نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال هفتم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۸

Vol.7, No.3, Autumn 2019

۱۱۵-۱۳۵

مقاله پژوهشی

توسعه مدل پیش بینی گسترش فیزیکی شهر بابل مبتنی بر مفهوم درجه ریسک تصمیم گیری مکانی چندمعیاره

محمد کریمی فیروزجایی [۱]، امیر صدیقی [۱]، محمدرضا جلوخانی نیارکی [۲*]

۱- دانشجوی دکتری گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

۲- دانشیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۵/۲۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۹/۲۰

چکیده

امروزه بررسی روند مکانی-زمانی گسترش فیزیکی شهرها و شناسایی پارامترهای موثر بر آن نقش کلیدی را در فرایند تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی‌های بلند مدت شهری ایفا می‌کنند. بنابراین، بکارگیری روش‌های دقیق و کارآمد برای پیش‌بینی گسترش فیزیکی شهرها از اهمیت بالایی برخوردار است. هدف از این پژوهش، ارائه یک مدل مفهومی جدید برای پیاده‌سازی سیستم پیش‌بینی گسترش فیزیکی شهر برمبنای درجه ریسک در تصمیم‌گیری مکانی چند معیاره می‌باشد. این مدل برای پیش‌بینی گسترش فیزیکی شهر بابل پیاده‌سازی شده است. در مدل پیشنهادی از تلفیق روش وزن‌دهی ذهنی و عینی به صورت سراسری و محلی، برای تعیین اهمیت نسبی معیارهای مختلف و از مدل مارکوف برای تولید ماتریس تبدیل مساحت استفاده شده است. علاوه بر دو پارامتر مقدار معیارها و وزن هر یک از معیارها، پارامتر درجه ریسک در تصمیم‌گیری نیز برای تهیه نقشه تناسب گسترش فیزیکی شهر در نظر گرفته شده است. در این مطالعه برای تعیین درجه ریسک و روش وزن‌دهی بهینه، هر یک از نقشه‌های اراضی ساخته‌شده شبیه‌سازی شده با نقشه اراضی ساخته‌شده واقعی مقایسه شده است. نتایج بیانگر این است که برای منطقه مورد مطالعه در حالت تعیین وزن معیارها با استراتژی محلی و سراسری، مقادیر ۰٫۳ و ۰٫۷ به ترتیب درجات ریسک بهینه در تصمیم‌گیری جهت تولید نقشه تناسب می‌باشند. همچنین در درجه ریسک بهینه دقت کلی برای روش تعیین وزن سراسری و محلی به ترتیب ۸۵٫۵ و ۸۹٫۲ می‌باشد. برای شهر بابل نتایج پژوهش حاکی از کارایی بالاتر روش وزن‌دهی محلی نسبت به روش وزن‌دهی سراسری برای تولید نقشه تناسب می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: گسترش فیزیکی شهر، مدل شبیه سازی، تصمیم‌گیری مکانی چند معیاره، ریسک.

*نویسنده مکاتبه کننده: تهران- خیابان انقلاب- کوچه آذین- دانشکده جغرافیا

تلفن: ۰۹۱۲۴۵۰۰۰۸۶

Email: mrjelokhani@ut.ac.ir

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.29252/jgit.7.3.115]

۱- مقدمه

پدیده تغییر کاربری اراضی یکی از مخاطرات زیست‌محیطی و بحران‌های اکولوژیکی می‌باشد که امروزه جهان با آن روبه‌رو است. شهرها با توسعهٔ فیزیکی خود، از مهمترین عوامل تغییرکاربری و پوشش زمین هستند. افزایش فعالیت‌های انسانی، بروز ناهنجاری‌های اجتماعی و زیست محیطی، مشکلات حمل و نقل و تغییر فضاهای طبیعی ازجمله اثرات منفی ناشی از رشد و توسعه شهری می‌باشد[۱، ۲ و ۳]. جمعیت دنیا از ۲/۵۲ میلیارد نفر در سال ۱۹۵۰، به بیش از ۷ میلیارد نفر در سال ۲۰۱۸ افزایش یافته است [۴]. با توجه به رشد فیزیکی سریع شهرها به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، نیاز به مدیریت و برنامه‌ریزی متناسب جهت کاهش اثرات مخرب زیست محیطی و اجتماعی-اقتصادی آن، همواره احساس می‌شود [۶ و ۷]. در همین راستا مدیران و برنامه‌ریزان شهری به منظور درک بهتر فرایند رشد فیزیکی شهر و تأثیرات آن، به اطلاعات مکانی- زمانی مرتبط با الگو و میزان رشد نیازمند می‌باشند. به‌همین دلیل توسعه روش‌های دقیق و کارآمد برای پیش‌بینی مکانی- زمانی گسترش فیزیکی شهرها اهمیت و ضرورت بالایی دارد[۸، ۹،۱۰و۱۱].

طی دهه‌های گذشته، سیستم‌های اطلاعات مکانی و سنجش از دور، ابزارهای موثری را برای جمع‌آوری، تحلیل داده‌های مکانی- زمانی و مدل‌سازی کامپیوتر-مبنا گسترش فیزیکی شهرها فراهم نموده‌اند [۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵]. در مطالعات گذشته، برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و گسترش فیزیکی شهرها از مدل‌های مختلفی از جمله شبکه‌های عصبی مصنوعی [۱۶]، مدل‌های عامل مبنا [۱۷ و ۱۸]، مدل‌های آماری [۱۹] و مدل اتوماتای سلولی-مارکوف[1] [۲۰، ۲۱، ۲۲ و ۲۳] استفاده شده است.

مدل اتوماتای سلولی-مارکوف یکی از مدل‌های پیش-بینی متداول می‌باشد که در مطالعات متعددی برای پیش‌بینی رشد فیزیکی شهر استفاده شده است. این مدل ابزاری مناسب برای مدل‌سازی دینامیک مکانی است که از مزایای آن در مقایسه با سایر مدل‌ها می‌توان به سادگی، انعطاف‌پذیری و برخورداری از توانایی تحلیل ابعاد مکانی- زمانی فرآیند رشد شهری است [۲۰]. فیو[2] و همکاران در سال ۲۰۱۸ از مدل اتوماتای سلولی-مارکوف برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی استفاده کردند. در این پژوهش، برای تعیین معیارهای موثر بر تغییرات کاربری اراضی از رگرسیون لجستیک و برای وزن‌دهی به معیارهای مختلف از روش آنتروپی استفاده شد. همچنین برای تلفیق مدل‌های مختلف با توجه به وزن هر یک از آن‌ها جهت تولید نقشه تناسب از روش ترکیب خطی وزنی[3] استفاده شد. نتایج پژوهش نشان داد که بکارگیری روش آنتروپی برای تعیین میزان تاثیرگذاری معیارها سبب افزایش دقت مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی شده است [۳۰].

در مطالعات مختلفی برای محاسبه احتمال تبدیل وضعیت کاربری‌ها از انواع معیارها و روش‌های گوناگونی برای تلفیق این معیارها استفاده شده است. از پرکاربردترین مدل‌ها برای تلفیق معیارهای موثر و تولید قوانین تبدیل مورد استفاده در اتوماتای سلولی، شبکه-های عصبی مصنوعی [۳۱] و یا مدل‌های ارزیابی چند معیاره[4] همچون *WLC* [۳۲] می‌باشند. روش *MCE* برای تجزیه و تحلیل تناسب زمین در برنامه‌ریزی چشم‌انداز، انتخاب مکان مناسب، برنامه‌ریزی در زمینه کاربری اراضی، خطرات زیست محیطی و توسعه پایدار استفاده شده است [۲۳، ۳۳، ۳۴ و ۳۵]. تهیه نقشه تناسب کاربری اراضی در *MCE* شامل چهار بخش

[1] *Cellular Automata markov (CA markov)*

[2] *Fu*

[3] *Weighted Linear Combination (WLC)*

[4] *Multi-Criteria Evaluation (MCE)*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.29252/jgit.7.3.115]

اصلی انتخاب معیارهای موثر، تخصیص امتیاز سازگاری و تناسب، وزن‌دهی و ترکیب معیارها بر اساس وزن و مقادیر آنها می‌باشد. معیارهای موثر استفاده شده در *MCE* برای تولید نقشه تناسب و قوانین تبدیل باید شامل ابعاد محیطی، اقتصادی و اجتماعی باشند.

در بسیاری از مطالعات با استفاده از بررسی پیشینه تحقیق، پرس و جو و مصاحبه با کارشناسان و نظرسنجی معیارهای موثر و وزن آنها تعیین شده است [۳۶]. به طور کلی، در مراحل پیاده‌سازی یک مدل *MCE* برای تولید نقشه تناسب، انتخاب روش وزن‌دهی مناسب برای تعیین وزن معیارها و نحوه ترکیب معیارهای مختلف با یکدیگر از اهمیت به‌سزایی برخوردار هستند. در مطالعات متعددی برای رتبه‌بندی و وزن‌دهی معیارهای موثر جهت تولید نقشه تناسب و قوانین تبدیل از تحلیل سلسه مراتبی[۱] [۳۹]، فرایند تحلیل شبکه[۲] [۴۰] و ... استفاده شده است. این روش-های وزن‌دهی از گروه روش‌های ذهنی[۳] می‌باشند که اغلب از مشارکت کارشناسان متخصص استفاده می‌کنند. در حالی که روش‌های وزن‌دهی عینی[۴] همچون روش آنتروپی[۵] بر ارزیابی ریاضی و آماری مقادیر معیارهای موثر تأکید دارند [۴۱ و ۴۲]. در روش‌های ذهنی، وزن‌دهی بر اساس اولویت و قضاوت تصمیم‌گیران استوار است. این وزن‌ها منعکس کننده ارزش‌ها و منافع تصمیم‌گیرندگان با توجه به معیارهای ارزیابی می‌باشد. در روش‌های عینی، وزن بدون استفاده از ترجیحات تصمیم‌گیرنده، با استفاده از مدل‌های ریاضی تعیین می‌شود [۴۳]. لیو و همکاران[۶] (۲۰۱۳) نتیجه گرفتند که هر دو روش وزن دهی کمبودهای خود را داراست [۴۳]. در بسیاری موارد ترکیب و تلفیق دو روش وزن دهی برای ارزیابی وزن معیارها ضروری است [۴۴]؛ به عبارت دیگر، روش‌های ذهنی و عینی در وزن‌دهی معیارها باید به طور همزمان در *MCE* مورد توجه قرار گیرند.

در بسیاری از موارد به دلیل محدودیت‌های تصمیم‌گیری، عدم پیش‌بینی دقیق رویدادهای آینده، عدم دسترسی به اطلاعات دقیق و قطعی و عدم ارزیابی مناسب برخی از معیارها به‌ویژه معیارهای کیفی، تصمیم‌گیری در فضای ریسک انجام می‌پذیرد. در این محیط، جواب نهایی متأثر از میزان ریسک‌پذیری و ریسک‌گریزی تصمیم‌گیرنده است. شواهد تئوری و تجربی گویای این است که افراد (تصمیم‌گیران) با نگرش‌های خوش‌بینانه (ریسک‌پذیر) در تصمیم‌گیری بر مقادیر بیشینه معیارها تأکید می‌کنند، در حالی که تصمیم‌گیرندگان بدبین (ریسک‌گریز) بر مقادیر کمینه معیارها تمرکز می‌کنند [۴۵ و ۴۶]. با توجه به مطالعات گذشته در زمینه تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره[۷] مکانی، مدل تصمیم‌گیری میانگین وزنی مرتب شده[۸] قابلیت لحاظ نمودن مفهوم ریسک در تصمیم‌گیری چند معیاره را دارا می‌باشد [۳۵، ۴۷ و ۴۸].

