



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال نوزدهم، شماره‌ی ۶۵
بهار ۱۳۹۸ صفحات ۹۰-۷۱

* مهدی سعادت نوین^۱
احمد رضا ابراهیمی پور^۲
فرزام خسروی^۳

شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات زمانی-مکانی کاربری‌های شهری با استفاده از مدل CA_Markov (مطالعه موردی: شهر بجنورد)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۳/۲۷

چکیده

رشد روزافزون جمعیت و توسعه ساخت‌وسازهای شهری باعث تغییر در کاربری‌ها می‌شود. بخصوص تغییر کاربری در زمین‌های کشاورزی که در تامین نیازهای غذایی انسان‌ها نقش بسزایی دارند. با توجه به این مساله نیاز به برنامه‌ریزی در جهت حفظ و نگهداری زمین‌های با ارزش کشاورزی و حفاظت از محیط‌زیست امری مهم در دنیای امروز است. یکی از راه‌هایی که می‌تواند برای برنامه‌ریزی موثر و مفید باشد، شبیه‌سازی تغییر کاربری‌ها با توجه به پارامترهای تاثیرگذار در تغییرات در طول زمان است. در این تحقیق به بررسی تغییرات و شبیه‌سازی کاربری‌های شهر بجنورد با کمک مدل CA_Markov پرداخته شد. از نقشه‌های کاربری دو دوره زمانی برای کالیبره کردن مدل‌ها و به منظور اعتبارسنجی مدل‌ها از روش Validate که یک روش آماری برای اعتبارسنجی مدل‌ها است استفاده شده است. بررسی خروجی نقشه‌های حاصل از مدل CA_Markov نشان می‌دهد که بیش‌ترین رشد در کاربری مناطق

*۱- کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی-دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران. (نویسنده مسئول).

E-mail: msn.saadat@yahoo.com

۲- عضو هیات علمی پژوهشی جهاد دانشگاهی واحد دانشگاه خوارزمی.

۳- کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی- دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.

ساخته شده وجود دارد. در سال (۱۴۰۰) کاربری مناطق ساخته شده ۵/۳ درصد نسبت به سال (۱۳۸۸) رشد خواهد داشت و در دوره‌های بعد آهنگ رشد به‌طور میانگین ۳/۵ درصد است.

کلید واژه‌ها: شبیه‌سازی، زنجیره مارکوف، ارزیابی چند معیاره، تحلیل سلسله مراتبی، کاربری شهری.

مقدمه

شهرها در بستر زمان همانند موجودات زنده از لحاظ کالبد بزرگ‌تر و از جهت ساخت پیچیده‌تر می‌گردند و به دنبال این رشد فیزیکی، توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی آن‌ها به تدریج دگرگون می‌شود (Hoseinzadeh Dalir, 2006). این تغییرات تحت تاثیر نیروها و عواملی قرار دارند که همواره فضای کالبدی شهرها را تحت تاثیر قرار می‌دهند و در طی زمان با تغییرات و پیشرفت‌های اجتماعی، اقتصادی تحول می‌یابند. این تحول ضمن این‌که چهره و منظر جدیدی به کالبد فیزیکی شهرها تحمیل می‌کند زمینه تغییرات در محتوا و ساختارهای اجتماعی، اقتصادی شهر را نیز فراهم می‌آورند. شناخت و تحلیل عوامل و نیروهای بیرونی و درونی موثر در شهر با توجه به ساختار اجتماعی، اقتصادی، سیاسی و ویژگی‌های ناحیه‌ای از یک سو و شناخت مکانیزم حمل این نیروها و برخورد با بافت کالبد و ساختار اقتصادی، اجتماعی و اداری ویژه آن شهر از سوی دیگر و بررسی تغییرات آن در طول زمان بحث و مفهوم تازه‌ای تحت عنوان دینامیک شهری مطرح کرده است. این الگو و نمونه جدید، در روند توسعه و بهره‌گیری از چهره شهری زمینه تازه‌ای را در مطالعات آمایش و نوسازی سکونتگاه‌های شهری فراهم می‌نماید. گسترش ناهمگون شهرها در سالیان اخیر معلول تکامل فضایی مکان‌های جغرافیایی (نظیر شهر و روستا) و بازتابی از پیشینه تاریخی شهرنشینی در ایران و تاثیر از مسائل سیاسی، اقتصادی و اجتماعی و به ویژه جغرافیایی می‌باشد. به‌گونه‌ای که در این فرآیند نظام متعادل و منطقی سکونتگاهی از یک پراکنش صحیح به ناهماهنگی در نظام فضایی شهر و روستا تبدیل شده است. این گسترش بی‌رویه منجر به ساخت‌وسازهای بدون برنامه‌ریزی و تغییرات زیربنایی در ساختار فضایی، بخصوص گسترش شهر در زمین‌های کشاورزی شده است که لزوم هدایت آگاهانه و سازمان‌دهی اساسی و طراحی فضای زیستی مناسب همراه با جلوگیری از اتلاف زمین‌های کشاورزی را افزایش داده است.

یکی از مشکلات عمده در برنامه‌ریزی شهری با توجه به رشد جمعیت و کمبود امکانات زیربنایی تعیین جهت و نحوه گسترش فیزیکی شهر برای جواب‌گویی به نیازهای فعلی و آینده می‌باشد؛ اما عملاً در بیش‌تر موارد این جهت گسترش به علت روش‌های سنتی کار و عدم استفاده از ابزارهای مناسب و استناد به مشاهدات بصری فاقد بستر مناسب و بهینه هدایت بوده است. در بعضی از موارد نیز از واقعیت به دور بوده است به‌طوری که نه تنها راه کار مناسبی برای تامین نیازهای فعلی و آینده نبوده بلکه مشکلاتی را نیز به‌وجود آورده است در این راستا داده‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی ابزاری مفید و مهم برای مطالعات شهری به‌خصوص تعیین جهت مناسب گسترش فیزیکی شهر محسوب می‌شود. به این صورت که تصاویر ماهواره‌ای مانند SPOT، LandSat، IKONOS و QuickBIRD علاوه بر امکان دید جامع و یکنواخت از هر ناحیه، دارای قدرت تفکیک بالایی بوده و

لذا می توان با عمل طبقه بندی، اطلاعات دقیقی از زمین های اطراف شهر برای شناسایی قابلیت های در جهت تعیین بستر مناسب گسترش فیزیکی را به دست آورد. از طرفی با توجه به نیاز جامعه شهری به جمع آوری اطلاعات به منظور استفاده از منابع و برنامه ریزی رشد و توسعه صحیح، حفظ محیط زیست، طراحی و برنامه ریزی برای رفع نیازهای شهر و همچنین وقت گیر و هزینه بر بودن روش های سنتی، لزوم استفاده از تکنولوژی های جدید اجتناب ناپذیر است. در راستای این هدف تکنولوژی های جدید با به کارگیری GIS در راه ایجاد محیط مناسب برای مدیریت و برنامه ریزی شهر، استفاده صحیح و هدف دار و تشخیص و کنترل تغییرات کاربری و تجزیه و تحلیل داده ها گام برداشته است. لذا GIS دارای قابلیت های گردآوری داده ها، ترکیب و تحلیل آن ها بوده و می تواند برای تعیین جهت مناسب گسترش فیزیکی شهر استفاده شود. در این راستا امکان به کارگیری تصاویر ماهواره ای و عکس های هوایی وجود دارد. تحقیقات متعددی در زمینه مدل سازی تغییر کاربری ها صورت گرفته از جمله:

Khoshgofar et al (2010) در تحقیقی تحت عنوان "مدل سازی زمانی-مکانی رشد شهری" با استفاده از داده های سنجش از دور و مدل CA_Markov به بررسی و پیش بینی تغییرات کاربری ها در بخشی از شهر تهران تا سال (۲۰۲۰) پرداختند. نتایج آنالیز مدل ها نشان داد که کاربری زمین های بایر تا سال (۲۰۲۰) افزایش یافته و بخشی از کاربری های جنگل و زمین های کشاورزی به زمین های بایر و ساخته شده تبدیل شده اند.

