Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 6:21 IRDT on Thursday September 10th 2026

دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال نوزدهم، شماره‌ی ۶۵
بهار ۱۳۹۸ صفحات ۹۰-۷۱

*مهدی سعادت نوین [۱]
احمدرضا ابراهیمی پور [۲]
فرزام خسروی [۳]

شبیه سازی و پیش بینی تغییرات زمانی–مکانی کاربری های شهری با استفاده از مدل CA_Markov (مطالعه موردی: شهر بجنورد)

تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/۰۳/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۲۸

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 مدلCA_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.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 6:21 IRDT on Thursday September 10th 2026

ساخته شده وجود دارد. در سال (۱٤۰۰) 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 به‌تدریج 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 می‌کنند 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 LandSat، SPOT، IKONOS و QuickBIRD علاوه بر امکان دید جامع و یکنواخت از هر ناحیه، دارای قدرت تفکیک بالایی بوده و

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 6:21 IRDT on Thursday September 10th 2026

لذا می‌توان با عمل طبقه‌بندی، اطلاعات دقیقی از زمین‌های اطراف شهر برای شناسایی قابلیت‌های در جهت تعیین بستر مناسب گسترش فیزیکی را به‌دست آورد. از طرفی با توجه به نیاز جامعه شهری به جمع‌آوری اطلاعات به‌منظور استفاده از منابع و برنامه‌ریزی رشد و توسعه صحیح، حفظ محیط‌زیست، طراحی و برنامه‌ریزی برای رفع نیازهای شهر و همچنین وقت‌گیر و هزینه‌بر بودن روش‌های سنتی، لزوم استفاده از تکنولوژی‌های جدید اجتناب‌ناپذیر است. در راستای این هدف تکنولوژی‌های جدید با به‌کارگیری GIS در راه ایجاد محیط مناسب برای مدیریت و برنامه‌ریزی شهر، استفاده صحیح و هدف‌دار و تشخیص و کنترل تغییرات کاربری و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها گام برداشته است. لذا GIS دارای قابلیت‌های گردآوری داده‌ها، ترکیب و تحلیل آن‌ها بوده و می‌تواند برای تعیین جهت مناسب گسترش فیزیکی شهر استفاده شود. در این راستا امکان به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی وجود دارد. تحقیقات متعددی در زمینه مدل‌سازی تغییر کاربری‌ها صورت گرفته از جمله:

Khoshgoftar et al (2010) در تحقیقی تحت عنوان "مدل‌سازی زمانی-مکانی رشد شهری" با استفاده از داده‌های سنجش از دور و مدل CA_Markov به بررسی و پیش‌بینی تغییرات کاربری‌ها در بخشی از شهر تهران تا سال (۲۰۲۰) پرداختند. نتایج آنالیز مدل‌ها نشان داد که کاربری زمین‌های بایر تا سال (۲۰۲۰) افزایش یافته و بخشی از کاربری‌های جنگل و زمین‌های کشاورزی به زمین‌های بایر و ساخته شده تبدیل شده‌اند.

Wu et al (2006) در تحقیقی تحت عنوان "بازبینی و پیشگویی تغییر کاربری شهری در پکن با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و GIS" به بررسی تغییر کاربری اراضی در دوره زمانی بین سال‌های (۱۹۸٦) تا (۲۰۰۱) پرداخته‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد به‌کارگیری تکنولوژی سنجش از دور و GIS با مدل زنجیره مارکف و رگرسیون می‌تواند به‌عنوان ابزاری کارآمد در خصوص پیش‌بینی رشد شهری مطرح گردد.

Stevens et al (2007) در مطالعه‌ای تحت عنوان "ابزار مدل‌سازی سلول خودکار-GIS برای برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری شهری" به بررسی روش سلول خودکار جهت مدل‌سازی توسعه فیزیکی شهری پرداختند. در این تحقیق، سعی شده است با اعمال تغییرات در روش سلول خودکار مدل‌سازی مناسبی جهت شبیه‌سازی رشد شهری فراهم شود. نتایج این تحقیق نشان داد با اعمال یک سری تغییرات در روش سلول خودکار می‌توان به نتایج بهتری در خصوص شبیه‌سازی رشد شهری دست یافت.

Liu et al (2008) در تحقیقی تحت عنوان "شبیه‌سازی 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 به‌طور کلی سلول خودکار روندی رو به رشد جهت شبیه‌سازی مرکب سیستم شهری در پیش گرفته است.

Mitsova et al (2011) در تحقیقی تحت عنوان "مدل سلول خودکاری تغییر چشم‌اندازها برای ادغام کردن رشد شهری با حفظ منابع طبیعی" به مدل‌سازی رشد شهری با استفاده از مدل CA_Markov در ایالت‌های اهایو، ایندیانا و سینسیناتی پرداختند. آن‌ها در تحقیق خود از دو سناریو برای مدل‌سازی رشد استفاده کردند. یک سناریو بدون در

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 6:21 IRDT on Thursday September 10th 2026

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 تاثیرات انسانی. سناریو دوم تاثیر مرکز سرویس‌گرا و سناریو سوم تاثیر 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_Markovپرداختند. آن‌ها ابتدا میزان تغییرات را با استفاده از روش‌های GIS طی سال‌های (۱۹۷٦) تا (۲۰۰٦) 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 (۲۰٤۲) 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 تاکید 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 (۱٤۱۰ تا ۱٤۳۰) 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 (۱۳٦٦)، (۱۳۸۱) و (۱۳۸۷) پرداختند. نتایج بررسی‌ها نشان داد که بین سال‌های (۱۳٦٦ 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.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 6:21 IRDT on Thursday September 10th 2026

