پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین با استفاده از شبکه‌های عصبی و GIS

نویسندگان:

برایان سی پیجانوسکی، دانیل جی برون، برادلی ای شلیتو، گاراو ای مینیک

ترجمه:

دکتر غلامرضا لطیفی

عضو هیئت علمی دانشگاه علامه طباطبایی

محمد حسین کاظمی اندریان

دانشجوی کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی توسعه منطقه‌ای دانشگاه علامه طباطبایی

چکیده

در این مقاله مدل دگرگونی زمین که مشتمل بر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)[1] و شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNs)[2] می‌باشد ارائه شده است. در این مدل از عوامل متنوع سیاسی، اجتماعی و محیطی به عنوان متغیرهای پیشگوی استفاده گردیده است. این پژوهش نسخه‌ای از مدل LTM[3] را برای محدوده حوزه آبخیز گرند تریورز در خلیج میشیگان ارائه کرده و نشان می‌دهد که چگونه عواملی نظیر جاده‌ها، بزرگراه‌ها، خیابان‌های محلی، رودخانه‌ها، خطوط ساحلی دریاچه‌های بزرگ، امکانات تفریحی، دریاچه‌های داخلی، تراکم کشاورزی و کیفیت منظر می‌تواند بر الگوی شهرنشینی در حوزه آبخیز ساحلی تاثیرگذار باشد. برای یادگیری الگوهای توسعه در منطقه و محک زدن ظرفیت پیش‌گویی مدل از شبکه‌های عصبی مصنوعی و برای گسترش فضایی محرک‌های پیشگو و انجام تحلیل فضایی بر روی نتایج از GIS استفاده شده است. سرانجام سهم هر یک از متغیرهای پیشگو تخمین و در مقیاس فضایی نشان داده شده است. در کوچکترین مقیاس‌ها، کیفیت منظر قویترین متغیر پیشگو بود. تأثیرات چندبعدی تغییرات کاربری زمین با استفاده از تأثیرات نسبی سایت (به عنوان مثال کیفیت منظر، خیابان‌های محلی) و موقعیت (به عنوان مثال بزرگراه‌ها و جاده‌های بین بخشی) در مقیاس‌های مختلف مورد تفسیر قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: تغییرات کاربری زمین، شبکه‌های عصبی مصنوعی، سیستم های اطلاعات جغرافیایی، مدل دگرگونی زمین.

مقدمه

تغییر در کاربری زمین نتیجه اثر متقابل عوامل زیادی مانند سیاست، مدیریت، اقتصاد، فرهنگ، رفتار انسانی و محیط است. آگاهی از چگونگی رخ دادن تغییرات کاربری بسیار مهم است به دلیل اینکه فرایندهای مربوط به برخورد و تماس بشر با طبیعت می‌تواند اثرات گسترده بر محیط، تغییر چرخه‌های هیدرولوژیک، بیوژئوشیمیایی، اندازه و آرایش بوم‌های طبیعی مانند جنگل و تنوع گونه‌ها بگذارد. این مقاله برآن است تا توضیح دهد چگونه ترکیب سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNS) می‌توانند در فهمیدن فرآیند پیچیده تغییرات کاربری کمک کنند.

مدل GIS پایه دگرگونی زمین (LTM) برای پیش‌بینی تغییر کاربری زمین در مناطق بزرگ گسترش یافته است. این مدل می‌تواند برای استفاده از داده‌های متنوع اجتماعی- اقتصادی، سیاسی و محیطی پیکربندی شود. LTM می‌تواند تغییرات کاربری زمین را به مدل‌های فرایند اکولوژیکی نظیر آبهای زیرزمینی و انتقال املاح و تغییر پوشش جنگل پیوند دهد. همچنین این مدل می‌تواند اطلاعاتی در مورد اثرات بالقوه تغییر کاربری زمین بر محیط را در اختیار برنامه‌ریزان محلی و مدیران منابع منطقه‌ای قرار دهد. شبکه‌های عصبی مصنوعی ابزارهایی قدرتمند در به کارگیری فرایند یادگیری ماشینی برای تعیین و مدلسازی رفتارها و الگوهای پیچیده هستند.

