( $M$  نشان دهنده تعداد کلاس کاربری ها است) که توصیف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

$$\sum_{j=1}^m p_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, 3 \dots m \quad (3)$$

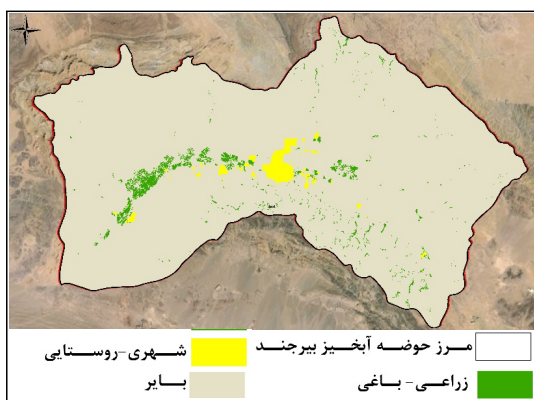
مشخصه اصلی زنجیره مارکوف این است که موقعیت مکانی تغییرات را در نظر نگرفته و عبارتی هیچ درک جغرافیایی ایجاد نمی کند (Jokar Arsanjani et al., 2011). به همین دلیل برای اضافه کردن عنصر مکانی به مدل سلول های خودکار استفاده می شود (Soe and Le., 2006). الگوی بهینه در مدل سلول های خودکار با استفاده از توابع انتقالی، شبکه سلولی و وضعیت آن ها، همسایگی و روابط متقابل بین سلول تعیین می شود (Ali Mohammadi Sarab, 2010).



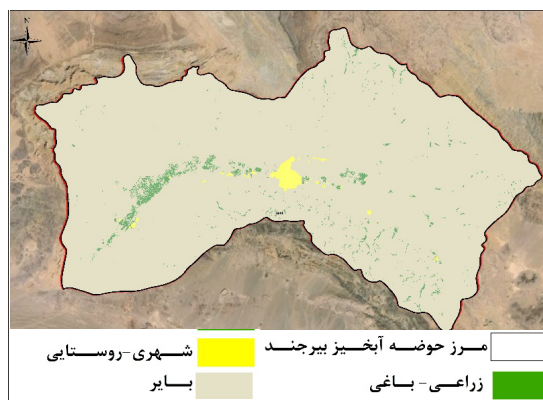
شکل ۴- کاربری زمین‌های حوضه آبخیز بیرجند (سال ۲۰۰۰)  
Fig.4- Land use in Birjand watershed (2000)



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)

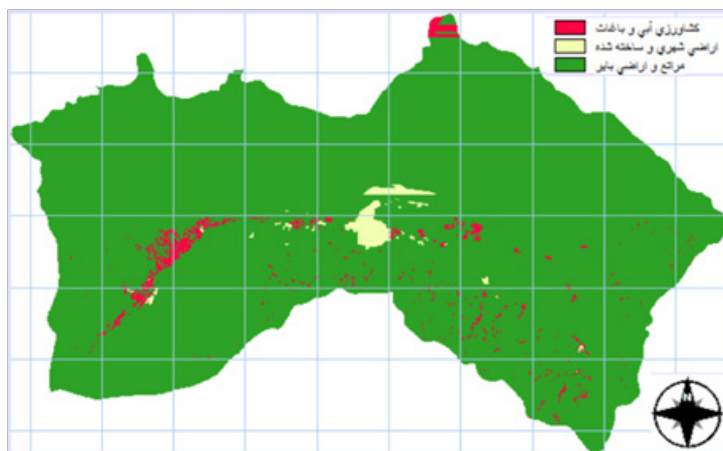
جدول ۱- مساحت کاربری زمین هادر سال های ۲۰۰۰، ۲۰۰۴ و ۲۰۱۴

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

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

۲۰۱۴ توسط مدل زنجیره ی خودکار مارکوف انجام گرفت. تصاویر احتمالی شرطی خروجی از این روش در طبقه بندی تصاویر با روش بیشترین احتمال نیز مورد استفاده می گیرد. سپس نقشه مدل سازی و پیش بینی سال ۲۰۱۴ با مدل زنجیره خودکار مارکوف به صورت شکل (۷) به دست آمد. بمنظور اعتبارسنجی روش مدل سازیدر برآورد میزان تغییرات کاربری زمین ها، مقادیر مختلف کاپا به کمک

