

پیش‌بینی الگوی رشد شهری با به‌کارگیری مدل رگرسیون لجستیک در منطقه گرگان

سمیه گلدوی^{۱*}، مرجان محمدزاده^۲، عبدالرسول سلمان ماهینی^۳، علی نجفی‌نژاد^۴

۱. دانشجوی دکتری آمایش محیط زیست، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، ایران
۲. استادیار، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، ایران
۳. دانشیار، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، ایران
۴. دانشیار، دانشکده آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۸/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۰۲)

چکیده

مدل‌سازی الگوی رشد شهری فنی مهم برای درک فرایندهای پیچیده رشد شهری است. در این مطالعه، مدل رگرسیون لجستیک جهت پیش‌بینی الگوی رشد شهری در آینده به‌کار گرفته شد. به این منظور، تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۸۸، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۷ جهت تهیه نقشه‌های کاربری زمین به‌کار گرفته شد. سپس، تغییرات ایجادشده در گستره شهری در فاصله زمانی ۱۹۸۸-۲۰۰۷ شناسایی و مدل‌سازی تغییرات مناطق شهری و پیش‌بینی الگوی رشد شهری در آینده با به‌کارگیری مدل رگرسیون لجستیک انجام گرفت. نتایج اجرای مدل نشان داد گستره مناطق شهری در دوره زمانی مورد مطالعه روند افزایشی داشته است. اعتبارسنجی نتایج مدل با محاسبه معیارهای R^2 و Pseudo-ROC انجام گرفت. مقدار این معیارها به ترتیب، بیش از ۰/۲۷ و ۰/۸۳ به دست آمد که مقادیری مطلوب‌اند. در مرحله بعد، الگوی رشد شهری برای سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۵ پیش‌بینی شد. مطابق با نتایج، اقدامات مناسب برای کنترل تغییرات کاربری زمین به‌ویژه رشد شهرها به منظور حفظ محیط زیست و تعادل اکولوژیکی منطقه نیاز است. نتایج مطالعه می‌تواند به مدیران و تصمیم‌گیران جهت نظارت و جلوگیری از رشد بدون برنامه‌ریزی مناطق شهری کمک کند. نقشه‌های خروجی مدل را می‌توان برای مدیریت و کنترل الگوی رشد مناطق شهری در آینده به‌کار گرفت.

کلیدواژگان

پیش‌بینی آینده، رشد شهری، رگرسیون لجستیک، گرگان، مدل‌سازی.

* نویسنده مسئول، رایانامه: s.galdavi@gau.ac.ir

بیان مسئله

امروزه در کنار کاهش مداوم اراضی جنگلی و مراتع، گستره شهرها در سطح جهان افزایش یافته است، که یکی از مهم‌ترین مشکلات در طراحی مکانی در قرن ۲۱ است (Pauchard et al., 2006, p.1; Batisani & Yarnal, 2009, p.1). این فرایند طی ۵۰ سال گذشته دستخوش تغییراتی عظیم در سراسر جهان شده است (Tang et al., 2005, p.2; Lim et al., 2006, p.1). گسترش شهرها حتی هنگامی که شهر به عنوان کاربری زمین چیره در منطقه نباشد، آثاری عمده بر محیط زیست بر جای می‌گذارد (Li et al., 2010, p.2). این فرایند باعث افزایش روند تغییرات غیراصولی در پوشش گیاهی و کاربری زمین در مناطق جنگلی، شهری و کشاورزی شده است (verborg et al., 1999, p.2; Cheng & Masser, 2003, p.2). رشد شهری و تغییرات الگوهای کاربری زمین باعث ایجاد آثار گسترده اجتماعی و محیط‌زیستی می‌شود. برخی از این آثار شامل کاهش فضاها، افزایش تجمع وسایل نقلیه، کاهش اراضی کشاورزی با توان تولید بالا، اثر بر زهکش‌های طبیعی و کاهش کیفیت آب (Tang et al., 2005, p.2) کاهش تنوع زیستی (Pauchard et al., 2006, p.2)، قطعه‌قطعه‌شدگی اراضی و در نهایت، برهم خوردن تعادل اکوسیستم (جوکار ارسنجانی و همکاران، ۲۰۱۳، ص ۱؛ Li et al., 2010, p.2) است.

مناطق طبیعی و روستایی در حاشیه شهرها، به عنوان عنصر اصلی رشد شهری به‌کار گرفته می‌شود، جایی که رشد کاربری‌ها بی‌توجه به توان سرزمین باعث تحلیل زمین‌های مرغوب و از بین رفتن اکوسیستم‌های حساس می‌شود و محیط‌های طبیعی و مصنوعی را دچار بحران می‌کند (پورا احمد و همکاران، ۱۳۸۲، ص ۲؛ Pauchard et al., 2006, p.2).