شبکه‌های عصبی مصنوعی برای شناسایی الگو در نظام‌های مختلفی چون: اقتصاد، پزشکی، طبقه‌بندی منظر، تفسیر تصاویر، پیش‌بینی هوا، مهندسی مکانیک و سنجش از دور مورد استفاده قرار می‌گیرند. استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در سالیان اخیر به دلیل پیشرفت در عملیات محاسباتی و افزایش قابلیت دسترسی و انعطاف پذیری و قدرت نرم افزارهای ANN به طور مداوم افزایش پیدا کرده است.هدف اصلی این مقاله آموزش این است که چطور می‌توان از ابزارهای GIS و شبکه های عصبی برای پیش بینی تغییرات کاربری زمین در مناطق بزرگ استفاده کرد.

معرفی مدل LTM

LTM چهار گام متوالی را دنبال می‌کند:

۱- پردازش/کدگذاری داده‌ها در جهت ایجاد لایه‌های فضایی برای متغیرهای پیشگو.

۲- اعمال قوانین فضایی که متغیرهای پیشگو را به تغییرات کاربری زمین برای هر مکان پیوند دهد؛ لایه‌های خروجی ارزش‌های متغیرهای ورودی را در فرمت شبکه‌ای (Grid) نمایش می‌دهد.

۳- ترکیب تمام داده‌های شبکه ای ورودی

٤- مقیاس بندی موقت مقادیر تحول در محدوده مطالعاتی به منظور ایجاد یک سری زمانی از کاربری های ممکن در آینده

معرفی محدوده مورد مطالعه

محدوده حوزه آبخیز گرند تریورز در خلیج میشیگان(GTBW)[4] به عنوان سایت برای این پروژه انتخاب شده است. GTBW که در شمال غربی بخش پایینی شبه جزیره میشیگان قرار دارد، یکی از سریع‌ترین

رشدهای جمعیت و تغییر کاربری زمین منطقه‌ای را در امریکا دارد. از ۱۹۷۰ تا ۱۹۹۷ جمعیت مسکونی این منطقه نزدیک دو برابر شده است.

شهر تریورز با جمعیت ساکن حدود ۱۸هزار نفر(در برخی فصول بیش از ۵۰۰هزار گردشگر دارد) بزرگترین شهر این منطقه است. کاربری زمین منطقه غالباً جنگلی (۴۹٪) و کشاورزی (۲۰٪) است. کاربری زمین شهری شامل حدود ٦درصد از کل ناحیه می باشد. بقیه پوشش عمده زمین را چمنزار/بوته زار (۱۵٪) آب (۹٪) و تالاب(۱٪) تشکیل می‌دهد.

نقشه۱: محدوده حوزه آبخیز گراند تریورز در خلیج میشیگان (GTBW)

پیاده سازی LTM

در این پروژه LTM بر دو گروه اجرا شده است. اجرای اول برای طرح ریزی الگوی توسعه کاربری شهری در سال ۱۹۹۰ با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی آموزش داده شده بر روی تغییرات واقعی بین ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۰ بخش گراند تریورز (یکی از ٦بخش منطقه) استفاده شد. اجرای دوم گسترش شبکه عصبی مصنوعی مشابه به منظور طرح ریزی توسعه کاربری شهری در سراسر ٦ بخش منطقه حوزه آبخیز است. سه گام اول پیاده سازی LTM که پیشتر توضیح داده شد برای دو اجرا استفاده گردیده است. گام چهارم است که آنها را از همدیگر متمایز می‌کند.