Wu et al (2006) در تحقیقی تحت عنوان "بازبینی و پیشگویی تغییر کاربری شهری در پکن با استفاده از تصاویر ماهواره ای و GIS" به بررسی تغییر کاربری اراضی در دوره زمانی بین سال های (۱۹۸۶) تا (۲۰۰۱) پرداخته اند. نتایج این تحقیق نشان داد به کارگیری تکنولوژی سنجش از دور و GIS با مدل زنجیره مارکف و رگرسیون می تواند به عنوان ابزاری کارآمد در خصوص پیش بینی رشد شهری مطرح گردد.

Stevens et al (2007) در مطالعه ای تحت عنوان "ابزار مدل سازی سلول خودکار-GIS برای برنامه ریزی و تصمیم گیری شهری" به بررسی روش سلول خودکار جهت مدل سازی توسعه فیزیکی شهری پرداختند. در این تحقیق، سعی شده است با اعمال تغییرات در روش سلول خودکار مدل سازی مناسبی جهت شبیه سازی رشد شهری فراهم شود. نتایج این تحقیق نشان داد با اعمال یک سری تغییرات در روش سلول خودکار می توان به نتایج بهتری در خصوص شبیه سازی رشد شهری دست یافت.

Liu et al (2008) در تحقیقی تحت عنوان "شبیه سازی توسعه شهری با استفاده از سلول خودکار مبتنی بر کرنل" به بررسی روش سلول خودکار در بررسی روند توسعه شهری پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد سلول خودکار مبتنی بر کرنل نسبت به سلول خودکاری مبتنی بر شبکه طبیعی از دقت بالاتری برخوردار است و به طور کلی سلول خودکار روندی رو به رشد جهت شبیه سازی مرکب سیستم شهری در پیش گرفته است.

Mitsova et al (2011) در تحقیقی تحت عنوان "مدل سلول خودکاری تغییر چشم اندازها برای ادغام کردن رشد شهری با حفظ منابع طبیعی" به مدل سازی رشد شهری با استفاده از مدل CA_Markov در ایالت های اهایو، ایندیانا و سینسیناتی پرداختند. آن ها در تحقیق خود از دو سناریو برای مدل سازی رشد استفاده کردند. یک سناریو بدون در

نظر گرفتن محدودیت‌های زیست‌محیطی و سناریو دوم با در نظر گرفتن محدودیت‌های زیست‌محیطی مانند عمق آب‌های سطحی، فاصله از حاشیه رودخانه‌ها، شیب‌های تند و... نتایج تحقیق نشان داد که میزان گسترش مناطق شهری در سناریو دوم که محدودیت‌های زیست‌محیطی اعمال شده کم‌تر است.

Feng et al (2011) به ترکیب مدل سلول خودکار و PSO پرداختند و مدل سلول خودکار و PSO را طراحی نمودند که از قابلیت مدل PSO در نمونه‌گیری تصادفی برای تعریف قوانین تبدیل سلول خودکار استفاده کردند. مدل برای شهر Fengxian به‌منظور پیش‌بینی رشد شهری از سال (۱۹۹۲) تا (۲۰۲۰) اجرا گردید. نتایج مدل PSO_CA با نتایج مدل LR_CA با تولید ماتریس خطاها مقایسه گردید که دقت کلی مدل PSO_CA ۷۳/۳ در برابر دقت ۷۶/۲ مدل LR_CA را نشان می‌داد.

Zhang et al (2011) با استفاده از مدل CA_Markov به مدل‌سازی رشد شهری در شانگهای پرداختند. آن‌ها در تحقیق خود از سه سناریو استفاده نمودند. سناریو اول با در نظر گرفتن نقش‌های تاریخی بدون در نظر گرفتن تأثیرات انسانی. سناریو دوم تأثیر مرکز سرویس‌گرا و سناریو سوم تأثیر مرکز اصلی تولیدات. نتایج تحقیق نشان داد که در سناریو اول رشد در اطراف شهر اتفاق می‌افتد در حالی که رشد در سناریو دوم در اطراف راه‌ها رخ می‌دهد. نتایج مدل در رابطه با سناریو سوم نشان داد که در سال (۲۰۱۵) و (۲۰۲۵) رشد به‌صورت پارک‌های صنعتی و کمربند‌های صنعتی در اطراف راه‌های حمل‌ونقل شکل می‌گیرد.

Guan et al (2011) در شهر ساگا به بررسی و مدل‌سازی تغییرات با استفاده از مدل CA_Markov پرداختند. آن‌ها ابتدا میزان تغییرات را با استفاده از روش‌های GIS طی سال‌های (۱۹۷۶) تا (۲۰۰۶) به‌دست آوردند و داده‌های طبیعی، اجتماعی-اقتصادی را برای تولید نقشه‌های پتانسیل مورد بررسی قرار دادند. سپس با استفاده از نقشه‌های پتانسیل انتقال و میزان انتقال، مدل CA_Markov را برای پیش‌بینی رشد آتی شهر در سال‌های (۲۰۱۵) و (۲۰۴۲) به‌کار بردند. نتایج خروجی‌های مدل حاکی از کاهش زمین‌های کشاورزی و جنگل بود و به‌علاوه افزایش مناطق ساخته شده را نشان می‌داد و گسترش شهر به سمت حاشیه پیش‌روی می‌کند و مرکزیت شهر کاهش می‌یابد.

Khammar et al (2014) در تحقیقی تحت عنوان "ارزیابی الگوی رشد هوشمند شهری در شهرهای جدید ایران با تأکید بر شهر جدید صدرا با استفاده از مدل SLEUTH" با استفاده از روش‌های توصیفی-تحلیلی و تصاویر ماهواره‌ای به تحلیل عوامل موثر در رشد شهری پرداختند. سپس با استفاده از مدل SLEUTH پیش‌بینی رشد شهری بین سال‌های (۱۴۱۰ تا ۱۴۳۰) انجام گردید.

Mosivand.M et al (2016) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای حاصل از ماهواره‌های لندست و IRS به بررسی تغییرات تبدیل کاربری‌های شهر خلخال در فاصله زمانی سال‌های (۱۳۶۶)، (۱۳۸۱) و (۱۳۸۷) پرداختند. نتایج بررسی‌ها نشان داد که بین سال‌های (۱۳۶۶ تا ۱۳۸۱) مساحت برخی کاربری‌ها نظیر مرتع و جنگل و چمن‌زار کاهش یافته و مساحت کاربری‌هایی مانند زراعت دیم و آبی، باغ و مسکونی افزایش یافته بین سال‌های (۱۳۸۱ تا ۱۳۸۷) مساحت کاربری‌های مانند چمن‌زار، مرتع مشجر و جنگل و زراعت دیم کاهش داشته و بقیه کاربری‌ها افزایش را نشان می‌دهد.

در این تحقیق مدل CA_Markov به منظور شبیه سازی تغییر کاربری های شهر بجنورد به کار گرفته شده است. این گونه مدل ها می تواند در بررسی روند توسعه و پیش بینی رشد شهری به منظور برنامه ریزی و جلوگیری از تخریب کاربری هایی مانند زمین های کشاورزی مفید بوده باشد و روند تصمیم گیری های آینده را منسجم تر بگردانند.

