

کاربرد مدل LTM در پیش‌بینی و مدل‌سازی توسعه فیزیکی شهر ایلخچی

حسن محمودزاده* - استادیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز
امیر مسعود رنجبر نوازی - کارشناس ارشد سنجش‌ازدور و GIS، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۹/۰۳ تأیید نهایی: ۱۳۹۵/۰۲/۲۰

چکیده

رشد سریع شهرنشینی فشارهای سنگینی بر سرزمین و منابع اطراف آن‌ها وارد کرده و موجب کاهش پوشش گیاهی، کاهش فضاهای باز و مشکلات جدی اجتماعی و زیست‌محیطی شده است. هدف از این مطالعه، درک عوامل مؤثر در روند توسعه فیزیکی شهر ایلخچی با عنایت به توسعه فضایی پایدار شهری از بعد اکولوژیکی و حفظ شرایط زیست‌محیطی آن در دو دهه آتی است؛ بدین منظور با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه لندست ۵ و فنون پردازش شیء‌گرا، تغییرات کاربری اراضی در مقطع زمانی ۱۳۶۰-۱۳۹۰ با تأکید بر گسترش افقی شهر ایلخچی ارزیابی شده است. براساس نتایج، مقدار مساحت شهر ایلخچی از ۹۴/۵۹ هکتار در سال ۱۳۶۳ به ۴۳۸/۵۷ هکتار در سال ۱۳۹۰ رسیده و ۱۹۵/۸۴ هکتار از توسعه ذکر شده بر روی اراضی باغی و زراعی صورت گرفته است که لزوم مدیریت توسعه آبی مبتنی بر اصول توسعه پایدار می‌طلبد. گفتنی است عوامل مؤثر بر توسعه فیزیکی شهر ایلخچی براساس پیشینه تحقیق، در قالب دوازده شاخص شناسایی، و با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی نقشه احتمال توسعه شهری تهیه شده است. پس از پیش‌بینی الگوی آبی توسعه شهری در شهر ایلخچی با استفاده از راهبرد حفاظت از باغ‌ها و فضاهای سبز در فرایند توسعه شهری با بلوک‌بندی نقشه احتمال توسعه شهری، عواملی چون دادن فضای لازم برای توسعه، استخراج کمربند سبز طبیعی شرقی-غربی به طول پنج کیلومتر، اعمال ممنوعیت توسعه در اطراف کمربند سبز پیشنهادی و حفظ ذخایر اکولوژیک شهر ایلخچی با کاهش تخریب اراضی باغی عملیاتی شده است.

واژه‌های کلیدی: تغییرات کاربری اراضی، رشد پراکنده، شبکه عصبی مصنوعی، شهر ایلخچی، طبقه‌بندی شیء‌گرا.

مقدمه

گسترش افقی، رشد بیرونی خارج از کنترل و ناهماهنگ پیرامون مناطق شهری است که سبب تخریب فضای سبز، افزایش ترافیک، از بین رفتن اراضی کشاورزی و باغی و تبدیل آن‌ها به اراضی ساخته شده می‌شود. این نوع توسعه در مقایسه با توسعه فشرده، زمین‌های بیشتری را مصرف می‌کند و پدیده‌ای جهانی است که نه تنها کشورهای در حال توسعه بلکه کشورهای توسعه یافته نیز با آن درگیر هستند. همچنین، به رشد بیرونی مناطق شهری و عطش ادغام نواحی مجاور روستایی در بافت شهری با رشدی نابرابر و ناخواسته اطلاق، و به استفاده ناکارآمد از منابع به‌ویژه زمین منجر می‌شود (سودیرا و رامچندرا، ۲۰۰۷: ۸۶).

باید توجه داشت گسترش افقی زمانی رخ می‌دهد که نرخ استفاده از زمین‌های غیرکشاورزی یا غیرطبیعی از نرخ رشد جمعیت تجاوز کند (باتا، ۲۰۱۰: ۳۰). گفتنی است گرایش به کاهش تراکم شهری نشانه‌ای از گسترده شدن افقی شهر است (بوگرت، ۲۰۰۹: ۴۲). 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 می‌رود و موجب تغییراتی در کاربری اراضی پیرامونی آن می‌شود (شبعه، ۱۳۷۷: ۶۵). هرچه میزان گسترش شهر بیشتر باشد، اراضی بیشتری از اطراف خود 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. در این بین، شکل شهر به‌عنوان الگوی توسعه فضایی فعالیت‌های انسان در برهه خاصی از زمان تعریف، (اندرسون، ۱۹۹۶: ۸) 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 ساخت‌وسازهای جدید در اطراف شهر، سبب آسیب‌های اجتماعی اقتصادی و تخریب منابع زیست‌محیطی در شهرها و اطراف آن‌ها شده است، با توسعه شهر بسیاری از زمین‌های قابل کشت مجاور شهرها برای ساختمان‌سازی استفاده می‌شود و در چنین مواقعی کشاورزان اطراف شهر به دلیل چند برابر شدن قیمت زمین‌ها، علاقه‌ای به تولید محصول ندارند (شکوئی، ۱۳۷۳: ۳۰۳-۳۰۴).

هدف کلی این تحقیق درک عوامل اکولوژیکی مؤثر بر روند گسترش و توسعه فیزیکی شهر ایلخچی به‌منظور مدیریت بهینه زمین و حفظ اراضی کشاورزی با شبیه‌سازی، پیش‌بینی و ارزیابی روند توسعه آتی این شهر است. در راستای ضرورت تحقیق پرسش‌های زیر برای پژوهش حاضر مطرح می‌شود:

۱. آیا توسعه فضایی شهر ایلخچی در راستای حفظ و تقویت تعادل اکولوژیکی و پایداری محیطی انجام می‌شود؟
۲. با توجه به پیچیدگی و پویایی توسعه شهری، آیا می‌توان الگوی اکولوژیکی مناسبی برای توسعه بیشتر شهر ایلخچی در آینده ارائه کرد؟

شایان ذکر است که روش‌ها و مدل‌های متعددی در شهرهای مختلف کشورهای توسعه یافته، به‌منظور حفاظت از اراضی کشاورزی و فضاهای سبز ابداع و به کار گرفته شده که عبارت است از:

- راهبردهای فراشهری: الف) کمربندهای سبز، ب) کمان‌های سبز، ج) توسعه حمل‌ونقل مبنا در منطقه شهری؛
راهبردهای درون‌شهری: الف) تقویت بهره‌برداری اقتصادی از اراضی کشاورزی، ب) حقوق توسعه قابل انتقال، ج) روش حوزه‌بندی خوشه‌ای، د) منافع اکولوژیکی و حمایت‌های مالیاتی، ه) استفاده از تراکم ویژه باغ‌ها (قربانی و صدر موسوی، ۱۳۸۵: ۱۴۱).

به‌منظور جلوگیری از تداوم روند رشد افقی شهری و توسعه افقی، همچنین کاهش پیامدهای زیست‌محیطی تداوم توسعه بر روی اراضی غیرمجاز می‌توان حیات اکولوژیک شهر ایلخچی را در دو دهه آتی حفظ کرد، همچنین می‌توان با

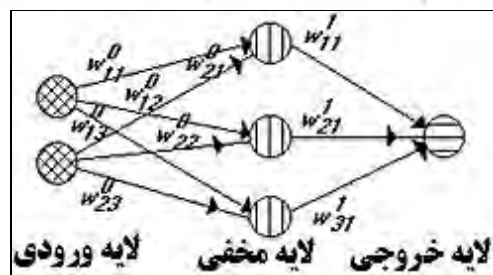
پیشگیری از تخریب مکان‌های باز و تفریحی پیرامون این شهر در نواحی توسعه‌یافته جدید، با استفاده از تجارب کشورهای اروپایی در حفاظت از اراضی زراعی اطراف شهرها و با بلوک‌بندی احتمالاتی نقشه توسعه شهری و مشخص کردن کمربند سبز طبیعی، از رشد و توسعه افقی این شهر جلوگیری کرد. در این بین، بررسی راهبردهای فوق‌الرجاء راهبرد فراشه‌ری کمربند سبز در طولانی‌مدت، حیات ذخایر اکولوژیک شهر ایلخچی را تضمین می‌کند.

مبانی نظری

تئوبالد و هویز دو نوع اصلی مدل‌های تغییر کاربری زمین را بیان کردند؛ مدل‌های نوع رگرسیون (مدل‌های برآورد تجربی) و مدل‌های شبیه‌ساز بر پایه قوانین انتقال (تیوبالد و هابز، ۱۹۹۸: ۶۶). از آنجا که استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی با مدل‌های رگرسیونی بسیار مرتبط است و با الگوهای مورد استفاده با آن شباهت زیادی دارد، این مدل‌ها در گروه مدل‌های رگرسیونی قرار می‌گیرند (پیجانوفسکی و همکاران، ۲۰۰۲: ۵۵۵).

باید توجه داشت که شبکه‌های عصبی مصنوعی ابزاری قدرتمند در رویکرد یادگیری ماشینی برای تعیین و مدل کردن الگوها و رفتارهای پیچیده است. این شبکه‌ها برای الگوشناسی در انواع مختلف نظم و هماهنگی، از قبیل اقتصاد (فیشرمن و همکاران، ۱۹۹۱: ۱۹)، پزشکی (باباییان، ۱۹۹۷: ۱۹۴)، طبقه‌بندی چشم‌انداز (براون و دیگران، ۱۹۹۸: ۲۴۱)، تحلیل تصاویر (فیوکوشیما و دیگران، ۱۹۸۳: ۸۲۷)، طبقه‌بندی الگوها (ریتر، ۱۹۸۸: ۱۰۲)، پیش‌بینی‌های اقلیمی (دیراموند، ۱۹۹۸: ۲۱۲) و سنجش‌ازدور (اکینسون و تاتنال، ۱۹۹۷: ۷۰۲) کاربرد دارند. استفاده از شبکه‌های عصبی در سال‌های اخیر به دلیل پیشرفت در محاسبه، ارزیابی عملکرد و افزایش دسترسی به نرم‌افزارهای قدرتمند و انعطاف‌پذیر شبکه‌های عصبی توسعه بیشتری یافته است (اسکاپورا، ۱۹۹۶: ۸۷).