متغیرهای پیشگوی GIS پایه

۱۰ متغیر پیشگو و مناطق خروج با استفاده از واسط LTMGIS Avenue در فرمت شبکه (Grid) وارد شدند (جدول ۱). تراکم کشاورزی نمایانگر مقدار کشاورزی در شعاع یک کیلومتری هر سلول است. این متغیر نشان می‌دهد که کدام اراضی بوسیله کاربری کشاورزی پوشیده شده اند.

ترکیب ANN پایه

به منظور توسعه یک شبکه با قابلیت پیش بینی مناسب، تمرین و آزمودن ANN با داده‌های ورودی مختلف ضروری است. تمرین دادن شامل ارائه مقادیر ورودی و تعدیل کردن وزن‌هایی که بر اساس الگوریتم آموزشی (به طور مثال پس انتشار[۵]) بر هر نقطه اعمال شده است می‌باشد. آزمودن مجموعه داده مجزایی را برای شبکه تمرین شده ارائه می‌کند تا به طور مستقل نرخ اخطار را محاسبه کند.

به این دلایل، برای پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین شبکه‌های عصبی مصنوعی در چهار مرحله اعمال شدند: ۱- طراحی شبکه و وارد کردن داده‌های تاریخی ۲- تمرین دادن شبکه با استفاده زیرمجموعه ورودی‌ها ۳- آزمودن شبکه عصبی با استفاده از مجموعه کامل داده‌های ورودی ٤- استفاده اطلاعات از شبکه عصبی برای پیش بینی تغییرات.

جدول ۱: خلاصه‌ای از متغیرهای پیشگوی LTM که برای حوزه آبخیز گراند تریورز مورد استفاده قرار گرفتند

نام متغیر	توضیح
تراکم کشاورزی	مقدار زمین کشاورزی که شعاع یک کیلومتری هر سلول را احاطه کرده است
فاصله تا بزرگراه	فاصله تا نزدیکترین بزرگراه
فاصله تا دریاچه داخلی	فاصله تا نزدیکترین دریاچه داخلی
فاصله تا ساحل	فاصله از ساحل دریاچه میشیگان و خلیج گراند تریورز
فاصله تا رودخانه	فاصله از رودخانه ها و نهرها؛ بدون احتساب نهرهای غیردائم
فاصله تا جاده بخشی	فاصله تا نزدیک‌ترین جاده بخشی
فاصله تا خیابان محلی	فاصله تا نزدیک‌ترین خیابان محلی
فاصله تا شهر	فاصله تا شهر در سال ۱۹۸۰
فاصله تا مکان تفریحی	فاصله از مکان تفریحی بزرگ، مانند زمین‌های گلف، دامنه‌های اسکی و اسکله‌های تفریحی
کیفیت منظر	ترکیبی از همجواری خلیج یا دریاچه میشیگان و ارتفاع بالاتر نسبت به سطح دریاچه

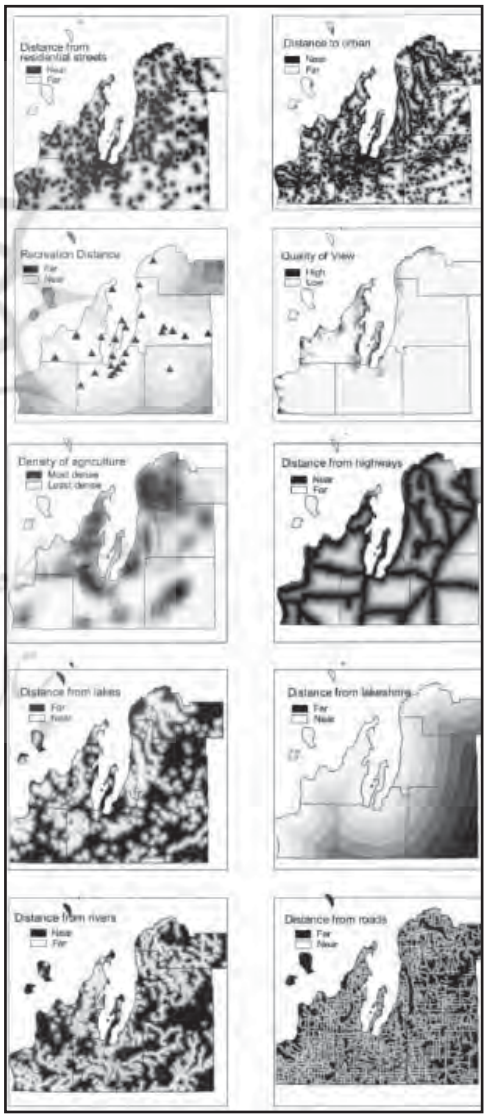
ANN در این پروژه شبکه‌ای Feed Forward است با یک لایه ورودی، یک لایه پنهان و یک لایه خروجی. الگوریتم ساده پس انتشار به عنوان فرایند آموزش استفاده شده است.