منطقه مورد مطالعه

شهر بجنورد شکل (۱) بین ۳۷ درجه و ۲۸ دقیقه عرض جغرافیایی و ۵۷ درجه و ۲۰ دقیقه طول جغرافیایی گسترده شده و ارتفاع آن از سطح آب های آزاد ۱۰۱۰ متر است. شهرستان بجنورد در شمال استان خراسان شمالی قرار دارد و دارای مساحتی در حدود ۶۷۰۰ کیلومتر مربع است و مرکز آن شهر بجنورد است. شهر بجنورد در منتهی الیه شمال دشت بجنورد مشرف بر پای کوه های شمالی در بستری هموار قرار گرفته است. بلندترین نقطه ارتفاعی محدوده محیطی مؤثر بر شهر، تله سلوک در جنوب غربی شهر و دریافت کننده نزولات جوی با ۲۶۷۰ متر ارتفاع از سطح دریا و پایین ترین نقطه شمال غرب باباامان با ۸۱۱ متر در پست ترین موقعیت محدوده طبیعی شهر از سطح دریا قرار دارد. از حدود ۳۰۰ سال پیش که هسته اولیه شهر کنونی بجنورد بر روی اراضی پست و همواری که از شمال غرب به دشت های دامنه ای و از جنوب به فلات ها محدود می شود بنا نهاده شده عارضه طبیعی مهمی مانع توسعه فیزیکی شهر نبوده است. بدین لحاظ در پی تحولات اقتصادی و اجتماعی قرن اخیر افزایش جمعیت شهر، بافت نسبتاً متمرکز شهر تقریباً در همه جهات شروع به گسترش نموده و بافت به هم تنیده منطقه شهری بجنورد در دو دهه اخیر توسعه فیزیکی قابل توجهی داشته است. شهر بجنورد در شمال ناحیه مرکزی دشت واقع شده و شیب عمومی آن به سمت شمال است. شیب در محور شرقی-غربی شهر نزدیک به صفر می باشد. پایین ترین ناحیه در سمت شمال شرقی شهر واقع شده و منطبق بر مسیل است. شیب مسیل نیز به سمت شرق است. با توجه به ناچیز بودن شیب در محور شرقی-غربی شهر، شکل گیری خیابان های اصلی و فرعی و کلیه گذرهای شهر به گونه ای است تا بتواند حداقلی از شیب را کسب نماید. این خیابان ها در جهاتی متمایل به شمال و با زاویه ای نسبت به جهت اصلی شیب استقرار یافته اند. شمال شهر بجنورد، دارای شیبی کم تر از یک درصد است. همچنین در محدوده هایی از جنوب و جنوب غرب و بخشی از جنوب شرق، میزان شیب کم تر از یک درصد است. این اراضی دارای محدودیت زهکشی و زیرساختی هستند. ارتفاعات تا ۱۵۰۰ متر و فلات های کوچک هموار تا ۲۰۰۰ متر ارتفاع دارای شیبی بین ۱ تا ۳ درصد هستند. در این محدوده، اراضی که شیب شان تا ۲ درصد است دارای محدودیت زیرساختی هستند. با توجه به ارتفاعات و چشمه های مشرف به این اراضی و همچنین نوع دانه بندی خاک، برای کشاورزی مناسب هستند.



شکل ۱: موقعیت شهرستان بجنورد در استان خراسان شمالی

Figure 1: Location of Bojnourd city in northern of Khorasan state

مواد و روش‌ها

- زنجیره مارکوف

زنجیره مارکوف توسط یک ریاضیدان روسی ا.ا. مارکوف در سال (۱۹۰۷) ارائه شده است. زنجیره مارکوف یک زنجیره احتمالاتی است که احتمال تبدیل از یک حالت به حالت دیگر را محاسبه می‌کند؛ به عبارت دیگر احتمال وقوع یک حالت در زمان t بستگی به وضعیت آن در زمان قبل ($t-1$) دارد (Alizadeh, 1999). به صورت تئوری قسمت معینی از زمین ممکن است در هر زمان از یک گروه کاربری زمین به هر گروه دیگر تبدیل شود. آنالیز مارکوف ماتریس‌هایی را به کار می‌برد که تمامی تغییرات کاربری زمین میان تمامی گروه‌های منحصربه‌فرد کاربری زمین را نمایش می‌دهد (Khoshgoftar, 2010).

- تحلیل ارزیابی چند معیاره

روشی برای تولید نقشه‌های شایستگی با توجه به پارامترهای موثر بر شایستگی پیکسل‌ها می‌باشد. تحلیل ارزیابی چند معیاره دارای سه روش اصلی در تولید این گونه نقشه‌ها است که شامل: اشتراک بولین^۴، ترکیب خطی وزنی^۵ و میانگین مرتب شده وزنی^۶ است. در اینجا به دلیل استفاده از روش ترکیب خطی وزنی به توضیح اجمالی آن می‌پردازیم (Malczewski, 1998).

4- Boolean Intersection

5- Weighted Linear Combination

6- Order Weighted Average

- روش ترکیب خطی وزنی

این روش بر اساس مفهوم میانگین وزنی می باشد. در این روش معیارهای پیوسته در یک محدوده عددی معینی استاندارد می شوند و سپس به وسیله میانگین وزنی ترکیب می گردند. تصمیم گیرنده، وزنی به هر فاکتور اختصاص می دهد. نتیجه نهایی که همان نقشه شایستگی هست از ضرب هر فاکتور استانداردسازی شده در وزن اختصاص داده شده به آن فاکتور و سپس مجموع تمامی نتایج به دست می آید (Malczewski, 1998).

$$S = \sum w_i x_i$$

S = شایستگی، W_i = وزن فاکتور j ، X_j = رتبه معیار فاکتور j

اگر از محدودیت های بولین استفاده شود این مرحله با ضرب شایستگی محاسبه شده از فاکتورها در محدودیت ها تصحیح شود:

$$S = \sum W_i X_i * IIC_j$$

- وزن دهی معیارها

روشی های وزن دهی متعددی برای تعیین وزن معیارهای مورد استفاده در تولید نقشه های شایستگی وجود دارند از جمله روش های رتبه بندی، درجه بندی و مقایسه های دوه دو که در این تحقیق به دلیل استفاده از روش مقایسه های دوه دو به توضیح اجمالی این روش می پردازیم (Malczewski, 1998).

- روش مبتنی بر مقایسه دوه دو^۷

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در سال (۱۹۸۰) توسط پروفیسور ساعتی ارائه شد. در این روش برای ایجاد ماتریس نسبت به مقایسه های دوه دو پرداخته می شود. مقایسه های دوه دو به عنوان ورودی در نظر گرفته شده و وزن های نسبی به عنوان خروجی تولید می گردد. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی شامل مراحل زیر است:

- ۱- محاسبه وزن های معیار: محاسبه وزن ها با توجه به اهمیت معیارها در مقیاس ها دوه دو صورت می گیرد.
- ۲- تخمین نسبت پایداری یا سازگاری: در این مرحله میزان پایداری مقایسه ها محاسبه می شود و اگر عدد به دست آمده کوچک تر از ۰/۱ باشد نشان دهنده سازگاری مقایسه ها می باشد (Malczewski, 1998).

- سلول خودکار

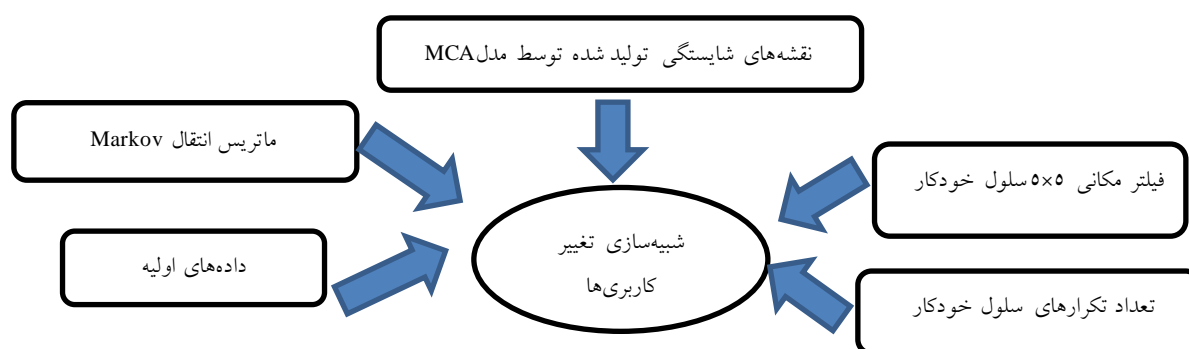
سلول خودکار به نوعی از سیستم های پویا (دینامیکی) اشاره می کند که در زمان و فضا گسسته هستند. سلول خودکار اولین بار توسط جان ون نیومن و استانیسلا واولوم در (۱۹۴۰) مطرح شد. اساس سلول خودکار شامل عناصر زیر است:

شبکه، حالت سلول، همسایگی، قوانین انتقال و زمان. سلول خودکار به عنوان یکی از سیستم های پشتیبانی برنامه ریزی شهری مطرح است. با توجه به قابلیت و کارایی سلول خودکار در رشته های مختلف، برنامه ریزی شهری و به ویژه در برنامه ریزی کاربری زمین شهری و تطبیق آن با بسیاری از ابعاد شهری و زیرساخت های جدید لزوم توجه و بسط بیش تر سلول خودکار ضروری می باشد (Kiani, 2004).

