پژوهش‌های محیط‌زیست، سال ۱۲، شماره ۲۳، بهار و تابستان ۱۴۰۰، از صفحه ۱۰۵ تا ۱۱۶

Dor: 20.1001.1.20089597.1400.12.23.9.9

صحت‌سنجی و ارتقا مدل پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با کنترل رشد توسعه در زنجیره خودکار مارکوف (منطقه مورد مطالعه: حوضه آبخیز قره‌سو)

فاطمه جهانی‌شکیب*[۱]، الهام یوسفی روبیات[۱]

۱ استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه بیرجند، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۰۲؛ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۰۴/۰۷)

چکیده

فعالیت‌های بشری، یکی از عواملی است که تاثیر به‌سزایی بر روند تغییرات کاربری اراضی سرزمین دارد و این تغییرات در بیشتر مواقع ناسازگار با محیط است. بنابراین مدل‌های پیش‌بینی کاربری اراضی برای برنامه‌ریزی استفاده پایدار از سرزمین یک نیاز ضروری است. در این پژوهش با استفاده از مدل زنجیره خودکار مارکوف، مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی برای حوضه آبخیز قره‌سو به‌منظور پیش‌بینی آینده، ارتقا یافته است. ارتقای مدل زنجیره مارکوف با وارد کردن نرخ رشد جمعیت و میزان سرانه مورد نیاز هر کاربری در مدل انجام شده است. اعتبارسنجی مدل ارتقا یافته با مقایسه نقشه‌ی حاصل از پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی برای سال ۲۰۱۴ و نتایج مدل ارتقا یافته بررسی شده است. نتایج حاصل از مقایسه‌ی این دو نقشه نشان داد؛ نتایج مدل ارتقا یافته بسیار شبیه‌تر به وضع موجود بوده است، که این موضوع به این دلیل است که نرخ رشد جمعیت و به تبع آن سرانه مورد نیاز در توسعه شهری مهمترین پیشران اثرگذار در بر هم زدن نسبت تغییرات در یک روند زمانی است. بنابراین می‌توان با لحاظ کردن این عامل در مدل زنجیره مارکوف انعطاف‌پذیری این مدل را بیشتر و تا حد زیادی نتایج را به واقعیت نزدیک کرد، که این موضوع به‌طور عملی در حوضه آبخیز قره‌سو نشان داده شده است. در نهایت از مدل ارتقا یافته‌ی زنجیره خودکار مارکوف برای پیش‌بینی افق ۲۰۳۰ استفاده شد.

کلید واژه‌ها: کاربری اراضی، زنجیره خودکار مارکوف، نرخ رشد جمعیت، پیش‌بینی، قره‌سو

* نویسنده مسئول

Email: jahanishakib@birjand.ac.ir

سرآغاز

با روند شهرنشینی سریع، مقدار زیادی از اراضی طبیعی مانند جنگل‌ها و تالاب‌ها به زمین‌های کشاورزی و مناطق مسکونی تبدیل شده‌اند. تغییرات سریع کاربری سرزمین تاثیر عمیقی بر محیط‌های طبیعی و انسانی گذاشته است. برای مثال، توسعه کشاورزی و سازه‌ها سبب جنگل‌زدایی، فرسایش خاک، تخریب حوضه آبخیز، کاهش تنوع‌زیستی و آلودگی شده است. از این گذشته، تغییرات مربوط به استفاده از زمین‌های کشاورزی، شتاب شهرنشینی و توسعه شبکه حمل‌ونقل منجر به افزایش سطوح نفوذناپذیر شده است که سبب تجمع آلودگی‌های نقطه‌ای همراه با رواناب سطحی می‌شود. به‌واسطه‌ی این اثرهای بزرگ، آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری سرزمین به مبحث مهمی در مدیریت محیط‌زیست و آمایش سرزمین تبدیل شده است (Yu et al., 2011). کاربری زمین بر روی پوشش زمین تاثیر می‌گذارد و تغییرات در پوشش زمین نیز بر کاربری زمین تاثیر می‌گذارد. تغییرات کاربری/ پوشش زمین، مشکل تغییر محیط‌زیست جهانی هستند (Prakasam, 2010). بسیاری از تغییرات پوشش زمین بر تنوع‌زیستی، انتشار گازها و سایر فرآیندهای متفاوتی که بر آب و هوا تاثیر می‌گذارند، اثرگذار است. تشخیص تغییرات کاربری/ پوشش زمین برای شناخت بهتر پویایی سیمای‌سرزمین در دوره‌ی معین همسو با مدیریت پایدار بسیار ضروری است. تغییر کاربری زمین یک فرایند گسترده و شتاب‌دار است که بیشتر به‌دلیل پدیده‌های طبیعی و فعالیت‌های انسانی است که به‌نوبه خود سبب تغییراتی می‌شود که بر اکوسیستم طبیعی تاثیر می‌گذارد (Turner & Ruscher, 2004; Luna & Robles, 2003). پایش چنین تغییراتی ما را در درک صحیح از روند توسعه در گذشته و الگوهای رشد یاری می‌دهد، در حالی که مدل‌سازی و شبیه‌سازی تغییرات نقش به‌سزایی در درک پیامدهای تغییرات آتی و تحولات احتمالی آینده ایفا می‌کند (Arsanjani et al., 2013).

استفاده از مدل زنجیره خودکار مارکوف[1](CA-MC) در مدل‌سازی تغییر کاربری زمین به‌دلیل توانایی آن نه‌تنها می‌تواند برای تعیین وضعیت‌های مختلف بین کاربری‌های مختلف زمین، بلکه برای تعیین نرخ انتقال بین کاربری‌های مختلف زمین نیز استفاده شود. این روش تلفیقی از سلول‌های خودکار، زنجیره مارکوف و تخصیص چندمنظوره اراضی است که برای پیش‌بینی تغییرات آینده پوشش و کاربری اراضی به‌کار می‌رود. در ابتدا با به کارگیری مدل زنجیره مارکوف، احتمال تغییر طبقات نقشه کاربری‌ها به یکدیگر در قالب ماتریس احتمال تغییر وضعیت کاربری‌ها و بر مبنای تغییرات مساحتی در دوره‌های زمانی محاسبه می‌شود (Sang et al., 2011). تجزیه و تحلیل تغییرات کاربری زمین با استفاده از داده‌های تاریخی کاربری زمین از تصاویر ماهواره‌ای انجام می‌شود (Yirsaw et al., 2017). پیشران‌ها نیز برای میزان اضافه شده تغییرات جهت ارایه و برآورد سناریوهای آینده گنجانده شده‌اند (Behera et al., 2012).