ورژن ٤,۲ نرم‌افزار SNNS [٦] «شبیه‌ساز شبکه عصبی اشتوتگارت» برای طراحی، تمرین و پیش‌بینی ANN استفاده شده است. شبکه عصبی طوری طراحی شده بود که تعداد ورودی مختلف را بتوان در آن وارد کرد. بدین ترتیب که وابسته به تعداد متغیر پیشگو، تعداد برابری لایه پنهان و یک لایه خروجی تنظیم می‌شد.

تمام شبکه‌های ورودی که در ARC INFO با فرمت GRID بوجود آمده‌اند، در یک بازه صفر تا یک نرمال و تبدیل به نمایش ASCII (فایل الگو) که مورد نیاز SNNS می‌باشد، شدند.

جدول۲: جمعیت و مقادیر سلول‌های شهری استفاده شده و تخمینی برای آینده در هر یک از ۶ بخش محدوده حوزه آبخیز گرند تریورز.
(ابعاد هر سلول ۱۰۰متر*۱۰۰متر)

بخش	۱۹۸۰		۱۹۹۰		۲۰۰۰		۲۰۱۰		۲۰۲۰	
	جمعیت	شهر	جمعیت	شهر	جمعیت	شهر	جمعیت	شهر	جمعیت	شهر
گراند تریورز	۵۴۸۹۹	۸۲۸۹	۶۴۲۷۳	۱۰۳۶۲	۷۶۵۰۰	۱۲۳۲۹	۸۷۴۰۰	۱۴۰۸۵	۹۹۶۰۰	۱۶۰۵۱
آنتریم	۱۶,۱۹۴	۶۵۳۳	۱۸,۱۸۵	۷۳۳۶	۲۱,۷۰۰	۸۷۵۳	۲۴,۶۰۰	۹۹۲۲	۲۷,۷۰۰	۱۱۱۷۲
چارلیویکس	۱۹,۹۰۷	۵۲۱۰	۲۱,۴۶۸	۵۶۱۸	۲۴,۷۰۰	۶۴۶۳	۲۷,۹۰۰	۷۳۰۰	۳۱,۳۰۰	۸۱۸۹
کالاسکا	۱۰,۹۵۲	۳۰۷۰	۱۳,۴۹۷	۳۷۸۳	۱۵,۹۰۰	۴۴۵۶	۱۸,۵۰۰	۵۱۸۴	۲۱,۲۰۰	۵۹۴۰
لیلانا	۱۴,۰۰۷	۴۰۷۲	۱۶,۵۲۷	۴۸۰۴	۱۹,۴۰۰	۵۶۳۹	۲۰,۶۰۰	۵۹۸۷	۲۲,۲۰۰	۶۴۵۲
بنزی	۱۱,۲۰۵	۳۵۰۶	۱۲,۲۰۰	۳۸۱۷	۱۴,۵۰۰	۴۵۳۶	۱۶,۲۰۰	۵۰۶۷	۱۷,۷۰۰	۵۵۳۶