– مدل CA_Markov

مدل CA_Markov مدلی برای شبیه سازی تغییرات پوشش/کاربری زمین در بازه های زمانی مختلف است که از سه بخش تشکیل شده:

- ۱- ماتریس احتمال تبدیل کاربری ها به یکدیگر که با استفاده از زنجیره مارکوف^۸ تولید می شود.
- ۲- نقشه های شایستگی که با استفاده از روش های ارزیابی چند معیاره^۹ تولید می شود.
- ۳- تعداد تکرارها و فیلتر مکانی سلول خودکار^{۱۰} که تعداد تکرارها وابسته به فاصله زمانی تصاویر که ماتریس انتقال مارکوف بر اساس آن شکل گرفته و فیلتر مکانی که تبدیل پیکسل ها را بر اساس شایستگی هر پیکسل در نقشه های شایستگی انجام می دهد. شکل (۲) فرآیند مدل سازی CA_Markov را نمایش می دهد.



شکل ۲: فرآیند مدل سازی CA_MARKOV (Mitsova, 2011)

Figure 2: The procedure of modelling of CA_MARKOV model (Mitsova, 2011)

زنجیره مارکوف و سلول خودکار هر دو، مدل دینامیک گسسته در زمان و موقعیت هستند. مشکل ذاتی زنجیره مارکوف این است که هیچ درک مکانی تولید نمی کند. احتمال تبدیل ممکن است روی هر گروه پایه، دارای صحت و دقت باشد ولی هیچ دانش و آگاهی از توزیع مکانی تصادفی درون هر گروه کاربری زمین وجود ندارد. به همین دلیل سلول خودکار جهت اضافه کردن مشخصه مکانی مورد استفاده قرار می گیرد (Eastman, 2006). مدل CA_Markov از یک فیلتر مکانی ۵×۵ شکل (۳) برای تبدیل پیکسل ها استفاده می کند. به این ترتیب که فیلتر مکانی نقشه های شایستگی در

8- Markov Chain

9- Multicriteria evaluation

10- Cellular Automata

مدت هر تکرار، وزن دهی مجدد می کند و شایستگی پیکسل هایی را که در همسایگی گروه های یکسان قرار دارند افزایش می دهد. در مدت هر تکرار^{۱۱}، پیکسل ها با بالاترین احتمال تبدیل و بالاترین درجه شایستگی برای یک کلاس ویژه به یک کلاس جدید که پیکسلی است با احتمال پایین انتقال پیدا می کنند و پیکسل هایی با درجه شایستگی پایین تر بدون تغییر باقی می ماند (Eastman, 2006).

۰	۰	۱	۰	۰
۰	۱	۱	۱	۰
۱	۱	۱	۱	۱
۰	۱	۱	۱	۰
۰	۰	۱	۰	۰

شکل ۳: فیلتر مکانی ۵×۵ سلول خودکار

Figure 3: 5*5 spatial filter of cellular automata

- پیاده سازی مدل CA_Markov

- استخراج نقشه های کاربری زمین

در این تحقیق برای تهیه نقشه کاربری ها و تعدادی از نقشه های معیار از عکس هوایی گرفته شده در سال (۱۳۷۳) استفاده شده است. برای پوشش کامل منطقه مورد مطالعه از موزائیک چندین عکس هوایی استفاده شده است. تصاویر ماهواره ای استفاده شده، تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالای ماهواره QuickBird مربوط به سال های (۱۳۸۳) و (۱۳۸۸) است. قدرت تفکیک مکانی تصاویر چند طیفی با استفاده از روش ادغام تصاویر^{۱۲} افزایش داده شده و به ۶۰ سانتی متر رسیده است. کلیه تصاویر و عکس های هوایی با استفاده از ۳۷ نقطه کنترل زمینی که به وسیله GPS برداشت شده اند زمین مرجع گردیده اند. خطای RMS تابع پلی نومینال درجه ۲ کم تر از یک پیکسل برآورد شده است. برای نمونه گیری مجدد از روش نزدیک ترین همسایه استفاده شده است. کلیه عکس های هوایی نسبت به تصاویر ماهواره ای تثبیت^{۱۳} شده اند. برای استخراج کاربری های شهر بجنورد از عکس های هوایی و تصاویر ماهواره ای ۳ دوره زمانی مورد مطالعه استفاده شده است. به دلیل قدرت تفکیک مکانی بالای عکس های هوایی و تصاویر ماهواره ای به جای استفاده از روش های طبقه بندی کامپیوتری، از طبقه بندی بصری استفاده گردید. بدین ترتیب که هر کدام از کاربری ها به صورت یک لایه وکتور و با استفاده از ترسیمات دستی استخراج گردیده اند. با توجه به ویژگی های منطقه سه کاربری اصلی استخراج شده است. زمین های بایر که هیچ گونه کاربری ندارند، زمین های کشاورزی شامل زمین های زراعی، باغات، درختکاری ها و مناطق ساخته شده شامل مناطق مسکونی، مراکز صنعتی، مراکز نظامی، مراکز تجاری و فرودگاه. هر کدام از نقشه های کاربری برای ۳ دوره زمانی مورد مطالعه چندین بار مورد بازبینی قرار گرفتند تا از دقت آن ها اطمینان حاصل شود.

11- iteration
12- Image Fusion
13- Image Registration

- محاسبه ماتریس انتقال مارکوف

برای محاسبه زنجیره مارکوف در هر دوره زمانی از دو تصویر کاربری‌های منطقه استفاده شده است. جداول (۱) الی (۵) ماتریس احتمال تبدیل کاربری‌ها را برای سال‌های (۱۳۷۳) تا (۱۴۳۰) نمایش می‌دهد.

جدول ۱- ماتریس احتمال تبدیل مارکوف در فاصله زمانی (۱۳۷۳) - (۱۳۸۳)

Table 1- Markov probability matrix in the period (1994) - (2004)

(۱۳۸۳) (۱۳۷۳)	زمین‌های بایر	زمین‌های کشاورزی	زمین‌های ساخته شده
زمین‌های بایر	۰/۸۹۰۰	۰/۰۶۳۰	۰/۰۴۷۰
زمین‌های کشاورزی	۰/۰۶۷۲	۰/۹۰۶۴	۰/۰۲۶۴
زمین‌های ساخته شده	۰/۰۱۲۷	۰/۰۰۰۴	۰/۹۸۶۹

جدول ۲- ماتریس احتمال تبدیل مارکوف در فاصله زمانی (۱۳۸۳) - (۱۳۸۸) به منظور پیش‌بینی سال (۱۴۰۰)

Table 2- Markov probability matrix in the period (2004) - (2009) to predict the year (2021)

(۱۳۸۸) (۱۳۸۳)	زمین‌های بایر	زمین‌های کشاورزی	زمین‌های ساخته شده
زمین‌های بایر	۰/۸۵۳۸	۰/۰۲۸۸	۰/۱۱۷۴
زمین‌های کشاورزی	۰/۱۷۳۹	۰/۸۱۲۱	۰/۰۱۴۱
زمین‌های ساخته شده	۰/۰۳۸۰	۰/۰۰۷۴	۰/۹۵۴۷

جدول ۳- ماتریس احتمال تبدیل مارکوف در فاصله زمانی (۱۳۸۳) - (۱۳۸۸) به منظور پیش‌بینی سال (۱۴۱۰)

Table 3- Markov probability matrix in the period (2004) - (2009) to predict the year (2031)

(۱۳۸۸) (۱۳۸۳)	زمین‌های بایر	زمین‌های کشاورزی	زمین‌های ساخته شده
زمین‌های بایر	۰/۷۵۶۰	۰/۰۴۵۹	۰/۱۹۸۱
زمین‌های کشاورزی	۰/۲۷۳۷	۰/۶۸۷۰	۰/۰۳۹۳
زمین‌های ساخته شده	۰/۰۶۴۹	۰/۰۱۳۰	۰/۹۲۲۰

جدول ۴- ماتریس احتمال تبدیل مارکوف در فاصله زمانی (۱۳۸۳) - (۱۳۸۸) به منظور پیش بینی سال (۱۴۲۰)

Table 4- Markov probability matrix in the period (2004) - (2009) to predict the year (2041)

(۱۳۸۳) \ (۱۳۸۸)	زمین های بایر	زمین های کشاورزی	زمین های ساخته شده
زمین های بایر	۰/۶۷۵۴	۰/۰۵۸۴	۰/۲۶۶۲
زمین های کشاورزی	۰/۳۴۳۴	۰/۵۸۴۴	۰/۰۷۲۲
زمین های ساخته شده	۰/۰۸۸۴	۰/۰۱۸۳	۰/۸۹۳۳