در این پژوهش، یک مدل مفهومی جدید برای پیاده‌سازی سیستم پیش‌بینی گسترش فیزیکی شهر بر مبنای درجه ریسک در تصمیم‌گیری مکانی چند معیاره ارائه شده است. تلفیق روش وزن‌دهی ذهنی و عینی برای تعیین اهمیت نسبی معیارهای مختلف جهت تولید نقشه تناسب و قوانین تبدیل مورد استفاده در مدل زنجیره مارکوف یکی از تمایزهای مدل ارائه‌شده در این پژوهش با دیگر مدل‌ها در این زمینه می‌باشد. همچنین بر خلاف مطالعات گذشته، در این پژوهش از مدل وزن‌دهی محلی جهت تولید نقشه تناسب و قوانین تبدیل در مدل اتوماتای سلولی استفاده شده است. از دیگر نوآوری‌های پژوهش حاضر این است که برای

[1] *Analytic Hierarchy Process (AHP)*
[1] *Analytical Network Process (ANP)*
[3] *Subjective*
[4] *Objective*
[5] *Entropy*
[6] *Liu et al*
[7] *Multiple-Criteria Decision Analysis (MCDA)*
[8] *Ordered Weight Averaging (OWA)*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.29252/jgit.7.3.115]

اولین بار از مدل *OWA* برای تولید نقشه‌های تناسب اراضی در درجات ریسک مختلف استفاده و درجه ریسک بهنیه در تصمیم‌گیری جهت تولید نقشه تناسب و قوانین تبدیل مورد استفاده در مدل اتوماتای سلولی مورد استفاده قرار گرفته است. در نهایت مدل جدید توسعه داده شده برای پیش‌بینی گسترش فیزیکی شهر بابل بر مبنای درجه ریسک در تصمیم‌گیری مکانی چند معیاره پیاده‌سازی شده است.

۲- مواد و روش

برای توسعه مدل جدید در پیش بینی گسترش فیزیکی شهر بر مبنای درجه ریسک در تصمیم‌گیری مکانی چند معیاره از روش تحقیق و داده‌های ارائه شده در زیر استفاده شده است.

۲-۱- روش تحقیق

در این پژوهش، یک مدل مفهومی جدید برای شبیه‌سازی گسترش فیزیکی شهر بر مبنای درجه ریسک بهینه در تصمیم‌گیری به صورت شکل(۱) ارائه شده است. بدین منظور در گام اول، ابتدا تصاویر ماهواره‌ای پیش‌پردازش شده و با استفاده از مدل طبقه‌بندی بیشترین شباهت، نقشه اراضی ساخته‌شده برای سال‌های مختلف استخراج شد. در گام دوم، بر اساس نقشه‌های کاربری اراضی زمان‌های گذشته (زمان‌های اول و دوم)، فاصله زمانی بین نقشه‌های کاربری اراضی اول و دوم و فاصله زمانی مدنظر برای پیش‌بینی آینده، ماتریس مساحت‌های تبدیل‌شده هر کلاس محاسبه شده است. در گام سوم، برمبنای نظرات کارشناسان متخصص و مطالعات پیشین، معیارهای موثر بر گسترش فیزیکی شهر بابل انتخاب و برمبنای تلفیق روش وزن‌دهی ذهنی و عینی وزن هر یک از معیارهای موثر در مقیاس سراسری (منطقه) و محلی (پیکسل) محاسبه شده است. همچنین با ترکیب مقادیر معیارها، وزن معیارها و پارامتر ارنس در مدل تصمیم‌گیری چند معیاره *OWA* نقشه تناسب و قوانین تبدیل اراضی ساخته‌شده در درجات ریسک‌پذیری مختلف حاصل شده است. در گام چهارم، نقشه‌های تناسب برای درجات ریسک مختلف، تصویر طبقه‌بندی زمان دوم و ماتریس مساحت‌های تبدیل‌شده هر کلاس به مدل اتوماتای سلولی وارد و نقشه اراضی ساخته‌شده برای زمان سوم شبیه‌سازی شده است (به تعداد درجات ریسک، نقشه‌های اراضی ساخته‌شده برای سال سوم تولید شد). برای تعیین درجه ریسک بهینه، نقشه اراضی ساخته‌شده شبیه‌سازی شده برای سال سوم در ریسک‌های مختلف با نقشه واقعی کاربری اراضی سال سوم مقایسه و پارامترهای ارزیابی دقت محاسبه شده است. همچنین برای ارزیابی و مقایسه کارایی استراتژی‌های وزن‌دهی سراسری و محلی، نتایج شبیه‌سازی اراضی ساخته‌شده با هر یک از استراتژی ها با نقشه اراضی ساخته‌شده واقعی مقایسه شد. در نهایت، بر مبنای درجه ریسک و روش وزن‌دهی بهینه و نقشه کاربری اراضی پایه سوم، نقشه اراضی ساخته‌شده برای آینده پیش‌بینی شد.

۲-۱-۱- پیش‌پردازش و طبقه‌بندی تصاویر

در این پژوهش برای تصحیح اتمسفری تصاویر ماهواره‌ای، از مدل فلش[1] استفاده شده است [۴۹]. برای این منظور در این مدل پارامترهایی همچون زمان عبور ماهواره، ارتفاع سنجنده، موقعیت جغرافیایی، مدل اتمسفری منطقه و زاویه تابش خورشید استفاده می‌شود. تصاویر مورد استفاده در پژوهش با خطای کمتر از ۱۲ متر تصحیح هندسی شده‌اند.

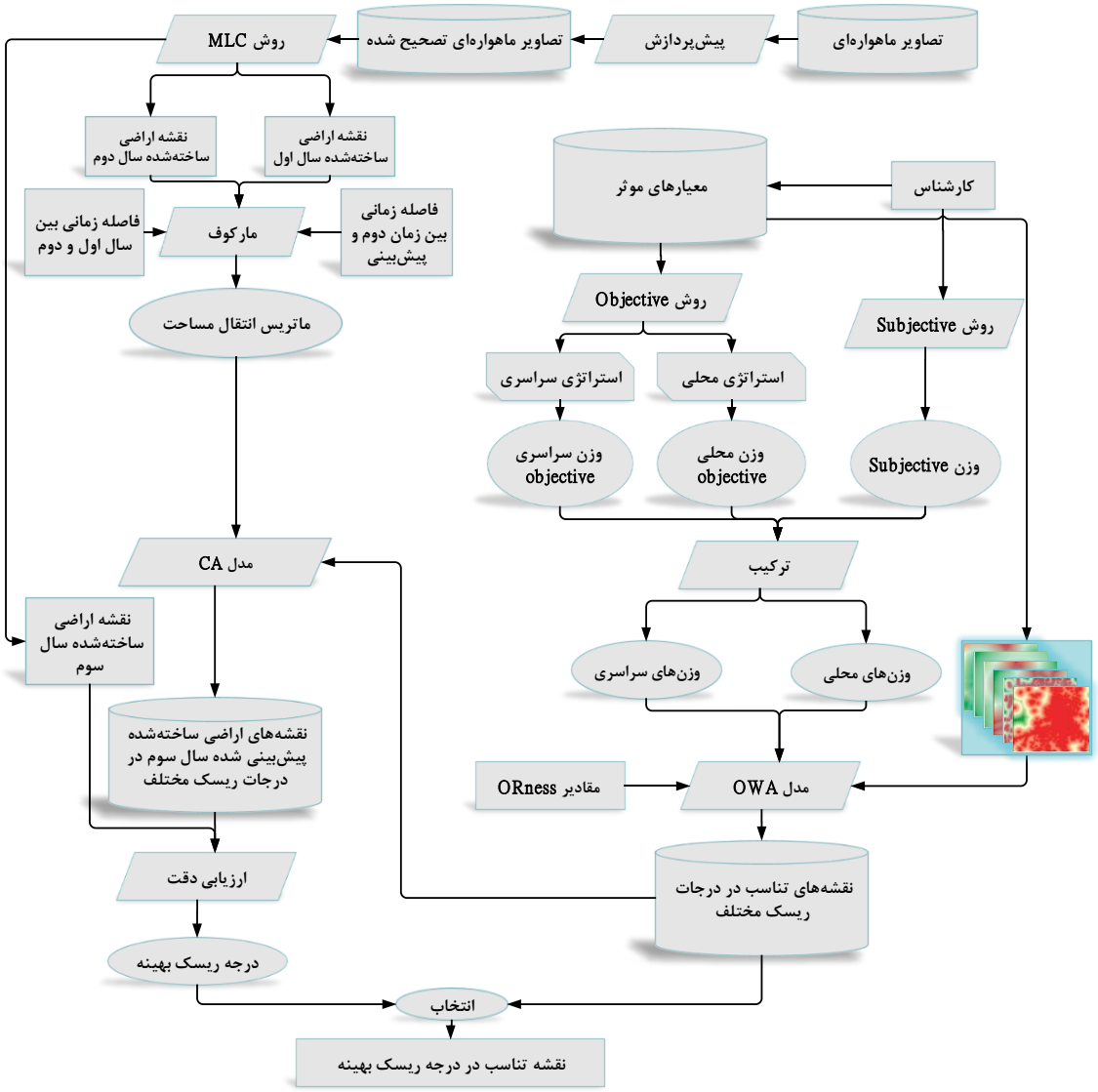
کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه شامل اراضی ساخته‌شده، کشاورزی، فضای سبز و منابع آبی می‌باشد. پیش از طبقه‌بندی نظارت‌شده تصاویر، مجموعه‌ی داده-های آموزشی برای همه کلاس‌ها با توجه به داده‌های حاصل از بازدید زمینی، تصاویر گوگل ارث، تفسیر بصری ترکیب‌های رنگی مختلف و نقشه‌های توپوگرافی تهیه شد. سپس نقشه‌های کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه بر اساس روش طبقه‌بندی بیشترین شباهت

[1] *Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes (FLAASH)*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.29252/jgit.7.3.115]

برای سال‌های ۱۹۸۵، ۲۰۰۱ و ۲۰۱۵ تهیه شده است[۵۰]. در نهایت نقشه‌های کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه به دو کلاس اراضی ساخته‌شده و غیر ساخته‌شده تبدیل شدند.



شکل ۱: مدل مفهومی جدید برای شبیه‌سازی گسترش فیزیکی شهر بر مبنای درجات ریسک بهینه

۲-۱-۲- مدل اتوماتای سلولی-مارکوف

در مطالعه حاضر جهت پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی، از مدل اتوماتای سلولی-مارکوف استفاده شد [۲۰ و ۲۴]. این مدل شامل دو بخش اصلی مدل زنجیره‌ی مارکوف و مدل اتوماتای سلولی می‌باشد. در مدل زنجیره‌ی مارکوف، همواره از دو نقشه رستری استفاده می‌شود که ورودی‌های مدل محسوب می‌شوند. علاوه بر این دو نقشه، فاصله زمانی بین دو تصویر و فاصله زمانی پیش‌بینی نیز در مدل در نظر گرفته می‌شود. بر اساس احتمال شرطی قانون بیز، پیش‌بینی تغییر کاربری اراضی در مدل مارکوف با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود [۲۴].

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.29252/jgit.7.3.115]

$$s(t+1) = p_{ij} \times s(t)$$ رابطه(۱)

در رابطه (۱)، $s(t)$ و $s(t+1)$ حالت‌های سیستم در زمان t و $t+1$ هستند و p_{ij} ماتریس احتمال انتقال در یک حالت است که از طریق رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$p_{ij} = \begin{bmatrix} p_{11} & \cdots & p_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n1} & \cdots & p_{nn} \end{bmatrix}$$ رابطه(۲)

$$(0 \le p_{ij} \le 1 \text{ and } \sum_{j=1}^{N} p_{ij} = 1,\ (i, j = 1,2,....,n))$$

در رابطه (۲)، N نشان‌دهنده تعداد کاربری‌های موجود در منطقه می‌باشد. خروجی مدل شامل احتمالات تبدیل وضعیت، ماتریس مساحت‌های تبدیل‌شده هر کلاس و تصاویر احتمالی شرطی برای تبدیل کاربری‌های مختلف است [۲۰].