نقشه۲: نمایش فضایی متغیرهای پیشگو

فایل الگو شامل اطلاعاتی از ۱۰ شبکه ورودی و یک فایل خروجی است که هر خط فایل الگو به یک مکان مرتبط می‌شود. خروجی ANN نشان دهنده احتمال تغییر سلول غیرشهری به شهری است. احتمال تغییر صفر نشان دهنده آمادگی نداشتن برای تغییر است در حالی که احتمال تغییر یک نشان دهنده حداکثر آمادگی برای تغییر به شهر است. بعد از آزمودن شبکه این نتیجه گرفته می‌شود که حدود ٤٠٠٠ چرخه برای تثبیت سطح خطا در پایین‌ترین میزان مناسب است. بنابراین هر بار اجرای مدل برای ۵۰۰۰ بار چرخه تنظیم شد که به معنی اینست که کل فایل الگو ۵۰۰۰ بار به شبکه ارائه خواهد شد.

ANN به صورت زیر آزموده شد: ابتدا فایل‌های شبکه از تمرین‌هایی که بر فایل الگوی شامل همه سلول‌های بخش اعمال شده بودند تولید شدند. (به جز آنهایی که در منطقه ممنوعه بودند) SNNS فایل الگو و فایل شبکه را برای تولید فایل خروجی مقادیر فعال که فایل نتایج نامیده شده است استفاده می کند. فایل نتیجه شامل بازه ارزش‌های بین صفر (احتمالی برای تغییر به شهر نیست) و یک (بالاترین احتمال تغییر به شهر) می‌باشد. سپس برای تعیین ۲۰۷۳ سلولی که در بخش گراند تریورز به شهر منتقل شده‌اند از GIS استفاده شد.

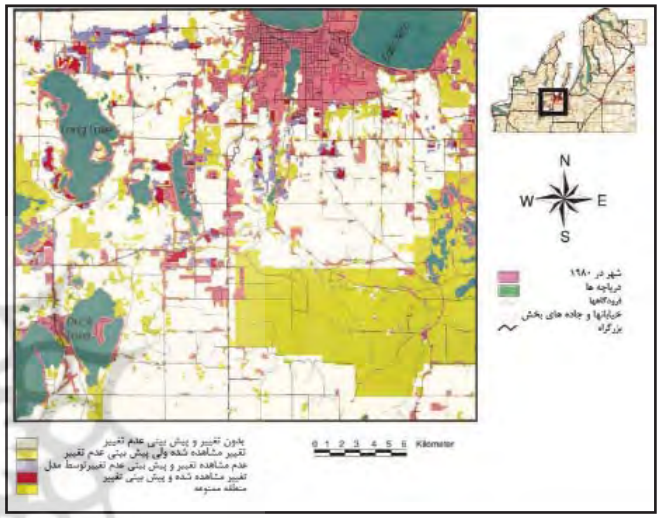
بدین صورت که ۲۰۷۳ سلولی که بیشترین احتمال تغییر را داشتند از فایل نتایج انتخاب شده و به عنوان شهر جدید طبقه‌بندی شدند. تأثیر هر یک از متغیرهای پیشگو بر کارایی مدل با ایجاد ده نسخه جایگزین از مدل سنجیده شد. بدین صورت که در هر نسخه جدید یکی از متغیرهای پیشگو حذف گردید و در هر بار تمرین مدل بدون یکی از متغیرها اجرا شد.

اعمال مدل بر حوزه آبخیز

در این مرحله ANN تولید شده برای یک بخش برای پیش‌بینی کل حوزه آبخیز مورد استفاده قرار گرفت. بدین ترتیب سلول‌هایی که در کل حوزه آبخیز دگرگون خواهند شد در چهار گام مشخص شدند، سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰. جدول زیر خلاصه‌ای از تعداد سلول‌های شهری بر هر نفر در هر بخش و تعداد سلول‌های شهری مورد نیاز برای

جای دادن جمعیتی که توسط اداره آمار امریکابرای این بخش‌ها پیش‌بینی شده است را نشان می‌دهد. بین ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ ، ۹۳۷٤ نفر به بخش گراند تریورز اضافه شده بودند.