مدل زنجیره خودکار مارکوف موفق به مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین در آینده در بسیاری از مطالعات انجام شده است (Mishra & Rai, 2016; Yirsaw et al., 2017; Quintero et al., 2016; Wang et al., 2016; Behera et al., 2012) و می‌تواند نقش مهمی در مدیریت کاربری زمین داشته باشد. همچنین در مورد مطالعات داخل کشور می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: از زنجیره مارکوف جهت پیش‌بینی تغییرات کاربرای اراضی طی دوره ۲۴ ساله در حومه شهر تهران استفاده شده است. نتایج این پژوهش نشان‌دهنده مفید بودن و قابلیت استفاده از زنجیره مارکوف در مدلسازی تغییرات کاربری اراضی است (Alimohammadi et al., 2010). مدل‌سازی تغییرات پوشش اراضی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و زنجیره مارکوف مورد بررسی قرار گرفته است (Gholamalifard et al., 2014). شبیه‌سازی زمانی- مکانی تغییرات سیمای‌سرزمین با استفاده از مدل تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار را برای دهلران انجام شده است (Fathizad et al., 2018). شبیه‌سازی رشد شهری تبریز با استفاده از مدل‌سازی CA-Markov و تصمیم‌گیری چندمعیاره انجام شد (Nooroldin et al., 2018). پیش‌بینی روند تغییرات مکانی کاربری اراضی و توسعه مناطق مسکونی با استفاده از مدل زنجیره خودکار مارکوف و GEOMOD، برای حوزه آبخیز قره‌سو انجام شد (Raheli naming & Mortazavi, 2018). همچنین می‌توان به پژوهش‌های متعدد دیگر اشاره کرد (Kavyan et al., 2017; Khammar & Namazi, 2017; Rahnama & Shokouhi, 2017; Ramezani & Jafari, 2015; Taheri et al., 2014).

هدف از این پژوهش، ارتقا مدل CA-MC، برای پیش‌بینی دقیق‌تر و واقع بینانه‌تر با اعمال نرخ رشد جمعیت و به تبع آن

میزان سرانه مورد نیاز در توسعه کاربری شهری بوده است که با اعتبارسنجی مدل ارتقا یافته پیش‌بینی و مدل مرسوم همراه شده است و نتیجه آن تجزیه و تحلیل کاربری زمین در حوضه آبخیز قره‌سو در استان گلستان است.

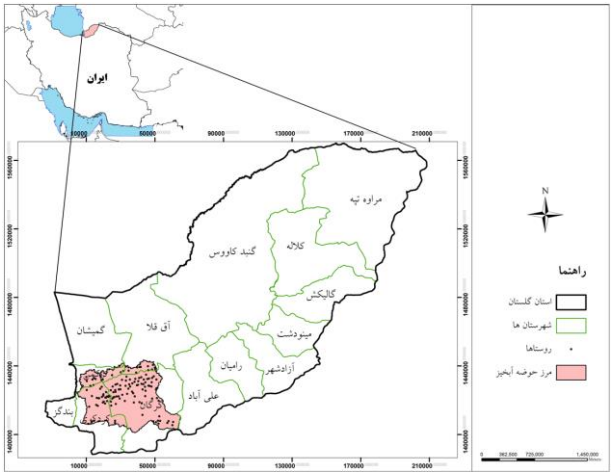
مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در این پژوهش حوضه آبخیز قره‌سو است که در بخش شمال‌شرقی ایران و شرق رشته کوه البرز واقع شده است و تقریبا ۸ درصد مساحت استان گلستان را پوشش می‌دهد. این حوضه با وسعت ۱۶۱۵ کیلومتر مربع بین عرض جغرافیایی ′۲۶ °۳۲ تا ′۰۱ °۳۷ شمالی و طول جغرافیایی ′۰۲ °۵۴ تا ′۴۳ °۵۴ شرقی قرار گرفته است (شکل ۱). مطابق شکل منطقه مورد مطالعه بخش‌هایی از سه شهرستان گرگان، کردکوی، بندرترکمن و ۱۲۳ روستا را در بر می‌گیرد. حوضه آبریز قره‌سو از شمال و شرق به حوضه آبریز گرگان‌رود، از جنوب به حوضه آبریز نکارود و از غرب به حوضه آبریز خلیج گرگان و نیز دریاچه بزرگ خزر محدود می‌شود و در روستای قره‌سو به این دریاچه تخلیه می‌شود. حدود ۸ درصد آب‌های سطحی استان گلستان در این زیرحوضه جریان دارد (۱۰۰ میلیون مترمکعب) (Regional Water Company of Golestan, 2015). سطح عمده حوضه آبریز قره‌سو در جنوب توسط جنگل پوشیده شده و در شمال حوضه دشت آبرفتی با کاربری زراعی و مسکونی سطح حوضه را تشکیل می‌دهد. به‌دلیل حضور کاربری‌های انسان غالب این محدوده بیشتر در معرض تغییرات ناشی از تبدیل کاربری جنگل به کشاورزی و شهری است. این تغییر و تبدیلات به‌دلیل رشد سریع جمعیت در این مناطق مهم است.

روش پژوهش

برای جمع‌آوری اطلاعات در طول زمان دو روش وجود دارد. اطلاعات جمع‌آوری شده از پیمایش‌های زمینی و دوم جمع‌آوری اطلاعات از طریق سنجش‌از راه دور. تا به امروز، داده‌های تصاویر ماهواره‌ای به‌عنوان یک روش مفید در تغییرات کاربری زمین مورد تایید قرار گرفته است. طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای برای تولید نقشه‌های موضوعی در مطالعات مربوط به استفاده از تصاویر ماهواره‌ای معمول است. بنابراین، مدل‌های تغییرات



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز قره‌سو

کاربری زمین اغلب به‌عنوان راهی برای نفوذ انسان در فرآیندهای تغییر زمین استفاده می‌شود. در میان این مطالعات، طبقه‌بندی کاربری زمین و مدل‌سازی رشد شهری از جمله مواردی هستند که با پیاده‌سازی زنجیره خودکار مارکوف نتایج دقیقی را نشان داده است. تصاویر سنجش‌از دوری زمین می‌توانند به‌عنوان یک نوع کاربری زمین یا پوشش طبقه‌بندی شوند و یک موقعیت را در فضای سلولی خودکار به خود اختصاص دهند. سلول‌های هر نقشه را می‌توان به‌عنوان سلول‌های شبکه جای‌گذاری نمود (Rezazadeh & Mirahmadi, 2009). پس از آن تغییر حالت‌ها، از یک کاربری به کاربری دیگر به‌عنوان یک گذار طراحی می‌شود، که احتمال آن توسط عوامل مختلف (فضایی یا در بعضی موارد غیرفضایی مانند اقتصادی و اجتماعی) بر اساس هدف مطالعه تعیین می‌شود. زنجیره مارکوف می‌تواند برای شبیه‌سازی کاربری/ پوشش یک قطعه زمین با استفاده از پیشینه زمین استفاده شود. یک سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند به‌منزله کل سیستم برای پیش‌بینی سناریو آینده در مورد کاربری زمین/ پوشش در ناحیه موردنظر، یکپارچه گردد. به طور معمول برخی از عوامل تغییر الگو در تغییر کاربری زمین، دنیای واقعی را تحت تاثیر قرار می‌دهند. انتخاب عوامل فضایی و غیرفضایی بستگی به اهداف مطالعه دارد. در اغلب موارد، عواملی که در نظر گرفته می‌شوند بستگی به دسترسی داده‌ها برای منطقه انتخاب شده مطالعه دارد. منطقه مورد مطالعه نیز در برگیرنده انتخاب عوامل فضایی مانند توزیع تناسب کاربری‌ها و غیرفضایی مانند نرخ رشد جمعیت و سرانه مورد نیاز کاربری توسعه شهری است که باید به‌عنوان عوامل