گفتنی است شبکه‌های عصبی پرسپترون از سه لایه ورودی، مخفی (پنهان) و خروجی تشکیل شده است و به همین دلیل امکان شناسایی ارتباطات غیرخطی موجود در طبیعت وجود دارد. هر شبکه عصبی از نودها (واحدها) و ارتباط‌های وزن‌دار بین آن‌ها تشکیل می‌شود. نودها واحدهای اولیه شبکه‌ها هستند که باید ارتباط آن‌ها با خروجی سنجیده شود. لینک‌ها رابط بین نودها هستند که هر یک وزنی دارند؛ منفی بودن وزن نشان‌دهنده بازدارنده بودن آن لینک و مثبت بودن وزن نود مرتبط با آن، بیان‌کننده تأثیر تحریکی لینک و نود مرتبط با آن است. در این بین، عمومی‌ترین ساختار شبکه کاربردی ساختار شبکه‌های پیش‌رونده است که در آن ورودی هر نود تنها از لایه پیش از آن به آن نود می‌رسد (شکل ۱). اصلی‌ترین پرسش در مورد شبکه‌های عصبی این است که چگونه وزن لینک‌ها برای رسیدن به خروجی مدنظر تنظیم می‌شود.



شکل ۱. شبکه عصبی MLP

منبع: روملهارت، ۱۹۸۶: ۳۱۸

وزن‌ها در شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از الگوریتم‌های آموزشی برآورد می‌شود که کاربردی‌ترین آن‌ها الگوریتم (Back Propagation (BP) است که به صورت تصادفی وزن‌های اولیه را انتخاب، و خروجی محاسبه‌شده را با خروجی

واقعی مقایسه می‌کند. در این بین، تفاوت بین خروجی محاسبه‌شده با شبکه و خروجی واقعی با استفاده از خطای مجذور میانگین مربعات برآورد می‌شود. پس از آزمون تمام مشاهدات در شبکه، میزان خطای مشاهده‌شده در بین نودهای مختلف توزیع می‌شود تا میزان خطای شبکه در حد پایین ثابت بماند (روملهارت و ویلیامز، ۱۹۸۶: ۳۱۸).
گفتنی است وجه تمایز این مقاله استفاده تلفیقی از الگوی توسعه احتمالاتی در قالب راهبردهای حفاظت از باغ‌ها و فضاهای سبز در فرایند توسعه شهری است.

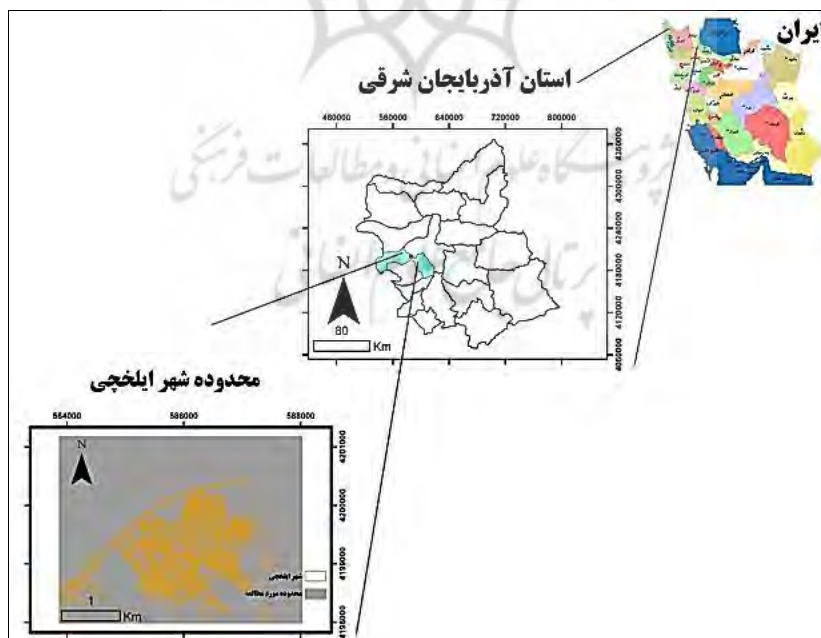
روش پژوهش

شناخت منطقه

شهر ایلخچی یکی از سه مرکز شهری شهرستان اسکو (یکی از شهرستان‌های نوزده‌گانه استان آذربایجان شرقی) در منتهی‌الیه غربی استان آذربایجان شرقی است. براساس سرشماری مرکز آمار ایران در سال ۱۳۹۰، جمعیت شهر ایلخچی ۱۵,۲۳۱ نفر و وسعت آن حدود ۴۳۸ هکتار است.

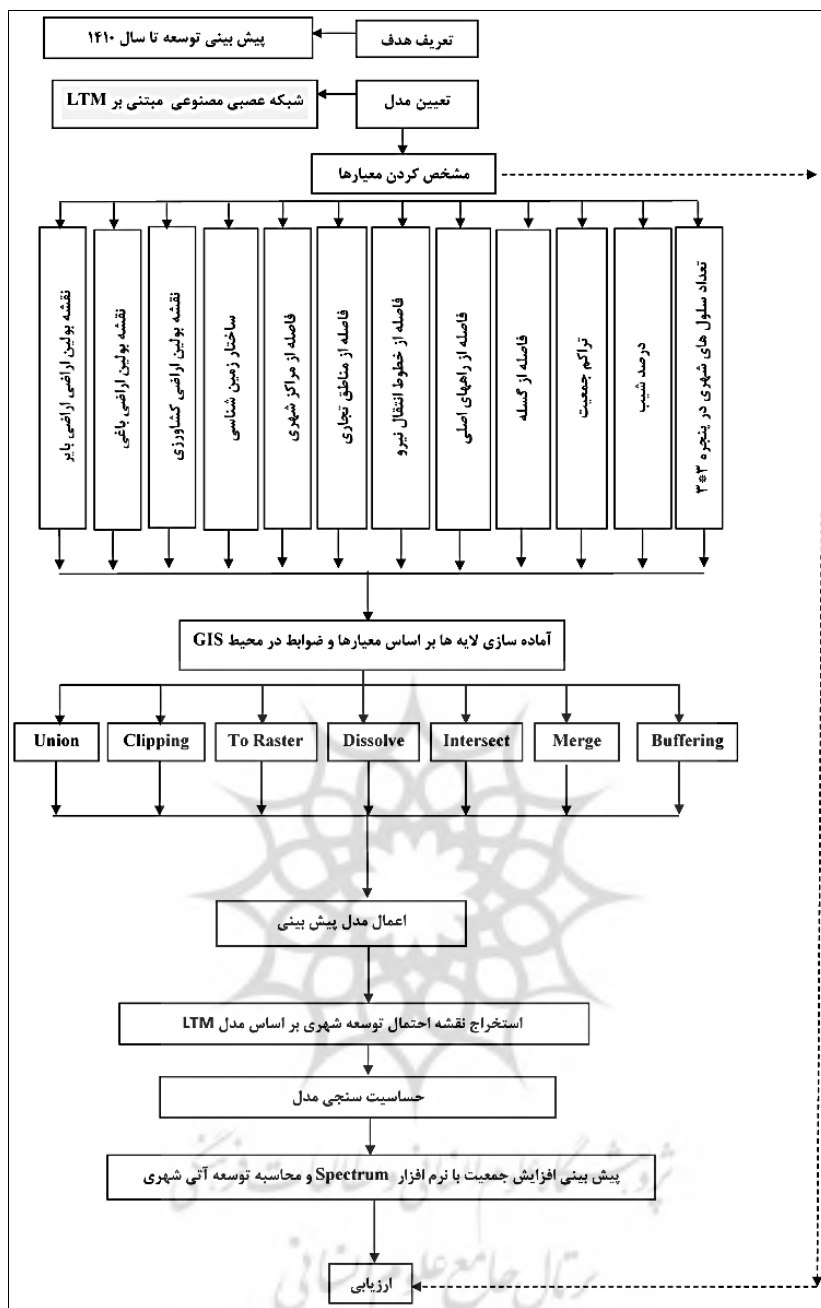
شهر ایلخچی از نظر موقعیت جغرافیایی در ۵۵' ۳۷" تا ۵۷' ۳۷" عرض شمالی و ۴۵' ۵۷" تا ۵' ۴۶" طول شرقی واقع شده است و با توجه به نامتناسب بودن رشد جمعیت و توسعه شهری سریع و به زیر ساخت و ساز رفتن اراضی زراعی مرغوب، ضرورت مدل‌سازی رشد شهری برای جلوگیری از رشد افقی شهری و تخریب اراضی مرغوب کشاورزی بیش از پیش احساس شده است (شکل ۲).

به‌منظور رسیدن به اهداف اصلی مطالعه، تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه‌ای سنجنده TM در تاریخ‌های ذکر شده در جدول ۲ و شکل ۳ از فریم ۳۴-۱۶۸ انتخاب، و به همراه پارامترهای مؤثر در توسعه شهری و نرم‌افزارهای Envi، Idrisi، ArcGIS و eCognition به کار گرفته شدند (جدول ۱ و شکل ۳ و ۴).



شکل ۲. موقعیت جغرافیایی شهر ایلخچی

منبع: نگارندگان



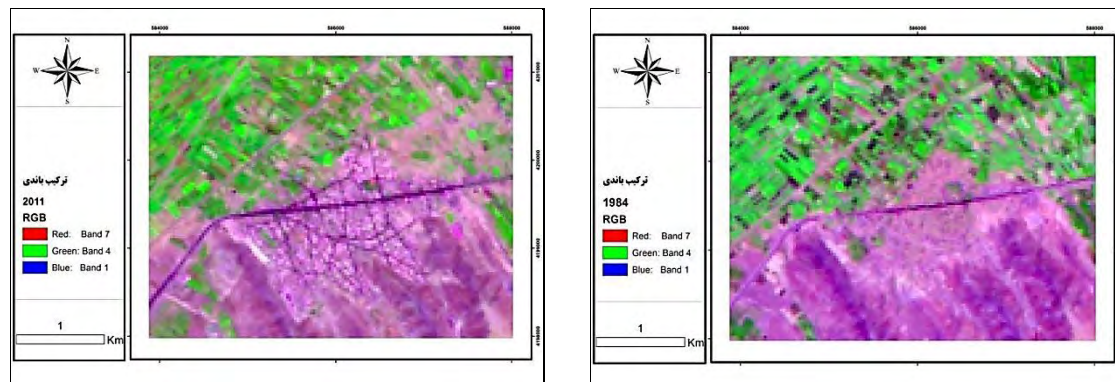
شکل ۳. مدل مفهومی پیش‌بینی توسعه فیزیکی تا افق ۱۴۱۰ براساس مدل LTM

جدول ۱. منابع اطلاعات موجود از انواع تصاویر ماهواره‌ای

سال تصاویر اخذشده	سنجنده	قدرت تفکیک
۱۹۸۴/۰۷/۱۰	TM	۳۰ متر
۲۰۱۱/۰۷/۰۵	TM	۳۰ متر

منبع: نگارندگان

زمین مرجع کردن تصاویر و تصحیحات ارتفاعی با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی با خطای RMS 42/0 پیکسل (در حد کمتر از نیم پیکسل) و نقشه‌های توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰ و تصحیحات اتمسفری بر پایه روش کاهش ارزش عددی پیکسل‌های تیره با در نظر گرفتن تأثیر محدوده‌های آبی صورت گرفت.



ب) تصویر ماهواره‌ای سنجنده ETM+ 1390

الف) تصویر ماهواره‌ای سنجنده TM 1363

شکل ۴. تغییرات بصری در توسعه فیزیکی شهر ایلخچی سال‌های ۱۳۶۳-۱۳۹۰

با توجه به توانمندی تفکیک مطلوب کاربری‌ها در روند طبقه‌بندی تصاویر از روش تحلیل شیء‌گرایی تصاویر استفاده شد که علاوه بر اطلاعات طیفی به اطلاعات مربوط به بافت، شکل و محتوا نیز استناد می‌دهد. واحدهای اساسی پردازش در تحلیل‌های شیء‌گرا، شیء‌های تصویری سگمنت‌ها هستند نه پیکسل‌ها. طبقه‌بندی شیء‌گرا فرایندی است که کلاس‌های پوشش اراضی را به اشیای تصویری پیوند می‌دهد که هر یک از آن‌ها با درجه عضویت معین به کلاس‌های در نظر گرفته شده اختصاص می‌یابند. فرایند طبقه‌بندی در محیط نرم‌افزارهای بسیار تخصصی مانند eCognition و Definiens Professional Earth نسخه ۷ به صورت فرایندی تکرارپذیر انجام می‌شود تا بالاترین درجه عضویت برای هر یک از شیء‌های تصویری حاصل شود (رسولی و محمود زاده، ۱۳۸۹: ۵۰).

در روش سگمنت‌سازی FNEA، همگنی طیفی (hcolor) یک شیء، تصویری از مجموع انحراف معیار برای هر k باند تصویر (kk که در وزن باندها (wk)) ضرب می‌شود محاسبه می‌شود.

$$hcolor = \sum_k W_k \cdot \sigma_k \quad (1)$$

(بنز و دیگران، ۲۰۰۴: ۲۳۹).

بحث و یافته‌ها

طبقه‌بندی تصاویر

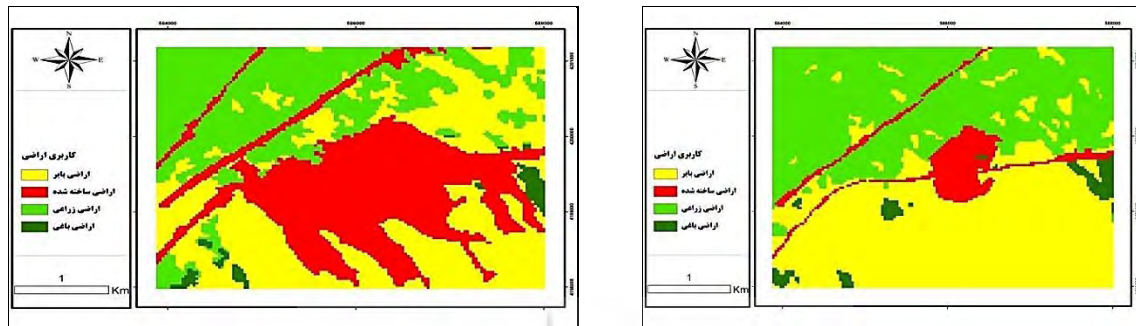
در مطالعه حاضر با بررسی میدانی و برداشت نمونه‌های تعلیمی با GPS، با توجه به پراکنش کاربری‌ها از نظر پوشش و کاربری اراضی در محدوده شهر ایلخچی چهار کلاس کاربری به این شرح انتخاب شد: اراضی بایر، اراضی ساخته‌شده، اراضی زراعی، اراضی باغی (شکل ۵ و جدول ۲).

جدول ۲. تنظیم تصویر پیش از اجرای طبقه‌بندی

تنظیمات	TM 1984, TM 2011
ترکیب باندهای مناسب	۴-۳-۲
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 توزیع نمونه‌ها در انتخاب نمونه‌های آموزشی پراکندگی مناطق برداشت نمونه در تمام تصویر نرمال شود. پس از طبقه‌بندی تصاویر سال ۱۳۶۳ و ۱۳۹۰ نقشه‌های رستری استخراج‌شده برای تولید نقشه نهایی تغییرات برداری شدند.

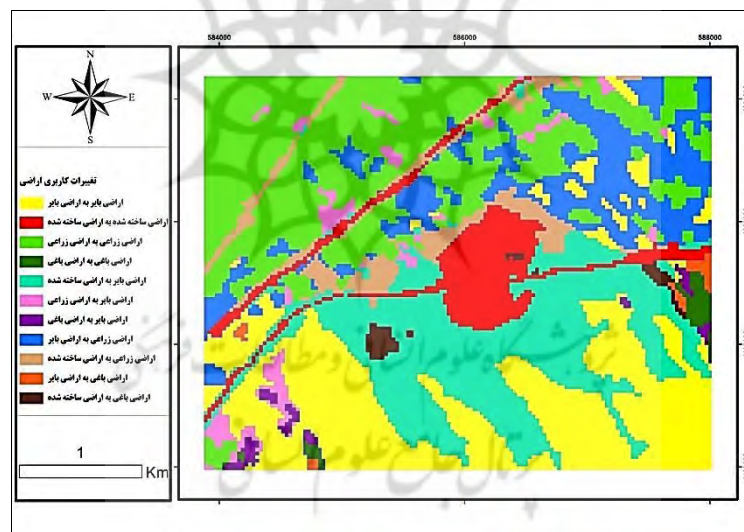
در شکل ۷، توزیع فضایی تغییرات حادث‌شده طی سال‌های ۱۳۶۳-۱۳۹۰ نمایش داده شده است. در این نقشه‌ها با استفاده از تابع پیوند (Union) چهار لایه اطلاعاتی طبقه‌بندی‌شده مربوط به کاربری‌های سال‌های ۱۳۶۳-۱۳۹۰ بر روی همدیگر همپوشانی شده‌اند (شکل ۶).



ب) نقشه کاربری اراضی ۱۳۹۰

الف) نقشه کاربری اراضی ۱۳۶۳

شکل ۵. کاربری زمین استخراج‌شده در محدوده شهر ایلخچی سال‌های ۱۳۶۳-۱۳۹۰



شکل ۶. تغییرات کاربری اراضی شهر ایلخچی بین سال‌های ۱۳۶۳-۱۳۹۰

منبع: نگارندگان، براساس پردازش تصاویر ماهواره‌ای

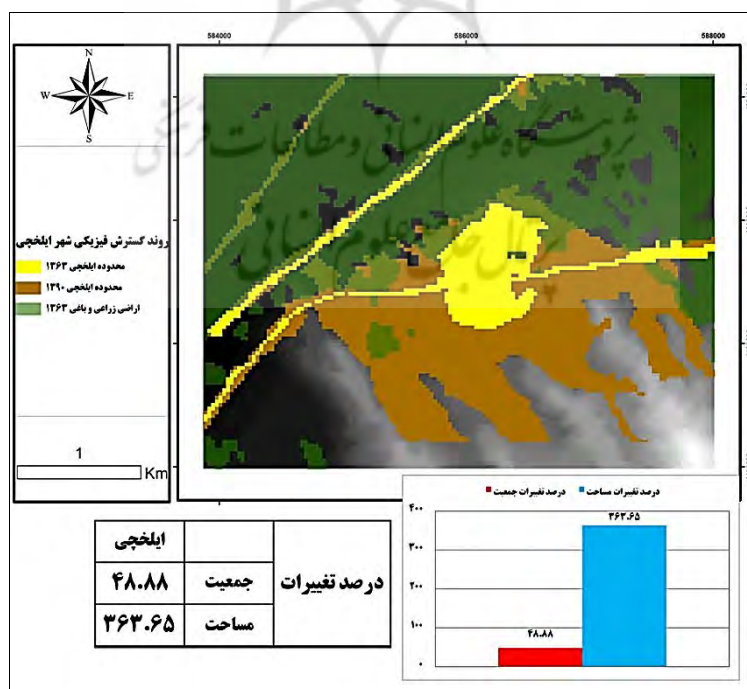
با بررسی‌ها و تحلیل‌های انجام‌شده بر روی نقشه‌های تغییرات کاربری در GIS، جداول مقایسه تغییرات کاربری و پوشش اراضی براساس تصاویر طبقه‌بندی‌شده سال‌های متوالی منطقه به‌دست آمد. تغییرات روی‌داده در اراضی منطقه این‌گونه است که طی دوره ۱۳۶۳-۱۳۹۰ کلاس اراضی باغی با مساحت ۶۲۷/۶۶ هکتار در سال ۱۳۶۳ به ۴۷۹/۵۲ هکتار در سال ۱۳۹۰ کاهش پیدا کرده است. اراضی ساخته‌شده که در سال ۱۳۶۳ حدود ۹۴/۵۹ هکتار بوده، در پایان دوره ۴۳۸/۵۷ هکتار بیشتر شده است، همچنین اراضی کشاورزی با مساحت ۵۷۲/۷۶ هکتار در سال ۱۳۶۳ به ۳۸۷/۹۰ هکتار در سال ۱۳۹۰ کاهش یافته و اراضی باغی با مساحت ۳۳/۹۳ هکتار در سال ۱۳۶۳ نیز به ۲۲/۹۵ هکتار در سال ۱۳۹۰ کاهش پیدا کرده است (جدول ۳).

جدول ۳. مقایسه تغییرات کاربری و پوشش اراضی براساس تصاویر طبقه‌بندی‌شده ۱۳۶۳-۱۳۹۰ (واحد هکتار)

مجموع کلاس‌ها	اراضی باغی	اراضی کشاورزی	اراضی ساخته‌شده	اراضی بایر	
۴۷۹/۵۲	۶/۹۳	۱۵۸/۶۷	۰	۳۱۳/۹۲	اراضی بایر
۴۳۸/۵۷	۱۱/۱۶	۶۵/۹۷	۹۴/۵۹	۲۶۶/۸۵	اراضی ساخته‌شده
۳۸۷/۹۰	۴/۶۸	۳۴۸/۰۳	۰	۳۵/۱۹	اراضی کشاورزی
۲۲/۹۵	۱۱/۱۶	۰	۰	۱۱/۷۰	اراضی باغی
۰	۳۳/۹۳	۵۷۲/۷۶	۹۴/۵۹	۶۲۷/۶۶	مجموع کلاس‌ها
۰	۲۲/۷۷	۲۲۴/۷۳	۰	۳۱۳/۷۴	تغییرات کلاس
۰	-۳۲/۳۶%	-۱۰/۹۸	-۳۲/۲۷%	-۱۴۸/۱۴	تفریق تصاویر

نمودار ستونی مقایسه تغییرات درصد مساحت، در مقایسه با درصد تغییرات جمعیت در شهر ایلخچی بین سال‌های ۱۳۶۳-۱۳۹۰ نشان می‌دهد تغییرات مساحت مناطق ساخته‌شده منطقه مورد مطالعه از تغییرات جمعیت بسیار سریع‌تر است که این مسئله سبب چندبرابری مساحت شهر ایلخچی شده؛ در حالی که طی این دوره آماری جمعیت چنان رشدی نداشته است. در این بین می‌توان مسئله شدت پراکنش شهری را در رشد بستر شهر بر روی اراضی زراعی اطراف شهر مشاهده کرد که به قابلیت اکولوژیکی و اجتماعی آن آسیب شدیدی وارد کرده است (شکل ۷).

یکی از روش‌های اساسی برای مشخص کردن رشد اسپرال شهری، استفاده از روش هلدرن است که با استفاده از آن می‌توان مشخص کرد که رشد شهری چه مقدار از رشد جمعیت و رشد اسپرال شهری ناشی بوده است (حکمت‌نیا و موسوی، ۱۳۹۲: ۱۲۸)



شکل ۷. تغییرات سطح کاربری اراضی ساخته‌شده و نمودار ستونی مقایسه تغییرات درصد مساحت در مقایسه با درصد تغییرات جمعیت برای نمایش شدت پراکنش شهری

$$\ln\left(\frac{Pf}{PS}\right) + \ln\left(\frac{pcgf}{pcgs}\right) = \ln\left(\frac{Uaf}{Uas}\right) \quad (2)$$

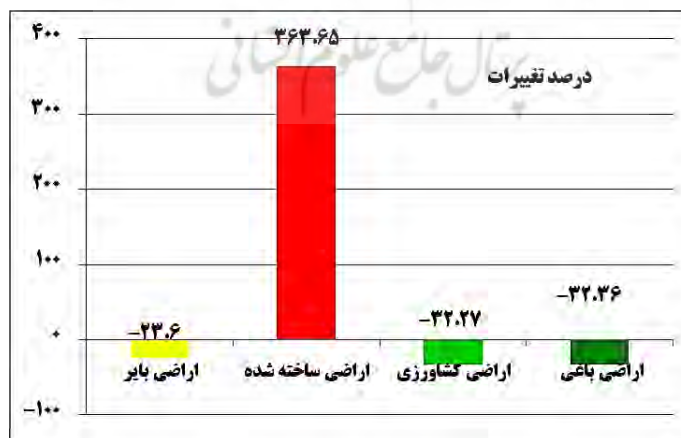
$$\rightarrow \ln\left(\frac{\text{جمعیت پایان دوره}}{\text{جمعیت آغاز دوره}}\right) + \ln\left(\frac{\text{سرايه ناخالص پایان دوره}}{\text{سرايه ناخالص آغاز دوره}}\right) = \ln\left(\frac{\text{وسعت شهر در پایان دوره}}{\text{وسعت شهر در آغاز دوره}}\right)$$

جدول ۴. محاسبه شاخص هلدن برای تعیین میزان رشد پراکنده در شهر ایلخچی

سال	۱۳۶۳	۱۳۹۰	هلدن ۱۳۶۳-۱۳۹۰
شهر			
مساحت (m ²)	۹۴۵۹۰۰		
جمعیت	۷۴۴۶		
مساحت (m ²)	۴۳۸۵۷۰۰		
جمعیت	۱۵۲۳۱		
Ln (PF.Ps)	۰/۷۱۵۶		
Ln (PcgF.PcgS)	۰/۱۸۸۴		
Ln (UaF.UaS)	۱/۵۳۴۰		
Pi=Ln (PF.Ps).Ln (UaF.UaS)	۰/۴۶۶۵		
GPCi=Ln (PcgF.PcgS).Ln (UaF.UaS)	۰/۵۳۳۵		
Pi+GPCi=Uai	۰/۵۳۳۵+۰/۴۶۶۵=۱		

در جدول فوق، Pf جمعیت پایان دوره، Ps جمعیت آغاز دوره، Pcgf سرانه ناخالص پایان دوره، PcgS سرانه ناخالص آغاز دوره، Uaf وسعت شهر در پایان دوره، Uas وسعت شهر در آغاز دوره، Pi نسبت لگاریتم طبیعی جمعیت پایان و آغاز دوره به لگاریتم طبیعی وسعت شهر در پایان و آغاز دوره و Gpci نسبت لگاریتم طبیعی سرانه ناخالص آغاز و پایان دوره به لگاریتم طبیعی وسعت شهر در آغاز و پایان دوره است.

با نگاهی به محاسبات جدول ۴ مشخص می‌شود رشد اسپرال شهری در منطقه مورد مطالعه، بالای ۵۳ درصد است که در طول زمان سبب تخریب اراضی زراعی می‌شود. مجموع درصد تغییرات کاربری‌ها نشان می‌دهد که بیشترین سهم در رشد اراضی ساخته شده به‌طور نسبی از کاهش اراضی کشاورزی و اراضی باغی ناشی شده است (شکل ۸).



شکل ۸. تغییرات درصد سطوح کاربری اراضی شهر ایلخچی بین سال‌های ۱۳۶۳-۱۳۹۰

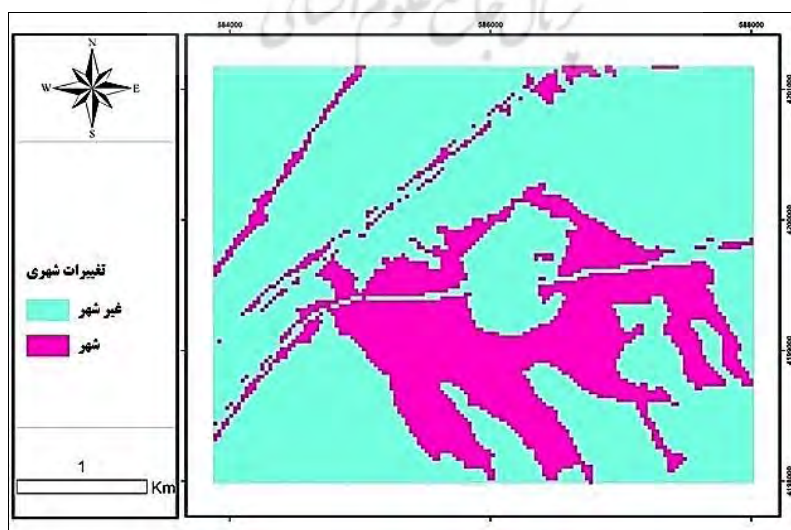
توسعه مدل تحول زمین (LTM) در شهر ایلخچی

مدل LTM که سیستم اطلاعات جغرافیایی را با شبکه عصبی مصنوعی متصل می‌کند، توان واردسازی تنوع زیادی را از

ورودی‌های مؤثر بر تغییرات کاربری مانند اقتصادی اجتماعی و زیست‌محیطی در خود دارد. این مدل از شش برنامه کاربردی تحت Command Prompt سیستم‌عامل ویندوز تشکیل شده که هر برنامه برای اجرای یکی از مراحل مدل تعریف شده است. بخش‌های مربوط به GIS که شامل مراحل مرتبط با آماده‌سازی داده‌ها، تهیه خروجی‌ها و تبدیل به فرمت اسکی (فرمت لازم برای LTM) است، در نرم‌افزار ArcGIS انجام شده و تنها فرمت نهایی نودهای ورودی و خروجی در مدل LTM پذیرفتنی است. داده‌ها پس از جمع‌آوری و آماده‌سازی برای ورود در مدل LTM آماده شدند و فرایند مدل‌سازی در LTM آغاز شد. درحقیقت، در این مدل با به‌کارگیری یکی از قوانین ترکیب داده‌ها یعنی ترکیب با روش ANN، الگوی تغییرات شناسایی می‌شود و بر مبنای آن می‌توان آینده تغییرات را پیش‌بینی کرد. فرایند مدل‌سازی LTM شامل مراحل زیر است:

ایجاد شبکه

به‌منظور استخراج متغیرهای مستقل، لایه‌های اکولوژیکی مؤثر در توسعه شهری براساس ادبیات تحقیق از منابع مختلف تهیه، و در دو دسته متغیرهای طبیعی و انسانی وارد مدل شده است. همچنین با توجه به داده‌های در دسترس و رویکرد اطلاعات محور، مواردی از متغیرهای اجتماعی-اقتصادی به‌عنوان متغیر مستقل به مدل وارد شده است. داده‌های مطالعه، نقشه مناطق شهری ۱۳۶۳، نقشه مناطق شهری ۱۳۹۰، نقشه تغییرات شهری ۱۳۶۳، نقشه مناطق شهری ۱۳۶۳ (مناطق مستثنا)، شیب، تراکم جمعیت، فاصله از مراکز تجاری، فاصله از جاده‌های اصلی، فاصله از مراکز شهری موجود، فاصله از خطوط انتقال نیرو، فاصله از گسله، تعداد سلول‌های شهری در پنجره ۳×۳، ساختار زمین‌شناسی، نقشه بولین اراضی بایر، نقشه بولین اراضی باغی و نقشه بولین اراضی کشاورزی هستند. از آنجا که قانون‌های تصمیم‌گیری متعددی برای بهره‌برداری از این متغیرها وجود دارد، در این مطالعه فاصله از این متغیرها شاخص مدنظر است. گفتنی است لایه ورودی، متغیرهای مؤثر بر کاربری زمین است و لایه خروجی متغیر کاربری تغییر یافته در دوره زمانی مورد مطالعه به‌شمار می‌آید. داده‌های اولیه مورد نیاز برای مدل‌سازی در محیط نرم‌افزار ArcGIS آماده‌سازی، و به فرمت ASCII مورد نیاز تبدیل می‌شود (جدول ۴-۲). مدل LTM نیز با فرض برابر بودن، تعداد نودهای لایه مخفی و ورودی مدل‌سازی را انجام می‌دهد؛ بنابراین با لایه‌های ذکر شده در جدول ۵ و اشکال ۹ و ۱۰، شبکه‌ای با ۱۲ نود ورودی، ۱۲ نود مخفی و ۱ نود خروجی ایجاد می‌شود (شکل ۹ و ۱۰).