پردازش ها، نمونه گیری و پس پردازش ها نقشه های کاربری زمین ها با روش بیشترین احتمال در سال های ۲۰۰۰، ۲۰۰۴ و ۲۰۱۴ به ترتیب به شرح اشکال ۴، ۵ و ۶ به دست آمد. جدول (۱) مساحت کاربری زمین های سال های مورد مطالعه را نشان می دهد. مدل سازی و اعتبارسنجی: با استفاده از تصاویر طبقه بندی شده سال های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۴، تغییرات کاربری آینده در سال



شکل ۷- تغییرات مدل سازی شده ی کاربری زمین ها ۲۰۱۴ بر پایه تغییرات سال های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۴  
Fig. 7- Modeled land use change in 2014, based on changes in 2000 and 2004

جدول ۲- میزان توافق و توافقی نداشتن میان نقشه های 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 شانس 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	توافق نداشتن در سطح سلول Dis-agreement in cell level
0	0	0	0	0	0	0	توافق نداشتن در سطح کلاس Dis-agreement in class level
0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	توافق نداشتن با توجه به مقدار Dis-agreement according to the amount

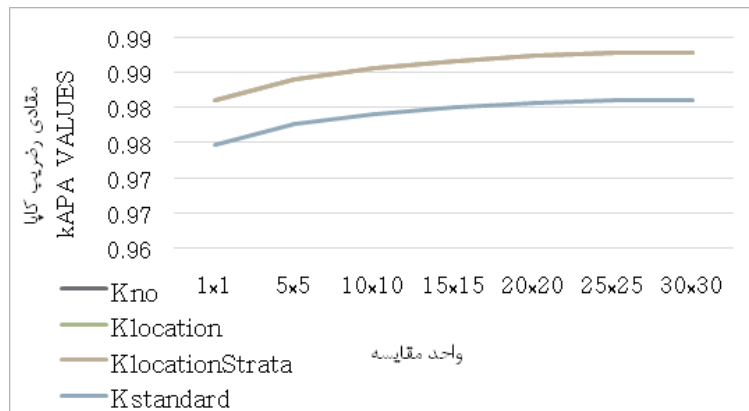
شد، که نشان دهنده ی آن بود، که با افزایش واحدهای مقایسه و دانه درشت شدن آن، مقدار توافق نداشتن موجود به سمت توافق بیشتر پیش می رود (شکل ۸). ملاحظه می شود در اینجا کاپای مکانی در سلول و کاپای مکانی در کلاس و کاپای اطلاعات نداشتن دارای اعداد یکسان و متفاوت از کاپای استاندارد هستند. در نهایت نتایج حاصل از اعتبارسنجی نشان داد با صحت بالای ۹۸ درصد شبیه سازی تغییرات کاربری آینده انجام شده است.

از آنجا که سال ۲۰۲۴ (۱۴۰۴ شمسی) بعنوان افق

رویه Validate انجام شد. مقادیر توافق و توافق نداشتن نقشه های مدل سازی و پیش بینی 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.

از مقایسه ی دو نقشه در واحدهای مختلف روندی حاصل





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

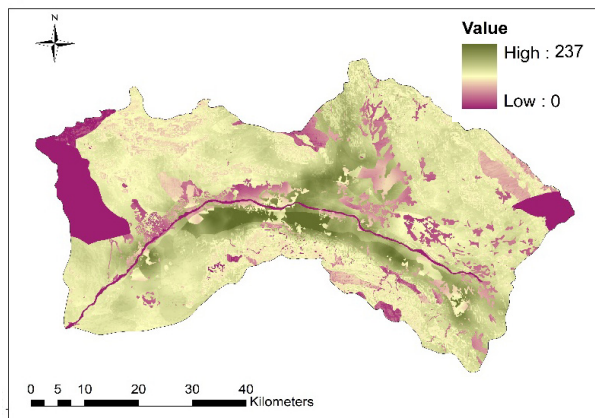
همسایه ی حاشیه ی هر کاربری امتیاز بالاتری دارد. در نهایت یک بار با استفاده از تصاویر ۲۰۰۰ و ۲۰۱۴ میزان تغییرات کاربری ها در سال ۲۰۲۴ پیش بینی و مدل سازی گردید و بار دیگر با استفاده از تصاویر ۲۰۰۴ و ۲۰۱۴ نقشه ی سال ۲۰۲۴ مدل سازی شد؛ که با مقایسه ی آن دو، نقشه ی کاربری زمین های به دست آمده از سال های ۲۰۰۴ و ۲۰۱۴ جواب بهتری را نشان داد، که در شکل (۱۱) نشان داده شده است. بنابراین در این قسمت یک سناریوی تحلیل تغییرات کاربری زمین ها برای نقشه سازی تغییرات در ۱۰ سال آینده توسعه داده شد.