تعداد سلول‌های انتقال یافته، ۲۰۷۳ سلول بود، بنابراین به ازای افزوده شدن یک نفر بین ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰، ٤,٥۲ سلول زمین شهری مورد نیاز بوده است. بیش از ۹۲۰۰۰ نفر بین سالهای ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۰ به جمعیت ٦ بخش منطقه اضافه خواهند شد که نشانگر افزایش ۷۳ درصدی در جمعیت کل می‌باشد.



نقشه۳: پیش بینی تغییرات کاربری زمین منطقه در بخش گرند تریورز

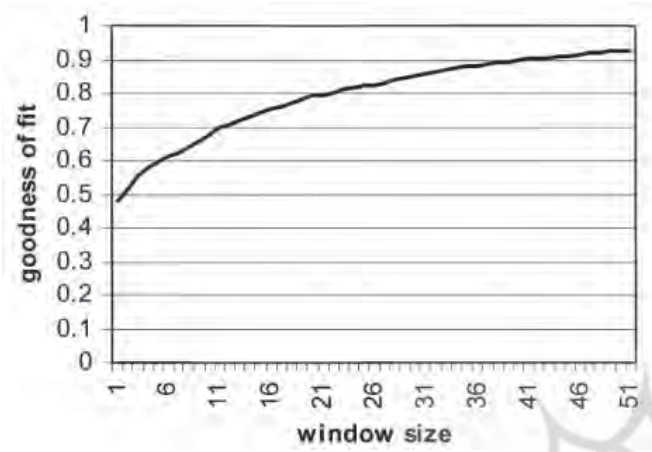
کارایی مدل

ANN تخمین زده است که از ٦۳۷٤٤ سلولی که در بخش گرند تریورز می‌توانستند دستخوش تغییر شوند، ٥٦۷٦۲ سلول (یا ۸۹ درصد) از آنها احتمال تغییرشان صفر است. در حالی که ۲۰۸ سلول از ۲۰۷۳ سلولی که بیشترین مقدار احتمال را داشته‌اند احتمال تغییر ۱ دارا بوده‌اند. ۵۸۱ سلول (۲۸درصد) مقادیری بزرگتر یا مساوی ۰,۹ داشته‌اند. مقدار آستانه بحرانی که کمترین میزان احتمال تغییر مقادیر انتخاب شده از ۲۰۷۳ سلول برای تغییر در دوره ۱۰ ساله است ۰,۲۸ بود.

این نتایج نشان می‌دهد که مدل به خوبی تغییر و عدم تغییر را مجزا کرده است. تنها ۳,۲۵ درصد از نواحی غیرممنوع به شهر تغییر پیدا کرده‌اند بنابراین بخش زیادی از ناحیه دستخوش شهرنشینی نشده‌اند. افزایش مقدار آستانه بحرانی نیاز به: ۱) اطلاعات بیشتر در مورد تغییر یا ۲) آگاهی در مورد جنبه‌های غیرفضایی تغییر که به عنوان ورودی برای مدل فراهم نشده‌اند، دارد.

یادگیری در مورد تغییر هرگز به طور ۱۰۰درصد کامل نمی‌شود زیرا واضح است که شهرگرایی دارای عناصری غیرقابل پیش بینی و احتمالاً جنبه‌هایی که فضایی نیستند می‌باشد. به طور مثال عوامل جمعیتی مانند سن کشاورز، می‌تواند در تعیین اینکه چه زمین‌هایی به شهر تغییر می‌کنند خیلی مهم باشد. در امریکا بسیاری از کشاورزان بازنشسته، زمین‌هایشان را به فرزندان خود منتقل نمی‌کنند.