در این تحقیق مدل CA_Markov به منظور شبیه‌سازی تغییر کاربری‌های شهر بجنورد به‌کار گرفته شده است. این گونه مدل‌ها می‌تواند در بررسی روند توسعه و پیش‌بینی رشد شهری به‌منظور برنامه‌ریزی و جلوگیری از تخریب کاربری‌هایی مانند زمین‌های کشاورزی مفید بوده باشد و روند تصمیم‌گیری‌های آینده را منسجم‌تر 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 آب‌های آزاد ۱۰۱۰ متر است. شهرستان بجنورد در شمال استان خراسان شمالی قرار دارد و دارای مساحتی در حدود ٦٧٠٠ کیلومتر مربع است و مرکز آن شهر بجنورد است. شهر بجنورد در منتهی‌الیه شمال دشت بجنورد مشرف بر پای کوه‌های شمالی در بستری هموار قرار گرفته است. بلندترین نقطه ارتفاعی محدوده محیطی مؤثر بر شهر، تله سلوک در جنوب‌غربی شهر و دریافت کننده نزولات جوی با ٢٦٧٠ متر ارتفاع از سطح دریا و پایین‌ترین نقطه شمال‌غرب باباامان با ۸۱۱ متر در پست‌ترین 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 شمال‌غرب به دشت‌های دامنه‌ای و از جنوب به فلات‌ها محدود می‌شود 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 نسبتا متمرکز شهر تقریبا 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 می‌باشد. پایین‌ترین ناحیه در سمت شمال‌شرقی 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، شکل‌گیری خیابان‌های اصلی و فرعی و کلیه گذرهای شهر به‌گونه‌ای است تا بتواند حداقلی از شیب را کسب نماید. این خیابان‌ها در جهاتی متمایل به شمال و با زاویه‌ای نسبت به جهت اصلی شیب استقرار یافته‌اند. شمال شهر بجنورد، دارای شیبی کم‌تر از یک درصد است. همچنین در محدوده‌هایی از جنوب و جنوب‌غرب و بخشی از جنوب‌شرق، میزان شیب کم‌تر از یک درصد است. این اراضی دارای محدودیت زهکشی و زیرساختی هستند. ارتفاعات تا ۱۵۰۰ متر و فلات‌های کوچک هموار تا ۲۰۰۰ متر ارتفاع دارای شیبی بین ۱ تا ۳ درصد هستند. در این محدوده، اراضی که شیب‌شان تا ۲ درصد است دارای محدودیت زیرساختی هستند. با توجه به ارتفاعات و چشمه‌های مشرف به این اراضی و همچنین نوع دانه‌بندی خاک، برای کشاورزی مناسب هستند.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 6:21 IRDT on Thursday September 10th 2026

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). به‌صورت 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 به‌کار 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

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 6:21 IRDT on Thursday September 10th 2026

- روش ترکیب خطی وزنی

این روش بر اساس مفهوم میانگین وزنی می‌باشد. در این روش معیارهای پیوسته در یک محدوده عددی معینی استاندارد می‌شوند و سپس به‌وسیله میانگین وزنی ترکیب می‌گردند. تصمیم‌گیرنده، وزنی به هر فاکتور اختصاص می‌دهد. 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 به‌دست می‌آید (Malczewski, 1998).

$$S=\sum w_i x_j$$

S= شایستگی, W_i= وزن فاکتور j , X_i = رتبه معیار فاکتور j

اگر از محدودیت‌های بولین استفاده شود این مرحله با ضرب شایستگی محاسبه شده از فاکتورها در محدودیت‌ها تصحیح شود:

$$S=\sum W_i X_i * \Pi C_j$$

- وزن‌دهی معیارها

روشی‌های وزن‌دهی متعددی برای تعیین وزن معیارهای مورد استفاده در تولید نقشه‌های شایستگی وجود دارند از جمله روش‌های رتبه‌بندی، درجه‌بندی و مقایسه‌های دوبه‌دو که در این تحقیق به دلیل استفاده از روش مقایسه‌های دوبه‌دو به توضیح اجمالی این روش می‌پردازیم (Malczewski, 1998).

- روش مبتنی بر مقایسه دوبه‌دو[۷]

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در سال (۱۹۸۰) توسط پروفسور ساعتی ارائه شد. در این روش برای ایجاد ماتریس نسبت به مقایسه‌های دوبه‌دو پرداخته می‌شود. مقایسه‌های دوبه‌دو به‌عنوان ورودی در نظر گرفته شده و وزن‌های نسبی به عنوان خروجی تولید می‌گردد. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی شامل مراحل زیر است:

۱- محاسبه وزن‌های معیار: محاسبه وزن‌ها با توجه به اهمیت معیارها در مقیاس‌ها دوبه‌دو صورت می‌گیرد.

۲- تخمین نسبت پایندگی یا سازگاری: در این مرحله میزان پایندگی مقایسه‌ها محاسبه می‌شود و اگر عدد به‌دست‌آمده کوچک‌تر از ۰/۱ باشد نشان دهنده سازگاری مقایسه‌ها می‌باشد (Malczewski, 1998).

