

جغرافیا و توسعه شماره ۵۱ تابستان ۱۳۹۷

وصول مقاله: ۹۵/۱۰/۰۶

تأیید نهایی: ۹۶/۰۷/۱۹

صفحات: ۴۳-۶۴

مدل سازی رشد شهری با استفاده از روش رگرسیون لجستیک مبتنی بر مدل Geomod مطالعه موردی: شهر کردکوی

دکتر کامران شایسته^{۱*}، سحر عابدیان^۲، سمیه گلدوی^۳

چکیده

مدل سازی الگوی رشد شهری فنی مهم برای درک فرایندهای پیچیده رشد شهری است. تحقیق حاضر نیز در نظر دارد رشد شهری را برای شهر کردکوی از بعد زمانی و توزیع مکانی، مدل سازی کند. بدین منظور، ابتدا با استفاده از تصاویر سری زمانی ماهواره لندست، نقشه های کاربری اراضی برای سال های ۱۳۶۶، ۱۳۷۹ و ۱۳۹۴ طبقه بندی و سپس با بهره گیری از مدل رگرسیون لجستیک میزان تأثیر متغیرهای مستقل در رابطه با گسترش شهری به صورت ضریب در معادله رگرسیون محاسبه شده و نقشه پتانسیل گسترش شهری تولید شد. ارزیابی عملکرد رگرسیون لجستیک با استفاده از دو شاخص $Pseudo R^2$ و ROC با مقادیر به ترتیب ۰/۳۷ و ۰/۹۳، برای دوره اول ۰/۳۱، ۰/۹۲ برای دوره دوم و ۰/۳۹ و ۰/۹۳ برای کل دوره مطالعاتی، نشانگر برازش خوب رگرسیون بوده است. در نهایت با استفاده از مدل ژئومد و با بهره گیری از نقشه احتمال توسعه شهری به وجود آمده، رشد شهری برای سال ۱۴۲۰ پیش بینی شد. نتایج حاصل نشان داد که در کل دوره مورد بررسی، حدود ۳۳۳ هکتار به وسعت مناطق شهری و مسکونی افزوده شده است که اراضی کشاورزی و مناطق جنگلی به ترتیب با ۳۰۶ و ۲۷ هکتار تبدیل اراضی، بیشترین سهم را در افزایش وسعت اراضی شهری داشته اند. همچنین نتایج طبقه بندی تصاویر ماهواره ای و پیش بینی پوشش اراضی نیز نشان داد که شهر کردکوی در سال ۱۳۹۴ مساحتی برابر با ۵۱۷ هکتار دارد که تا سال ۱۴۲۰ به حدود ۸۶۱ هکتار خواهد رسید. مطابق با نتایج، اقدامات مناسب برای کنترل تغییرات کاربری زمین به ویژه رشد شهر به منظور حفظ محیط زیست و تعادل اکولوژیکی منطقه نیاز است. واژه های کلیدی: کاربری اراضی، مدل ژئومد، رگرسیون لجستیک، رشد شهری، نقشه پتانسیل گسترش شهری.

۱- استادیار برنامه ریزی محیط زیست، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران * k.shayesteh@malayeru.ac.ir
۲- مدرس منابع طبیعی، دانشگاه پیام نور کرمان و دانشجوی دکتری آمایش محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران sahar.abedian@stu.malayeru.ac.ir
۳- دانشجوی دکتری آمایش محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران s.galdavi@gau.ac.ir

مقدمه

یکی از مخاطرات محیطی و بحران‌های اکولوژیکی که امروزه جهان با آن روبه‌رو است، پدیده تغییر کاربری اراضی می‌باشد. کاربری زمین را می‌توان شامل عمل یا هدفی دانست که زمین به‌منظوری خاص، توسط مردم محلی مورد استفاده قرار می‌گیرد و می‌تواند به‌عنوان بستری برای فعالیت‌های انسانی تعریف شود که به‌طور مستقیم با زمین و استفاده از منابع آن و همچنین اثراتی که بر روی آن گذاشته می‌شود، مشخص گردد (FAO, 1995: 25). از میان تمام کاربری‌ها، شهرها با توسعه فیزیکی خود، از عوامل اصلی تغییر کاربری و پوشش زمین هستند که آثار توسعه کالبدی آن، گسترش در حاشیه شهر یا منطقه ده‌شهرها و آن‌سوی مرزهای اداری شهرهاست (شیعه، ۱۳۷۷: ۶۵). این پیشروی به‌سوی فضاهای زیستی اطراف شهر، زمین‌های زراعی و اراضی باغی درنهایت محیط طبیعی را متأثر کرده و موجب شکل‌گیری روستاهای درحال گذار و یا سکونتگاه‌های غیررسمی در پیرامون شهر می‌گردد (Kirk, 2004: 1). لذا بررسی و نظارت بر تغییرات این دسته از کاربری می‌تواند به‌عنوان عنصر مهمی در تصمیم‌گیری، برنامه‌ریزی شهری و محیط‌زیست مطرح شود؛ زیرا در زمینه‌های ارزیابی توسعه، برنامه‌ریزی کاربری اراضی و الگوهای بهینه آن نقش به‌سزایی دارد (Liu and Yang, 2014: 42).

بدین ترتیب پژوهشگران، طراحان و تصمیم‌گیران در حوزه مدیریت محیط‌زیست و منابع طبیعی و همچنین برنامه‌ریزی شهری به‌منظور اتخاذ تصمیم و ارائه طرح‌های کاربردی برای آینده بیش از پیش به اطلاعات دقیق در رابطه با تغییرات کاربری و رشد شهری نیاز دارند. علاوه‌بر اهمیت‌داشتن اطلاعات به‌روز از پوشش اراضی به‌ویژه در مناطق شهری، آگاهی از تغییرات و تحولات آن در طول یک دوره

زمانی نیز برای برنامه‌ریزان و مدیران بسیار حائز اهمیت است؛ به همین دلیل استفاده از روش‌های آشکارسازی تغییرات برای مشخص کردن روند تغییرات با گذشت زمان ضروری به‌نظر می‌رسد (کاظم و همکاران، ۱۳۹۴: ۴۶). همچنین، در کنار آشکارسازی تغییرات گذشته یک منطقه، پیش‌بینی و مدل‌سازی تغییرات آینده نیز برای آگاهی از کمیت و کیفیت تغییرات رخ داده در طول زمان حائز اهمیت است. مشخص کردن تغییرات گذشته به برنامه‌ریزان کمک خواهد کرد تا به جبران خسارت‌ها مبادرت ورزند و اشتباهات گذشته را تکرار نکنند.

پیش‌بینی تغییرات آینده نیز برای استفاده در برنامه‌ریزی‌های طولانی و پیشگیری از برخی تغییرات ناخوشایند بر روی محیط دارای اهمیت است که یکی از مهمترین این راهکارها برای تحلیل و درک سیستم‌های پیچیده مانند شهرها، استفاده از مدل‌های گوناگون برای شناسایی، تحلیل و پیش‌بینی رفتار این سیستم‌ها است (Houet & Hubert-Moy, 2006: 63) که یکی از مدل‌هایی که برای مدل‌سازی تغییرات پوشش گیاهی و کاربری زمین می‌توان استفاده نمود، مدل Geomod است.

Geomod یک مدل تغییر کاربری زمین است که در اصل برای مدل‌سازی کاهش جنگل‌های گرمسیری و برای برآورد خروج دی‌اکسیدکربن از جنگل‌های گرمسیری طراحی شده است.

برطبق تعریف پانتیوس و چن (۲۰۰۶)، ژئومد یک مدل تغییر کاربری زمین است که تغییر یک‌سویه از یک طبقه کاربری زمین به یک طبقه دیگر را پیش‌بینی می‌کند. از مزیت‌های روش ژئومد می‌توان به قابلیت شبیه‌سازی بعد مکانی، همسازی با سیستم اطلاعات جغرافیایی و داده‌های دورسنجی، دینامیک زمانی، سادگی و قابل‌فهم‌بودن و قابلیت مدل‌سازی پدیده‌های پیچیده اشاره کرد. به‌همین دلایل مدل

شهرنشینی و الحاق قلمروهای جدید به شهرهای موجود تأثیر می‌پذیرد (رهنما و روستا، ۱۳۹۲: ۱۱۴؛ آری آگا، ۱۳۷۸: ۳۴۸). این رشد سریع جمعیت در نواحی شهری منجر به افزایش تقاضا برای زمین، ساخت‌وسازهای بدون برنامه مدون و گسترش مهارنشده مراکز فعالیت در حومه شهرها و در نتیجه تغییر کاربری‌ها و پوشش‌های اراضی طبیعی مثل جنگل و کشاورزی به کاربری‌های شهری همچون مسکونی، صنعتی و جاده‌ها شده است (خاکپور و همکاران، ۱۳۸۶: ۴۷؛ *Sudhira & Ramachandra, 2007: 2*).

پیش‌بینی و ارزیابی پتانسیل الگوهای کاربری زمین از طریق مدل‌سازی می‌تواند به برنامه‌ریزان محیط‌زیست و مدیران منابع طبیعی برای تصمیمات آگاهانه‌تر کمک کند (عزیزی‌قلاتی و همکاران، ۱۳۹۳: ۵۸۵).

مدل‌های کاربری اراضی، ابزارهایی مفید، تکرارپذیر و مکمل توانایی‌های ذهنی ما برای درک فرایند تغییرات کاربری اراضی هستند که می‌تواند اطلاعات ارزشمندی برای ارزیابی و پایش تأثیرات تغییر کاربری‌ها بر محیط‌زیست و اکوسیستم در زمان گذشته، حال و آینده در اختیار کاربران قرار دهد (*Verburg et al, 2004: 309; Costanza & Ruth, 1998: 184*). مهمترین فرض در این نحوه مدل‌سازی این است که طبیعت توسعه و تغییرات طی زمان، یکسان خواهد بود و تغییرات گذشته می‌توانند تغییرات آینده را براساس سناریوی تاریخی پیش‌بینی کنند (طاهری و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۰۰). در این پژوهش از مدل ژنومد برای شبیه‌سازی الگوهای مکانی-زمانی رشد شهری در سال‌های آتی استفاده گردید. از آنجایی که این مدل در تفسیر متغیرهای طبیعی-محیطی و اجتماعی-اقتصادی مؤثر در رابطه با تغییرات ناتوان است؛ بنابراین از مدل رگرسیون لجستیک برای تجزیه و تحلیل محرک‌های تغییرات، برای ایجاد یک نقشه احتمال رشد شهری استفاده شد.

ژنومد، یک مدل توصیه‌شده به مدیران و تصمیم‌گیران در جهت مدیریت و پایش تغییرات کاربری اراضی است (*Pontius & Chen, 2006: 2*). در ایران فرایند تغییر کاربری اراضی کشاورزی و باغی به اراضی ساخته‌شده از دهه‌های ۴۰ و ۵۰ هجری شمسی روبه‌افزایش بوده و منجر به عدم تعادل میان کاربری اراضی شهری و طبیعی شده است (صدرموسوی و رحیمی، ۱۳۹۱: ۱۰۰). منتج از روند مذکور، الگوی کاربری اراضی شهرستان کردکوی واقع در استان گلستان نیز تحت تأثیر همین روند شهرنشینی، گسترش جمعیت و افزایش مهاجرت، تغییرات چشمگیری را طی دهه‌های اخیر در اراضی کشاورزی، باغی و جوامع روستایی واقع در حوزه نفوذش تجربه کرده است که بهترین نمونه این مورد، اتصال روستای ولاغوز به شهر کردکوی است که اگرچه در تقسیمات کشوری روستا به حساب می‌آید ولی در حال الحاق در محدوده شهری کردکوی است. همچنین با توجه به موقعیت ویژه منطقه کردکوی که بر روی بستر مناسب‌ترین و مرغوب‌ترین زمین‌های کشاورزی درجه یک و در حاشیه جنگل‌های متراکم و حفاظت شده جهان‌نما قرار گرفته است، لازم است گسترش کالبدی شهر کردکوی و تأثیر آن بر اراضی پیرامون شهر به‌منظور مدیریت بحران و پیش‌بینی شرایط آینده، آشکار شود. در همین راستا، در نوشتار حاضر از مدل رگرسیون لجستیک برای تجزیه و تحلیل محرک‌های تغییرات در جهت تهیه نقشه پتانسیل احتمال و از روش ژنومد به‌منظور پیش‌بینی توزیع مکانی گسترش شهری برای سال‌های آتی استفاده گردید.