در مدل زنجیره مارکوف، اگرچه احتمالات انتقال محاسبه شده در هر کاربری دارای دقت زیادی است، ولی این مدل فاقد هرگونه اطلاعات وابستگی مکانی است [۲۵]. به همین دلیل از مدل اتوماتای سلولی برای اضافه کردن مشخصه مکانی به مدل استفاده می‌شود. اتوماتای سلولی، عاملی است که توانایی تغییر وضعیتش را بر اساس به‌کارگیری قانونی که وضعیت جدید را مطابق با وضعیت قبلی و وضعیت همسایگانش نشان می‌دهد داراست. از فیلتر شبکه خودکار برای توسعه یک معیار وزن‌دهی- مجاورت مکانی برای تغییر وضعیت سلول‌ها بر اساس وضعیت همسایه‌اش استفاده خواهد شد؛ بنابراین در مدل سلول‌های خودکار- مارکوف با استفاده از ماتریس انتقال مساحت، نقشه شبیه‌سازی شده کاربری اراضی برای آینده بدست می‌آید [۲۵ و ۲۸]. برای ارزیابی اعتبار مدل‌سازی، نقشه‌ی حاصل‌شده از مدل در یک زمان خاص معمولاً با نقشه واقعی مربوط به همان زمان مقایسه می‌شود [۵۱].

۲-۱-۳- مدل تصمیم‌گیری چند معیاره

در ادامه شرح جزئیات آورده شده است.

۲-۱-۳-۱- معیارها و محدودیت‌ها

با بررسی و تحلیل رشد شهری بابل در ۳۰ سال گذشته و استفاده از تحلیل ارزیابی چند معیاره *MCE*، نقشه‌های تبدیل وضعیت تعیین و نقشه‌های تناسب اراضی تولید شد[۵۲]. معیارها در *MCE* شامل معیارها و محدودیت‌ها می‌باشد. در این پژوهش براساس نظر کارشناسان شهرداری بابل و مطالعات پیشین، چهار محدودیت مکانی تاثیرگذار بر رشد شهری و شش معیار موثر رشد شهری تعیین شد. محدودیت‌های مکانی شامل مناطق ساخته‌شده، پارک‌ها، رودخانه و منابع آبی، مناطق حفاظت‌شده و برنامه‌های تعریف‌شده شهرداری بابل (طرح تفصیلی شهر بابل شامل وضعیت موجود کاربری‌های شهری و برنامه‌های آینده) می‌باشند. این در حالی است که معیارهای موثر بر رشد فیزیکی شهر عبارتند از فاصله از اراضی ساخته‌شده، فاصله از جاده‌های اصلی، فاصله از مرکز شهر، فاصله از رودخانه، فاصله از منابع آبی و فاصله از فضاهای سبز. هر یک از معیارها بر اساس بیشترین و کمترین مقدار خود استاندارد و بی‌بعد شدند. نحوه استانداردسازی هریک از این معیارها با یکدیگر متفاوت است. در این پژوهش، دو روش برای استانداردسازی معیارها مورد استفاده قرار گرفته است. معیار فاصله از اراضی آبی با روش حداکثر (رابطه (۳)) و معیارهای فاصله از اراضی ساخته‌شده، فاصله از جاده‌ها، فاصله از رودخانه، فاصله از فضای سبز و فاصله از مرکز شهر با روش حداقل (رابطه (۴)) استانداردسازی شدند.

$$a_{ij} = \frac{s_{ij} - s_j^{min}}{s_j^{max} - s_j^{min}}$$ رابطه (۳)

$$a_{ij} = \frac{s_j^{max} - s_{ij}}{s_j^{max} - s_j^{min}}$$ رابطه (۴)

در رابطه‌های (۳) و (۴)، s_{ij} مقدار موقعیت i-ام در معیار j-ام، s_j^{min} کمترین مقدار و s_j^{max} بیشترین مقدار

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.29252/jgit.7.3.115]

معیار j-ام است. همچنین a_{ij} مقدار استاندارد شده موقعیت i-ام در معیار j-ام است.

محدودیت‌های مکانی در منطقه مورد مطالعه به تصویر باینری تبدیل شده‌اند؛ به طوری که مقدار صفر نشانگر عدم تناسب و مقدار یک نشانگر تناسب می‌باشد[۵۳].

۲-۱-۳-۲- وزن‌دهی معیارهای موثر

وزن معیارها در روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، بیانگر اهمیت نسبی آن‌ها در فرایند تصمیم‌گیری می‌باشد. روش‌های وزن‌دهی به طور گسترده در دو گروه روش‌های ذهنی و عینی طبقه‌بندی می‌شوند. در روش‌های ذهنی، تعیین وزن صرفا بر اساس اولویت‌های تصمیم‌گیرندگان و با استفاده از برخی روش‌های ریاضی مانند روش تحلیل سلسله مراتبی، روش حداقل مربعات وزنی و ...، ارزیابی کلی هر تصمیم‌گیرنده محاسبه می‌شود. در روش‌های عینی مانند روش‌های آنتروپی، برنامه‌نویسی چند هدفه و ...، تعیین وزن با بکارگیری مدل‌های ریاضی بدون توجه به اولویت‌های تصمیم‌گیرنده انجام می‌شود [۴۳].

روش وزن‌دهی ذهنی، تغییرات مقادیر معیارها در مقیاس منطقه در نظر گرفته نمی‌شود. همچنین عدم قطعیت بالقوه در قضاوت تصمیم‌گیرندگان، ضعف اصلی روش‌های ذهنی است، در حالی که در وزن‌دهی مبتنی بر روش‌های عینی، تخصیص وزن به تغییر مقادیر و اطلاعات معیارها بستگی دارد. ولی نظر تصمیم‌گیرندگان در این روش‌ها بطور مستقیم اعمال نمی‌شود و از دانش و تجربه تصمیم‌گیرندگان استفاده نمی‌کنند [۴۴].

در این پژوهش برای محاسبه وزن‌های ذهنی از روش *AHP* استفاده شده است. روش *AHP* یک رویکرد تصمیم‌گیری چند هدفه و چند معیاره است که از روش مقایسه زوجی برای ارزیابی اولویت‌های تصمیم‌گیرندگان استفاده می‌کند و وزن معیارهای مختلف محاسبه می‌شود. جزییات بیشتر روش وزن‌دهی *AHP* در برخی پژوهش‌های پیشین انجام شده ذکر شده است [۳۶ و ۵۴].

در پژوهش حاضر برای تعیین وزن هریک از معیارهای موثر با استفاده از روش عینی، شاخص آنتروپی استفاده شده است که بیانگر میزان و تنوع فضایی اطلاعات موجود در معیارها می‌باشد[۳۰ و ۴۳]. مقدار آنتروپی پایین، نشان‌دهنده تنوع بیشتر مقادیر معیار و اطلاعات بیشتر می‌باشد. برعکس، مقدار آنتروپی بالاتر نشانگر تنوع پایین مقادیر معیار و اطلاعات کمتر است [۵۵]. معیارهایی که وزن آنتروپی کمتری داشته باشند اهمیت کمتری در روند تصمیم گیری خواهند داشت.

وزن‌های هر یک از معیارها بر اساس میزان اطلاعات موجود در هر معیار (aik) بر اساس شاخص آنتروپی (Ek) و با استفاده از رابطه (۵) محاسبه می‌شود [۵۶].

$$E_k = -\frac{\sum_{i=1}^{m} P_{ik} \ln(P_{ik})}{\ln(m)} \qquad \text{رابطه (۵)}$$

$$P_{ik} = \frac{a_{ik}}{\sum_{i=1}^{m} a_{ik}}$$

در رابطه (۵)، a_{ik} مقدار گزینه i-ام در معیار k-ام است. برای محاسبه درجه تنوع اطلاعات موجود در مجموعه‌ای از مقادیر معیار از رابطه (۶) استفاده می‌شود.

$$b_k = 1 - E_k \qquad \text{رابطه(۶)}$$

در رابطه (۶)، b_k نشان‌دهنده درجه تنوع اطلاعات می‌باشد. با استفاده از درجه تنوع اطلاعات، وزن‌های مبتنی برآنتروپی معیارها، به صورت رابطه (۷) محاسبه می شود.

$$W_{Ek} = \frac{b_k}{\sum_{k=1}^{n} b_k} \qquad \text{رابطه (۷)}$$

در رابطه (۷)، W_{Ek} وزن مبتنی بر آنتروپی برای معیار kام و n تعداد معیارهای موثر می‌باشد. بر این اساس، آنتروپی مربوط به هر یک از معیارها بر اساس مقادیر هر معیار در مقیاس منطقه مورد مطالعه محاسبه می‌شود. در نتیجه برای هر یک از معیارهای موثر یک وزن واحد در مقیاس منطقه محاسبه می‌شود. در این پژوهش، علاوه بر محاسبه وزن عینی بر مبنای شاخص آنتروپی در مقیاس منطقه، این پارامتر در مقیاس

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.29252/jgit.7.3.115]

پیکسل (محلی) بر اساس مقادیر همسایگی محاسبه شده است. برای این منظور با استفاده از یک پنجره متحرک و قرارگیری آن روی هر پیکسل، وزن عینی معیار خاص برای هر پیکسل با استفاده از روابط (۸)، (۹) و (۱۰) محاسبه شده است [۳۶].

$$W_{Ek}^{q} = \frac{1 - E_{k}^{q}}{\sum_{k=1}^{n}(1 - E_{k}^{q})}$$ رابطه(۸)

$$E_{k}^{q} = -\frac{\sum_{i \in q} P_{ik}^{q} \ln(P_{ik}^{q})}{\ln(|q|)}$$ رابطه(۹)

$$P_{ik}^{q} = \frac{a_{ik}^{q}}{\sum_{k=1}^{|q|} a_{ik}^{q}}$$ رابطه(۱۰)

در روابط (۸)، (۹) و (۱۰) a_{ik}^{q} مقدار k-ام معیار برای i-ام پیکسل قرار گرفته در q-امین پنجره، P_{ik}^{q} مقدار نرمال‌شده k-ام معیار برای i-ام پیکسل قرار گرفته در q امین پنجره، E_{k}^{q} مقدار آنتروپی k-ام معیار در q-امین پنجره و W_{Ek}^{q} مقدار وزن آنتروپی k-ام معیار در q-امین پنجره، $|q|$ تعداد پیکسل‌های واقع در q-امین پنجره و n تعداد معیارها می‌باشند.

در نهایت وزن‌های مبتنی بر آنتروپی با وزن‌های ذهنی حاصل از روش *AHP* به صورت رابطه (۱۱) ترکیب و وزن ذهنی-عینی معیارهای مختلف محاسبه می‌شود.

$$W_{EK}^{*} = \frac{W_{EK} W_{K}}{(\sum_{K=1}^{n} W_{EK} W_{K})}$$ رابطه (۱۱)

در رابطه (۱۱)، وزن ذهنی بدست آمده از مدل *AHP* برای معیار Kام و W_{EK}^{*} وزن نهایی معیار kام حاصل از ترکیب وزن‌های ذهنی و عینی می‌باشد. هرچه مقدار آنتروپی، کوچکتر باشد درجه تنوع معیار، بزرگتر و وزن آنتروپی افزایش می‌یابد. در واقع اطلاعات بیشتر و متنوع‌تری در معیار k وجود دارد، بنابراین وزن بیشتری را به خود اختصاص داده و نقش مهمتری را در روند تصمیم گیری دارد. اگر معیار k دارای همگنی کامل باشد (یعنی a_{ik} یک مقدار ثابت برای $(i=1, 2 \ldots m)$، وزن معیار برابر با صفر است. در نتیجه، می‌توان این معیار را از مجموعه معیارهای ارزیابی حذف کرد، زیرا هیچ اطلاعاتی در مورد وضعیت تصمیم‌گیری ارائه نمی‌نماید.