نرخ سریع رشد شهری موجب تغییراتی وسیع در الگوی کاربری اراضی پیرامون شهرها شده است. آثار ناشی از رشد شهرنشینی در کشورهای در حال توسعه و کشورهای توسعه‌یافته محسوس بوده است. با این حال، در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران، این نرخ رشد سریع‌تر است. در نتیجه، به تغییراتی وسیع در کاربری اراضی منجر شده است. لذا به منظور برنامه‌ریزی و کنترل زمین و تحولات آن، باید عوامل مؤثر بر آن را شناسایی و ارزشیابی کرد

(خاکپور و همکاران، ۱۳۸۶، ص ۲). درکی جامع از نیروهای مؤثر بر این تغییرات، برنامه‌ریزی و کنترل زمین و تحولات آن برای تصمیم‌گیری‌های صحیح در آینده، برای طراحی کاربری زمین مورد نیاز است (خاکپور و همکاران، ۱۳۸۶، ص ۲؛ Echeverria et al., 2008, p.2).

توسعه روزافزون جامعه شهری، متأثر از رشد بی‌رویه جمعیت و مهاجرت، به ساخت‌وسازهای بدون برنامه‌ریزی و گسترش مهارنشده شهرها منجر شده است و تغییرات زیادی را در ساخت فضایی آن‌ها به وجود آورده است که لزوم هدایت آگاهانه و طراحی فضای زیست مناسب برای شهرها را به دنبال داشته است (خاکپور و همکاران، ۱۳۸۶، ص ۳). این موضوع موجب شده است به تجزیه و تحلیل تغییرات کاربری زمین توجه شود (جوکار ارسنجان‌ی و همکاران، ۲۰۱۳، ص ۱). در این راستا، مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین می‌تواند اطلاعات مفیدی درباره تغییرات کاربری زمین در طول زمان و همچنین، معیارهای مؤثر بر آن فراهم و در تصمیم‌گیری درباره نحوه استفاده از اراضی کمک کند (گلدوی و همکاران، ۱۳۹۳، ص ۲).

مبانی نظری

تحولات اجتماعی جوامع انسانی عصر ما، موجب تغییر نقش و کارکرد سیستم شهری می‌شود که بازتاب فضایی آن در شهر نمایان است (خاکپور و همکاران، ۱۳۸۶، ص ۳). در طی دهه‌های گذشته، رشد شهری در ایران به دلیل مهاجرت توده وسیعی از جمعیت به شهرها، روندی شتابنده داشته است. با توجه به جمعیت شهری کشور در سال ۱۳۸۵، میزان شهرنشینی در این سال برابر ۶۸٫۶۶ درصد بوده است که در مقایسه با سال‌های ۱۳۶۵ و ۱۳۷۵، روندی افزایشی را نشان می‌دهد. بر اساس آمار سازمان ملل در سال ۲۰۱۱، درصد جمعیت ساکن در مناطق شهری ایران در سال ۲۰۲۰ به ۷۰٫۶ درصد و در سال ۲۰۵۰ به ۷۸٫۲ درصد خواهد رسید که نشان‌دهنده ادامه این روند در سال‌های آتی است. به این ترتیب، علاوه بر توسعه شهرهای جدید، اکثر شهرهای موجود نیز دستخوش رشد فیزیکی سریع خواهند شد (ماجدی و همکاران، ۱۳۹۱، ص ۲) که گرگان نیز از این وضعیت مستثنا نبوده است. بنابراین، تحلیل وضعیت رشد شهری طی زمان و پیش‌بینی شرایط آینده شهرها در طراحی مطلوب فضاهای شهری مهم است.

مدل رگرسیون لجستیک از جمله مدل‌هایی است که در مطالعات بسیاری برای مدل‌سازی رشد شهری به کار گرفته شده است. برای نمونه، اشنايدر و پانتیوس (۲۰۰۱) تغییرات کاربری زمین در آبخیز ایپسوویچ^۱ در ایالت ماساچوست را در بازه زمانی ۱۹۷۱-۱۹۹۱ مطالعه کرده‌اند و روش رگرسیون لجستیک را جهت مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین به کار گرفته‌اند. آن‌ها متغیرهای فیزیکی و اجتماعی برای فرایند مدل‌سازی به کار گرفته‌اند و شرایط آینده اراضی را پیش‌بینی کردند. نتایج کاهش اراضی جنگلی و توسعه مناطق مسکونی جدید در منطقه مطالعاتی را طی زمان نشان داد.

چنگ و ماسر (۲۰۰۳) روش رگرسیون لجستیک را برای مدل‌سازی الگوهای رشد شهری در شهر ووهان^۲ در چین به کار گرفتند. نتایج این مطالعه نشان داد نزدیکی به جاده‌ها و مناطق مسکونی موجود، نقشی مهم در گسترش شهرها دارد. آن‌ها در این مطالعه بیان کردند که رشد شهرها نقشی مهم در کاهش اراضی کشاورزی دارد. همچنین، لین و همکاران (۲۰۰۷) تغییرات کاربری زمین را با روش رگرسیون لجستیک در یک حوضه آبخیز در شمال تایوان مدل‌سازی کردند. مقادیر ROC برای مدل‌سازی تغییرات هر یک از کاربری‌های کشاورزی، شهر، اراضی جنگلی و مرتعی به ترتیب، ۰/۷۳۵، ۰/۹۸۳، ۰/۸۸ و ۰/۷۵۷ به دست آمد. این مقادیر نشان داد مدل رگرسیون لجستیک توانایی مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین را در منطقه مطالعاتی دارد.