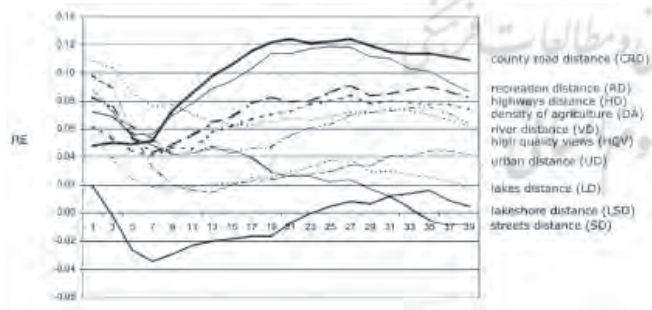
نمودار زیر نشان دهنده این است که هرچه مقیاس کوچکتر می‌شود کارایی مدل و سهم تأثیر هر یک از متغیرهای پیشگو تغییر می‌کند. بدین صورت که با بزرگتر شدن پنجره‌ها (پنجره با اندازه یک شامل ۱۰ سلول می‌شود) کارایی مدل افزایش می‌یابد.



نمودار۱: کارایی مدل در مقیاس‌های مختلف

تأثیر نسبی متغیرهای پیشگو

نمودار شماره ۲ نشان می‌دهد که در مقیاس‌های مختلف، متغیرهای پیشگو سهم نسبی[۷] متفاوتی دارند. به طور مثال تأثیر جاده‌های بخشی و بزرگراه‌ها از فاصله حدوداً ۲/۵ کیلومتری افزایش پیدا می‌کند در حالی که میزان تأثیر خیابان‌های محلی در فواصل کوتاه در حداکثر بوده و در فاصله حدوداً ۳,۵ کیلومتری به حدود صفر می‌رسد.



نمودار۲: تأثیر نسبی(RE) متغیرهای پیشگو

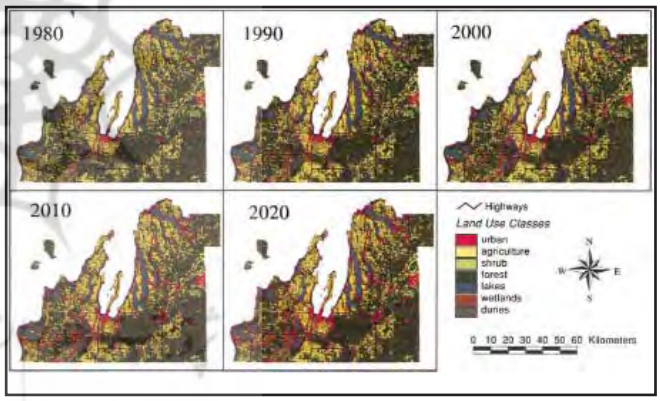
به دلیل اینکه جاده‌های بخشی و بزرگراه‌ها بیشتر به دسترسی منطقه‌ای ارتباط دارند تا به دسترسی‌های محلی، دسترسی به خیابان‌های محلی ویژگی‌های شهری بودن را پررنگتر می‌کند. به طور مشابه تأثیر متغیر منظر نیز با بزرگتر شدن پنجره کاهش می‌یابد.

جالب است که نمودار در دو نقطه رفتار معنی‌دار از خود نشان می دهد. در نقطه اول در اندازه پنجره ۷ (۷۰۰متر) تقریباً جهت تمام متغیرهای پیشگو از

شیب منفی(کاهش تأثیر نسبی) به سمت شیب مثبت تغییر می‌کند. همچنین رتبه تأثیر نسبی متغیرها در این اندازه پنجره بسیار به هم نزدیک است. در نقطه دوم یعنی در حدود اندازه پنجره ۱۹ (۱,۹کیلومتر) منحنی‌ها به یک سطح پایداری می‌رسند. شاید به این دلیل باشد که تغییرات متغیرها در مقیاس‌های بزرگ کمتر از مقیاس‌های کوچک است.