- سلول خودکار

سلول خودکار به نوعی از سیستم‌های پویا (دینامیکی) اشاره می‌کند که در زمان و فضا گسسته هستند. سلول خودکار اولین بار توسط جان ون نیومن واستانیسلا واولوم در (۱۹٤۰) مطرح شد. اساس سلول خودکار شامل عناصر زیر است:

7- Analytic hierarchy process

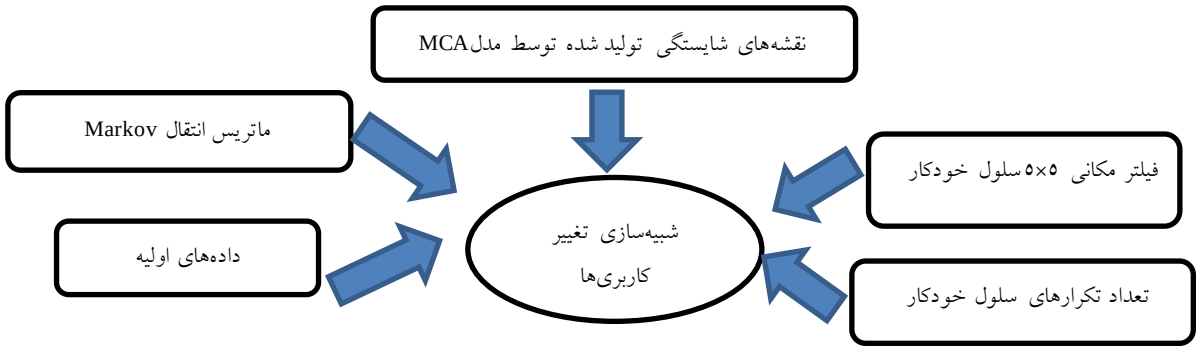
Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 6:21 IRDT on Thursday September 10th 2026

شبکه، حالت سلول، همسایگی، قوانین انتقال و زمان. سلول خودکار به‌عنوان یکی از سیستم‌های پشتیبانی برنامه‌ریزی شهری مطرح است. با توجه به قابلیت و کارایی سلول خودکار در رشته‌های مختلف، برنامه‌ریزی شهری و به‌ویژه در برنامه‌ریزی کاربری زمین شهری و تطبیق آن با بسیاری از ابعاد شهری و زیرساخت‌های جدید لزوم توجه و بسط بیش‌تر سلول خودکار ضروری می‌باشد (Kiani, 2004).

- مدل CA_Markov

مدل CA_Markov مدلی برای شبیه‌سازی تغییرات پوشش/کاربری زمین در بازه‌های زمانی مختلف است که از سه بخش تشکیل شده:

۱- ماتریس احتمال تبدیل کاربری‌ها به یکدیگر که با استفاده از زنجیره مارکوف[8] تولید می‌شود.
۲- نقشه‌های شایستگی که با استفاده از روش‌های ارزیابی چند معیاره[9] تولید می‌شود.
۳- تعداد تکرارها و فیلتر مکانی سلول خودکار[10] که تعداد تکرارها وابسته به فاصله زمانی تصاویر که ماتریس انتقال مارکوف بر اساس آن شکل گرفته و فیلتر مکانی که تبدیل پیکسل‌ها را بر اساس شایستگی هر پیکسل در نقشه‌های شایستگی انجام می‌دهد. شکل (۲) فرآیند مدل‌سازی CA_Markov را نمایش می‌دهد.



شکل ۲: فرآیند مدل‌سازیCA_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 نمی‌کند. 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 می‌گیرد (Eastman, 2006). مدل CA_Markov از یک فیلتر مکانی ۵×۵ شکل (۳) برای تبدیل پیکسل‌ها استفاده می‌کند. به این ترتیب که فیلتر مکانی نقشه‌های شایستگی در

8- Markov Chain
9- Multicriteria evaluation
10- Cellular Automata

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 6:21 IRDT on Thursday September 10th 2026

مدت هر تکرار، وزن‌دهی مجدد می‌کند و شایستگی پیکسل‌هایی را که در همسایگی گروه‌های یکسان قرار دارند افزایش می‌دهد. در مدت هر تکرار[11]، پیکسل‌ها با بالاترین احتمال تبدیل و بالاترین درجه شایستگی برای یک کلاس ویژه به یک کلاس جدید که پیکسلی است با احتمال پایین انتقال پیدا می‌کنند و پیکسل‌هایی با درجه شایستگی پایین‌تر بدون تغییر باقی می‌مانند (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

- پیاده‌سازی مدل CA_Markov
- استخراج نقشه‌های کاربری زمین

در این تحقیق برای تهیه نقشه کاربری‌ها و تعدادی از نقشه‌های 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 ماهواره‌ای استفاده شده، تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالای ماهواره QuickBird مربوط به سال‌های (۱۳۸۳) و (۱۳۸۸) است. قدرت تفکیک مکانی تصاویر چند طیفی با استفاده از روش ادغام تصاویر[12] افزایش داده شده و به ۶۰ سانتی‌متر رسیده است. کلیه تصاویر و عکس‌های هوایی با استفاده از ۳۷ نقطه کنترل زمینی که به وسیله GPS برداشت شده‌اند زمین مرجع گردیده‌اند. خطای RMS تابع پلی نومینال درجه ۲ کم‌تر از یک پیکسل برآورد شده است. برای نمونه‌گیری مجدد از روش نزدیک‌ترین همسایه استفاده شده است. کلیه عکس‌های هوایی نسبت به تصاویر ماهواره‌ای تثبیت[13] شده‌اند. برای استخراج کاربری‌های شهر بجنورد از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای ۳ دوره زمانی مورد مطالعه استفاده شده است. به دلیل قدرت تفکیک مکانی بالای عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای به جای استفاده از روش‌های طبقه‌بندی کامپیوتری، از طبقه‌بندی بصری استفاده گردید. بدین ترتیب که هر کدام از کاربری‌ها به‌صورت یک لایه وکتور و با استفاده از ترسیمات دستی استخراج گردیده‌اند. با توجه به ویژگی‌های منطقه سه کاربری اصلی استخراج شده است. زمین‌های بایر که هیچ‌گونه کاربری ندارند، زمین‌های کشاورزی شامل زمین‌های زراعی، باغات، درختکاری‌ها و مناطق ساخته شده شامل مناطق مسکونی، مراکز صنعتی، مراکز نظامی، مراکز تجاری و فرودگاه. هر کدام از نقشه‌های کاربری برای ۳ دوره زمانی مورد مطالعه چندین بار مورد بازبینی قرار گرفتند تا از دقت آن‌ها اطمینان حاصل شود.