مبانی نظری

تغییر کاربری زمین شامل تغییر نوع کاربری‌ها و تغییر در نحوه پراکنش و الگوهای فضایی فعالیت‌ها و کاربری‌ها می‌باشد (*Briassoulis, 2009: 129*) که از مؤلفه‌های بسیاری همچون رشد طبیعی جمعیت شهری، افزایش میزان مهاجرت به شهر، افزایش نرخ

بهره گرفته است. وی برای این منظور دو سناریو متفاوت تعریف کرد. در سناریو اول رشد شهری در همه مناطق مجاز است و در سناریوی دوم مناطق جنگلی و حفاظتی به عنوان عوامل محدودکننده در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که در طی سال‌های (۱۹۹۸ تا ۲۰۰۹)، ارزش خدمات اقتصادی از ۵/۳ میلیون دلار در سال (۲۰۰۹) کاهش یافت و در صورت رشد همه جانبه شهر در اراضی در سال ۲۰۲۰ به ۱/۴ میلیون دلار و در سناریوی دوم به ۱/۹۵ میلیون دلار در سال خواهد رسید. وی در بررسی رشد شهری در سال ۲۰۲۰ با استفاده از مدل ژئومد، فاصله از مرکز شهر، جاده اصلی، نقاط گردشگری، ارتفاع، شیب و نرخ رشد جمعیت را عامل‌های اصلی در رشد شهری دانسته است. وی بیان کرد که ژئومد یک ابزار مناسب برای پایش تأثیرات بالقوه تغییرات کاربری اراضی بر خدمات اکوسیستمی است.

داداش‌پور و سالاریان (۱۳۹۴) به تحلیل تأثیر پراکنده‌رویی بر تغییر کاربری اراضی مناطق شهری و پیش‌بینی روند تحولات توسعه اراضی تا سال ۱۴۱۰ در شهر ساری پرداختند. آن‌ها از روش ژئومد برای پیش‌بینی اراضی ساخته شده و از مدل زنجیره مارکوف برای بررسی روند تغییرات کاربری اراضی استفاده کردند و در مرحله نهایی با تلفیق مدل‌های مذکور در GIS، برهم‌کنش میان اراضی ساخته شده و کاربری اراضی تحلیل شد تا پراکنش و توزیع فضایی کاربری زمین در چشم‌انداز تحقیق مشخص گردد. نتایج یافته‌ها نشان می‌دهد تغییر کاربری اراضی کشاورزی، باغی و مراتع در سال ۱۴۱۰ با نرخ رشد ۱/۴۳- درصدی کاهش خواهد یافت و هم‌راستا با این روند، اراضی ساخته شده با نرخ رشد ۴/۸۵ درصدی افزایش می‌یابد. آن‌ها شبکه ارتباطی را عامل توسعه و ارتفاع را عامل محدودیت توسعه در منطقه شهری ساری معرفی کردند.

پژوهش‌های بسیاری در زمینه ارتباط رشد شهری و تغییرات کاربری اراضی صورت گرفته است و درک پویایی رشد شهری را تحت تأثیر تغییرات الگوی کاربری اراضی در زمان و فضا دانسته‌اند (داداش‌پور و سالاریان، ۱۳۹۴: ۱۴۸)؛ به‌طورمثال پانتیوس و همکاران (۲۰۰۱)، برای پیش‌بینی روند تخریب اراضی جنگلی کاستاریکا از تصاویر ماهواره‌ای ۱۹۴۰، ۱۹۶۱ و ۱۹۸۳ استفاده کردند و پس از تعیین میزان تغییرات از مدل ژئومد برای پیش‌بینی میزان کاهش اراضی جنگلی برای سال ۲۰۱۰ استفاده نمودند. همچنین آن‌ها برای تعیین اعتبار مدل در پیش‌بینی تغییرات، نقشه واقعی و پیش‌بینی شده سال ۱۹۸۳ را با یکدیگر مقایسه کردند و توانایی مدل با بررسی نقشه صحت پیش‌بینی حاصل از مقایسه دو نقشه واقعی و شبیه‌سازی شده تعیین شد. رامچاندرا و همکاران (۲۰۱۳)، توسعه کالبدی شهر بانگلور در هند را با استفاده از مدل‌های زنجیره مارکوف، مدل‌سازی تغییرات سرزمین^۱ و برای سال (۲۰۲۰) پیش‌بینی کردند. نتایج آشکارسازی تغییرات نشان داد که مساحت شهر بانگلور از سال (۲۰۰۸) تا سال (۲۰۲۰) براساس مدل‌های زنجیره مارکوف، LCM و ژئومد به ترتیب در حدود ۴۵، ۳۶ و ۲۵ درصد رشد خواهد داشت. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که روش ژئومد با توجه به اعتبارسنجی‌های انجام شده دارای توانایی نسبتاً خوبی در مقایسه با دو روش دیگر در پیش‌بینی رشد شهری است. آن‌ها همچنین شبکه جاده‌ای را دارای برجسته‌ترین نقش، در توسعه شهری منطقه و نزدیکی به فرودگاه را به‌عنوان یک عامل محدودیت در منطقه عنوان کردند. استوکیو (۲۰۱۳)، در رساله دکتری خود به بررسی تغییرات کاربری اراضی بر ارزش‌گذاری اقتصادی خدمات اکوسیستمی در زمان حال و آینده در شهر بگویو در کشور فیلیپین پرداخته است و برای پیش‌بینی رشد اراضی شهری در آینده از مدل ژئومد

داد مدل رگرسیون لجستیک به‌خوبی قادر به تعیین تغییرات ایجاد شده در کاربری زمین است. در همین راستا این تحقیق به دنبال آن است که در طول دوره مورد مطالعه روند گسترش اراضی ساخته شده چه تأثیری بر اراضی پیرامون مناطق شهری گذاشته است و روند گسترش اراضی ساخته شده در منطقه شهری کردکوی به چه صورت در آینده نمود فضایی می‌یابد.

منطقه مورد مطالعه

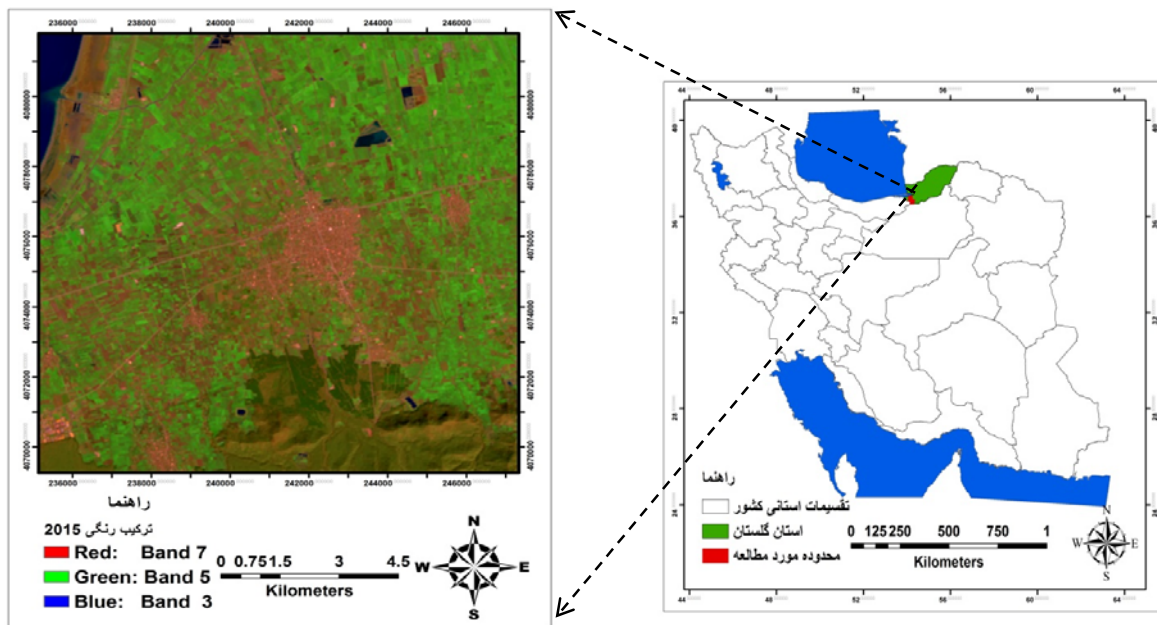
شهر کردکوی و در محدوده طول جغرافیایی ۵۴ درجه ۶ دقیقه ۵۳ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه ۴۷ دقیقه ۵۱ ثانیه شمالی و در شرق استان گلستان قرار گرفته است که شامل دو بخش دشتی و کوهپایه‌ای است. در این شهر، ارتفاع از سمت شمال به جنوب افزایش می‌یابد به طوری که ارتفاع در قسمت‌های دشتی حدود ۲۱- متر از سطح دریا و در قسمت‌های مرتفع تا ارتفاع ۴۱۹ متری می‌رسد.

منطقه شهری مطالعاتی در حال حاضر دارای مساحت ۵۴۵ هکتار است و جمعیت آن در سال ۱۳۷۵، ۲۶۴۹۲ نفر بوده که با نرخ رشد ۱/۸ درصدی به ۳۷۳۸۹ نفر در سال ۱۳۹۴ رسیده است (مرکز بهداشت استان گلستان، ۱۳۹۴: ۵). نکته حائز اهمیت در توزیع فضایی اراضی ساخته شده محدوده این است که توسعه غالباً در اراضی کشاورزی و باغی صورت گرفته است که این مسأله باعث سیر نزولی بخش کشاورزی در شهر شده است (خداداد و همکاران، ۱۳۹۳: ۸۸)، البته در مناطق کوهپایه‌ای که در بخش جنوبی شهر واقع شده است، به دلیل محدودیت‌های قانونی به علت شرایط توپولوژیکی خاص و وجود جنگل‌های جهان‌نما، توسعه فیزیکی در این ناحیه محدودتر است. با معرفی چنین پیشینه‌ای از منطقه مطالعاتی، اهمیت بررسی و تحلیل تغییرات پوشش اراضی نمایان می‌شود. شکل ۱ تصویری از منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

کاظم و همکاران (۱۳۹۴)، در پژوهشی توسعه کالبدی شهر تهران را با استفاده از مدل زنجیره‌های خودکار و روش رگرسیون لجستیک برای سال ۲۰۲۵ مدل‌سازی کرد. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که فاصله از نواحی بایر، فاصله از پوشش گیاهی، فاصله از نواحی مسکونی و فاصله از نواحی شهری دارای برجسته‌ترین نقش در توسعه شهری بودند.

احمدی‌ندوشن و سفیانیان (۱۳۸۸)، توسعه کالبدی شهر اراک را با استفاده از مدل ژئومد برای سال ۱۴۰۴ پیش‌بینی کردند. آن‌ها طبقه‌بندی پوشش اراضی شهری را به واسطه روش شبکه عصبی انجام دادند. همچنین جهت پیش‌بینی تغییرات اراضی شهری در سال ۱۴۰۴ از طریق مدل ژئومد، از نقشه‌های شیب، فاصله از جاده و فاصله از مناطق شهری و نقشه پوشش اراضی سال ۱۳۸۵ استفاده کردند. نتایج آشکارسازی تغییرات نشان داد که مساحت شهر اراک طی ۳۴ سال، از ۱۳۲۴ هکتار به ۴۰۱۱ هکتار افزایش یافته و ۳ برابر شده است. ارزیابی اعتبار مدل ژئومد در پیش‌بینی تغییرات نیز نشان داد که این مدل دارای توانایی نسبتاً خوبی در پیش‌بینی تغییرات اراضی شهری در اراک بوده است.