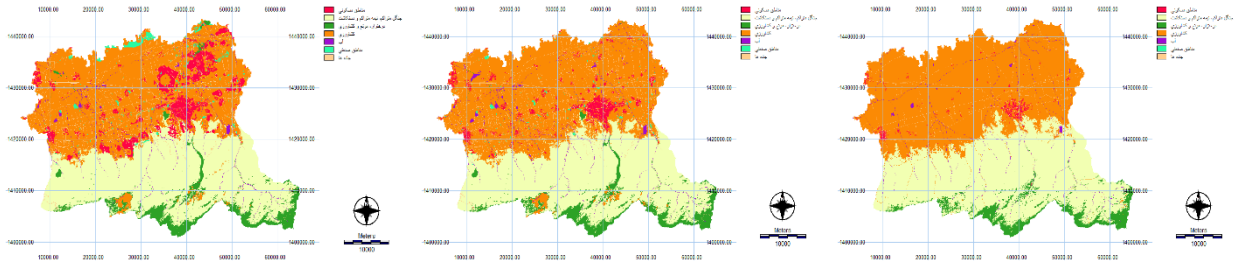
تاثیرگذار در این مطالعه مورد استفاده قرار گیرد. همچنین روش زنجیره خودکار مارکوف یک ابزار مناسب برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری زمین است که در آن وضعیت آینده یک سیستم می‌تواند به‌طور کامل و چندگانه شبیه‌سازی شود. مدل مارکوف تغییرات کاربری زمین را از یک دوره به دوره‌ی دیگر شرح می‌دهد و از آن به‌عنوان مبنایی برای پیش‌بینی تغییرات آینده استفاده می‌کند. این امر با ایجاد یک ماتریس احتمالی انتقال از تغییرات از زمان یک به زمان دو به دست می‌آید که ماهیت تغییر را نشان می‌دهد (Logsdon et al., 1996).

در این پژوهش نیز برای پیش‌بینی و مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی سال ۲۰۱۴ میلادی (۱۳۹۴ شمسی) از مدل زنجیره خودکار مارکوف، در نرم‌افزار ایدریسی در سال‌های ۱۹۸۴ میلادی (۱۳۶۴ شمسی) و ۱۹۹۴ میلادی (۱۳۷۴ شمسی)، مطابق با شکل (۲) استفاده شده است. در پایگاه داده طرح آمایش گلستان (Salmanmahiny, 2013)، این نقشه‌ها از طریق طبقه‌بندی چندمرحله‌ای تصاویر ماهواره‌ای لندست با دقت ۸۵ درصد ایجاد شده است. فرض اساسی مدل زنجیره مارکوف این است که وضعیت کاربری اراضی در آینده $(t+1)$ را می‌توان به‌عنوان یک تابع از کاربری حال حاضر (t) به‌صورت رابطه (۲) تعریف کرد.

$$x_{(t+1)} = f_{(xt)}$$ رابطه (۲)

که در آن $x_{(t+1)}$ نشان‌دهنده کاربری اراضی در زمان $t+1$ و x نشان‌دهنده‌ی کاربری اراضی در زمان t است (Thomas & Laurence, 2006). ساختار مدل زنجیره مارکوف در مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی شامل یک بردار (N) با ابعاد $Mx\ 1$ (M نشان‌دهنده تعداد طبقات کاربری‌هاست) که توصیف‌کننده توزیع کاربری حال حاضر و یک ماتریس $M \times M$ احتمال انتقال (P) بین هر جفت از کلاس کاربری اراضی i و j است. احتمال انتقال طبق رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$i = 1,2,3 \dots m \quad \sum_{j=1}^{m} p_{ij} = 1$$ رابطه (۳)