11- iteration
12- Image Fusion
13- Image Registration

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 6:21 IRDT on Thursday September 10th 2026

- 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 (۱٤۳۰) 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	۰/۰٦۳۰	۰/۰٤۷۰
زمین‌های کشاورزی	۰/۰٦۷۲	۰/۹۰٦٤	۰/۰۲٦٤
زمین‌های ساخته شده	۰/۰۱۲۷	۰/۰۰۰٤	۰/۹۸٦۹

جدول ۲- ماتریس احتمال تبدیل مارکوف در فاصله زمانی (۱۳۸۳) –(۱۳۸۸) به منظور پیش‌بینی سال (۱٤۰۰)

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	۰/۱۱۷٤
زمین‌های کشاورزی	۰/۱۷۳۹	۰/۸۱۲۱	۰/۰۱٤۱
زمین‌های ساخته شده	۰/۰۳۸۰	۰/۰۰۷٤	۰/۹۵٤۷

جدول ۳- ماتریس احتمال تبدیل مارکوف در فاصله زمانی (۱۳۸۳) - (۱۳۸۸) به منظور پیش‌بینی سال (۱٤۱۰)

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	۰/۷۵٦۰	۰/۰٤۵۹	۰/۱۹۸۱
زمین‌های کشاورزی	۰/۲۷۳۷	۰/٦۸۷۰	۰/۰۳۹۳
زمین‌های ساخته شده	۰/۰٦٤۹	۰/۰۱۳۰	۰/۹۲۲۰

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 6:21 IRDT on Thursday September 10th 2026

جدول ٤- ماتریس احتمال تبدیل مارکوف در فاصله زمانی (۱۳۸۳) – (۱۳۸۸) به‌منظور پیش‌بینی سال (۱٤۲۰)

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

(۱۳۸۸) / (۱۳۸۳)	زمین‌های بایر	زمین‌های کشاورزی	زمین‌های ساخته شده
زمین‌های بایر	۰/٦۷٥٤	۰/۰٥۸٤	۰/۲٦٦۲
زمین‌های کشاورزی	۰/۳٤۳٤	۰/٥۸٤٤	۰/۰۷۲۲
زمین‌های ساخته شده	۰/۰۸۸٤	۰/۰۱۸۳	۰/۸۹۳۳

جدول ٥- ماتریس احتمال تبدیل مارکوف در فاصله زمانی (۱۳۸۳) – (۱۳۸۸) به‌منظور پیش‌بینی سال (۱٤۳۰)

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

(۱۳۸۸) / (۱۳۸۳)	زمین‌های بایر	زمین‌های کشاورزی	زمین‌های ساخته شده
زمین‌های بایر	۰/٦۰۸۹	۰/۰٦۷٤	۰/۳۲۳۸
زمین‌های کشاورزی	۰/۳۹۰۲	۰/٥۰۰۱	۰/۱۰۹۷
زمین‌های ساخته شده	۰/۱۰۸۸	۰/۰۲۳۱	۰/۸٦۸۲

- تولید نقشه‌های شایستگی

به منظور تولید نقشه‌های شایستگی برای مناطق ساخته شده از ٦ نقشه معیار و ۱ نقشه محدودیت (شکل ٤) استفاده گردید (جدول ٦). نقشه زمین‌های کشاورزی و بایر برای به حداقل رساندن ارزش زمین‌های کشاورزی و حداکثر کردن ارزش زمین‌های بایر در مدل‌سازی تولید شد. نقشه پهنه‌بندی مسیل با استفاده از DEM ۱:۲۰۰۰ منطقه تولید گردید. تمامی نقشه راه‌ها از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای استخراج گردید. برای هر راه ارتباطی از خط مرکزی راه یک بافر ۱۰ متری از هر طرف ترسیم گردیده است تا حریم راه‌ها از توسعه مستثنی شود. انتخاب اندازه بافر بر اساس بازیدهای میدانی و بررسی‌های انجام گرفته بر روی تصاویر ماهواره‌ای با تاکید بر راه‌هایی که از میان زمین‌های کشاورزی عبور کرده‌اند صورت گرفته. برای تولید نقشه شیب، DEM ۱:۲۰۰۰ و ۱:۲٥۰۰۰ ترکیب گردیدند. DEM ۱:۲۰۰۰ فقط منطقه شهری را پوشش می‌دهد و برای پوشش کل منطقه DEM ۱:۲٥۰۰۰ به‌کار گرفته شده. نقشه شیب بر اساس اندازه‌گیری شیب‌های منطقه در سه کلاس به‌صورت درصد، مجدداً طبقه‌بندی‌شده‌اند جدول (۷) و ارزش‌ها به‌صورت کم‌ترین و بیش‌ترین در نظر گرفته شده‌اند. همچنین وزن معیارها از روش AHP با استفاده از ماژول Weight در نرم‌افزار IDRISI Selva استخراج شده‌اند. بعلاوه از ٥ پرسشنامه به منظور اولویت‌دهی معیارها برای وزن دهی نقشه‌های معیار سه کاربری مورد نظر استفاده گردیده. جدول (۸) وزن‌های استخراج شده برای هر نقشه معیار برای تولید نقشه‌های شایستگی مناطق ساخته شده را نمایش می‌دهد. تمامی نقشه معیارها در یک بازه عددی ۰-۲٥٥