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 ده 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 و به‌ویژه تبدیل زمین‌های زراعی و مرتعی نقش مهمی در رشد شهر گرگان داشته است. نتایج نشان

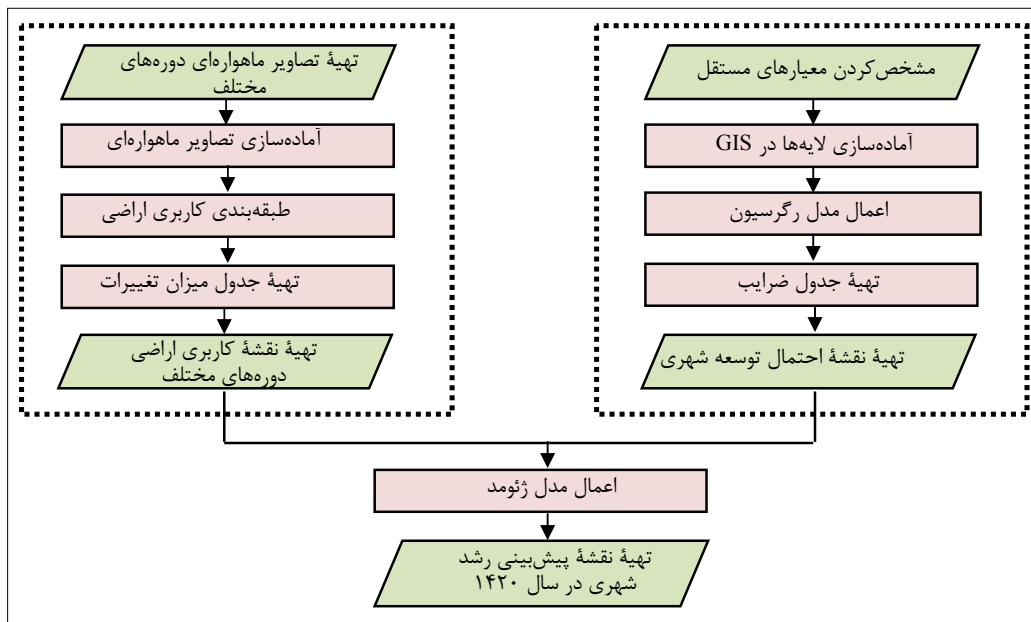


شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه
 مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

روش تحقیق

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق به‌طور کلی به دو دسته عمده قابل تقسیم می‌باشند که عبارت‌اند از: داده‌های مورد استفاده برای طبقه‌بندی و آشکارسازی تغییرات کاربری‌های اراضی در دوره‌های مختلف که این داده‌ها شامل تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه می‌باشند و داده‌هایی که برای تشریح عوامل مؤثر بر گسترش فضای شهری با تأکید بر تغییرات کاربری اراضی از آن‌ها استفاده شده که از این داده‌ها با نام نیروهای محرکه تغییرات یاد می‌شود. همچنین، روش‌های به‌کار گرفته‌شده در این تحقیق به سه دسته کلی قابل تقسیم‌بندی می‌باشند که عبارت‌اند از:

- ۱- روش مورد استفاده برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، که برای این کار از روش طبقه‌بندی نظارت شده و الگوریتم حداکثر احتمال^۱ بهره‌گیری شده است
- ۲- روش مورد استفاده برای بررسی نیروهای محرک در گسترش فضای شهری و تهیه نقشه احتمال رشد شهری، که در این مرحله از مدل رگرسیون لجستیک استفاده شده است
- ۳- روش به‌کار رفته در پیش‌بینی روند توسعه شهری در دوره‌های آتی که برای این کار از مدل ژنومد استفاده شده است که در شکل ۲ فرایند انجام کار نشان داده شده است.



شکل ۲: چارچوب کلی پیش‌بینی توسعه فیزیکی شهر کردکوی تا افق ۱۴۲۰ براساس مدل ژنومد
 مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

آماده‌سازی لایه‌ها

تهیه نقشه کاربری اراضی و آشکارسازی تغییرات به‌منظور بررسی و شناخت تغییرات کاربری اراضی، تصاویر ماهواره‌ای لندست در سه دوره زمانی ۱۹۸۷، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۵ از وبگاه زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا^۱ دانلود شد (جدول ۱). همچنین در انتخاب تصاویر سعی شده که فصل برداشت تصاویر در همه دوره‌ها از نظر زمان برداشت به هم نزدیک بوده و درصد ابرناکی منطقه نیز صفر باشد. در مرحله بعد، با توجه به اینکه تصاویر اولیه و خام داده‌های ماهواره‌ای بنابه دلایل مختلف مانند گردش زمین و تغییر در ارتفاع ماهواره ممکن است دارای هندسه ناصحیح باشند (علوی‌پناه و همکاران، ۱۳۸۳: ۱۴۵)؛ بنابراین نیاز است که این تصاویر از نظر هندسی تصحیح شوند. استفاده از

نقاط کنترل زمینی به‌عنوان رایج‌ترین روش غیرپارامتری در تصحیح هندسی تصاویر محسوب می‌شود (Eastman, 1995: 331). به همین منظور از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ تهیه‌شده از سازمان نقشه‌برداری کشور برای تصحیح هندسی استفاده شد و تصویر سنجنده ETM⁺ سال ۲۰۰۰ به‌روش نزدیک‌ترین همسایه با ۱۳ نقطه کنترل به‌صورت تصویر- وکتور تصحیح هندسی گردید. این تصویر به‌عنوان مبنا برای تصحیح هندسی سایر تصاویر لندست استفاده شد. در مرحله بعد، تصاویر سنجنده‌های TM و OLI سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۱۵ نیز به روش تصویربه‌تصویر براساس تصویر سال ۲۰۰۰ با انتخاب ۱۰ نقطه کنترل زمینی تصحیح شد که RMSE^۲ حاصل از تصحیح هندسی همه تصاویر کمتر از یک پیکسل به‌دست آمد.

2- Root Mean Square Error (RMSE)

1-<https://earthexplorer.usgs.gov>

جدول ۱: اطلاعات داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده در طبقه‌بندی کاربری اراضی

ماهواره	سنجنده	زمان جمع‌آوری		Pass/Row	باندهای مورد استفاده	قدرت تفکیک (متر)	زاویه آزیموت خورشید	زاویه ارتفاع خورشید
		شمسی	میلادی					
لندست ۵	TM	۱۹۸۷-۰۵-۰۱	۱۳۶۶/۰۲/۱۱	۱۶۳/۳۴	۷-۴-۲	۳۰	۱۲۳	۵۴
لندست ۷	ETM	۲۰۰۰-۰۴-۲۲	۱۳۷۹/۰۲/۰۳	۱۶۳/۳۴	۷-۴-۲	۳۰	۱۳۵/۸	۵۷
لندست ۸	OLI	۲۰۱۵-۰۶-۱۸	۱۳۹۴/۳/۱۵	۱۶۳/۳۴	۷-۵-۳	۳۰	۱۴۷/۷	۴۲/۰۵

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

در نهایت با توجه به پوشش‌های منطقه چهار کلاس کاربری شامل جنگل طبیعی، شهر، زمین کشاورزی و جنگل‌های دست کاشت برای سه دوره زمانی برای منطقه مورد مطالعه طبقه‌بندی گردید. همچنین لازمه به‌کارگیری هر نوع اطلاعات موضوعی، آگاهی از میزان صلاحیت و درستی آن است. برای ارزیابی دقت و صحت نقشه‌های طبقه‌بندی شده، با مطابقت‌دادن نقشه‌های طبقه‌بندی شده با نقشه‌های واقعیت زمینی حاصل از مطالعات میدانی، ماتریس خطا تشکیل می‌شود و براساس آن دقت کلی، دقت کاربر، دقت تولیدکننده و ضریب کاپا مشخص می‌گردد (Lillesand et al., 2014: 577). برای انجام ارزیابی صحت، نمونه‌های آموزشی برای هر کلاس به‌صورت تصادفی از سطح منطقه جمع‌آوری و سپس ماتریس خطای طبقه‌بندی استخراج گردید. پس از تهیه نقشه‌های نهایی کاربری اراضی و ارزیابی صحت، در پایان کار میزان تغییرات کاربری اراضی بین دوره‌های مختلف محاسبه گردید.

مدل رگرسیون لجستیک

در این پژوهش، پس از طبقه‌بندی نقشه‌های کاربری اراضی نیاز است که پتانسیل احتمال تبدیل کاربری شهری به کاربری‌های دیگر با مدل رگرسیون لجستیک برآورد شود. رگرسیون لجستیک، یک مدل برآورد تجربی است که ارتباط بین مجموعه‌ای از

مرحله بعد بایستی نمونه‌های آموزشی که نمایانگر الگوی طیفی پدیده‌ها بر روی سطح زمین هستند با دقت زیاد و پراکندگی مناسب تعیین گردد. در این مرحله، نمونه‌های آموزشی جهت استفاده در طبقه‌بندی نظارت شده با استفاده از تفسیر چشمی براساس شکل پدیده‌ها، تصاویر ماهواره‌ای موجود در نرم‌افزار گوگل ارث، اطلاعات نگارندگان از کاربری‌های منطقه و تصاویر رنگی کاذب تهیه گردید. انتخاب این تصاویر رنگی صرفاً به‌منظور شناسایی کلاسه‌های موردنظر و انتخاب بهترین نمونه‌های تعلیمی برای طبقه‌بندی تصاویر است (آرخی و فتحی‌زاد، ۱۳۹۳: ۱۳۸). طبقه‌بندی نظارت شده از روش‌های پیکسل‌پایه است. در این طبقه‌بندی کاربر نشان‌های طیفی کاربری‌های مشخص مثل شهر و جنگل را تهیه نموده و سپس نرم‌افزار هر سلول موجود در تصویر را به آن کاربری که بیشترین شباهت را با نشان طیفی مورد نظر دارد اختصاص می‌دهد. همچنین طبقه‌بندی نظارت شده با الگوریتم حداکثر احتمال صورت گرفت. الگوریتم حداکثر احتمال یکی از متداولترین روش‌های طبقه‌بندی داده‌های سنجنش از دور است.

در این روش، احتمال این که هر سلول متعلق به یک کاربری باشد را بررسی نموده و سلول را به کاربری با بالاترین احتمال عضویت اختصاص می‌دهد. این الگوریتم دقیق‌ترین طبقه‌بندی‌کننده در بین روش‌های پیکسل‌پایه است (سلمان ماهینی و کامیاب، ۱۳۸۸: ۴۲۴).

می‌باشد. به عبارت دیگر نواحی که در طول این دو دوره به مناطق شهری تبدیل شده‌اند کد یک و نواحی که رشد شهری در آن اتفاق نیفتاده است کد صفر می‌گیرند. در مرحله دوم، نیاز است که متغیرهای مستقل پیوسته معرفی گردند که در این پژوهش، یازده متغیر مستقل (مدل رقومی ارتفاع، شیب، فاصله از اراضی کشاورزی، فاصله از جنگل طبیعی، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه، فاصله از نواحی صنعتی، فاصله از جنگل دست کاشت، فاصله از لبه شهر، فاصله از روستا و فاصله از مرکز شهر) به عنوان عوامل مؤثر بر رشد شهری تهیه و وارد نرم‌افزار ایدرسی شدند. در مرحله بعد، با توجه به اینکه در تهیه متغیرها از دامنه متنوعی از واحدهای اندازه‌گیری استفاده شده، نیاز است که متغیرهای مستقل استاندارد گردند.