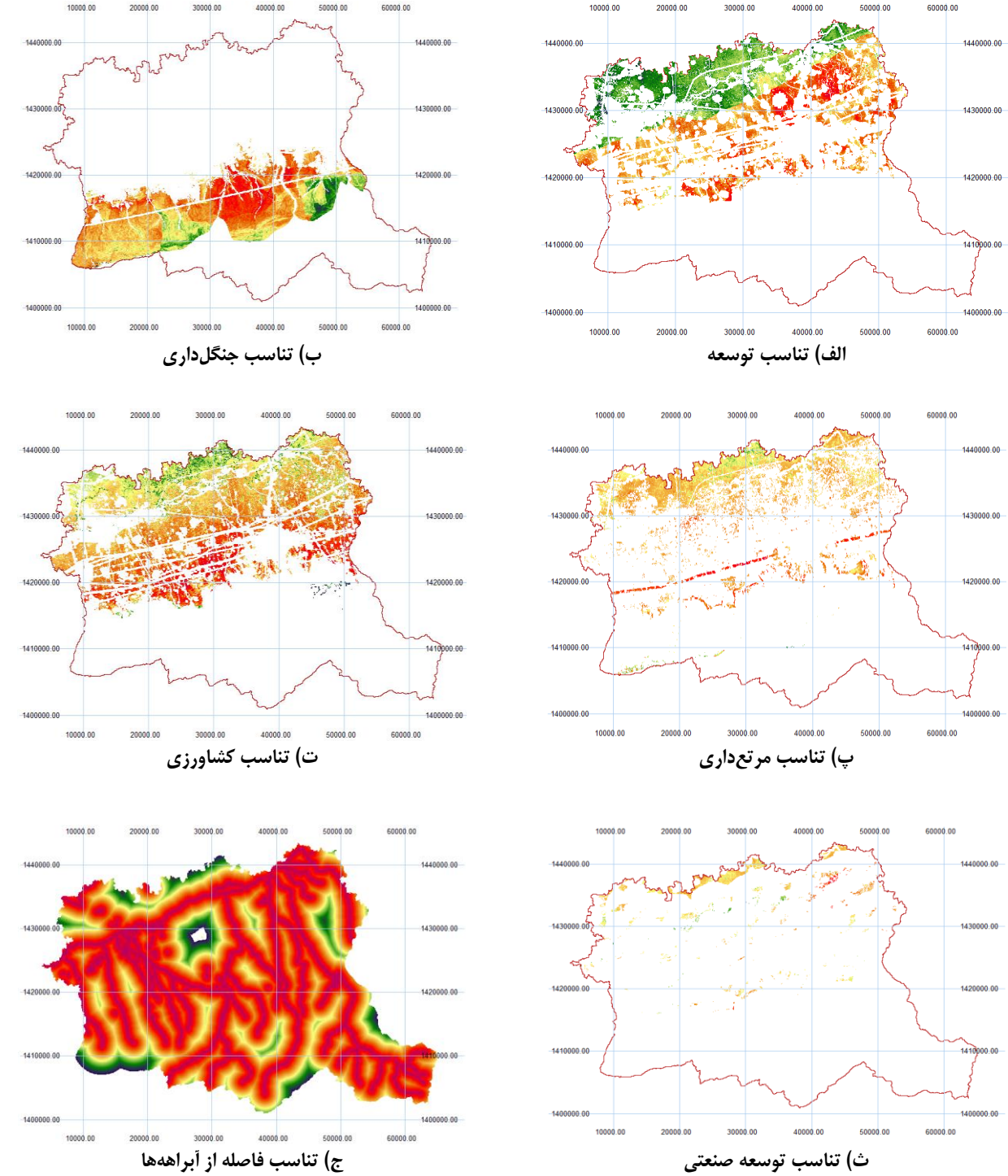


الف) تصویر طبقه‌بندی ۱۹۸۴ (۱۳۶۴ شمسی) ب) تصویر طبقه‌بندی ۱۹۹۴ (۱۳۷۴ شمسی) ج) تصویر طبقه‌بندی ۲۰۱۴ (۱۳۹۴ شمسی)

شکل (۲): تصاویر مورد استفاده در مدل پیش‌بینی

در این پژوهش مدل زنجیره خودکار مارکوف با اعمال نرخ رشد جمعیت معادل ۱/۹ درصد به‌عنوان عامل غیرفضایی در نظر گرفته شده است. سرانه مورد نیاز برای مساحت توسعه شهری بر اساس مطالعات طرح آمایش استان گلستان، ۲۲۵ مترمربع لحاظ شده است. بنابراین برای پیش‌بینی تغییر کاربری اراضی در سال ۲۰۱۴ مقدار مساحت مورد نیاز برحسب مقدار جمعیت اضافه شده محاسبه شد. این محاسبات با دستکاری ماتریس انتقال مساحت حاصل از زنجیره مارکوف در پیش‌بینی مورد استفاده قرار گرفت. مشخصه اصلی زنجیره مارکوف این است که موقعیت مکانی تغییرات را در نظر نگرفته و به‌عبارتی هیچ درک جغرافیایی ایجاد نمی‌کند (Arsanjani et al., 2013). به‌همین دلیل جهت اضافه کردن عنصر مکانی به مدل سلول‌های خودکار استفاده می‌شود (Soe & 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 (Alimohammadi et al., 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 به وضعیت‌های

مختلف تغییر پیدا می‌کند (Thomas & Laurence, 2006). عوامل فضایی مورد استفاده در این پژوهش که قواعد همسایگی را تحت تاثیر قرار می‌دهند، مجموعه لایه‌های تناسب کاربری‌های مختلف از جمله توسعه شهری، جنگل‌داری، مرتع‌داری، کشاورزی و توسعه صنعتی به‌همراه تناسب فاصله از آبراهه‌ها مطابق با شکل (۳) بوده است.



الف) تناسب توسعه

ب) تناسب جنگل‌داری

پ) تناسب مرتع‌داری

ت) تناسب کشاورزی

ث) تناسب توسعه صنعتی

ج) تناسب فاصله از آبراهه‌ها

شکل (۳): لایه‌های تناسب مورد استفاده در مدل پیش‌بینی

لایه‌های تناسب کاربری‌ها با روش ارزیابی چند متغیره[۲] تحت تاثیر عوامل مختلف بوم‌شناختی، اجتماعی و اقتصادی در طرح آمایش استان گلستان تهیه شده است. این لایه‌ها از دقت بالایی برخوردارند. بنابراین، از آنها به‌عنوان لایه‌های پایه برای مدل‌سازی سال ۲۰۱۴ استفاده شده است.

نقشه‌ی شبیه‌سازی شده در سال ۲۰۱۴ با نقشه ارتقا شبیه‌سازی شده همان سال به‌کمک تصویر طبقه‌بندی شده به‌طور عملی مورد مقایسه و اعتبارسنجی قرار گرفتند. بدین‌ترتیب که با مرجع قرار دادن نقشه طبقه‌بندی شده سال مذکور با استفاده از رویه‌ای به نام ERRMAT[۳] مقادیر صحت با آماره کاپای کلی به دست آمد. سپس بر اساس اطمینان به‌وجود آمده از مدل ارتقا یافته، پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی افق ۲۰۳۰ انجام گرفت. در فرآیند شبیه‌سازی مطابق با آنچه در مدل ارتقا یافته توضیح داده شد، مقدار جمعیت در سال ۲۰۳۰ بر اساس رشد جمعیت (رابطه ۴) و میزان تقاضای مورد نیاز در توسعه کاربری شهری مدل ارتقا یافته اجرا شد. در این رابطه r مقدار رشد جمعیت برحسب درصد است و n مربوط به بازه زمانی موردنظر جهت پیش‌بینی جمعیت است.

$$P_{(t+1)} = P_{(t)}\,(r+1)^n$$ رابطه (۴)

نتایج

تحلیل زنجیره مارکوف، تغییرات مساحت کاربری زمین طی سال‌های ۱۹۸۴ و ۱۹۹۴ را مطابق با ماتریس انتقال مساحت در جدول (۱) نشان داد. در این ماتریس پیش‌بینی می‌شود بخش وسیعی از زمین‌های کشاورزی در طول ده‌سال آینده به کاربری توسعه شهری تبدیل می‌شود. این موضوع به‌دلیل رشد سریع توسعه در گذشته بوده که این روند تاریخی در آینده نیز تاثیر گذاشته است. در صورتی‌که با توجه به پویایی تغییر کاربری و الگوهای رشد و توسعه و همچنین سیاست‌های منطقه‌ای محور کشاورزی بیشتر تقویت شده است.