سناریونویسی: در بخش سناریونویسی مهمترین نیروهای پیشران تغییر کاربری زمین ها در دوره ی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ به ترتیب تغییرات جمعیتی، سطح رفاه مردم، عقاید و طرز تفکر مردم درباره ی معیارهای خوب زیستن، طرح های کلان مسکن (مسکن مهر)، تقسیم های سیاسی مهم مانند تفکیک خراسان جنوبی و انتخاب شهر بیرجند بعنوان مرکزیت استان، خشکسالی، احداث تصفیه خانه فاضلاب،

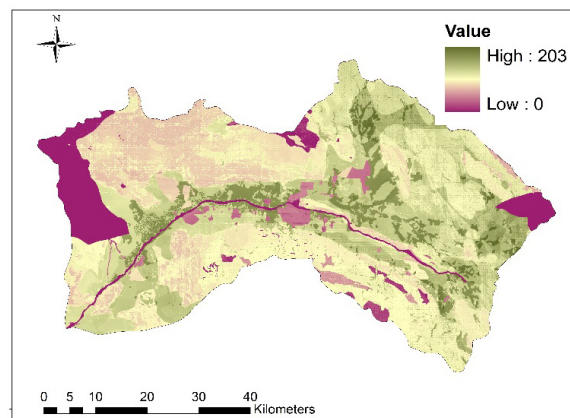
پیش بینی در این تحقیق انتخاب شده بود، به کمک کاربری زمین های سال ۲۰۰۴ و ۲۰۱۴ با استفاده از مدل اعتبارسنجی شده زنجیره خودکار مارکوف به شبیه سازی و پیش بینی روند تغییرات کاربری ها برای سال های آتی پرداخته شد. برای کار با شبکه خودکار مارکوف به سه داده ی ورودی نیاز است: اول، یک نقشه طبقه بندی شده کاربری زمین های سال پایه (۲۰۱۴)، دوم ماتریس احتمال تغییر مساحت های مارکوف که از طریق درصد احتمال تغییر کاربری موجود در جدول (۳) به دست آمده است. این جدول درصد احتمال تغییر هر یک از کاربری ها به کاربری های دیگر را در ده سال آینده در حوضه آبخیز بیرجند نشان می دهد، و سوم نقشه ی ارزش گذاری شده است. بنابر این 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 نقشه ها بدین سبب می باشد که بر اساس مفهوم روش سلول های خودکار احتمال تغییرات در سلول های

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

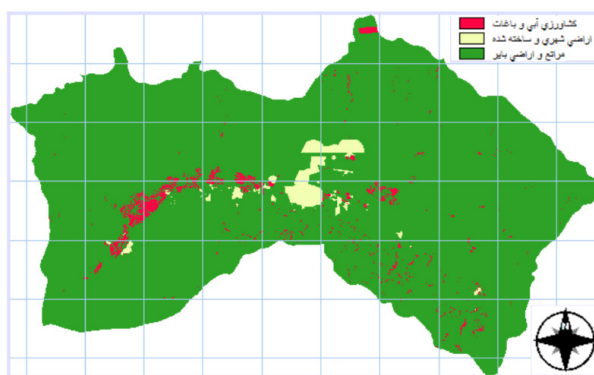
مرتج ها و زمین های بابر Renge andbarren	زمین های شهری وساخته شده Urban land use	کشاورزی آبی و باغ ها Irrigated agriculture	کلاس کاربری زمین ها Land use type
0.3034	0.0040	0.6926	کشاورزی آبی و باغ ها Irrigated agriculture
0.0490	0.9468	0.0042	زمین های شهری وساخته شده Urban land use
0.9868	0.0064	0.0067	مرتج ها و زمین های بابر Renge andbarren 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