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 6:21 IRDT on Thursday September 10th 2026

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

جدول ٦- نقشه‌های معیار برای تولید نقشه شایستگی مناطق ساخته شده

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

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

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)

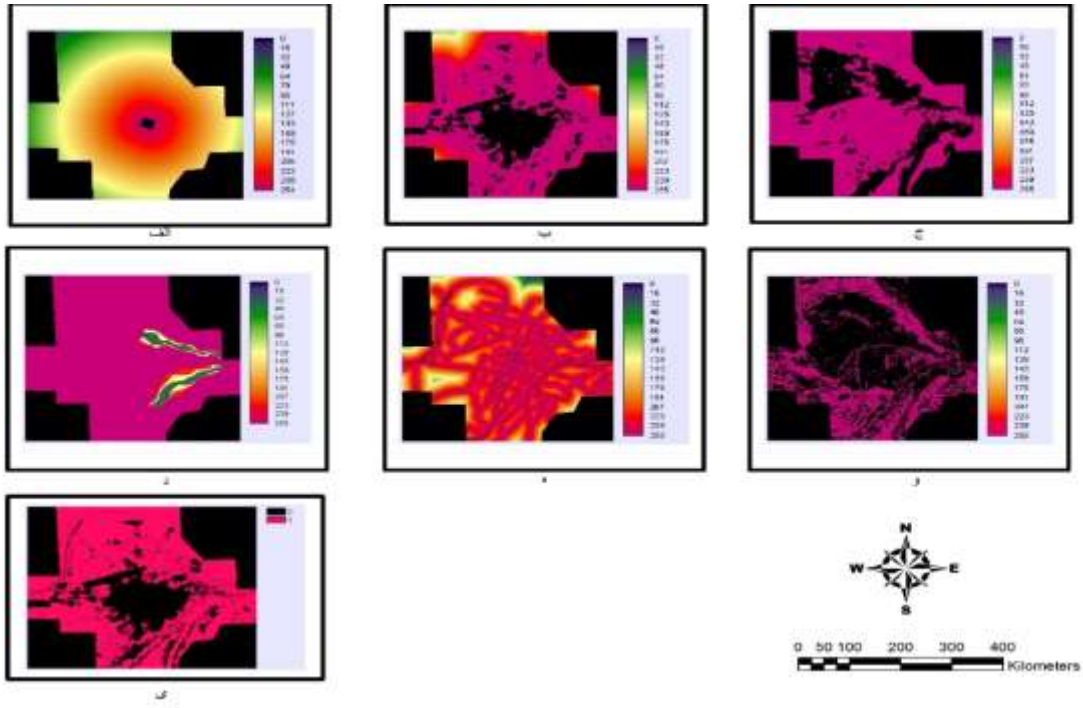
طبقه‌بندی شیب ها (درصد)	**درجه اهمیت**
۳-۰	**کم‌ترین**
۱۵-۳	**بیش‌ترین**
شیب‌های بزرگ‌تر از ۱۵	**کم‌ترین**

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

نقشه‌های معیار	وزن
نقشه کاربری‌های کشاورزی و بایر	۰/۰٦۹٤
نقشه فاصله از مرکز شهر	۰/۱٦۲۷
نقشه فاصله از مناطق ساخته شده	۰/۳۷٤۳
نقشه فاصله از راه‌های ارتباطی	۰/۲٥٦۱
نقشه شیب	۰/۰۳۷۹
نقشه پهنه‌بندی مسیل	۰/۰۹۹۷
ضریب سازگاری	۰/۰۲

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 6:21 IRDT on Thursday September 10th 2026



شکل ٤: نقشه‌های معیار مناطق ساخته شده: الف. نقشه فاصله از مرکز شهر. ب. نقشه فاصله از مناطق ساخته شده. ج. نقشه زمین‌های بایر و کشاورزی. د. نقشه پهنه‌بندی مسیل. ه. نقشه فاصله از راه‌های ارتباطی. و. نقشه شیب. ی.نقشه محدودیت‌ها..

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 زمین‌های کشاورزی از چهار نقشه معیار و یک نقشه محدودیت (شکل ۵) استفاده گردید (جدول ۹).

