

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

Gholam Ali Khammar, Abdolrashid Namazi

Assistant Professor, Geography and Urban Planning, Faculty of Literature and Human Sciences, University of Zabol, Zabol, Iran.

ah.khammar@gmail.com

graduate student, Geography and Urban Planning, Faculty of Literature and Human Sciences, University of Zabol, Zabol, Iran.

rashidnamazi@gmail.com

Abstract:

Increasing urban growth, increasing population growth and increasing urban migration have doubled the need for informed guidance and spatial organization. On the other hand, urban development prediction is essential for planning and providing the necessary facilities for the future growth of the city. The present study aims at evaluating the changes in the land of Chabahar during the years 1991 to 2014, then, predicting these changes until 2041. Research method is descriptive-analytic. Landsat satellite images for the years 1991, 2001, and 2015 have been analyzed. For data analysis, ARC & GIS, ENVI and IDRISI software were used. And the prediction of user variations until 2041, has been shown using CA and Markov chain models. Results of the prediction show that body expansion of the leads to the compression. From 1991 to 2001, an average of 43.5 hectares per year; and from 2001 to 2014 (during 13 years) 59.5 hectares of expansion are showed. And on the horizon of 2041 it will reach about 28.7 hectares per year.

Key words: simulation, space-physical development of urban, CA Markov, Chabahar.

فصلنامه علمی - پژوهشی برنامه‌ریزی فضایی (جغرافیا)
سال هفتم، شماره دوم، (پیاپی ۲۵)، تابستان ۱۳۹۶
تاریخ وصول: ۹۴/۰۹/۰۷ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۸/۳۰
صص: ۹۴ - ۷۹

پیش‌بینی و شبیه‌سازی الگوی توسعه فضایی - کالبدی شهر چابهار در چشم‌انداز سال ۱۴۲۰ با بهره‌گیری از الگوی سلول‌های خودکار و RS

غلامعلی خمر^۱، عبدالرشید نمازی^{۲*}

۱- استادیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه زابل، زابل، ایران
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

چکیده

گسترش روزافزون شهرها، افزایش مهاجرت به آنها و رشد بی‌رویه جمعیت، لزوم هدایت آگاهانه و سازماندهی فضایی را دوچندان کرده است. از سوی دیگر، پیش‌بینی توسعه شهرها برای برنامه‌ریزی و تأمین امکانات لازم با هدف رشد شهر در آینده بسیار ضروری است. پژوهش حاضر تغییرات زمین‌های شهر چابهار را طی سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۳ ارزیابی و سپس این تغییرات را تا سال ۱۴۲۰ هجری شمسی پیش‌بینی می‌کند. روش پژوهش توصیفی - تحلیلی است. برای گردآوری داده‌ها، تصاویر ماهواره‌ای لندست در سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۰ و ۱۳۹۳ تجزیه و تحلیل شده است. برای تحلیل داده‌ها، نرم‌افزارهای ARC&GIS، ENVI و IDRISI به کار رفته و پیش‌بینی تغییرات کاربری تا سال ۱۴۲۰ با بهره‌گیری از الگوی زنجیره‌های مارکوف و CA نشان داده شده است. نتایج به‌دست آمده از پیش‌بینی نشان می‌دهد گسترش کالبدی به سمت فشرده سوق پیدا می‌کند؛ به این صورت که از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۰ به طور میانگین در هر سال، ۴۳/۵ هکتار و از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۳ یعنی ۱۳ سال، ۵۹/۵ هکتار گسترش را نشان می‌دهد و در چشم‌انداز سال ۱۴۲۰ به حدود ۲۸/۷ هکتار در سال خواهد رسید.

واژه‌های کلیدی: شبیه‌سازی، توسعه فضایی - کالبدی شهری، CA، Model Markov، شهر چابهار

مقدمه

طرح و بیان مسئله پژوهش

الگوی گسترش فضایی - کالبدی شهرها در مقیاس جهانی، فرآیندهایی از تغییرات کاربری زمین‌ها را پیش روی شهرنشینان به طور اعم و مدیران، برنامه‌ریزان و مجریان شهری به طور اخص قرار داده است. این موضوع در کنار مداخله پارامترهای متغیری همچون جمعیت و جریان‌های جمعیتی چون مهاجرت، سیاست‌های کلان شهرسازی دولتمردان و مدیریت ارشد برنامه‌ریزی ساختارهای شهری، بر پیچیدگی‌های مدیریت و کنترل شهری می‌افزاید. در این میان، بهره‌گیری نهادهای مدیریت شهری از سازوکارهای سنتی و متداول در ارزشیابی، تطبیق، پیشینی و برآورد رخدادهای فضایی حاکم بر فضاهای شهری، به‌ویژه در کشورهای جهان سوم، اداره شهرهای جهان سومی عصر حاضر را بسیار دشوار، ناکارآمد و بی‌آیه ساخته است؛ بنابراین متخصصان و کارشناسان متعددی در کشورهای مختلف دنیا، به‌ویژه کشورهای توسعه‌یافته، به پژوهش درباره کاربرد انواع الگوهای آماری - گرافیکی در زمینه فرآیندهای مختلف شهری و از جمله شبیه‌سازی تغییرات کاربری زمین‌های شهری مبادرت کردند (اصغری زمانی و همکاران، ۱۳۸۹: ۲). شهرها، سیستم‌هایی پیچیده، باز، پویا و خودسازمان‌دهنده‌اند. با الگوسازی سیستم پیچیده شهری، الگوهای فضایی و روندهای رشد شهری امکان شبیه‌سازی می‌یابد و درک بهتری از سیستم شهر به عنوان یک کل به دست می‌آید (رضازاده و میراحمدی، ۱۳۸۸: ۴۷). با وجود این، شهرها از نظر بیولوژیک در بهره‌گیری از منابع حیاتی، از جمله: هوا، آب و غذا، در متابولیسم شهری همچون انگل عمل می‌کنند؛ هرچه شهرها بزرگ‌تر باشند، از پیرامون خود بیشتر طلب می‌کنند و بدین ترتیب خطر تخریب محیط زیست افزایش می‌یابد (بحرینی، ۱۳۸۶: ۷۶).

در چند دهه اخیر به دنبال تحولات اقتصادی، اجتماعی و سیاسی کشور، شهرهای ایران دستخوش تحولات چشمگیری شده‌اند. رشد سریع جمعیت شهری در پی مهاجرت از روستا به شهر، گسترش بی‌رویه و اضافه شدن مناطق و محلات جدید به شهرها، گسترش شتابان مشاغل خدماتی و بازرگانی و تحول بافت کالبدی تحت تأثیر شهرهای مدرن و اجرای طرح‌های جدید شهری، از جمله این تحولات بوده است. شتاب این تحولات در بعضی زمینه‌ها، مدیران و برنامه‌ریزان شهری را غافلگیر و نبود امکان پاسخگویی به نیازهای جدید ناشی از این تحولات در بعضی از شهرها، به‌ویژه شهرهای بزرگ، آن را به یک مسئله تبدیل کرده است (زنگنه چکنی، ۱۳۸۱: ۵). از سوی دیگر، به علت رعایت نکردن اصول هدایت چنین توسعه‌ای، نیاز به تعیین و انتخاب مکان بهینه برای توسعه شهری با رعایت اصول و معیارهای توسعه اجتناب‌ناپذیر است (اولی‌زاده، ۱۳۸۴: ۱۳).

از جمله مشکلات اصلی و جالب توجه در شهرهای کشورهای در حال توسعه و همچنین شهر چابهار، توسعه و گسترش فیزیکی آنهاست؛ به گونه‌ای که طی این فرآیند مداوم، محدوده‌های فیزیکی شهر و فضای کالبدی آن از جهات مختلف افزایش پیدا می‌کند. اگر این روند سریع و بی‌برنامه باشد، سیمای شهر را با مشکلات فراوانی روبه‌رو خواهد کرد و به ترکیب نامناسبی در فضای شهر منجر خواهد شد (رضویان، ۱۳۸۱: ۴۱).