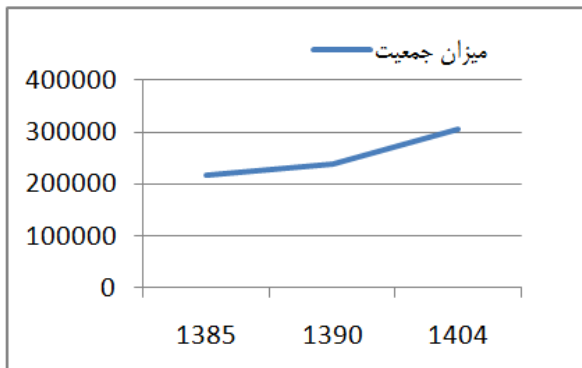
شکل ۱۱- تغییرات پیش بینی شده کاربری زمین ها در سال ۲۰۲۴ (افق ۱۴۰۴)  
Fig. 11- Forecasted land use change in 2024 (1404 horizon)

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 ی 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 ی آینده به میزان ده سال گذشته پیش بینی نمی شود.

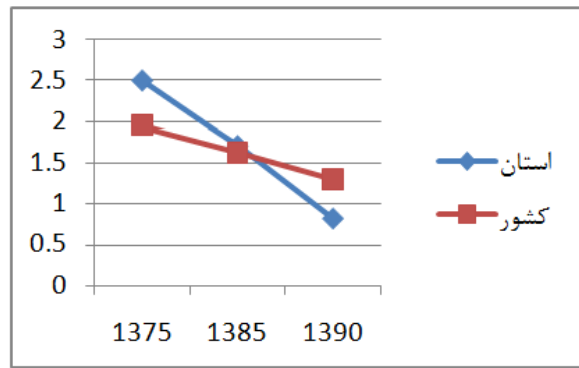
با توجه به برآیند پیشران ها و مصاحبه با خبرگان متخصص، چهار سناریو برای پیش بینی مدل تغییرات کاربری زمین ها در افق ۱۴۰۴ پیشنهاد شده عبارتند از:  
✓ سناریوی ۱: سناریوی پیش بینی براساس سابقه ی تاریخی

انتقال گاز، برق و سایر خدمات به روستاها شناسایی شده است. در نتیجه این پیشران ها، 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.

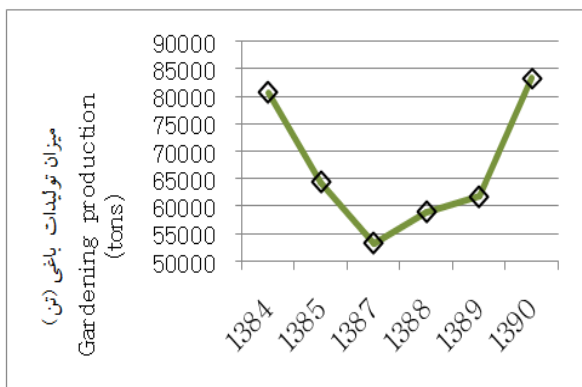
از لحاظ ساختار جمعیت و مهاجرت با توجه به نمودارهای موجود در شکل (۱۱) از دو دهه ی گذشته رشد جمعیتی استان، روند به شدت کاهشی داشته و همان طور که در نمودار شکل (۱۲) مشخص است. می توان پیش بینی کرد میزان جمعیت در سال ۲۰۲۴ روند کاهشی خواهد داشت. بنابراین رشد زمین های ساخته شده نیز کاهش خواهد داشت. البته بررسی 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 ی میزان زاد و ولد ها است رشد کاهشی ممتد