جدول ۹- نقشه‌های معیار برای تولید نقشه‌های شایستگی زمین‌های کشاورزی و بایر

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

نقشه‌های معیار	ماهیت
نقشه کاربری‌های کشاورزی و بایر	گسسته
نقشه طبقه‌بندی خاک	گسسته
نقشه عمق آب‌های زیرزمینی	گسسته
نقشه شیب	گسسته
نقشه محدودیت‌ها	گسسته

نقشه زمین‌های کشاورزی و بایر به منظور به حداکثر رساندن ارزش زمین‌های کشاورزی و حداقل کردن ارزش زمین‌های بایر در تولید نقشه‌های شایستگی تهیه گردید. نقشه طبقه‌بندی خاک‌های منطقه بر اساس طبقه‌بندی خاک‌ها

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 6:21 IRDT on Thursday September 10th 2026

بر طبق توپوگرافی، رطوبت، شیب، جنس خاک بر اساس سیستم CLI[14], Canadian Soil Information Service (2013) در ٦ 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
٤	۳	توپوگرافی، رطوبت زیاد خاک، ترکیبی از زیر کلاس‌ها
٥	٤+۳	توپوگرافی، ترکیبی از زیر کلاس‌ها
٦	٤	سنگ بستر

عمق آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه در اعماق ٥ تا ۳۰ متر در بازه‌های ٥ متری اندازه‌گیری شده است و نقشه آن نیز بر همین اساس در ٦ کلاس تهیه گردیده است که زمین‌هایی با عمق کم آب‌های زیرزمینی بالاترین ارزش را دریافت کرده‌اند. برای تولید نقشه شیب از نقشه DEM[15] که از ترکیب DEM ۱:۲۰۰۰ و ۱:۲٥۰۰۰ تهیه شده بود استفاده گردید. که در ٥ 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	٦
٤-۲	٥
۸-٤	٤
۱٦-۸	۳
۳۲-۱٦	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

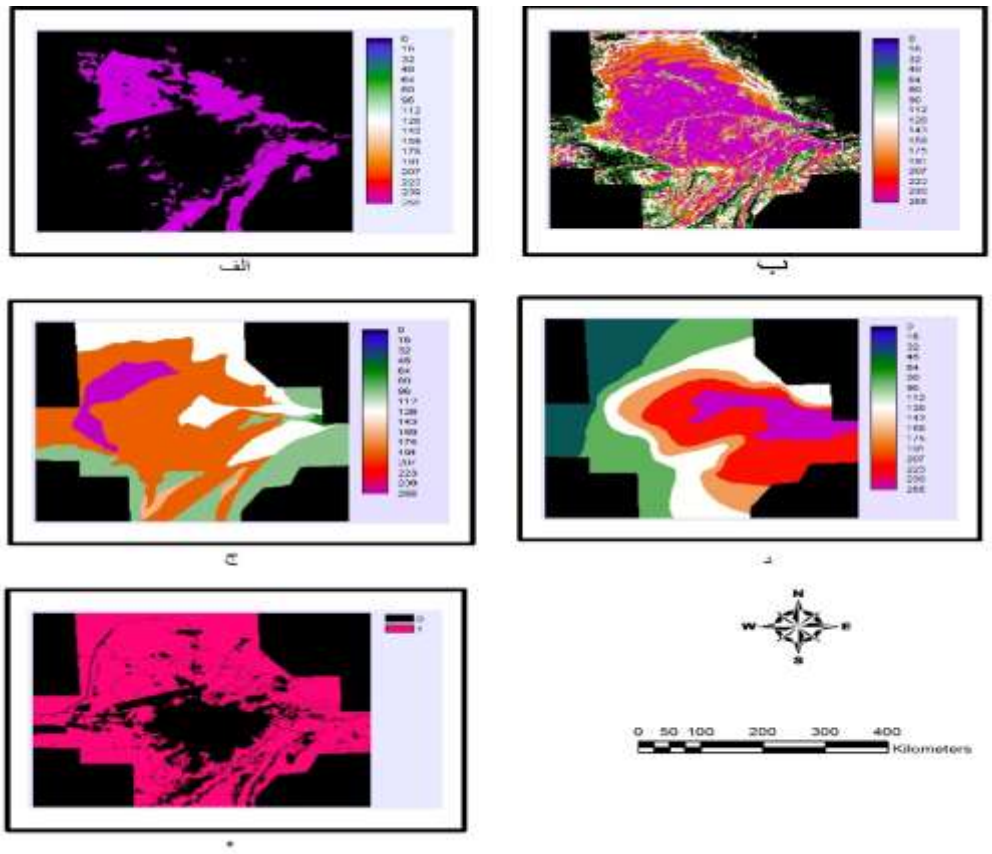
Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 6:21 IRDT on Thursday September 10th 2026

نقشه‌های معیار زمین‌های کشاورزی استفاده گردید با این تفاوت که تمام ارزش‌ها در این نقشه‌ها معکوس شده و پیکسل‌هایی که در نقشه‌های معیار زمین‌های کشاورزی بالاترین ارزش را دارا هستند در نقش‌های معیار زمین‌های بایر پایین‌ترین ارزش را دارند.

جدول ۱۲- وزن‌های استخراج شده از روش AHP برای تولید نقشه‌های شایستگی زمین‌های کشاورزی و بایر

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

نقشه‌های معیار	وزن
نقشه کاربری‌های کشاورزی و بایر	۰/۲۸۳۹
نقشه طبقه‌بندی خاک	۰/۵۱۸۳
نقشه عمق آب‌های زیرزمینی	۰/۰۹۸۹
نقشه شیب	۰/۰۹۸۹
ضریب سازگاری	۰/۰۰

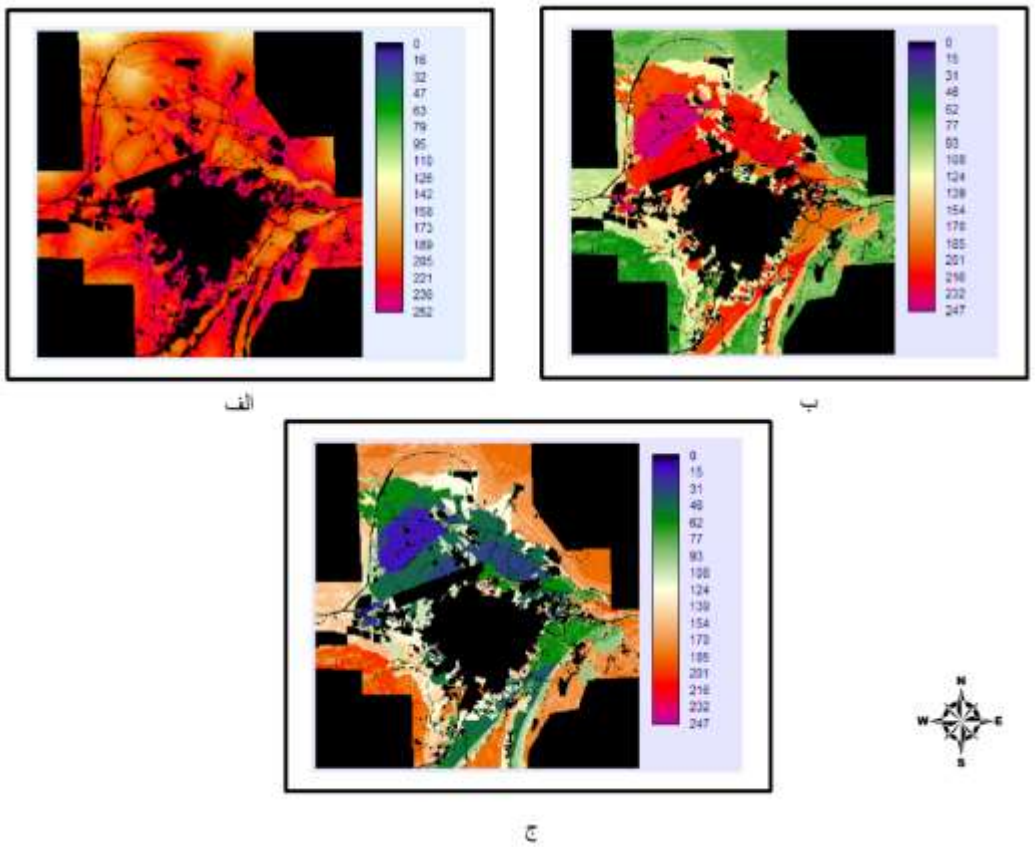


شکل ۵: نقشه‌های معیار زمین‌های کشاورزی و بایر: الف. نقشه زمین‌های بایر و کشاورزی. ب. نقشه شیب. ج. نقشه طبقه‌بندی خاک. د. نقشه عمق آب‌های زیرزمینی. ه. نقشه محدودیت‌ها

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

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 6:21 IRDT on Thursday September 10th 2026

در این تحقیق برای تولید نقشه‌های شایستگی از روش میانگین خطی وزنی استفاده شده است. شکل (٦) نقشه‌های شایستگی تولید شده برای سال (۱۳۸۸) را که مبنای مدل‌سازی تغییرات کاربری‌ها است، نمایش می‌دهد.



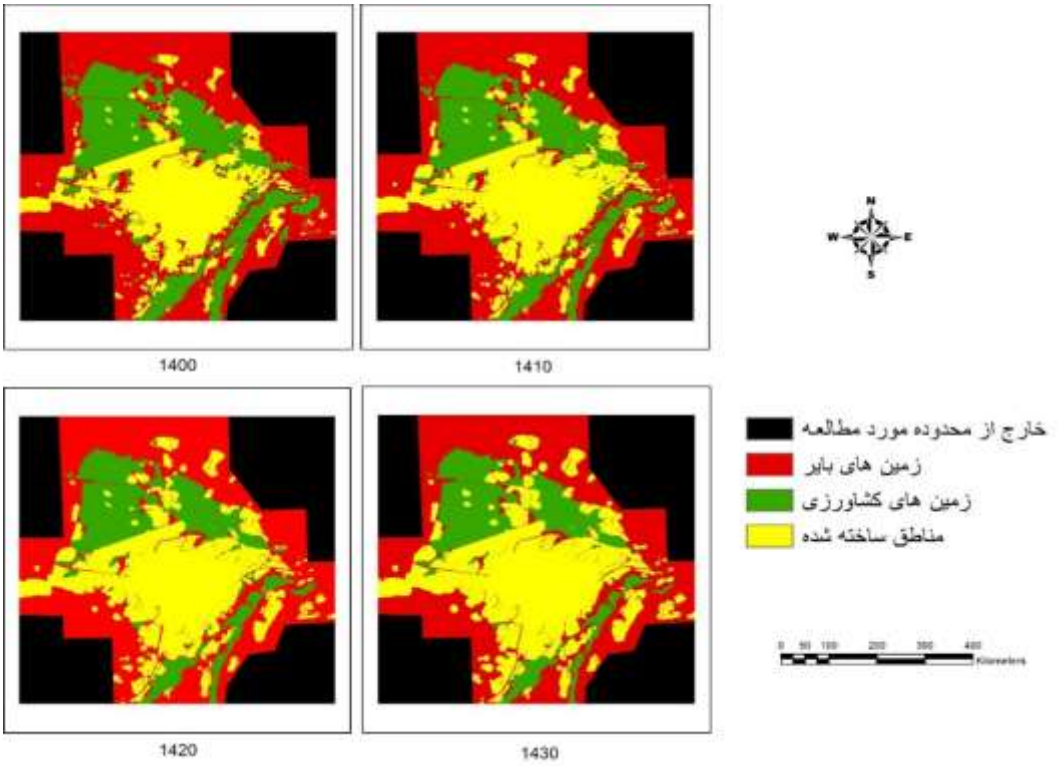
شکل ٦: نقشه‌های شایستگی کاربری‌های سال (۱۳۸۸) که پایه شبیه‌سازی کاربری‌ها با استفاده از مدل CA_Markov است: الف. نقشه شایستگی مناطق ساخته شده. ب. نقشه شایستگی زمین‌های کشاورزی. ج. نقشه شایستگی زمین‌های بایر

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)، ۰/۸٤۸۳ و همین‌طور برای سال (۱۳۸۸)، ۰/۸۸۱۲ محاسبه شده که نشان دهنده مطابقت بالای نقشه‌های شبیه‌سازی شده با واقعیت است. سپس تا سال (۱٤۳۰) تغییرات کاربری‌ها شبیه‌سازی شده‌اند (شکل ۷).

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 6:21 IRDT on Thursday September 10th 2026



شکل ۷: نقشه‌های شبیه‌سازی شده شهر بجنورد که توسط روش CA_Markov برای سال‌های (۱۴۰۰) تا (۱۴۳۰) تولید شده‌اند.

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

یافته‌ها و بحث

به منظور کالیبراسیون مدل‌ها، نقشه‌های پیش‌بینی کاربری‌ها برای مقایسه با نقشه‌های کاربری واقعی شهر بجنورد برای سال‌های (۱۳۸۳) و (۱۳۸۸) تولید شده است و خروجی نقشه‌ها با استفاده از روش Validate مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. ضریب کاپای تولید شده توسط این روش ارزش‌های بالای ۸۵ درصد را نشان می‌دهد که نشان دهنده مطابقت بالای نقشه‌های کاربری تولید شده با نقشه‌های کاربری واقعی شهر بجنورد است. مقدار این ضرایب نشان دهنده قابل اعتماد بودن نقشه‌های پیش‌بینی کاربری‌ها است که از سال (۱۴۰۰) تا (۱۴۳۰) برای شهر بجنورد تولید شده‌اند. جدول (۱۳) درصد کاربری‌های شهر بجنورد از سال (۱۳۷۳) تا (۱۴۳۰) را نمایش می‌دهد. در سال (۱۳۸۳)، درصد رشد کاربری مناطق ساخته شده ٦/٤ 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 ساخت‌وسازها و تغییر در کاربری‌ها می‌شود. در سال (۱۳۸۸)، کاربری مناطق ساخته شده به میزان اندکی رشد داشته که در حدود ۲/۳ درصد است. درصد تغییرات زمین‌های 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 زمین‌های بایر مشاهده می‌شود که در سال (۱۳۸۸) تغییر این کاربری در حدود ۰/۵ درصد

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 6:21 IRDT on Thursday September 10th 2026

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

از سال (۱٤۰۰) تا (۱٤۳۰) که نقشه‌های پیش‌بینی کاربری‌ها تولید شده است خروجی‌های مدل نشان می‌دهد که در سال (۱٤۰۰) 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 (۱٤۰۰) کاربری کشاورزی ۳/۸ درصد کاهش را نسبت به دوره سال (۱۳۸۸) نشان می‌دهد. از سال (۱٤۰۰) تا (۱٤۳۰) در هر دوره پیش‌بینی شده آهنگ تغییر و کاهش کاربری کشاورزی کند می‌شود. متاسفانه 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 (۱٤۳۰)

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

کاربری‌ها / سال	زمین‌های بایر	زمین‌های کشاورزی	مناطق ساخته شده
۱۳۷۳	۵۷/۲	۲۹/۲	۱۳/٦
۱۳۸۳	٤۹/۷	۳۰/۳	۲۰
۱۳۸۸	٤۹/۲	۲۸/۵	۲۲/۳
۱٤۰۰	٤۷/۷	۲٤/۷	۲۷/٦
۱٤۱۰	٤٦/٤	۲۲/۲	۳۱/٤
۱٤۲۰	٤۵	۲۰	۳۵
۱٤۳۰	٤۳/۵	۱۸	۳۸/۵

بررسی خروجی‌های مدل نشان می‌دهد که در سال (۱٤۰۰) 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 تقریبا 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

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 6:21 IRDT on Thursday September 10th 2026

به راحتی می‌توان تاثیر محدودیت‌های اعمال شده که ناشی از تغییرات ناگهانی ارتفاع است را مشاهده کرد. در بسیاری از مناطق تاثیر راه‌های ارتباطی، میزان رشد در اطراف مناطق ساخته شده را تقویت کرده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده در این تحقیق و در راستای دستیابی به توسعه پایدار شهری، مواردی از جمله: توجه بیش‌تر به کاربری‌های کشاورزی برای جلوگیری از تخریب آن‌ها، جلوگیری از ساخت‌وسازهای پراکنده در منطقه، توجه به خطوط تعریف شده برای توسعه آتی شهر در طرح جامع و تعریف پروژه و طرح‌های مختلف دور از کاربری‌های کشاورزی و تمرکز بر روی زمین‌های بایر، مواردی هستند که رعایت آن‌ها ضروری است.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 6:21 IRDT on Thursday September 10th 2026

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.