

رویکرد زیست‌محیطی در مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی محدوده کلانشهر تبریز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه‌ای، ارزیابی چند معیاری و سلول‌های خودکار زنجیره مارکوف (۷۱۴۱-۳۶۳۱)

رسول قربانی - دانشیار گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری دانشگاه تبریز
محمد رضا پور محمدی - استاد گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری دانشگاه تبریز
حسن محمودزاده^۱ - دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه تبریز

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۶/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۵/۱۴

چکیده:

رشد سریع شهرنشینی، فشارهای سنگینی بر سرزمین و منابع اطراف آنها وارد کرده و موجب کاهش پوشش گیاهی، فضاهای باز و مشکلات جدی اجتماعی و زیست‌محیطی شده است. از این رو یک گام اساسی برای مدیریت و برنامه‌ریزی توسعه شهری و همچنین ارزیابی اثرات تجمعی آن، بررسی و شبیه‌سازی توسعه فیزیکی شهرمی باشد. هدف از این مطالعه، درک عوامل مؤثر در روند توسعه فیزیکی کلانشهر تبریز با توجه به مقوله توسعه فضایی پایدار شهری از بعد اکولوژیکی و حفظ شرایط زیست‌محیطی آن در دو دهه آتی می‌باشد. بدین منظور با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه لندست ۵ و ۷ و تکنیک‌های پردازش تصاویر ماهواره‌ای شی‌گرا، تغییرات کاربری اراضی در مقطع زمانی ۱۱۰۲-۴۸۹۱ با تأکید بر گسترش فضایی کلانشهر تبریز، مورد ارزیابی قرار گرفته است. براساس نتایج حاصله، مقدار مساحت کلانشهر تبریز (مادرشهر تبریز و شهرهای اقماری) از ۰۲۲۷/۴۳ هکتار در سال ۴۸۹۱ به ۶۴۳۲۲/۲۸ هکتار در سال ۱۱۰۲ رسیده است. مساحت قابل توجهی از توسعه اخیر بر بستر سیلابی و پهنه‌های آسیب‌پذیر از زلزله صورت گرفته که لزوم مدیریت توسعه آتی شهرهای محدوده را می‌طلبد. بدین منظور عوامل مؤثر بر توسعه فیزیکی کلانشهر تبریز براساس پیشینه تحقیق در قالب ۴۲ شاخص، شناسایی و با استفاده از روش‌های ارزیابی چند متغیره مبتنی بر ترکیب خطی وزن دار فازی CLW نقشه‌سازی شدند و با استخراج اراضی مستعد توسعه فیزیکی آتی به همراه متغیر وابسته تغییرات شهری طی سال‌های ۱۱۰۲-۴۸۹۱ با استفاده از مدل سلول‌های خودکار زنجیره مارکوف vokraM-LaC به پیشبینی الگوی آتی کاربری اراضی در قالب رویکرد حفاظت زیست‌محیطی و منطبق بر اصول توسعه پایدار تا سال ۸۳۰۲ پرداخته شد که در صورت استفاده از نتایج این تحقیق، در توسعه‌های آینده شهر کمترین آسیب به اراضی زراعی و باغی خواهد رسید.

واژگان کلیدی: کلانشهر تبریز، سلول‌های خودکار، زنجیره مارکوف، تغییرات کاربری اراضی، طبقه‌بندی شی‌گرا.

۱۳

شماره هشتم

پاییز ۱۳۹۲

فصلنامه علمی-پژوهشی

مطالعات شهر

رویکرد زیست‌محیطی در مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی محدوده کلانشهر تبریز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه‌ای، ارزیابی چند معیاری و سلول‌های خودکار زنجیره مارکوف (۱۳۹۳-۱۳۹۲)

۱. مقدمه

گسترده‌گی^۱ به رشد بیرونی مناطق شهری و رشد نابرابر و ناخواسته‌ای اطلاق می‌شود که منجر به استفاده ناکارآمد از منابع (به ویژه زمین) می‌شود (Sudhira and Ramachandra, 2000:86). گسترده‌گی زمانی اتفاق می‌افتد که نرخ استفاده از زمین‌های غیرکشاورزی یا غیرطبیعی از نرخ رشد جمعیت تجاوز کند (Bhatta, 2010, p: 30). گرایش به کاهش تراکم شهری، نشانه‌ای از گسترده شدن شهری است (Bogart, 2009, p: 42). از آثار توسعه کالبدی، گسترش در حاشیه شهر یا منطقه دهشهرها و آن سوی مرزهای اداری شهرهاست. این توسعه شهری به سوی مناطق بیرونی پیش رفته و موجب تغییراتی در کاربری اراضی پیرامونی آن می‌شود (شیعه، ۱۳۷۷:۶۵). هرچه شهر بزرگتر باشد، از اطراف خود اراضی بیشتری طلب می‌کند و بدین ترتیب خطر تخریب محیط زیست افزایش می‌یابد (بحرینی، ۱۳۶۸:۷۶). یکی از موضوعات حیاتی قرن ۲۱ درباره پایداری شهر، چگونگی رشد و توسعه شهر در فضا است. شکل شهر به عنوان الگوی توسعه فضایی فعالیت‌های انسان در برهه خاصی از زمان تعریف می‌شود (Anderson, 1996: 8) و به دو الگوی اصلی پراکندگی شهری و تراکم شهری تقسیم می‌شود (کاتی ویلیامز و همکاران، ۱۳۸۳:۱). از آنجا که شکل پراکندگی شهر یا گسترش افقی و ساخت و سازهای جدید در اطراف شهر، باعث آسیب‌های اجتماعی اقتصادی و تخریب منابع زیست محیطی در شهرها و اطراف آنها شده است، با توسعه شهر ممکن است بسیاری از زمین‌های قابل کشت مجاور شهرها برای ساختمان سازی استفاده شود. در چنین موقعیت‌هایی، کشاورزان اطراف شهر بر اثر چند برابر شدن قیمت زمین‌ها، به تولید محصول علاقه نشان نمی‌دهند (شکوئی، ۱۳۸۵:۳۰۴-۳۰۳).

سیسرو (۱۹۸۹) پنج نوع از مطالعات اکولوژیکی را در محیط‌های شهری شناسایی نمود که عبارتند از: ۱- مقایسه انواع مختلف کاربری اراضی در داخل تنظیمات شهری- این مطالعات تأیید می‌کنند که شهر محیطی است ناهمگن در فضا، به این معنی که یک محیط شهری آمیزهای از مناطق دارای خواص مختلف

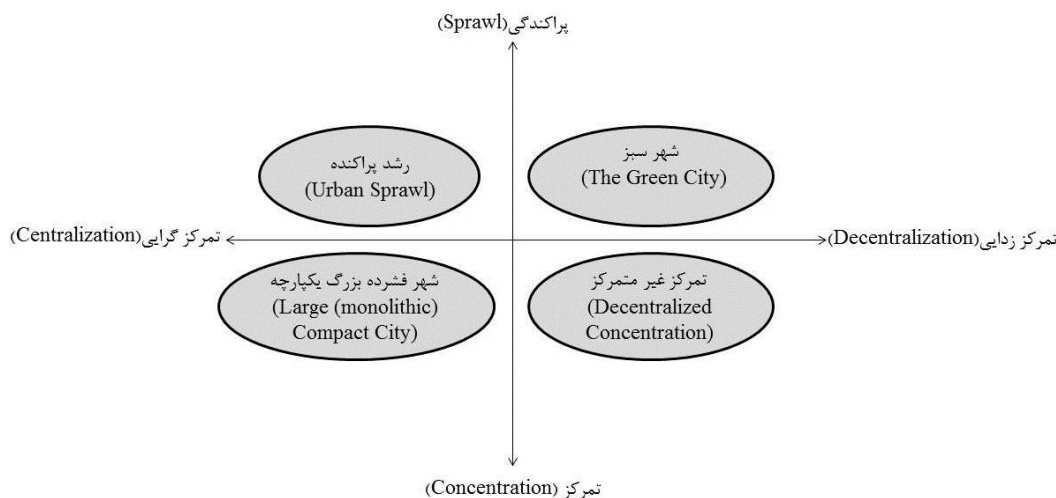
فیزیکی می‌باشد، ۲- مقایسه یک محدوده شهری با یک محدوده مجاور طبیعی- این مطالعات مقایسه بین مناطق شهری با مناطق توسعه نیافته خارج از شهر می‌باشند، ۳- تجزیه و تحلیل گرادیان- اثرات اکولوژیکی شهرنشینی در طول یک شیب مورد بررسی قرار می‌گیرد. (معمولاً فاصله از مرکز جغرافیایی شهر در این مطالعات مدنظر می‌باشد نه شیب کمی از متغیرها مانند تراکم مسکن، کیفیت هوا و غیره، ۴- مطالعات دینامیک توسعه شهری با مانیتورینگ یک منطقه مجزا در طول زمان- تعدادی از مطالعات به بررسی تغییر الگوها و فرایندهای اکولوژیکی در طول زمان و سنجش میزان تغییرات آن در اکوسیستم‌های طبیعی و نیمه طبیعی می‌پردازند و ۵- مطالعه ردپای اکولوژیکی- تحلیل اقتصادی اکولوژیکی برای دیدن اثرات سیستم اجتماعی و اقتصادی شهرها به عنوان بخشی از اکوسفر، با تأکید بر ظرفیت حمل و مقیاس در ارتباط با رشد جمعیت بشر و فعالیت‌های آن می‌باشد. با نگاهی به این طبقه‌بندی مشخص می‌شود که این مقاله در طبقه بندی مطالعات اکولوژیکی در دسته چهارم جای می‌گیرد (Nancy et al, 2008: 5).

مفهوم توسعه فضایی شهر در ارتباط با جنبه‌های زیست محیطی (در قالب تصویر ۱) در حالت مطلوب توسعه پایدار به طرف مرکز این محور مختصات تمایل دارد (تصویر ۱).

۲. پیشینه تحقیق

در سال‌های اخیر استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در بررسی گسترش شهرها بسیار مورد توجه بوده است، که به تعدادی از آنها اشاره می‌شود:

زمانی (۱۳۸۶) در رساله دکترای خود با عنوان "ارزیابی و پیشبینی گسترش فضایی- کالبدی شهرهای ایران، مطالعه موردی شهر زنجان" یکی از مدل‌های شبیه‌سازی فرایندهای تغییر و تبدیل کاربری اراضی با هدف آزمون کارایی آن در ساختارهای شهرنشینی شهر ایرانی با عنوان مدل CLUE-S استفاده کرده است. نتایج به دست آمده از فرایند کار نامبرده نشان می‌دهد، به شرط وجود



تصویر (۱): چهار مدل برای اشکال پایدار توسعه شهری منبع (Holden, 2004:106)

پایگاه اطلاعاتی جامع و مناسب برای دوره‌های زمانی مختلف در حوزه‌های آماری و تصویری، می‌توان از فناوری‌های نو در شبیه‌سازی، برآورد و پیشبینی رویدادهای احتمالی، که ممکن است در ادوار آتی شهرها و مدیریت و برنامه‌ریزی آنها با آن روبرو شوند، مورد استفاده قرار داد. بر این اساس در این پژوهش از سه سناریوی آماده شده برای زنجان، شبیه‌سازی روندهای گسترش آتی شهر با نرخ رشد ۴/۸ به عنوان نرخ رشد مساحت کالبدی دوره پنجاه ساله ۸۵-۱۳۳۵ در سامانه شبیه‌سازی اعمال شد. حاصل کار نشان می‌دهد که سامانه یاد شده در مدل‌سازی سطح تغییرات فیزیکی کاربری‌ها و ارائه سناریوهای مختلف، از قابلیت قابل قبولی برخوردار است. برای رسیدن به این اهداف در پژوهش حاضر، ابتدا پیشینه‌ای از فرایند گسترش تاریخی شهر زنجان در قالب داده‌های آماری-گرافیکی و منابع تاریخی ارائه شده و آنگاه برای ارزیابی گسترش فضایی-کالبدی شهر، دو مدل رگرسیون خطی و مدل کراس تب به عنوان روش‌های مکمل به کار بسته شده‌اند. نتایج تحقیق حاضر، همبستگی، شدت، وسعت و سازوکار تبدیل و تغییر کاربری اراضی شهری شهر زنجان را به عنوان برآیند و تجسم گسترش فضایی-کالبدی آن نشان می‌دهد (زمانی، ۱۳۸۶:۱).

آذری (۱۳۹۰) در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود با عنوان "مدل‌سازی گسترش فیزیکی شهرها برای رسیدن به توسعه پایدار شهری" با استفاده از سلول‌های خودکار (مطالعه موردی شهر مراغه) و چهار دوره تصویر ماهواره‌ای و استخراج کاربری اراضی با استفاده از لایه‌های اطلاعاتی تقاضا و تسهیلات اعطایی دولت، شیب، خطوط ارتباطی و فاصله از مرکز تجاری شهر به پیشبینی تغییر کاربری باغات به اراضی ساخته در سال ۲۰۲۱ اشاره نمود (آذری، ۱۳۹۰:۱).