جدول (۱): جدول اصلی انتقال مساحت حاصل از زنجیره مارکوف

طبقه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
مناطق مسکونی (۱)	۳۹۶۰۱	۲۱۱	۱۸۲۵	۲۷۱۳	۱۰۷۵	۶۵۹	۸۱۱۱
جنگل متراکم، نیمه متراکم و دستکاشت (۲)	۶۳۴۹	۴۵۳۰۶۴	۲۶۳۷۷	۱۳۶۸۰۱	۸۲۱۱	۱۷۷۴	۱۴۴۴۲
درختزار، مرتع و کشاورزی (۳)	۴۱۰	۳۱۱	۷۸۶۵۳	۹۵۸۷	۱۰۰	۶۶	۵۱۱۵
کشاورزی (۴)	۱۱۱۵۰۵	۲۳۷۷۳	۴۶۶۴	۵۵۱۴۹۲	۲۶۵۳۲	۱۱۴۰۳	۷۸۸۴۹
آب (۵)	۹۴۱	۳۰۴۶	۷۵۱	۱۲۲۲۲	۳۶۰۵	۱۴۸	۱۱۸۸
مناطق صنعتی (۶)	۱۴۰۳	۱۴۰۳	۱۴۰۳	۱۴۰۳	۱۴۰۳	۰	۱۴۰۳
جاده‌ها (۷)	۴۴۳۳	۱۹۹۱	۱۲۰۵	۲۹۸۶۴	۸۶۰	۴۱۴	۱۰۳۸۶

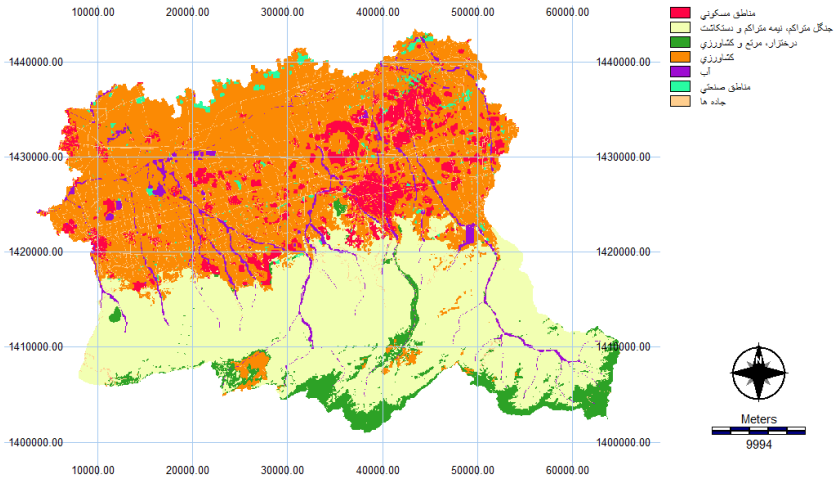
در شبیه‌سازی تغییرات کاربری لازم است این پیشران‌ها وارد مدل‌سازی شود. بنابراین، با احتساب جمعیت حوضه قره‌سو در سال ۱۹۹۴، حدود ۵۶۱,۷۱۲ نفر و در سال ۲۰۱۴ حدود ۸۱۸,۴۶۱ نفر بوده است. مقدار مساحت موردنیاز برای ۲۵۶,۷۴۹ نفر اضافه شده به جمعیت سال ۱۹۹۴، با احتساب سرانه ۲۲۵ مترمربع، نیازمند افزایش مساحت توسعه فضای مسکونی به مقدار ۵۷,۷۶۸,۵۲۵ مترمربع هستند. از آنجا که مساحت سلول‌های مورد پردازش، ۹۵۹,۶۷۹ مترمربع بوده، مقدار سلول مورد نیاز برای تبدیل فضای مسکونی ۶۰,۱۹۵ سلول محاسبه شده است که در ماتریس مساحت انتقال دستکاری شد (جدول ۲). مساحت مورد نیاز در توسعه شهری، در برنامه‌ریزی اصولی و علمی از کاربری‌های کشاورزی و مراتع دارای تناسب پایین تامین می‌شوند. زیرا، این مناطق مجاز به تغییر کاربری هستند. ولی مراتع ضعیف به‌دلیل عدم دسترسی و حضور در ارتفاعات بالادست حوضه مورد توجه قرار نگرفتند. مقدار مساحت انتقال یافته در ماتریس اصلی به کاربری توسعه مسکونی ۱۱۱/۵۰۵ سلول بوده است (جدول ۱)، که با دستکاری انجام شده به مقدار ۶۵/۱۹۵ سلول تقلیل یافته است (جدول ۲) و اختلاف این مقادیر به‌عنوان سلول‌های باقیمانده و بدون تغییر در کشاورزی (۶۰۲/۸۰۲ سلول) تنظیم شده است.

از ماتریس دستکاری‌شده انتقال مساحت در مدل زنجیره خودکار مارکوف استفاده شد. از آنجا که ماتریس انتقال به‌منزله قلب مدل

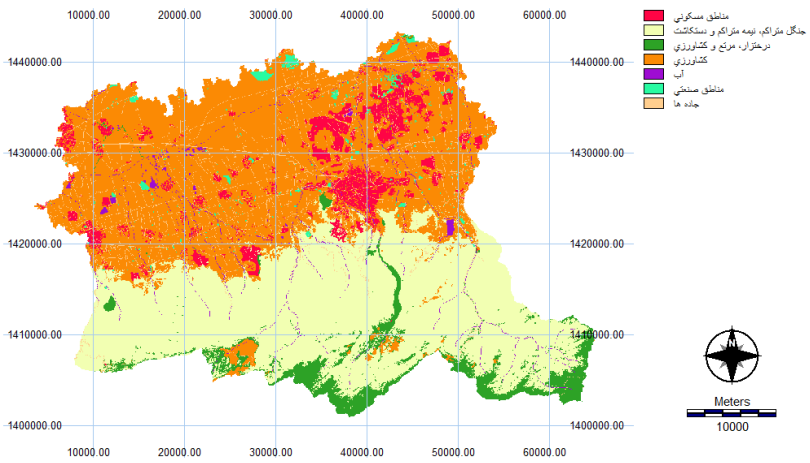
جدول (۲): ماتریس دستکاری شده انتقال مساحت جهت استفاده در زنجیره خودکار مارکوف

طبقه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
مناطق مسکونی (۱)	۳۹۶۰۱	۲۱۱	۱۸۲۵	۲۷۱۳	۱۰۷۵	۶۵۹	۸۱۱۱
جنگل متراکم، نیمه متراکم و دستکاشت (۲)	۶۳۴۹	۴۵۳۰۶۴	۲۶۳۷۷	۱۳۶۸۰۱	۸۲۱۱	۱۷۷۴	۱۴۴۴۲
درختزار، مرتع و کشاورزی (۳)	۴۱۰	۳۱۱	۷۸۶۵۳	۹۵۸۷	۱۰۰	۶۶	۵۱۱۵
کشاورزی (۴)	۶۰۱۹۵	۲۳۷۷۳	۴۶۶۴	۶۰۲۸۰۲	۲۶۵۳۲	۱۱۴۰۳	۷۸۸۴۹
آب (۵)	۹۴۱	۳۰۴۶	۷۵۱	۱۲۲۲۲	۳۶۰۵	۱۴۸	۱۱۸۸
مناطق صنعتی (۶)	۱۴۰۳	۱۴۰۳	۱۴۰۳	۱۴۰۳	۱۴۰۳	۰	۱۴۰۳
جاده ها (۷)	۴۴۳۳	۱۹۹۱	۱۲۰۵	۲۹۸۶۴	۸۶۰	۴۱۴	۱۰۳۸۶

مارکوف شناخته می‌شود، می‌توان این فرآیند را دستکاری قلب مارکوف نامید. در نهایت نقشه تغییرات کاربری‌ها ازطریق مـدل زنجیـره خودکار مارکـوف بـرای سال ۲۰۱۴ یک بار بدون دستکاری ماتریس انتقال مطابق شکل (۴) و بار دیگر با مدل ارتقا یافته مطابق شکل (۵) شبیه‌سازی شدند. بعد از اجرای مدل، هر دو نقشه تولید شده با فیلتر مد۵ × ۵ نرم‌سازی شدند.

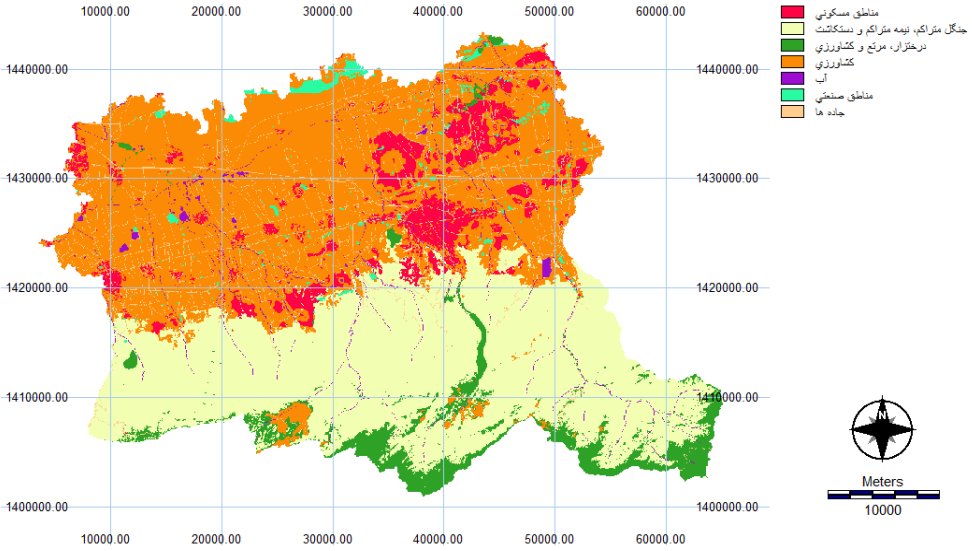


شکل (۴): شبیه‌سازی شده در سال ۲۰۱۴ (Overall Kappa = 0.86)



شکل (۵): ارتقا مدل شبیه‌سازی در سال ۲۰۱۴ (Overall Kappa = 0.94)

سپس هر یک از این نقشه‌ها نسبت به نقشه طبقه‌بندی شده ۲۰۱۴ صحت‌سنجی شدند. نقشه حاصل از مدل ارتقا شبیه‌سازی دارای صحت کلی (۰/۹۴) بیشتری نسبت به صحت کلی نقشه حاصل از شبیه‌سازی رایج (۰/۸۶) بوده است. همچنین میزان مقدار Roc برای مدل ارتقا یافته برابر (۰/۶۰) و برای مدل زنجیر مارکوف رایج برابر (۰/۵۴) به دست آمد که نتایج حاصل از این شاخص نیز برتری مدل ارتقا یافته نسبت به مدل رایج را نشان می‌دهد. بنابراین نتایج حاکی از بهبود و ارتقا نقشه تغییرات به‌دست آمده است. بر همین مبنا نقشه تغییرات کاربری اراضی در افق ۲۰۳۰ با روش ارتقا یافته انجام شد. پیش‌بینی مقدار جمعیت حوضه قره‌سو بر پایه نرخ رشد ۱/۹ درصد تا سال ۲۰۳۰ تقریبا ۱/۰۶۵/۲۱۳ برآورد شد. همچنین مساحت مورد نیاز توسعه فضای مسکونی در افق تعیین شده حدود ۷/۵۱۸ هکتار به دست آمد و در نهایت با دستکاری ماتریس انتقال مساحت، نقشه تغییرات کاربری اراضی همگام با پیشران‌های رشد جمعیت و سرانه مورد نیاز محدود و کنترل شد (شکل ۶).



شکل (۶): نقشه پیش‌بینی افق ۲۰۳۰ به‌کمک مدل زنجیره خودکار مارکوف ارتقا یافته

نتیجه‌گیری و بحث

فعالیت‌های انسانی سطح زمین را با نرخ بی‌سابقه‌ای در مقدار و مقیاس فضایی تغییر می‌دهند. اطلاعات مربوط به کاربری/ پوشش زمین و امکان استفاده بهتر از آن برای انتخاب، برنامه‌ریزی و اجرای طرح‌های کاربری زمین برای رفع نیازهای روزافزون انسانی و رفاه ضروری می‌نماید. این اطلاعات همچنین در نظارت بر پویایی کاربری زمین ناشی از تغییر تقاضای افزایش جمعیت کمک می‌کند (Rawat & Kumar, 2015). تجزیه و تحلیل فضایی و زمانی کاربری زمین، نظارت و مدل‌سازی گسترش شهری برای برنامه‌ریزی و مدیریت محیط شهری ضروری است، و نقش مهمی در نظارت بر تغییرات کاربری زمین و اندازه‌گیری میزان شهرسازی در سطح محلی و جهانی دارد. بنابراین، دانش در مورد رشد گذشته، حال و آینده نقش مهمی در روند تصمیم‌گیری دارد (Moghadam & Helbich, 2013). تبدیل زیستگاه‌های طبیعی به زمین‌های کشاورزی برای حفظ معیشت انسان به‌عنوان بزرگترین پیشران تغییر محیط جهانی شناسایی شده است. عوامل مختلف انسانی و طبیعی در کشورهای در حال توسعه سبب شده تا رشد جمعیت شهری به نسبت سریع‌تر و تغییرات کاربری بیشتری نسبت به کشورهای توسعه یافته داشته باشد (Dewan & Yamaguchi, 2009) و این رشد سبب ایجاد مشکلات محیط‌زیستی در مقیاس‌های فضایی متعددی می‌شود (Sue et al., 2012). بنابراین، در این مقاله سعی شده اثر رشد جمعیت به‌عنوان مهمترین عامل تغییر کاربری زمین در خروجی مدل زنجیره مارکوف لحاظ شود تا مدلی دقیق‌تر نسبت به واقعیت تولید شود.

همان‌طور که از بررسی ادبیات موضوع حاصل شد، مدل‌های متفاوتی برای پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین (Hu, 2007) استفاده شده است. مدل‌های شبیه‌ساز فضایی ابزارهای مفیدی

برای شبیه‌سازی کمی هستند (Keshtkar & Voigt, 2016) و هر یک دارای مزایا و معایبی هستند. برای مثال GEOMOD فقط تغییرات از یک کاربری به کاربری دیگر را مدل‌سازی می‌کند (Ziaeian Firouzabadi et al., 2009) و SLEUTH به‌رغم مزایایی که دارد برای ورود متغیرها دارای محدودیت بوده و همچنین تحت سیستم عامل UNIX اجرا می‌شود (Ahadnezhad & Hossaini, 2011) از طرفی دیگر مدل‌ساز تغییر اراضی[۴](LCM) مدلی است که تحت ویندوز بوده و محدودیت خاصی برای ورود متغیرهای توصیفی نداشته و ضمن کاربرد آسان، قابلیت‌های بیشتری را برای کاربر ایجاد می‌نماید. در پژوهشی که از شبکه عصبی مصنوعی برای استخراج پتانسیل‌های انتقال و از زنجیره مارکف جهت تخصیص احتمال‌های تغییر استفاده شده بود، LCM توانست ۰/۷۶ از تغییرات را به درستی پیش‌بینی نماید (Gholamalifard et al., 2014). در پژوهش (Raheli naming & Mortazavi, 2018) پس از تهیه نقشه کاربری اراضی برای بررسی و پیش‌بینی میزان توسعه مناطق مسکونی از مدل GEOMOD استفاده شد. سپس بر پایه مدل زنجیره خودکار مارکوف روند تغییرات کاربری اراضی احتمالی تخمین زده شد. نتایج حاکی از کاهش اراضی جنگلی و کشاورزی و افزایش و توسعه مناطق مسکونی است. با توجه به این که مقادیر کاپای کلی (بالای ۸۰ ٪)، برای هر دو روش برآورد شد. می‌توان نتیجه گرفت که مدل‌ها توانایی خوبی در پیش‌بینی‌کلاس‌های کاربری داشته‌اند. ولی از آنجا که مقدار کاپای برآورد شده برای روش GEOMOD بیشتر از روش زنجیره خودکار مارکوف بود می‌توان گفت در این مطالعه دقت روش GEOMOD در پیش‌بینی توسعه مناطق مسکونی و ساخته شده بالاتر بوده است. همچنین یکپارچه‌سازی مدل زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار به‌عنوان یکی از بهترین گزینه‌ها برای تجزیه و تحلیل تغییرات کاربری در مقیاس‌های مختلف فضایی است (Weng, 2002) که در پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین قدرتمند (Guan et al., 2011 & Sue et al., 2012)، کارآمد و دقیق (Corner et al., 2014) عمل می‌کند. اما فرآیند این مدل ممکن است همه‌ی پیشران‌های تاثیرگذار را در شبیه‌سازی به کار نبندد. هر چند این مقاله نشان داد این مدل دارای قابلیت ارتقا با پیشران‌های غیرفضایی را دارد. یکی از پیش‌فرض‌های اولیه زنجیره مارکوف یک فرآیند تصادفی در احتمال تغییر و تبدیل است (Arsanjani et al., 2013).

هدف اصلی این مطالعه، رفع و یا تعدیل مشکل اصلی مدل زنجیره مارکوف در شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی است. مدل زنجیره مارکوف بر اساس اصل ادامه روند تاریخی (گذشته) است؛ و این سبب می‌شود تا اگر به هر دلیلی این روند تغییر به‌طور یکسان اتفاق نیفتد پیش‌بینی نیز با خطا همراه باشد. در این مقاله با وارد کردن دو پیشران اصلی یعنی نرخ رشد توسعه و به تبع آن میزان تغییرات سرانه تقاضای شهری، ضمن استفاده از قابلیت‌های مفید زنجیره مارکوف آن را منعطف‌تر و نتایج را به واقعیت نزدیک‌تر کرد. که به‌طور عملی این موضوع در این پژوهش در حوضه آبخیز قره‌سو نشان داده شد. نقشه حاصل از مدل ارتقا شبیه‌سازی دارای صحت کلی (۰/۹۴) بیشتری نسبت به صحت کلی نقشه حاصل از شبیه‌سازی رایج (۰/۸۶) بوده است. همچنین میزان مقدار Roc برای مدل ارتقا یافته برابر (۰/۶۰) و برای مدل زنجیر مارکوف رایج برابر (۰/۵۴) به دست آمد که نتایج حاصل از این شاخص نیز برتری مدل ارتقا یافته نسبت به مدل رایج را نشان می‌دهد.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از استاد گرانقدر جناب آقای پروفسور عبدالرسول سلمان‌ماهینی به‌دلیل حمایت‌های بی‌دریغشان در به اشتراک گذاشتن داده‌های پایه برای مدل‌سازی‌های انجام شده در این مقاله، بی‌نهایت قدردانی و سپاسگزاری می‌شود.

یادداشت‌ها

1. Cellular Automata Markov Chain (CA-MC)
2. Multi-Criteria Evaluation (MCE)
3. Error Matrix Analysis (ERRMAT)
4. Land Change Modeler (LCM)

فهرست منابع

Ahadnezhad, M. & Hossaini. A. 2011. The evaluation and predicting of urban sprawl using multi-temporal satellite imagery and GIS (a case study Tabriz city 1984-2010). Research and Urban Planning. 2(4): 1 (In Persian).

Alimohammadi, A.; Matkan, A. & Mirbagheri, B. 2010. The evaluation of cellular automata model efficiency in simulation of urban areas development (case study: suburbs of south west of Tehran). Spatial planning (Modares Human Sciences). 14(2 (66)): 81-102 (In Persian).

Arsanjani, J. J.; Helbich, M.; Kainz, W. & Boloorani, A. D. 2013. Integration of logistic regression, Markov chain & cellular automata models to simulate urban expansion. International Journal of Applied Earth Observation & Geoinformation. 21: 265-275.

Behera, M. D.; Borate, S. N.; Panda, S. N.; Behera, P. R. & Roy, P. S. 2012. Modelling and analyzing the watershed dynamics using Cellular Automata (CA)–Markov model–A geo-information based approach. Journal of Earth System Science. 121(4): 1011-1024.

Corner, R. J.; Dewan, A. M. & Chakma, S. 2014. Monitoring and prediction of land-use and land-cover (LULC) change. In Dhaka megacity. 75-97. Springer, Dordrecht.

Dewan, A. M. & Yamaguchi, Y. 2009. Land use and land cover change in Greater Dhaka, Bangladesh: Using remote sensing to promote sustainable urbanization. Applied Geography. 29(3): 390-401.

Fathizad, H.; Zare, M.; Karimi, H. & Khanamani, A. 2018. Spatio-temporal modeling of landscape changes using Markov chain compilation model and automated cells (Case study: arid and semi-arid area Dehloran). Journal of Arid Biome. 8(1): 11-26 (In Persian).

Gholamalifard, M.; Mirzayi, M. & Joorabian Shooshtari, Sh. 2014. Land use change modeling using artificial neural network and markov chain (Case study: Middle Coastal of Bushehr Province). Journal of RS and GIS for Natural Resources. 5(1): 65 (In Persian).

Guan, D.; Li, H.; Inohae, T.; Su, W.; Nagaie, T. & Hokao, K. 2011. Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model. Ecological Modelling. 222(20-22): 3761-3772.

Hu, Z. 2007. Modeling urban growth in Atlanta using logistic regression. Computer. Environ. Urban Syst. 31: 667–688.

Kavyan, A.; Zargosh, Z.; Jaffaryan Jolodar, Z. & Darabi, H. 2017. Land use changes modelling using logistic regression and Markov chain in the Haraz watershed. Journal of Natural Environment. 70(2): 397- 411 (In Persian).

Keshtkar, H. & Voigt, W. 2016. A spatiotemporal analysis of landscape change using an integrated Markov chain and cellular automata models. Modeling Earth Systems and Environment. 2(1): 10.

Khammar, Gh. A. & Namazi, A. 2017. Prediction and simulation of spatial-physical development pattern of the city of Chabahar, in the horizon of the year 1420 (2041), using RS and automated cells models. Spatial Planning. 7(2): 79-94 (In Persian).

Liu, X.; Li, X.; Shi, X.; Wu, S. & Liu, T. 2008. Simulating complex urban development using kernel-based non-linear cellular automata. Ecological Modelling. 211(1-2): 169-181.

Logsdon, M. G.; Bell, E. J. & Westerlund, F. V. 1996. Probability mapping of land use change: a GIS interface for visualizing transition probability. Compute Environ Urban Syst. 20: 389-398.

Luna, R. & Robles, B. 2003. Land use, land cover changes and coastal lagoon surface reduction associated with urban growth in northwest Mexico. Landscape Ecology. 18(2): 159–171.

Mishra, V. N. & Rai, P. K. 2016. A remote sensing aided multi-layer perceptron-Markov chain analysis for land use and land cover change prediction in Patna district (Bihar), India. Orginal Paper, Arab J Geosci. 9: 249.

Moghadam, H. S. & Helbich, M. 2013**.** Spatiotemporal urbanization processes in the megacity of Mumbai India: A Markov chains-cellular automata urban growth model. Appl. Geogr. 40: 140–149.

Nooroldin, M.; Neysani Samani, N. & Tomanain, A. 2018. Simulation of urban development in Tabriz using CA-Markov model and multi-criteria decision making. Human geography research. 50(1): 217-231 (In Persian).

Prakasam, C. 2010. Land Use and Land Cover Detection through Remote Sensing. Approach: A Case Study of Kodaikanal taluk, Tamilnadu. International Journal of Geometics and Geosciences. 1(2): 150-158.

Quintero, G. V.; Moreno, R. S.; García, M. P.; Guerrero, F. V.; Alvarez, C. P. & Alvarez, A. P. 2016. Detection and Projection of Forest Changes by Using the Markov Chain Model and Cellular Automata. Sustainability. 8(3): 1-13.

Raheli namin, B. & 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. Geographic Space. 18(62): 159-169 (In Persian).

Rahnama, M. & Ajza Shokouhi, M. 2017. Detection of land use / land cover changes in gonbad-e-kavus city using remote sensing. Geographical Data. 26(103): 147-160 (In Persian).

Ramezani, N. & Jafari, R. 2015. Land use/cover change detection in 2025 with CA-Markov chain model (case study: Esfarayen). Geographical Research. 29(4): 83-96 (In Persian).

Rawat, J. S., & Kumar, M. 2015. Monitoring land use/cover change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Hawalbagh block, district Almora, Uttarakhand, India, Egypt. J. Remote Sensing Space Sci. 18(1): 77-84.

Regional Water Company of Golestan. 2015. Iran Water Resource. Manage. Co. Website. URL. http://www.gsrw.ir/SC.php?type=static&id=69 (In Persian).

Rezazadeh, R. & Mirahmadi, M. 2009. Cellular automata model, a new approach in urban growth simulation. Journal of Technology of Education. 4(1): 47-55 (In Persian).

Salmanmahiny, A. 2013. Golestan province land use planning report. Management and planning organization. Islamic Republic of Iran, Golestan (In Persian).

Sang, L.; Zhang, C.; Yang, J.; Zhu, D. & Yun, W. 2011. Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA-Markov model. Math. Comput. Model. 54(3): 938-943.

Soe, W. M. & 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.
Sue, S.; Xiao, R.; Jiang, Z. & Zhang, Y. 2012. Characterizing landscape pattern and ecosystem service value changes for urbanization impacts at an eco-regional scale. Applied Geography. 34: 295-305.

Taheri, M.; Gholamalifard, M.; Riahi Bakhtiari, A. & Rahimoghli, Sh. 2014. Land cover changes modeling of Tabriz Township using artificial neural network and Markov chain, Physical Geography Research Quarterly. 45(86): 97-121 (In Persian).

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 e Proceedings. 5: 63–76.

Turner, M. G. & Ruscher, C. L. 2004. Change in landscape patterns in Georgia. USA. Ecol. 1(4): 251421.

Wang, W.; Zhang, C.; Allen, J. M.; Li, W.; Boyer, M. A.; Segerson, K.; John, A. & Silander, Jr. 2016. Analysis and Prediction of Land Use Changes Related to Invasive Species and Major Driving Forces in the State of Connecticut. Land. 5(3): 25.

Weng, Q. 2002. Land use change analysis in the Zhujiang Delta of china using satellite remote sensing, GIS and stochastic modelling. Journal of environmental management. 64(3): 273-284.

Yirsaw, E.; Wu, W.; Shi, X.; Temesgen, H. & Bekele, B. 2017. Land Use/Land Cover Change Modeling and the Prediction of Subsequent Changes in Ecosystem Service Values in a Coastal Area of China, the Su-Xi-Chang Region. Sustainability. 9(7): 1204.

Yu, W.; Zang, S.; Wu, C.; Liu, W. & Na, X. 2011. Analyzing and modeling land use land cover change (LUCC) in the Daqing City, China. Applied Geography. 31(2): 600-608.

Ziaeian Firouzabadi, P.; Shakiba, A.; Matakan, A. & Sadeghi, A. 2009. Remote sensing (RS), geographic information system (GIS) and cellular automata model (CA) as tools for the simulation of urban land use change- a case study of shahr-e-kord. Environmental Sciences. 7(1): 133-148 (In Persian).