پیش‌بینی کاربری زمین در مقیاس حوزه آبخیز

کاربری زمین برای ٦ بخش حوزه آبخیز در ٤ دوره ۱۹۹۰، ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ پیش‌بینی شده است. تصویر زیر نتایج پیش بینی تغییرات زمین منطقه را نشان می‌دهد. مقایسه بین کاربری‌های زمین در سال ۱۹۸۰ و ۲۰۲۰ نشان می‌دهد که طبق پیش‌بینی انجام شده اکثر توسعه شهری در امتداد دریاچه کریستال (بخش بنزی)، در امتداد معبر شرقی–غربی بین بولاه (بخش بنزی) و دریاچه اردک (بخش گرند تریورز)، پیرامون دریاچه گلن(بخش لیلانا)، امتداد کریدور ۵ مایلی مخصوصاً در امتداد دریاچه آربیوتس که شهرهای اکمی و کینگسلی را به هم متصل می‌کند (بخش گرند تریورز)، نواحی اطراف شهر کلکاسکا (بخش کلکاسکا)، شهرهای الک رپیدز و ایست پورت در بخش آنتریم، و حوالی شهر چارلویکس در بخش چارلویکس رخ خواهد داد.



نقشه۴: پیش بینی کاربری زمین در طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۰ که از فایل شبکه عصبی تمرین داده شده بر روی بخش گرند تریورز بدست آمده است

نتیجه‌گیری

مدل دگرگونی زمین در این پژوهش رابطه بین ۱۰ متغیر پیشگو و شهرگرایی را نشان داد. مدل با توانایی پیش بینی نسبتاً بالا (۰,٤٦ درصد) در وضوح (۱۰۰ در۱۰۰متر) اجرا شد. با توسعه ۱۰ نسخه LTM که در هر نسخه یکی از متغیرها حذف شده بود تأثیر نسبی هر یک از متغیرها بر کارایی مدل بررسی شد. مکانهای با کیفیت منظر بالا بهترین پیشگو برای شهر جدید در طی دهه ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۰ در بخش گرند تریورز بوده است.

این مقاله فرض‌های زیادی برای ساده نگه داشتن مدل در نظر گرفته شد. ابتدا فرض کردیم که الگوی هر متغیر پیشگو بعد از ۱۹۹۰ پایدار خواهد ماند. به طور مثال تغییر مکان جاده‌ها و بزرگراه‌ها ممکن است (مثلاً جاده‌های جدید ساخته شوند) تغییراتی در کاربری زمین ایجاد کند. البته مدل در صورتی که لایه‌ها بروز و به شبکه عصبی اعمال شوند، می‌تواند این تغییرات را منعکس کند. دوم، قوانین فضایی که برای ایجاد پیوند بین بین سلول‌های پیشگو و مکان‌های بالقوه برای تغییر استفاده شدند در طول زمان پایدار فرض شدند. شاید برای مردم تراکم دریاچه‌های داخلی(نوعی از قوانین فیزیکی) نسبت به فاصله تا هر دریاچه داخلی (قانون فضایی جایگزین) ارجحیت داشته باشد. سوم اینکه شبکه عصبی در طول زمان پایدار فرض شده است.

سرانجام، سرانه زمین شهری در طول زمان ثابت فرض شده است. دسترسی به داده‌ها (جاده‌های جدید، اطلاعاتی در مورد تغییرات کاربری زمین و تخمین‌های جمعیتی) می‌تواند خیلی از این فرض‌ها را کم کند و تأثیر هر یک از این فرضیه‌ها بر روی پیش‌بینی مدل را نشان دهد.

پی‌نوشت

1- Geographic Information Systems
2-Artificial Neural Networks
3- Land Transformation Model
4- Michigan's Grand Traverse Bay Watershed
5- Back-Propagation
6- Stuttgart s Neural Network Simulator
7- Relative Effect

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی