

## کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در مدل‌سازی توسعه شهری (مطالعه موردی: شهر گرگان)

حمیدرضا کامیاب\* - کارشناس ارشد مهندسی منابع طبیعی - محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس تهران، ایران.  
عبدالرسول سلمان ماهینی - دانشیار گروه محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران  
سید محسن حسینی - دانشیار گروه جنگلداری، دانشگاه تربیت مدرس تهران، ایران.  
مهدی غلامعلی‌فرد - دانشجوی دکتری آلودگی، دانشگاه تربیت مدرس تهران، ایران.

پذیرش مقاله: ۱۳۸۸/۴/۱۳      تأیید نهایی: ۱۳۸۹/۸/۴

### چکیده

مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی از مدل‌های اطلاعات‌محور به‌شمار می‌آیند. مدل تبدیل کاربری / پوشش زمین، از مدل‌هایی است که شبکه عصبی مصنوعی را با سیستم اطلاعات جغرافیایی مرتبط می‌سازد و برای مدل‌سازی توسعه شهری در شهر گرگان در دوره زمانی سال‌های ۲۰۰۱-۱۹۸۷ از همین مدل استفاده شد. این مدل از ۶ برنامه کاربردی که در برنامه MS-DOS اجرا می‌شود، تشکیل شده است. در این مطالعه، سه گروه از متغیرها شامل متغیرهای بیوفیزیکی، اقتصادی-اجتماعی و کاربری زمین به کار برده شد. ده متغیر مؤثر بر توسعه شهری از سه گروه مذکور به عنوان نود ورودی و متغیر وابسته تغییرات شهری به عنوان نود خروجی مورد استفاده قرار گرفتند. استفاده از نود مخفی، برای شناسایی ارتباطات غیرخطی در مدل بوده است. انجام مدل در چرخه ۳۰۰۰ دارای کمترین میزان خطای مجذور میانگین مربعات بود؛ لذا از این چرخه برای استخراج مناطق توسعه شهری آینده و حساسیت‌سنجی مدل استفاده گردید. برای تأیید مدل از تصویر احتمال این چرخه استفاده شد که رویکرد آماری (ROC) Relative Operating Characteristic برای آن ۰/۷۵ برآورد گردید و باعث تأیید مدل در شرایط پیش‌گفته شد. با استفاده از این تصویر، الگوی توزیع شهری برای سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۲۰، ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ استخراج گردید. اثر نسبی متغیرها با استفاده از ROC و با روش حذف یک متغیر، و اجرای مدل با متغیرهای باقی‌مانده و مقایسه با مدل کامل برآورد گردید. برای انجام این کار، ۱۱ شبکه با داده‌های کامل و داده‌های بدون یک متغیر ایجاد شد و مراحل آموزش و آزمون برای همه آنها به اجرا درآمد. متغیرهای کاربری زمین‌های تحت کاشت، تعداد سلول‌های شهری و کاربری مرتعی دارای بیشترین اثر در دوره زمانی مورد مطالعه بودند؛ و متغیرهای فاصله تا مراکز آموزشی، کاربری جنگل و زمین‌های بایر کمترین اثر را بر رشد شهری گرگان داشتند؛ به عبارت دیگر، مشخص شد که نوع کاربری منطقه تأثیر زیادی بر توسعه شهری در گرگان دارد.

کلیدواژه‌ها: شبکه عصبی مصنوعی، مدل‌سازی رشد شهری، مدل تبدیل پوشش زمین، ROC، گرگان.

## مقدمه

شهرنشینی با ایجاد گسترده‌ترین دستکاری‌های بشری در چهره طبیعی زمین، شرایط زندگی ساکنان شهری را در معرض تهدید و نابودی قرار داده است. در هر حال، توسعه شهری و تغییرات الگوهای کاربری زمین باعث ایجاد تأثیرات گسترده اجتماعی و زیست‌محیطی می‌گردد. این تأثیرات شامل کاهش فضاهای طبیعی، افزایش تجمع وسایل نقلیه، کاهش زمین‌های کشاورزی با تولید بالا، تأثیر بر زهکش‌های طبیعی و کاهش کیفیت آب است (Pauchard et al., 2006, 274; Bella & Irwin, 2002, 220). اینها به نوعی با تغییر الگوهای کاربری زمین بر اثر فعالیت‌های انسانی مرتبط‌اند، لذا درک چگونگی تغییرات کاربری و پوشش زمین، چه از نظر کمیّت تغییرات و چه از نظر الگوی مکانی آن به دلیل اثرات گسترده بر محیط زیست، چرخه‌های آبی، زیستگاه‌های طبیعی و مانند اینها، حیاتی به نظر می‌رسد. مدل‌ها که نمایشی از دنیای واقعی هستند، در درک این تغییرات بسیار مؤثرند. در کل، مدل‌های تغییر کاربری زمین ابزارهای مفیدی برای مواردی از این دست هستند:

- بیان مکانیسم‌های مختلف تغییرات کاربری و عوامل مؤثر بر آن مکانیسم‌ها (Batty & Longely, 1994, 686)؛

- بیان تأثیرات اقتصادی و زیست‌محیطی تغییرات کاربری زمین (Alig, 1986, 132)؛ و

- برآورد تأثیرات الگوهای مختلف مدیریتی بر کاربری زمین (Bockstael et al., 1995, 155).

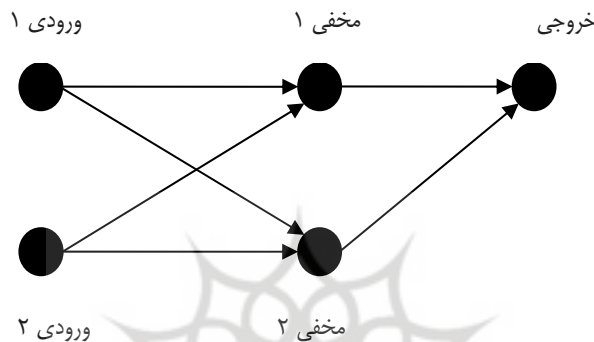
تئوبالد<sup>۱</sup> و هوبز<sup>۲</sup> (۱۹۹۸)، دو نوع اصلی مدل‌های تغییر کاربری زمین را بیان داشتند: مدل‌های نوع رگرسیون (مدل‌های برآورد تجربی)، و مدل‌های شبیه‌ساز بر پایه قوانین انتقال. از آنجا که استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی<sup>۳</sup> بسیار با مدل‌های رگرسیونی مرتبط است و شباهت زیادی در الگوهای مورد استفاده با آن دارد، لذا این مدل‌ها نیز در گروه مدل‌های رگرسیونی قرار می‌گیرند (Pijanowski et al., 2002, 555). شبکه‌های عصبی مصنوعی با ساختار نقشه‌سازی غیرخطی و برای مدل‌سازی سیستم‌های متصل به یکدیگر مانند مغز متشکل از نرون‌ها توسعه داده شده‌اند. از ANN برای تشخیص الگوها در مطالعات مختلفی مانند آنالیز تصاویر (Fukushima et al., 1983)، پیش‌بینی آب و هوا (Drummond et al., 1998)، طبقه‌بندی سیمای سرزمین (Brown et al., 1998)، سنجش از دور (Atkinson & Tantall, 1997) و تغییرات کاربری زمین (Pijanowski et al., 2002) استفاده می‌گردد. شبکه‌های عصبی پرسپترون چندلایه<sup>۴</sup> که توسط راملهارت<sup>۵</sup> و همکاران (۱۹۸۶) ایجاد کرده‌اند، از پرکاربردترین شبکه‌های عصبی مورد استفاده هستند. MLP از سه لایه "ورودی، مخفی (پنهان) و خروجی" تشکیل شده است (شکل ۱). به دلیل سه لایه بودن این نوع از شبکه‌ها، امکان شناسایی ارتباطات غیرخطی موجود در طبیعت وجود دارد.

---

1. Theobald  
 2. Hobbs  
 3. Artificial Neural Network (ANN)  
 4. Multi-Layer Perceptron (MLP)  
 5. Rumelhart

## مبانی نظری

هر شبکه عصبی از نودها<sup>۱</sup> (واحدها) و ارتباط‌های وزن‌دار بین این آنها تشکیل می‌گردد. نودها واحدهای اولیه شبکه‌ها هستند که باید ارتباط آنها با خروجی سنجیده گردد. لینک، رابط بین نودهاست که هر یک دارای وزنی است. منفی بودن وزن نشان‌دهنده بازدارنده بودن آن لینک و نود مرتبط با آن، و مثبت بودن وزن بیان‌کننده تأثیر تحریکی لینک و نود مرتبط با آن است.



شکل ۱. شبکه عصبی

منبع: Rumelhart et al., 1986 MLP

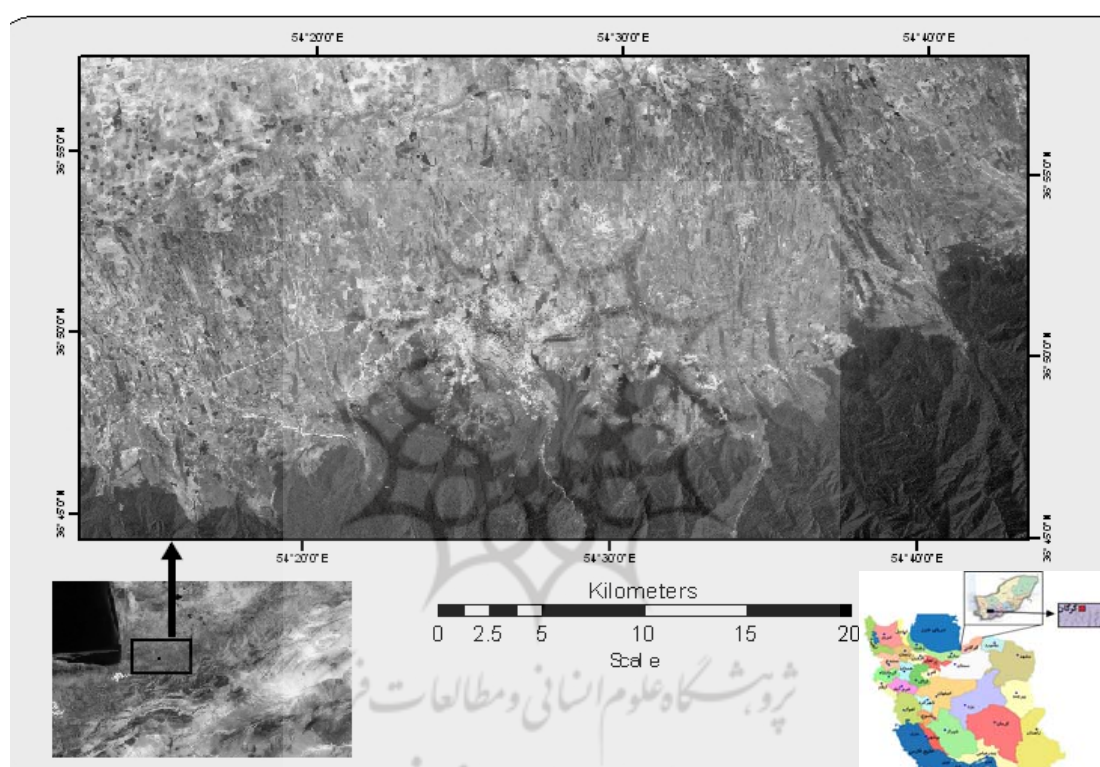
عمومی‌ترین ساختار شبکه مورد استفاده، ساختار شبکه‌ای پیش‌رونده<sup>۲</sup> است که در آن ورودی هر نود تنها از لایه قبل از آن به آن نود می‌رسد. اصلی‌ترین پرسش در مورد شبکه‌های عصبی این است که چگونه وزن لینک‌ها برای رسیدن به خروجی مد نظر تنظیم می‌گردند.

وزن‌ها در شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از الگوریتم‌های آموزشی<sup>۳</sup> که مورد استفاده‌ترین آنها الگوریتم خروجی محاسبه شده را با خروجی واقعی مورد مقایسه قرار می‌دهد. تفاوت بین خروجی محاسبه شده با شبکه و خروجی واقعی، با استفاده از خطای مجذور میانگین مربعات<sup>۴</sup> برآورد می‌گردد. پس از آنکه تمام مشاهدات در شبکه مورد آموزش قرار گرفت، میزان خطای مشاهده‌شده در بین نودهای مختلف توزیع می‌گردد تا میزان خطای شبکه در حد پایین ثابت بماند.

1. Nodes
2. Feed Forward
3. Learning algorithm
4. Root Mean Squared (RMS)

## روش تحقیق

شهر گرگان از شهرهای بخش شمالی دامنه ارتفاعات البرز ایران از  $54^{\circ}10'$  تا  $54^{\circ}45'$  طول شرقی و  $36^{\circ}44'$  تا  $36^{\circ}58'$  عرض شمالی با مساحتی حدود ۱۳۱۶ کیلومتر مربع در استان گلستان قرار دارد (شکل ۲). برای بررسی تغییرات شهری و عوامل تأثیرگذار بر این تغییرات در دوره زمانی ۱۹۸۷-۲۰۰۱ شهر به همراه بخشی از محدوده اطراف گرگان در تحلیل‌ها مورد استفاده قرار گرفته است تا تأثیر متغیرها بر این تغییرات به‌درستی درک گردد.



شکل ۲. موقعیت منطقه مورد مطالعه در تصویر TM ماهواره لندست در سال ۱۹۸۷

مدل تبدیل کاربری / پوشش زمین<sup>۱</sup> (Pijanowski et al., 2000) برای پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین ایجاد گردیده و توسعه داده شده است. این مدل که سیستم اطلاعات جغرافیایی<sup>۲</sup> را با شبکه عصبی مصنوعی متصل می‌سازد، توان واردسازی تنوع زیادی را از ورودی‌های مؤثر بر تغییرات کاربری مانند اقتصادی - اجتماعی، زیست‌محیطی و سیاسی در خود دارد. مدل از ۶ برنامه کاربردی تحت MS-DOS تشکیل شده است 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

1. Land Transformation Model  
2. Geographic Information System (GIS)

فرمت اسکی (فرمت لازم برای LTM) است، در نرم‌افزار ایدرسی انجام شده است و تنها فرمت نهایی نودهای ورودی و خروجی در مدل LTM پذیرفتنی است.

پس از آنکه داده‌ها جمع‌آوری و آماده‌سازی شدند و برای ورود در مدل LTM آماده گردیدند، فرایند مدل‌سازی در LTM آغاز می‌گردد. در حقیقت در این مدل با استفاده یکی از قوانین ترکیب داده‌ها، یعنی ترکیب با روش ANN، الگوی تغییرات شناسایی می‌شود و بر مبنای این الگو می‌توان آینده تغییرات را پیش‌بینی کرد (Pijanowski et al., 2002). مدل‌سازی در LTM، این مراحل را برای رسیدن به خروجی مورد نظر طی می‌کند:

- **ایجاد شبکه:** لایه ورودی، متغیرهای مؤثر بر کاربری زمین، و لایه خروجی متغیر کاربری تغییر یافته در دوره زمانی مورد مطالعه است. مدل LTM با فرض برابر بودن تعداد نودهای لایه مخفی و ورودی، مدل‌سازی را انجام می‌دهد.
  - **آموزش شبکه:** در این مرحله شبکه با بخشی از داده‌ها برای یافتن کمترین خطای RMS مورد آموزش قرار می‌گیرد. به ازای هر چرخه خطای RMS آن چرخه گزارش داده می‌شود. به دلیل نیاز به تعداد زیاد چرخه (معمولاً دست‌کم ۱۰۰۰۰ چرخه) و با توجه به اینکه در انتهای هر چرخه یک فایل شبکه (که نشان‌دهنده ارزش‌های نود و وزن‌هاست) نیز نشان داده می‌شود، برای سهولت در انتهای هر ۱۰۰ چرخه، گزارش به کاربر نمایش داده می‌شود.
  - **تست شبکه:** استفاده از داده‌های مرحله آموزش برای قضاوت درباره شبکه ممکن نیست و به انجام این مرحله نیاز دارد. در این مرحله تمام داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. در پایان این مرحله فایل احتمال، که احتمال تغییر هر منطقه را در آینده بیان می‌دارد و فایل متنی گزارش‌دهنده ضریب کاپا و میزان درصد صحت نیز ایجاد می‌گردد.
- در این مطالعه برای تأیید مدل از روش محاسبه<sup>۱</sup> که روشی بهتر و مطلوب‌تر است، نیز استفاده می‌گردد. این معیار از طریق مقایسه تصاویر پیش‌بینی احتمال با تصاویر واقعی صورت می‌پذیرد و معیار مناسبی برای محاسبه میزان نکویی پیش‌بینی است (Hu & Lo, 2007, 671; Lin et al., 2008, 58). ROC به صورت عددی بین ۰-۱ بیان می‌گردد. ارزش ۱ برای میزان ROC نشان‌دهنده توافق کامل مکانی بین نقشه رشد شهری پیش‌بینی شده و میزان واقعی رشد شهری است. ارزش ۰/۵ برای این معیار، تصادفی بودن موقعیت‌ها را بیان می‌کند.

### داده‌های مورد استفاده

مدل‌های رگرسیونی به عنوان برآورد تجربی با رویکرد اطلاعات‌محور، امکان انتخاب متغیرهای مستقل متعدد را فراهم می‌آورد و به همین خاطر در رفع مشکل استفاده از داده‌های متعدد مؤثر، نقشی بسیار کارا دارد. در این مطالعه از سه گروه متغیر مستقل شامل متغیرهای اقتصادی-اجتماعی، بیوفیزیکی (Clark et al, 1997, 251) و کاربری زمین استفاده

شد، که در کنار متغیر تغییرات شهری منطقه مورد مطالعه طی دوره زمانی ۲۰۰۱-۱۹۸۷ به منظور استفاده در مدل آماده گردیدند. متغیرهای مؤثر بر توسعه شهری گرگان که به عنوان نودهای مدل LTM مطرح‌اند، شامل نودهای ورودی (متغیرهای مؤثر بر توسعه شهری) و خروجی (تغییرات شهری در دوره زمانی مورد مطالعه) هستند. مدل LTM با تعداد برابر و یکسان نود برای لایه‌های ورودی و مخفی مدل‌سازی را انجام می‌دهد. نودها و متغیرهای هر نود در جدول ۱ آمده است.

### آماده‌سازی داده‌ها

در این مطالعه از سه گروه متغیر مستقل شامل متغیرهای اجتماعی-اقتصادی، بیوفیزیکی و کاربری زمین استفاده گردید. جدول ۱ داده‌های مورد استفاده در مدل را نشان می‌دهد.

با توجه به داده‌های در دسترس مواردی از متغیرهای اجتماعی-اقتصادی به عنوان نود ورودی به مدل وارد شدند. سه نوع از این داده‌ها در مطالعه حاضر در نظر گرفته شده‌اند، که شامل مراکز آموزشی، مراکز تجاری و مراکز درمانی هستند. از آنجا که قوانین تصمیم‌گیری متعدد برای بهره‌برداری از این متغیرها وجود دارد، در این مطالعه، فاصله این متغیرها به عنوان شاخص مد نظر، مطرح گردیده است. لذا متغیرهای مذکور به صورت فاصله از مراکز آموزشی، مراکز تجاری و مراکز درمانی مورد استفاده قرار گرفتند. تمام داده‌های مرتبط با این متغیرها به سال ۱۹۸۷ مربوط می‌شوند. این لایه‌ها به صورت لایه‌هایی با فرمت SHAPE و با ساختار وکتوری از سازمان نقشه‌برداری کشور تهیه شدند، سپس رستری گردیدند و تابع تحلیلی فاصله از آن ایجاد شد.

جدول ۱. داده‌های مورد استفاده در LTM

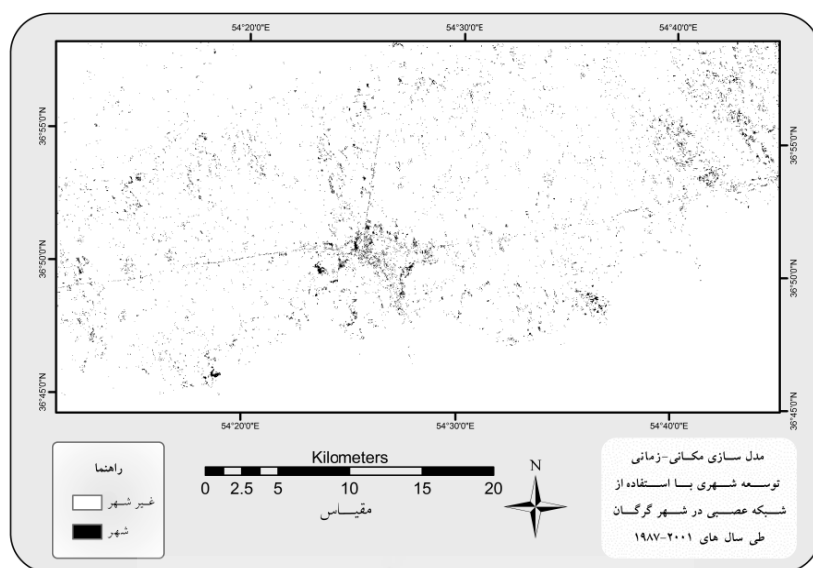
نوع لایه	نام متغیر (نود)
ورودی	شیب فاصله از جاده‌های دسترسی فاصله از مراکز درمانی فاصله از مراکز آموزشی فاصله از مناطق تجاری ۰ = زمین‌های غیربایر؛ ۱ = زمین‌های بایر ۰ = زمین‌های غیرچمنزار؛ ۱ = چمنزار، مراتع ۰ = زمین‌های کاشت نشدنی؛ ۱ = زمین‌های تحت کاشت ۰ = مناطق غیرجنگلی؛ ۱ = مناطق جنگلی تعداد سلول‌های شهری در پنجره ۳×۳
خروجی	۰ = عدم رشد شهری؛ ۱ = رشد شهری

انتخاب متغیرهای بیوفیزیکی نیز با استفاده از داده‌های مدل SLEUTH (شیب، کاربری زمین، مناطق مستثنی، شهرهای موجود، شبکه حمل‌ونقل و تصویر سایه‌روشن، و پستی و بلندی‌ها) شبکه خودکار (Clarke et al., 1997) انجام گرفته است. این اطلاعات از طریق طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و یا از لایه DEM حاصل آمدند. برای تهیه لایه‌های کاربری زمین و کاربری شهری در منطقه از تصاویر ماهواره لندست مربوط به منطقه تحت پوشش استفاده شد. این تصاویر متعلق به سنجنده‌های TM و ETM+ (جدول ۲) هستند و به ترتیب در تاریخ‌های ۱۶ ژوئیه ۱۹۸۷ و ۳۰ ژوئیه ۲۰۰۱ از منطقه مورد نظر برگرفته شده‌اند.

جدول ۲. مشخصات سنجنده‌های TM و ETM+ ماهواره لندست (Mahiny & Kamyab, 2010, 364)

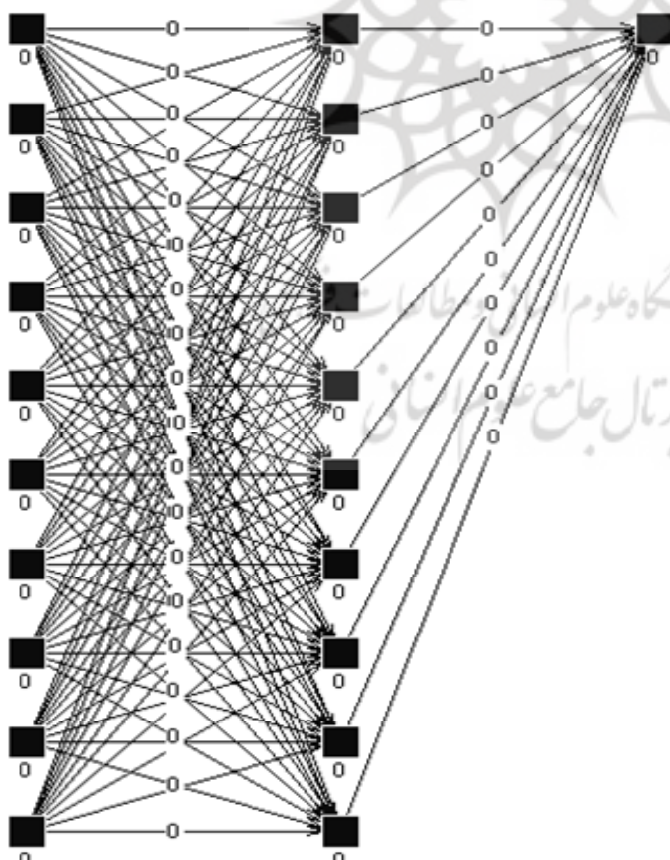
نام ماهواره	کشور سازنده	سنجنده	Q.L (bit)	اندازه تصویر (KM)	قدرت تفکیک زمانی (روز)	باند	قدرت تفکیک مکانی (m)
Landsat 5	امریکا	TM	۸	۱۸۵	۱۶	۱ تا ۵ و ۷	۳۰ × ۳۰
					۱۶	۶	۱۲۰ × ۱۲۰
Landsat 7	امریکا	ETM+	۸	۱۸۵	۱۶	۱ تا ۵ و ۷	۳۰ × ۳۰
					۱۶	۶	۶۰ × ۶۰
					۱۶	۸	۱۵ × ۱۵

هر یک از کاربری‌های زمین، جداگانه به صورت یک تصویر بولی (صفر و یکی) وارد معادله شدند. به منظور استخراج لایه‌های کاربری زمین، که نود خروجی و بخشی از نودهای ورودی مورد استفاده در مدل از این لایه به‌دست می‌آیند، از متداول‌ترین روش رقومی تجزیه و تحلیل داده‌ها یعنی طبقه‌بندی نظارت‌شده استفاده گردید. در مرحله بعد مناطق شهری در تصاویر دو دوره زمانی (سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۰۱) مورد بررسی مجدد قرار گرفتند و میزان تغییرات شهر به روش مقایسه پس از طبقه‌بندی<sup>۱</sup> استخراج گردید. این متغیر به عنوان نود خروجی (شکل ۳) که بیان‌کننده تغییرات شهری طی دوره زمانی ۱۹۸۷-۲۰۰۱ است، در مدل استفاده شده است. مناطق مستثنی از شهرنشینی نیز شامل شهرهای موجود در سال ۱۹۸۷ و مناطق آبی آن سال هستند که هیچ‌گونه توسعه‌ای برای آنها در آینده تصورپذیر نیست. علاوه بر تمام لایه‌ها و متغیرهای مذکور، متغیر مستقل دیگری به عنوان "تعداد سلول‌های شهری در هر پنجره ۳×۳" نیز به عنوان نود ورودی در مدل مورد استفاده قرار گرفت. این متغیر که با استفاده از فراوانی تعداد سلول‌های با ارزش یک (مناطق شهری در تصویر بولینی شهری سال ۱۹۸۷) در هر پنجره ۳×۳ محاسبه می‌گردد، بیان‌کننده تعداد سلول‌های شهری در هر ۹ سلولی است که به صورت ۳×۳ محاسبه می‌شوند. مسلماً حضور مناطق شهری در اطراف مناطق غیرشهری از عوامل مؤثر بر توسعه آتی شهرها به‌شمار می‌آید.



شکل ۳. نمود خروجی، رشد شهری دوره زمانی ۱۹۸۷-۲۰۱۱

داده‌های مورد استفاده در مدل LTM با فرمت اسکی (ASCII) مورد پذیرش‌اند. لایه داده‌های اولیه که در فرمت



شکل ۴. شبکه MLP داده‌های مورد استفاده در مدل

رستری نرم‌افزار ایدریسی کلیمانجارو بودند (RST)، با استفاده از ماژول Export در این نرم‌افزار به فرمت مورد نظر تغییر داده شدند. لذا تعداد لایه مورد استفاده در مدل شامل سه لایه ورودی با ۱۰ نود، مخفی با ۱۰ نود و خروجی با ۱ نود است.

### بحث و یافته‌ها

مرحله اول: با تعداد ده (۱۰) نود ورودی، ده (۱۰) نود مخفی و یک (۱) نود خروجی و در قالب ساختار شبکه‌ای Feed Forward و با داده‌های مورد استفاده در مدل، شبکه اولیه استفاده‌شده به صورت ساختار شکل ۴ است.

مرحله دوم: با بخشی از داده‌ها که در اینجا ۱

سلول از هر ۲ سلول در تصاویر داده‌های مورد استفاده است، مرحله آموزش انجام می‌گیرد و میزان خطا در پایان هر

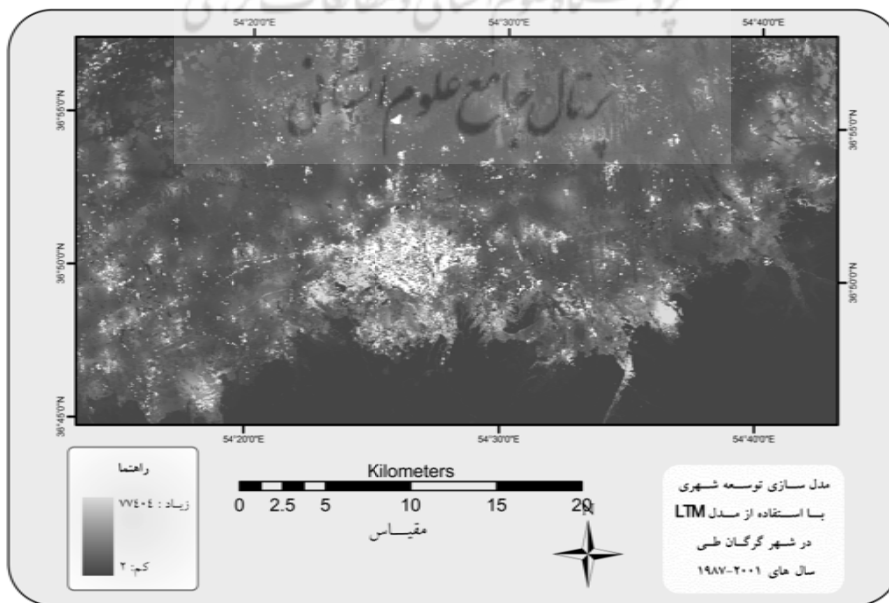


۱۰۰ چرخه گزارش داده می‌شود. جدول ۳ میزان خطای RMS را در ۴۰۰۰ چرخه اول نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد، در پایان چرخه ۳۰۰۰ میزان خطا در کمترین حد است؛ و به همین دلیل از تصویر احتمال پیش‌بینی این چرخه (که در مرحله سوم ایجاد می‌گردد) برای مراحل انتهایی کار استفاده می‌شود.

جدول ۳. میزان خطای RMS در پایان ۴۰۰۰ چرخه اول

خطا	چرخه	خطا	چرخه	خطا	چرخه	خطا	چرخه
۰/۰۱۳۱۵۴۳	۳۱۰۰	۰/۰۱۳۱۵۷۶	۲۱۰۰	۰/۰۱۳۱۶۹۸	۱۱۰۰	۰/۰۱۳۲۴۵۰	۱۰۰
۰/۰۱۳۱۵۳۲	۳۲۰۰	۰/۰۱۳۱۵۶۴	۲۲۰۰	۰/۰۱۳۱۶۶۱	۱۲۰۰	۰/۰۱۳۲۱۶۹	۲۰۰
۰/۰۱۳۱۵۴۸	۳۳۰۰	۰/۰۱۳۱۵۴۶	۲۳۰۰	۰/۰۱۳۱۶۵۴	۱۳۰۰	۰/۰۱۳۲۰۸۵	۳۰۰
۰/۰۱۳۱۵۳۵	۳۴۰۰	۰/۰۱۳۱۵۶۹	۲۴۰۰	۰/۰۱۳۱۶۱۶	۱۴۰۰	۰/۰۱۳۲۰۱۴	۴۰۰
۰/۰۱۳۱۵۳۷	۳۵۰۰	۰/۰۱۳۱۵۷۷	۲۵۰۰	۰/۰۱۳۱۶۰۶	۱۵۰۰	۰/۰۱۳۱۹۸۲	۵۰۰
۰/۰۱۳۱۵۳۴	۳۶۰۰	۰/۰۱۳۱۵۵۵	۲۶۰۰	۰/۰۱۳۱۵۸۴	۱۶۰۰	۰/۰۱۳۱۹۲۵	۶۰۰
۰/۰۱۳۱۵۴۴	۳۷۰۰	۰/۰۱۳۱۵۵۱	۲۷۰۰	۰/۰۱۳۱۵۷۳	۱۷۰۰	۰/۰۱۳۱۹۱۶	۷۰۰
۰/۰۱۳۱۵۵۰	۳۸۰۰	۰/۰۱۳۱۵۳۰	۲۸۰۰	۰/۰۱۳۱۵۸۱	۱۸۰۰	۰/۰۱۳۱۸۶۶	۸۰۰
۰/۰۱۳۱۵۳۳	۳۹۰۰	۰/۰۱۳۱۵۴۷	۲۹۰۰	۰/۰۱۳۱۵۸۱	۱۹۰۰	۰/۰۱۳۱۷۸۶	۹۰۰
۰/۰۱۳۱۵۲۴	۴۰۰۰	۰/۰۱۳۱۵۱۷	۳۰۰۰	۰/۰۱۳۱۵۵۴	۲۰۰۰	۰/۰۱۳۱۷۱۵	۱۰۰۰

مرحله سوم: با تمام سلول‌های داده‌های مورد استفاده، این مرحله براساس شبکه‌های اصلاح شده در پایان هر چرخه انجام می‌گیرد و تصاویر احتمال انتقال کاربری ایجاد می‌گردند که از آنها برای استخراج موقعیت‌های شهری جدید در آینده، استفاده می‌شود. خروجی این مرحله در فرمت اسکی (ASCII) است که برای استفاده به فرمت رستری تبدیل گردید (شکل ۵).

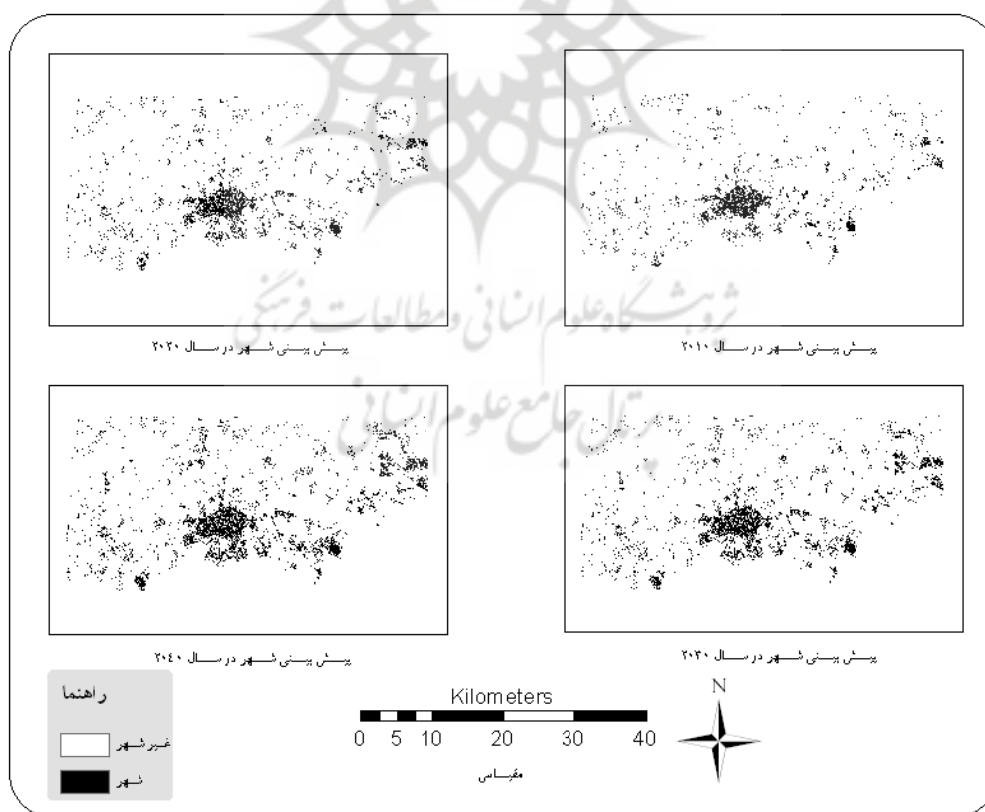


شکل ۵. تصویر احتمال حاصل از مدل LTM در چرخه ۳۰۰۰

به دلیل مشاهده کمترین میزان خطا در پایان چرخه ۳۰۰۰، از تصویر احتمال این چرخه برای تأیید مدل و استخراج موقعیت شهری جدید استفاده می‌شود. تصویر احتمال برای هر سلول ارزشی را اختصاص می‌دهد که این ارزش نشان‌دهنده ارجحیت نسبی آن سلول برای تغییر در دوره زمانی آینده است و لزوماً احتمال واقعی تغییر را نشان نمی‌دهد (Pontius & Schneider, 2001).

**تأیید مدل:** برای تأیید مدل از روش ROC استفاده شد که در آن نقشه پیش‌بینی حاصل از مدل با نقشه رشد شهری واقعی دوره زمانی ۲۰۰۱-۱۹۸۷ مقایسه می‌شود. ROC شاخصی است که برای تأیید نقشه مطلوبیت خروجی از مدل به کار می‌رود و مستقل از کمیت تغییرات شهری نیز هست (Pontius & Schneider, 2001). به عبارت دیگر، از این معیار برای بررسی قابلیت تصویر احتمال در پیش‌بینی موقعیت تغییرات شهری استفاده شده است. برای نقشه پیش‌بینی چرخه ۳۰۰۰، این میزان ۰/۷۵ بوده است که با توجه به نزدیکی به ۱ مدل نیز تأیید می‌گردد.

**استخراج موقعیت‌های شهری جدید:** تصویر احتمال پیش‌بینی، بر اساس میزان احتمال تغییر هر سلول و به صورت کاهشی مرتب می‌گردد و سپس تعداد سلول‌های تغییر یافته هر دوره زمانی از سلول‌های دارای بالاترین احتمال در این تصاویر، جدا می‌گردند. کمیت تغییرات شهری برای هر دوره زمانی را می‌توان با روش‌های متعددی بررسی کرد.

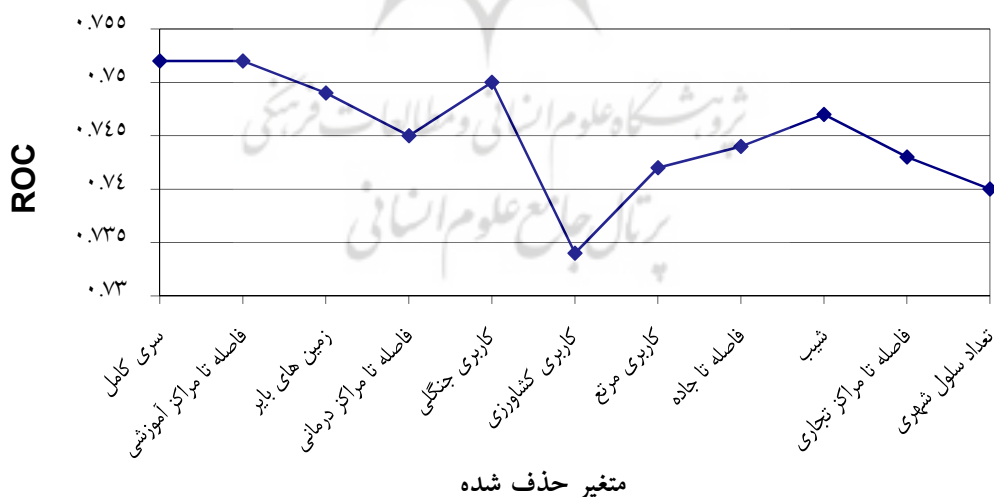


شکل ۶. تصاویر پیش‌بینی مناطق شهری با مدل LTM برای سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۲۰، ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰

پيجانوسکی<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۲) دو نوع از روش‌های مورد استفاده برای مدل LTM را بدین صورت بیان داشتند. رویکرد اول شناسایی کمیت تغییرات بر مبنای داده‌های گذشته است. به عبارت دیگر، در این رویکرد الگوی کمی تغییرات مشابه دوره‌های زمانی گذشته است و میزان سلول‌های تغییر یافته برای دوره‌های ۱۰ ساله آینده مطابق با میزان تغییری است که در دوره ۱۰ ساله گذشته برآورد شده است. رویکرد دوم برای محاسبه کمیت تغییرات استفاده از داده‌های رشد جمعیت است. در این مطالعه از رویکرد اول برای بررسی نتایج استفاده شده است. شکل ۶، نتایج حاصل از پیش‌بینی شهری سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۲۰، ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ را نشان می‌دهد.

### حساسیت‌سنجی مدل

برای بیان میزان تأثیر هر یک از متغیرهای مورد استفاده بر تغییرات شهری در دوره زمانی ۲۰۰۱-۱۹۸۷ از روش حذف یک متغیر و اجرای مدل با داده‌های باقی‌مانده و بررسی میزان نکویی مدل با ROC، استفاده می‌گردد (Mahiny & Turner, 2003). برای انجام این کار مدل به تعداد نودهای ورودی، دوباره به مرحله اجرا درمی‌آید، با این تفاوت که شبکه ایجاد شده در این مرحله دارای ۹ نود ورودی، ۹ نود مخفی و ۱ نود خروجی است. در هر مرحله یک نود ورودی حذف می‌شود و با نودهای باقی‌مانده میزان ROC مدل محاسبه می‌گردد. لازم به ذکر است که ۱۰ شبکه ایجاد شده در این مرحله، تمام مراحل مربوط به آموزش و آزمون را که برای مدل با داده‌های کامل استفاده شد، دربرمی‌گیرد. نتایج این محاسبات در هر مرحله، در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۷. حساسیت‌سنجی مدل LTM

در مدل LTM، میزان ROC در هر مرحله از مدل در مقایسه با مدل دارای سری کامل داده‌ها هیچ افزایشی را نشان نمی‌دهد. در حقیقت حضور تمام متغیرها بر توسعه شهری گرگان در دوره زمانی مورد مطالعه با استفاده از مدل LTM معنادار است. به عبارت دیگر، چنانچه حذف متغیری باعث افزایش میزان ROC می‌شود، با حذف آن متغیر از مجموعه داده‌ها قابلیت مدل برای پیش‌بینی فزونی می‌گرفت.

همان‌گونه که در نمودار مشاهده می‌گردد، میزان تأثیر متغیرها بر رشد شهری گرگان متفاوت است. در این مدل متغیرهای کاربری کشاورزی، تعداد سولول شهری در پنجره ۳×۳، کاربری مرتع و فاصله تا مراکز تجاری دارای بیشترین تأثیر بر رشد شهری در بین متغیرهای مورد استفاده در مدل است، چرا که حذف آنها بیشترین تأثیر را بر قابلیت پیش‌بینی مدل برای تغییرات شهری منطقه می‌گذارد. از سوی دیگر، متغیرهای فاصله تا مراکز آموزشی، کاربری جنگلی، زمین‌های بایر و شیب دارای کمترین تأثیرند.

### نتیجه‌گیری

برای بازبینی موضوع توسعه شهری با دیدگاه کنترلی بر روند تغییرات، باید موضوع را از زوایای متفاوت بررسی کرد. از طرف دیگر، پیدایش تفکر آمایش شهری به همراه فناوری‌های جدید روز مانند GIS، RS و مدل‌سازی‌های آماری برای دستیابی به برنامه‌ریزی‌های مناسب‌تر، اندیشه و فکر اندیشمندان را در سال‌های اخیر به خود مشغول داشته‌اند. یکی از نتایج ترکیب قابلیت‌های مختلف فناوری‌های موجود را می‌توان در رویکردهای موجود در مدل‌سازی توسعه شهری یافت، که هدف اصلی در آنها شناسایی عوامل و روند تغییرات شهری در آینده بر اساس تغییرات گذشته است. در این مطالعه، روش مدل‌سازی رگرسیونی و شبکه عصبی برای شناسایی و بهبود درک ما از نیروهای اجتماعی - اقتصادی، فیزیکی و کاربری زمین که بر توسعه شهری تأثیر می‌گذارند، و نیز برای یافتن محتمل‌ترین مکان‌ها برای توسعه شهری آینده گرگان، مورد استفاده قرار گرفت. یکی از اصلی‌ترین قابلیت‌های مدل‌ها، توانایی‌شان در پیش‌بینی آینده بر اساس گذشته است. مدل شبکه عصبی مصنوعی به عنوان مدل برآورد تجربی با رویکرد اطلاعات‌محور، ضمن بهره‌گیری از این قابلیت، امکان انتخاب متغیرهای مستقل متعدد را نیز فراهم می‌آورد. این مدل و دیگر مدل‌های تحلیل کاربری و پوشش زمین، به این سه پرسش مهم پاسخ می‌دهند (Lambin, 1997, 376):

۱. چه متغیرهای بیوفیزیکی و اقتصادی - اجتماعی موجب دگرگونی کاربری زمین می‌گردند؟
۲. کدام موقعیت‌های جغرافیایی تحت تأثیر تغییرات قرار می‌گیرند؟
۳. تغییرات کاربری و پوشش زمین با چه سرعتی صورت می‌پذیرند؟

بدین ترتیب، در این مدل از سه گروه متغیر استفاده شد، و نتایج حساسیت‌سنجی مدل با ROC نشان داد متغیرهای کاربری زمین دارای تأثیر معنادار زیادی بر رشد شهری دوره زمانی ۲۰۰۱-۱۹۸۷ در گرگان بودند، چرا که هر چهار کاربری مورد استفاده به نوعی تأثیرگذارترین متغیرها بر رشد بوده‌اند. در حقیقت، امکان کالیبره کردن آسان، از قابلیت‌های مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی است. در ضمن، میزان ROC برای مدل ۰/۷۵ برآورد شد، که نشان‌دهنده موفقیت مدل در پیش‌بینی موقعیت مکان‌های محتمل برای تبدیل به کاربری شهری در زمان آینده است.

مدل نشان داد که زمین‌های کشاورزی و مرتعی دارای قابلیت زیادی برای توسعه‌اند. با توجه به داده‌های کاربری زمین حاصل از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در این مطالعه، کاربری کشاورزی با مساحت ۳۹۶ کیلومتر مربع در منطقه مورد مطالعه، کاربری غالب به‌شمار می‌آید. آمار مربوط به سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۶۵ مرکز آمار ایران نیز تأییدکننده نوع غالب فعالیت کشاورزی در منطقه است (مرکز آمار ایران، سرشماری عمومی نفوس و مسکن ایران، ۱۳۶۵). بنابراین رشد شهری با توجه به این مطالب در کنار رشد جمعیتی و ماهیت غالباً روستایی منطقه مورد مطالعه (بر طبق سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۶۵ در حدود ۵۵/۵ درصد جمعیت گرگان متعلق به مناطق روستایی بوده است)، توسعه مناطق تحت کاشت را به سمت شهری شدن سوق داده است. از طرفی، به دلیل تعدد متغیرهای مورد استفاده، امکان دخالت دادن عوامل تأثیرگذار بیشتری در مدل وجود دارد.

در کنار قابلیت‌های LTM، نقاط ضعفی نیز برای این مدل به چشم می‌خورد. مدل مورد بحث، توان وارد کردن پویایی زمانی را ندارد، اگرچه می‌توان با روزآمد کردن داده‌های رستری مورد استفاده در مدل، این نقص را تا حد زیادی برطرف ساخت. این نقص تا حدی در مدل‌های رگرسیون لجستیک نیز مشاهده می‌شود؛ اما مدل‌های نوع شبکه خودکار در این بخش قابلیت بیشتری دارند. امکان کاهش خطای کار با انجام چرخه‌های متعدد جزو مزایای مدل‌های شبکه عصبی است؛ اما مدل LTM قابلیت انجام این چرخه‌ها را در بازه زمانی مطلوب ندارد و چه بسا انجام چرخه‌های زیاد، به بازه زمانی طولانی نیاز دارد و این امر کاربریسند بودن آن را کمی تحت تأثیر قرار می‌دهد. به علاوه، مزیت انجام مدل در مقیاس‌های متعدد از مزایای دیگر آن، در کنار امکان وارد کردن متغیرهای متعدد، در مقایسه با مدل‌های گروه شبکه خودکار است. بدین ترتیب، بهترین رویکرد را در این مطالعات می‌توان در مدلی ترکیبی که قابلیت‌های مدل‌های متعدد را در خود داشته باشد جست‌وجو کرد. در مطالعات گوناگون نیز بر لزوم چنین ترکیبی تأکید شده است (Hu & Lo, 2007). یکی دیگر از انواع مدل‌های برآورد آماری رشد شهری، یعنی رگرسیون لجستیک، نیز برای همین منطقه با همین داده‌ها بررسی و اجرا گردیده است (Mahiny & Kamyab, 2010, 313). حال می‌توان نتایج این دو مدل را با هم مقایسه کرد، تا از این طریق بتوان به بررسی صحت رویکرد مورد استفاده پرداخت. در مدل رگرسیونی نیز عامل اصلی تأثیرگذار بر توسعه شهری گرگان، وجود زمین‌های کشاورزی بوده است که نشان می‌دهد روند رشد شهری آن تا چه حد رو به سوی تخریب اکوسیستم کشاورزی در منطقه دارد.

در سال‌های اخیر روشن شده است که توسعه شهری و گرد آمدن جمعیت‌ها در یک نقطه شهری، علاوه بر آنکه مسائل و مشکلات فراوان زیست‌محیطی را به همراه داشته، حیات همه موجودات و به‌خصوص اکوسیستم‌های حیاتی سیاره زمین را با دشواری‌های فراوان مواجه ساخته است. در این مطالعه تهدیدی که از طریق رشد و توسعه شهری بر اکوسیستم کشاورزی و مرتعی تحمیل می‌گردد، با رویکردهای آماری به وضوح نشان داده شده است. بی‌شک شهرنشینی و شهرسازی را - به‌خصوص پس از دوران صنعتی - باید از مهم‌ترین عوامل تخریب محیط زیست برشمرد. رشد فیزیکی شهرها اراضی مرغوب کشاورزی را بلعیده و از بین برده است و متأسفانه بسیاری از بناها یا ساختمان‌های شهر بر بستر خاک‌های مناسب برای زراعت در اراضی مرغوب - یا در جوار آنها - استقرار یافته‌اند (Gharagozlou, 2004).

در هر حال یکی از هدف‌های مدل‌های کاربری زمین، پیش‌بینی موقعیت‌های شهری جدید است. با این وضع

به‌جاست که برای یافتن مکان‌های مناسب شهری، تمرکززدایی و ایجاد تعادل در محیط زیست، کاهش بحران‌های زیست‌محیطی و توزیع مناسب خدمات عمومی شهری، تفکر و نظریه‌های برنامه‌ریزی شهری بر اساس دیدگاه‌های آمایش سرزمین و محیط زیست - و به عبارتی "آمایش شهری" - شکل گیرد تا مانع اوج‌گیری بحران‌ها گردد. از سوی دیگر، توسعه شهرها را که از جنبه‌های مختلف برای ادامه حیات انسان ضروری است نمی‌توان محدود ساخت بلکه باید آنها را به تناسب نیازهای امروز و فردای جوامع، مجهز و مهیا کرد؛ البته به‌گونه‌ای که از وارد آمدن آسیب بر محیط زیست نیز جلوگیری به‌عمل آید. لذا انجام مطالعات مبتنی بر برنامه‌ریزی‌های علمی و آماری و استفاده از دانش روز برای کاهش مشکلات ضروری به‌نظر می‌رسد.

## منابع

- Alig, R.J., 1986, **Econometric Analysis of the Factors Influencing Forest Acreage Trends in the Southeast**, *Forest Science*, 32, 119-134.
- Atkinson, P., Tatnall, A., 1997, **Neural Networks in Remote Sensing**, *International Journal of Remote Sensing*, 18(4), 699-709.
- Batty, M., Longley, M., 1994, **Urban Modeling in Computer-Graphic and Geographic Information System Environments**, *Environment and Planning B*, 19, 663-688.
- Bella, K. P., Irwin, E.G., 2002, **Spatially Explicit Micro-level Modeling of Land Use Change at the Rural-urban Interface**, *Agricultural Economics*, 27: 217-232.
- Bockstael, N., Costanza, R., Strand, I., Boyton, W., Bell, K., Wagner, L., 1995, **Ecological Economic Modeling and Valuation of Ecosystems**, *Ecological Economics*, 14, 143-159.
- Brown, D.G., Lusch, D.P., Duda, K.A., 1998, **Supervised Classification of Glaciated Landscape Types Using Digital Elevation Data**, *Geomorphology*, 21(3), 233-250.
- Clarke, K.C., Hoppen, S., Gaydos, L., 1997, **A Self-modifying Cellular Automaton Model of Historical Urbanization in the San Francisco Bay Area**. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 24, 247-261.
- Drummond, S., Joshi, A., Sudduth, K., 1998, **Application of Neural Networks: Precision Farming**, *IEEE Transactions on Neural Networks*, 211-215.
- Fukushima, K., Miyake, S., Takayuki., 1983, **Neocognitron: A Neural Network Model for a Mechanism of Visual Pattern Recognition**, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC, 13(5), 826-834.
- Gharagazlou, A., 2004, **GIS and Environmental Planning and Assessment**, National Cartographic Center Research Institute of NCC.
- Hu, Z., Lo, C.P., 2007, **Modeling Urban Growth in Atlanta Using Logistic Regression**, *Computers, Environment and Urban Systems*, 31, 667-688.
- Lambin, E.F., 1997, **Modeling and Monitoring Land-cover Change Processes in Tropical Regions**, *Prog. Phys. Geogr.* 21 (3), 375-393.

- Lin, Y. P., Wu, P. J., Hong, M. M., 2008, **The Effects of Changing the Resolution of Land-use Modeling on Simulations of Land-use Patterns and Hydrology for a Watershed Land-use Planning Assessment in Wu-Tu, Taiwan**, Landscape and Urban Planning, 87, 54-66.
- Pauchard, A., Aguayo, M., Peña, E., Urrutia, R., 2006, **Multiple Effects of Urbanization on the Biodiversity of Developing Countries: The Case of a Fast-growing Metropolitan Area (Concepción, Chile)**, Biological Conservation, 127:272-281.
- Pijanowski, B.C., Brown, D.G., Shellito, B.A., Manik, A.G., 2002, **Using Neural Networks and GIS to Forecast Land Use Changes: A Land Transformation Model**. Computers, Environment and Urban Systems, 26(6), 553-575.
- Pijanowski, B.C., Gage, S.H., Long, D.T., Cooper, W.C., 2000, **A Land Transformation Model: Integrating Policy, Socioeconomics and Environmental Drivers Using a Geographic Information System**; In L. Harris, & J. Sanderson (Eds.), Landscape Ecology: A Top Down Approach. Lewis Publishers, Boca Raton.
- Pontius Jr, R G., Schneider. L., 2001, **Land-Use Change Model Validation by a ROC Method for the Ipswich Watershed**, Massachusetts, USA. Agriculture, Ecosystems & Environment, 85(1-3), p. 239-248.
- Rumelhart, D., Hinton, G., Williams, R., 1986, **Learning Internal Representations by Error Propagation**, In D. E. Rumelhart, & J. L. McClelland (Eds.), Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructures of Cognition ,Vol. 1, pp. 318–362, Cambridge: MIT Press.
- Salman Mahiny, A.S., Turner, B.J., 2003, **Modeling Past Vegetation Change Through Remote Sensing and GIS: A Comparison of Neural Networks and Logistic Regression Methods**, Proceedings of the 7th International Conference on Geocomputation, University of Southampton, United Kingdom.
- Salman Mahiny, A.S., Kamyab, H.R., 2010, **Applied Remote Sensing and GIS with Idrisi**, Mehr Mahdis Publication, Tehran, Iran.
- Statistical Centre of Iran, 1987, **Population and Settlement General Census**, Golestan Province.
- 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, 2(1), 65–82.