جدول ۵- ماتریس احتمال تبدیل مارکوف در فاصله زمانی (۱۳۸۳) - (۱۳۸۸) به منظور پیش بینی سال (۱۴۳۰)

Table 5- Markov probability matrix in the period (2004) - (2009) to predict the year (2051)

(۱۳۸۳) \ (۱۳۸۸)	زمین های بایر	زمین های کشاورزی	زمین های ساخته شده
زمین های بایر	۰/۶۰۸۹	۰/۰۶۷۴	۰/۳۲۳۸
زمین های کشاورزی	۰/۳۹۰۲	۰/۵۰۰۱	۰/۱۰۹۷
زمین های ساخته شده	۰/۱۰۸۸	۰/۰۲۳۱	۰/۸۶۸۲

- تولید نقشه های شایستگی

به منظور تولید نقشه های شایستگی برای مناطق ساخته شده از ۶ نقشه معیار و ۱ نقشه محدودیت (شکل ۴) استفاده گردید (جدول ۶). نقشه زمین های کشاورزی و بایر برای به حداقل رساندن ارزش زمین های کشاورزی و حداکثر کردن ارزش زمین های بایر در مدل سازی تولید شد. نقشه پهنه بندی مسیل با استفاده از DEM ۱:۲۰۰۰ منطقه تولید گردید. تمامی نقشه راه ها از عکس های هوایی و تصاویر ماهواره ای استخراج گردید. برای هر راه ارتباطی از خط مرکزی راه یک بافر ۱۰ متری از هر طرف ترسیم گردیده است تا حریم راه ها از توسعه مستثنی شود. انتخاب اندازه بافر بر اساس بازنده های میدانی و بررسی های انجام گرفته بر روی تصاویر ماهواره ای با تاکید بر راه هایی که از میان زمین های کشاورزی عبور کرده اند صورت گرفته. برای تولید نقشه شیب، DEM ۱:۲۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰ ترکیب گردیدند. DEM ۱:۲۰۰۰ فقط منطقه شهری را پوشش می دهد و برای پوشش کل منطقه DEM ۱:۲۵۰۰۰ به کار گرفته شده. نقشه شیب بر اساس اندازه گیری شیب های منطقه در سه کلاس به صورت درصد، مجدداً طبقه بندی شده اند (جدول ۷) و ارزش ها به صورت کم ترین و بیش ترین در نظر گرفته شده اند. به علاوه از ۵ پرسشنامه به منظور اولویت دهی معیارها برای وزن Weight در نرم افزار IDRISI Selva استخراج شده اند. همچنین وزن معیارها از روش AHP با استفاده از مازول دهی نقشه های معیار سه کاربری مورد نظر استفاده گردید. جدول (۸) وزن های استخراج شده برای هر نقشه معیار برای تولید نقشه های شایستگی مناطق ساخته شده را نمایش می دهد. تمامی نقشه معیارها در یک بازه عددی ۰-۲۵۵

توسط تابع فازی Linear با استفاده از ماژول FUZZY نرم افزار IDRISI Selva استاندارد شده‌اند. نقشه محدودیت‌ها، مناطق ساخته شده، مسیل، راه‌های ارتباطی و مناطقی با تغییرات ارتفاع زیاد را شامل می‌شود.

جدول ۶- نقشه‌های معیار برای تولید نقشه شایستگی مناطق ساخته شده

Table 6- Criterion maps for creating built-up areas map

ماهیت	نقشه‌های معیار
گسسته	نقشه کاربری‌های کشاورزی و بایر
پیوسته	نقشه فاصله از مرکز شهر
پیوسته	نقشه فاصله از مناطق ساخته شده
پیوسته	نقشه فاصله از راه‌های ارتباطی
گسسته	نقشه شیب
گسسته	نقشه پهنه‌بندی مسیل
گسسته	نقشه محدودیت‌ها

جدول ۷- طبقه‌بندی شیب‌ها برای تولید نقشه شایستگی مناطق ساخته شده (عملیات میدانی، ۱۳۸۸)

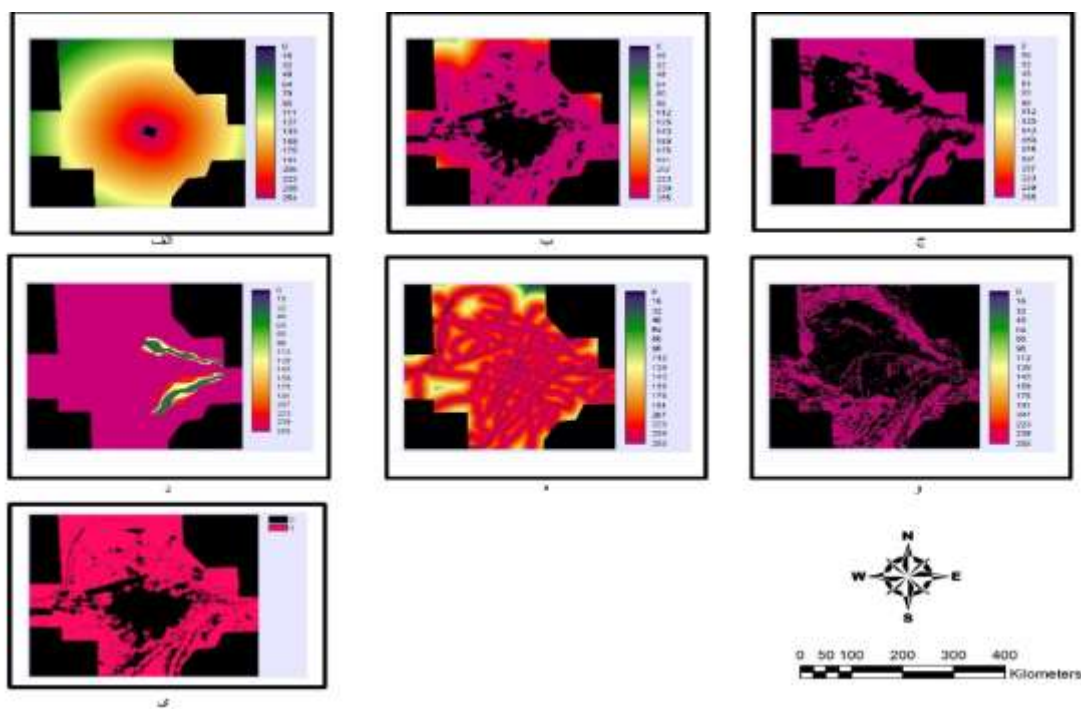
Table 7- Slope classification for creating built-up areas map (Field Operation, 2009)

درجه اهمیت	طبقه‌بندی شیب‌ها (درصد)
کم‌ترین	۳-۰
بیش‌ترین	۱۵-۳
کم‌ترین	شیب‌های بزرگ‌تر از ۱۵

جدول ۸- وزن معیارها با روش AHP برای تولید نقشه‌های شایستگی مناطق ساخته شده

Table 8- Weights of criteria using the AHP method for creating built-up areas map

وزن	نقشه‌های معیار
۰/۰۶۹۴	نقشه کاربری‌های کشاورزی و بایر
۰/۱۶۲۷	نقشه فاصله از مرکز شهر
۰/۳۷۴۳	نقشه فاصله از مناطق ساخته شده
۰/۲۵۶۱	نقشه فاصله از راه‌های ارتباطی
۰/۰۳۷۹	نقشه شیب
۰/۰۹۹۷	نقشه پهنه‌بندی مسیل
۰/۰۲	ضریب سازگاری



شکل ۴: نقشه های معیار مناطق ساخته شده: الف. نقشه فاصله از مرکز شهر. ب. نقشه فاصله از مناطق ساخته شده. ج. نقشه زمین های بایر و کشاورزی. د. نقشه پهنه بندی مسیل. ه. نقشه فاصله از راه های ارتباطی. و. نقشه شیب. ی. نقشه محدودیت ها..

Fig 4: Criteria maps for creating suitability maps for Built-up areas: A. Distance map from downtown. B. Distance map from the built-up areas. C. Map of the bare lands and agricultural lands. D. watercourse zoning map. E. Distance map from the connective routes. F. slope map. G. restrictions map.

برای تولید نقشه شایستگی زمین های کشاورزی از چهار نقشه معیار و یک نقشه محدودیت (شکل ۵) استفاده گردید (جدول ۹).

جدول ۹- نقشه های معیار برای تولید نقشه های شایستگی زمین های کشاورزی و بایر

Table 9- Criteria maps for creating of bare lands and agricultural lands suitability maps

ماهیت	نقشه های معیار
گسسته	نقشه کاربری های کشاورزی و بایر
گسسته	نقشه طبقه بندی خاک
گسسته	نقشه عمق آب های زیرزمینی
گسسته	نقشه شیب
گسسته	نقشه محدودیت ها

نقشه زمین های کشاورزی و بایر به منظور به حداکثر رساندن ارزش زمین های کشاورزی و حداقل کردن ارزش زمین های بایر در تولید نقشه های شایستگی تهیه گردید. نقشه طبقه بندی خاک های منطقه بر اساس طبقه بندی خاک ها

بر طبق توپوگرافی، رطوبت، شیب، جنس خاک بر اساس سیستم ^{۱۴} Canadian Soil Information Service, CLI (2013) در ۶ کلاس طبقه‌بندی گردیده‌اند که بالاترین ارزش به خاک‌های درجه ۱ تعلق گرفت (جدول ۱۰).

جدول ۱۰- طبقه‌بندی نقشه خاک‌های شهر بجنورد

Table 10- Classification of soil maps of Bojnourd city

طبقه	کلاس	محدودیت
۱	۱	بدون محدودیت خاصی برای کشت
۲	۲	توپوگرافی، رطوبت زیاد خاک، ترکیبی از زیر کلاس‌ها
۳	۳+۲	توپوگرافی، ترکیبی از زیر کلاس‌ها
۴	۳	توپوگرافی، رطوبت زیاد خاک، ترکیبی از زیر کلاس‌ها
۵	۴+۳	توپوگرافی، ترکیبی از زیر کلاس‌ها
۶	۴	سنگ بستر

عمق آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه در اعماق ۵ تا ۳۰ متر در بازه‌های ۵ متری اندازه‌گیری شده است و نقشه آن نیز بر همین اساس در ۶ کلاس تهیه گردیده است که زمین‌هایی با عمق کم آب‌های زیرزمینی بالاترین ارزش را دریافت کرده‌اند. برای تولید نقشه شیب از نقشه ^{۱۵} DEM که از ترکیب DEM ۱:۲۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰ تهیه شده بود استفاده گردید. که در ۵ کلاس بر اساس اندازه‌گیری شیب زمین‌های کشاورزی در منطقه بر اساس درصد طبقه‌بندی مجدد شدند (جدول ۱۱).

جدول ۱۱- طبقه‌بندی شیب‌ها برای تولید نقشه شایستگی زمین‌های کشاورزی و بایر

Table 11- Slope classification for creating the suitability map of bare lands and agricultural lands

طبقه‌بندی شیب‌ها (درصد)	درجه اهمیت
۲-۰	۶
۴-۲	۵
۸-۴	۴
۱۶-۸	۳
۳۲-۱۶	۲
شیب‌های بزرگ‌تر از ۳۲	۱

همچنین وزن‌های نقشه‌های معیار از روش AHP استخراج شده‌اند. جدول (۱۲) وزن‌های استخراج شده برای هر نقشه معیار برای تولید نقشه‌های شایستگی زمین‌های بایر و کشاورزی را نمایش می‌دهد. بعلاوه نقشه محدودیت‌ها شامل مناطق ساخته شده، راه‌های ارتباطی و مسیل‌های منطقه هستند. برای تولید نقشه شایستگی زمین‌های بایر از همان

14- Canada Land Inventory

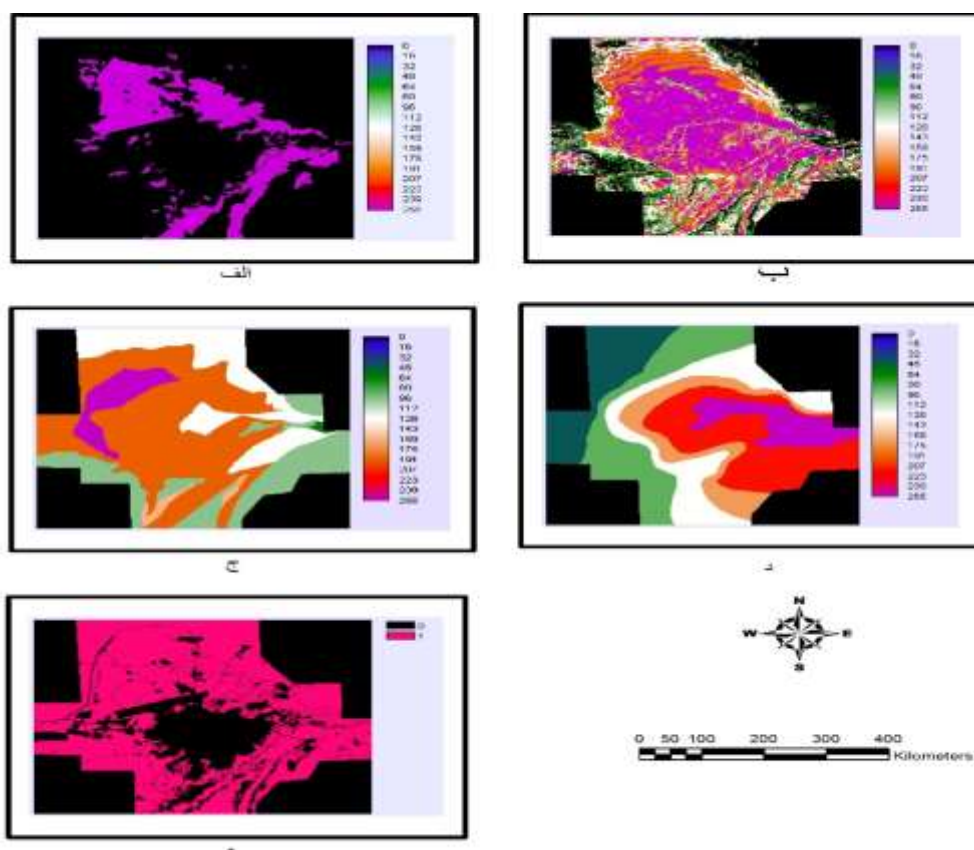
15- Digital Elevation Model

نقشه های معیار زمین های کشاورزی استفاده گردید با این تفاوت که تمام ارزش ها در این نقشه ها معکوس شده و پیکسل هایی که در نقشه های معیار زمین های کشاورزی بالاترین ارزش را دارا هستند در نقش های معیار زمین های بایر پایین ترین ارزش را دارند.

جدول ۱۲- وزن های استخراج شده از روش AHP برای تولید نقشه های شایستگی زمین های کشاورزی و بایر

Table 12- Weights extracted from the AHP method for creating bare lands and agricultural lands suitability maps

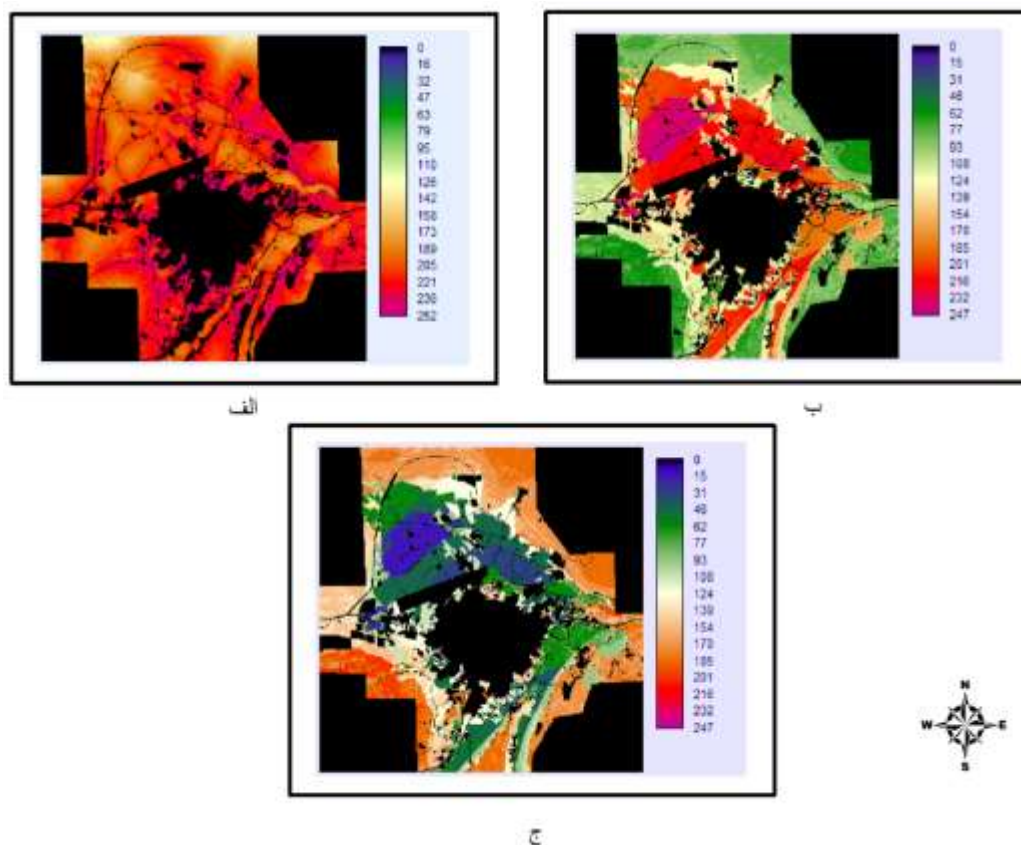
وزن	نقشه های معیار
۰/۲۸۳۹	نقشه کاربری های کشاورزی و بایر
۰/۵۱۸۳	نقشه طبقه بندی خاک
۰/۰۹۸۹	نقشه عمق آب های زیرزمینی
۰/۰۹۸۹	نقشه شیب
۰/۰۰	ضریب سازگاری