در نهایت، به منظور تعیین ارتباط میان متغیرهای مستقل و متغیر وابسته، تمامی متغیرها وارد مدل رگرسیون لجستیک در نرم‌افزار ایدرسی شدند. خروجی این مدل، میزان احتمال تغییر کاربری را با توجه به متغیر وابسته در آینده را نشان می‌دهد. در این نقشه هر سلول دارای ارزشی بین صفر تا یک است. که میزان آن مبین احتمال تغییر کاربری آن سلول در آینده است (کامیاب و همکاران، ۱۳۸۹: ۹۱). هرچه قدر ارزش سلول به یک نزدیکتر باشد نشان‌دهنده این است که احتمال تبدیل آن پیکسل برای شهرشدن بیشتر است. معمولاً برای آزمون برازش و معناداری آماری رگرسیون لجستیک از دو آماره $Pseudo-R^2$ و ROC استفاده می‌شود به طوری که اگر مقدار یک باشد، نشانگر برازش کامل و اگر صفر باشد، نشانگر هیچ نوع رابطه‌ای نیست. اگر مقدار بزرگ‌تر از ۰/۲ باشد، نشانگر یک برازش نسبتاً خوب در نظر گرفته می‌شود. همچنین دامنه مقادیر ROC هم بین ۰ تا ۱ تغییر می‌کند به گونه‌ای که عدد ۱ نشانگر برازش کامل و عدد ۰/۵ نشان‌دهنده برازش تصادفی است (Clark and Hosking, 1986: 528).

متغیرهای مستقل و یک متغیر وابسته طبقه‌بندی شده را ارزیابی می‌کند

(Salman Mahiny & Turner, 2003: 3).

فرض بنیادی این رگرسیون بر این اساس است که متغیر وابسته، گسسته باشد و رابطه آن با متغیرهای مستقل از منحنی لگاریتمی (منحنی نمایش S شکل) تبعیت کند (Fang et al, 2005: 294) که مقدار آن را می‌توان با استفاده از رابطه (۱) برآورد نمود

رابطه ۱:

$$p(y = 1|X) = \frac{\exp(\sum BX)}{1 + \exp(\sum BX)}$$

که در این رابطه P احتمال متغیر وابسته‌ای که مقدار آن یک است، X متغیرهای مستقل را تشکیل می‌دهد به طوری که $X = (X_0, X_1, X_2, \dots, X_k)$, $X_0 = 1$ و B پارامترهای برآورد شده می‌باشند، به گونه‌ای که برای خطی کردن مدل فوق معمولاً تبدیل زیر اعمال می‌گردد

$$P' = \ln\left(\frac{P}{1-P}\right) \quad \text{رابطه ۲:}$$

از این تبدیل با عنوان تبدیل Logit یا لجستیک یاد می‌گردد. نکته‌ای که بعد از تبدیل P' وجود دارد این است که به طور نظری تمامی مقادیر را می‌توان بین مثبت و منفی بی‌نهایت فرض کرد؛ ما می‌توانیم مدل رگرسیون خطی استاندارد را به صورت زیر نیز به دست آوریم (Clark and Hosking, 1986: 528).

رابطه ۳:

$$\ln\left(\frac{P}{1-P}\right) = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k$$

همان‌طور که بیان گردید، در رگرسیون لجستیک نیاز به یک متغیر وابسته گسسته از نوع بولین و چند متغیر مستقل پیوسته است. متغیر وابسته در این تحقیق نواحی رشد شهری طی دو دوره مورد مطالعه

تصاویر ماهواره‌ای تهیه و سپس میزان تغییرات ایجاد شده طی دوره زمانی مورد نظر سنجیده می‌گردد (گلدوی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۸). در مرحله بعد رابطه بین عوامل مؤثر بر تخریب با تغییرات کاربری زمین ایجاد شده مورد بررسی قرار می‌گیرد و در نهایت نقشه احتمال تهیه می‌شود. در نقشه احتمال ارزش‌های بالا در محل‌هایی وجود دارد که باتوجه به عوامل مؤثر بر تغییر کاربری زمین، احتمال زیاد برای تغییر دارند و ارزش پایین در محل‌هایی وجود دارد که باتوجه به عوامل مؤثر بر تغییر کاربری زمین، احتمال زیادی برای تغییر ندارند. سپس مدل ژئومد محل تغییر کاربری زمین را بر مبنای محل‌هایی که بالاترین مقدار تناسب را برای تغییر دارد، مدل‌سازی می‌کند (Pontius et al., 2001: 5).

یافته‌های تحقیق

آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی

ابتدا با انتخاب سه مقطع زمانی ۱۹۸۷ میلادی (۱۳۶۶ هـ ش)، ۲۰۰۰ میلادی (۱۳۷۹ هـ ش) و ۲۰۱۵ میلادی (۱۳۹۴ هـ ش)، تصاویر ماهواره‌ای مربوط به شهر کردکوی و پیرامون آن تهیه گردید. در مرحله بعد، تصویر سنجنده ETM^+ با خطای RMSE معادل ۰/۳۷ و تصاویر سنجنده‌های TM و OLI با خطای ۰/۲۶ و ۰/۱۷ تصحیح هندسی شدند. سپس دو ترکیب رنگی کاذب شامل باندهای ۷:۴:۲ برای تصاویر سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۷۹ و یک ترکیب رنگی شامل باند ۷:۵:۳ برای تصویر سال ۲۰۱۵ به‌منظور تفسیر بصری و شناخت کلی از ویژگی‌های واقعی منطقه تهیه شد (شکل ۳).

مدل Geomod

Geomod یک مدل تغییرات کاربری زمین است که تغییرات یک‌سویه از یک طبقه کاربری زمین را به طبقه کاربری زمین دیگر مدل‌سازی می‌کند (Pontius & Chen, 2006: 1).

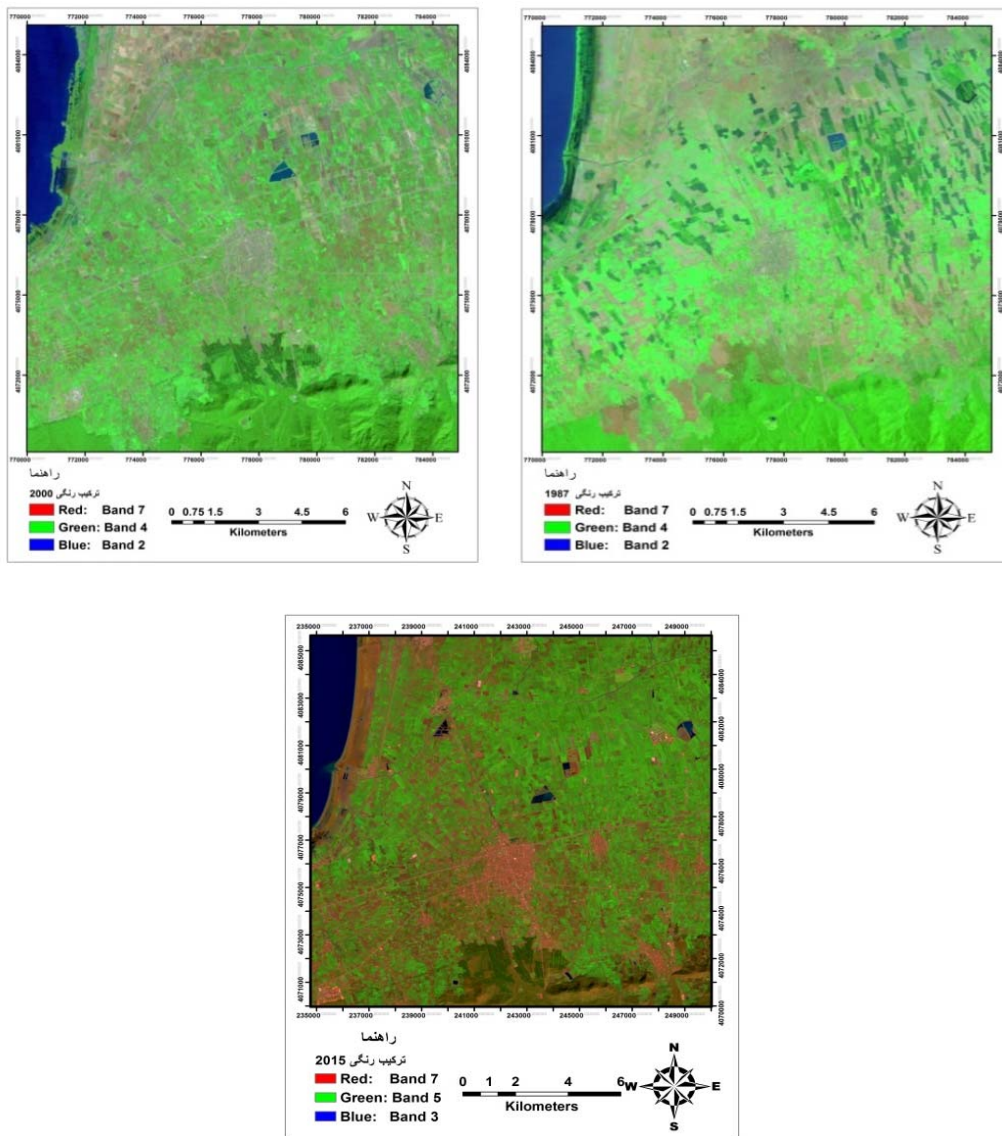
در این مدل دو مؤلفه وجود دارد: مقدار تغییر کاربری زمین و محلی که تغییر کاربری زمین رخ می‌دهد. برای به دست آوردن مقدار تغییر کاربری زمین، به‌طور کلی از تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه استفاده می‌شود. برای مدل‌سازی محل‌هایی که تغییر کاربری زمین که در گذشته رخ داده است، تعدادی از داده‌های مکانی مربوط به عوامل اقتصادی-اجتماعی و بیوفیزیکی را مورد استفاده قرار می‌دهد. این عوامل در اغلب موارد شامل وضعیت توپوگرافی (ارتفاع، شیب و جهت)، فاصله از رودخانه، جاده و مناطق مسکونی می‌باشد (Brown et al., 2007: 1001).

مدل ژئومد محل‌هایی که احتمال تغییر در کاربری زمین آن‌ها وجود دارد، با استفاده از سه دستورالعمل تصمیم‌گیری تعیین می‌کند. این دستورالعمل‌ها شامل: ۱. عواملی که بر تغییرات کاربری زمین اثر می‌گذارند؛ ۲. تصویر اشکوب‌بندی شده که از تقسیمات ناحیه‌ای مانند تقسیمات کشوری (فرضاً مرز شهرستان‌ها) برای انجام فرایند مدل‌سازی در هریک از مرزها استفاده می‌کند و در این محدوده‌ها وضعیت تغییر کاربری زمین را به‌طور جداگانه تعیین می‌نماید؛

۳. نزدیک‌ترین همسایه که در هریک از مراحل زمانی، تبدیل کاربری زمین را برای مناطقی که روی مرز است، تعیین می‌کند (Potious et al., 2001: 1).

(Echeverria et al., 2008: 444)

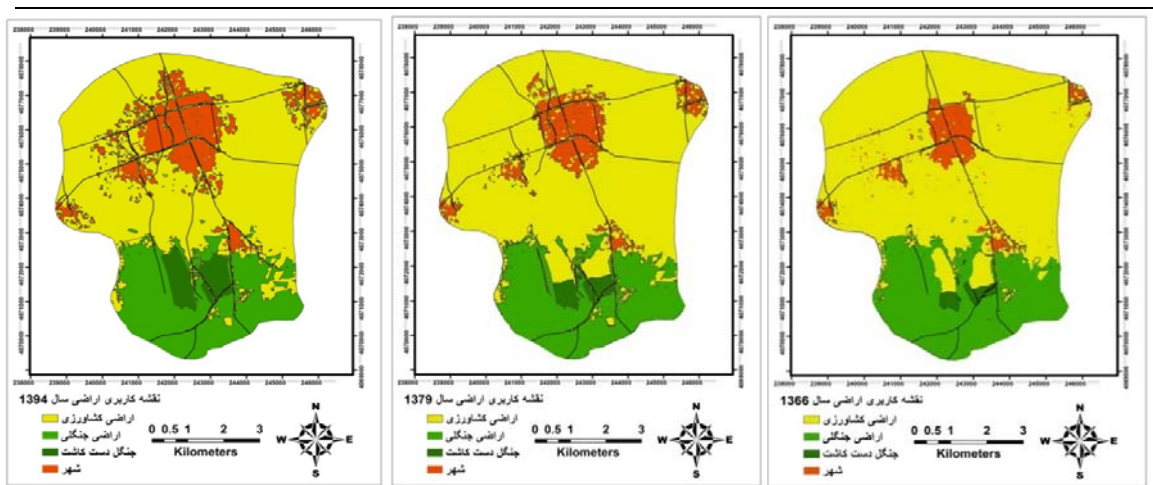
برای وارد نمودن این دستورالعمل‌ها در مدل‌سازی، نقشه‌های کاربری زمین چند زمانه با استفاده از



شکل ۳: ترکیب رنگی کاذب باندهای مورد استفاده مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

اراضی کشاورزی، جنگل‌های دست‌کاشت و شهر تهیه شد (شکل ۴).

سیس با روش بیشترین احتمال و پردازش بصری، نقشه‌های کاربری اراضی استخراج شد که در نهایت نقشه کاربری اراضی در چهار طبقه اراضی جنگلی،



شکل ۴: نقشه‌های کاربری اراضی استخراج شده از تصویر لندست سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۷۹ و ۱۳۹۴
 مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

ضریب کاپا کلی به ترتیب ۰/۷۴، ۰/۷۳ و ۰/۸۲ بدست آمد. با توجه به نتایج حاصل از ارزیابی دقت، میزان تطابق نمونه‌ها با واقعیت زمینی نشان‌دهنده صحت قابل قبول برای نقشه‌های تهیه شده می‌باشد که البته این میزان برای جنگل‌های دست‌کاشت کمتر است. سپس مساحت و تغییرات کاربری‌ها در دوره زمانی محاسبه شد که نتایج در جدول ۳ تا ۵ و شکل ۵ نشان داده شده است.

پس از طبقه‌بندی کاربری‌ها، به ارزیابی صحت پرداخته شد. بدین جهت تصاویر طبقه‌بندی شده با نمونه‌های زمینی تهیه شده به نرم‌افزار ادریسی انتقال یافته است و با استفاده از ابزار ERRMAT، با قطع‌دادن هر یک از نقشه‌های طبقه‌بندی شده با نقشه واقعیت زمینی و تشکیل ماتریس خطا، میزان صحت طبقه‌بندی محاسبه شد (جدول ۲). دقت کل در نقشه‌های طبقه‌بندی شده سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۷۹ و ۱۳۹۴ به ترتیب ۸۱/۱۵، ۸۰/۴ و ۸۷/۱۳ درصد و

جدول ۲: ارزیابی دقت نقشه کاربری اراضی تهیه شده

سال ۱۳۹۴		سال ۱۳۷۹		سال ۱۳۶۶		کاربری
دقت کاربر	دقت تولیدکننده	دقت کاربر	دقت تولیدکننده	دقت کاربر	دقت تولیدکننده	
۷۹/۶	۹۵/۱	۸۲/۲۲	۹۰/۳	۸۲/۹۸	۹۵/۱۲	اراضی جنگلی
۸۶/۱	۸۷/۸	۷۱/۷	۹۱/۵	۷۱/۶	۸۸/۳۷	اراضی کشاورزی
۹۳/۵	۸۰/۵	۹۱/۷	۵۰/۵	۹۳/۱۳	۵۸/۳۳	اراضی جنگلی دست کاشت
۹۵/۱	۸۴/۵	۹۶/۹	۷۴/۴۲	۱۰۰	۰/۷۱	مناطق شهری
۸۷/۱۳		۸۰/۴		۸۱/۱۵		صحت کلی
۰/۸۲		۰/۷۳		۰/۷۴		ضریب کاپا کلی

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

جدول ۳: روند تغییرات پوشش اراضی طی سال‌های ۱۳۶۹ تا ۱۳۷۹ برحسب هکتار

کاربری	شهر	جنگل دست کاشت	جنگل طبیعی	اراضی کشاورزی	جمع در سال ۱۳۶۶
شهر	۱۸۴	۰	۰	۰	۱۸۴
جنگل دست کاشت	۰	۵۰	۰	۰	۵۰
جنگل طبیعی	۱۱	۰	۱۰۴۱	۵۴	۱۱۰۶
اراضی کشاورزی	۱۳۷	۳۹	۰	۳۲۲۵	۳۴۰۱
جمع در سال ۱۳۷۹	۳۳۲	۸۹	۱۰۴۱	۳۲۷۹	۴۷۴۱

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

جدول ۴: روند تغییرات پوشش اراضی طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۴ برحسب هکتار

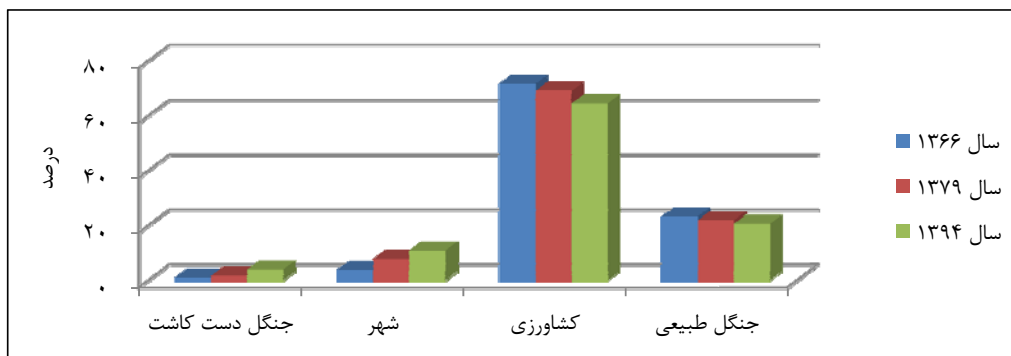
کاربری	شهر	جنگل دست کاشت	جنگل طبیعی	اراضی کشاورزی	جمع در سال ۱۳۷۹
شهر	۳۳۲	۰	۰	۰	۳۳۲
جنگل دست کاشت	۰	۸۹	۰	۰	۸۹
جنگل طبیعی	۱۶	۰	۹۷۹	۴۶	۱۰۴۱
اراضی کشاورزی	۱۶۹	۱۰۰	۰	۳۰۱۰	۳۲۷۹
جمع در سال ۱۳۹۴	۵۱۷	۱۸۹	۹۷۹	۳۰۵۶	۴۷۴۱

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

جدول ۵: مساحت کاربری‌های مختلف اراضی (هکتار) در سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۷۹ و ۱۳۹۴ در شهر کردکوی

نوع کاربری	سال ۱۳۶۶	درصد	سال ۱۳۷۹	درصد	سال ۱۳۹۴	درصد	درصد تغییرات ۱۳۶۶-۱۳۷۹	درصد تغییرات ۱۳۷۹-۱۳۹۴
اراضی کشاورزی	۳۴۰۱	۷۱/۷	۳۲۷۹	۶۹/۲	۳۰۵۶	۶۴/۴۶	-۳/۶	-۶/۸
اراضی جنگلی	۱۱۰۶	۲۳/۳	۱۰۴۱	۲۱/۹	۹۷۹	۲۰/۶۴	-۵/۹	-۵/۹
مناطق شهری	۱۸۴	۳/۸۸	۳۳۲	۷/۰۸	۵۱۷	۱۰/۹۲	+۸۰/۴	+۵۵/۷
اراضی جنگلی دست کاشت	۵۰	۱/۰۲	۸۹	۱/۷۲	۱۸۹	۳/۹۸	+۷۸/۱	+۱۱۲/۳

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵



شکل ۵: درصد تغییرات پوشش اراضی شهرستان کردکوی بین سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۴

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

نتایج نشان داد در دوره زمانی ۱۳۶۶-۱۳۷۹ حدود ۱۴۸ هکتار (۸۰ درصد تغییر) و در دوره زمانی ۱۳۷۹-۱۳۹۴ حدوداً ۱۸۵ هکتار (۵۵ درصد تغییر)

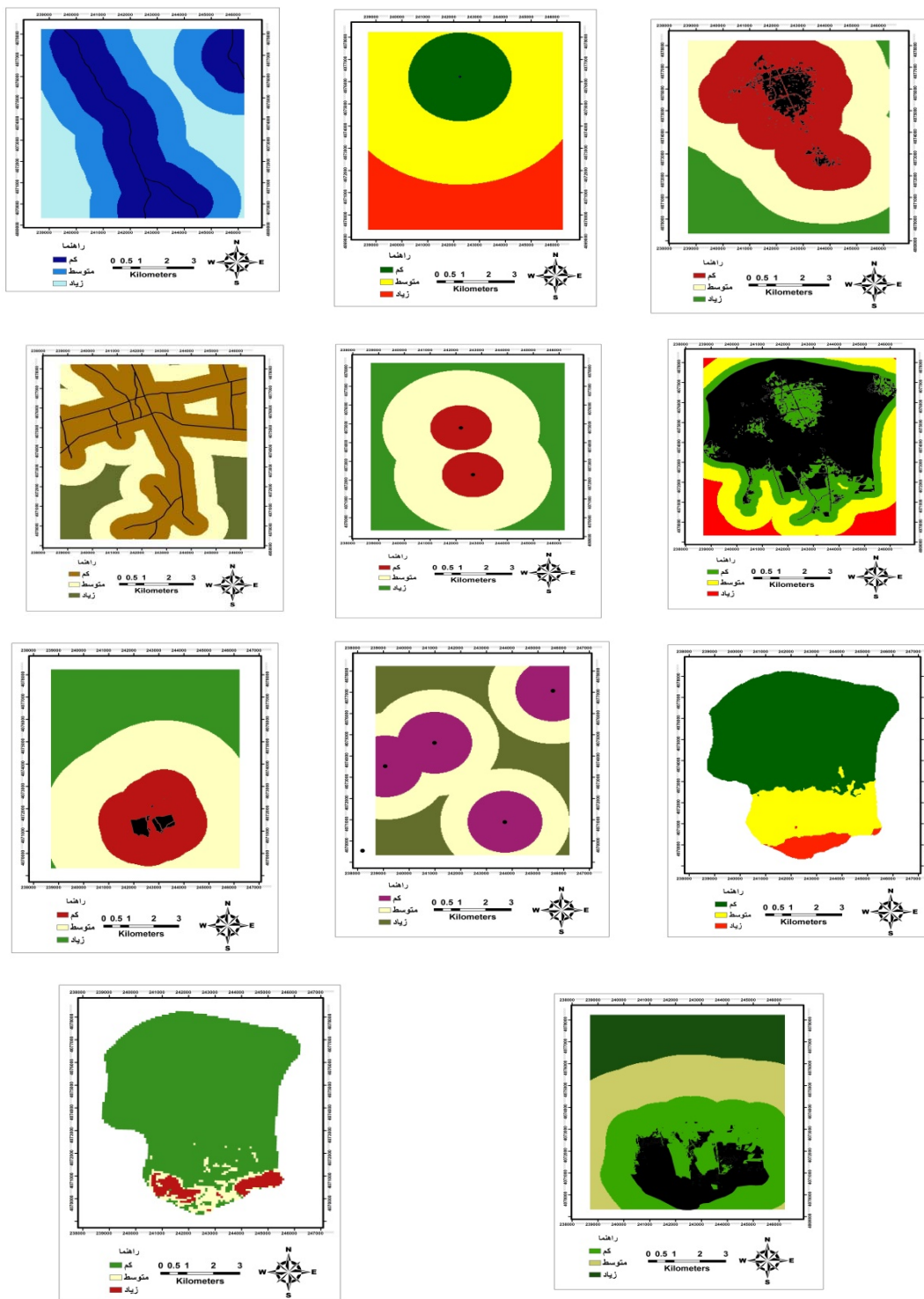
بنابر نتایج آشکارسازی تغییرات، در این منطقه در بازه زمانی موردنظر تغییرات در کاربری شهری در جهت رشد و گسترش مناطق مسکونی بوده است.

بررسی عوامل و نیروهای محرکه رشد شهری
همانطور که در پیشینه تحقیق اشاره شد تحقیقات بسیاری در مورد مدل‌سازی رشد شهر انجام گرفته است که هر یک از آنها به نحوی سعی در کشف ارتباط بین رشد شهر و متغیرها و مؤلفه‌های مؤثر در آن داشته‌اند، اما با توجه به ماهیت پویایی شهر و وابستگی بسیار زیاد آن به رفتارهای انسانی بررسی آن با بررسی پدیده‌های طبیعی مانند بیابان‌زایی، فرسایش یا خشکسالی بسیار متفاوت است. ضمن آنکه علل رشد هر شهر می‌تواند با سایر شهرها تفاوت‌های قابل تأملی داشته باشد و نمی‌توان برای رشد همه شهرها مدل واحدی ارائه کرد (کازم و همکاران، ۱۳۹۴: ۵۳).

با این حال، قبل از استفاده از آنها در فرایند مدل‌سازی باید همبستگی متغیرها با هم بررسی شود و از بین متغیرهای با همبستگی بالا برخی را حذف و با توجه به سایر متغیرها، اثر آن متغیرها را هم بررسی نمود. این امر باعث کاهش حجم داده‌ها و کاهش حجم محاسبات مدل‌ها می‌شود. برای بررسی رابطه همبستگی بین متغیرها از روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی و محاسبه کوواریانس بین متغیرها می‌توان استفاده نمود. کوواریانس دو متغیر، میزان تغییر آنها را نسبت بیان می‌کند و مقادیر آن در گستره بین ۱-۰ است که هر چه این عدد به یک نزدیک تر باشد، همبستگی بین متغیرها بیش‌تر خواهد بود (گلدوی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۷). سپس به منظور بررسی میزان و نحوه اثر متغیرها از مدل رگرسیون لجستیک که یک مدل آماری است استفاده گردید (شکل ۶). جدول ۶ و ۷ ضرایب هر یک از متغیرها و معادله رگرسیون لجستیک را برای تهیه نقشه احتمال نشان می‌دهد. ضرایب مثبت نشان‌دهنده ارتباط مستقیم بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته و ضرایب منفی نشان‌دهنده ارتباط معکوس بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته‌اند.

به مناطق مسکونی افزوده شده است که این میزان نشان‌دهنده نرخ بالای رشد در منطقه است. از طرفی این افزایش اراضی شهری، سبب کاهش اراضی کشاورزی و جنگلی شده است؛ به طوری که مساحت اراضی کشاورزی از ۳۴۰۱ هکتار در سال ۱۳۶۶ به ۳۰۵۶ هکتار (۳۴۳ هکتار) در سال ۱۳۹۴ و مناطق جنگلی از ۱۱۰۶ هکتار در سال ۱۳۶۶ به ۹۷۹ هکتار (۱۲۷ هکتار) در سال ۱۳۹۴ کاهش یافته است که براساس نتایج، به ترتیب ۳۰۶ و ۲۷ هکتار از زمین‌های کشاورزی و مناطق جنگلی به شهر تبدیل شده‌اند. همچنین توزیع مکانی رشد شهری در دوره اول طوری است که، بیشترین میزان رشد شهری به ترتیب در ناحیه شمال شرق و شرق و در دوره دوم این رشد به ترتیب در ناحیه غربی، شمال غربی و بخش‌های جنوبی منطقه رخ داده است.

همچنین، با توجه به نتایج جدول می‌توان بیان نمود که در هر سه دوره مورد مطالعه کمترین وسعت کاربری مربوط به کاربری جنگل‌های دست‌کاشت بوده است که در سال ۱۳۶۶ برابر با ۱/۰۳ درصد (۵۰ هکتار) از مساحت منطقه بوده است و در سال ۱۳۹۴ به مقدار ۳/۹۸ درصد (۱۸۹ هکتار) رسیده است. به طور کلی از سال ۱۳۶۶ تا سال ۱۳۸۹ کاربری مذکور با روند مشخصی رو به افزایش بوده است. به دلیل واگذاری زمین‌های جنگلی در دهه‌های پنجاه و شصت، دولت تصمیم به بازگیری این مناطق کرده و از این سال به بعد شروع به کاشت جنگل‌های سوزنی برگ کرده است که همان‌طور در جدول ۵ نشان داده شده است، در این دوران، ۱۴۹ هکتار از زمین‌های کشاورزی به جنگل‌های دست‌کاشت تبدیل شده است. همان‌طور که در جداول مشاهده می‌شود، نرخ تغییر کاربری‌ها برای کاربری‌های جنگل و کشاورزی جهت منفی دارند و شهر و فعالیت‌های اقتصادی مرتبط با آن، با گسترش خود سایر کاربری‌ها را به سود خود تغییر داده است.



شکل ۶: متغیرهای مؤثر در رابطه با گسترش شهری در دوره ۱۳۷۹-۱۳۹۴

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

جدول ۶: ضرایب متغیرهای مؤثر در رابطه با گسترش شهری در سه دوره زمانی مورد مطالعه

متغیر	نام متغیر	ضرایب متغیرها		
		دوره ۱۳۶۶-۱۳۷۹	دوره ۱۳۷۹-۱۳۹۴	دوره ۱۳۹۴-۱۳۶۶
X ₁	ارتفاع	۰/۰۰۵	-۰/۰۱۹۹	-۰/۰۰۸
X ₂	شیب	۰/۰۰۸۳	-۰/۰۳۰	-۰/۰۰۷
X ₃	فاصله از جاده‌ها	-۰/۰۳۲۶	-۰/۰۲۱	-۰/۰۳۱۷
X ₄	فاصله از رودخانه‌ها	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۱۴	-۰/۰۰۲۲
X ₅	فاصله از لبه شهر	-۰/۰۱۴۱	-۰/۰۴۲۴	-۰/۰۱۵
X ₆	فاصله از اراضی جنگلی	۰/۰۰۳۲	-۰/۰۰۸	-۰/۰۰۴۵
X ₇	فاصله از جنگل دست‌کاشت	۰/۰۰۳	۰/۰۴۰۷	۰/۰۳۸۶
X ₈	فاصله از اراضی کشاورزی	-۰/۰۴۴۱	-۰/۰۸۵۶	-۰/۰۷۰۷
X ₉	فاصله از روستاها	۰/۰۱۳۱	-۰/۰۰۰۵	۰/۰۱۵۶
X ₁₀	فاصله از مرکز شهر	-۰/۰۱۱۵	-۰/۰۰۲	-۰/۰۱۱
X ₁₁	فاصله از نواحی صنعتی	-۰/۰۰۵۵	-۰/۰۳۰۷	-۰/۰۲۶۵

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

جدول ۷: معادله‌های حاصل از اجرای مدل رگرسیون لجستیک

دوره زمانی	معادله
۱۳۶۶-۱۳۷۹	$-2/59 + 0/005 X_1 + 0/0083 X_2 - 0/326 X_3 + 0/012 X_4 - 0/141 X_5 + 0/032 X_6 + 0/003 X_7 - 0/441 X_8 + 0/131 X_9 - 0/115 X_{10} - 0/555 X_{11}$
۱۳۷۹-۱۳۹۴	$-2/718 - 0/199 X_1 - 0/2 X_2 - 0/21 X_3 + 0/014 X_4 - 0/424 X_5 - 0/008 X_6 + 0/407 X_7 - 0/856 X_8 - 0/005 X_9 - 0/02 X_{10} - 0/307 X_{11}$
۱۳۶۶-۱۳۹۴	$-2/554 - 0/008 X_1 - 0/007 X_2 - 0/317 X_3 - 0/022 X_4 - 0/15 X_5 - 0/045 X_6 + 0/386 X_7 - 0/707 X_8 + 0/156 X_9 - 0/11 X_{10} - 0/265 X_{11}$

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

شهری بیشتر به سمت شمال غربی و شمال شرقی، یعنی مکان‌هایی که در مسیر جاده اصلی ساری-مشهد و تراکم جمعیتی آن نسبت به مرکز شهر کمتر است سوق می‌یابد. همچنین در دوره ۱۳۷۹-۱۳۹۴ نیز فاصله از اراضی کشاورزی دارای بیشترین ضریب تأثیر در توسعه کلاس شهری بوده و متعاقب آن فاصله از لبه شهر، فاصله از جاده و فاصله از اراضی جنگلی دست‌کاشت قرار دارند. در این دوره رشد شهری بیشتر در جهت غربی سوق پیدا کرده است که این مسئله باعث وصل شدن روستای ولاغوز به حاشیه شهر کردکوی شده است. همچنین بررسی متغیرها در

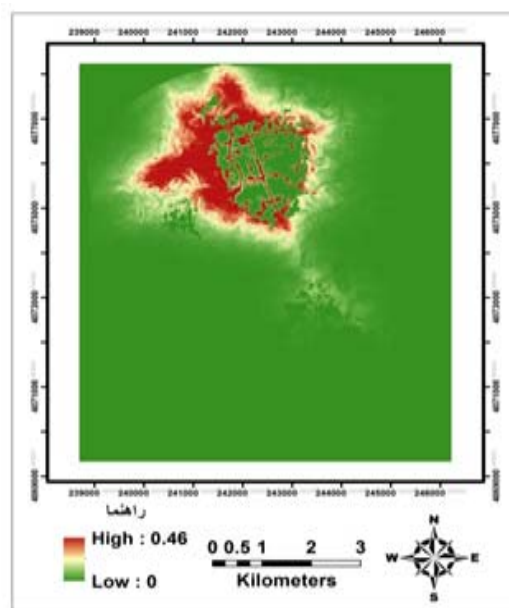
نتایج حاصل از مدل رگرسیون لجستیک حاکی از این واقعیت است که در دوره ۱۳۶۶-۱۳۷۹، فاصله از اراضی کشاورزی دارای بیشترین تأثیر در رشد شهری بوده و سه متغیر فاصله از شبکه راه‌ها، فاصله از لبه شهر و نواحی روستایی به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار دارند که رابطه‌ای منفی با گسترش شهر داشته‌اند. به عبارتی دیگر با افزایش فاصله از این متغیرها، رشد فضایی شهر کاهش یافته است. همچنین در این دوره رشد شهری به سمت شرق و شمال شرقی و تا حدودی شمال غربی در مسیر جاده اصلی گرایش پیدا می‌کند. به عبارت ساده‌تر، رشد

را نشان می‌دهند. در این نقشه مقادیر بالا نشان‌دهنده محل‌هایی با احتمال بالا برای تغییر کاربری و تبدیل به کاربری شهر در زمان مورد نظر است. سپس این نقشه با مازول Rank رتبه‌بندی می‌شود (گلدوی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۰۸) و پیکسل‌هایی که احتمال زیادی برای تغییر در دوره زمانی دارند، به‌طور جداگانه از این نقشه استخراج می‌شوند و به‌عنوان یکی از ورودی‌های مدل ژئومد برای پیش‌بینی رشد برای شرایط آینده به کار گرفته شدند. در نهایت با استفاده از مدل ژئومد و با بهره‌گیری از نقشه احتمال گسترش شهری به‌وجود آمده از رگرسیون لجستیک که براساس روابط متغیرهای مؤثر در رابطه با گسترش شهری در دوره ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۴ ایجاد شده است و همچنین وضعیت کلاس‌های کاربری که در اینجا نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۹۴ می‌باشد، رشد شهری برای سال ۱۴۲۰ پیش‌بینی شد. نتیجه‌نهایی در شکل ۸۹ نمایش داده شده است.

کل دوره مورد مطالعاتی حاکی از آن است که فاصله از اراضی کشاورزی، فاصله از اراضی جنگلی دست‌کاشت، جاده و نواحی روستایی بیشترین تأثیر را در رشد شهری داشته‌اند. همچنین ارزیابی عملکرد رگرسیون با استفاده از دو شاخص $Pseudo R^2$ و ROC با مقادیر ۰/۳۷ و ۰/۹۳ برای دوره اول ۰/۳۱ و ۰/۹۲ برای دوره دوم و ۰/۳۹ و ۰/۹۳ برای کل دوره مطالعاتی، نشانگر برازش خوب رگرسیون و قابلیت تشریحی مناسب آن است.

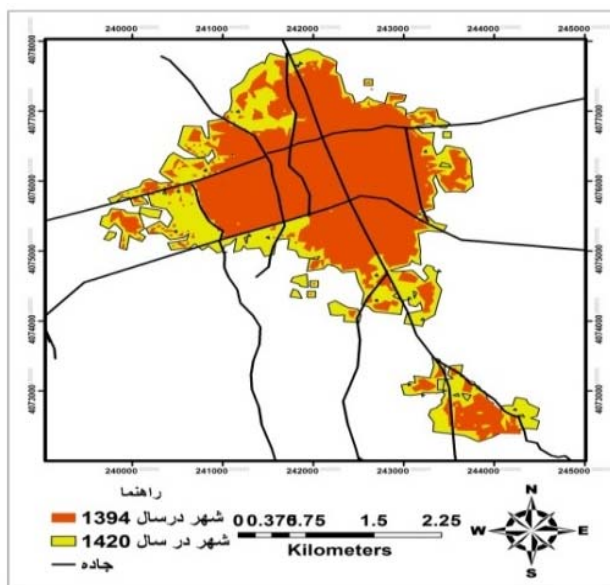
پیش‌بینی رشد شهری برای سال ۱۴۲۰ با استفاده از مدل ژئومد

برای پیش‌بینی الگوی آینده رشد شهری در منطقه، نقشه پیش‌بینی احتمال رشد حاصل از اجرای مدل رگرسیون لجستیک که برای دوره زمانی ۱۳۹۴-۱۳۷۹ تهیه شده بود، به کار گرفته شد. برای نمونه شکل ۷ نقشه پیش‌بینی احتمالی حاصل از اجرای مدل رگرسیون لجستیک در دوره زمانی ۱۳۹۴-۱۳۷۹



شکل ۷: نقشه پیش‌بینی احتمالی حاصل از اجرای مدل رگرسیون لجستیک در دوره زمانی ۱۳۷۹-۱۳۹۴

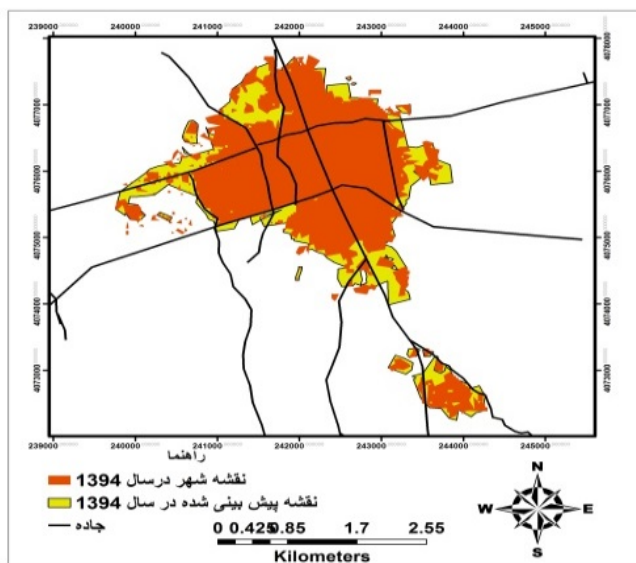
مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵



شکل ۸: نقشه پیش‌بینی مدل ژنومد برای کاربری شهر در دوره ۱۳۹۴-۱۴۲۰
 مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

استخراج گردید و این نقشه به‌عنوان ورودی به‌مدل ژنومد برای پیش‌بینی شهر در سال ۱۳۹۴ استفاده شد. مقایسه میان نقشه احتمالاتی سال ۱۳۹۴ با نقشه واقعیت کاربری زمین سال ۱۳۹۴، نشان‌دهنده مطابقت ۸۱/۴ درصدی بین این دو نقشه است (شکل ۹).

همچنین برای اعتبارسنجی مدل، پیش‌بینی میزان رشد شهری برای سال ۱۳۹۴ با استفاده از داده‌های سال ۱۳۶۶ و ۱۳۷۹ نقشه براساس مدل ژنومد نیز صورت گرفت. برای این کار، با استفاده از داده‌های سال ۱۳۶۶، نقشه احتمالاتی برای افق سال ۱۳۹۴



شکل ۹: نقشه پیش‌بینی مدل ژنومد برای کاربری شهر در دوره ۱۳۹۴-۱۳۷۹
 مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

نشان‌دهنده عواقب و خطرات زیاد محیط‌زیستی است که می‌تواند در آینده نزدیک متوجه منطقه شهری کردکوی شود.

نتیجه

مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین راهی مؤثر جهت کسب اطلاعات در مورد نحوه تغییرات کاربری اراضی در طی زمان و همچنین عوامل مؤثر بر آن است. در این مطالعه، الگوی رشد شهری در منطقه کردکوی با مدل رگرسیون لجستیک در بازه زمانی ۲۸ ساله مدل‌سازی شد. نتایج حاصل از مدل رگرسیون لجستیک حاکی از این واقعیت است که نرخ رشد اراضی ساخته شده در دوره ۱۳۶۶-۱۳۷۹ بالتبع ناشی از فاصله از اراضی کشاورزی، فاصله از شبکه راه‌ها، فاصله از مرکز شهر و فاصله از نواحی روستایی و در دوره ۱۳۷۹-۱۳۹۴ نیز فاصله از اراضی کشاورزی، فاصله از لبه شهر، فاصله از جاده و فاصله از اراضی جنگلی دست‌کاشت مؤثر بوده است و در کل دوره مورد مطالعاتی فاصله از اراضی کشاورزی، فاصله از اراضی جنگلی دست‌کاشت، جاده و نواحی روستایی بیشترین تاثیر را در رشد شهری داشته‌اند. در ادامه، برای پیش‌بینی کاربری اراضی احتمالی منطقه شهری مطالعاتی، از مدل ژئومد بر پایه کاربری اراضی سال ۱۳۹۴ استفاده شد. در این روش بر مبنای تحولات کاربری اراضی در دوره‌های پیشین احتمال تغییر کاربری اراضی در سال ۱۴۲۰ تخمین زده شد. نتایج این مدل با روند تحول در واقعیت کنونی منطقه شباهت فراوانی دارد که براساس آن اراضی کشاورزی با سرعتی زیاد در حال کاهش و متعاقباً اراضی ساخته شده با سرعتی زیاد افزایش خواهد یافت. نتایج یافته‌ها نشان می‌دهد که ۱۷/۶ درصد از کاربری اراضی کشاورزی از سال ۱۳۶۶ تا ۱۴۲۰ به کاربری اراضی ساخته شده تبدیل شده است.

پیش‌بینی احتمالی مدل ژئومد در سال ۱۴۲۰، نشان‌دهنده کاهش اراضی طبیعی (جنگلی و کشاورزی) و درعوض افزایش اراضی ساخته‌شده است (شکل ۹). بدین ترتیب که مساحت اراضی کشاورزی از ۳۰۵۶ هکتار در سال ۱۳۹۴ به ۲۷۶۵ هکتار در سال ۱۴۲۰ و مناطق جنگلی از ۹۷۹ هکتار در سال ۱۳۹۴ به ۹۷۴ هکتار در سال ۱۴۲۰ کاهش یافته است و درعوض مساحت شهر کردکوی به ۸۶۱ هکتار رسیده است که براساس نتایج، به ترتیب ۲۹۱ و ۵ هکتار از زمین‌های کشاورزی و مناطق جنگلی به شهر تبدیل شده‌اند. روند تغییرات کاربری نشان می‌دهد که پراکنده‌رویی در پی توسعه اراضی رخ داده و هم‌زمان منجر به تغییر کاربری اراضی (بالتبع تغییر کاربری اراضی در زمین‌های کشاورزی و باغات)، در منطقه شهری شده است. همچنین توزیع مکانی رشد شهری در دوره ۱۴۲۰-۱۳۹۴ نشان می‌دهد که بیشترین میزان رشد شهری به ترتیب در ناحیه غربی و شمال غربی منطقه مورد مطالعه رخ داده است که این مسئله با توجه به رشد شهر کردکوی به طرف روستای ولاغوز و الحاق شدن این روستا به حاشیه شهر امری بدیهی و قابل انتظار است. همچنین در قسمت جنوبی منطقه شهری کردکوی نیز به علت شرایط آب و هوایی مناسب‌تر و تراکم جمعیتی کمتر، اراضی ساخته شده افزایش یافته است، اما به میزان گسترش اراضی ساخته شده در شمال غربی و غرب نیست. در شمال منطقه مطالعاتی نیز روند رشد بسیار آهسته‌ای مشاهده می‌شود که به دلیل دور شدن از جاده اصلی و مرکز شهر تنها شامل گسترش سکونت‌گاه‌های فعلی است. بدین ترتیب، روند پراکنده‌رویی در قسمت شمال غربی و غربی منطقه شهری کردکوی تأثیر به‌سزایی بر تغییر کاربری منطقه داشته است و متأسفانه تمامی این اراضی پیرامون شهر، از اراضی مستعد کشاورزی می‌باشند که به فضای مسکونی و سازه‌های شهری تبدیل می‌شوند. این مسئله

پیشنهادات

با مشخص شدن الگوی احتمالاتی توسعه شهر کردکوی و تأثیر آن بر زمین‌های پیرامون، پیشنهاد می‌شود به منظور کاهش پراکنش کالبدی-فضایی نامناسب شهری به سمت پهنه‌های اکولوژیک و کنترل عطش ادغام نواحی مجاور روستایی در بافت شهری، جهت‌گیری‌های حال حاضر در حوزه برنامه‌ریزی و مدیریت شهری متحول شود. بدین ترتیب، مجموعه‌ای از توصیه‌ها و راهبردهای اجرایی برای بهبود و حتی کاهش سرعت روند تخریب اراضی کشاورزی همچون اعمال روش‌ها و سیاست‌های کارآمد برای عدم ترویج سوداگری در خرید و فروش زمین در منطقه شهری مورد نظر، نظارت سازمان‌های شهری و عدم ارائه مجوز ساخت و پروانه ساختمانی در محدوده اراضی جنگلی و کشاورزی و اعمال جریمه‌های سنگین برای افراد متخلف، نوسازی بافت فرسوده به منظور افزایش تراکم افزایش مسکونی و استفاده از اراضی بایر و خالی در داخل شهر (توسعه میان‌افزا)، از طریق برنامه‌های مشارکتی و جلب همکاری شهروندان برای پاسخ‌گویی به نیاز جمعیت در حال رشد منطقه، پهنه‌بندی و آمایش اراضی حاشیه شهر به منظور جانمایی صحیح توسعه‌های آتی در اراضی باارزش کمتر، استفاده از شیوه‌های انبوه‌سازی و بلند مرتبه‌سازی (شهر فشرده) و اطلاع‌داشتن از روند توسعه آتی به منظور برنامه‌ریزی و مدیریت برای کاهش تأثیرات پراکنده‌رویی بر کاربری زمین پیشنهاد می‌شود. راهکارهای پیشنهادی با افزایش فشردگی کالبدی و ممنوعیت ساخت‌وساز در اراضی کشاورزی و جنگلی سبب می‌گردد که کمترین آسیب‌ها متوجه کاربری باغات و اراضی کشاورزی در دهه‌های آینده گردد و توسعه شهری کردکوی به سمت پایداری بیشتر سوق پیدا کند.

نتایج بر آمده از منطقه شهری حاکی از سازگاری نتایج آن با یافته‌های گلدوی و همکاران (۱۳۹۴)، محمودزاده و خوشروی (۱۳۹۴) و کرم و همکاران (۱۳۸۹) مبنی بر رابطه توسعه اراضی ساخته شده و پراکنده‌رویی مناطق شهری است. براساس بررسی‌های بهرام سلمانی (۱۳۷۱)، اکثر شهرهای ایران، در مراحل اولیه شکل‌گیری باهدف 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 در نتیجه بخش وسیعی از بهترین و با ارزش‌ترین اراضی بلافصل شهرها به زیر ساخت‌وساز رفته است که در منطقه مورد مطالعه نیز، روند گرایش‌های فضایی در توسعه اراضی ساخته شده و تغییرات کاربری اراضی منجر به تخریب اراضی کشاورزی حاشیه شهری شده است. از مجموعه مطالب گفته شده می‌توان چنین دریافت که، روند پراکنده‌رویی در منطقه شهری کردکوی تأثیر بسزایی بر تخریب اراضی کشاورزی داشته است. دلیل این امر را می‌توان در افزایش تراکم جمعیت شهری، محدودیت عرصه‌های فضایی شهر و قیمت پایین اراضی پیرامون شهر نسبت به اراضی شهری دانست که موجب گرایش افراد به سکونت در این اراضی می‌گردد، اما آنچه اهمیت دارد تأکید بر روند گرایش توسعه فضایی پراکنده در اراضی کشاورزی و جنگلی این منطقه شهری است که می‌تواند در آینده خسارت‌های جبران‌ناپذیری همچون برهم خوردن تعادل‌های محیط‌زیستی، کالبدی و اقتصادی را بر این منطقه وارد آورد. با توجه به وضعیت موجود و روند پیش‌روی در منطقه شهری کردکوی، پیشنهادهای زیر به منزله راه‌حل‌های جلوگیری از توسعه فضایی پراکنده شهر در اراضی کشاورزی و جنگلی مطرح می‌شود.

منابع

- صدر موسوی، میرستار؛ اکبر رحیمی (۱۳۹۱). تحلیلی بر توسعه کالبدی تبریز و تخریب اراضی کشاورزی و فضاهای سبز شهری، جغرافیا و آمایش شهری - منطقه‌ای. دوره ۲. شماره ۴. صفحات ۹۹-۱۰۹.
- عزیزی‌قلاتی، سارا؛ کاظم رنگزن، ایوب تقی‌زاده، شهرام احمدی (۱۳۹۳). مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش رگرسیون لجستیک در مدل LCM (پژوهش موردی: منطقه کوهمره‌سرخی استان فارس)، فصلنامه تحقیقات جنگل و صنوبر ایران. دوره ۲۲. شماره ۴. ۵۹۶-۵۸۵.
- علوی‌پناه، سیدکاظم؛ امیرھوشنگ احسانی؛ پرویز امیدی (۱۳۸۳). بررسی بیابان‌زایی و تغییرات اراضی پلایای دامغان با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای چندزمانه و چندطیفی، مجله بیابان. دوره ۹. شماره ۱. صفحات ۱۵۴-۱۴۳.
- طاهری، محمد؛ مهدی غلامعلی‌فرد؛ علیرضا ریاحی بختیاری؛ شاهین رحیم‌وعلی (۱۳۹۲). مدل‌سازی تغییرات پوشش سرزمین شهرستان تبریز با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و زنجیره مارکف، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. سال ۴۵. شماره ۴. صفحات ۱۲۱-۹۷.
- کاظم، امیرحسین؛ فرهاد حسینعلی؛ علی‌اصغر آل‌شیخ (۱۳۹۴). مدل‌سازی رشد شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای متوسط مقیاس و مبتنی بر روش خودکاره‌های سلولی (مطالعه موردی: شهر تهران)، فصل‌نامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی. دوره ۲۴. شماره ۹۴. صفحات ۵۸-۴۵.
- کامیاب، حمیدرضا؛ عبدالرسول سلمان‌ماهینی؛ سید محسن حسینی؛ مهدی غلامعلی‌فرد (۱۳۸۹). اتخاذ رهیافت اطلاعات محور با کاربرد روش رگرسیون لجستیک برای مدل‌سازی توسعه شهری گرگان، محیط‌شناسی. دوره ۳۶. شماره ۵۴. صفحات ۸۹-۹۶.
- کرم، امیر؛ شیلا حجه‌فروش‌نیا؛ حمیدرضا حکیمی (۱۳۸۹). مدل‌سازی فضایی گسترش شهری با استفاده از روش رگرسیون لاجستیک، (مطالعه موردی: شهر کرد). نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. دوره ۱۴. شماره ۱۷. صفحات ۶۴-۴۱.
- آرخی، صالح؛ حسن فتحی‌زاد (۱۳۹۳). ارزیابی کارایی چهار روش شبکه عصبی مصنوعی در تهیه نقشه پوشش/کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ETM⁺ (مطالعه موردی: سه منطقه دوبرج، مهران و سرابله)، فصلنامه جغرافیا و توسعه. دوره ۱۲. شماره ۳۷. صفحات ۱۴۶-۱۳۳.
- آری‌آگا، ادوارد (۱۳۷۸). روش‌های تحلیل جمعیت، ترجمه فاروق امین مظفری، تبریز: انتشارات احرار.
- احمدی‌ندوشن، مژگان؛ علیرضا سفینیان (۱۳۸۸). آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات پوشش اراضی شهر اراک، همایش ژئوماتیک ۸۸. سازمان نقشه‌برداری کشور. تهران.
- بهرام‌سلطانی، کامیاب (۱۳۷۱). مباحث و روش‌های شهرسازی، محیط‌زیست، مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری ایران.
- خاکپور، برانعلی؛ سعدالله ولایتی؛ سیدقاسم کیانزاد (۱۳۸۶). الگوی تغییر کاربری شهر بابل، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای. دوره ۱۸. شماره ۹. صفحات ۶۴-۴۶.
- خداداد، مهدی؛ مهدیه نخعی؛ هانیه امیدزاده (۱۳۹۳). نقش شهرهای کوچک در برنامه‌ریزی توسعه منطقه‌ای (مطالعه موردی: استان گلستان)، فصل‌نامه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری چشم‌انداز زاگرس. دوره ۶. شماره ۲۱. صفحات ۹۰-۷۶.
- داداش‌پور، هاشم؛ فردیس سالاریان (۱۳۹۴). تحلیل تأثیر پراکنده‌رویی بر تغییر کاربری زمین در منطقه شهری ساری، پژوهش‌های جغرافیایی برنامه‌ریزی شهری. دوره ۳. شماره ۲. صفحات ۱۶۳-۱۴۵.
- رهنما، محمدرحیم؛ مجتبی روستا (۱۳۹۲). تحلیل تغییر کاربری اراضی و چگونگی حفظ و نگهداری فضای سبز شهر جهرم در راستای توسعه پایدار، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی. سال ۲۸. شماره ۲. صفحات ۱۱۳-۱۲۶.
- سلمان‌ماهینی، عبدالرسول؛ حمیدرضا کامیاب (۱۳۸۸). سنجش از دور و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی کاربردی با نرم‌افزار ایدریسی. انتشارات مهر مهدیس. ۶۱۰ ص.
- شیعه، اسماعیل (۱۳۷۷). مقدمه‌ای بر مبانی برنامه‌ریزی شهری، انتشارات دانشگاه علم و صنعت. ۲۴۰ ص.

- FAO (1995). Planning for sustainable use of land resources: towards a new approach. Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO Land and Water Bulletin 2, Rome. 60 p.
- Houet, T. & Hubert-Moy, L (2006). Modeling and projecting land-use and land-cover changes with a Cellular Automaton in considering landscape trajectories an improvement for simulation of plausible future states. Journal of EARSeL proceedings, 5(1), 63-76.
- Kirk, M (2004). Ensuring efficient land management in peri-urban areas. World Bank Report. www.inweb18.worldbank.org/ESSD/essdext.nsf.
- Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J (2014). Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons, New York, PP. 763.
- Liu, T., & Yang, X (2014). Monitoring land changes in an urban area using satellite imagery, GIS and landscape metrics. Journal of Applied Geography, 55, 42-54.
- Pontius Jr, R. G., Cornell, J. D., & Hall, C. A. S (2001). Modeling the spatial pattern of land-use change with GEOMOD2: Application and validation for Costa Rica. Journal of Agriculture Ecosystems & Environment, 1775, 1-13.
- Pontius Jr, R. G., & Chen, H (2006). GEOMOD modeling, idrisi Andes help contents, Clark University, Massachusetts.
- Ramachandra, T. V., Bharath, H. A., Vinay, S., Joshi, N. V., Kumar, U., & Rao, K. V (2013). Modelling urban revolution in greater bangalore, India. In 30th Annual In-House Symposium on Space Science and Technology, ISRO-IISc Space Technology Cell, Indian Institute of Science, Bangalore, 7-8 November 2013.
- Salman Mahiny, A., & Turner, B. J (2003). Modeling past vegetation change through remote sensing and GIS: a comparison of neural networks and logistic regression methods. School of Resources, Environment and Society, the Australian National University, Canberra 0200, Australia.
- 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 1-13.
- Verburg, P., Schot, P., Dijst, M., & Veldkamp, A (2004). Land use change modelling: current practice and research priorities. GeoJournal, 61(4), 309-324.
- گلدوی، سمیه؛ مرجان محمدزاده؛ عبدالرسول سلمان ماهینی؛ علی نجفی نژاد (۱۳۹۲). کاربرد مدل Geomod در مدل سازی تغییرات پوشش گیاهی و کاربری زمین، محیط زیست و توسعه، سال چهارم، شماره ۸، صفحات ۲۲-۱۳.
- گلدوی، سمیه؛ مرجان محمدزاده؛ عبدالرسول سلمان ماهینی؛ علی نجفی نژاد (۱۳۹۴). پیش بینی الگوی رشد شهری با به کارگیری مدل رگرسیون لجستیک در منطقه گرگان، مجله آمایش سرزمین، دوره هفتم، شماره اول، صفحات ۹۵-۱۱۷.
- محمودزاده، حسن؛ قهرمان خوشروی (۱۳۹۴). کاربرد رگرسیون لجستیک در مدل سازی توسعه شهری، مطالعه موردی: منطقه شهری بناب، فصل نامه مطالعات شهری، دوره ۴، شماره ۱۴، صفحات ۴۶-۳۱.
- مرکز بهداشت شهرستان گرگان (۱۳۹۴). نتایج سرشماری سال ۱۳۹۴ واحد آمار مرکز بهداشت گرگان.
- Briassoulis, H (2009). Factors influencing land-use and land-cover change. Land cover, land use and the global change. Journal of encyclopedia of life support systems (EOLSS), 1, 126-146.
- Brown, S., Hall, M., Andrasko, K., Ruiz, F., Marzoli, W., Guerrero, G., Masera, O., Dushku, A., & DeJong, B (2007). Baselines for land-use change in the tropics: application to avoided deforestation projects. Journal of Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 12(6), 1001-1022.
- Clark, W.A., & Hosking, P. L (1986). Statistical Methods for Geographers (Chapter 13). John Wiley & Sons publication, New York. 528 p.
- Costanza, R., & Ruth, M (1998). Using dynamic modeling to scope environmental problems and build consensus. Environmental management, 22(2), 183-195.
- Eastman, R. J (1995). Idrisi for windows (version 2) users Guide. Clark University, New York. 350P.
- Echeverria, C., Coomes, D. A., Hall, M., & Newton, A. C (2008). Spatially explicit models to analyze forest loss and fragmentation between 1312 and 2020 in southern Chile. Ecological Modeling, 212: 439-449.
- Estoque, R. C (2013). Spatial Analysis of Ecosystem Service Value Changes in Baguio City, the Philippines, Based on Land Use/Cover Changes. PhD diss., Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, Japan.
- Fang, S., Gertner, G. Z., Sun, Z., & Anderson, A. A (2005). The impact of interactions in spatial simulation of the dynamics of urban sprawl. Landscape and urban planning, 73(4), 294-306.