بر اساس قانون اول توبلر در جغرافیا، "هرعارضه ای به عارضه دیگر وابسته است و عوارضی که به هم نزدیک هستند تأثیر بیشتری را نسبت به عوارض دورتر بر همدیگر دارند." در مطالعات گذشته از یک مقدار یکسان در مقیاس منطقه به عنوان وزن هر معیار برای تولید نقشه تناسب و قوانین تبدیل استفاده شده است. طبیعتا تاثیرگذاری معیارهای موثر در محدوده‌های جغرافیایی مختلف یک منطقه با توجه به شرایط همسایگی برای تبدیل کاربری‌های اراضی مختلف بر یکدیگر متفاوت می‌باشد. در این مطالعه برای محاسبه وزن هر یک از معیارها برای یک پیکسل خاص با استفاده از روش عینی با استراتژی سراسری از مقادیر تمام پیکسل‌های منطقه برای محاسبه روابط (۵) تا (۷) استفاده می‌شود. در حالی که با استراتژی محلی فقط از مقادیر پیکسل‌های همسایه برای محاسبه روابط (۵) تا (۷) استفاده می‌شود. بر اساس رابطه (۱۱) با ترکیب وزن حاصل از روش ذهنی با وزن مستخرج از روش عینی در دو مقیاس سراسری و محلی به صورت مجزا، وزن نهایی هر یک از معیارها در مقیاس سراسری و محلی محاسبه شد.

۲-۱-۳-۳- عملگر میانگین وزنی مرتب شده

میانگین وزنی مرتب شده (*OWA*) یکی از روش‌های ترکیبی چند معیاره است که توسط یاگر[1] در سال ۱۹۸۸ پیشنهاد و توسط ایستمن[2] در سال ۱۹۹۷ در کاربردهای مکانی توسعه داده شد [۵۷]. برای یک مجموعه با n معیار، عملگر *OWA* با استفاده از دو نوع مجموعه وزن‌ها، نقشه‌های معیار را ترکیب می‌کند: مجموعه‌ی وزن معیارها *w1, w2,...,wn* و مجموعه‌ی

[1] *Yager*
[2] *Eastman*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.29252/jgit.7.3.115]

وزن‌های ترتیبی $\lambda 1, \lambda 2, ..., \lambda n$ و $0 < \lambda_k < 1)$ $(\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1$ می‌باشند. با توجه به مجموعه‌ی مقادیر معیارها $ai1, ai2, ... ain$ در موقعیت i-ام $(i = 1, 2, ... m$.)، عملگر OWA بصورت رابطه (۱۲) تعریف می‌شود [۵۸]:

رابطه(۱۲) $$V(A_i^{\circ}) = \sum_{j=1}^{n} \frac{\lambda_k U_k Z_{ik}}{\sum_{k=1}^{n} \lambda_k U_k}$$

در رابطه (۱۲)، $V(A_i^{\circ})$ مقدار کلی جایگزین‌شده در موقعیت i-ام است. توالی $zi1 \geq zi2 \geq \cdots \geq zin$ با مرتب کردن مقادیر استاندارد شده معیارها در موقعیت i-ام، تولید می‌شود. U_k وزن معیار kام است که بر اساس مقادیر مرتب شده معیارها (Z_{ik}) مرتب شده است. فرایند مرتب کردن عملکر OWA را کنترل می‌کند که شامل ارتباط وزن λ_k با مقادیر مرتب‌شده معیارها $(ai1, ai2, ... ain)$ در موقعیت i-ام است. اولین $\lambda 1$ به بزرگترین مقدار معیارها در موقعیت iام، $\lambda 2$ به دومین مقدار بزرگتر معیارها در همان موقعیت و λ_n به کوچکترین مقدار معیارها در موقعیت i-ام اختصاص داده می‌شود. لازم به ذکر است که یک مقدار خاص a_{ij} با یک وزن خاص λ_i همراه نیست، بلکه وزن به موقعیت مرتب‌شده a_{ij} اختصاص دارد. اصل کلی روش OWA مربوط به قابلیت آن برای اجرای طیف گسترده‌ای از ترکیب عملگرها با انتخاب وزن‌های ترتیبی مناسب λ_k است [۵۸]. در روش OWA اغلب از روش‌های ترکیبی مبتنی بر GIS شامل روش‌های WLC و همپوشانی بولین مانند اشتراک (AND) و اجتماع (OR) استفاده می‌شود [۵۷]. رفتار عملگر OWA با استفاده از مقدار ارنس[1] بیان می‌شود. مقدار ارنس میزان ریسک در تصمیم‌گیری را نشان می‌دهد. مقدار ارنس با استفاده از رابطه (۱۳) محاسبه می‌شود.

رابطه(۱۳) $$ORness = \sum_{k=1}^{n} \left(\frac{n-j}{n-1}\right) \lambda_k$$

$$0 \leq ORness \leq 1$$

مقدار $ORness$ موقعیت OWA را در یک زنجیره پیوسته بین عملگرهای AND تا OR نشان می‌دهد. این امر بر جایگزینی مقادیر بالاتر (بهتر) یا مقادیر پایین‌تر (بدتر) در موقعیت iام مجموعه‌ای از معیارهای مرتبط تأکید دارد [۴۸].

۲-۱-۳- ارزیابی دقت

برای بررسی کارایی استراتژی‌های وزن‌دهی سراسری و محلی و تعیین ریسک بهینه برای تولید نقشه تناسب بهینه، نتایج شبیه‌سازی اراضی ساخته‌شده با هر یک از استراتژی‌ها با نقشه اراضی ساخته‌شده واقعی مقایسه شده است. برای این منظور از نقشه کاربری اراضی سال‌های ۱۹۸۵ و ۲۰۰۱ برای شبیه‌سازی نقشه اراضی ساخته‌شده سال ۲۰۱۵ استفاده شده است. سپس پارامترهای ارزیابی دقت براساس نقشه‌های شبیه‌سازی شده و واقعی سال ۲۰۱۵ محاسبه شده است. در مطالعه حاضر برای ارزیابی دقت از پارامتر دقت کاربر، تولیدکننده و کلی و ضریب کاپا استفاده شده است [۶۲]. برای محاسبه دقت کلی و ضریب کاپا به ترتیب از روابط (۱۴)، (۱۵) و (۱۶) بر اساس ماتریس خطا استفاده شده است.

رابطه (۱۴) $$OA = \sum_{i=1}^{m} \frac{P_{ii}}{N}$$

رابطه (۱۵) $$K = \frac{OA - \theta_1}{1 - \theta_1}$$

رابطه (۱۶) $$\theta_1 = \frac{1}{N} \sum_{I=1}^{m} P_{io} \times P_{ii}$$

در روابط فوق، OA دقت کلی، P_{ii} عناصر قطر اصلی ماتریس خطا، m تعداد طبقات کاربری اراضی منطقه، N مجموعه تعداد نمونه‌های تست برای طبقات کاربری اراضی منطقه، K ضریب کاپا، θ_1 توافق شانسی و P_{io} مجموع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا می‌باشند.

۲-۲- داده‌ها

در مطالعه حاضر برای استخراج نقشه‌های کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵، ۷ و ۸ به ترتیب برای تاریخ‌های ۱۹۸۵/۰۵/۱۴، ۲۰۰۱/۰۶/۰۳ و ۲۰۱۵/۰۵/۱۷ استفاده شده است. این تصاویر با خطای

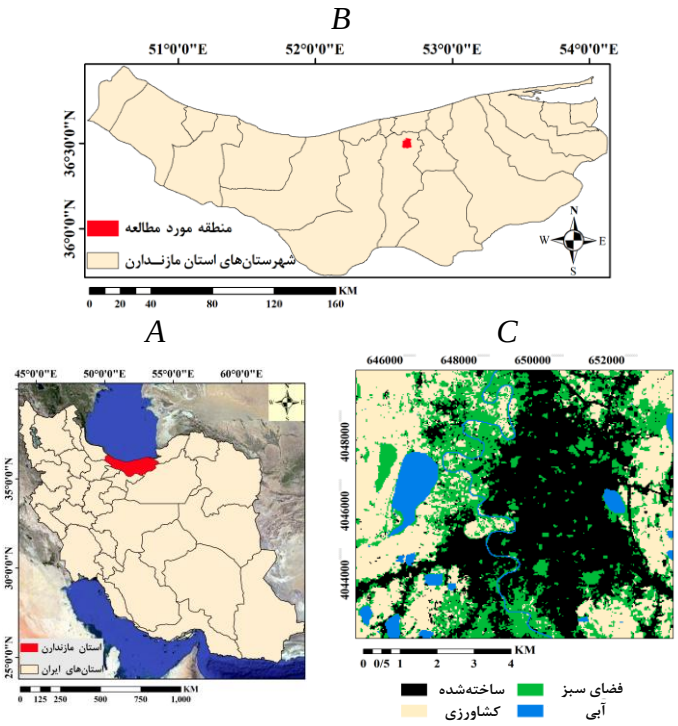
[1] *ORness*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.29252/jgit.7.3.115]

کمتر از ۱۲ متر تصحیح هندسی شده‌اند. داده‌های آموزشی و تست مورد استفاده در عملیات طبقه‌بندی و ارزیابی دقت طبقه‌بندی از طریق بازدید میدانی، تصاویر گوگل ارث و نقشه‌های شهرداری تهیه‌شده توسط شهرداری بابل برای سال‌های ۱۹۸۵، ۲۰۰۱ و ۲۰۱۵ تهیه شد.

۳- محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، شامل محدوده‌ای از شهر بابل و حومه آن با مساحت ۶۶۶۶٫۶۶ هکتار در عرض ۴۰۴۹۸۶۵، ۴۰۴۲۱۵۵ متر شمالی و طول ۶۴۵۰۴۵، ۶۳۳۵۹۵ متر شرقی ناحیه ۳۹N سیستم تصویر *UTM* می‌باشد. شهر بابل یکی از شهرهای پرجمعیت استان مازندران می‌باشد (شکل (۲)). این شهر در حد فاصل دریای مازندران و رشته کوه البرز و در فاصله ۱۵ کیلومتری دریای مازندران و ۲۱۰ کیلومتری شمال-شرقی تهران، واقع شده است. ارتفاع این شهر حدود ۲ متر از سطح دریاهای آزاد پایین‌تر است. شهر بابل شاهد گسترش قابل توجه فضاهای ساخته‌شده در دو دهه اخیر بوده، به‌گونه‌ای که بیش از دیگر شهرهای استان رشد فیزیکی داشته است [۶۳]. طی دوران مختلف که رشد جمعیتی با گسترش فیزیکی شهر همراه بوده، جهت‌گیری خاص و ویژه‌ای در گسترش فیزیکی این شهر مشاهده می‌شود که عمدتا ناشی از محدودیت‌های طبیعی و انسانی است. بنابراین آگاهی از سناریوهای مختلف برمبنای تحلیل جامع واقعیت‌های گذشته شهر بابل در توسعه یکپارچه و همه‌جانبه شهر، در آینده بسیار با ارزش و سودمند می باشد.



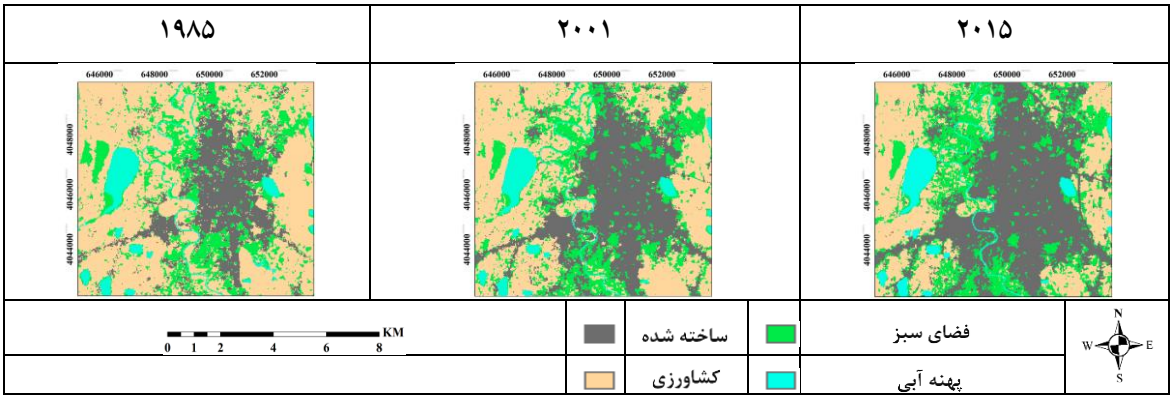
شکل ۲: منطقه مورد مطالعه (*a*) موقعیت جغرافیایی استان مازندران در ایران، (*b*) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در استان مازندران و (*c*) کاربری‌های اراضی منطقه مورد مطالعه

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.29252/jgit.7.3.115]

۴- بحث و نتایج

با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی بیشترین شباهت براساس مجموعه نمونه‌های آموزشی نقشه طبقات کاربری اراضی برای سال‌های ۱۹۸۵، ۲۰۰۱ و ۲۰۱۵ تولید و در شکل (۳) نشان داده شده است. پارامترهای دقت کلی و ضریب کاپا نقشه‌های طبقه بندی کاربری اراضی برای سال‌های مختلف محاسبه و نتایج به صورت جدول (۱) نشان داده شده است.