شکل ۵: نقشه های معیار زمین های کشاورزی و بایر: الف. نقشه زمین های بایر و کشاورزی. ب. نقشه شیب. ج. نقشه طبقه بندی خاک. د. نقشه عمق آب های زیرزمینی. ه. نقشه محدودیت ها

Fig 5: Criteria maps for creating suitability maps for Agricultural lands and Bare lands: A. Map of the bare lands and agricultural lands. B. Slope map. C. Soil classification map. D. Depth of groundwater map. F. Restrictions map

در این تحقیق برای تولید نقشه‌های شایستگی از روش میانگین خطی وزنی استفاده شده است. شکل (۶) نقشه‌های شایستگی تولید شده برای سال (۱۳۸۸) را که مبنای مدل‌سازی تغییرات کاربری‌ها است، نمایش می‌دهد.

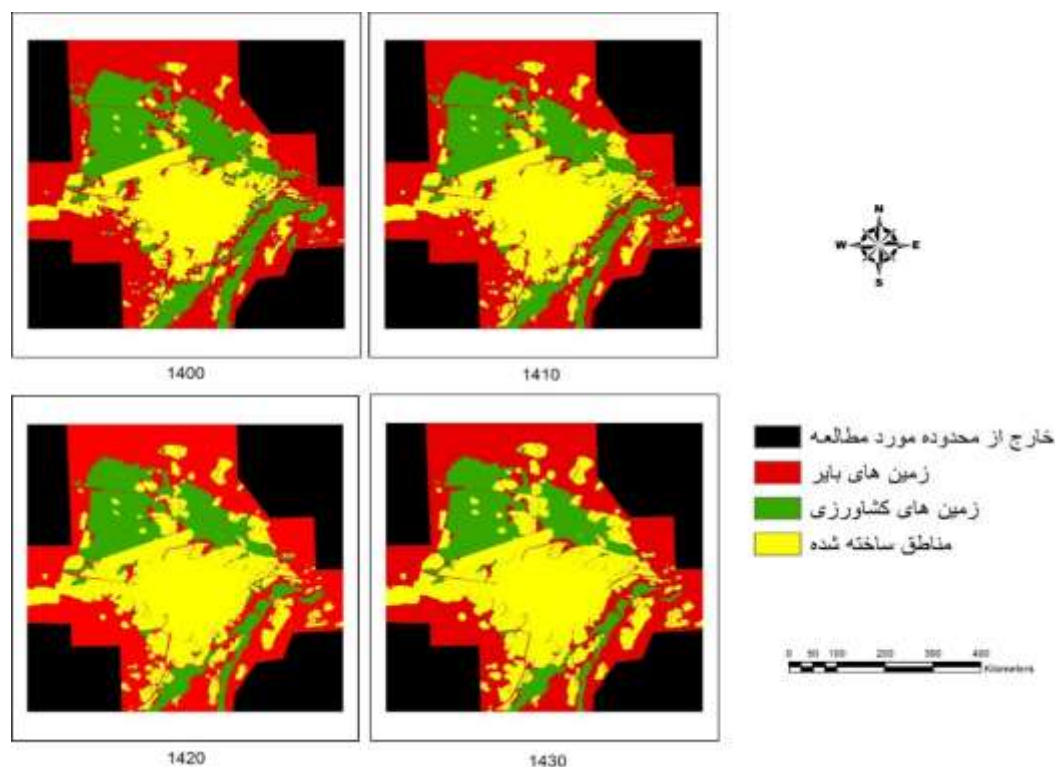


شکل ۶: نقشه‌های شایستگی کاربری‌های سال (۱۳۸۸) که پایه شبیه‌سازی کاربری‌ها با استفاده از مدل CA_Markov است: الف. نقشه شایستگی مناطق ساخته شده. ب. نقشه شایستگی زمین‌های کشاورزی. ج. نقشه شایستگی زمین‌های بایر

Fig 6: Suitability maps of (2009) year that are basic suitability maps for land use change prediction using CA_Markov model: A. Built-up areas suitability map. B. Agricultural lands suitability map. C. Bare lands suitability map

– تولید نقشه‌های شبیه‌سازی کاربری‌ها با استفاده از مدل CA_Markov

ابتدا برای کالیبراسیون مدل نقشه‌های سال‌های (۱۳۸۳) و (۱۳۸۸) با استفاده از مدل CA_Markov تولید گردید. کلیه نقشه‌های معیار مربوط به سه کاربری مورد نظر برای کالیبراسیون مدل نیز تهیه گردید و تمامی نقشه‌ها وزن‌دهی شده‌اند. سپس نقشه‌های شبیه‌سازی شده با نقشه‌های کاربری منطقه با استفاده از روش Validate که روشی آماری برای اعتبارسنجی داده‌ها است مورد مقایسه قرار گرفت. ضریب کاپای محاسبه شده برای میزان مطابقت نقشه کاربری شبیه‌سازی شده سال (۱۳۸۳)، $0/8483$ و همین‌طور برای سال (۱۳۸۸)، $0/8812$ محاسبه شده که نشان دهنده مطابقت بالای نقشه‌های شبیه‌سازی شده با واقعیت است. سپس تا سال (۱۴۳۰) تغییرات کاربری‌ها شبیه‌سازی شده‌اند (شکل ۷).



شکل ۷: نقشه های شبیه سازی شده شهر بجنورد که توسط روش CA_Markov برای سال های (۱۴۰۰) تا (۱۴۳۰) تولید شده اند.

Fig 7: Predicted Landuse maps of Bojnourd city using CA_Markov model for (2021) to (2051) years.

یافته ها و بحث

به منظور کالیبراسیون مدل ها، نقشه های پیش بینی کاربری ها برای مقایسه با نقشه های کاربری واقعی شهر بجنورد برای سال های (۱۳۸۳) و (۱۳۸۸) تولید شده است و خروجی نقشه ها با استفاده از روش Validate مورد مقایسه قرار گرفته اند. ضریب کاپای تولید شده توسط این روش ارزش های بالای ۸۵ درصد را نشان می دهد که نشان دهنده مطابقت بالای نقشه های کاربری تولید شده با نقشه های کاربری واقعی شهر بجنورد است. مقدار این ضرایب نشان دهنده قابل اعتماد بودن نقشه های پیش بینی کاربری ها است که از سال (۱۴۰۰) تا (۱۴۳۰) برای شهر بجنورد تولید شده اند. جدول (۱۳) درصد کاربری های شهر بجنورد از سال (۱۳۷۳) تا (۱۴۳۰) را نمایش می دهد. در سال (۱۳۸۳)، درصد رشد کاربری مناطق ساخته شده ۶/۴ درصد نسبت به سال (۱۳۷۳) است که البته باید به این نکته اشاره کرد که در این سال شهر بجنورد به عنوان مرکز استان خراسان شمالی انتخاب شد که این تغییرات مهم، خود باعث رشد ساخت و سازها و تغییر در کاربری ها می شود. در سال (۱۳۸۸)، کاربری مناطق ساخته شده به میزان اندکی رشد داشته که در حدود ۲/۳ درصد است. درصد تغییرات زمین های کشاورزی در سال (۱۳۸۳)، ۰/۱۱ درصد رشد نسبت به سال (۱۳۷۳) بوده است. ولی در سال (۱۳۸۸)، شاهد کاهش ۱/۸ درصدی در این کاربری هستیم. از سال (۱۳۷۳) تا (۱۳۸۳) بیشترین تغییر کاربری در زمین های بایر مشاهده می شود که در سال (۱۳۸۸) تغییر این کاربری در حدود ۰/۵ درصد

است. در مجموع از سال (۱۳۸۳) تا (۱۳۸۸) تغییر در کاربری‌های منطقه نسبت به دوره‌های قبل روند متعادل‌تری را نشان می‌دهد.