از آنجا که شهر چابهار، شهری ساحلی است و از دو طرف به دریا محدود می‌شود، طی دو دهه اخیر، همزمان با تأسیس منطقه آزاد تجاری، اداره بنادر کشتیرانی و پایگاه نظامی با سیل جمعیت روبه‌رو بوده است؛ این امر موجب

توسعه فضایی - کالبدی شهر به سمت شرق و شمال شده است؛ بنابراین بررسی همه‌جانبه و شناسایی علل و پیامدهای الگوی توسعه فضایی - کالبدی شهری، به ویژه در سال‌های اخیر، همراه با پیش‌بینی و شبیه‌سازی آن با نگرشی علمی به مسائل شهری، از مهم‌ترین اموری است که باید انجام شود.

مفاهیم و مبانی نظری پژوهش

رشد شهری

گسترش بی‌رویه شهرک‌ها و مناطق مسکونی و افزایش بی‌برنامه سطوح مختلف شهری، «رشد شهری» نام دارد. در واقع این مسئله از یک سو انبوهی جمعیت و از سوی دیگر ساختمان‌سازی صرف، بدون توجه به نیازهای حال و آینده و به عبارتی افزایش کاربری مسکونی و تخصیص کمترین سرانه‌ها و فضاها به سایر کاربری‌ها بوده و همچنین پیشی گرفتن رشد بر توسعه یا تقدم مقیاس بر عملکرد و برتری کمیت بر کیفیت است (رحمانی فرد، ۱۳۸۷: ۳۱).

برنامه‌ریزی و توسعه فضایی

برنامه‌ریزی فضایی، فرآیندی برای بهره‌ورسازی و آرایش منطقی، حفظ تعادل، توازن و هماهنگی بین جمعیت و تأسیسات اقتصادی و اجتماعی ایجادشده با آن در فضای (ملی، منطقه‌ای) کشور و جلوگیری از بروز نامتعادلی و بازتاب‌های تخریبی و منفی در فضای سرزمین است؛ به بیان دیگر، هدف برنامه‌ریزی فضایی، توزیع بهینه و سازمان‌یابی انسان و فعالیت‌ها در سراسر سرزمین ملی است (معصومی اشکوری، ۱۳۸۵: ۱۸).

برنامه‌ریزی کالبدی

برنامه‌ریزی کالبدی، فرآیندی برای توسعه فیزیکی یک شهر یا منطقه در قالب یک پیشنهاد به صورت طرح سه بعدی است. برنامه‌ریزی کالبدی به ساماندهی بخش‌هایی از شهر، شامل کاربری زمین، مکان‌یابی و طراحی ساختمان‌ها، خیابان‌ها، خدمات حمل و نقل، مسیرهای خدماتی و فضاهای باز می‌پردازد. در این نوع برنامه‌ریزی به طور ویژه به بخش‌های طبیعی و انسان‌ساخت شهرها توجه شده و سعی می‌شود ترتیب قرارگیری بخش‌های مصنوع شهر برای ایجاد نوعی نظم، به شکلی کارا و جذاب، ولی بیشتر ایستا ساماندهی شود. علاوه بر این، سعی دارد بخش‌های مصنوع را براساس نظریه شکل شهر سازمان دهد که گاهی برگرفته از اشکال هندسی است. در این نوع، تأکید بر برنامه‌ریزی ایجاد تسهیلات و سایر عناصر فیزیکی و ملموس شهر است که سطح رفاه اجتماعی و اقتصادی جامعه و حتی رفتارهای انسانی را بهبود بخشد. داعیه این نوع برنامه‌ریزی، در اولویت قراردادن اهداف و خواسته‌های عامه مردم (در تقابل با خواسته‌های افراد یا گروه خاص) است (دانشنامه مدیریت شهری و روستایی، ۱۳۸۷: ۱۴۴).

نظریه‌های توسعه فضایی - کالبدی شهر

از مهم‌ترین نظریه‌های رشد و توسعه فضایی - کالبدی شهر، نظریه کوین لینچ، نظریه اقتصاد، رشد پیوندی، رفتار انسانی، نظریه وسایط حمل و نقل و خطوط ارتباطی و نظریه ساختارگرایی است که هرکدام از زاویه‌ای، سعی در تحلیل و تبیین چگونگی توسعه فضایی - کالبدی شهرها دارند. در زیر به این نظریه‌ها اشاره شده است.

دیدگاه کوین لینچ و گسترش فیزیکی شهر

لینچ دربارهٔ فرم شهر اشاره می‌کند تا فرصت هست، شهرهای تازهٔ خود را به قسمی بسازیم که سیما و منظره‌ای نمایان داشته باشند؛ یعنی مظاهر آن‌ها روشنی و پیوستگی داشته باشند و به آسانی دیده شوند. برای انجام این امر، ساکنان شهر باید روشی را در پیش گیرند که به عرصهٔ زندگی ایشان فرم‌هایی بخشد؛ فرم‌هایی دیدنی که نظام آن در مراحل گوناگون در زمان و فضا میسر و نشانه و معرف زندگی شهری باشد. با این همه، وظایفی اساسی به شهر مرتبط است که فرم شهر ممکن است معرف آن باشد. خطوط اصلی عبور و مرور، قسمت‌های اصلی شهر با استفاده‌های گوناگون (صنعتی، مسکونی، تجاری و ...) و نقاطی که ممکن است کانون اصلی در شهر شوند، همه در فرم آن مؤثر هستند. باید به امیدها و شادی‌های مردم و به احساس اجتماعی‌شان فرصت بروز داد. مهم‌تر از همه، اگر محیطی نظام یابد و سیمای مشخص به دست آورد، ساکنان آن امیدها و امیال خود را با آن پیوند می‌دهند و در این صورت محیط زندگی به معنای واقعی جایی دیدنی می‌شود که مظاهر شناختی نیکو دارد (لینچ، ۱۳۸۱: ۱۶۸).

نظریهٔ اقتصادی

بر اساس نظریهٔ اقتصادی، رشد و توسعهٔ کالبدی شهر، محصول و زادهٔ توسعهٔ اقتصادی است. بر مبنای این دیدگاه عامل اقتصادی، بارزترین و اصلی‌ترین عاملی است که سیما و کالبد شهرها را شکل می‌دهد و چگونگی نحوهٔ رشد آن‌ها را تعیین می‌کند. عده‌ای از پژوهشگران معتقدند نه تنها شهرهای اولیه، بلکه شکل‌گیری بسیاری از شهرهای قرون وسطای اروپا را نیز باید در قلمرو تجاری آن‌ها جست و جو کرد. در این نظریه، توسعهٔ کشاورزی متأثر از رشد و توسعهٔ شهری است (شکویی، ۱۳۸۵: ۱۴۳).

رشد فضایی - کالبدی شهرها متأثر از عوامل مختلفی است؛ گاه بستگی به موقعیتی دارد که شهر در آن، در حال گسترش است. شهر چابهار به دلیل موقعیت استراتژیک، به منزلهٔ پیشانی توسعهٔ جنوب شرق کشور شناخته شده است؛ این عامل به همراه تأسیس منطقهٔ آزاد تجاری - صنعتی به توسعهٔ فضایی - کالبدی این شهر انجامیده است؛ به بیان دیگر گسترش شهر ناشی از فعالیت‌های اقتصادی است و هریک از عوامل مؤثر دیگر در توسعهٔ فیزیکی شهر به نوعی نقش‌آفرین هستند.