شکل ۳: نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۱۹۸۵، ۲۰۰۱، ۲۰۱۵.

جدول ۱. نتایج ارزیابی دقت نقشه‌های کاربری اراضی تهیه شده

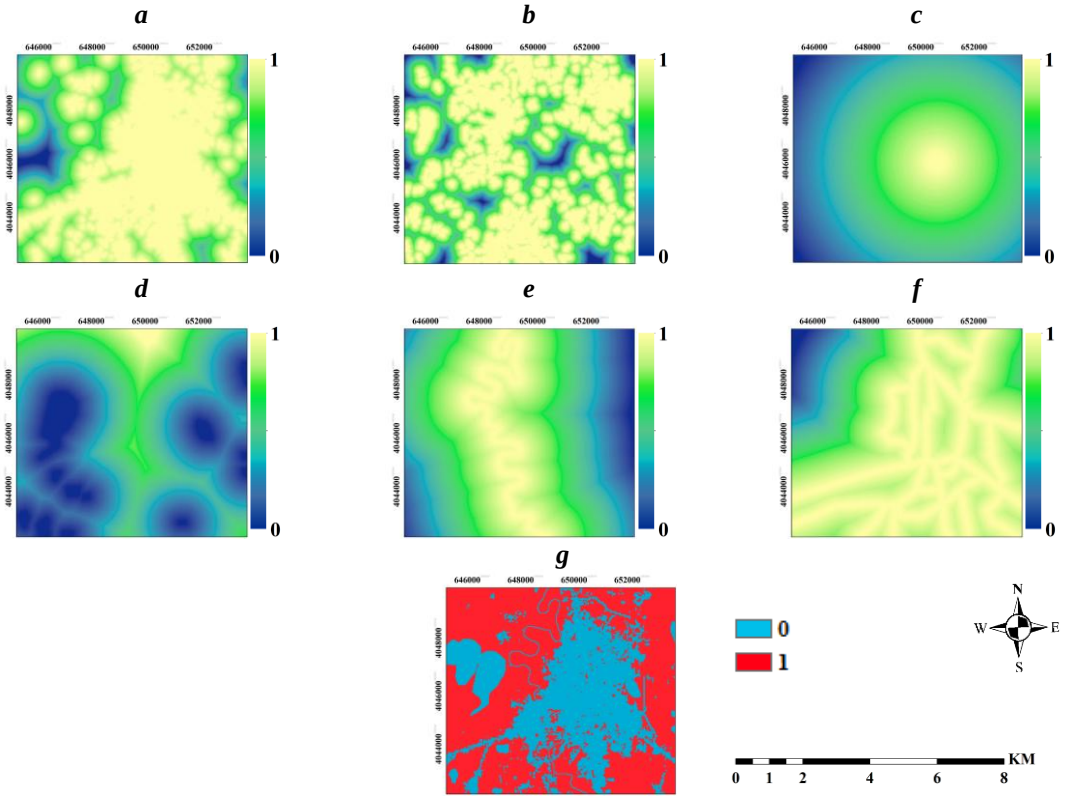
نقشه کاربری اراضی	۱۹۸۵	۲۰۰۱	۲۰۱۵
ضریب کاپا	۰/۹	۰/۸۹	۰/۹۳
دقت کلی	۹۱	۹۰/۱	۹۴/۷

بر اساس نظر کارشناسان شهرداری بابل، نقشه‌های معیارها شامل فاصله از اراضی ساخته‌شده، فاصله از اراضی فضای سبز، فاصله از مرکز شهر، فاصله از منابع آبی، فاصله از رودخانه و فاصله از شبکه راه و همچنین نقشه‌های محدودیت‌ها شامل اراضی پهنه آبی و رودخانه، اراضی ساخته‌شده در سال ۲۰۰۱، پارک‌های موجود در درون شهر، مناطق حفاظت شده و طرح‌های شهرداری بابل که بر رشد فیزیکی این شهر موثر هستند، تولید و به‌صورت شکل (۴) نشان داده شده‌اند.

به منظور تهیه نقشه تناسب، میزان تاثیرگذاری هر یک از معیارها بر گسترش اراضی ساخته‌شده براساس نظر کارشناسان با استفاده از روش وزن‌دهی *AHP*، محاسبه شد. برای کاهش تاثیر عدم قطعیت در نظرات کارشناسان در مطالعه حاضر، علاوه بر این روش، از یک روش عینی نیز برای تعیین تاثیرگذاری هر یک از معیارها استفاده شده است. در همین راستا برای لحاظ کردن میزان و تنوع فضایی اطلاعات موجود در معیارهای مختلف برمبنای شاخص آنتروپی، وزن عینی برای هر یک از معیارها محاسبه شده است. در روش های عینی، تعیین وزن با حل مدل‌های ریاضی به طور خودکار و بدون توجه به ترجیحات تصمیم‌گیرندگان انجام می‌پذیرد [۳۰]. استفاده از مدل‌های ریاضی و عدم استفاده از نظرات کارشناسان متخصص نیز می تواند سبب افزایش عدم قطعیت و خطا در تعیین وزن هر یک از معیارهای موثر باشد [۴۲ و ۶۹]. به همین دلیل با تلفیق دو روش وزن‌دهی ذهنی و عینی، عدم

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.29252/jgit.7.3.115]

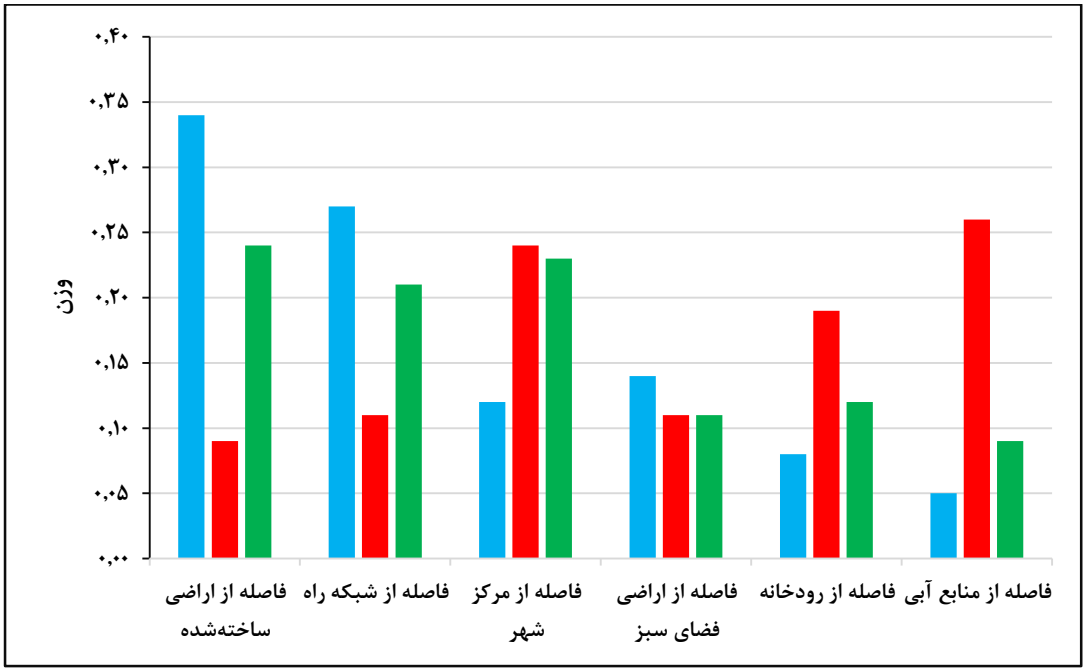
قطعیت در تعیین میزان تاثیرگذاری وزن هر یک از معیارها در فرایند تصمیم‌گیری کاهش می‌یابد [۴۸ و ۷۰]؛ بنابراین در مطالعه حاضر، وزن تلفیقی ذهنی- عینی (رابطه (۸))، برای هر یک از معیارهای موثر بر گسترش فیزیکی اراضی ساخته‌شده در مقیاس سراسری و محلی محاسبه شده است. وزن‌های ذهنی، عینی و عینی- ذهنی محاسبه شده با استراتژی سراسری برای معیارها مختلف در شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل ۴: نقشه‌های مجموعه‌ی معیارها شامل (*a*) فاصله از اراضی ساخته‌شده، (*b*) فاصله از اراضی فضای سبز، (*c*) فاصله از مرکز شهر، (*d*) فاصله از منابع آبی، (*e*) فاصله از رودخانه و (*f*) فاصله از شبکه راه و (*g*) محدودیت‌های مختلف شامل مناطق ساخته-شده، پارک‌ها، رودخانه و منابع آبی، مناطق حفاظت‌شده و برنامه‌های تعریف شده شهرداری بابل

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.29252/jgit.7.3.115]



شکل ۵: مقادیر مربوط به وزن‌های محاسبه شده برای معیارهای موثر با استراتژی سراسری

نتایج شکل(۵) نشان می‌دهد که براساس نظر کارشناسان معیارهای فاصله از اراضی ساخته‌شده و فاصله از شبکه راه به‌ترتیب بالاترین و معیارهای فاصله از منابع آبی و فاصله از رودخانه به ترتیب پایین‌ترین میزان تأثیرگذاری بر گسترش فیزیکی اراضی ساخته شده را دارند. با توجه به میزان و تنوع فضایی اطلاعات موجود در معیارهای مختلف، معیارهای فاصله از منابع آبی و فاصله اراضی ساخته‌شده به ترتیب بیشترین و کمترین اثر را بر تغییرات اراضی ساخته‌شده دارند. برآیند روش‌های وزن‌دهی ذهنی و عینی برای منطقه مورد مطالعه نشان‌دهنده این است که معیار فاصله از اراضی ساخته‌شده بالاترین و معیار فاصله از منابع آبی پایین‌ترین تاثیرگذاری بر گسترش اراضی ساخته‌شده را دارند. در مطالعه حاضر با الهام از قانون اول توبلر در جغرافیا، هرعارضه ای به عارضه دیگر وابسته است و عوارضی که به هم نزدیک‌ترند بیشترین تأثیر را نسبت به عوارض دورتر بر همدیگر دارند [۷۳] برای تعیین میزان تاثیرگذاری معیارهای مختلف بر تبدیل یک مکان و پیکسل خاص به اراضی ساخته‌شده، شاخص آنتروپی برای مناطق همسایه آن مکان خاص محاسبه شده است؛ به عبارت دیگر برای تعیین میزان تاثیرگذاری معیارهای مختلف بر تبدیل یک مکان خاص به اراضی ساخته‌شده از میزان و تنوع فضایی اطلاعات موجود برای معیارهای مختلف در همسایگی آن مکان خاص استفاده شده است. بر این اساس، با توجه به استراتژی محلی، وزن‌های عینی- ذهنی در مقیاس پیکسل بر اساس وضعیت همسایگی برای معیارهای مختلف محاسبه شده است. نتایج بیانگر این است که میزان تاثیرگذاری یک معیار خاص برای تهیه نقشه تناسب جهت شبیه‌سازی گسترش فیزیکی شهر در موقعیت‌های مکانی (پیکسل‌های) مختلف همگن نیست. به همین دلیل تعیین یک مقدار در مقیاس منطقه برای وزن یک معیار می‌تواند سبب افزایش خطا در شبیه‌سازی اراضی ساخته‌شده شود.

یکی دیگر از محدودیت‌های مطالعات گذشته در زمینه تهیه نقشه تناسب برای استفاده در مدل‌های پیش‌بینی عدم لحاظ کردن درجه ریسک در تصمیم‌گیری بوده است. در این مطالعات برای تهیه نقشه تناسب از روش

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.29252/jgit.7.3.115]

WLC، یعنی یک درجه ریسک خاص (۰/۵) استفاده شده است[۳۰، ۴۲ و ۷۱]؛ به عبارت دیگر برای تهیه نقشه تناسب برای شبیه‌سازی گسترش اراضی ساخته شده فقط به دو پارامتر مقدار معیارها و وزن هر یک از معیارها توجه شده است. در مطالعه حاضر علاوه بر دو پارامتر مقدار معیارها و وزن هر یک از معیارها، پارامتر درجه ریسک نیز در فرایند تصمیم‌گیری در نظر گرفته شده است. برای در نظر گرفتن درجه ریسک برای تولید نقشه تناسب از مدل *OWA* استفاده شده است. در مطالعات گذشته از این مدل در تصمیم‌گیری های چند معیاره مختلفی استفاده شده است [۳۵، ۴۶ و ۷۴]. برای منطقه مورد مطالعه، نقشه‌های تناسب برای درجات ریسک مختلف بر اساس روابط (۹) و (۱۰) و مدل مفهومی نشان داده شده در شکل (۳) تولید شده‌اند. نمونه‌ای از نقشه‌های تناسب تولید شده برای درجات ریسک گوناگون بر اساس دو استراتژی تعیین وزن سراسری و محلی به صورت شکل (۶) نشان داده شده است.

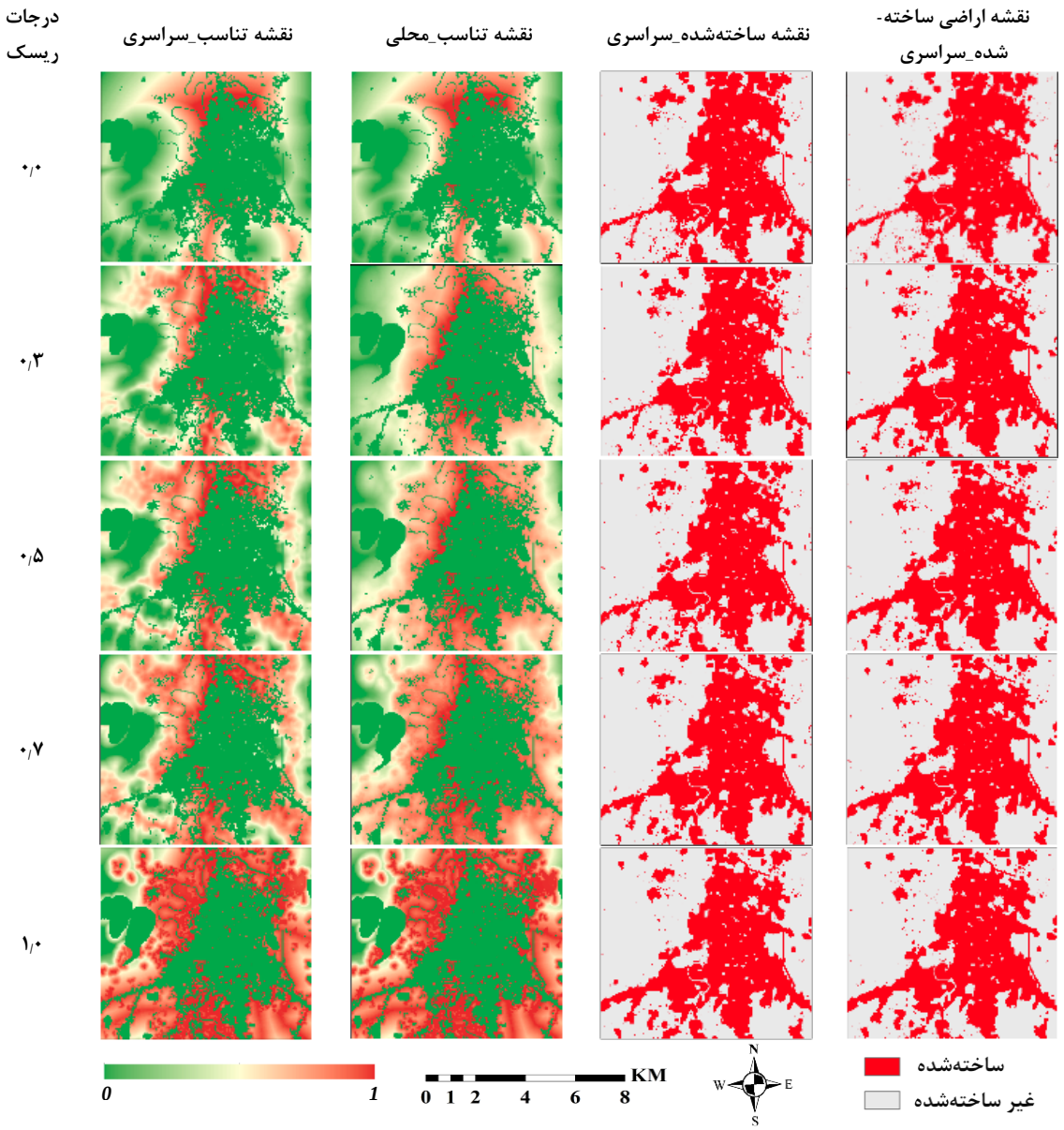
این نقشه‌های تناسب بین حالت خیلی خوشبینانه و خیلی بدبینانه (یعنی درجات ریسک بین ۰ تا ۱) تهیه شده‌اند. شواهد تئوری و تجربی نشان می‌دهند تصمیم‌گیران ریسک‌پذیر تمایل دارند تا بر معیارهای خوب (مقادیر معیارهای بالاتر) گزینه‌های مکانی (پیکسل‌ها) تأکید کنند (۱)، در حالی که تصمیم‌گیرندگان بدبین یا ریسک‌گریز بر معیارهای بد (مقادیر معیارهای کوچکتر) تمرکز می‌کنند (۰) [۴۵]. به عبارت دیگر، حالت خیلی خوشبینانه (ریسک‌پذیر) و خیلی بدبینانه (ریسک‌گریز) به ترتیب نمایانگر محدودیت کمتر و بیشتر بوده و بنابراین مساحت مناطق مستعد رشد شهری را به ترتیب افزایش و کاهش می‌دهند. به همین دلیل در شکل (۷) در حالت خوشبینانه نسبت به حالت بدبینانه درصد مناطق مناسب در نقشه تناسب بیشتر می‌باشد. در مطالعات گذشته نیز نشان داده شده است که میزان مساحت یا تعداد گزینه‌های بهینه برای یک تصمیم خاص، در حالت درجه ارنس ۱ (خوشبینانه) بیشتر از حالت درجه ارنس ۰ (بدبینانه) می‌باشد [۴۸]. با این حال برای هر هدفی درجه ریسک خاصی مناسب می‌باشد. برای تعیین درجه ریسک بهینه در تصمیم‌گیری در ارتباط با تاثیرگذاری معیارهای موثر برای شبیه‌سازی رشد فیزیکی شهر بابل، نقشه‌های تناسب برای درجات ریسک مختلف به صورت جداگانه به‌همراه تصویر طبقه‌بندی سال ۲۰۰۱، ماتریس مساحت‌های تبدیل هر کلاس با توجه به روند تغییرات کاربری اراضی بین سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۱ به مدل اتوماتای سلولی وارد و نقشه اراضی ساخته‌شده برای سال ۲۰۱۵ شبیه‌سازی شده است. نمونه‌ای از نقشه‌های اراضی ساخته‌شده شبیه‌سازی شده برای درجات ریسک مختلف بر اساس دو استراتژی وزن‌دهی سراسری و محلی به صورت شکل (۶) نشان داده شده است.

بررسی بصری شکل (۶) اختلاف نقشه اراضی ساخته شده شبیه‌سازی شده برای درجات ریسک مختلف بر اساس دو استراتژی وزن‌دهی سراسری و محلی را نشان می‌دهد. به دلیل یکسان بودن ماتریس تبدیل مساحت برای درجات مختلف ریسک و روش‌های مختلف تعیین وزن، مساحت اراضی ساخته‌شده شبیه‌سازی شده برای همه حالت‌ها یکسان می‌باشد. اختلاف حالت‌های مختلف تنها در توزیع مکانی اراضی ساخته‌شده در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

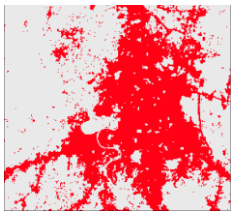
در مطالعات مختلفی برای ارزیابی کارایی مدل‌های مختلف برای شبیه‌سازی، نقشه کاربری اراضی شبیه‌سازی شده و واقعی با یکدیگر مقایسه شده‌اند [۲۱، ۷۵ و ۷۶]. در این مطالعه نیز برای تعیین درجه ریسک و روش تعیین وزن بهینه هر یک از نقشه‌های اراضی ساخته‌شده شبیه‌سازی شده با نقشه اراضی ساخته‌شده واقعی سال ۲۰۱۵ مقایسه شده است. نتایج پارامتر ارزیابی دقت کاربر، تولید کننده و کلی برای اراضی ساخته‌شده شبیه‌سازی شده به صورت شکل (۷) نشان داده شده است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.29252/jgit.7.3.115]



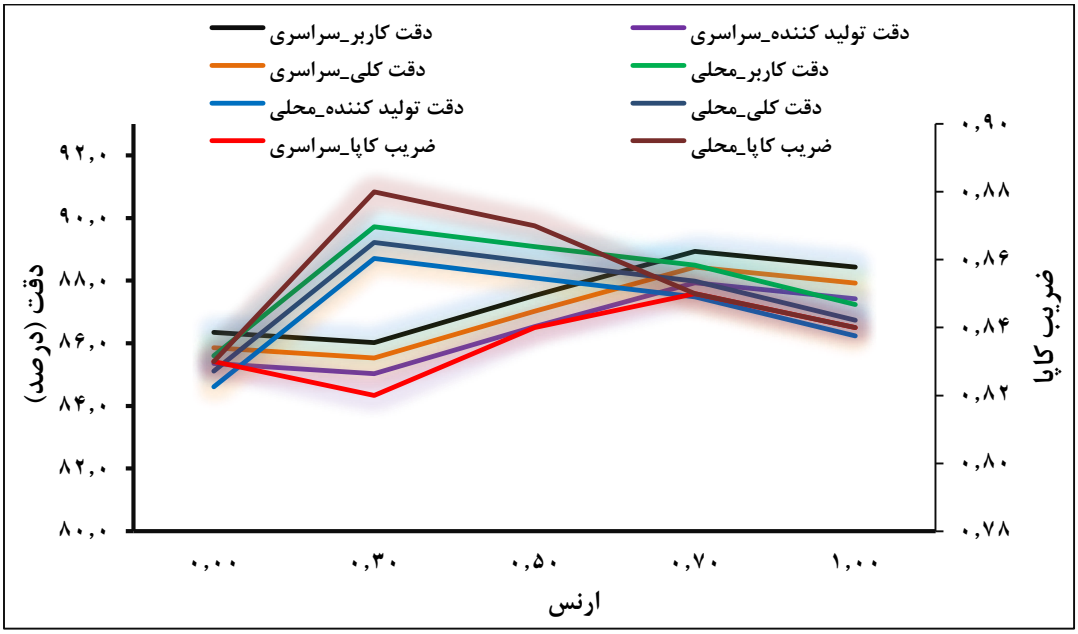
نقشه واقعی اراضی ساخته‌شده برای سال ۲۰۱۵



شکل ۶: نمونه‌ای از نقشه‌های تناسب تولید شده و از نقشه‌های اراضی ساخته‌شده شبیه‌سازی شده برای درجات ریسک معین بر اساس دو استراتژی وزن‌دهی سراسری و محلی و نقشه واقعی اراضی ساخته‌شده برای سال ۲۰۱۵

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.29252/jgit.7.3.115]



شکل ۷: نتایج پارامترهای ارزیابی دقت کاربر، تولید کننده و کلی و ضریب کاپا برای اراضی ساخته‌شده شبیه‌سازی شده در حالات مختلف

نتایج نشان می‌دهد که برای منطقه مورد مطالعه در حالت تعیین وزن معیارها با استراتژی محلی و سراسری مقادیر ارنس ۰/۳ و ۰/۷ به ترتیب درجات ریسک بهینه در تصمیم‌گیری جهت تولید نقشه تناسب می‌باشند. همچنین میانگین دقت کلی برای روش تعیین وزن محلی و سراسری در درجات ریسک مختلف به ترتیب ۸۷/۶ و ۸۶/۸ می‌باشد که نشان‌دهنده کارایی بالاتر روش تعیین وزن محلی ارائه‌شده در این پژوهش نسبت به روش تعیین وزن سراسری برای تولید نقشه تناسب می‌باشد. بهترین حالت درجه ارنس ۰/۳ با تعیین وزن محلی می‌باشد. همچنین در درجه ریسک بهینه دقت کلی برای روش تعیین وزن سراسری و محلی به ترتیب ۸۵/۵ و ۸۹/۲ می‌باشد.

۵- نتیجه‌گیری

یکی از مهمترین اثرات منفی افزایش جمعیت که امروزه جهان با آن روبه‌رو است، گسترش فیزیکی شهرها و در نتیجه اثرات زیست محیطی منفی ناشی از آن می‌باشد. یک گام ضروری برای کنترل رشد فیزیکی شهر و کاهش اثرات زیست محیطی منفی این پدیده، شبیه‌سازی دقیق گسترش فیزیکی شهرها برای آینده می‌باشد. تاکنون، مدل‌های مختلفی برای شبیه‌سازی گسترش فیزیکی شهرها ارائه شده است. در مطالعات گذشته از یک مقدار یکسان در مقیاس منطقه به عنوان وزن هر معیار موثر برای تولید نقشه تناسب استفاده شده است. قابل ذکر است که تاثیرگذاری پارامترهای موثر در محدوده‌های مختلف منطقه با توجه به شرایط همسایگی برای تبدیل کاربری‌های اراضی مختلف به یکدیگر متفاوت می‌باشد. همچنین در مطالعات گذشته برای محاسبه میزان تاثیرگذاری هر یک معیارها تنها به نظر متخصصان یا شاخص‌های آماری بر اساس اطلاعات موجود در هر معیار بسنده شده است. یکی از چالش‌های دیگر در تولید نقشه تناسب در مدل‌های پیش‌بینی، نحوه ترکیب پارامترهای موثر با یکدیگر می‌باشد. در هیچ یک از مطالعات گذشته مفهوم ریسک در فرایند تصمیم‌گیری برای تولید نقشه تناسب لحاظ نشده است. در این پژوهش، یک مدل مفهومی جدید برای پیاده‌سازی یک سیستم پیش‌بینی گسترش فیزیکی شهر بر مبنای درجه ریسک بهینه در تصمیم‌گیری ارائه شده است. وجه تمایز مدل ارائه‌شده با دیگر مدل‌ها عبارت‌انداز:

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.29252/jgit.7.3.115]

۱) تلفیق روش وزن‌دهی ذهنی و عینی برای تعیین تاثیرگذاری معیارهای مختلف جهت تولید نقشه تناسب مورد استفاده در مدل اتوماتای سلولی

۲) ارائه مدلی جدید برای تعیین تاثیرگذاری معیارهای مختلف جهت تولید نقشه تناسب مورد استفاده در مدل اتوماتای سلولی به صورت محلی و بر اساس وضعیت همسایگی‌ها

۳) تعیین ریسک بهینه در تصمیم‌گیری جهت تولید نقشه تناسب مورد استفاده در مدل اتوماتای سلولی و تهیه نقشه پیش‌بینی گسترش شهری در درجات ریسک مختلف می‌باشد.

به طور کلی با تلفیق دو روش وزن‌دهی ذهنی و عینی، عدم قطعیت در تعیین میزان تاثیرگذاری وزن هر یک از معیارها در فرایند تصمیم‌گیری کاهش می‌یابد. همچنین نتایج پژوهش حاکی از کارایی بیشتر روش وزن‌دهی محلی نسبت به روش وزن‌دهی سراسری برای تولید نقشه تناسب می‌باشد. در پژوهش حاضر، نقشه‌های تناسب گوناگون بسته به درجات ریسک (بین خیلی بدبینانه و خیلی خوشبینانه) با استفاده از مدل *OWA* تولید شده است. مقدار درجه ریسک باید برای هر منطقه به صورت مجزا تعیین شود. به طور کلی مدل مفهومی ارائه‌شده در پژوهش حاضر را می‌توان برای پیش‌بینی تغییرات کاربری‌های اراضی مختلف استفاده کرد. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده، از روش‌های وزن‌دهی عینی دیگر برای محاسبه وزن معیارهای موثر برگسترش فیزیکی شهر استفاده شده و نتایج آن با نتایج روش تعیین وزن مبتنی بر آنتروپی مقایسه شود. همچنین با تلفیق قابلیت‌های مدل *OWA* با مدل‌های فازی، زمینه لحاظ کردن مفهوم عدم قطعیت برای تهیه نقشه‌های تناسب کاربری اراضی به‌وجود خواهد آمد.

مراجع

[1] M. Batty, E. Besussi, and N. Chin, "Traffic, urban growth and suburban sprawl," 2003.

[2] B. Bhatta, S. Saraswati, and D. Bandyopadhyay, "Urban sprawl measurement from remote sensing data," Applied geography, vol. 30, no. 4, pp. 731-740, 2010.

[3] B. Mirbagheri and A. Alimohammadi, "Improving urban cellular automata performance by integrating global and geographically weighted logistic regression models," Transactions in GIS, vol. 21, no. 6, pp. 1280-1297, 2017.

[4] K. Samir and W. Lutz, "The human core of the shared socioeconomic pathways: Population scenarios by age, sex and level of education for all countries to 2100," Global Environmental Change, vol. 42, pp. 181-192, 2017.

[5] I. B. I. Malik and B. J. Dewancker, "Identification of Population Growth and Distribution, Based on Urban Zone Functions," Sustainability, vol. 10, no. 4, p. 930, 2018.

[6] K. L. Findell et al., "The impact of anthropogenic land use and land cover change on regional climate extremes," Nature communications, vol. 8, no. 1, p. 989, 2017.

[7] Y. Feng and X. Tong, "Dynamic land use change simulation using cellular automata with spatially nonstationary transition rules," GIScience & Remote Sensing, pp. 1-21, 2018.

[8] H. Zhang, Y. Zeng, L. Bian, and X. Yu, "Modelling urban expansion using a multi agent-based model in the city of Changsha," Journal of Geographical Sciences, vol. 20, no. 4, pp. 540-556, 2010.

[9] R. White, I. Uljee, and G. Engelen, "Integrated modelling of population, employment and land-use change with a multiple activity-based variable grid cellular automaton," International Journal of

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.29252/jgit.7.3.115]

Geographical Information Science, vol. 26, no. 7, pp. 1251-1280, 2012.

[10] R. Rafiee, A. S. Mahiny, N. Khorasani, A. A. Darvishsefat, and A. Danekar, "Simulating urban growth in Mashad City, Iran through the SLEUTH model (UGM)," Cities, vol. 26, no. 1, pp. 19-26, 2009.

[11] X. Liu, L. Ma, X. Li, B. Ai, S. Li, and Z. He, "Simulating urban growth by integrating landscape expansion index (LEI) and cellular automata," International Journal of Geographical Information Science, vol. 28, no. 1, pp. 148-163, 2014.

[12] E. A. Silva and K. C. Clarke, "Calibration of the SLEUTH urban growth model for Lisbon and Porto, Portugal," Computers, environment and urban systems, vol. 26, no. 6, pp. 525-552, 2002.

[13] L. Hua, L. Tang, S. Cui, and K. Yin, "Simulating urban growth using the Sleuth Model in a coastal peri-urban district in China," Sustainability, vol. 6, no. 6, pp. 3899-3914, 2014.

[14] M. Wolff, D. Haase, and A. Haase, "Compact or spread? A quantitative spatial model of urban areas in Europe since 1990," PloS one, vol. 13, no. 2, p. e0192326, 2018.

[15] A. Mustafa, A. Heppenstall, H. Omrani, I. Saadi, M. Cools, and J. Teller, "Modelling built-up expansion and densification with multinomial logistic regression, cellular automata and genetic algorithm," Computers, Environment and Urban Systems, vol. 67, pp. 147-156, 2018.

[16] B. C. Pijanowski, D. G. Brown, B. A. Shellito, and G. A. Manik, "Using neural networks and GIS to forecast land use changes: a land transformation model," Computers, environment and urban systems, vol. 26, no. 6, pp. 553-575, 2002.

[17] I. Benenson, "Multi-agent simulations of residential dynamics in the city," Computers, Environment and Urban Systems, vol. 22, no. 1, pp. 25-42, 1998.

[18] J. J. Arsanjani, M. Helbich, and E. de Noronha Vaz, "Spatiotemporal simulation of urban growth patterns using agent-based modeling: The case of Tehran," Cities, vol. 32, pp. 33-42, 2013.

[19] J. Cheng and I. Masser, "Urban growth pattern modeling: a case study of Wuhan city, PR China," Landscape and urban planning, vol. 62, no. 4, pp. 199-217, 2003.

[20] X. Yang, X.-Q. Zheng, and L.-N. Lv, "A spatiotemporal model of land use change based on ant colony optimization, Markov chain and cellular automata," Ecological Modelling, vol. 233, pp. 11-19, 2012.

[21] M. M. Aburas, Y. M. Ho, M. F. Ramli, and Z. H. Ash'aari, "Improving the capability of an integrated CA-Markov model to simulate spatio-temporal urban growth trends using an analytical hierarchy process and frequency ratio," International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, vol. 59, pp. 65-78, 2017.

[22] M. Jafari, H. Majedi, S. M. Monavari, A. A. Alesheikh, and M. K. Zarkesh, "Dynamic simulation of urban expansion through a CA-Markov model Case study: Hyrcanian region, Gilan, Iran," European Journal of Remote Sensing, vol. 49, no. 1, pp. 513-529, 2016.

[23] W. Gong, L. Yuan, W. Fan, and P. Stott, "Analysis and simulation of land use spatial pattern in Harbin prefecture based on trajectories and cellular automata—Markov modelling," International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, vol. 34, pp. 207-216, 2015.

[24] K. Rajitha, C. Mukherjee, R. Vinu Chandran, and M. Prakash Mohan, "Land-cover change dynamics and coastal aquaculture development: a case study in the East Godavari delta, Andhra Pradesh, India using multi-temporal satellite data," International Journal of Remote Sensing, vol. 31, no. 16, pp. 4423-4442, 2010.

[25] R. G. Pontius, "Quantification error versus location error in comparison of categorical maps," Photogrammetric engineering and

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.29252/jgit.7.3.115]

remote sensing, vol. 66, no. 8, pp. 1011-1016, 2000.

[26] T. Munshi, M. Zuidgeest, M. Brussel, and M. van Maarseveen, "Logistic regression and cellular automata-based modelling of retail, commercial and residential development in the city of Ahmedabad, India," Cities, vol. 39, pp. 68-86, 2014.

[27] S. Berberoğlu, A. Akın, and K. C. Clarke, "Cellular automata modeling approaches to forecast urban growth for adana, Turkey: A comparative approach," Landscape and Urban Planning, vol. 153, pp. 11-27, 2016.

[28] F. Fan, Y. Wang, and Z. Wang, "Temporal and spatial change detecting (1998–2003) and predicting of land use and land cover in Core corridor of Pearl River Delta (China) by using TM and ETM+ images," Environmental Monitoring and Assessment, vol. 137, no. 1, pp. 127-147, 2008.

[29] M. Batty, Y. Xie, and Z. Sun, "Modeling urban dynamics through GIS-based cellular automata," Computers, environment and urban systems, vol. 23, no. 3, pp. 205-233, 1999.

[30] X. Fu, X. Wang, and Y. J. Yang, "Deriving suitability factors for CA-Markov land use simulation model based on local historical data," Journal of environmental management, vol. 206, pp. 10-19, 2018.

[31] Q. Guan, L. Wang, and K. C. Clarke, "An artificial-neural-network-based, constrained CA model for simulating urban growth," Cartography and Geographic Information Science, vol. 32, no. 4, pp. 369-380, 2005.

[32] Y. Lee and H. Chang, "The simulation of land use change by using CA-Markov model: A case study of Tainan City, Taiwan," in Geoinformatics, 2011 19th International Conference on, 2011, pp. 1-4: IEEE.

[33] S. Shekhar, "Suitable land assessment for urban expansion around Shimla, Himachal Pradesh (India)–MCE approach," Journal of Geomatics, vol. 11, no. 1, 2017.

[34] C. Kara and N. Akçit, "Using GIS for Developing Sustainable Urban Growth Case Kyrenia Region," ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, pp. 263-268, 2018.

[35] M. Jelokhani-Niaraki and J. Malczewski, "A group multicriteria spatial decision support system for parking site selection problem: A case study," Land Use Policy, vol. 42, pp. 492-508, 2015.

[36] J. Malczewski and C. Rinner, Multicriteria decision analysis in geographic information science. Springer, 2015.

[37] B. Feizizadeh, M. S. Roodposhti, P. Jankowski, and T. Blaschke, "A GIS-based extended fuzzy multi-criteria evaluation for landslide susceptibility mapping," Computers & geosciences, vol. 73, pp. 208-221, 2014.

[38] J. Eastman, "Multi-criteria evaluation and GIS," Geographical information systems, vol. 1, no. 1, pp. 493-502, 1999.

[39] H. Bharath, M. Chandan, S. Vinay, and T. Ramachandra, "Modelling urban dynamics in rapidly urbanising Indian cities," The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 2017.

[40] W.-M. Wey and K.-Y. Wu, "Using ANP priorities with goal programming in resource allocation in transportation," Mathematical and computer modelling, vol. 46, no. 7-8, pp. 985-1000, 2007.

[41] S. J. Carver, "Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems," International Journal of Geographical Information System, vol. 5, no. 3, pp. 321-339, 1991.

[42] W.-D. Wang, J. Guo, L.-G. Fang, and X.-S. Chang, "A subjective and objective integrated weighting method for landslides susceptibility mapping based on GIS," Environmental Earth Sciences, vol. 65, no. 6, pp. 1705-1714, 2012.

[43] T.-C. Wang and H.-D. Lee, "Developing a

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.29252/jgit.7.3.115]

fuzzy TOPSIS approach based on subjective weights and objective weights," Expert systems with applications, vol. 36, no. 5, pp. 8980-8985, 2009.

[44] M. Alemi-Ardakani, A. S. Milani, S. Yannacopoulos, and G. Shokouhi, "On the effect of subjective, objective and combinative weighting in multiple criteria decision making: A case study on impact optimization of composites," Expert Systems with Applications, vol. 46, pp. 426-438, 2016.

[45] S. E. Bodily, Modern decision making: a guide to modelling with decision support systems. McGraw-Hill, 1985.

[46] M. Kiavarz and M. Jelokhani-Niaraki, "Geothermal prospectivity mapping using GIS-based Ordered Weighted Averaging approach: A case study in Japan's Akita and Iwate provinces," Geothermics, vol. 70, pp. 295-304, 2017.

[47] J. Malczewski, "Ordered weighted averaging with fuzzy quantifiers: GIS-based multicriteria evaluation for land-use suitability analysis," International journal of applied earth observation and geoinformation, vol. 8, no. 4, pp. 270-277, 2006.

[48] M. Kiavarz and M. Jelokhani-Niaraki, "Geothermal prospectivity mapping using GIS-based Ordered Weighted Averaging approach: A case study in Japan's Akita and Iwate provinces," Geothermics, vol. 70, pp. 295-304, 2017.

[49] T. Cooley et al., "FLAASH, a MODTRAN4-based atmospheric correction algorithm, its application and validation," in Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2002. IGARSS'02. 2002 IEEE International, 2002, vol. 3, pp. 1414-1418: IEEE.

[50] J. R. Otukei and T. Blaschke, "Land cover change assessment using decision trees, support vector machines and maximum likelihood classification algorithms," International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, vol. 12, pp. S27-S31, 2010.

[51] M. Rashmi and N. Lele, "Spatial modeling and validation of forest cover change in Kanakapura region using GEOMOD," Journal of the Indian Society of Remote Sensing, vol. 38, no. 1, pp. 45-54, 2010.

[52] Y. Liu and S. R. Phinn, "Modelling urban development with cellular automata incorporating fuzzy-set approaches," Computers, Environment and Urban Systems, vol. 27, no. 6, pp. 637-658, 2003.

[53] J. Jiao and L. Boerboom, "Transition rule elicitation methods for urban cellular automata models," Innovations in Design & Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning, pp. 53-68, 2006.

[54] T. L. Satty, "The analytical hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation," RWS publication, Pittsburg, 1980.

[55] G.-L. Li and Q. Fu, "Grey relational analysis model based on weighted entropy and its application," in Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2007. WiCom 2007. International Conference on, 2007, pp. 5500-5503: IEEE.

[56] C. Shannon and W. Weaver, "The math theory of communica," theUniversity of Illinois Press, Urbana, 1947.

[57] J. Eastman, "Idrisi for Windows, Version 2.0: Tutorial Exercises, Graduate School of Geography—Clark University, Worcester, MA," Google Scholar, 1997.

[58] R. R. Yager, "On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decisionmaking," IEEE Transactions on systems, Man, and Cybernetics, vol. 18, no. 1, pp. 183-190, 1988.

[59] H. Jiang and J. R. Eastman, "Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS," International Journal of Geographical Information Science, vol. 14, no. 2, pp. 173-184, 2000.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.29252/jgit.7.3.115]

[60] J. Malczewski, "GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview," Progress in planning, vol. 62, no. 1, pp. 3-65, 2004.

[61] J. Malczewski and C. Rinner, "Exploring multicriteria decision strategies in GIS with linguistic quantifiers: A case study of residential quality evaluation," Journal of Geographical Systems, vol. 7, no. 2, pp. 249-268, 2005.

[62] P. Couto, "Assessing the accuracy of spatial simulation models," Ecological Modelling, vol. 167, no. 1-2, pp. 181-198, 2003.

[63] M. K. Firozjaei, M. Kiavarz, S. K. Alavipanah, T. Lakes, and S. Qureshi, "Monitoring and forecasting heat island intensity through multi-temporal image analysis and cellular automata-Markov chain modelling: A case of Babol city, Iran," Ecological Indicators, vol. 91, pp. 155-170, 2018.

[64] S. Panah, M. K. Mogaddam, and M. K. Firozjaei, "MONITORING SPATIOTEMPORAL CHANGES OF HEAT ISLAND IN BABOL CITY DUE TO LAND USE CHANGES," International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences, vol. 42, 2017.

[65] I. A. Chandio, A. N. B. Matori, K. B. WanYusof, M. A. H. Talpur, A.-L. Balogun, and D. U. Lawal, "GIS-based analytic hierarchy process as a multicriteria decision analysis instrument: a review," Arabian Journal of Geosciences, vol. 6, no. 8, pp. 3059-3066, 2013.

[66] R. B. Thapa and Y. Murayama, "Drivers of urban growth in the Kathmandu valley, Nepal: Examining the efficacy of the analytic hierarchy process," Applied Geography, vol. 30, no. 1, pp. 70-83, 2010.

[67] S. Ahmad and R. M. Tahar, "Selection of renewable energy sources for sustainable development of electricity generation system using analytic hierarchy process: A case of Malaysia," Renewable energy, vol. 63, pp. 458-466, 2014.

[68] O. S. Vaidya and S. Kumar, "Analytic hierarchy process: An overview of applications," European Journal of operational research, vol. 169, no. 1, pp. 1-29, 2006.

[69] W. Chen and X. Hao, "An optimal combination weights method considering both subjective and objective weight information in power quality evaluation," in Advanced Electrical and Electronics Engineering: Springer, 2011, pp. 97-105.

[70] M. Sahoo, S. Sahoo, A. Dhar, and B. Pradhan, "Effectiveness evaluation of objective and subjective weighting methods for aquifer vulnerability assessment in urban context," Journal of Hydrology, vol. 541, pp. 1303-1315, 2016.

[71] W. Plata-Rocha, M. Gómez-Delgado, and J. Bosque-Sendra, "Simulating urban growth scenarios using GIS and multicriteria analysis techniques: a case study of the Madrid region, Spain," Environment and Planning B: Planning and Design, vol. 38, no. 6, pp. 1012-1031, 2011.

[72] Q. Zhang, Y. Ban, J. Liu, and Y. Hu, "Simulation and analysis of urban growth scenarios for the Greater Shanghai Area, China," Computers, Environment and Urban Systems, vol. 35, no. 2, pp. 126-139, 2011.

[73] W. R. Tobler, "Geographical filters and their inverses," Geographical Analysis, vol. 1, no. 3, pp. 234-253, 1969.

[74] J. Malczewski and X. Liu, "Local ordered weighted averaging in GIS-based multicriteria analysis," Annals of GIS, vol. 20, no. 2, pp. 117-129, 2014.

[75] R. G. Pontius Jr, D. Huffaker, and K. Denman, "Useful techniques of validation for spatially explicit land-change models," Ecological Modelling, vol. 179, no. 4, pp. 445-461, 2004.

[76] Y. Feng and X. Tong, "Using exploratory regression to identify optimal driving factors for cellular automaton modeling of land use change," Environmental monitoring and assessment, vol. 189, no. 10, p. 515, 2017.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.29252/jgit.7.3.115]

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.7, No.3, Autumn 2019

Research Paper

Developing a model for simulating urban expansion based on the concept of decision risk: A case study in Babol city

Mohammad Karimi Firozjaei[1], Amir Sedighi[1], Mohammadreza Jelokhani-Niaraki[2]*

1- Ph.D Student in Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran
2- Associate professor in Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran

Abstract

Today, the study of the spatial-temporal pattern of urban physical expansion and the identification of the parameters affecting the expansion play a crucial role in urban-related decision-making and long-term planning processes. Consequently, the use of precise and efficient methods to predict the physical expansion of urban areas is of great importance. The objective of present study is to provide a new conceptual model for implementing a simulation model for predicting physical expansion of urban areas based on the degree of risk in multi-criteria spatial decision making. This model has been implemented to predict the physical expansion of Babol city. In the proposed model, the combination of subjective and objective weighting methods has been used globally and locally on the basis of neighboring states to determine the relative importance of mentioned criteria and the Markov model is used for generating the transition rules. In addition to the two parameters of the criteria and the weight of each criterion, the risk-factor parameter is also considered for the mapping of the physical expansion of the city. In order to determine the degree of risk and the optimal weighting method, each of simulated built-up area maps was compared with a real built-up area map. The results obtained for the study area show that the optimum ORness values in local and global strategies for generating suitability map are 0.3 and 0.7, respectively. Moreover, the average overall accuracy for the local and global weighting methods at different levels of risk is 87.6 and 86.8, respectively. This means that the local weighting method is more accurate than the global method for generating the suitability map.

Key words: *Urban physical expansion, simulation model, multi-criteria spatial decision making, risk.*

Correspondence Address*: Tehran, Enghelab Square, Vesal Shirazi Street, Geography Faculty of Tehran Univercity.*
Tel:*. 09124500086*
Email: *mrjelokhani@ut.ac.ir*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.29252/jgit.7.3.115]