از سال (۱۴۰۰) تا (۱۴۳۰) که نقشه‌های پیش‌بینی کاربری‌ها تولید شده است خروجی‌های مدل نشان می‌دهد که در سال (۱۴۰۰) نسبت به سال (۱۳۸۸)، مناطق ساخته شده در حدود ۵/۳ درصد رشد خواهد داشت که بیش‌تر شامل مناطق حاشیه شهر و مناطق دارای ساخت‌وسازهای پراکنده است. در دوره‌های بعد آهنگ رشد به‌طور میانگین ۳/۵ درصد است. در سال (۱۴۰۰) کاربری کشاورزی ۳/۸ درصد کاهش را نسبت به دوره سال (۱۳۸۸) نشان می‌دهد. از سال (۱۴۰۰) تا (۱۴۳۰) در هر دوره پیش‌بینی شده آهنگ تغییر و کاهش کاربری کشاورزی کند می‌شود. متأسفانه به راحتی می‌توان پی برد که بیش‌ترین تغییرات در کاربری‌های کشاورزی رخ خواهد داد که شاید دلیل آن را بتوان مجاورت با مناطق ساخته شده دانست.

جدول ۱۳- درصد کاربری‌های شهر بجنورد در دوره زمانی (۱۳۷۳) تا (۱۴۳۰)

Table 13- Percentage of usage of Bojnourd city during the period from (1994) to (2051)

سال	کاربری‌ها	زمین‌های بایر	زمین‌های کشاورزی	مناطق ساخته شده
۱۳۷۳		۵۷/۲	۲۹/۲	۱۳/۶
۱۳۸۳		۴۹/۷	۳۰/۳	۲۰
۱۳۸۸		۴۹/۲	۲۸/۵	۲۲/۳
۱۴۰۰		۴۷/۷	۲۴/۷	۲۷/۶
۱۴۱۰		۴۶/۴	۲۲/۲	۳۱/۴
۱۴۲۰		۴۵	۲۰	۳۵
۱۴۳۰		۴۳/۵	۱۸	۳۸/۵

بررسی خروجی‌های مدل نشان می‌دهد که در سال (۱۴۰۰) زمین‌هایی که در حاشیه مناطق ساخته شده قرار دارند توسعه یافته‌اند و به مناطق شهری تبدیل شده‌اند. این روند برای سال‌های بعد که پیش‌بینی‌ها انجام شده ادامه یافته است و مناطق حاشیه‌ای توسعه را نشان می‌دهند. البته می‌توان تاثیر محدودیت‌های اعمال شده و یا کاهش وزن زمین‌های کشاورزی را در خروجی‌های مدل‌ها مشاهده کرد. به‌طوری که در بخش شمالی مدل که نزدیک به مناطق شهری است میزان رشد کم‌تری نسبت به مناطقی که در مجاورت زمین‌های بایر هستند اتفاق افتاده است. نکته قابل توجه این است که در قسمت شمالی فرودگاه شهر بجنورد تقریباً هیچ‌گونه رشدی اتفاق نیفتاده و زمین‌های کشاورزی به کاربری مناطق ساخته شده تغییر نکرده‌اند. البته بعضی از زمین‌های کشاورزی در خروجی‌های مدل به زمین‌های بایر تبدیل شده‌اند که این امر ناشی از عملکرد الگوریتم مدل در تبدیل کاربری‌ها با در نظر گرفتن احتمال تبدیل کاربری‌ها و شایستگی پیکسل‌ها است. در قسمت جنوبی مدل که شهرک‌هایی در مجاورت زمین‌های کشاورزی است

به راحتی می توان تاثیر محدودیت های اعمال شده که ناشی از تغییرات ناگهانی ارتفاع است را مشاهده کرد. در بسیاری از مناطق تاثیر راه های ارتباطی، میزان رشد در اطراف مناطق ساخته شده را تقویت کرده است. با توجه به نتایج به دست آمده در این تحقیق و در راستای دستیابی به توسعه پایدار شهری، مواردی از جمله: توجه بیشتر به کاربری های کشاورزی برای جلوگیری از تخریب آنها، جلوگیری از ساخت وسازهای پراکنده در منطقه، توجه به خطوط تعریف شده برای توسعه آتی شهر در طرح جامع و تعریف پروژه و طرح های مختلف دور از کاربری های کشاورزی و تمرکز بر روی زمین های بایر، مواردی هستند که رعایت آنها ضروری است.

References

- Alizadeh, A., (2006), "*Principles of applied hydrology*", Mashad: Astan Ghods Razavi Publication.
- Eastman, J. R., (2006), "*IDRISI tutorial*", Clark Labs, Clark University, [on line]: <http://www.clarklabs.org>.
- Feng, Y., Liu, Y., Tong, X., Liu, M., Deng, S., (2011), "Modeling dynamic urban growth using cellular automata and particle swarm optimization rules", *Landscape and Urban Planning*, 102: 188- 196.
- Guan, D., Li, H., Inohaec, T., Sud,W., Nagaiec, T., Hokao, K., (2011), "Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model", *Ecological Modelling*, 222: 3761-3772.
- Hosein Zadeh Dalir, K., Hoshyar, H., (2006), "Factors and elements affecting the physical development of Iranian cities", *Geography Magazine and Regional Development*, 6: 14-30.
- Khammar, G. A., Heydari, A., (2014), "Evaluation of smart city development pattern in new iranian cities with emphasis on sadra's new city using SLEUTH model", *Journal of Geographical Space*, 35: 253-270.
- Khoshgoftar, A. A., Talea, M., Malek pour, P., (2010), "Spatio-temporal modelling of urban growth: method based on combination of cellular automata and markov chain", *Geomatic congress 2010, Tehran, surveying organization*. https://www.civilica.com/Paper-GEO89-GEO89_183.html.
- Kiani, A., (2004), "Simulation and evaluation of the efficiency of smart and cellular automata sensors in physical usage analysis of city hyper map, Case Study: Tehran Metropolis", PhD Thesis faculty of Geography and Urban Planning, Tarbiat Modares University.
- Liu, X., Li, X., Shi, X., Wu, Sh., liu, T., (2008), "Simulating complex urban development using Kernel-based non Linear cellular automata", *Ecological Modelling*, 211 (1-2): 169-181.
- Malczewski, J., (1998), "*GIS and multicriteria decision analysis*", translated by Parhizkar, A., Ghafari Gilandeh, A., Tehran, Samt Publication.
- Mitsova, D., Shuster, W., Wang, X., (2011), "A cellular automata model of land cover change to integrate urban growth with open space conservation", *Landscape and Urban Planning*, 99: 141-153.
- Mosivand, M, A., Ghorbani, A., keyvan Behjoo, F., (2016), "Study of land use change and land cover using Landsat images: Case study, Khalkhal city", *Journal of Geographical Space*, 60: 101-116.
- Stevens, D., Dragicevic, S., Rothley, K., (2007), "A GIS-CA modelling tool for urban planning and decision making" , *Environmental Modelling & Software*, 22: 761e773.
- Wu, Q., Li, H., Wang, R., Paulussen, J., He, Y., Wang, M., Wang, B., Wang, Z., (2006), "Monitoring and predicting land use change in Beijing using remote sensing and GIS", *Landscape and Urban Planning*, 78: 322-333.
- Zhang, Q., Ban, Y., Liu, J., Hub, Y., (2011), "Simulation and analysis of urban growth scenarios for the Greater Shanghai Area, China", *Computers, Environment and Urban Systems*, 35: 126-139.