کامیاب و همکاران (۱۳۸۹) در پژوهشی با عنوان "اتخاذ رهیافت اطلاعات محور با کاربرد روش رگرسیون لجستیک برای مدل‌سازی توسعه شهری گرگان" از سه گروه متغیر مستقل (شامل متغیرهای اجتماعی، اقتصادی، بیوفیزیکی و کاربری زمین) استفاده کرده و با ۱۰ متغیر مختلف، رشد شهری گرگان را مشخص کردند. در این تحقیق، الگوی رشد شهری منطقه مورد مطالعه برای سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۲۰، ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ استخراج و در مرحله ارزیابی صحت مدل از روش ROC استفاده نمودند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد از میان متغیرهای مؤثر، متغیر کاربری فعلی منطقه (به ویژه تبدیل زمین‌های زراعی و مرتعی) نقش مهمی در رشد شهر گرگان داشته است (کامیاب و همکاران، ۱۳۸۹:۸۹).

ارسنجانی و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهشی با عنوان "تلفیق رگرسیون لجستیک، زنجیره مارکف و مدل‌های ماشین‌های سلولی" برای شبیه‌سازی توسعه شهری، به تجزیه و تحلیل گسترش حومه منطقه کلانشهر تهران پرداختند و به منظور بهبود عملکرد، از مدل رگرسیون لجستیک و متغیرهای زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی با ایجاد سطح احتمال گسترش شهر برای سال‌های ۲۰۰۶، ۲۰۱۶ و ۲۰۲۶ نقشه شبیه‌سازی شده توسعه آتی را استخراج کرده و نشان دادند، موج جدیدی از توسعه برون شهری در مجاورت مرزهای غربی کلانشهر تهران در طول دهه‌های بعدی،

در حال شکل‌گیری است (Arsanjania and Etal, 2013:265).

زاین و همکاران (۲۰۰۵) در پژوهشی با عنوان "ارزیابی ارزش شهری در حوضه خلیج تمپا با استفاده از داده‌های سنجش از دور" با اشاره به تبدیل چشم‌اندازهای طبیعی به اراضی شهری در اثر رشد جمعیت، اقدام به تهیه نقشه‌های تغییرات کاربری اراضی منطقه اشاره شده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست نموده و رشد اراضی شهری در طی دوره مورد مطالعه را سه برابر برآورد کرده و با استفاده از مدل SLEUTH روند توسعه شهری را تا سال ۲۰۲۵ پیشبینی نموده‌اند (Xian and Etal, 2005:203).

باردو و همکاران (۲۰۰۳) در پژوهشی با عنوان "پایداری شهری در کلانشهرهای کشورهای در حال توسعه: مدل‌سازی و پیشبینی آینده رشد شهری در لاگوس" با اشاره به رشد سریع جمعیت و انباشت شهری بالغ بر ۲۷ میلیون نفر در بیست سال آتی و نیاز به اراضی شهری نزدیک به ۹۶۹ کیلومتر مربع، به شبیه‌سازی توسعه فیزیکی در شهر لاگوس پرداخته و با استفاده از روش سلول‌های اتوماتا و تأکید بر جنبه‌های زیست‌محیطی تا سال ۲۰۲۰ روند توسعه فیزیکی را در این شهر پیشبینی نموده‌اند (Barredo and Etal, 2003:297).

گونگ و همکاران (۲۰۰۹) در پژوهشی با عنوان «ارزیابی و پیشبینی امنیت زیست‌محیطی شهری براساس مدل اتوماتای سلولی: مطالعه موردی گوانگژو، چین» برای پیشبینی تغییرات امنیت زیست‌محیطی شهری با استفاده از مدل ماشین‌های سلولی (CA) به ارزیابی امنیتی زیست‌محیطی شهری در شهر گوانگژو، طی دوره زمانی (۲۰۰۵-۱۹۹۰) پرداختند. آنها با محدود کردن مدل پیشنهادی برای تغییر قوانین برنامه‌ریزی برای سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۱۰، دقت شبیه‌سازی از ۷۲/۰۹ درصد به دست آورده و با استفاده از یک شبکه ارزیابی یک بیتی برای سال ۲۰۰۵، به شبیه‌سازی مدل امنیت زیست‌محیطی برای سال ۲۰۲۰ پرداختند و با توجه به روند فعلی وضعیت امنیت زیست‌محیطی، اذعان به کاهش کلی در وضعیت امنیت زیست‌محیطی طی ۱۵ سال آینده علیرغم اجرای طرح‌های شهری داشتند (Gong and Etal, 2009:3612).

با نگاهی به مدل‌های اشاره شده، در جدول ۱ مشخص می‌شود که اکثر محققان در تحقیقات خود از روش‌های سلول‌های خودکار با ترکیبی از سایر مدل‌ها برای شبیه‌سازی پویایی شهری استفاده نموده‌اند. وجه تمایز این مقاله، استفاده از الگوی توسعه اکولوژیک محور می‌باشد که تلاش خواهد داشت از تمامی پارامترهای زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی مؤثر در پویایی شهر استفاده نماید. بعد دوم نوآوری این مقاله، استفاده از روش سیستم تحلیل چند معیاره^۱ به منظور تطبیق نتایج حاصل از پویایی شهری در مقایسه با الگوی توسعه اکولوژیک می‌باشد.

در زمینه توسعه پایدار شهری، اصول، اهداف و ابعاد آن نظرات مختلفی ارائه شده است. با توجه به ابعاد سه‌گانه توسعه پایدار شهری (اجتماعی، اقتصادی اکولوژیک) بیشتر توجهات و تمایلات به بعد زیست‌محیطی آن بوده است.

موضوع توسعه پایدار در نواحی شهری، یکی از مهمترین مباحث

۱۵

شماره هشتم

پاییز ۱۳۹۲

فصلنامه علمی-پژوهشی

مطالعات شهر

مجله علمی-پژوهشی

مجله علمی-پژوهشی

مجله علمی-پژوهشی

مجله علمی-پژوهشی

مجله علمی-پژوهشی

مجله علمی-پژوهشی

مجله علمی-پژوهشی

مجله علمی-پژوهشی

مجله علمی-پژوهشی

مجله علمی-پژوهشی

مجله علمی-پژوهشی

مجله علمی-پژوهشی

مجله علمی-پژوهشی

مجله علمی-پژوهشی

مجله علمی-پژوهشی

مجله علمی-پژوهشی

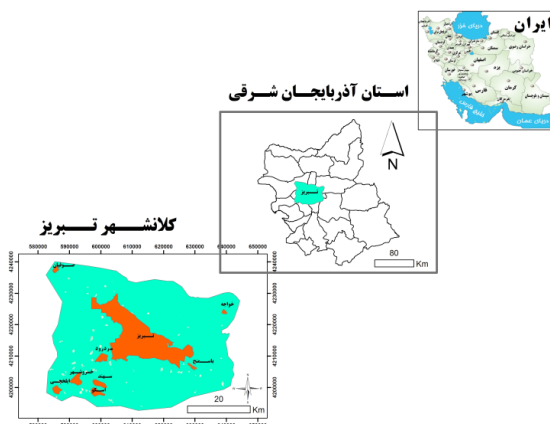
مجله علمی-پژوهشی

جدول (۱): مدل های مورد استفاده توسط محققین برای مدل سازی توسعه فضایی شهرها

ردیف	نام محقق و سال	مدل
۱	سلیترو همکاران (۲۰۱۲)	IPCC-SRES
۲	جی آر پونتیس و همکاران (۲۰۰۴)	LUCC
۳	مکول و همکاران (۲۰۰۷)	What if?
۴	زمانی (۱۳۸۶)، بابائی (۱۳۸۶)، باتیسانی و همکاران (۲۰۰۹)	CLUE-S
۵	کیانی (۱۳۸۳)، آذری (۱۳۹۰)، وبر و همکاران (۲۰۰۳)، طیبی و همکاران (۲۰۱۱)، فنگ و همکاران (۲۰۱۱)، دیتزل و همکاران (۲۰۰۶)، ونگ و همکاران (۲۰۱۰)، بارردو و همکاران (۲۰۰۳)، سولکی و همکاران (۲۰۰۴)، لیو و همکاران (۲۰۰۸)، گونگ و همکاران (۲۰۰۹)، سیلوا و همکاران (۲۰۰۲)	Cellular Automata
۶	فلاحتکار و دیگران (۱۳۸۸)، ژان و همکاران (۲۰۱۱)، ارسنجانی و همکاران (۲۰۱۲)	Markov Chain & Cellular Automata
۷	اینگ و همکاران (۲۰۱۱)، لاگاریس (۲۰۱۲)، پولیمنزو و همکاران (۲۰۱۰)	Cellular Automata & Logistic Regression
۸	کامیاب (۱۳۸۹)، کارولینا و همکاران (۲۰۱۲)، هو و همکاران (۲۰۰۷)	Logistic Regression
۹	کامیاب (۱۳۹۰)، لی و همکاران (۲۰۱۰)، ونگ و همکاران (۲۰۱۱)، بهادر تاپا و همکاران (۲۰۱۲)، گیرکیسیس و همکاران (۲۰۱۲)	Artificial Neural Network
۱۰	ماهینی (۱۳۸۷)، سیلوا و همکاران (۲۰۰۲)، ایکسیان و همکاران (۲۰۰۵)، جانزو و همکاران (۲۰۱۰)، جاسیا و همکاران (۲۰۱۲)، رفیعی و همکاران (۲۰۱۲)، هیو و همکاران (۲۰۱۲)	SLEUTH

ماخذ مطالعات نگارندگان

کار می رود. یک کلانشهر معمولاً از یک شهر مرکزی و تعدادی شهر اقماری تشکیل شده است. منطقه کلانشهری تبریز با ۲۲ هزار و ۷۱۲ هکتار شامل شهرهای تبریز، صوفیان، خواجه، باسمنج، سردرود، خسروشهر، سهند، ایلخچی، اسکو و سایر روستاهای محدوده اش می باشد. از شمال به شهرستان مرند و از جنوب به مراغه و از شرق به شبستر و از غرب به هریس منتهی می شود که ۴/۸۱ درصد کل وسعت استان آذربایجان شرقی را در بر می گیرد (تصویر ۲). از لحاظ طبیعی ارتفاعات سهند از جنوب، دریاچه ارومیه از شرق و ارتفاعات می شوداغ از شمال محدوده مورد مطالعه را در بر گرفته اند. در کل کلانشهر تبریز دارای نه شهر می باشد که بررسی سالنامه های آماری نشان می دهد تعداد جمعیت محدوده مورد مطالعه در سال ۱۳۵۵، ۶۴۷ هزار و ۵۴۲ نفر بوده که در سال ۱۳۹۰ با روند صعودی به یک میلیون و ۶۱۵ هزار و ۳۳۶ نفر افزایش یافته و با توجه به این روند،



تصویر (۲): موقعیت جغرافیایی کلانشهر تبریز (ماخذ: نگارندگان)

مطرح در میان صاحب نظران شهرسازی می باشد. در این رابطه اهم مسائلی که باید به وسیله برنامه ریزان و سیاست گذاران شهری مورد توجه و تعمق قرار گیرد، عبارتند از:
- استفاده بهینه و درست از منابع و امکانات به گونه ای که نیازهای نسل آتی را به مخاطره نیندازد.
- چگونگی استفاده و نگهداری از زمین.
- جهت دهی توسعه و گسترش شهرها، به طوری که پیوند آنها با طبیعت از هم ننگسلد.
- تعدیل نابرابری ها در استفاده از زمین و تأمین عدالت اجتماعی.
- توسعه حمل و نقل و شریان های شهری بدون کاهش ایمنی افراد.
- مبارزه با مفاسد و سوداگری زمین و حفظ ارزش ها و هویت محلی و ...

راه حل منطقی برای رسیدن به اهداف فوق، تنها در سایه عنایت و توجه خاص به برنامه ریزی شهری می باشد که هسته اصلی آن را برنامه ریزی کاربری اراضی تشکیل می دهد که سعی در ساماندهی فضایی- مکانی فعالیت ها و عملکردهای شهر از یک سو در تناسب و هماهنگی با یکدیگر و از سوی دیگر در ارتباط منطقی با سیستم های شهری دارد (پورمحمدی، ۱۳۸۵: ۳). جدول (۱)

۳. شناخت منطقه

کلانشهر عنوانی است که در مورد شهرهای بزرگ و پرجمعیت به

1 a major city together with its suburbs and nearby cities, towns, and environs over which the major city exercises a commanding economic and social influence. (Ref: Encyclopaedia Britannica Ultimate Reference Suite)

ضرورت مدل سازی رشد شهری برای جلوگیری از رشد پراکنده شهری و تخریب اراضی مرغوب کشاورزی بیش از پیش احساس می شود (مهندسين مشاور زیستا، ۱۳۸۹: ۵).

۴. مواد و روش ها

برای رسیدن به اهداف اصلی مطالعه، تصاویر ماهواره ای چند زمانه ای سنجنده TM و ETM+ در تاریخ های یاد شده در جدول ۲ و تصویر ۳ از کلانشهر تبریز، در فریم ۳۴-۱۶۸ انتخاب و به همراه پارامترهای مؤثر در توسعه شهری و نرم افزارهای Envi، Idrisi، ArcGIS و eCognition به کار گرفته شدند (جدول ۲ و تصویر ۳).