شکل ۹. نود خروجی، رشد شهری دوره زمانی ۱۳۶۳-۱۳۹۰

جدول ۵. داده‌های کاربردی در LTM

داده (نود)	ماهیت داده	منبع	تفکیک (متر)
نقشه مناطق شهری ۱۳۶۳ (پایه)	بولین ۰-۱	تصویر ماهواره‌ای طبقه‌بندی‌شده ۱۳۶۳ و تابع Reclass	۳۰
نقشه مناطق شهری ۱۳۹۰ (آخر)	بولین ۰-۱	تصویر ماهواره‌ای طبقه‌بندی‌شده ۱۳۹۰ و تابع Reclass	۳۰
نقشه تغییرات شهری ۱۳۶۳-۱۳۹۰	بولین ۰-۱	تفریق تصویر ماهواره‌ای طبقه‌بندی‌شده ۱۳۶۳ از ۱۳۹۰	۳۰
نقشه مناطق شهری ۱۳۶۳ (مناطق مستثنا)	بولین ۰-۴	تصویر ماهواره‌ای طبقه‌بندی‌شده و تابع Reclass	۳۰
شیب	پیوسته	نقشه‌های توپوگرافی و تابع درصد شیب	۳۰
تراکم جمعیت	پیوسته	نقشه بلوک‌های آماری جمعیت و تابع Density	۳۰
فاصله از مراکز تجاری	پیوسته	نقشه کاربری اراضی شهری و تابع Distance	۳۰
فاصله از جاده‌های اصلی	پیوسته	نقشه کاربری اراضی شهری و تابع Distance	۳۰
فاصله از مراکز شهری موجود	پیوسته	تصویر ماهواره‌ای طبقه‌بندی‌شده و تابع Distance	۳۰
فاصله از خطوط انتقال نیرو	پیوسته	نقشه‌های توپوگرافی و تابع Distance	۳۰
فاصله از گسله	پیوسته	نقشه زمین‌شناسی و تابع Distance	۳۰
تعداد سلول‌های شهری در پنجره ۳×۳	پیوسته	نقشه بولین مناطق شهری ۱۳۶۳ و تابع CVN	۳۰
ساختار زمین‌شناسی	پیوسته	نقشه زمین‌شناسی و تابع Reclass	۳۰
نقشه بولین اراضی بایر	بولین ۰-۱	تصویر ماهواره‌ای طبقه‌بندی‌شده و تابع Reclass	۳۰
نقشه بولین اراضی باغی	بولین ۰-۱	تصویر ماهواره‌ای طبقه‌بندی‌شده و تابع Reclass	۳۰
نقشه بولین اراضی کشاورزی	بولین ۰-۱	تصویر ماهواره‌ای طبقه‌بندی‌شده و تابع Reclass	۳۰

آموزش شبکه

هدف از آموزش شبکه در روش شبکه عصبی مصنوعی، برقراری ارتباط بین کلاس‌ها یا نحوه تغییرات شهری با ایجاد الگوهایی در سطح شبکه است. در این مرحله شبکه با بخشی از داده‌ها (۱ سلول از هر ۲ سلول) آزموده، و میزان خطا در پایان هر صد چرخه گزارش داده می‌شود. جدول ۶ میزان خطای RMS را در ۱۰ هزار چرخه نشان می‌دهد. با توجه به اینکه در پایان چرخه ۸ هزار میزان خطا در کمترین حد است، از تصویر احتمال پیش‌بینی در مرحله تست این چرخه برای گرفتن خروجی نقشه احتمال شهرنشینی استفاده شد.

ارزیابی مدل

در این تحقیق مدل‌های احتمالی پیش‌بینی شهرنشینی از طریق شاخص مشخصه عامل نسبی ROC، ریشه میانگین مربعات (RMS) و درصد متریک سازگاری (PCM) ارزیابی شد که در ادامه به آن‌ها پرداخته می‌شود.

الف) محاسبه RMS

در این محاسبه N تعداد داده‌ها، O_i داده‌های اصلی و p_i داده‌های پیش‌بینی را نشان می‌دهد.

$$RMS = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (p_i - O_i)^2 \right)^{1/2} \quad (3)$$

جدول ۶. میزان خطای RMS در پایان ۱۰ هزار چرخه اول

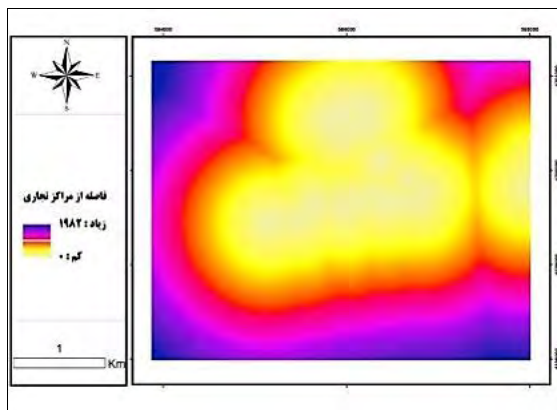
خطا	چرخه	خطا	چرخه	خطا	چرخه	خطا	چرخه	خطا	چرخه
۰/۰۱۸۹۶۶۸	۸۱۰۰	۰/۰۱۹۰۲۰۱	۶۱۰۰	۰/۰۱۹۰۹۵۹	۴۱۰۰	۰/۰۱۹۲۳۳۹	۲۱۰۰	۰/۰۲۱۸۸۹۶	۱۰۰
۰/۰۱۸۹۶۷۷	۸۲۰۰	۰/۰۱۹۰۰۸۳	۶۲۰۰	۰/۰۱۹۰۸۲	۴۲۰۰	۰/۰۱۹۲۳۲۳	۲۲۰۰	۰/۰۲۰۶۵۴	۲۰۰
۰/۰۱۸۹۶۴۳	۸۳۰۰	۰/۰۱۹۰۰۸۸	۶۳۰۰	۰/۰۱۹۰۸۲۵	۴۳۰۰	۰/۰۱۹۲۰۳۴	۲۳۰۰	۰/۰۲۰۳۲۵۳	۳۰۰
۰/۰۱۸۹۶۸۱	۸۴۰۰	۰/۰۱۸۹۹۵۴	۶۴۰۰	۰/۰۱۹۰۵۷	۴۴۰۰	۰/۰۱۹۲۱۷۵	۲۴۰۰	۰/۰۲۰۱۴۴۹	۴۰۰
۰/۰۱۸۹۵۳۴	۸۵۰۰	۰/۰۱۸۹۹۹۲	۶۵۰۰	۰/۰۱۹۰۵۳۴	۴۵۰۰	۰/۰۱۹۱۸۲۵	۲۵۰۰	۰/۰۱۹۹۹۷۹	۵۰۰
۰/۰۱۸۹۶۸۸	۸۶۰۰	۰/۰۱۹۰۱۶۶	۶۶۰۰	۰/۰۱۹۰۵۳۱	۴۶۰۰	۰/۰۱۹۱۸۱۸	۲۶۰۰	۰/۰۱۹۹۰۲۸	۶۰۰
۰/۰۱۸۹۶۳	۸۷۰۰	۰/۰۱۹۰۱۴۷	۶۷۰۰	۰/۰۱۹۰۵۷۱	۴۷۰۰	۰/۰۱۹۱۴۲۷	۲۷۰۰	۰/۰۱۹۷۷۳۱	۷۰۰
۰/۰۱۸۹۶۹۳	۸۸۰۰	۰/۰۱۸۹۹۲۷	۶۸۰۰	۰/۰۱۹۰۵۹۹	۴۸۰۰	۰/۰۱۹۱۵۲۱	۲۸۰۰	۰/۰۱۹۶۷۶۶	۸۰۰
۰/۰۱۸۹۶۶۱	۸۹۰۰	۰/۰۱۹۰۱۱	۶۹۰۰	۰/۰۱۹۰۵۷	۴۹۰۰	۰/۰۱۹۱۵۱۲	۲۹۰۰	۰/۰۱۹۶۰۸۱	۹۰۰
۰/۰۱۸۹۵۸۱	۹۰۰۰	۰/۰۱۹۰۰۲۳	۷۰۰۰	۰/۰۱۹۰۳۴۷	۵۰۰۰	۰/۰۱۹۱۲۹۱	۳۰۰۰	۰/۰۱۹۵۴۲۳	۱۰۰۰
۰/۰۱۸۹۶۹	۹۱۰۰	۰/۰۱۸۹۹۸۴	۷۱۰۰	۰/۰۱۹۰۴۶۳	۵۱۰۰	۰/۰۱۹۱۲	۳۱۰۰	۰/۰۱۹۴۲۹۴	۱۱۰۰
۰/۰۱۸۹۷۶۷	۹۲۰۰	۰/۰۱۹۰۰۱۹	۷۲۰۰	۰/۰۱۹۰۵۱۵	۵۲۰۰	۰/۰۱۹۱۱۴۹	۳۲۰۰	۰/۰۱۹۳۹۰۴	۱۲۰۰
۰/۰۱۸۹۶۷۹	۹۳۰۰	۰/۰۱۹۰۰۳	۷۳۰۰	۰/۰۱۹۰۲۰۸	۵۳۰۰	۰/۰۱۹۱۱۹۸	۳۳۰۰	۰/۰۱۹۳۶۷۳	۱۳۰۰
۰/۰۱۸۹۶۰۸	۹۴۰۰	۰/۰۱۸۹۹۲۲	۷۴۰۰	۰/۰۱۹۰۲۹	۵۴۰۰	۰/۰۱۹۰۹۲۱	۳۴۰۰	۰/۰۱۹۳۴۳۱	۱۴۰۰
۰/۰۱۸۹۶۴۴	۹۵۰۰	۰/۰۱۹۳۶۷۳	۷۵۰۰	۰/۰۱۹۰۳۴۳	۵۵۰۰	۰/۰۱۹۰۹۵۴	۳۵۰۰	۰/۰۱۹۳۳۵۴	۱۵۰۰
۰/۰۱۸۹۵۸۸	۹۶۰۰	۰/۰۱۸۹۷۳۶	۷۶۰۰	۰/۰۱۹۰۳۶	۵۶۰۰	۰/۰۱۹۰۶۵۸	۳۶۰۰	۰/۰۱۹۲۹۷۲	۱۶۰۰
۰/۰۱۸۹۵۷۵	۹۷۰۰	۰/۰۱۸۹۷۰۵	۷۷۰۰	۰/۰۱۹۰۲۰۹	۵۷۰۰	۰/۰۱۹۰۷۴۷	۳۷۰۰	۰/۰۱۹۲۷۴۵	۱۷۰۰
۰/۰۱۸۹۶۹۳	۹۸۰۰	۰/۰۱۸۹۶۶۲	۷۸۰۰	۰/۰۱۹۰۱۸۷	۵۸۰۰	۰/۰۱۹۰۶۸۳	۳۸۰۰	۰/۰۱۹۲۸۳۵	۱۸۰۰
۰/۰۱۸۹۶۶	۹۹۰۰	۰/۰۱۸۹۸۴۸	۷۹۰۰	۰/۰۱۹۰۱۶	۵۹۰۰	۰/۰۱۹۰۸۵	۳۹۰۰	۰/۰۱۹۲۶۸۶	۱۹۰۰
۰/۰۱۸۹۵۴	۱۰۰۰۰	۰/۰۱۸۹۷۱۱	۸۰۰۰	۰/۰۱۸۹۹۷۸	۶۰۰۰	۰/۰۱۹۰۹۲۳	۴۰۰۰	۰/۰۱۹۲۴۲۳	۲۰۰۰

ب) محاسبه PCM

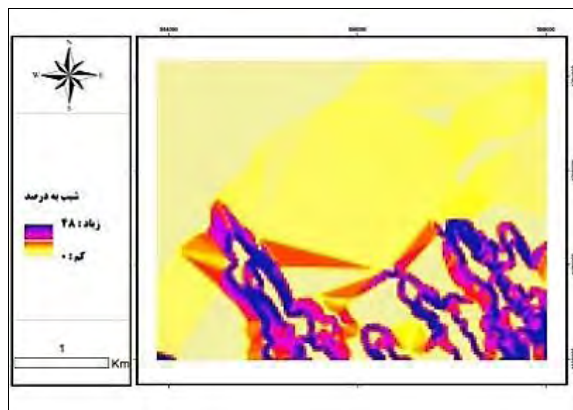
از طریق طبقه‌بندی مجدد لایه تغییرات واقعی و تجمیع آن با نقشه تهیه‌شده در مرحله تست شبکه، نقشه مورد نظر برای تحلیل PCM تهیه می‌شود. PCM از تقسیم تغییرات واقعی و پیش‌بینی‌شده در مدل یعنی مقدار ۳ به دست می‌آید، در رابطه ۳۰ TP، تعداد سلول‌های تغییر یافته در نقشه واقعی و شبیه‌سازی‌شده و TCN تعداد سلول‌های تغییر یافته است.

$$PCM = \frac{TP}{TCN} \times 100 \quad (۴)$$

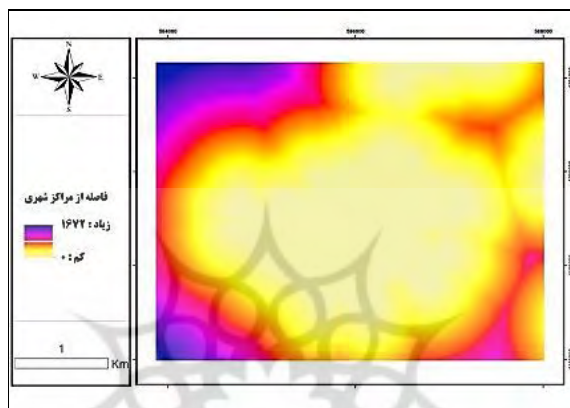
(رحیمی، ۱۳۹۲: ۹۴).



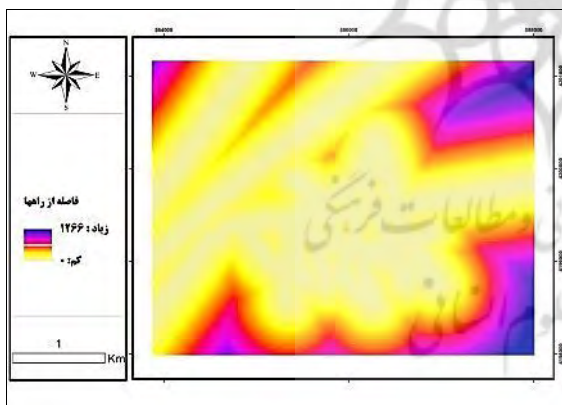
متغیر فاصله از مراکز تجاری



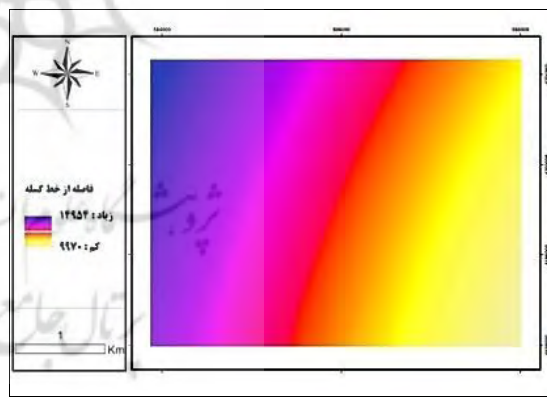
متغیر فاصله از مراکز شهری



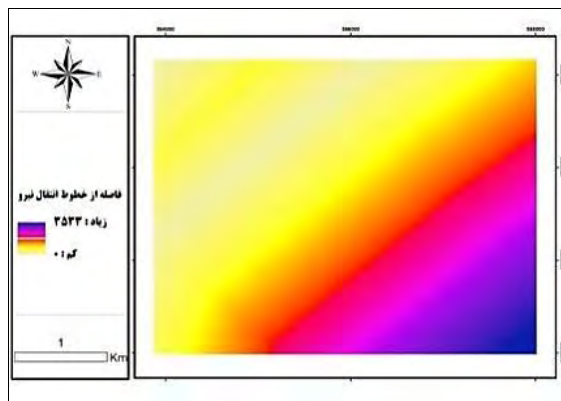
متغیر شیب



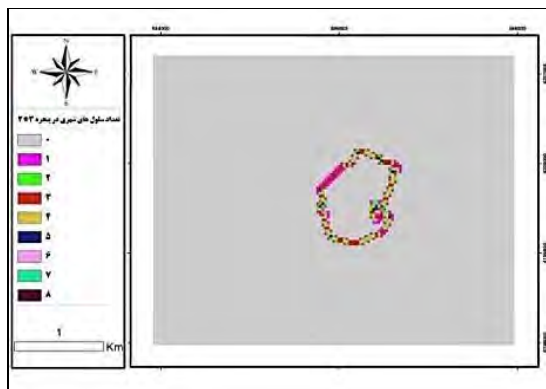
متغیر فاصله از خطوط انتقال نیرو



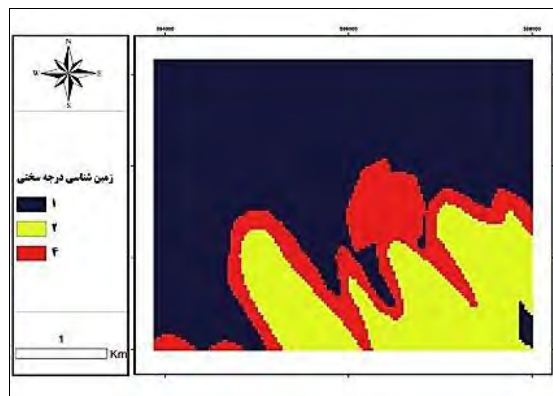
متغیر فاصله از خط گسل



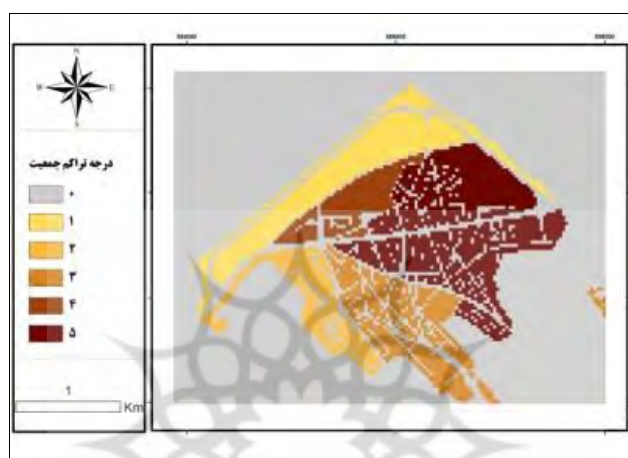
متغیر فاصله از راهها



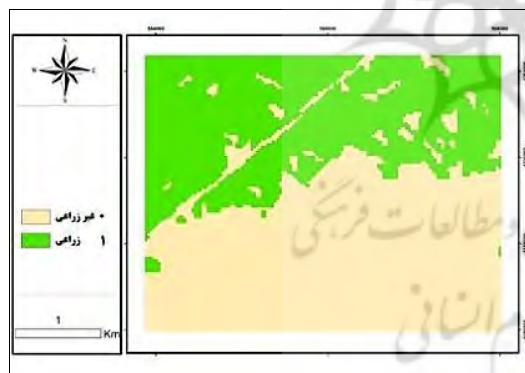
متغیر درجه تراکم جمعیت



متغیر زمین‌شناسی



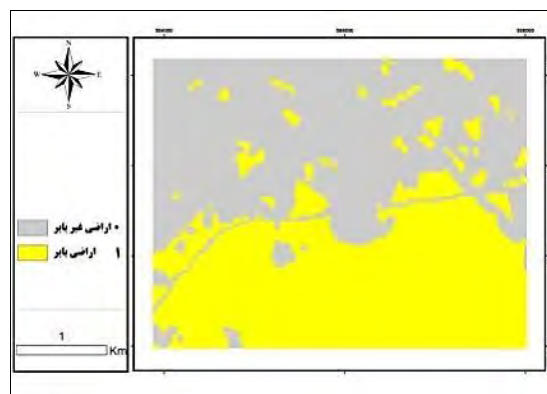
متغیر تعداد سلول‌های شهری در پنجره ۳×۳



متغیر بولین اراضی بایر



متغیر بولین اراضی باغی



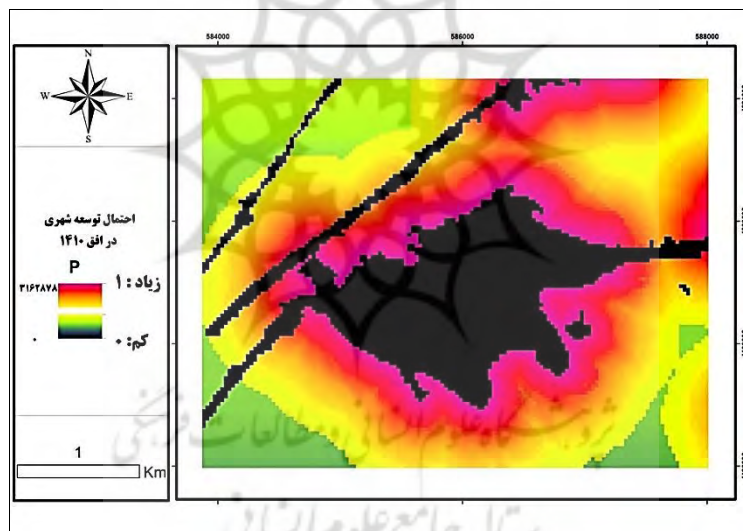
متغیر بولین اراضی زراعی

شکل ۱۰. متغیرهای مستقل تحقیق مؤثر در روند تغییرات از سال ۱۳۶۳-۱۳۹۰

استفاده از داده‌های مرحله آموزش برای قضاوت درباره شبکه ممکن نیست و به انجام این مرحله نیاز دارد. در این مرحله تمام داده‌ها استفاده می‌شود و در پایان آن احتمالاً امکان تغییر هر منطقه در آینده وجود دارد و فایل متنی گزارش‌دهنده ضریب کاپا و میزان درصد صحت نیز ایجاد می‌شود. شکل شماره ۱۱ نشان می‌دهد که مدل توانسته است با کمترین خطا، توسعه شهری بین سال‌های ۱۳۶۳-۱۳۹۰ را آموزش دهد. مناطق به رنگ بنفش روشن در نقشه آموزش دیده که براساس آن تست، شبیه‌سازی و پیش‌بینی انجام می‌شود، در مقایسه با نقشه واقعی توسعه شهری تناسب بهینه‌ای دارد.

همان‌طور که در جدول ۶ آمده در سیکل یادگیری ۸۵۰۰ میزان RMS با رقم ۰/۰۱۸۹۵۳۴ در کمترین حد بوده و برای تصویر احتمالی این چرخه PCM و KC به ترتیب ۸۷/۸۳۱۳۱۵ و ۰/۸۴۴۳۴ است که نشان‌دهنده آموزش موفق شبکه برای به‌دست‌آوردن تصویر احتمال پیش‌بینی شهرنشینی است.

به‌منظور استخراج و پیش‌بینی توسعه شهری در افق ۱۴۱۰ ابتدا جمعیت را با استفاده از روش ترکیبی و نرم‌افزار Spectrum پیش‌بینی، سپس براساس آن مقدار مساحت مورد نیاز را برای توسعه آتی ۲۸۷/۷۷ محاسبه می‌کنیم. همچنین در جدول ۷ وضعیت توسعه آتی شهر ایلخچی در افق ۱۴۱۰ براساس پیش‌بینی رشد جمعیت و مساحت مورد نیاز مشخص شده است (شکل ۱۳ و جدول ۷).



شکل ۱۱. تصویر پیش‌بینی رشد شهر ایلخچی براساس مدل LTM

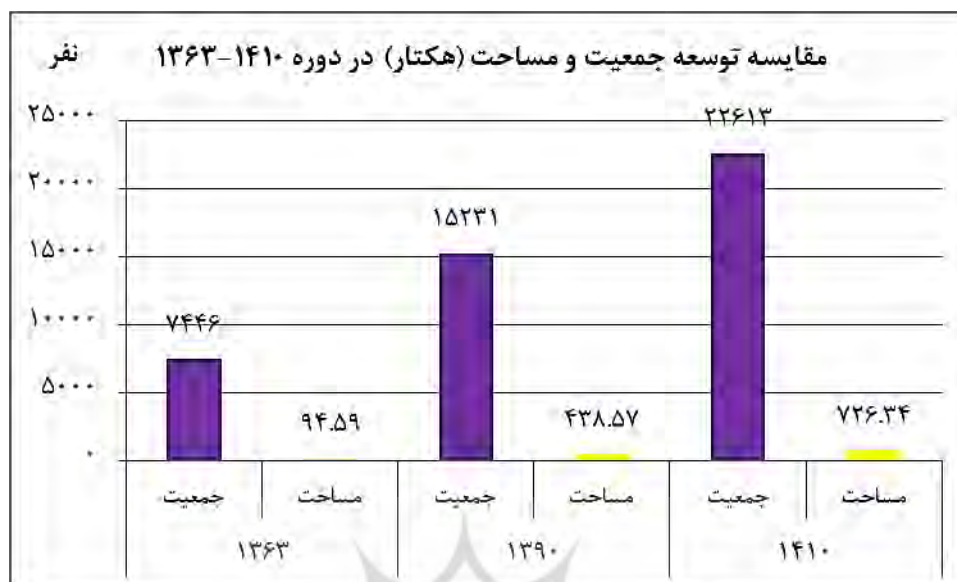
جدول ۷. روند توسعه شهری از سال ۱۳۶۳-۱۳۹۰ و پیش‌بینی جمعیت و اراضی مورد نیاز برای توسعه آتی تا افق ۱۴۱۰

شهر	۱۳۶۳ (۱۹۸۴)		۱۳۹۰ (۲۰۱۱)		۱۴۱۰ (۲۰۳۱)	
	مساحت	جمعیت	مساحت	جمعیت	مساحت	جمعیت
ایلخچی	۵۹/۹۴	۷۴۴۶	۵۷/۴۳۸	۱۵۲۳۱	۳۴/۷۲۶	۲۲۶۱۳
نرخ رشد			۶۳-۹۰		۱۰-۹۰	

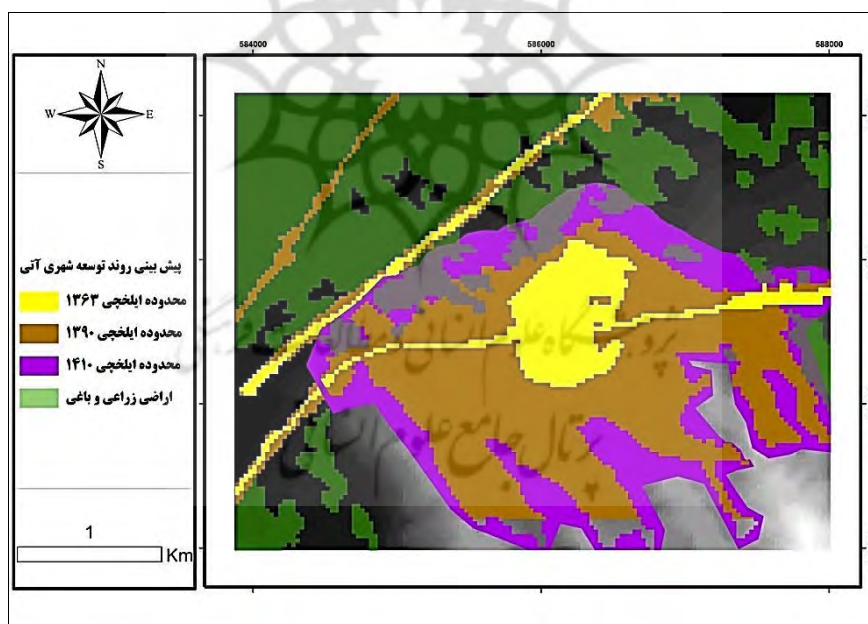
منبع: نگارندگان

با مقایسه نرخ رشد جمعیت و میزان تغییر مساحت مشخص می‌شود نرخ رشد جمعیت در دوره ۱۳۹۰-۱۴۱۰ در مقایسه با دوره‌های قبل کاهش می‌یابد که این امر از کاهش نرخ باروری کل نشئت می‌گیرد، اما با عنایت به اینکه نرخ باروری بالا با تعداد کم زنان در حال ازدواج در دو دهه قبل، جایگزین زیادبودن زنان در سنین ازدواج با نرخ باروری پایین در دو دهه آتی خواهد شد به استناد آمار شاخص‌های باروری استان آذربایجان شرقی (فتح‌زاده، ۱۳۸۹: ۴۱)، رشد جمعیت

شهر ایلخچی با شیب ملایم ادامه خواهد یافت و به جمعیت این شهر در افق ۱۴۱۰، ۷,۳۸۲ نفر افزوده خواهد شد (جدول ۷ و نمودار ۱۲).

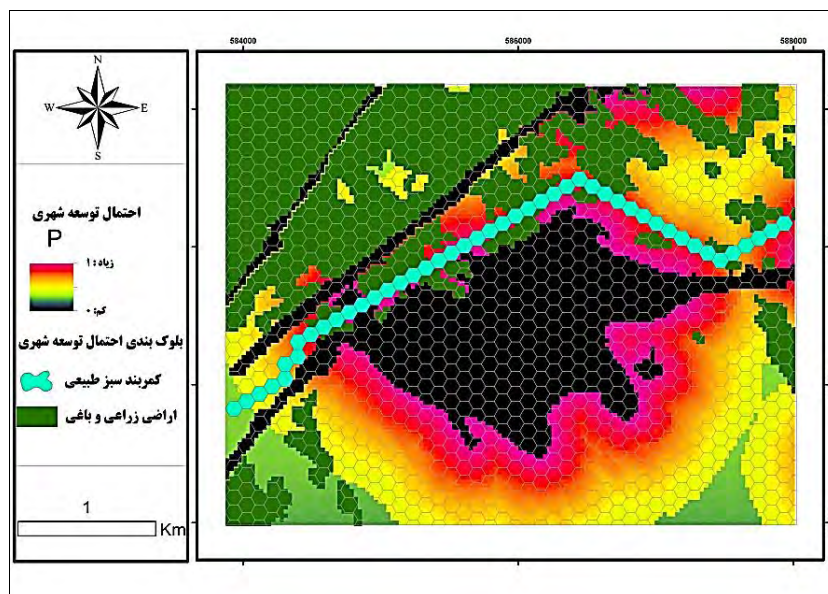


شکل ۱۲. تغییرات درصد سطوح کاربری اراضی شهر ایلخچی بین سال‌های ۱۳۶۳-۱۳۹۰



شکل ۱۳. وضعیت توسعه آتی شهر ایلخچی در افق ۱۴۱۰

به‌منظور جلوگیری از تداوم روند رشد پراکنده شهری و توسعه افقی، کاهش آثار زیست‌محیطی تداوم توسعه بر روی اراضی غیرمجاز و پیشگیری از تخریب مکان‌های باز و تفریحی پیرامون شهر ایلخچی در نواحی توسعه‌یافته جدید با استفاده از تجارب کشورهای اروپایی در حفاظت از اراضی زراعی اطراف شهرها با بلوک‌بندی احتمالاتی نقشه توسعه شهری و مشخص کردن کمربند سبز طبیعی به طول ۵ کیلومتر می‌توان حیات اکولوژیک شهر ایلخچی را در دو دهه آتی حفظ کرد (شکل ۱۴ و جدول ۸).



شکل ۱۴. بلوک‌بندی hexagone احتمال توسعه شهری برای استخراج کمربندهای حفاظتی شهر ایلخچی در افق ۱۴۱۰

جدول ۸. سیاست کمربندها و کمان‌های سبز در الگوی توسعه اکولوژیک آبی شهر ایلخچی

شهر	نوع	جهت	طول (Km)	کارکرد
ایلخچی	کمربند سبز طبیعی	غربی و شرقی	۵	جلوگیری از تداوم توسعه شهر ایلخچی بر روی اراضی زراعی مرغوب شمال شهر

نتیجه‌گیری

در این مقاله ابتدا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست سنجنده TM و ETM+ در طی دوره ۲۷ ساله از سال ۱۳۶۳-۱۳۹۰ در شهر ایلخچی تغییرات کاربری اراضی با روش شیء‌گرا و ماتریس CrossTab ارزیابی شد و نتایج نشان داد که منطقه مورد مطالعه در سال ۱۳۶۳ در حدود ۹۴/۵۹ هکتار کاربری اراضی ساخته شده داشته که این مقدار در سال ۱۳۹۰ به حدود ۴۳۸/۵۷ هکتار افزایش یافته است. با توجه به اینکه جمعیت شهر ایلخچی در سال ۱۳۶۳ نزدیک به ۷,۴۴۶ نفر بوده و در سال ۱۳۹۰ به ۱۵,۲۳۱ نفر رسیده است، تراکم در منطقه مورد مطالعه طی همین سال از ۷۸ نفر در هکتار به ۳۴ کاهش یافته است.

باید توجه داشت که کاهش تراکم یکی از عواملی است که به پدیده گسترده‌گی شهری و به تبع آن تغییرات کاربری‌ها منجر شده است. همین مسئله در کاهش اراضی باغی و کشاورزی به میزان ۶۲۹/۵ هکتار در نتیجه گسترش افقی تأثیرگذار بوده است. همپوشانی مناطق توسعه‌یافته پیش‌بینی شده در افق ۱۴۱۰ نشان می‌دهد ۱۰۶/۹۲ هکتار از اراضی زراعی و باغی به زیر ساخت‌وساز شهری خواهد رفت. گفتنی است بیشتر شهرهای ایران در مراحل اولیه شکل‌گیری با هدف استفاده از خاک‌های مرغوب به منظور زراعت، در میان اراضی زراعی استقرار یافت. به مرور زمان همراه با گسترش روستاها و تبدیل آن‌ها به شهر، سپس توسعه شهرها اراضی مرغوب زیر پیکر شهرها مدفون شد و بالطبع بخش وسیعی از بهترین و با ارزش‌ترین اراضی بلافصل شهرها به زیر ساخت و ساز رفت. برای جلوگیری از این مسئله با استفاده از فن تجربی شبکه‌های عصبی مصنوعی مبتنی بر مدل LTM با متغیرهای مؤثر، نقشه احتمال توسعه شهری استخراج شد و پس از شبکه‌بندی با استخراج کمربند و کمان‌های سبز با دادن فضای لازم برای توسعه، پیشنهاد حفاظت از این ذخیره اکولوژیک مطرح گردید.

گفتنی است در صورت استفاده از نتایج این تحقیق در روند توسعه آبی کمترین آسیب‌ها متوجه کاربری باغ‌ها و کشاورزی در دهه‌های آتی خواهد بود؛ بنابراین، راهکار کمربند و کمان‌های سبز، آن هم از نوع طبیعی، با افزایش

فشرده‌گی کالبدی و استفاده از شیوه‌های مربوط به آن به‌منظور هدایت توسعه شهری در شهر ایلخچی به سمت پایداری بیشتر، باید در دستور کار برنامه‌ریزان و متولیان امور شهری قرار بگیرد. در واقع، بی‌توجهی به ضوابط و مقررات گسترش کالبدی-فضایی شهر در سال‌های اخیر، به‌ویژه سی سال گذشته، اراضی کشاورزی را نابود یا آن‌ها را به کاربری بایر شهری و کاربری‌های ساخته‌شده تبدیل کرده است. با مشخص شدن نوع الگوی توسعه شهر ایلخچی و تأثیر آن بر زمین‌های باغی اطراف پیشنهاد می‌شود برای کاهش پراکنش افقی و مشکلات ناشی از آن، نظارت بیشتر بر محدوده‌های شهری اشرف کمربند سبز پیشنهادی، استفاده از شیوه‌های انبوه‌سازی و بلندمرتبه‌سازی (شهر فشرده)، استفاده از اراضی کم‌بازده موجود در داخل شهر (توسعه میان‌افزا) و هدایت به سمت توسعه شهری در جهاتی غیر از زمین‌های کشاورزی در اولویت کارکنان مدیریت دره زیست‌محیطی شهر ایلخچی قرار بگیرد.

سپاس‌گزاری

بدین‌وسیله از همکاری اداره کل راه و شهرسازی استان آذربایجان شرقی در انجام پژوهش حاضر سپاس‌گزاری می‌شود.

منابع

۱. بحرینی، حسین ۱۳۶۸، **تهران چگونه شهری است و چه باید باشد؟**، مجله محیط‌شناسی، شماره ۱۵، ویژه‌نامه تهران.
۲. حکمت‌نیا، حسن و میرنجف موسوی، ۱۳۹۲، **کاربرد مدل در جغرافیا با تأکید بر برنامه‌ریزی شهری و ناحیه‌ای**، انتشارات آزادپیما، چاپ سوم.
۳. رحیمی، اکبر، ۱۳۹۲، **ارزیابی و مدل‌سازی توسعه فضایی-کالبدی با تأکید بر توسعه میان‌افزا (نمونه موردی: کلان‌شهر تبریز)**، رساله دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی دانشگاه تبریز.
۴. رسولی، علی‌اکبر و حسن محمودزاده، ۱۳۸۹، **مبانی سنجش‌ازدور دانش پایه**، انتشارات علمیران.
۵. شکوئی، حسین ۱۳۷۳، **دیدگاه‌های نو در جغرافیای شهری**، انتشارات سمت.
۶. شیعه، اسماعیل ۱۳۷۷، **مقدمه‌ای بر مبانی برنامه‌ریزی شهری**، انتشارات دانشگاه علم و صنعت، ۲۱۲.
۷. فتح‌زاده، حیدر، ۱۳۸۹، **شاخص‌های باروری استان آذربایجان شرقی**، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی آذربایجان شرقی.
۸. ویلیامز کاتی، برتون الزابت و جنکنز مایک، ۱۳۸۳، **دستیابی به شکل پایدار شهری (شکل پایداری و حمل و نقل)**، ترجمه و آراز مرادی مسیحی، شرکت پردازش و برنامه‌ریزی شهری، تهران.
9. 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, Vol.33, No. 1, pp.7-35.
10. Atkinson, P., and Tatnall, A., 1997, **Neural networks in remote sensing. International Journal of Remote Sensing**, Vol. 18, No. 4, pp. 699° 709.
11. Babaian, R., and etc, 1997, **Early detection program for prostate cancer: results and identiifcation of hig-risk patient population**. Urology, Vol.37, No.3, pp. 193-197.
12. Bahreyni, H., 1989, **How is Tehran and what it should be?** Journal of Environmental Studies, Vol. 15, No 15, pp 83-97, Special letter. (In Persian)
13. Benz, U.C., and etc, 2004, **Multi-resolution, objectoriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information**. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing No. 58, pp. 239° 258.
14. Bhatta, B., 2010, **Analysis of Urban Growth and Sprawl from Remote Sensing**, DataSpringer, London, p 191.

15. Bockstael, N., and etc, 1995, **Ecological Economic Modeling and Valuation of Ecosystems**, Ecological Economics ,No. 14, pp. 143-159.
16. Bogart, W., 2009, **Don't Call It Sprawl: Metropolitan Structure in the 21st Century**, New York: Cambridge University Press, 2006. 196 pp
17. Brown, D. G., Lusch, D. P., & Duda, K. A.,1998, **Supervised classification of glaciated landscape types using digital elevation data**. Geomorphology, Vol. 21, No. 3, pp. 233-250.
18. Drummond, S., Joshi, A., and Sudduth, K.,1998, **Application of neural networks: precision Farming**. IEEE Transactions on Neural Networks, 211° 215.
19. Fathzadeh, H. 2011, **Indicators of Fertility Rates of the East Azarbaijan Province**, Management and Planning Organization of East Azarbaijan Province Publication. *(In Persian)*
20. Fishman, M., Barr, Dean S., and Loick, W. J. ,1991, **Using neural nets in market analysis**, Technical Analysis of Stocks and Commodities,No.4,pp. 18° 21.
21. Fukushima, K., Miyake, S., and Takayuki., 1983, **Neocognitron: a neural network model for a mechanism of visual pattern recognition**. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, SMC, Vol.13, No.5, pp. 826° 834.
22. Hekmatniya, H. and Moussavi, M. N., 2006, **The Use of Models in Geography with Emphasis on Urban and Regional Planning**, Novin Publications, Yazd. *(In Persian)*
23. Katie Williams, Michael Jenks, Elizabeth Burton., 2000, **Achieving Sustainable Urban Form**, Taylor & Francis Publications, 388p.
24. Nancy E. McIntyre, K. Knowles-Yáñez, and D. Hope. 2008, **Urban Ecology as an Interdisciplinary Field: Differences in the use of "Urban" Between the Social and Natural Sciences**, Journal of Urban Ecosystems. No. 4, pp. 5-24.
25. Pijanowski, B. C., Brown, D. G., Shellito, B. A., and Manik, G. A. 2002, **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.
26. Rahimi A., 2013, **Evaluation and modeling urban physical and spatial structure with special reference to in-fill development: case study, Tabriz Metropolitan**, Ph.D thesis Geography and Urban Planning, University Of Tabriz, Supervisor: Dr. Mir Sattar Sadrmsavi
27. Rasoli, A.A. and Mahmoudzadeh, H., 2010, **principal of Object Oriented Remote sensing**, ElmIran Publications, Tabriz. *(In Persian)*
28. Ritter, N., Logan, T., and Bryant, N. 1988, **Integration of neural network technologies with geographic information systems**. Proceedings of the GIS symposium: integrating technology and geoscience applications (pp. 102° 103). Denver, Colorado. United States Geological Survey, Washington, DC.
29. Rumelhart, D., Hinton, G., Williams, R., 1986, **Learning Internal Representations by Error Propagation**, In D. E. Rumelhart, and J. L. McClelland (Eds.), Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructures of Cognition,Vol. 1, No 323, pp. 318° 362, Cambridge: MIT Press.
30. Shakoui, H. 1995 **New Perspectives in urban geography**, Samt Publications, Tehran. *(In Persian)*
31. Shieh, E., 1998, **An introduction to the basics of urban planning**, elmo v sanat university Publications, 240p. *(In Persian)*
32. Skapura, D. 1996, **Building neural networks**, New York: ACM Press.
33. 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.
34. Theobald, D.M., Hobbs, N.T., 1998, **Forecasting Rural Land-use Change: A Comparison of Regression and Spatial Transition-based Models**, Geographical and Environmental Modeling, Vol. 2, No. 1, pp. 65° 82.