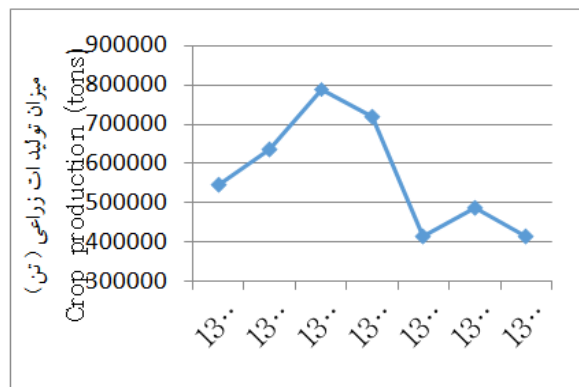
شکل ۱۳- میزان رشد جمعیت در افق ۱۴۰۴  
Fig.13- Population growth rate in 1404 horizon



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



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



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

جدول ۴- وضعیت سناریوهای محتمل برای میزان مساحت کاربری ها (کیلومتر مربع) در افق ۱۴۰۴  
Table 4. Status of possible scenarios for user area (Km2) 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 زمین ها 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

بر اساس نظر های 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 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 کاربری ها پرداخته می شود (Karimi, 2010). برآورد میزان تقاضای کاربری ها نیز

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

سال های 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 به طور کلی بر مبنای دقت ۹۸/۸۰ درصد که بسیار مناسب بوده پیش بینی برای سال ۲۰۲۴ انجام گردید. با وجود بالا بودن اعتبار و دقت پیش بینی، برخی پیشران های اصلی توسعه دارای قابلیت پیش بینی در آینده، توسط مدل را نداشته اند.

بمنظور اصلاح و در نظر گرفتن تغییرات پیش بینی نشده توسط مدل زنجیره خودکار مارکوف، بعد از پیش بینی میزان تغییرات کاربری ها، چند سناریو بر پایه پیشران های اصلی توسعه نوشته شد. در دهه ی گذشته بدلیل انتخاب شهر بیرجند بعنوان مرکز استان خراسان جنوبی، طرح مسکن مهر، تغییرات جمعیتی و خشکسالی تغییرات کاربری ها سریع و شدید بوده است، ولی پیش بینی می شود، این تغییرات در دهه ی آینده به این میزان نباشد. بنابراین بین سناریوهای مختلف، سناریوی محتمل با احتمال وقوع ۷۰ درصد از تغییرات پیش بینی شده (سناریوی ۳) منتج از زنجیره خودکار مارکوف با توجه به مستندات و نظرات کارشناسان انتخاب شد. نتایج حاکی از این پژوهش طی فرآیندهای آشکارسازی، اعتبارسنجی مدل، پیش بینی 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 می شود در پژوهش های مربوط به پیش بینی تغییرات، افزون بر اعتبارسنجی شیوه مدل سازی، تنها به نتایج نهایی بسنده نشود بلکه با در نظر گرفتن پیشران های توسعه به اصلاح نتایج حاصل از مدل اقدام شود.

### پی نوشت ها

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

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 کاربری کشاورزی و سکونتگاه ها در سطح منطقه به کمک مدل زنجیره خودکار مارکوف تعیین شد، که از دو نظر با پژوهش های 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 سال های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۴، نقشه کاربری سال ۲۰۱۴ و ماتریس احتمال تبدیل در این بازه زمانی به دست آمد. سپس با مقایسه نقشه کاربری مدل سازیشده و نقشه آشکارسازی شده از تصاویر ماهواره ای سال ۲۰۱۴، اعتبار روش مدل سازی شده و اطلاعات مورد استفاده برآورد گردید. اعتبارسنجی با صحت بالای ۹۸ درصد شبیه سازی امکان پیش بینی تغییرات کاربری زمین های 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 پیش بینی با دقت بالایی از لحاظ مساحت کاربری ها صورت گرفته و قابل قبول خواهد بود. برآورد دقت یا صحت نقشه های مدل - سازی شده با ضریب کاپا که بطور معمول در مقایسه با حالت تصادفی انجام می شود، برای زمان هایی کاربرد دارد که با کمبود اطلاعات مواجه هستیم، بنابراین هنگام داشتن اطلاعات بیشتر از وضعیت محیط زیست منطقه یک نقشه پایه می تواند کارآمدتر واقع شود. در این تحقیق نیز با بکارگیری روش آشکارسازی تغییرات نقشه مرجع به جای نقشه تصادفی برای اعتبارسنجی نقشه مدل سازی شده فراهم گردید.

همچنین از بعد مکانی- فضایی نیز برای پیشرفت شهری سمت شمال شهر و به درستی تشخیص داده شد. در عین حال دیده می شود که میزان تغییرات کاربری کشاورزی و شهری-روستایی به مقدار کمی، کمتر پیش بینی شده که در مورد کاربری کشاورزی این میزان را می توان 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 پیش بینی نبوده و در مورد کاربری شهری نیز با توجه به اینکه رشد شهری در سال های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۴ کمتر از میزان رشد در

- Ahadnejad, M; 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 Vodelling in Geo Spatial Information Science, Hong kong.
- Ali Mohammadi Sarab, A., Motakan, A. and Mirbageri, B., 2010. Evaluation of the Efficiency of Cellular Automata Model in Simulation of Urban Distribution in the Suburbs of Southwest of Tehran, Space planning and design. 2, 82-102 pp.(In Persian)
- Bandhold, H. and Lindgren, M., 2003. Scenario planning, the link between future and strategy. Palgrave Macmillan Publisher.
- 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 .440 pp.(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”, Appl. Geogr. 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. 257 pp.(In Persian)
- Ghosh, P., Mukhopadhyay, A., Chanda, A., Mondal, P., Akhand, A., Mukherjee, S., and Hazra, S., 2017. Application of Cellular automata and Markov-chain model in geospatial environmental modeling-A review. Remote Sensing Applications: 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 Bindu-

- ra district based on the Markov-cellular automata model , Applied Geog- raphy. 29, 435- 447.
- Karimi, M. 2010. Development of Multi-criteria Analysis Methods for Land Use Allocation. Ph.D. Thesis. Khaje Nasir Tusi University.(In Persian)
- 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”. Ecol. Model. 211, 169–181.
- López, E., Boccoa, G., Mendozaa, 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.
- 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. 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., 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. 97, 4.
- 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)
- 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. (62) 18, 159-169..(In Persian)
- Ramezani N., 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), 115 .(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 Interna-

tional Journal of Geo-Information. 6(9), 288.

Rounsevell, M.D.A., Reginster, I., Araujo, M.B., Carter, T.R., Dendoncker, N., Ewert, F., House, J.I., Kankaanpää, 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., Zahiyan, P., Murshid., 2010. Detection of land use change in the Taleghan watershed from 1987 to 2002 using Landsat satellite imagery and Remote Sensing, Ninth National Geomatics Conference. Tehran. (In Persian)

Shafizadeh Moghadam, H., 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.01.009>

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 J.Rem. Sens.* 32 390–404.

Sohl, T.L., Sleeter, B.M., Sayler, K.L., Bouchard, M.A., Reker, R.R., Bennett, S.L., Sleeter, R.R., Kanengieter, R.L., 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, AS. R Rahim Oghli Sh., 2013. Modeling of Land Cover Changes in Tabriz City Using Artificial Neural Network

and Markov Chain. *Natural Geography Research*, 45(4), pp. 97-112. (In Persian).

Taleshi M, Afrakhteh H, 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*. (61)18 :295-316. (In Persian).

Thapa, R.B. and Murayama, Y., 2011. Urban growth modeling of Kathmandu metropolitan region, Nepal. *Computers, Environment and urban systems*, Vol. 35, No. 1, PP. 25-34.

Thomas, H., 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. *EARSeL eProceedings* 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, *Geo Journal*, Vol. 61, No. 4, PP. 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: Elwasfii, Marawab Gardens, Shadabad Mishiikh and Kandrud Villages), *Geography and Development journal*, No. 11. (In 6)





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

Elham Yusefiroobiati\* and Fatemeh Jahanishakib

Department of environment, Faculty of environment, University of Birjand

Received: 2018.07.10      Accepted: 2018.11.10

**Yusefiroobiati, E. and Jahanishakib, F., 2019.** Scenario-based validation and prediction of land use changes in Birjand watershed in 1404. *Environmental Sciences*.17(2): 225-241.

**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 (K standard, K<sub>no</sub>, K<sub>location</sub>, and K<sub>location Strata</sub>) 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 K<sub>location</sub> in the cell, K<sub>location Strata</sub>, and K<sub>no</sub> had the same numbers, and different from the K standard.

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



**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.