رشد پیوندی

به دنبال افزایش جمعیت شهری برای پاسخگویی به نیازهای جمعیت اضافی شهر، باید فضای خاصی (زمین‌های ذخیره) را برای تازه‌واردان شهری تدارک دید. در این راستا، نخستین بحث اساسی برای چنگ‌اندازی و تسلط، دروازه‌ها و حصارهای پیرامون شهرها هستند. دستیابی به این فضای بیرونی از حصار شهر آغاز می‌شود و شهر به تدریج از لاک و حصار خود بیرون می‌آید. گاهی شهر گام فراتر می‌نهد و پس از خروج از حصار، زمین‌های سبز و خرم روستاهای نزدیک را در سلطه و نفوذ می‌گیرد؛ زمین‌های پیرامون شهر با کمترین بها، از مالکیت روستاییان خارج شده و پس از برش و منطقه‌بندی، روی زمین‌ها معاملات پرسود انجام می‌شود؛ سپس با ساخت مسکنی، قشری تازه به بدنهٔ شهری پیوند می‌خورد؛ اما این رشد ضرورتاً همانند تنهٔ درخت نیست که در قشریابی خود هماهنگی و توازن خاصی را نشان بدهد؛ چه بسا بر اثر فشارهای جمعیتی و تولیدی، ممکن است شرایطی بر هستهٔ

شهر تحمیل شود که پیرو ویژگی‌های توپوگرافیک به گونه‌ای موزون گسترش نیابد؛ بلکه انتقال اضطرابی و ناگهانی بخشی از بار سنگین جمعیتی و تولیدی بر زمین‌های تازه در اختیار گرفته شده، گرهی بر نوار توسعه شهری می‌زند و از ناهماهنگی گسترش شهر می‌کاهد (فرید، ۱۳۷۵: ۱۶۰-۱۶۱).

نظریه رفتار انسانی

نظریه رفتار انسانی، توسعه و گسترش فضایی - کالبدی شهرها را نتیجه رفتار انسانی می‌داند و معتقد است طی پروسه تکاملی، همان گونه که انسان تکامل می‌یابد، شهرها هم گسترش و توسعه می‌یابند. شهر به منزله انسان مادینه‌ای است که متولد و بالغ می‌شود، تولید مثل می‌کند و سرانجام می‌میرد. یکی از بنیان این نظریه معتقد است برای اینکه تصویری حقیقی از چگونگی و توسعه شهرها به دست دهیم، لازم است پروسه تکامل اجتماعی انسان را به دقت مطالعه کنیم و از خطوط عمده آن‌ها برای تعیین آینده مدد بگیریم؛ آینده‌ای که به صورت برنامه‌ریزی‌های شهری عرضه می‌شود. وی تمرکز و تراکم جوامع و اشکال فضایی ناشی از آن را معلول روابط اجتماعی می‌داند که به نوبه خود، تأثیری محلی بر روابط اجتماعی دارد. مصنوعات مادی، حکم قالب‌هایی را دارند که ریخته‌گری اعمال و کنش‌های ما، ناگزیر درون آن‌ها انجام می‌شود (مختومی، ۱۳۹۲: ۲۲).

نظریه تأثیر وسایط نقلیه و خطوط ارتباطی در توسعه شهرها

براساس این نظریه، عوامل مختلف و متعددی در چگونگی توسعه کالبدی شهرها مؤثرند و سیمای آن‌ها را تعیین می‌کنند؛ ولی وسایط ارتباطی نقش ویژه‌ای را ایفا کرده‌اند و چه بسا در مواقع زیادی تعیین‌کننده بوده‌اند. بر اساس این نظریه، گسترش شبکه‌های حمل و نقل پیرامون شهرها با آسان کردن رفت و آمد و نیز افزایش قیمت زمین‌های مجاور این شبکه‌ها، معمولاً گسترش بیرونی شهر را در مسیر این خطوط هدایت می‌کند. گرایش کارخانه‌ها به مکان‌هایی دور از تراکم و استفاده بهتر و آسان‌تر از امکانات حمل و نقل، آن‌ها را به مناطق پیرامونی می‌کشاند و این خود توسعه شهر به پیرامون را شتاب می‌بخشد (نجف‌زاده، ۱۳۸۵: ۴۰).

نظریه ساختارگرایی

طرفداران نظریه ساختارگرایی معتقدند در علم جغرافیای شهری، پدیده‌های گوناگون فضای زندگی به طور جداگانه و مستقل از یکدیگر مطالعه نمی‌شوند. در واقع در این مکتب جغرافیایی، پدیده‌های جغرافیایی یا شهری به طور مجزا در کنار هم قرار نمی‌گیرند؛ بلکه هر پدیده جغرافیایی شهری، جزئی از کل ساختاری است و فقط در درون این ساختار تحلیل می‌شوند؛ زیرا کل ساخت فضای زندگی بر هر پدیده جغرافیای شهری اثر می‌گذارد یا به عبارت دیگر هر موضوع جغرافیای شهری با توجه به موضوعات و پدیده‌های دیگر و در درون یک ساختار جغرافیایی بررسی می‌شود (شکوئی، ۱۳۸۵: ۱۲۳).

پرسش‌های پژوهش

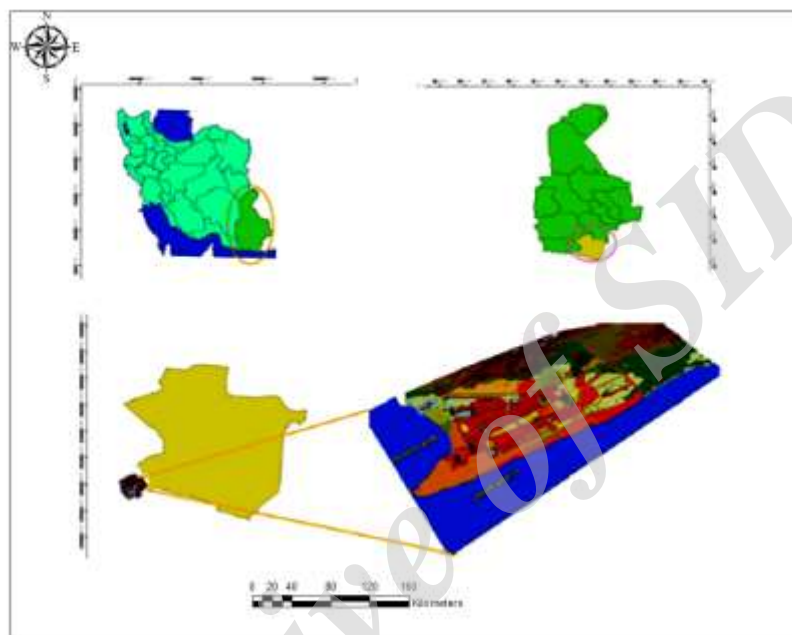
۱- کدام یک از کاربری‌ها (ساخته شده، پوشش گیاهی، پهنه آبی، بایر) بیشترین تغییرات را از سال ۱۳۷۰ تا

۱۳۹۳ نشان می‌دهد؟

۲- توسعه فضایی - کالبدی شهر چابهار در آینده چگونه خواهد بود؟

محدوده پژوهشی

شهرستان چابهار با مساحتی حدود ۱۷۱۵۵ کیلومتر مربع در منتهی‌الیه جنوب شرقی ایران و استان سیستان و بلوچستان واقع شده است. این شهرستان از جانب شمال به شهرستان های ایرانشهر و نیکشهر، از جنوب به دریای عمان، از شرق به پاکستان و از غرب به شهرستان کنارک محدود می‌شود. شهر چابهار با وسعتی بیش از ۱۱ کیلومتر مربع و جمعیتی بیش از ۸۵۶۳۳ نفر در ۶۰ درجه و ۳۷ دقیقه طول شرقی و ۲۵ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی قرار دارد (مهندسین مشاور پیراوش معمار، ۱۳۹۰).