جدول (۲): منابع اطلاعات موجود از انواع تصاویر ماهواره ای

سال تصویر اخذ شده	سنجنده	قدرت تفکیک
۱۹۸۴/۶/۲۳	TM	۳۰ متر
۱۹۹۰/۰۸/۱۹	TM	۳۰ متر
۲۰۰۰/۰۷/۱۴	ETM+	۳۰ متر
۲۰۱۱/۰۶/۱۹	TM	۳۰ متر

منبع: نگارندگان

زمین مرجع کردن تصاویر و تصحیحات ارتفاعی با استفاده از نقشه های توپوگرافی با خطای RMS ۰/۴۲ پیکسل (در حد کمتر از نیم پیکسل) با استفاده از نقشه های توپوگرافی ۱/۲۵۰۰

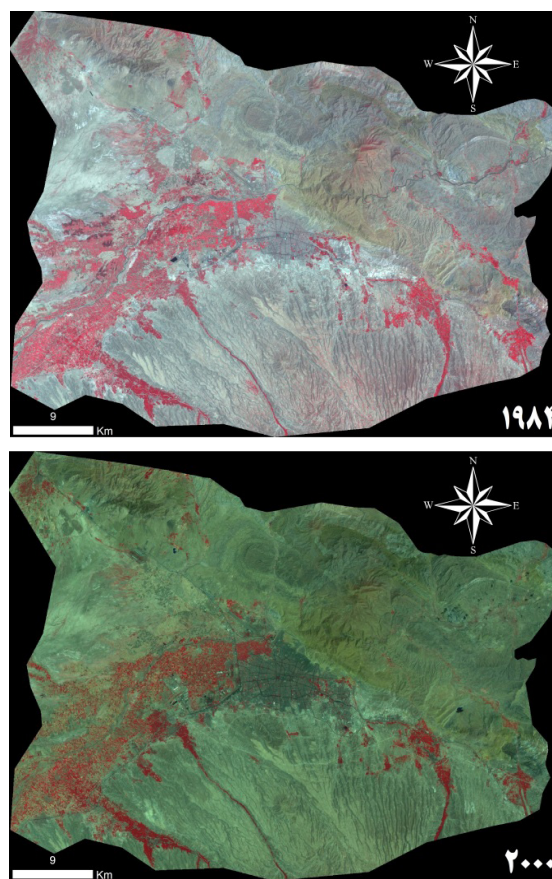
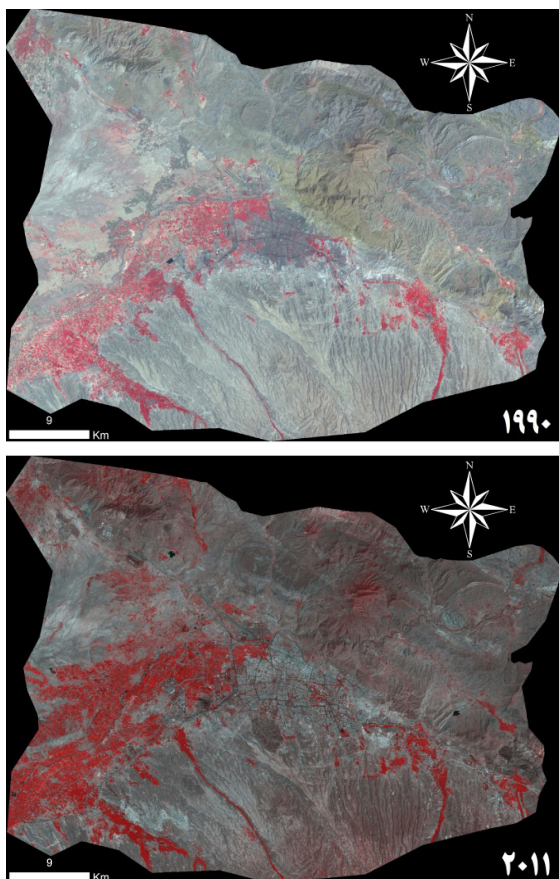
و تصحیحات اتمسفری بر پایه روش کاهش ارزش عددی پیکسل های تیره در نظر گرفتن تأثیر محدوده های آبی صورت گرفت.

با توجه به توانمندی تفکیک مطلوب کاربری ها، در روند طبقه بندی تصاویر از روش تحلیل شی گرای تصاویر استفاده شد که علاوه بر اطلاعات طیفی به اطلاعات مربوط به بافت، شکل و محتوا نیز استناد می گردد. واحدهای اساسی پردازش در تحلیل های شی گرا، شی های تصویری (سگمنت ها) هستند نه پیکسل ها. طبقه بندی شی گرا فرآیندی است که کلاس های پوشش اراضی را به اشیای تصویری پیوند می دهد و هر یک از شی های تصویری با درجه عضویت معین به کلاس های در نظر گرفته شده اختصاص می یابند. فرایند طبقه بندی در محیط نرم افزارهای بسیار تخصصی مانند: eCognition و Definiens Professional Earth نسخه ۷ به صورت یک فرایند تکرار پذیر انجام گرفت تا بالاترین درجه عضویت برای هر کدام از شی های تصویری حاصل آید (رسولی و محمودزاده، ۱۳۸۹: ۵۰).

در روش سگمنت سازی FNEA، همگنی طیفی (hcolor) یک شی تصویری از مجموع انحراف معیار برای هر k باند تصویر (σk) که در وزن باندها (wk) ضرب می شود، محاسبه می گردد.

$$h_{color} = \sum_k w_k \cdot \sigma_k \quad \text{فرمول ۱:}$$

در سگمنت سازی طیفی برای دخالت دادن اشکال بافتی تصاویر



تصویر (۳): تغییرات بصری کلانشهر تبریز در سال های ۲۰۱۱-۱۹۸۴-۲۰۱۱. ماخذ: نگارندگان براساس پردازش تصاویر ماهواره ای سال های ۱۹۸۴، ۱۹۹۰، ۲۰۰۰، ۲۰۱۱.

از محیط هندسی اشیا، معیار همگنی شکلی (hshape) نیز محاسبه می‌شود که شامل دو معیار فشردگی و نرمی می‌باشد. معیار انحراف فشردگی شکل (cpt) از نسبت طول حاشیه هندسی اشیا و ریشه دوم تعداد پیکسل‌ها (n) محاسبه می‌شود. فرمول ۲:

$$cpt = \frac{l}{\sqrt{n}}$$

معیار نرمی- کوتاه‌ترین طول حاشیه اشیا - (smooth) از نسبت طول هندسی اشیا (l) به طول حاشیه (b) محاسبه می‌شود. فرمول ۳:

$$smooth = \frac{l}{b}$$

معیار همگنی شکلی از ترکیب دو فاکتور بالا به شکل فرمول زیر بیان می‌شود.

$$h_{shape} = w_{cpt} \cdot h_{cpt} + (1 - w_{cpt}) \cdot h_{smooth}$$

برای کمک به مرحله بهینه‌سازی و کاهش دادن یکپارچه همگنی در فرایند سگمنت‌سازی، در هر ترکیب جداگانه، یک شی تصویری با شی مجاور ترکیب می‌شود تا افزایش همگنی در حداقل مشخص شده، انجام گیرد. درجه مناسبت برای هر جفت شی مجاور با تغییر همگنی (Δh) بعد و قبل از ترکیب مجازی (mg) با معیار طیفی (Δh_{color}) بیان می‌شود که در همگنی انحراف معیار وزنی باندها در اندازه اشیا پیکسل (n) به دست می‌آید. فرمول ۵:

$$\Delta h_{color} = \sum_k w_k (n_{mg} \cdot \sigma_k^{mg} - [n_{ob1} \cdot \sigma_k^{ob1} + n_{ob2} \cdot \sigma_k^{ob2}])$$

تغییر در همگنی شکل که به علت ترکیب مجازی ایجاد می‌شود، برای فشردگی به صورت ذیل محاسبه می‌شود. فرمول ۶:

$$\Delta h_{cpt} = n_{mg} \cdot \frac{l_{mg}}{\sqrt{n_{mg}}} - \left(n_{ob1} \cdot \frac{l_{ob1}}{\sqrt{n_{ob1}}} + n_{ob2} \cdot \frac{l_{ob2}}{\sqrt{n_{ob2}}} \right)$$

و برای نرمی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta h_{smooth} = n_{mg} \cdot \frac{l_{mg}}{b_{mg}} - \left(n_{ob1} \cdot \frac{l_{ob1}}{b_{ob1}} + n_{ob2} \cdot \frac{l_{ob2}}{b_{ob2}} \right)$$

زمانی که کوچکترین رشد ممکن از آستانه مقیاس سگمنت‌سازی مشخص شده به وسیله کاربر تجاوز نماید، مرحله ترکیب متوقف می‌شود که با عنوان پارامترهای مقیاس نام‌گذاری شده است. بایستی دقت نماییم که پارامتر مقیاس بزرگ، اشیا تصویری بزرگتری را در سگمنت‌سازی تولید می‌کند. در نهایت برای سگمنت‌سازی چند مقیاسی از فرمول زیر برای تابع سگمنت‌سازی (Sf) استفاده می‌شود:

$$Sf = w_{color} \cdot h_{color} + (1 - w_{color}) \cdot h_{shape}$$

$$w_{color} \in [0, 1], w_{shape} \in [0, 1], w_{color} + w_{shape} = 1$$

در مرحله پایانی با تعریف اطلاعات برای کلاس‌های مختلف و تعریف شرایط طبقه‌بندی برای هر کدام از کلاس‌ها با تفکیک

شی‌های نمونه‌های آموزشی طبقه‌بندی تصاویر انجام شده و ارزیابی صحت نتایج طبقه‌بندی، با استفاده از ماتریس خطای طبقه‌بندی به اتمام می‌رسد (Benz and Etal, 2004:239). در مطالعه حاضر با بررسی میدانی و برداشت نمونه‌های تعلیمی با GPS، با توجه به پراکنش کاربری‌ها از لحاظ پوشش و کاربری اراضی در محدوده کلانشهر تبریز، شش کلاس کاربری به این شرح انتخاب شد: اراضی بایر، اراضی ساخته شده، اراضی کشاورزی، اراضی باغی، اراضی مرتعی و اراضی آبی (تصویر ۴ و جدول ۳).

جدول (۳): تنظیم تصویر قبل از اجرای طبقه‌بندی

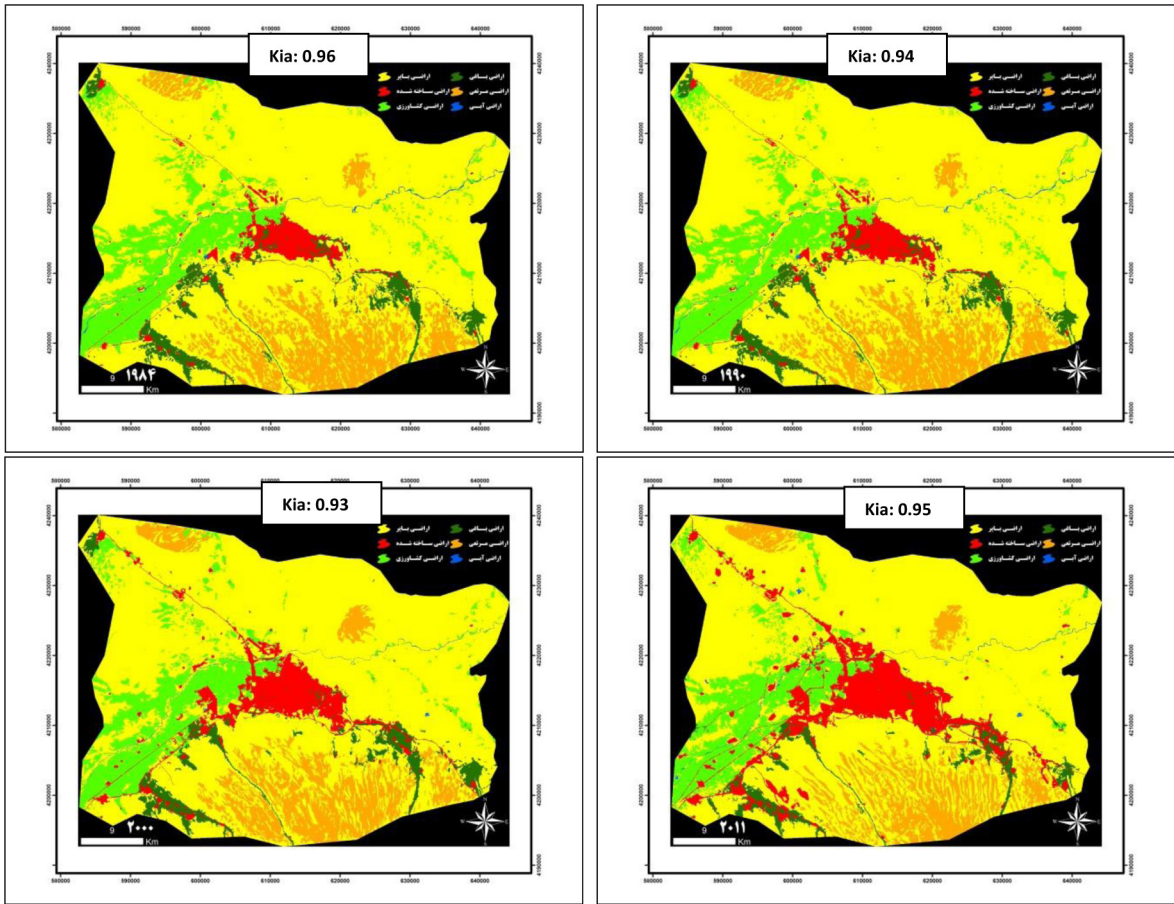
تنظیمات	TM 1984, TM1990, ETM+2000, TM2011
ترکیب باندهای مناسب	۲-۳-۴
وزن باندها	۱-۳-۱
پارامتر مقیاس	۱۰
معیار همگنی شکل و فشردگی	معیار شکل ۰/۲، معیار فشردگی ۰/۵

با همپوشانی نقاط تعلیمی و ایجاد تصاویر کاذب رنگی مختلف سعی شد در انتخاب نمونه‌های آموزشی، پراکندگی مناطق برداشت نمونه در تمام تصویر رعایت شود تا توزیع نمونه‌ها نرمال باشد. بعد از طبقه‌بندی تصاویر سال‌های ۱۹۸۴، ۱۹۹۰، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۱ نقشه‌های رستری استخراج شده برای تولید نقشه نهایی تغییرات برداری شدند.

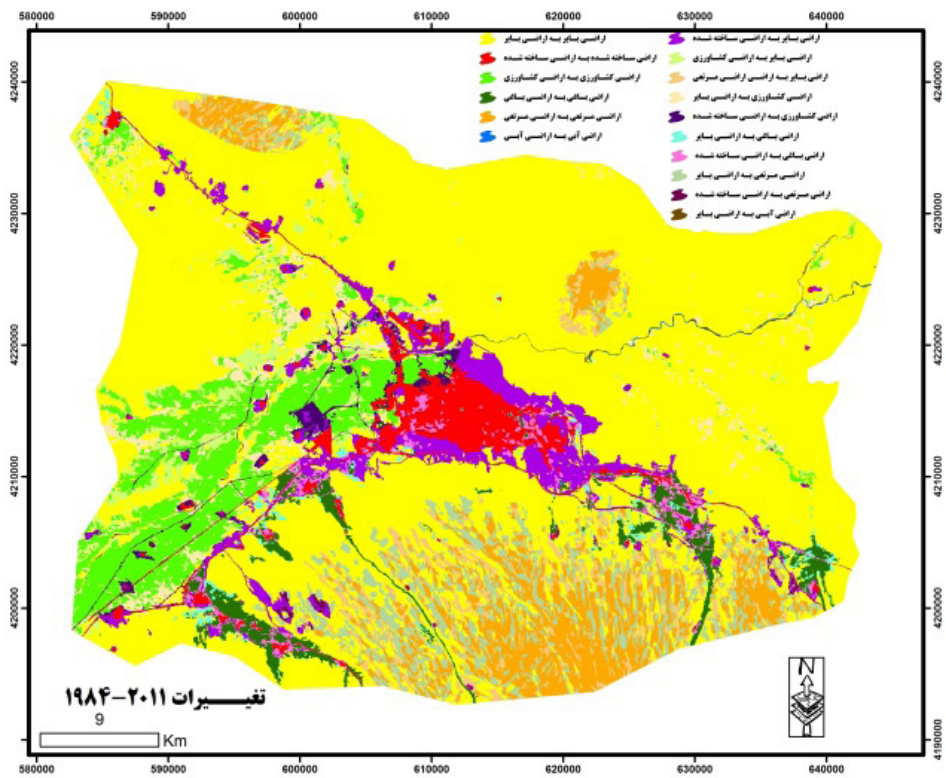
توزیع فضایی تغییرات حادث شده در طی سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۱ در تصویر ۵ نمایش داده شده است. در این نقشه‌ها با استفاده از تابع پیوند (Union) شش لایه اطلاعاتی طبقه‌بندی شده مربوط به کاربری‌های سال‌های ۲۰۱۱-۱۹۸۴ بر روی همدیگر همپوشانی شده‌اند (تصویر ۵).

با بررسی‌ها و تحلیل‌های انجام شده بر روی نقشه‌های تغییرات کاربری در GIS جداول مقایسه تغییرات کاربری و پوشش اراضی بر اساس تصاویر طبقه‌بندی شده سال‌های متوالی منطقه به دست آمد (جدول ۴).

تغییرات روی داده در اراضی منطقه اینگونه می‌باشد که در طی دوره ۲۰۱۱-۱۹۸۴ کلاس اراضی بایر با مساحت ۱۵۱۹۶۲/۶ هکتار در سال ۱۹۸۴ به ۱۴۷۰۵۲ هکتار در سال ۲۰۱۱ کاهش پیدا کرده است. اراضی ساخته شده که در سال ۱۹۸۴ حدود ۷۲۲۰/۳۴ هکتار بوده، در پایان دوره به ۲۲۳۴۶/۸۲ هکتار افزایش پیدا کرده است. اراضی کشاورزی با مساحت ۲۵۳۶۹/۸۳ هکتار در سال ۱۹۸۴ به ۲۲۴۸۹/۰۲ هکتار در سال ۲۰۱۱ کاهش پیدا کرده است. اراضی باغی با مساحت ۱۰۲۴۲/۶۳ هکتار در سال ۱۹۸۴ به ۶۶۵۳/۴۳ هکتار در سال ۲۰۱۱ کاهش پیدا کرده است. اراضی مرتعی با مساحت ۲۵۲۴۸/۱۵ هکتار در سال ۱۹۸۴ به ۲۱۵۸۳/۸۰ هکتار در سال ۲۰۱۱ کاهش پیدا کرده است. اراضی آبی با مساحت ۶۶۹/۲۴ هکتار در سال ۱۹۸۴ به ۵۸۷/۷۰ هکتار در سال ۲۰۱۱ کاهش پیدا کرده است.



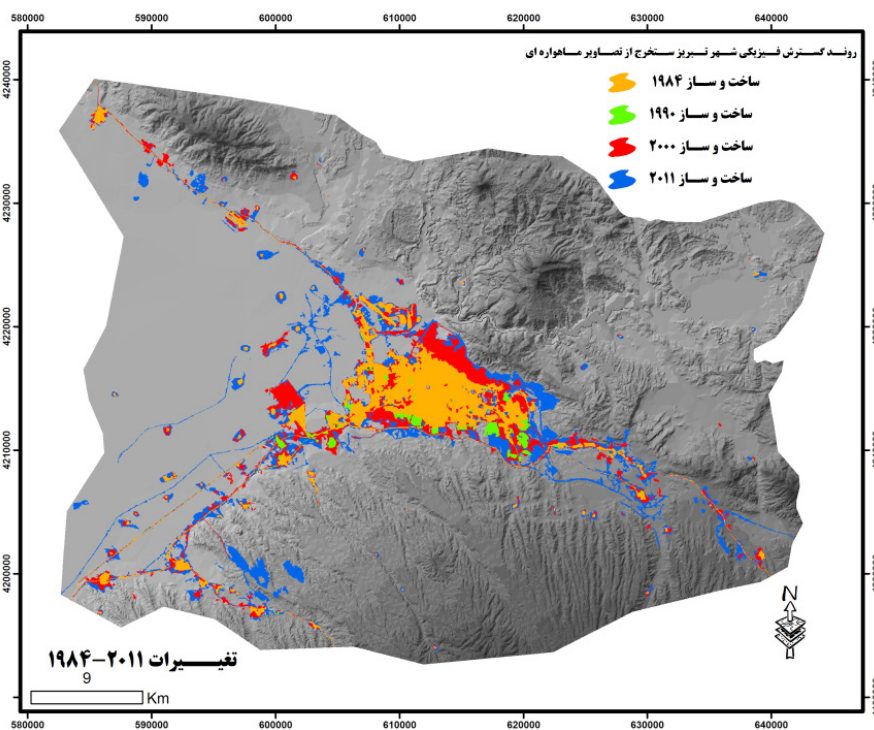
تصویر (۴): کاربری زمین استخراج شده در سال های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۱ - ماخذ: نگارندگان براساس پردازش تصاویر ماهواره ای سال های ۱۹۸۴، ۱۹۹۰، ۲۰۰۰، ۲۰۱۱.



تصویر (۵): تغییرات کاربری اراضی کلانشهر تبریز بین سال های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۱ - ماخذ: نگارندگان، براساس پردازش تصاویر ماهواره ای سال های ۱۹۸۴-۲۰۱۱.

جدول (۴): مقایسه تغییرات کاربری و پوشش اراضی براساس تصاویر طبقه بندی شده ۱۹۸۴ و ۲۰۱۱

۱۹۸۴ - ۲۰۱۱							
مجموع کلاس ها	اراضی آبی	اراضی مرتعی	اراضی باغی	اراضی کشاورزی	اراضی ساخته شده	اراضی بایر	
۱۴۷۰۵۲	۲۶۱/۳۶	۱۰۵۸۰/۷۶	۱۷۵۳/۲۹	۶۷۳۸/۵۷	۰	۱۲۷۷۱۸	اراضی بایر
۲۲۳۴۶/۸۲	۴۹/۴۱	۲۷۳/۳۳	۲۷۰۸/۰۱	۲۰۲۶/۸۹	۷۲۲۰/۳۴	۱۰۰۶۸/۸۴	اراضی ساخته شده
۲۲۴۸۹/۰۲	۱۳۴/۹۱	۸/۱۹	۵۲۵/۸۷	۱۶۱۱۶/۷۵	۰	۵۷۰۳/۳۰	اراضی کشاورزی
۶۶۵۳/۴۳	۷/۶۵	۱۰۶/۰۲	۵۱۸۹/۰۴	۳۲۴/۲۷	۰	۱۰۲۶/۴۵	اراضی باغی
۲۱۵۸۳/۸۰	۰	۱۴۲۷۹/۱۳	۶۶/۱۵	۸۷/۴۸	۰	۷۱۵۱/۰۴	اراضی مرتعی
۵۸۷/۷۰	۲۱۵/۹۱	۰/۷۲	۰/۲۷	۷۵/۸۷	۰	۲۹۴/۹۳	اراضی آبی
۰	۶۶۹/۲۴	۲۵۲۴۸/۱۵	۱۰۲۴۲/۶۳	۲۵۳۶۹/۸۳	۷۲۲۰/۳۴	۱۵۱۹۶۲/۶	مجموع کلاس ها
۰	۴۵۳/۳۳	۱۰۹۶۹/۰۲	۵۰۵۳/۵۹	۹۲۵۳/۰۸	۰	۲۴۲۴۴/۵۶	تغییرات کلاس
۰	-۸۱/۵۴	-۳۶۶۴/۳۵	-۳۵۸۹/۲۰	-۲۸۸۰/۸۱	۱۵۱۲۶/۴۸	-۴۹۱۰/۵۸	تفریق تصاویر



تصویر (۶): تغییرات سطح کاربری اراضی ساخته شده - ماخذ: نگارندگان، براساس پردازش تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۸۴-۲۰۱۱

مسئله باعث چند برابر شدن مساحت شهرهای کلانشهر شده، در حالی که طی این دوره آماری جمعیت شهرهای مجموعه از چنان رشدی برخوردار نبوده و مسئله شدت پراکنش شهری را می‌توان در رشد نامنظم شهرهای مجموعه، در بستر اراضی باغی اطراف شهرها مشاهده نمود. این مسئله به خصوص در شهرهای تبریز، سردرود، ایلخچی، خسروشهر و اسکو باعث رشد گسسته شهرها شده و به قابلیت اکولوژیکی آنها آسیب شدیدی وارد کرده است (تصویر ۷).

با همپوشانی کلاس اراضی ساخته شده طی سال‌های ۲۰۱۱-۱۹۸۴ بر روی مدل رقومی ارتفاع در تصویر ۶ روند گسترش فضایی کلانشهر تبریز به صوت بصری استخراج گردید (تصویر ۶). نمودار راداری مقایسه تغییرات درصد مساحت نسبت به درصد تغییرات جمعیت در کلانشهر تبریز بین سال‌های ۱۳۶۳ تا ۱۳۹۰ نشان می‌دهد، تغییرات مساحت شهرهای کلانشهر تبریز خیلی سریعتر از تغییرات جمعیت شهرهای کلانشهر تبریز می‌باشد. این

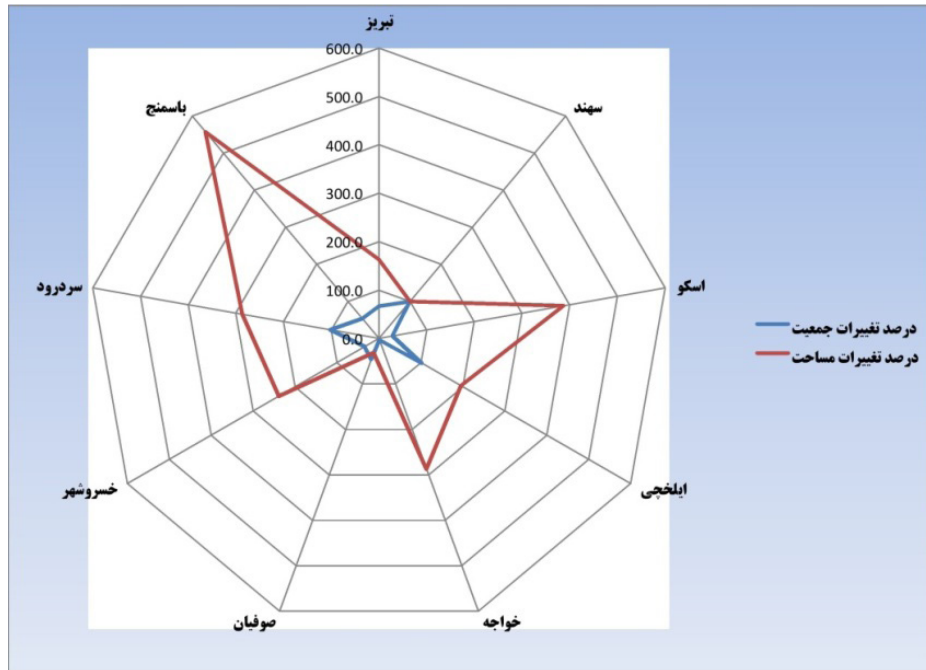
شماره هشتم
پاییز ۱۳۹۲
فصلنامه علمی-پژوهشی
مطالعات شهری
رویکرد زیست محیطی در ملسازی تغییرات کاربری اراضی محدوده کلانشهر تبریز
با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه‌ای، ارزیابی چند معیاری و سبول‌های
خونگاز زنجیره ماکروف (۱۴۷-۱۴۶۳)

۲.

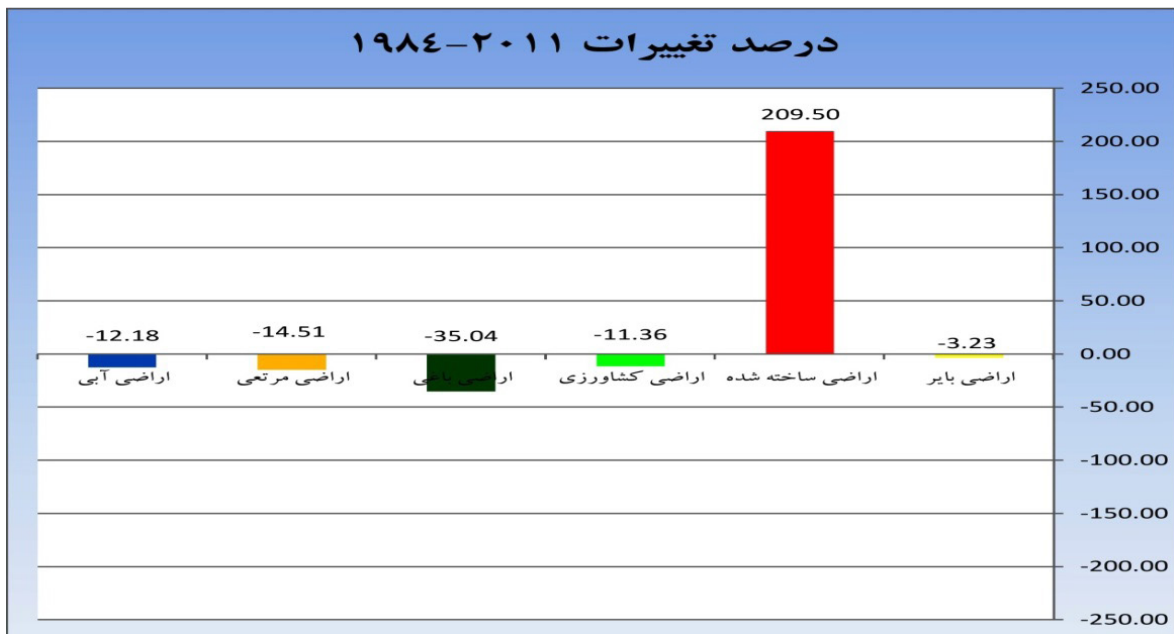
شماره سوم

فصلنامه علمی-پژوهشی

نقش الگوهای شکلی و اجتماعی در ساماندهی فضاهای باز مجموعه‌های مسکونی



تصویر ۷: نمودار راداری مقایسه تغییرات درصد مساحت نسبت به درصد تغییرات جمعیت در کلانشهر تبریز بین سال‌های ۱۳۶۳ تا ۱۳۹۰ برای نمایش شدت پراکنش شهری



تصویر ۸: تغییرات درصد سطوح کاربری اراضی کلانشهر تبریز بین سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۱ - مآخذ: نگارندگان، براساس پردازش تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۸۴-۲۰۱۱

خاک، عمق خاک، روانگرایی خاک، شرایط زهکشی خاک، ارتفاع، بارش، دما، فاصله از رودخانه، کاربری اراضی، فاصله از مراکز شهری، فاصله از مراکز درمانی، فاصله از مناطق تجاری، فاصله از مناطق صنعتی، فاصله از مراکز اداری، فاصله از مراکز تفریحی رفاهی، فاصله از آثار فرهنگی، فاصله از مراکز آموزشی، فاصله از راه‌های اصلی، فاصله از خطوط انتقال نیرو و تعداد سلول‌های شهری در پنجره ۳×۳ استفاده شده است (جدول ۵). برای تهیه و آماده‌سازی بانک اطلاعاتی لایه‌های یاد شده از نرم‌افزار ArcGIS10 و مدل فازی در محیط نرم‌افزار Idrisi استفاده شد و سپس

مجموع درصد تغییرات کاربری‌ها نشان می‌دهد که در رشد اراضی ساخته شده، بیشترین سهم به طور نسبی از کاهش اراضی باغی، اراضی کشاورزی و اراضی مرتعی ناشی شده است (تصویر ۸).

۵. روش ترکیب خطی وزنی (WLC) در فازی سازی داده‌ها

برای شناسایی اراضی مناسب توسعه با رویکرد زیست‌محیطی در کلانشهر تبریز با استناد به تحقیقات انجام گرفته از متغیرهای زمین‌شناسی، فاصله از گسل، درصد شیب، جهات شیب، بافت

1 .Weighted Linear Combination

متغیر وابسته تغییرات شهری طی سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۱ به همراه متغیرهای مستقل یاد شده برای مدل‌سازی تا سال ۲۰۳۸ در قالب سلول‌های خودکار زنجیره مارکوف آماده‌سازی شدند.

مدل ارزیابی چند معیاره به منظور بررسی هدف یا اهداف تعریف شده‌ای براساس چندین معیار طراحی شده است. ترکیب لایه‌ها در این مدل‌ها به صورت‌های مختلف (wlc, Or, And, ...). بوده که در تحقیق حاضر از روش ترکیب خطی وزن دار فازی WLC به دلیل انعطاف‌پذیری بیشتر نسبت به سایر روش‌ها استفاده گردید. استانداردهای لایه‌ها یکی از بخش‌های مهم این مدل می‌باشد. به علاوه وزن هر یک از فاکتورها نیز از حساسیت بالایی برخوردار است و مجموع وزن فاکتورها در این روش WLC میبایستی ۱ باشد. برای رسیدن به این هدف از اوزان به دست آمده در روش AHP^۱ استفاده شد.

روش ترکیب خطی وزنی، رایج‌ترین تکنیک در تحلیل ارزیابی چند معیاری است. این تکنیک، روش امتیازدهی نیز نامیده می‌شود. این روش بر مبنای مفهوم میانگین وزنی استوار است. تحلیل‌گر یا تصمیم‌گیرنده مستقیماً بر مبنای اهمیت نسبی هر معیار مورد بررسی، وزن‌هایی به معیارها می‌دهد. سپس از طریق ضرب کردن وزن نسبی در مقدار آن خصیصه، یک مقدار نهایی برای هر گزینه (مثلاً) عنصر تصویر در تحلیل فضایی) به دست می‌آید. پس از آنکه مقدار نهایی هر گزینه مشخص شد، گزینه‌ای که بیشترین مقدار را داشته باشد، مناسب‌ترین گزینه برای هدف مورد نظر خواهد بود (شهبایی و همکاران، ۱۳۸۸: ۴۴). هدف مورد نظر می‌تواند تعیین تناسب زمین برای یک کاربرد خاص یا ارزیابی پتانسیل یک رخداد ویژه باشد. در این روش قاعده تصمیم‌گیری، مقدار هر گزینه A_i را به وسیله رابطه ۱ محاسبه می‌کند:

$$A_i = \sum_{j=1}^n w_j \times x_{ij} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه ۱ w_j وزن شاخص زام، x_{ij} مقدار i ام مقداری است که مکان i ام در رابطه با شاخص زام به خود پذیرفته است. به عبارت دیگر این مقدار می‌تواند بیانگر درجه مناسب بودن مکان i ام در ارتباط با شاخص زام باشد. n تعداد کل شاخص‌ها بوده و A_i مقداری است که در نهایت به مکان i ام تعلق می‌گیرد. همانطور که قبلاً بیان شد، در این روش می‌بایست مجموع وزن‌ها برابر یک باشد، که در صورت عدم وجود چنین شرایطی باید در مرحله آخر، A_i بر مجموع کل وزن‌ها تقسیم گردد. در این صورت خروجی A_i نیز عددی بین صفر و یک خواهد بود. البته از آنجا که بیشتر یا کمتر بودن مقدار خروجی می‌تواند دلیلی برای مناسب‌تر بودن یا نامناسب‌تر بودن یک گزینه باشد، می‌توان از نرمال کردن وزن‌ها صرف نظر کرد. در نهایت گزینه ایده‌آل، گزینه‌ای خواهد بود که دارای بیشترین A_i باشد (پرهیزگار و غفاری گیلانده، ۱۳۸۵: ۷۳). روش ترکیب خطی وزنی می‌تواند با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و قابلیت‌های همپوشانی این سیستم اجرا شود. فنون همپوشانی در سیستم اطلاعات جغرافیایی اجازه می‌دهد که برای تولید یک لایه نقشه‌ای ترکیبی (نقشه برون‌داد) با هم ترکیب و تلفیق شوند (شهبایی و نیازی،

۳:۱۳۸۸).

فرایند تحلیل سلسله مراتبی در سال ۱۹۷۱ به وسیله ساعتی به عنوان یک ابزار تحلیل تصمیم وسیع برای مشکلات مدل‌های بی‌ساخت همانند سیاست، اقتصاد، اجتماع و علم مدیریت به وجود آمد که براساس آن ارزش‌ها برای مجموعه‌ای از اهداف به صورت دو به دو مقایسه می‌شوند (Yu, 2002: 1970). در سال ۲۰۰۱ ساعتی و وارگس با به کارگیری هر دو مفهوم عقلانیت و شهود AHP را برای انتخاب بهترین راه‌حل، از بین چندین راه‌حل به کار گرفتند (Tolga, 2004, 90).

ارزیابی کارایی راه‌حل‌ها در AHP دارای مراحل زیر می‌باشد:

الف- ایجاد ماتریس مقایسه دو به دو برای معیارهای تصمیم‌گیری،
ب- محاسبه ارجحیت معیارها نسبت به یکدیگر و
ج- تحلیل پایداری (Hwang, 2004: 672).

جدول ۵ مقادیر آستانه و نوع تابع فازی، برای استانداردسازی نقشه‌های معیار در منطق فازی را نشان داده است. برای انجام عملیات تلفیق فازی و استخراج نقشه مطلوبیت مکانی توسعه شهری به روش WLC، با توجه به قابلیت‌های گسترده نرم‌افزار Idrisi در مسائل آنالیز تصمیم‌گیری چند معیاره، از این نرم‌افزار استفاده گردید و نقشه‌های محدودیت و نقشه‌های معیار با اعمال نمودن اوزان متناظر به عنوان وزنه‌ای معیار تلفیق شدند (تصویر ۹ و ۱۰).

پس از استخراج نقشه‌ها با اعمال ضریب همبستگی بین لایه‌های یاد شده، لایه‌های دارای ضریب همبستگی بالای ۰/۹ از روند تحلیل حذف شد و بین لایه‌های باقیمانده در محیط نرم‌افزار Export Choice ارجحیت لایه‌ها نسبت به یکدیگر تعیین و وزن نهایی هر لایه با ضریب ناپایداری ۰/۴ به دست آمد که با توجه به کمتر بودن آن از ۰/۱ مدل نهایی به روش ترکیب خطی وزندار اجرا شد (تصویر ۱۱ و ۱۲).

۶. سلول‌های خودکار زنجیره مارکوف

سلول‌های خودکار مدل‌هایی هستند که در آن سلول‌های مجاور و پیوسته، از قبیل سلول‌هایی که ممکن است شامل شبکه چهار گوش نیز باشند، حالت یا خصیصه‌های آنها را از طریق کاربرد تکراری قوانین ساده تغییر می‌دهند. مدل‌های CA می‌توانند مبتنی بر سلول‌های باشند که در چندین بعد تعریف می‌شوند. قواعد تغییر حالت سلول از یک حالت به حالت دیگر می‌توانند به صورت ترکیباتی از رشد و یا کاهش، از قبیل تغییر به یک سلول توسعه یافته و یا بدون توسعه باشند. این تغییر تابع و منبع، تغییراتی است که در سلول مجاور رخ می‌دهد. همسایگی معمولاً به صورت سلول‌های مجاور و یا سلول‌هایی که نزدیک هم می‌باشند، تعریف می‌شوند. این مدل اولین بار به وسیله یک ریاضیدان انگلیسی به نام آلن تارینگ پیشنهاد گردید. به عنوان مثال ساده‌ترین حالت توسعه شهرها رشد پیوسته می‌باشد. در صورتی که هشت سلول مجاور یک سلول توسعه یابد، سلول مورد نظر نیز توسعه می‌یابد و به رشد خود ادامه می‌دهد. در صورتی که همسایگی کوچک‌تر باشد و فقط سلول‌های شمال، جنوب، غرب و یا شرق توسعه

جدول (۵): حد آستانه و نوع تابع فازی برای استاندارد سازی نقشه های معیار در منطق فازی

نام تابع فازی	نوع تابع فازی	حد آستانه		لایه نقشه	ابعاد توسعه شهری
		a یا C	b یا d		
Sigmoidal	Symmetric	-	-	زمین شناسی	طبیعی
Linear	افزایشی	۰	۱۶۷۵۳	فاصله از گسل	
Sigmoidal	کاهشی	۰	۱۵	درصد شیب	
Sigmoidal	Symmetric	-	-	جهت شیب	
Sigmoidal	Symmetric	-	-	بافت خاک	
Sigmoidal	Symmetric	-	-	عمق خاک	
Sigmoidal	Symmetric	-	-	روانگرایی خاک	
Sigmoidal	Symmetric	-	-	شرایط زهکشی خاک	
Linear	کاهشی	۱۲۹۶	۲۴۸۹	ارتفاع	
Linear	افزایشی	۲۴۴	۳۵۴	بارش	
Linear	افزایشی	۵,۳۲	۱۲,۴۲	دما	
Sigmoidal	افزایشی	۳۰۰	۹۰۰	فاصله از رودخانه	
Sigmoidal	Symmetric	-	-	کاربری اراضی	
Sigmoidal	کاهشی	۰	۱۶۶۶۳	فاصله از مراکز شهری	انسانی (کالبدی، اجتماعی، اقتصادی)
Linear	کاهشی	۱۰۰	۲۰۰	فاصله از مراکز بهداشتی درمانی	
Linear	کاهشی	۳۰۰	۳۰۰۰	فاصله از مناطق تجاری	
Linear	افزایشی	۲۰۰	۱۵۰۰	فاصله از مناطق صنعتی	
Sigmoidal	کاهشی	۱۰۰	۳۰۰۰	فاصله از مراکز اداری	
Sigmoidal	کاهشی	۹۰۰	۳۲۰۰	فاصله از مراکز تفریحی رفاهی	
Sigmoidal	کاهشی	۰	۷۰۰	فاصله از آثار فرهنگی	
Sigmoidal	کاهشی	۷۰۰	۱۲۰۰	فاصله از مراکز آموزشی	
Jshaped	کاهشی	۱۵۰	۷۰۰	فاصله از راه های اصلی	
Sigmoidal	افزایشی	۹۰	۳۰۰۰	فاصله از خطوط انتقال نیرو	
Sigmoidal	Symmetric	-	-	تعداد سلول های شهری در پنجره ۳×۳	

۲۳

شماره هشتم

پاییز ۱۳۹۲

فصلنامه علمی-پژوهشی

مطالعات شهر

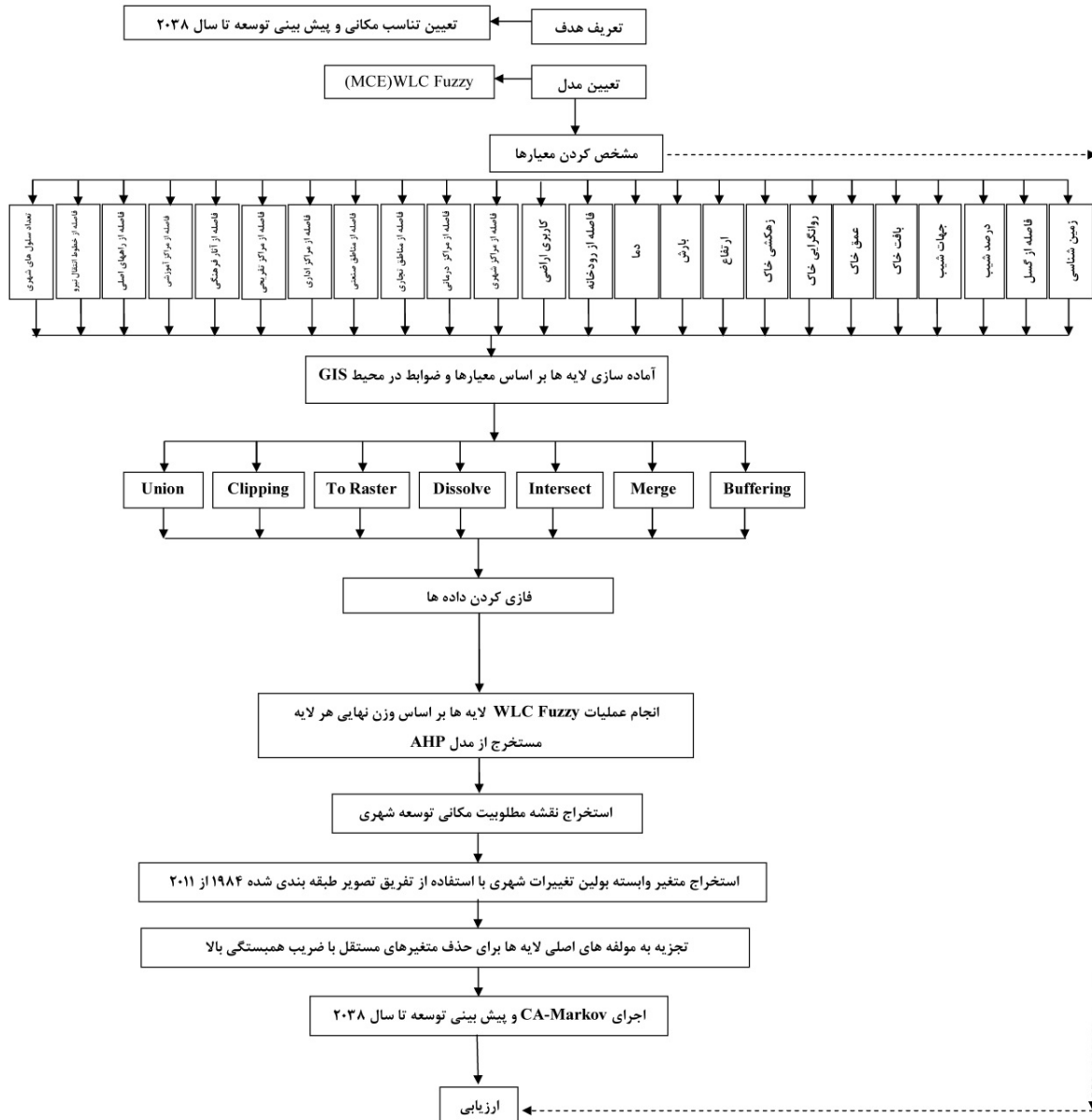
شماره ۱

رویکرد زیست محیطی در مدلسازی تغییرات کاربری اراضی محدوده کلانشهر تبریز با استفاده از تصاویر ماهواره ای چند زمانه ای، ارزیابی چند معیاری و سلول های خودکار زنجیره مارکوف (۱۳۶۳-۱۳۷۷)

یک زمان معین تنها می تواند یکی از این حالات را داشته و به طور پیاپی از یک حالت به حالت دیگر جابجا شود. احتمال این جابجایی به حالت کنونی بستگی داشته و به حالت های قبلی بستگی ندارد؛ این یک فرض مشخص مشخصه ای از فرایندهای مارکوف است. احتمال جابجایی از حالت i به حالت j احتمال انتقال P_{ij} نامیده می شود و برای هر ترتیبی از سری حالات داده می شود. این احتمال ها می تواند به شکل ماتریس انتقال p نشان داده شود.

$$p = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{n1} & p_{n2} & \dots & p_{nn} \end{bmatrix}$$

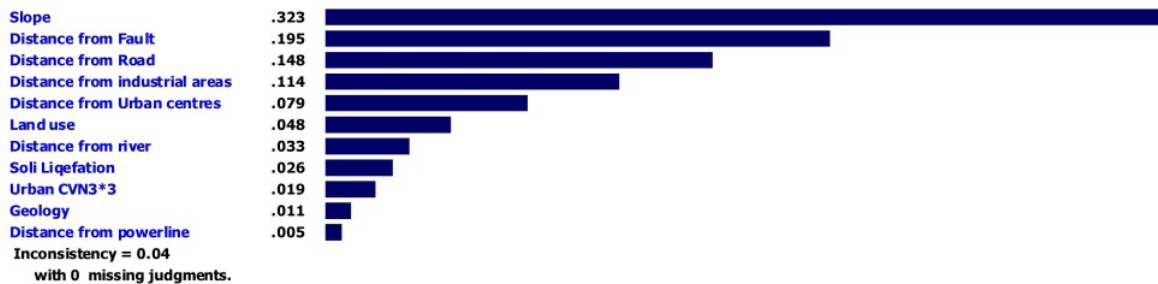
بایند، این توسعه محدودتر می شود. مدل های CA می توانند در بسیاری از نرم افزارها اجرا شوند (فردوسی، ۱۳۸۴: ۶۲). مدل سازی زنجیره مارکوف اساساً یک تکنیک شبیه سازی از تغییر کاربری زمین برای ایجاد ابزاری برای تجسم و پیش بینی احتمال های تغییر کاربری زمین (احتمال های انتقال) در بین طبقات کاربری زمین با سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) ترکیب شده است. تحلیل زنجیره مارکوف به روش های تحلیلی فرایندهای احتمالی تعلق دارد. فرایند مارکوف یک فرایند احتمالی با مشخصات خاص است که آن را از دیگر فرایندهای احتمالی تمیز می دهد. برای یک سیستم بهره، مجموعه ای از حالات گسسته (یا کلاس ها) S_1 و S_2 و ... و S_n (انواع مختلف کاربری زمین) وجود دارد. این فرایند در



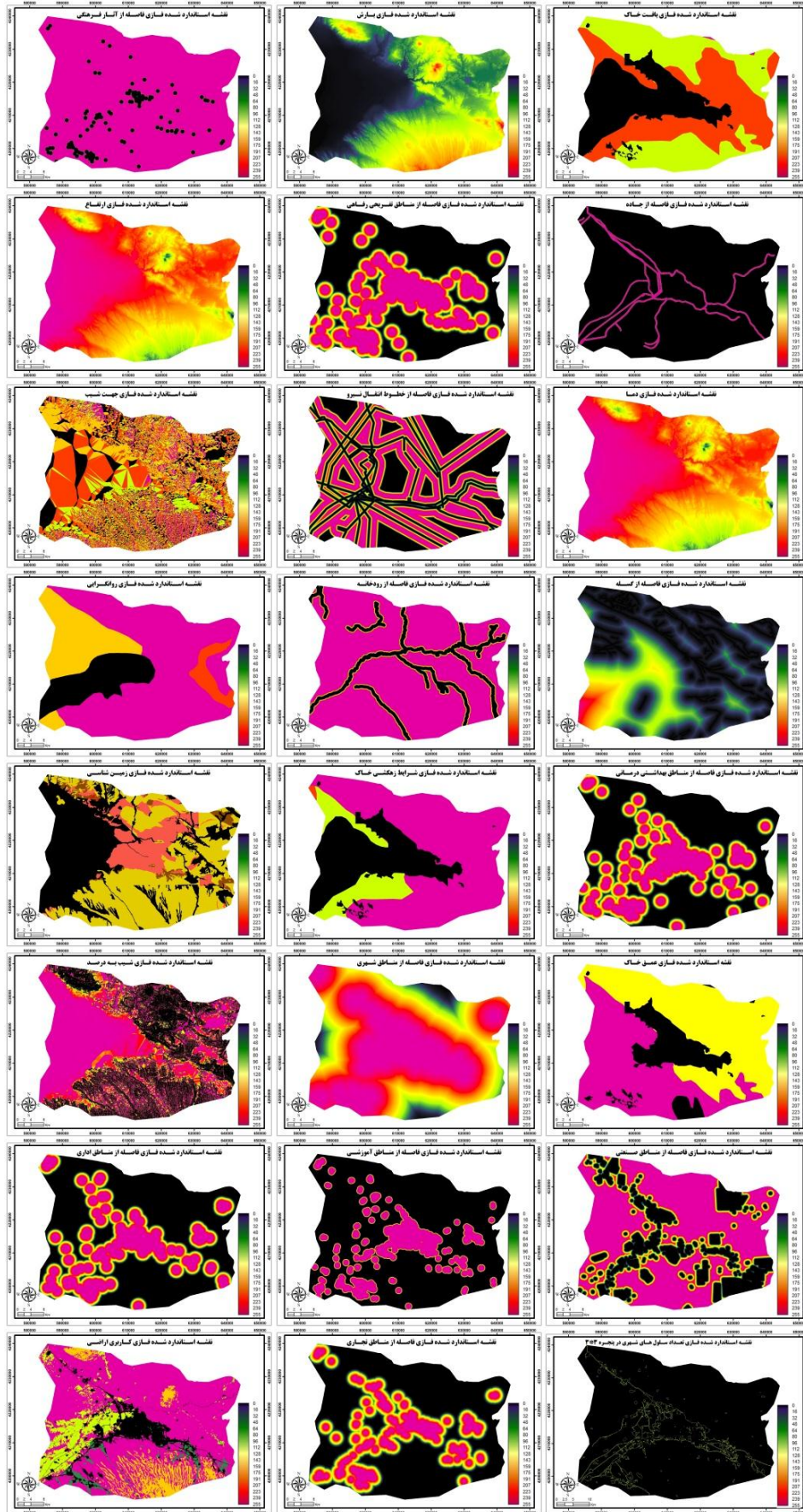
تصویر (۹): مدل مفهومی تعیین اراضی مناسب توسعه و پیش بینی تغییرات

Model Name: suitability

Priorities with respect to:
Goal: Suitability



تصویر (۱۱): وزن نهایی و ضریب ناپایداری در محیط نرم افزار Export Choice



تصویر (۱۰): مجموعه لایه‌های اطلاعاتی استاندارد شده

۲۵

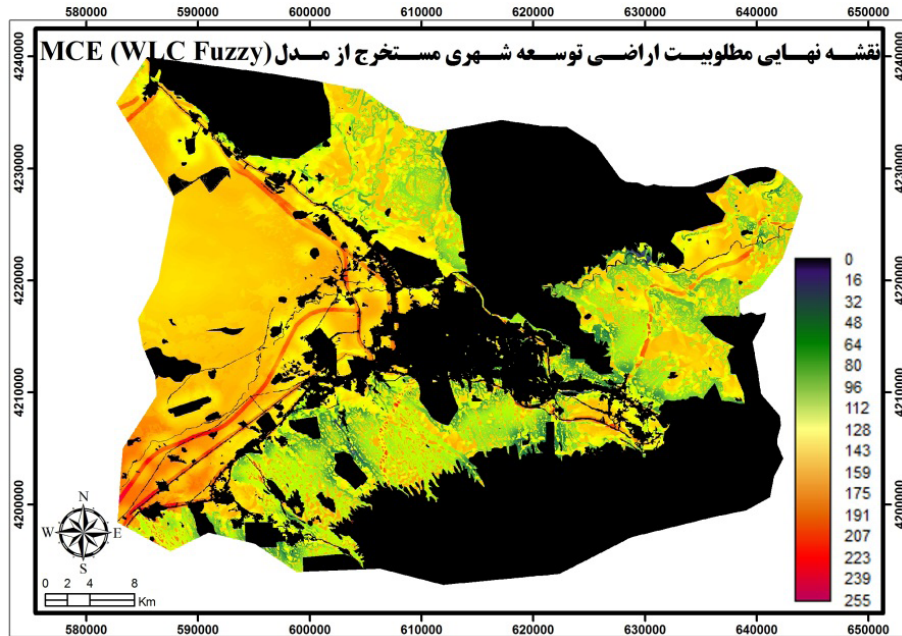
شماره هشتم

پاییز ۱۳۹۲

فصلنامه علمی-پژوهشی

مطالعات شهر

رویکرد زیست‌محیطی در مدلسازی تغییرات کاربری اراضی محدوده کلانشهر تبریز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه‌ای، ارزیابی چند معیاری و سائول‌های خودکار زنجیره ماکروف (۱۳۶۷-۱۳۶۳)



تصویر (۱۲): نقشه نهایی درجه بندی مطلوبیت اراضی مناسب برای توسعه در کلانشهر تبریز براساس مدل (MCE/WLC Fuzzy)

عنوان ورودی در مدل سلول های خودکار زنجیره مارکوف به همراه متغیر وابسته تغییرات شهری حاصل از تفریق کلاس اراضی ساخته شده در سال های ۲۰۱۱-۱۹۸۴ و شش کلاس مطلوبیت کاربری ها با رویکرد حفظ شرایط اکولوژیکی سه دهه رشد آتی کلانشهر تبریز اجرا شد که نتایج در تصویر ۱۳ و جداول ۸ و ۹ آمده است. با نگاهی به ماتریس تغییرات طی سال های ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۸ در صورت استفاده از مناطق مشخص شده برای توسعه مستخرج از این مدل حداقل آسیب ها متوجه کلاس کاربری کشاورزی و باغی خواهد بود. لازم به یادآوری است، جمعیت سال ۱۴۱۷ شهرها براساس جمعیت سال ۱۳۹۰ و به روش ترکیبی در محیط نرم افزار Spectrum محاسبه شده است.

۷. نتیجه گیری

در این مقاله ابتدا با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست سنجنده TM و ETM+ در طی دوره ۲۷ ساله از سال ۱۳۶۳ تا ۱۳۹۰ در کلانشهر تبریز تغییرات کاربری اراضی با روش شیگرا و ماتریس CrossTab ارزیابی شد. نتایج حاکی از آن است که منطقه مورد مطالعه در سال ۱۳۶۳ در حدود ۷۲۲۰/۳۴ هکتار کاربری اراضی ساخته شده داشته است که این مقدار در سال ۱۳۹۰ به حدود ۲۲۳۴۶/۸۲ هکتار افزایش یافته است. با توجه به اینکه جمعیت کلانشهر تبریز (تبریز، شهرهای اقماری) در سال ۱۳۶۳ نزدیک به ۹۵۷ هزار و ۳۱ نفر بوده و در سال ۱۳۹۰ به یک میلیون و ۳۳۶ هزار نفر رسیده است، تراکم در شهر تبریز به عنوان شهر مرکزی در طی همین سال، از ۱۵۱ نفر در هکتار به ۹۶ نفر کاهش یافته است. کاهش تراکم یکی از عواملی است که منجر به پدیده گستردگی شهری و به تبع آن تغییرات کاربری ها شده که این مسئله را در کاهش اراضی باغی و کشاورزی به میزان ۶۴۷۰/۰۱ هکتار در نتیجه گسترش افقی بوده است. اکثر شهرهای ایران، در مراحل اولیه شکل گیری با هدف

از آنجا که عناصر ماتریس غیرمنفی هستند و جمع عناصر در هر ردیف برابر ۱ است، هر عنصر از ماتریس یک بردار احتمال نامیده می شود و ماتریس P یک ماتریس احتمال است. این ایده به راحتی به ناحیه ای که به تعدادی سلول تقسیم شده و هر سلول می تواند توسط یک نوع معین از کاربری زمین در زمان معین اشغال شده، منتقل شود. سپس احتمال های انتقال بر مبنای داده های مشاهده شده در دوره زمانی محاسبه می شود؛ به این طریق که یک سلول از یک نوع کاربری زمین به کاربری زمین دیگری در دوره زمانی آینده تغییر کند (یا حرکت کند) را نشان می دهد. این احتمال تنها به حالتی که سلول در زمان داده شده در آن است، بستگی دارد، یعنی به حالت کنونی نوع کاربری زمین و به انواع کاربری زمینی که در گذشته اشغال کرده بودند، بستگی ندارد. به طور آشکار، توجیه پذیری و قابل قبول بودن به فاصله زمانی مورد بررسی بستگی دارد. با فرض ماتریس P احتمال های انتقال، کاربرد آن در پیشبینی تغییرات کاربری زمین در آینده به صورت زیر است. به یک بردار I که بتواند توزیع کاربری زمین انواع مختلف در آغاز دوره زمانی را به تصویر بکشد، نیاز است. بردار I، توزیع انواع کاربری زمین در انتهای دوره پیشبینی را نشان می دهد که توسط فرمول زیر تعیین می شود:

$$I_1 \times P$$

توزیع انواع کاربری زمین بعد از k دوره زمانی (از یک مدت معین) با به توان رساندن ماتریس P پیدا می شود:

$$= I_1 \times P^k$$

(رفعیان، ۱۳۸۹: ۳۴۷).

با توجه به دوره زمانی قابل تصاویر ماهواره ای مورد استفاده (۲۷ سال) با استفاده از مدل زنجیره مارکوف برای ۲۷ سال آتی (یعنی سال ۲۰۳۸) ماتریس های مساحت و احتمال با استفاده از تصاویر طبقه بندی شده سال ۱۹۸۴ و ۲۰۱۱ محاسبه شد (جدول ۶ و ۷) و به

جدول (۶): ماتریس مورد انتظار در انتقال مساحت بین کاربری‌ها

سلول‌ها	اراضی بایر	اراضی ساخته شده	اراضی کشاورزی	اراضی باغی	اراضی مرتعی	اراضی آبی
اراضی بایر	۱۱۶۷۲۴۷	۱۹۳۸۰۷	۱۰۹۷۷۸	۱۹۷۵۷	۱۳۷۶۴۵	۵۶۷۷
اراضی ساخته شده	۷۴۴۹	۲۱۱۰۵۳	۷۴۴۹	۷۴۴۹	۷۴۴۹	۷۴۴۹
اراضی کشاورزی	۸۳۷۱۱	۲۵۱۸۰	۱۳۴۹۲۹	۴۰۲۸	۱۰۸۷	۹۴۳
اراضی باغی	۱۴۶۰۴	۲۲۵۵۶	۴۳۸۰	۳۱۸۳۴	۵۵۱	۲
اراضی مرتعی	۱۲۰۱۲۶	۳۱۰۳	۹۳	۱۲۰۴	۱۱۵۲۸۶	۸
اراضی آبی	۲۷۳۲	۵۱۷	۱۴۱۰	۸۰	۰	۱۷۹۱

جدول (۷): ماتریس احتمال تغییرات بین کاربری‌ها

سلول‌ها	اراضی بایر	اراضی ساخته شده	اراضی کشاورزی	اراضی باغی	اراضی مرتعی	اراضی آبی
اراضی بایر	۰/۷۱۴۴	۰/۱۱۸۶	۰/۰۶۷۲	۰/۰۱۲۱	۰/۰۸۴۲	۰/۰۰۳۵
اراضی ساخته شده	۰/۰۳	۰/۸۵	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳
اراضی کشاورزی	۰/۳۳۵	۰/۱۰۰۸	۰/۵۴	۰/۰۱۶۱	۰/۰۰۴۳	۰/۰۰۳۸
اراضی باغی	۰/۱۹۷۵	۰/۳۰۵۱	۰/۰۵۹۲	۰/۴۳۰۶	۰/۰۰۷۵	۰
اراضی مرتعی	۲۰۱۲۶/۱	۱۰۳/۳	۳/۹	۲۰۴/۱	۱۵۲۸۶/۱	۰
اراضی آبی	۰/۴۱۸۴	۰/۰۷۹۱	۰/۲۱۶	۰/۰۱۲۲	۰	۰/۲۷۴۲

۲۷

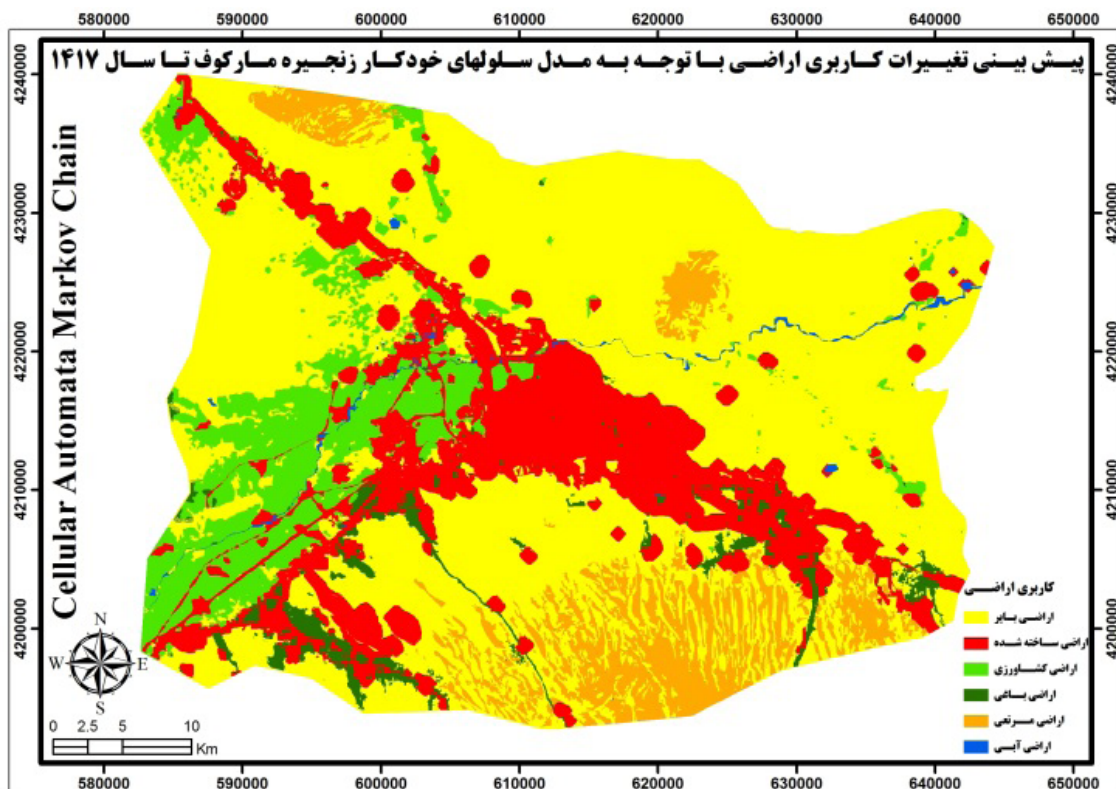
شماره هشتم

پاییز ۱۳۹۲

فصلنامه علمی-پژوهشی

مطالعات شهر

رویکرد زیست‌محیطی در مدلسازی تغییرات کاربری اراضی محدوده کلانشهر تبریز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه‌ای، ارزیابی چند معیاری و سلول‌های خودکار زنجیره مارکوف (۱۳۶۳-۱۳۷۷)



تصویر (۱۳): نقشه پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با توجه به مدل سلول‌های خودکار زنجیره مارکوف در کلانشهر تبریز

جدول (۸): تغییرات سطح کاربری اراضی ساخته شده و جمعیت کلانشهر تبریز

سال	۱۳۶۳(۱۹۸۴)		۱۳۶۹(۱۹۹۰)		۱۳۷۹(۲۰۰۰)		۱۳۹۰(۲۰۱۱)		۱۴۱۷(۲۰۳۸)	
	مساحت	جمعیت	مساحت	جمعیت	مساحت	جمعیت	مساحت	جمعیت	مساحت	جمعیت
تبریز	۵۹۳۱/۹۹	۱۰۶۵۴۸۴	۶۸۵۱/۰۷	۱۲۷۳۸۵۰	۱۱۰۲۳/۹۷	۱۴۹۴۹۹۸	۱۵۵۸۹	۱۹۰۵۲۴۰	۲۸۵۶۹/۹۸	۱۹۰۵۲۴۰
باسمنج	۳۲/۳۱	۸۰۶۶	۴۳/۰۲	۹۵۴۹	۱۱۱/۰۹	۱۱۱۹۰	۲۱۲/۲۶	۱۴۰۸۱	۱۲۷۳/۴۶	۱۴۰۸۱
سردرود	۶۳/۰۹	۱۴۸۹۲	۸۶/۵۸	۱۹۸۸۳	۱۴۳/۲۵	۲۶۸۵۶	۲۴۳/۶۷	۳۴۸۴۳	۶۷۲/۶۳	۳۴۸۴۳
خسروشهر	۱۲۵/۸۲	۱۰۶۷۲	۱۲۶/۶۳	۱۲۴۷۲	۲۳۵/۷۷	۱۲۴۴۷	۴۲۶/۱۱	۱۵۴۷۸	۱۱۰۲/۴۹	۱۵۴۷۸
صوفیان	۱۲۳/۹۳	۷۴۳۳	۱۲۳/۹۳	۸۴۷۴	۱۴۵/۲۳	۹۱۲۶	۱۶۲/۹۵	۱۲۲۵۵	۳۶۸/۱۹	۱۲۲۵۵
خواجه	۹/۵۴	۴۰۷۰	۹/۵۴	۳۹۶۹	۱۰/۵۳	۳۸۰۱	۳۶/۹۹	۳۸۴۲	۲۱۶/۸۸	۳۸۴۲
ایلخچی	۸۰/۰۱	۹۰۹۶	۸۰/۱۹	۱۱۸۰۳	۱۶۶/۷۳	۱۵۲۳۱	۲۳۶/۷۷	۱۶۹۱۷	۹۷۲/۸۰	۱۶۹۱۷
اسکو	۸۸/۱۱	۱۴۲۷۳	۸۸/۱۱	۱۵۱۳۵	۲۱۶/۶۳	۱۲۳۳۲	۴۲۸/۸۲	۱۴۹۹۸	۸۵۶/۵۳	۱۴۹۹۸
سهند	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵۷۹/۷۵	۳۶۸۰۳	۲۲۲۸/۰۵	۳۶۸۰۳

ماخذ: نگارندگان، براساس پردازش تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۲۰۱۱-۱۹۸۴ و سرشماری مرکز آمار ایران

جدول ۹: مقایسه تغییرات کاربری و پوشش اراضی براساس تصاویر طبقه‌بندی شده

۲۰۳۸-۲۰۱۱							
اراضی بایر	اراضی ساخته شده	اراضی کشاورزی	اراضی باغی	اراضی مرتعی	اراضی آبی	مجموع کلاس‌ها	
۱۱۸۶۰۵/۴۲	۳۸۴/۸۴	۱۲۹۴/۶۵	۸۵۱/۸۵	۷۱۳۲/۶۸	۱۵۸/۲۲	۱۲۸۴۸۶/۵۲	اراضی بایر
۱۶۸۹۳/۲۷	۲۱۱۴۳/۹۷	۱۸۱۴/۹۴	۱۸۹۱/۸۹	۳۸۵/۵۶	۳۷/۶۲	۴۲۱۶۸/۸۷	اراضی ساخته شده
۴۴۴۰/۲۴	۳۵۱/۴۵	۱۹۰۸۹/۹۹	۱۲۷/۳۵	۳۳/۷۵	۱۲۰/۱۵	۲۴۱۶۴/۷۳	اراضی کشاورزی
۱۴۳۷/۳۰	۴۰۰/۷۷	۱۴۳/۳۷	۳۷۴۲/۹۲	۴۷/۸۸	۵/۵۸	۵۷۷۸/۰۹	اراضی باغی
۴۹۷۲/۴۱	۶/۶۶	۱۸/۹۹	۲۸/۹۸	۱۳۹۷۱/۵۱	۰/۶۳	۱۹۰۰۰/۷۱	اراضی مرتعی
۵۷۹/۰۶	۴۹/۶۸	۱۱۶/۲۸	۵/۷۶	۰/۴۵	۲۶۵/۰۵	۱۰۱۶/۲۸	اراضی آبی
۱۴۷۰۴۷/۱۳	۲۲۳۴۶/۸۲	۲۲۴۸۹/۰۲	۶۶۵۳/۴۳	۲۱۵۸۳/۸۰	۵۸۷/۷۰	۰	مجموع کلاس‌ها
۲۸۴۴۱/۷۱	۱۲۰۲/۸۲	۳۳۹۹/۰۳	۲۹۱۰/۵۱	۷۶۱۲/۲۹	۳۲۲/۶۵	۰	تغییرات کلاس
-۱۸۵۶۰/۶۱	۱۹۸۲۲/۰۵	۱۶۷۵/۷۱	-۸۷۵/۳۴	-۲۵۸۳/۰۹	-۴۲۸/۵۸	۰	تفریق تصاویر

راهکار افزایش فشرده‌گی کالبدی و استفاده از شیوه‌های مربوط به آن به منظور هدایت توسعه کلانشهر تبریز به سمت پایداری بیشتر، باید در دستور کار برنامه‌ریزان و متولیان امور شهری قرار گیرد. درواقع بی‌توجهی به ضوابط و مقررات گسترش کالبدی - فضایی شهر در سال‌های اخیر، به خصوص ۳۰ سال گذشته، مایه نابودی اراضی کشاورزی یا تبدیل عامدانه آنها به کاربری بایر شهری و سپس به کاربری‌های ساخته شده، گردیده است. با مشخص شدن نوع الگوی توسعه کلانشهر تبریز و تأثیر آن بر زمین‌های کشاورزی، پیشنهاد می‌شود به منظور کاهش پراکنش افقی این شهر و در نتیجه کاهش مشکلات ناشی از آن نظارت بیشتر بر محدوده‌های شهری، استفاده از شیوه‌های انبوه‌سازی و بلندمرتبه‌سازی (شهر فشرده)، استفاده از زمین‌های بایر و خالی موجود در داخل شهر (توسعه میان‌افزا)، هدایت سمت توسعه شهر

استفاده از خاک‌های مرغوب به منظور زراعت، در میان اراضی زراعی استقرار یافته‌اند و به مرور زمان همراه با گسترش روستاها و تبدیل آنها به شهر و سپس توسعه شهرها، اراضی مرغوب زیر پیکر شهرها مدفون شده و بالطبع بخش وسیعی از بهترین و با ارزش‌ترین اراضی بلافصل شهرها به زیر ساخت‌وساز رفته است. برای جلوگیری از این مسئله با استفاده از تکنیک تحلیل چند معیاره ترکیب خطی وزندار نقشه مطلوبیت مکانی توسعه شهری با استفاده از بیست و چهار عامل شناسایی و تعیین گردید و سپس با استفاده از مدل سلول‌های خودکار زنجیره مارکوف برای ۲۷ سال آتی، روند توسعه فیزیکی کلانشهر تبریز استخراج شد. با نگاهی به ماتریس تغییرات و نقشه پیشبینی سال ۲۰۳۸ مشخص می‌شود، در صورت استفاده از نتایج این تحقیق کمترین آسیب‌ها متوجه کاربری باغات و کشاورزی در دهه‌های آتی خواهد بود. بنابراین

- Anderson, W.P; Kanaroglou, P.S; Miller, E.J(1996)); urban form, energy and the environment: a review of issues, evidence and policy; Urban Studies; 33(1), 7-35.
- Benz, U.C., Hoffmann, P., Willhauck, G., Lingenfelder, I. & Heynen, M. 2004. Multi-resolution, objectoriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 58:239-258.
- Bhatta, B (2010); Analysis of Urban Growth and Sprawl from Remote Sensing; DataSpringer; London; p 191.
- Bogart, W. (2009); Don't Call It Sprawl: Metropolitan Structure in the 21st Century; New York: Cambridge University Press; 2006. 196 pp
- Definiens Professional ReferenceBook. Definiens AG,(2006), D-80339 München Germany.
- E. Holden., 2004. Ecological footprints and and sustainable urban form, Journal of Housing and Built Environment. No 19. pp. 91-109.
- George Xian, Mike Crane. 2005. Assessments of urban growth in the Tampa Bay watershed using remote sensing data, Journal of Remote Sensing of Environment. No 97. pp. 203-215.
- Hwang, H. 2004. Web-based multi-attribute analysis model for engineering project evaluation, Journal of Computer & industrial engineering.No 46. Vol 46, Issue 4, July, PP 669-678.
- Jamal JOKAR Arsanjanian, Marco Helbich, Wolfgang Kainz, Ali Darvishi Boloorani. 2012. Integration of logistic regression, Markov chain and cellular automata models to simulate urban expansion, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. No 21. pp. 265-275.
- Jian-zhou Gong, Yan-sui Liu, Bei-cheng Xia, Guan-wei Zhao. 2009. Urban ecological security assessment and forecasting, based on a cellular automata model: A case study of Guangzhou, China, Journal of Ecological Modelling. No 220. pp. 3612-3620.
- Jose´ I. Barredo, Luca Demicheli. 2003. Urban sustainability in developing countries' megacities: modelling and predicting future urban growth in Lagos, Journal of Urban sustainability in developing countries' megacities. No 5. pp. 297-310.
- Nancy E. McIntyre, K. Knowles-Yáñez, and D. Hope. 2000. Urban Ecology as an Interdisciplinary Field:

در جهانی غیر از زمین‌های کشاورزی در اولویت دست‌اندرکاران مدیریت کلانشهر تبریز باشد.

منابع:

- اصغری زمانی، اکبر؛ (۱۳۸۶)، ارزیابی و پیشبینی گسترش فضایی- کالبدی شهرهای ایران. مطالعه موردی شهر زنجان، رساله دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی دانشگاه تبریز.
- بحرینی، حسین (۱۳۶۸): (تهران چگونه شهری است و چه باید باشد؟)، مجله محیط‌شناسی؛ شماره ۱۵: ویژه‌نامه تهران.
- بریاسولیس هلن (۱۳۸۹): الگوهای تحلیلی تغییر کاربری زمین؛ ترجمه رفیعیان مجتبی، محمودی مهران؛ انتشارات آذرخش؛ تهران.
- رسولی، علیاکبر؛ محمودزاده، حسن (۱۳۸۹): مبانی سنجش از دور دانش پایه، انتشارات علمیران؛ ۱۹۲.
- شکوئی، حسین (۱۳۷۳): دیدگاه‌های نو در جغرافیای شهری، انتشارات سمت؛ ۵۶۸.
- شهبایی، هیمین؛ نیازی، چیا (۱۳۸۸): بررسی فاکتورهای موثر در مکان‌یابی ایستگاه‌های امداد و نجات جاده سقز- سنندج با استفاده از مدل ترکیب خطی وزنی، همایش ژئوماتیک ۸۸، تهران.
- شیعه، اسماعیل (۱۳۷۷): مقدمه‌ای بر مبانی برنامه‌ریزی شهری، انتشارات دانشگاه علم و صنعت؛ ۲۴۰.
- فردوسی، بهرام (۱۳۸۴)، امکان سنجی و کاربرد سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری در توسعه فیزیکی شهر، نمونه موردی شهر سنندج، پایان نامه کارشناسی‌ارشد رشته جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم انسانی دانشگاه تربیت مدرس.
- کامیاب، حمیدرضا؛ ماهینی عبدالرسول سلمان؛ حسینی سید محسن؛ مهدی غلامعلی فرد (۱۳۸۹)، اتخاذ رهیافت اطلاعات محور با کاربرد روش رگرسیون لجستیک برای مدل‌سازی توسعه شهری گرگان، فصلنامه محیط‌شناسی، شماره ۵۴، تابستان ۸۹.
- مالچفسکی، ی. ۱۳۸۵. سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چند معیاری، ترجمه اکبر پرهیزکار، عطا غفاری گیلانده، انتشارات سمت، تهران.
- مهندسین مشاور معماری و شهرسازی زیستا ۱۳۸۳. طرح مجموعه شهری تبریز، وزارت مسکن و شهرسازی، سازمان مسکن و شهرسازی استان آذربایجان شرقی.
- ویلیامز کاتی؛ برتون الزابت؛ جنکنز مایک (۱۳۸۳): دستیابی به شکل پایدار شهری (شکل پایداری و حمل‌ونقل)؛ ترجمه واراژ مرادی مسیحی؛ شرکت پردازش و برنامه‌ریزی شهری؛ تهران.

Differences in the use of “Urban“ Between the Social and Natural Sciences, Journal of Urban Ecosystems. No 4. pp. 5-24.

- Sudhira, H.S; Ramachandra, T.V (2007); Characterising Urban Sprawl from Remote Sensing Data and Using Landscape Metrics; 10th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management, Iguassu Falls, PR Brazil, July 11-13.
- Tolga, E., Demircan, L., Kahraman, C. 2005. Operating system selection using fuzzy replacement analysis and analytic hierarchy process, Journal Production economics. No 97. Vol 97, Issue 1, 18 July, PP 89-117
- Yu, C. 2002. A GP-AHP method for solving group decision-making fuzzy AHP problems, Journal of Computer & Operation Research. No 29. Vol 29, Issue 14, December, PP 1969-2001