شکل - ۱: موقعیت جغرافیایی شهر چابهار در سطح کشور، استان و شهرستان

مواد و روش‌ها

این پژوهش براساس اهداف مدنظر، از نوع کاربردی بوده و در آن بنا بر ماهیت بررسی، از دو روش توصیفی و تحلیلی توأمان استفاده شده است. در انجام پژوهش، بخش توصیفی با مطالعات اسنادی و کتابخانه‌ای به دست آمده است. در بخش تحلیلی تصاویر ماهواره‌ای (RS)، الگوهای زنجیره‌های مارکوف و اتوماسیون سلولی (CA) و نرم‌افزارهای ENVI4.8، IDRISI و GIS به کار رفته و سپس نتایج به دست آمده تجزیه و تحلیل شده است. در این پژوهش با بهره‌گیری از داده‌های سنجش از دور (تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه Landsat)، تغییرات کاربری زمین‌های ناحیه شهری چابهار تعیین و ارزیابی شده‌اند. با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای لندست در سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۰ و ۱۳۹۳ (۱۹۹۱، ۲۰۰۱ و ۲۰۱۴ میلادی) در نرم‌افزار ENVI4.8 برای ترسیم نقشه، در مرحله نخست تصویر مرکب رنگی از باندهای ۲، ۴، ۷ ساخته شده است؛ زیرا در این ترکیب، کلاس‌ها تا حد زیادی از همدیگر تشخیص داده و با درصد اطمینان بیشتری برای تهیه نمونه‌های آموزشی اقدام می‌شود.

جدول - ۱: مشخصات تصاویر ماهواره‌اندست

نوع تصویر	تاریخ تصویربرداری	نام ماهواره	تعداد باند	قدرت تفکیک (متر)	Row (ردیف)	Path (گذر)
TM	1991	لندست ۵	۷	۳۰	۴۲	۱۵۷
TM	۲۰۰۱	لندست ۵	۷	۳۰	۴۲	۱۵۷
TM	۲۰۱۴	لندست ۸	۱۱	۳۰	۴۲	۱۵۷

منبع: سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا (USGS)

در ادامه برای پی بردن به تغییرات کاربری‌ها در محدوده پژوهشی از نرم‌افزار IDRISI استفاده شده است؛ نقشه‌های به‌دست‌آمده از طبقه‌بندی تصاویر سال‌های مطالعه‌شده با بهره‌گیری از روش جدول متقابل (Crosstab) با یکدیگر مقایسه شده است؛ در این روش، نقشه‌های کاربری تهیه شده به صورت دو به دو مقایسه و به صورت ماتریسی ایجاد می‌شود که در آن ردیف‌ها، کاربری سال پایین و ستون‌ها، کاربری سال بالاست. پیش‌بینی و شبیه‌سازی توسعه فضایی - کالبدی شهر با بهره‌گیری از الگوی زنجیره‌های مارکوف و اتوماسیون سلولی (CA) و نرم‌افزار IDRISI انجام شده است.

الگوی زنجیره‌های مارکوف (Markov Chain)

الگوی مارکوف را در سال 1907، فردی روسی به نام آندری آندریویچ مارکوف ارائه کرد. زنجیره مارکوف، روشی برای الگو سازی فرآیندهای احتمالی است. مفهوم زنجیره مارکوف این است که یک زنجیره با مشاهداتی بررسی می‌شود و احتمال تغییر هر کدام از مشاهدات از حالتی به حالت دیگر وجود دارد. زنجیره مارکوف در پی آن است که احتمال وقوع یک تغییر (مثل کاربری زمین‌ها در زمان T نسبت به وضعیت آن در زمان پیشین T-1) را نشان دهد (رضایی، ۱۳۸۹: ۴۱). به بیانی دیگر، زنجیره مارکوف بیان‌کننده توالی متغیرهای تصادفی مانند X2، X3، X1 و ... است؛ در واقع اگر مجموعه‌ای از حالات را به صورت رابطه زیر:

$$S = \{s_1, s_2, s_3, \dots, s_r\}$$

داشته باشیم، رابطه ذیل چگونگی به دست آمدن P_{ij} را نشان می‌دهد:

$$p_{ij}^{(n)} = \sum_{k=1}^r p_{ik} p_{kj}$$

در معادله فوق، P_{ij}ⁿ، احتمال رفتن از حالت i را به حالت j پس از n گام نشان می‌دهد.

در این الگو، دو نقشه مربوط به دو دوره زمانی به صورت ماتریسی با یکدیگر مقایسه می‌شوند؛ به طوری که براساس بیشترین احتمال پیش‌بینی می‌شود که هر پیکسل در هر کلاس با چه احتمالی در همان کلاس می‌ماند یا به کلاسی دیگر تبدیل می‌شود (Eastman, 2003).

روش زنجیره‌های مارکوف، تصاویر پهنه‌بندی کاربری زمین‌ها را تحلیل می‌کند و یک خروجی به شکل ماتریس احتمالی تغییرات و یک تصویر خروجی از ماتریس احتمالی تغییرات را برای سال چشم انداز ارائه می‌دهد (Ahadnejad and Rabet, 2010). ماتریس احتمال تغییر نشان می‌دهد هر کلاس از کاربری زمین‌های طبقه‌بندی شده در آینده به تغییر خواهد یافت. در این روش، ماتریس تغییرات ناحیه نشان می‌دهد تغییر تعداد پیکسل‌هایی از یک کلاس کاربری زمین‌ها به کلاس دیگر در یک دوره مشخص به چه میزان خواهد بود (مجیدی مسکین، ۱۳۹۳: ۶۰).

الگوی سلول‌های خودکار (Cellular Automata)

سلول‌های خودکار، سیستم پویای گسسته‌ای است که از لحاظ فضایی به سلول‌های منظم فضایی تقسیم شده و از لحاظ زمانی، طی مراحل مختلف زمانی دست‌یافتنی است. هر سلولی یک ویژگی از مجموع ویژگی‌های سیستم دارد. ویژگی هر سلولی با توجه به توابع محلی به‌روز می‌شود و تابعی از ویژگی‌های خود سلول و سلول‌های هم‌جوارش در مرحله زمانی پیشین (Wolfram, 1984) است. قوانین انتقال به عنوان موتور اصلی تغییرات در الگوی CA، رفتار سلول‌ها را طی فرآیند تکامل در مراحل زمانی مختلف، مشخص و وضعیت آینده سلول را تعریف می‌کنند. در الگوی CA شهری، قوانین انتقال در ارتباط با فرآیند توسعه فضایی شهر تعریف می‌شوند. فاکتورهای محلی و نظریه‌های توسعه شهری (تناسب فیزیکی، دسترسی حمل‌ونقل و...)، در این باره تأثیرگذارند. این قوانین معمولاً با مجموعه‌ای از جملات If-Then بیان می‌شوند که بسیار ساده هستند، ولی الگوهای پیچیده‌ای از توسعه ایجاد می‌کنند. تغییر ویژگی هر سلولی از زمان T به زمان T+1، به وسیله مجموعه‌ای از توابع شکل می‌گیرد که این توابع از ویژگی خود سلول و سلول‌های هم‌جوارش در زمان T گرفته شده است.

سه مشخصه اصلی در تغییر هر سلولی با بهره‌گیری از توابع انتقال به شرح زیر است:

- ۱- یکسانی^۱: همه خصیصه‌های موجود در سلول‌ها، با بهره‌گیری از توابع یکسانی به‌روز می‌شوند؛
- ۲- همزمانی^۲: همه خصیصه‌ها به طور همزمان به‌روز می‌شوند؛
- ۳- محلی^۳: این توابع در اصل محلی هستند (Schiff, 2008).

این توابع، در واقع موتور پردازشگر سلول‌های خودکار هستند؛ زیرا فرآیندهایی را نشان می‌دهند که بر روی سیستم انجام می‌گیرد تا سیستم الگوسازی شود و بدین ترتیب چیدمان مناسب این توابع برای توفیق در امر الگوسازی، بسیار ضروری است (Liu, 2009). همچنین این توابع بسیار ساده یا برعکس، بسیار پیچیده هستند؛ برای نمونه در سلول‌های خودکار بازی زندگی^۴ (به منزله یکی از توابع ابتدایی برای سلول‌های خودکار)، خصیصه یک سلول در زمان T+1، تنها به خصایص سلول‌های هم‌جوار خود در زمان پیشین بستگی دارد (Wolfram, 1983)؛ اما در کاربردهای مختلف سلول‌های خودکار، توابع فرعی بر این توابع ساده افزوده می‌شود که با افزودن هر چه بیشتر این توابع به توابع اصلی، این توابع پیچیده‌تر و کاربردی‌تر می‌شوند؛ برای نمونه در دو تابع زیر، مؤلفه‌های تابع موجب سادگی یا پیچیدگی این توابع می‌شوند:

¹ Uniformity
² Synchronicity
³ Locality
⁴ The life of game

تابع ساده سلول‌های خودکار

$$Tp + 1 = f(ST, NB)$$

تابع پیچیده‌تر سلول‌های خودکار

$$Tp + 1 = f(ST, NB, AC, SU \dots)$$

TNB: اثر هم‌جواری

ST: خصیصه سلول در زمان

AC: اثر دسترسی مکانی

SU: اثر مطلوبیت مکانی

در توابع بالا، شدت و ضریب هریک از عوامل تابع نیز می‌تواند در فرآیند الگوسازی متفاوت باشد؛ به عبارتی، کاربرد اهمیت و میزان تأثیر هریک از این عوامل را در فرآیند الگوسازی تعیین می‌کند (کیانی، ۱۳۸۳: ۷۳).

یافته‌های پژوهش و تجزیه و تحلیل داده‌ها

بررسی و تجزیه و تحلیل داده‌های سنجش از دور

در این پژوهش برای تعیین و ارزیابی تغییرات کاربری زمین‌های ناحیه شهری چابهار از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه سنجنده TM ماهواره Landsat برای سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۰ و ۱۳۹۳ (۱۹۹۱، ۲۰۰۱ و ۲۰۱۴ میلادی) استفاده شده است. تصاویر ماهواره‌ای هنگام گرفتن با اشکالاتی مواجه می‌شوند و تصحیح این اشکالات لازم است. تصاویر ماهواره Landsat پس از ارسال به ایستگاه‌های زمینی تصحیح می‌شوند و سپس در اختیار عموم قرار می‌گیرند؛ بنابراین از دلایل انتخاب تصاویر این ماهواره، وجود تصحیحات در ایستگاه‌های زمینی، دسترسی ارزان و اعتماد بیشتر به این تصاویر است. تجزیه و تحلیل این تصاویر در محیط نرم‌افزارهای Envi و IDRISI انجام شده است؛ به این ترتیب که ابتدا با فراخوانی تصاویر در نرم‌افزار Envi، طبقه‌بندی کاربری‌ها انجام گرفت و در نهایت تصاویر از فرمت Envi به فرمت IDRISI تبدیل شدند و به کار رفتند. برای پی‌بردن به تغییرات اصلی کاربری‌ها از دستور cross tab و همچنین برای پیش‌بینی ادامه این تغییرات در سال‌های آینده (۱۴۲۰) از الگوهای زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار استفاده شد.

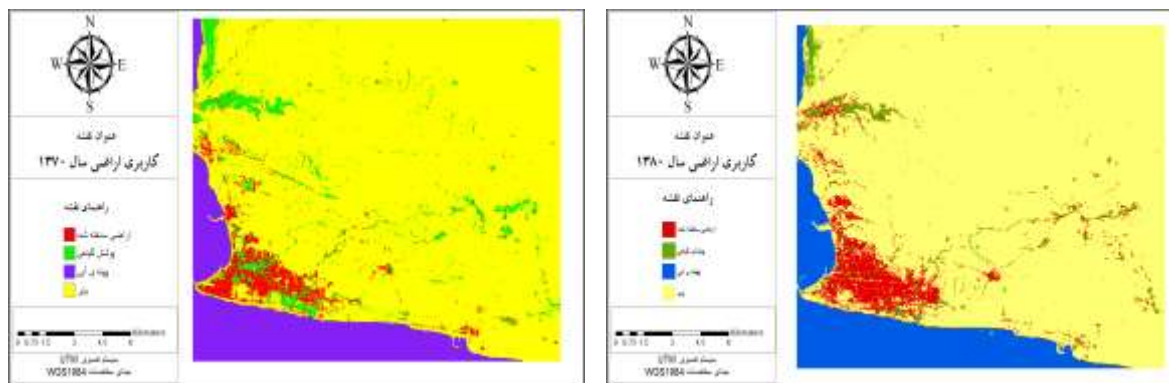
انتخاب الگوریتم طبقه‌بندی

برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، استخراج کاربری‌ها و اطلاعات مدنظر روش‌های مختلفی وجود دارد که بسته به نوع و ماهیت پژوهش به کار می‌روند. در این پژوهش برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و استخراج نقشه کاربری‌ها و پوشش زمین‌ها، از روش ROI در نرم‌افزار ENVI استفاده شده است.

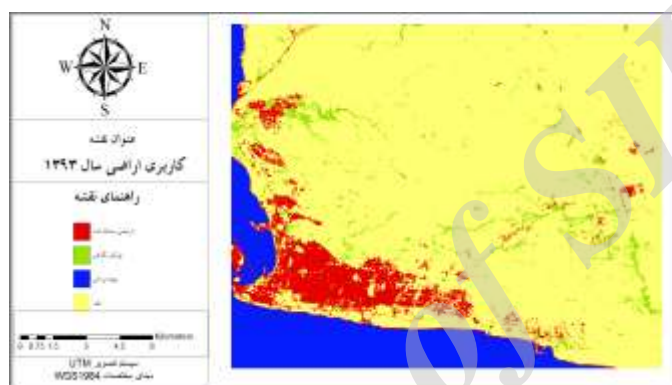
جدول-۲: ارزیابی دقت طبقه‌بندی سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۰ و ۱۳۹۳ (۱۹۹۱، ۲۰۰۱، ۲۰۱۴)

سال	ضریب کاپا
۱۳۷۰	۰/۹۵۷
۱۳۸۰	۰/۹۳۶
۱۳۹۳	۰/۹۱۵

منبع: محاسبات نگارنده ۱۳۹۴



شکل - ۲: کاربری زمین‌های شهر چابهار در سال ۱۳۷۰، ۱۳۸۰

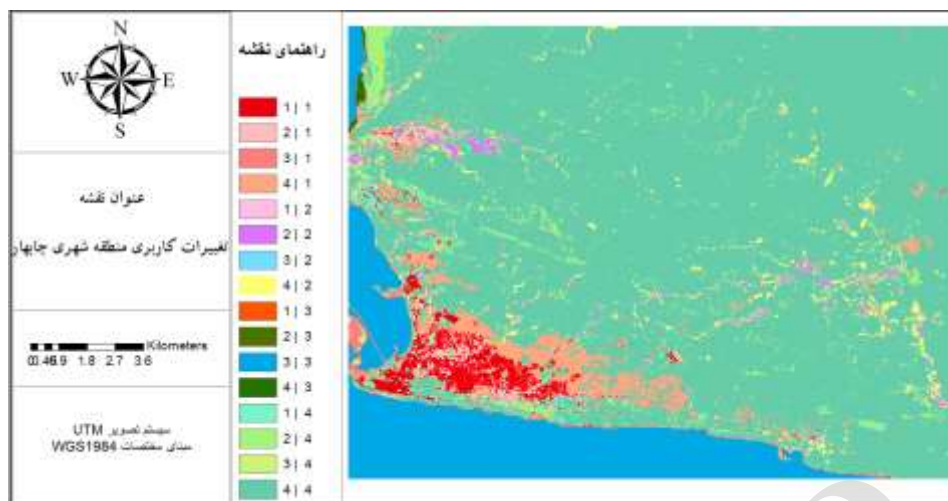


شکل - ۳: کاربری زمین‌های شهر چابهار در سال ۱۳۹۳

مقایسه طبقه‌بندی‌ها برای ارزیابی تغییرات کاربری و پوشش زمین‌ها

در پژوهش حاضر برای پی‌بردن به تغییرات رخ داده در منطقه پژوهشی، نقشه‌های به‌دست‌آمده از طبقه‌بندی تصاویر سال‌های مطالعه‌شده با بهره‌گیری از روش جداول متقابل (Cross tab) با همدیگر مقایسه شد. در این روش، نقشه‌های کاربری به صورت دو به دو مقایسه و به صورت ماتریسی ایجاد شد که ردیف‌های آن، کاربری سال پایین (۱۳۷۰) و ستون‌ها مربوط به کاربری سال بالا (۱۳۹۳) است. در ادامه به هر یک از کاربری‌ها (ساخته شده، پوشش گیاهی، پهنه آبی، بایر) به ترتیب کدهایی از ۱ تا ۴ داده شد.

همان‌طور که در جدول (۲) و اشکال (۲) و (۳) دیده می‌شود، کاربری و پوشش زمین‌های این بخش‌ها طی سال‌های بررسی شده، دستخوش تغییر و تحول بسیاری بوده است. نتایج نشان می‌دهد زمین‌های ساخته شده طی دوره ۲۳ ساله بیشترین تغییر را نسبت به دیگر کاربری‌ها داشته است؛ علت این امر افزایش جمعیت و گسترش شهرنشینی است. این تغییرات با اشغال کردن زمین‌های بایر با بیشترین سهم به سود زمین‌های ساخته شده و پس از آن پوشش گیاهی بوده است.



شکل - ۴: نقشه تغییرات کاربری منطقه شهری چابهار از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۳ (۱۹۹۱ تا ۲۰۱۴ میلادی)

جدول - ۳: توزیع مساحت کاربری‌های محدوده پژوهشی به هکتار

کاربری‌های سال ۱۳۷۰	کاربری‌های سال ۱۳۹۳				
	کاربری	ساخته شده	پوشش گیاهی	پهنه آبی	بایر
ساخته شده	۶۳۹	۳۳	۵	۳۰۸	۹۸۵
پوشش گیاهی	۲۸۷	۲۹۰	۷	۷۸۸	۱۳۷۲
پهنه آبی	۱۳۳	۱	۳۴۷۲	۳۲	۳۶۳۸
بایر	۱۱۳۵	۵۹۶	۲۹	۲۰۴۰۴	۲۲۱۶۴
مجموع	۲۱۹۴	۹۲۰	۳۵۱۳	۲۱۵۳۲	۲۸۱۵۹

منبع: یافته‌های پژوهش

در جدول (۳)، سطرها بیان‌کننده نوع کاربری و مساحت مربوط به هریک از آن‌ها در سال ۱۳۷۰ بوده و ستون‌ها نشان‌دهنده این است که در سال ۱۳۹۳، مساحت هریک از کاربری‌ها به چه مقدار رسیده و نسبت به دوره پیش چه میزان تغییر یافته است. این جدول نشان می‌دهد بیشترین افزایش به سود کاربری زمین‌های ساخته شده با مساحت ۹۸۵ هکتار در سال ۱۳۷۰ به ۲۱۹۴ هکتار رسیده است.

زمین‌های ساخته شده طی سال‌های ۱۳۷۰ (۱۹۹۱ م) تا ۱۳۹۳ (۲۰۱۴ م)، افزایش ۱۲۰۹ هکتاری را تجربه کرده است. همان‌طور که اشاره شد این افزایش با ایجاد منطقه آزاد تجاری - صنعتی چابهار از سال ۱۳۷۲ و توسعه فعالیت‌های تجاری و افزایش مهاجرت به شهر همراه بوده است؛ به طوری که امکان اشغال زمین‌های بیشتر شهری را پیرامون شهر و زمین‌های بایر داخل محدوده شهر را فراهم ساخته است؛ در طول این سال‌ها شهرک جدید گلشهر با جمعیتی بیش از ۵ هزار نفر به زیر ساخت و ساز شهری رفت؛ در حالی که پیش از ایجاد منطقه آزاد، هیچ‌گونه ساخت‌وسازی در این شهرک صورت نگرفته بود.

کاهش ۴۵۲ هکتاری پوشش گیاهی نسبت به دوره پیش نشان می‌دهد پوشش گیاهی به سود زمین های بایر از بین رفته است.

پهنه آبی، کاهش ۱۲۵ هکتاری را نشان می‌دهد که ۱۳۳ هکتار آن به زیر زمین های ساخته شده از قبیل اسکله ها و سایر فعالیت های انسان ساخت در سواحل رفته است.

زمین های بایر با کاهش ۶۳۲ هکتاری روبه رو بوده‌اند. از آنجا که زمین های بایر در محدوده بدون مرز پیرامون شهر قرار دارند، هرگونه گسترش شهر منجر به اشغال کردن این زمین ها می‌شود. در این میان، بحث اصلی، تغییرات دیگر کاربری ها و تبدیل آن ها به زمین های ساخته شده است.

شهر چابهار با توجه به موقعیتی که دارد از جهات جنوب و جنوب غرب، غرب و شمال غرب با محدودیت گسترش به دلیل وجود دریا و منطقه آزاد تجاری مواجه شده است؛ به این علت بهترین مسیر برای گسترش شهر، قسمت شرقی شهر است.

شبیه سازی تغییرات کاربری زمین های شهر چابهار تا سال ۱۴۲۰ (۲۰۴۱ میلادی)

روش های مختلفی برای پیش بینی و شبیه سازی تغییرات کاربری زمین ها وجود دارد. در پژوهش حاضر روش های زنجیره ای مارکوف و سلول های خودکار به کار رفت. برای این منظور در نرم افزار IDRISI با مقایسه کاربری زمین ها طی سال های ۱۳۷۰، ۱۳۸۰ و ۱۳۹۳ (۱۹۹۱، ۲۰۰۱ و ۲۰۱۴ م) و الگوهای استفاده شده، تغییرات کاربری ها برای سال ۱۴۲۰ شبیه سازی و پیش بینی شد.

زنجیره های مارکوف (Markov Chain)

برای پیش بینی روند تغییرات کاربری زمین ها، ابتدا نقشه های کاربری سال های ۱۳۷۰ و ۱۳۹۳ با بهره گیری از زنجیره های مارکوف تحلیل شد؛ بدین منظور تصویر دو دوره و فاصله زمانی آن ها و سالی معرفی می‌شود که کاربر می‌خواهد برای آن پیش بینی انجام شود. با انجام این مراحل و با توجه به روندی که هر یک از کاربری ها در گذشته داشته است، نتیجه نهایی به صورت ماتریس نشان داده می‌شود.

در زنجیره مارکوف، احتمال تغییر کاربری ها به همدیگر بین ارزش های ۰ تا ۱ متغیر است؛ یعنی مناطق دارای ارزش نزدیک به صفر، از احتمال کمتری برای تغییر و مناطق نزدیک به عدد ۱، از احتمال بیشتری برای تغییر در آینده برخوردارند. با توجه به نتایج به دست آمده، احتمال تغییر کاربری زمین های دارای پوشش گیاهی به بایر بیش از دیگر کاربری هاست.

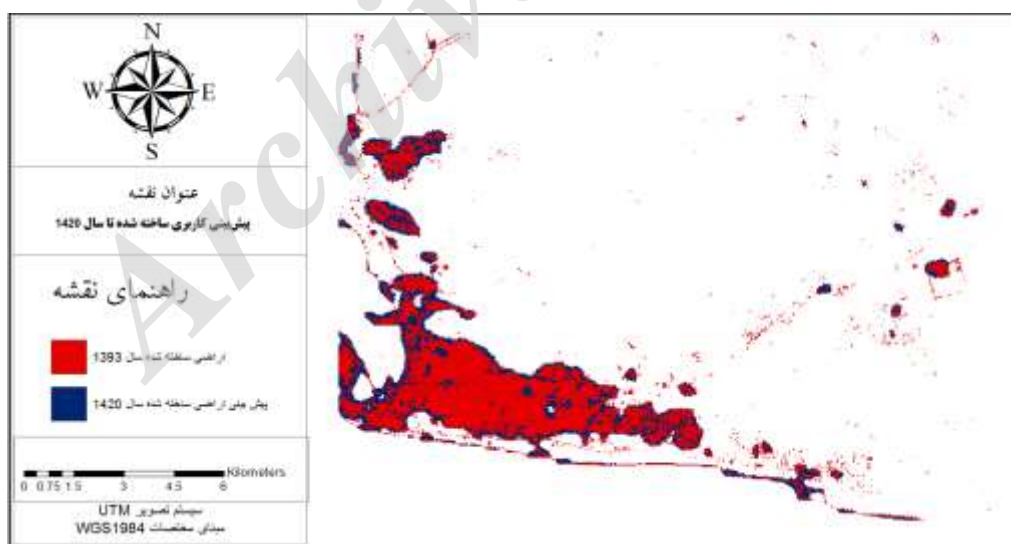
جدول - ۴: درصد احتمال تغییر کاربری زمین های شهر چابهار تا سال ۱۴۲۰ با بهره گیری از زنجیره های مارکوف

کاربری	ساخته شده	پوشش گیاهی	پهنه آبی	بایر
ساخته شده	۰,۵۸	۰,۰۳	۰,۰۰	۰,۳۷
پوشش گیاهی	۰,۲۳	۰,۱۰	۰,۰۰	۰,۶۵
پهنه آبی	۰,۰۴	۰,۰۰	۰,۹۴	۰,۰۰
بایر	۰,۰۶	۰,۰۳	۰,۰۰	۰,۹۰

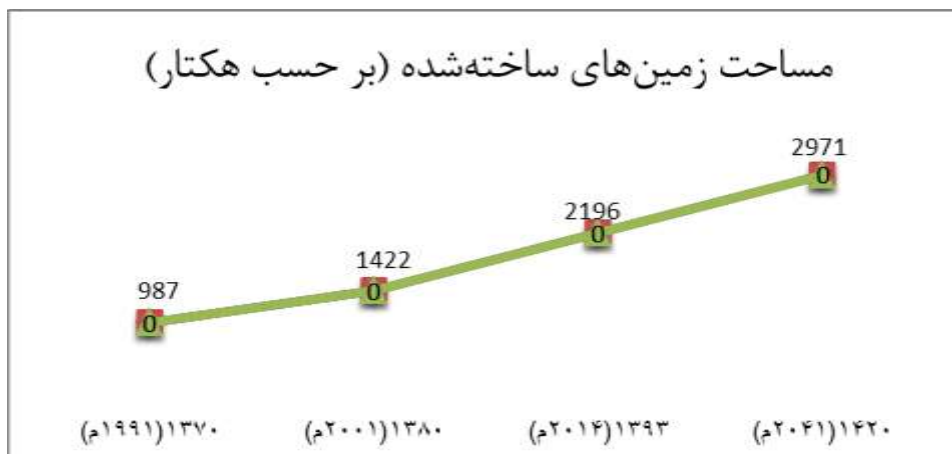
پیش‌بینی روند تغییرات کاربری زمین‌ها با بهره‌گیری از ترکیب روش زنجیره‌های مارکوف و الگوی اتوماسیون سلولی (Mark Chain and Cellular Automata)

در این روش، براساس تلفیق الگوی اتوماسیون سلولی (CA) و زنجیره‌های مارکوف، روند تغییرات کاربری و پوشش زمین‌ها پیش‌بینی می‌شود. از مزایای این روش، بهره‌گیری از روش مجاورت فضایی و همچنین دانش توزیع فضایی احتمالی با تحلیل زنجیره‌های مارکوف و درنهایت پیش‌بینی روند تغییرات کاربری زمین‌هاست (شیرکلایی، ۱۳۸۷: ۱۴۲).

براساس مکانیزم کار سلول‌های خودکار، اصل اساسی و اولیه هر تغییر، در اصطلاح «همسایگی» یا «مجاورت»، حاکی است کاربری‌هایی که در مجاورت هم و به هم نزدیکند، بیشترین تغییرات را دارند و به حاشیه هر کاربری یا به مجاورت هر کاربری بیشترین امتیاز داده می‌شود و هرچه به مرکز کاربری نزدیک می‌شویم، امتیاز کمتری می‌گیرد و خروجی آن به صورت نقشه شایسته خواهد بود؛ برای این کار با بهره‌گیری از ابزارهای Edit و ASSIGN، کلاس‌ها جدا و فاصله اقلیدسی به آن‌ها داده شد؛ به این صورت مرز کلاس‌ها، کمترین امتیاز و مرکز کلاس‌ها، بیشترین امتیاز را داشتند. برای اینکه نقشه‌ها بنا بر قانون همسایگی یا مجاورت سلول‌های خودکار (حاشیه دارای بیشترین امتیاز و مرکز دارای کمترین امتیاز) باشد، از منطق فازی و از رابطه خطی افزایشی استفاده شد. پس از اجرای مارکوف، CA-MARKOV از جدول مساحت انتقال یافته هر یک از کاربری‌ها برای پیش‌بینی تغییرات پوشش زمین در دوره زمانی مدنظر، در تحلیل از زنجیره مارکوف استفاده می‌کند. درنهایت یک فیلتر CA برای تغییر حالت سلول‌ها براساس همسایگی آن به کار می‌رود. این فیلتر، یک فیلتر مجاورت ۵×۵ است.



شکل - ۵: نقشه پیش‌بینی توسعه فضایی - کالبدی شهر چابهار تا سال ۱۴۲۰ (۲۰۲۱ میلادی) با الگوی CA-MARKOV



شکل - ۶: روند افزایش مساحت زمین‌های ساخته‌شده طی دوره پیش‌بینی

جدول - ۵: مساحت کاربری زمین‌های محدوده پژوهشی از سال ۱۳۷۰ (۱۹۹۱ م) تا سال ۱۴۲۰ (۲۰۴۱ م) (بر حسب هکتار)

سال	کاربری زمین‌ها	۱۳۷۰ (۱۹۹۱ م)	۱۳۸۰ (۲۰۰۱ م)	۱۳۹۳ (۲۰۱۴ م)	۱۴۲۰ (۲۰۴۱ م)
زمین‌های ساخته‌شده	۹۸۷	۱۴۲۲	۲۱۹۶	۲۹۷۱	
پوشش گیاهی	۱۳۷۴	۶۴۳	۹۲۱	۸۴۰	
پهنه آبی	۳۶۳۹	۳۶۶۷	۳۵۱۵	۳۳۸۰	
زمین‌های بایر	۲۲۱۶۷	۲۲۴۳۴	۲۱۵۳۵	۲۰۹۷۵	

نتیجه‌گیری

از مهم‌ترین آثار اجتماعی و کالبدی - فضایی در شهر چابهار، همزمانی تأسیس مناطق تجاری - صنعتی و ایجاد پایگاه‌های نظامی و پیرو آن، سرمایه‌گذاری‌هایی در شهرک‌سازی و ساخت مسکن عمومی است که این خود تأثیراتی را به دنبال داشته است.

زمین‌های ساخته‌شده در شهر چابهار طی سال‌های ۱۳۷۰ (۱۹۹۱ م) تا ۱۳۹۳ (۲۰۱۴ م) (دوره‌ای ۲۳ ساله)، افزایش ۱۲۰۹ هکتاری را تجربه کرده است. همان‌طور که اشاره شد این افزایش با ایجاد منطقه آزاد تجاری - صنعتی چابهار از سال ۱۳۷۲ و توسعه فعالیت‌های تجاری و افزایش مهاجرت به شهر همراه بوده است؛ به طوری که امکان اشغال زمین‌های بیشتر شهری را پیرامون شهر و زمین‌های بایر را در محدوده شهر فراهم ساخته است؛ در طول این سال‌ها، شهرک جدید گلشهر با جمعیتی بیش از ۵ هزار نفر به زیر ساخت و ساز شهری رفت؛ در حالی که پیش از ایجاد منطقه آزاد، هیچ‌گونه ساخت‌وسازی در این شهرک صورت نگرفته بود.

در این پژوهش پیش‌بینی‌های به دست آمده نشان می‌دهد طی ۲۷ سال آینده با توجه به میزان رشد ۳/۲۲ درصدی بین سال‌های ۱۳۸۵ تا ۲۰۱۴۹۵، ۱۳۹۰ تا ۲۰۱۴۹۵، نفر به جمعیت شهر چابهار افزوده خواهد شد که باید طرح‌های توسعه شهری نیاز این جمعیت را به مسکن با راهکارهای مناسب کنترل کند.

در این پژوهش با بهره‌گیری از نقشه‌های کاربری زمین‌های به‌دست‌آمده از تصاویر ماهواره‌ای و ترکیب آن با روش‌های زنجیره‌ای مارکوف و الگوی اتوماسیون سلولی (CA)، تغییرات فیزیکی آتی شهر چابهار پیش‌بینی و شبیه‌سازی شد. چنانچه توسعه شهر چابهار روند گذشته را بدون برنامه‌ریزی اصولی ادامه دهد، پیش‌بینی می‌شود زمین‌های ساخته‌شده تا سال ۱۴۲۰ افزایش یابد و این پهنه در چشم‌انداز سال مدنظر به حدود ۲۹۷۱ هکتار برسد.

پیشنهادها

- بهره‌گیری از زمین‌های بایر و خالی موجود در داخل شهر
- نظارت بیشتر بر محدوده‌های شهری
- بهره‌گیری از شیوه‌های انبوه‌سازی و بلندمرتبه‌سازی
- پیاده‌کردن دیدگاه آینده‌پژوهی برای توسعه شهری
- ایجاد بستر مناسب برای همکاری تنگاتنگ مردم و شهرداری و پایه‌ریزی دولت محلی

منابع

- ۱- اصغری زمانی، اکبر؛ ملکی، سعید و موحد، علی، (۱۳۸۹)، پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی شهر زنجان با استفاده از الگوی CLUE-S، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، شماره ۱۵، ۶۴-۳۹.
- ۲- اولی‌زاده، انور، (۱۳۸۴)، بررسی و تحلیل روند گسترش توسعه فیزیکی و جهات بهینه توسعه شهر سقز با استفاده از GIS، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، استاد راهنما: مظفری، غلامعلی، دانشگاه یزد، دانشکده ادبیات و علوم انسانی.
- ۳- بحرینی، سید حسین، (۱۳۸۶)، فرآیند طراحی شهری، انتشارات دانشگاه هنر، تهران.
- ۴- دانشنامه مدیریت شهری و روستایی، (۱۳۸۷)، مرکز مطالعات برنامه‌ریزی شهری و روستایی، سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور.
- ۵- رحمانی‌فرد، حسین، (۱۳۸۷)، بررسی روند توسعه فیزیکی ایران‌شهر از سال ۱۳۳۵ تا ۱۳۸۵ و ارائه الگوی مناسب، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، استاد راهنما: بذرافشان، جواد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده ادبیات و علوم انسانی.
- ۶- رضازاده، راضیه و میراحمدی، مهرداد، (۱۳۸۹)، الگوی اتوماسیون سلولی، روشی نوین در شبیه‌سازی رشد شهری، نشریه علمی پژوهشی فناوری آموزش، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، سال ۴، جلد ۴، شماره ۱، ۵۵-۴۷.
- ۷- رضویان، محمدتقی، (۱۳۸۱)، مدیریت و عمران شهری، ترجمه ابوالحسین‌زاده، انتشارات پیوند نو، تهران.
- ۸- زنگنه چکنی، یعقوب، (۱۳۸۱). تحلیل عوامل تأثیرگذار بر توسعه فیزیکی و ساخت اجتماعی - فضایی شهر سبزوار، پایان‌نامه دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، استاد راهنما: شکوهی، حسین، دانشگاه تربیت مدرس تهران.

- ۹- شکویی، حسین، (۱۳۸۵)، دیدگاه نو در جغرافیای شهری، انتشارات سمت، تهران.
- ۱۰- فرید، یدالله، (۱۳۷۵)، جغرافیا و شهرشناسی، انتشارات دانشگاه تبریز، تبریز.
- ۱۱- قهرمان، جعفر، (۱۳۸۴)، کاربرد زنجیره‌های مارکوف در برنامه‌ریزی نیروهای انسانی (رویکرد کاربردی برای مدیران منابع انسانی در سازمان‌های اجتماعی)، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی، پرتال جامع علوم انسانی، تحول اداری، دوره ۷، شماره ۴۳ و ۴۴، ۷۵-۹۳.
- ۱۲- کیانی، اکبر، (۱۳۸۳)، شبیه‌سازی و ارزیابی کارایی سنسورهای هوشمند و اتوماتای سلولی در تحلیل کاربری فیزیکی ابرنقشه شهر؛ مطالعه موردی: کلان‌شهر تهران، رساله دکتری، استاد راهنما: پرهیزکار: اکبر، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم انسانی.
- ۱۳- لینچ، کوین، (۱۳۸۱)، سیمای شهر، ترجمه منوچهر مزینی، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- ۱۴- مجیدی مسکین، حسین، (۱۳۹۳)، ارزیابی و شبیه‌سازی رشد آتی کلان‌شهر ارومیه در افق سال ۲۰۳۵ میلادی با استفاده از سلول‌های خودکار و RS، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، استاد راهنما: خمر، غلامعلی، دانشگاه زابل، دانشکده ادبیات و علوم انسانی.
- ۱۵- مختومی، انعه کعبه، (۱۳۹۲)، بررسی روند تکوین شهر بندر ترکمن و تعیین مناطق بهینه گسترش آتی آن، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، استاد راهنما: هادیانی، زهره، دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی.
- ۱۶- معصومی اشکوری، سید حسن، (۱۳۸۵)، اصول و مبانی برنامه‌ریزی منطقه‌ای، انتشارات پیام، تهران.
- ۱۷- مهندسین مشاور نقش پیراوش، (۱۳۸۹)، طرح بهسازی و نوسازی بافت فرسوده شهر چابهار، وزارت مسکن و شهرسازی، شرکت مادر تخصصی عمران و بهسازی.
- ۱۸- نجف‌زاده، احمد، (۱۳۸۵)، نقش تحولات جمعیتی در توسعه فضایی - کالبدی شهر اسلام‌آباد در نیمه سده اخیر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- 19- Ahadnejad. M, Rabet. A, (2010), Evaluation and forecast of Haman impacts based on land use changes using multi temporal satellite imagery and GIS: a case study on zanjan, Iran (1984-2009), *proceedings of the joint international conference on theory, Data Handling and vodelling in Geo spatial information science*, Hong Kong.
- 20- Wolfram, S, (1984), Cellular Automata as Models of Complexity. *Nature*, 311 (5985), 419-424.
- 21- Schiff, j, (2008), cellular Automata A Discrete view of the World. Hoboken, New Jersey: A Johan Wiley & Sons, INC., Publication.
- 22- Liu, Y, (2009), Modelling urban Development with Geographical information systems and Cellular Automata. New York: CRC Press (Taylor & Francis Group).
- 23- Wolfram, S, (1983), Statistical Mechanics of Cellular Automata. *Modern Physics*, 55, 601, 644.