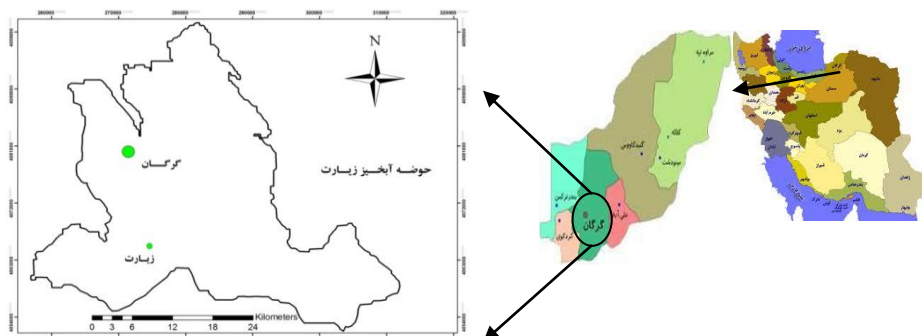
میلینگتون و همکاران (۲۰۰۷) نیز در مطالعه‌ای فنون رگرسیونی را برای مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین در یک آبخیز مدیترانه‌ای به کار گرفتند. آن‌ها تصاویر ماهواره‌ای را جهت تهیه نقشه‌های کاربری زمین و روش مقایسه پس از طبقه‌بندی را برای آشکارسازی تغییرات، و سپس، روش‌های رگرسیونی را برای مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین به کار گرفتند. نتایج نشان داد مدل رگرسیون لجستیک به خوبی قادر به تعیین تغییرات ایجادشده در کاربری زمین است.

1. Ipswich
2. Wuhan

در این مطالعه تغییرات مناطق شهری در منطقه گرگان در دوره زمانی ۲۰۰۷-۱۹۸۸ بررسی شد. سپس، مدل‌سازی این تغییرات با روش رگرسیون لجستیک انجام گرفت. این مدل برای مدل‌سازی توسعه شهری در دوره زمانی ۱۹۹۸-۱۹۸۸ و ۲۰۰۷-۱۹۹۸ به‌کار گرفته شد. سپس، الگوی رشد شهری منطقه در آینده با این مدل پیش‌بینی شد. مدل‌سازی و پیش‌بینی الگوی رشد شهری امکان کنترل فرایندهای رشد شهری در آینده را فراهم و بالطبع مدیریت منطقه را امکان‌پذیر می‌کند.

محدوده مورد مطالعه

این مطالعه در منطقه گرگان در استان گلستان انجام گرفته است که در محدوده جغرافیایی $36^{\circ} 32'$ تا $37^{\circ} 2'$ عرض شمالی و $54^{\circ} 12'$ تا $54^{\circ} 58'$ طول شرقی قرار دارد. کاربری‌های اراضی موجود در این منطقه شامل مناطق مسکونی، اراضی زراعی، مرتعی، جنگلی، منابع آبی و اراضی بایرند. مهم‌ترین منطقه مسکونی در محدوده مطالعاتی شهر گرگان است که از شهرهای بخش شمالی دامنه ارتفاعات البرز ایران است. از آبادی‌های مهم منطقه می‌توان به روستای زیارت در جنوب شهر گرگان اشاره کرد. هدف از انتخاب این منطقه برای مطالعه، تغییرات شدید کاربری زمین ایجادشده در بخش‌هایی از منطقه در سال‌های گذشته است. بخش‌هایی از منطقه از جنبه توریسم اهمیت دارند که باعث انجام‌دادن فرایندهای ساخت‌وساز گسترده و تغییرات کاربری زمین در این منطقه شده است. همچنین، تبدیل از اراضی جنگلی به کاربری‌های کشاورزی و مسکونی، و نیز تبدیل از اراضی کشاورزی به مناطق مسکونی و تأسیسات انسان‌ساخت در سال‌های اخیر در این منطقه مشاهده شده است که این عوامل در انتخاب این منطقه جهت مدل‌سازی تغییرات و پیش‌بینی الگوی رشد شهری نقش داشته است. شکل ۱ تصویری از منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی

مواد و روش‌ها

داده‌های به کار گرفته شده

امروزه فعالیت‌های انسانی اصلی‌ترین نیروی اثرگذار بر تغییرات کاربری زمین است، لذا ترکیب عوامل انسانی در کنار عوامل بیوفیزیکی در استخراج الگوهای تغییرات کاربری زمین، بسیار بااهمیت است (گلدوی و همکاران، ۱۳۹۳، ص ۶). بر این اساس، در این مطالعه متغیرهای اقتصادی-اجتماعی و بیوفیزیکی برای اجرای مدل‌ها و استخراج الگوهای تغییرات کاربری‌های اراضی طی بازه زمانی مورد نظر به کار گرفته شده است. این مطالعه در بازه زمانی ۲۰ ساله، از سال ۱۹۸۸ تا سال ۲۰۰۷ انجام گرفته است. برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی ابتدا نیاز به تعیین کاربری‌های موجود در منطقه و سپس آشکارسازی تغییرات ایجادشده در اراضی منطقه در بازه زمانی مورد نظر است. برای انجام دادن این کار، تصاویر ماهواره‌ای مربوط به سه سال ۱۹۸۸، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۷ به کار گرفته شد و فرایندهای آشکارسازی تغییرات و مدل‌سازی در دو دوره زمانی ۱۹۸۸-۱۹۹۸ و ۱۹۹۸-۲۰۰۷ انجام گرفت. این تصاویر شامل تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست مربوط به سال ۱۹۸۸ و سال ۱۹۹۸، و تصاویر سنجنده LISSIII ماهواره IRS مربوط به سال ۲۰۰۷ است. همچنین، نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ سازمان جغرافیایی برای تهیه لایه مدل رقومی

ارتفاع^۱ (DEM) منطقه به‌کار گرفته شد. لایه‌های شیب و جهت شیب منطقه مورد مطالعه با به‌کارگیری لایه مدل رقومی ارتفاع تهیه شدند. لایه‌های حمل‌ونقل که به صورت لایه فاصله از جاده‌های اصلی در مطالعه به‌کار گرفته شد، از نقشه‌های ۱/۲۵۰۰۰ تهیه‌شده توسط سازمان جغرافیایی کشور، به‌دست آمد. جدول ۱ داده‌های به‌کارگرفته‌شده در مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۱. داده‌های به‌کارگرفته‌شده در مطالعه

داده‌ها	توصیف داده‌ها	تاریخ	Path/Row
تصاویر ماهواره‌ای سال ۱۹۸۸	مربوط به سنجنده TM ماهواره لندست	۱۹۸۸/۹/۵	۱۶۲/۳۵
تصاویر ماهواره‌ای سال ۱۹۹۸	مربوط به سنجنده TM ماهواره لندست	۱۹۹۸/۶/۱۲	۱۶۳/۳۴
تصاویر ماهواره‌ای سال ۲۰۰۷	مربوط به سنجنده IRS ماهواره LissIII	۲۰۰۷/۱۰/۱۵	۷۲/۴۴
نقشه‌های ۱/۲۵۰۰۰	تهیه‌شده توسط سازمان جغرافیایی کشور	۱۳۸۲	-

طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و آشکارسازی تغییرات کاربری زمین

ابتدا تصاویر ماهواره‌ای از لحاظ هندسی و رادیومتری بررسی شد و پس از اصلاحات مورد نیاز، پردازش و طبقه‌بندی تصاویر با الگوریتم حداکثر احتمال^۲ در محیط نرم‌افزار ایدرسی انجام گرفت. آشکارسازی تغییرات کاربری زمین، فرایند شناسایی تغییرات ایجادشده در کاربری زمین در یک فاصله زمانی مشخص است (Galdavi et al., 2013, p.2). بعد از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و تهیه کلاس‌های کاربری زمین، عملیات بررسی و آشکارسازی تغییرات در مناطق شهری در بازه زمانی مورد مطالعه انجام گرفت. روش‌های گوناگونی برای آشکارسازی تغییرات وجود دارد. یکی از این روش‌ها، روش «مقایسه پس از طبقه‌بندی»^۳ است. در این مطالعه این روش برای آشکارسازی تغییرات کاربری زمین به‌کار گرفته شد. در این روش ابتدا تصاویر ماهواره‌ای مربوط به چند سال مختلف طبقه‌بندی و انواع کاربری موجود در منطقه در آن‌ها تعیین می‌شود. در مرحله بعد فرایند آشکارسازی تغییرات کاربری زمین با مقایسه نقشه‌های کاربری زمین تهیه‌شده، انجام

1. Digital Elevation Model
2. Maximum Likelihood Classifier Algorithm
3. Post-Classification Comparison

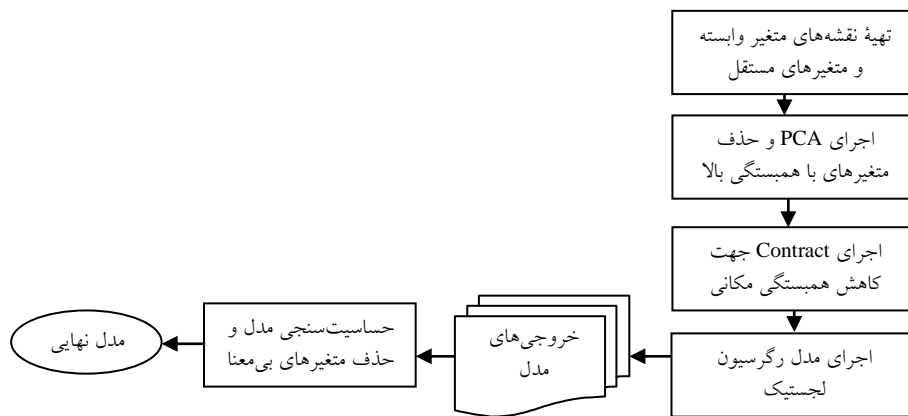
می‌گیرد. در این فرایند تصاویر مورد نظر با هم مقایسه، و تغییرات ایجاد شده در هر پیکسل تعیین می‌شود (Galdavi et al., 2013, p.2). در مطالعه حاضر نقشه‌های کاربری زمین برای سال‌های ۱۹۸۸، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۷ با به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای یادشده تهیه شد. سپس، این نقشه‌ها برای اجرای عملیات آشکارسازی تغییرات در دو بازه زمانی ۱۹۸۸-۱۹۹۸ و ۲۰۰۷-۱۹۹۸ با ماژول Crosstab در نرم‌افزار ایدرسی به‌کارگرفته شدند. شناسایی متغیرهای مؤثر بر ایجاد تغییرات پیش‌نیازی اصلی برای توسعه مدل‌های کاربری زمین است (Wassenaar et al., 2007, p.2). بنابراین، پس از آشکارسازی تغییرات، متغیرهای مؤثر بر ایجاد تغییرات در هر یک از کاربری‌ها به‌طور جداگانه مطالعه شد. به‌طور کلی، تغییرات کاربری زمین به‌عنوان نتیجه‌ای از آثار متقابل بین عوامل اقتصادی-اجتماعی و محیط زیست است، بنابراین، هنگام بررسی عوامل مؤثر بر ایجاد تغییرات، در نظر گرفتن این عوامل در کنار هم برای رسیدن به نتیجه‌ای مطلوب ضروری است. متغیرهای مؤثر بر تغییرات این کاربری طی بازه زمانی مورد مطالعه شامل لایه‌های شیب، جهت شیب، ارتفاع و لایه‌های فاصله از اراضی کشاورزی، فاصله از اراضی مرتعی، فاصله از اراضی جنگلی، فاصله از جاده‌ها، فاصله از لبه شهر و لایه‌های X,Y Location هستند.

مدل رگرسیون لجستیک

رگرسیون لجستیک، یک مدل برآورد تجربی است که ارتباط بین مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل و یک متغیر وابسته طبقه‌بندی‌شده را ارزیابی می‌کند (Salman Mahiny & Turner, 2003, p.3). از قابلیت‌های این مدل می‌توان به توانایی آن در به‌کارگیری متغیرهای مستقل زیاد در اجرای آن اشاره کرد. متغیر وابسته در این مدل ماهیت باینری (۰ و ۱) دارد و متغیرهای مستقل می‌توانند به‌طور پیوسته، یا بولینی باشند. فرض پایه در این روش این است که متغیر وابسته مقدار ۱ را به‌دست می‌آورد. عدد ۱ نشان‌دهنده وقوع یک رویداد، و ارزش صفر نشان‌دهنده عدم وقوع رویداد است. پس از آماده‌سازی متغیرها جهت انجام دادن فرایند مدل‌سازی، عملیات کانتراکت^۱ با نرم‌افزار

1. Contract

ایدیرسی برای کاهش آثار همبستگی مکانی بر نتایج مدل‌سازی، انجام گرفت. برای مدل‌سازی تغییرات شهری، از آنجا که تغییرات در هر دو بازه زمانی مورد مطالعه افزایش یافت و رشد مناطق مسکونی را نشان داد، متغیر وابسته، نقشه رشد شهری حاصل از اجرای عملیات کراس‌تب^۱ است. یک بخش مهم و ضروری در اجرای مدل‌ها، بررسی صحت مدل اجرا شده است. بررسی صحت مدل‌سازی در روش رگرسیون لجستیک از طریق روش‌های آماری مختلف انجام می‌گیرد. در این مطالعه، برای بررسی میزان صحت مدل رگرسیون لجستیک معیار ROC محاسبه شد. همچنین، مقدار $Pseudo-R^2$ نیز جهت بررسی صحت مدل بررسی شد. محاسبات مربوط به این معیارها در زمان اجرای مدل توسط نرم‌افزار ایدرسی انجام می‌گیرد. ROC معیاری کمی برای اعتبارسنجی مدل‌های تغییر کاربری زمین است (Pontios & Schneider, 2001, p.4). این معیار در گستره ۰-۱ قرار دارد و مقدار آن، توانایی مدل را در تشخیص محل‌های درست نشان می‌دهد (Zeng et al., 2008, p.5). مقادیر بیشتر از ROC نشان می‌دهد مدل اجرا شده توانایی خوبی در مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین داشته است. شکل ۲ مراحل اجرای مدل رگرسیون لجستیک را نشان می‌دهد.



شکل ۲. مراحل اجرای مدل رگرسیون لجستیک

پیش‌بینی الگوی رشد شهری در آینده

برای پیش‌بینی الگوی رشد شهری در آینده، ابتدا باید تصویر پیش‌بینی احتمال رشد شهری منطقه در سال ۲۰۰۷، به‌طور نزولی با ماژول RANK مرتب شود. اجرای این عمل باعث می‌شود پیکسل‌ها بر اساس احتمال تغییرشان به‌طور نزولی، قرار گیرند. در این حالت بالاترین احتمال در بالای تصویر قرار می‌گیرد. سپس، با به‌کارگیری میزان تغییر مساحت کاربری مورد نظر در دوره زمانی ۲۰۰۷-۱۹۹۸ و با توجه به اندازه پیکسل‌های تصاویر که ۲۴ متر است، تعداد پیکسل‌های تغییر یافته در این دوره محاسبه می‌شود و برای تهیه تصاویر نشان‌دهنده تغییرات شهری در فاصله زمانی ۲۰۰۷-۲۰۱۶ و ۲۰۰۷-۲۰۲۵ بر مبنای تصویر احتمال مرتب‌شده به‌کار گرفته می‌شود. سپس، مدل رگرسیون لجستیک برای هر یک از دوره‌های زمانی اجرا و نقشه‌های پیش‌بینی احتمال رشد شهری تهیه شد.

یافته‌های پژوهش

در این مطالعه الگوی رشد شهری با به‌کارگیری رگرسیون لجستیک در بازه زمانی ۲۰ ساله در منطقه گرگان اجرا و شرایط آینده اراضی منطقه برای سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۵ تعیین شد. به این منظور، ابتدا نقشه‌های کاربری زمین برای سال‌های ۱۹۸۸، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۷ تهیه و جهت آشکارسازی تغییرات در منطقه مطالعاتی به‌کار گرفته شد. سپس، نقشه‌های متغیرهای مستقل و وابسته تهیه و برای مدل‌سازی الگوی رشد شهری در دوره زمانی ۱۹۹۸-۱۹۸۸ و ۲۰۰۷-۱۹۹۸ به‌کار گرفته شد. در مرحله بعد، الگوی رشد شهری با به‌کارگیری تعداد پیکسل‌های تغییر یافته در دوره زمانی ۲۰۰۷-۱۹۹۸ و نقشه پیش‌بینی‌شده سال ۲۰۰۷ در فاصله زمانی ۲۰۱۶-۲۰۰۷ و ۲۰۲۵-۲۰۰۷ تهیه شد. نتایج این مطالعه به شرح زیر است:

بررسی صحت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و آشکارسازی تغییرات

طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با تهیه نشان‌های طیفی مناسب از پدیده‌های موجود در منطقه با الگوریتم حداکثر احتمال انجام گرفت. بررسی درستی طبقه‌بندی با روش نقاط کنترل زمینی انجام

گرفت. در این روش برای بررسی درستی طبقه‌بندی، تصویر طبقه‌بندی‌شده با یک تصویر حاوی نقاط کنترل زمینی مقایسه می‌شود. این روش برای هر یک از نقشه‌های کاربری زمین انجام گرفت و مقادیر کاپا و درستی کل به دست آمد. مقدار معیار کاپا و درستی کل در گستره ۱-۰ است. هر چه این عدد به یک نزدیک‌تر باشد، نقشه طبقه‌بندی‌شده صحت بالاتری دارد. نتایج این بررسی در جدول ۲ بیان شده است.

جدول ۲. نتایج بررسی صحت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

نقشه‌های کاربری زمین	معیار کاپا	معیار درستی کل
نقشه کاربری زمین ۱۹۸۸	۰/۹۱۴۰	۰/۹۳۶۰
نقشه کاربری زمین ۱۹۹۸	۰/۹۶۰۲	۰/۹۷۱۴
نقشه کاربری زمین ۲۰۰۷	۰/۹۳۰۴	۰/۹۴۷۰

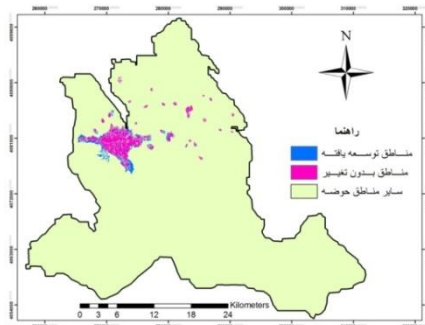
بعد از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و ارزیابی درستی طبقه‌بندی آن‌ها، عملیات آشکارسازی تغییرات به روش پس از طبقه‌بندی (Post-Classification) در محیط نرم‌افزار ایدرسی انجام گرفت. این فرایند در دوره‌های زمانی ۱۹۸۸-۱۹۹۸ و ۱۹۹۸-۲۰۰۷ به‌طور جداگانه انجام گرفت و تغییرات ایجادشده در مناطق شهری در هر دو دوره مطالعه شد. نتایج آشکارسازی تغییرات نشان داد در بازه زمانی مورد مطالعه تغییرات چشمگیری در کاربری شهر ایجاد شده است. جدول ۳ نتایج آشکارسازی تغییرات را نشان می‌دهد.

جدول ۳. نتایج آشکارسازی تغییرات در منطقه مطالعاتی

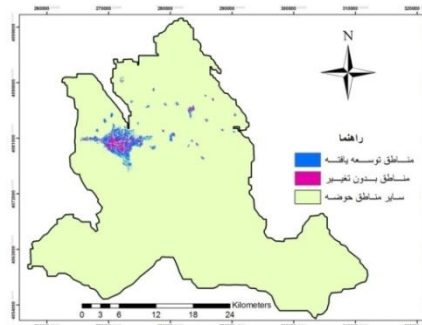
نام کلاس	مساحت در سال ۱۹۸۸ (ha)		مساحت در سال ۱۹۹۸ (ha)		مساحت در سال ۲۰۰۷ (ha)	
	افزایش	کاهش	افزایش	کاهش	افزایش	کاهش
شهر	۶۵۱/۶	۲۳۲۲/۵	۱۶۸۹	-	۳۳۳۶/۱	۱۰۱۳/۶

بنا بر نتایج آشکارسازی تغییرات، در این منطقه در بازه زمانی مورد نظر تغییرات در کاربری شهری در جهت رشد و گسترش مناطق مسکونی بود. نتایج نشان داد در دوره زمانی ۱۹۸۸-۱۹۹۸ حدود ۲۳۲۲ هکتار به مناطق مسکونی افزوده شده است. این میزان نشان‌دهنده نرخ بالای رشد در

منطقه است. میزان افزایش مناطق شهری در دوره زمانی ۱۹۹۸-۲۰۰۷ حدوداً برابر با ۱۰۱۳ هکتار است که این مقدار نیز نرخ بالای رشد در منطقه را تأیید می‌کند. شکل‌های ۳ و ۴، نتایج آشکارسازی تغییرات برای کاربری شهر را نشان می‌دهد.



شکل ۴. نقشه آشکارسازی تغییرات کاربری شهر در دوره ۱۹۹۸-۲۰۰۷



شکل ۳. نقشه آشکارسازی تغییرات کاربری شهر در دوره ۱۹۸۸-۱۹۹۸

پس از انجام دادن آشکارسازی تغییرات و تعیین کاربری‌های مورد نظر برای مدل‌سازی، متغیرهای مؤثر بر ایجاد تغییرات شناسایی شد. در مرحله بعد وجود هم‌راستایی چندگانه بین متغیرها آزمون شد.

نتایج اجرای مدل رگرسیون لجستیک

اجرای مدل رگرسیون لجستیک برای کاربری شهر در دوره زمانی ۱۹۸۸-۱۹۹۸ و ۱۹۹۸-۲۰۰۷ با متغیرهای یادشده، به ایجاد معادله‌هایی منجر شد که در جدول ۴ بیان شده‌اند:

جدول ۴. معادله‌های حاصل از اجرای مدل رگرسیون لجستیک

دوره زمانی	معادله
۱۹۸۸-۱۹۹۸	$\text{Logit}(Y) = 239,769 - 0,000826 X_1 - 0,000756 X_2 - 0,046676 X_3 - 0,000057 X_4 - 0,002192 X_5$ $+ 0,000104 X_6 - 0,000857 X_7 + 0,32849 X_8 - 0,000044 X_9 - 0,000055 X_{10}$
۱۹۹۸-۲۰۰۷	$\text{Logit}(Y) = 1048,73 + 0,46883 X_1 - 0,000096 X_2 - 0,37218 X_3 - 0,000049 X_4 - 0,003108 X_5$ $+ 0,000155 X_6 + 0,001270 X_7 + 0,11768 X_8 - 0,000031 X_9 - 0,000255 X_{10}$

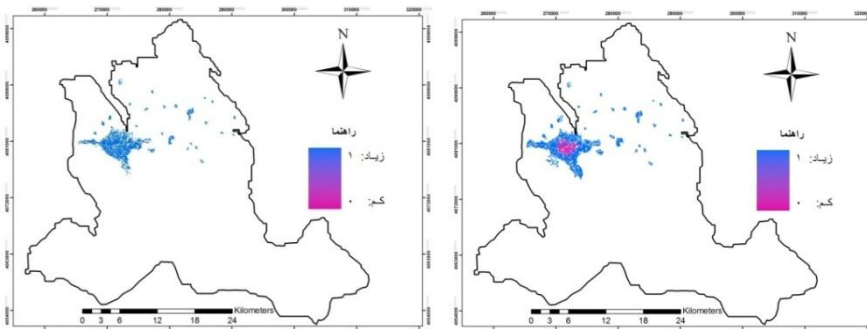
این معادله‌ها نشان می‌دهد هر یک از متغیرها با یک ضریب مشخص که به عنوان میزان اثر متغیر بر رشد شهر است، در معادله حضور دارند. ضرایب مثبت نشان‌دهنده ارتباط مستقیم بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته، و ضرایب منفی نشان‌دهنده ارتباط معکوس بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته‌اند. جدول ۵ ضرایب هر یک از متغیرها را در مدل رگرسیون لجستیک برای رشد شهری نشان می‌دهد.

جدول ۵. ضرایب متغیرهای مستقل در مدل‌سازی رشد شهر در دوره‌های زمانی ۱۹۸۸-۱۹۹۸ و ۱۹۹۸-۲۰۰۷

متغیر	نام متغیر	ضرایب متغیرها	
		دوره ۱۹۸۸-۱۹۹۸	دوره ۱۹۹۸-۲۰۰۷
X ₁	شیب	-۰,۰۰۰۸۲۶	+۰,۰۴۶۸۸۳
X ₂	جهت شیب	-۰,۰۰۰۷۵۶	-۰,۰۰۰۰۹۶
X ₃	ارتفاع	-۰,۰۴۶۶۷۶	-۰,۰۳۷۲۱۸
X ₄	فاصله از اراضی مرتعی	-۰,۰۰۰۰۵۷	-۰,۰۰۰۰۴۹
X ₅	فاصله از اراضی کشاورزی	-۰,۰۰۲۱۹۲	-۰,۰۰۳۱۰۸
X ₆	فاصله از اراضی جنگلی	+۰,۰۰۰۱۰۴	+۰,۰۰۰۱۵۵
X ₇	فاصله از جاده‌ها	-۰,۰۰۰۸۵۷	+۰,۰۰۱۲۷۰
X ₈	فاصله از لبه شهر	+۰,۰۳۲۸۴۹	+۰,۰۱۱۷۶۸
X ₉	X Location	-۰,۰۰۰۰۴۴	-۰,۰۰۰۰۳۱
X ₁₀	Y Location	-۰,۰۰۰۰۵۵	-۰,۰۰۰۰۲۵۵

نتایج اجرای مدل رگرسیون لجستیک برای رشد شهری نشان می‌دهد در دوره زمانی ۱۹۹۸-۱۹۸۸ متغیرهای فاصله از لبه شهر و فاصله از اراضی جنگلی اثر مثبت بر رشد شهری دارند و متغیرهای ارتفاع، فاصله از اراضی کشاورزی، فاصله از جاده‌ها، شیب، جهت شیب، فاصله از اراضی مرتعی، Y Location و X Location اثر منفی بر رشد شهر دارند. میزان ارزش Pseudo-R² و ROC برای مدل به ترتیب، ۰,۲۷۹۵ و ۰,۸۳۶۳ به دست آمد. ارزش مطلوب برای Pseudo-R²، بین ۰,۲ تا ۰,۴ است که به این ترتیب این میزان، یک مقدار قابل قبول است. ضمن اینکه میزان ROC نیز به دلیل نزدیک بودن به عدد ۱، قابل پذیرش است و نشان می‌دهد مدل توانایی زیادی برای مدل‌سازی رشد شهری در منطقه مورد مطالعه دارد. همچنین، نتایج اجرای مدل رگرسیون لجستیک

در دوره زمانی ۲۰۰۷-۱۹۹۸ نشان داد متغیرهای شیب، فاصله از لبه شهر، فاصله از جاده‌ها و فاصله از اراضی جنگلی اثر مثبت بر رشد شهری و متغیرهای ارتفاع، فاصله از اراضی کشاورزی، Y Location، جهت شیب، فاصله از اراضی مرتعی و X Location، اثر منفی بر کاهش اراضی مرتعی و کشاورزی دارند. میزان ارزش Pseudo- R^2 و ROC برای مدل به ترتیب، ۰/۲۷۳۰ و ۰/۸۳۰۶ به دست آمد که مقادیری مطلوبند. علاوه بر معادله یادشده، یک تصویر احتمال پیش‌بینی رشد نیز توسط مدل ایجاد می‌شود. این تصویر میزان احتمال تغییر مناطق مختلف را بیان می‌کند و برای استخراج مناطقی که در آینده به کاربری شهری تبدیل می‌شوند، به کار گرفته می‌شود. شکل‌های ۵ و ۶ تصاویر احتمال پیش‌بینی رشد شهری در منطقه مطالعاتی حاصل از اجرای مدل رگرسیون لجستیک در دوره زمانی مورد نظر را نشان می‌دهد.



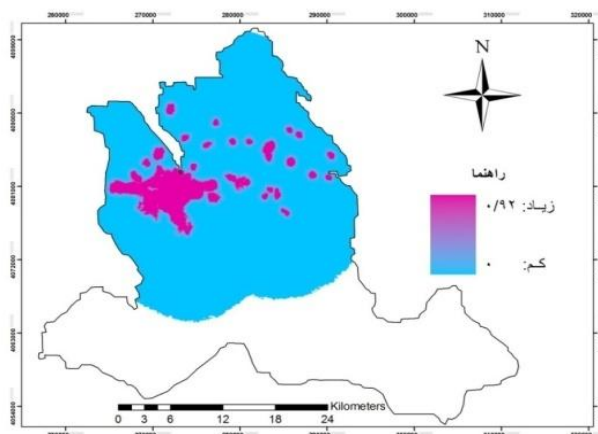
شکل ۶. نقشه پیش‌بینی توسعه شهری در دوره ۲۰۰۷-۱۹۹۸

شکل ۵. نقشه پیش‌بینی توسعه شهری در دوره ۱۹۹۸-۱۹۸۸

پیش‌بینی الگوی آینده رشد شهری

برای پیش‌بینی الگوی آینده رشد شهری در منطقه، نقشه پیش‌بینی احتمال رشد حاصل از اجرای مدل رگرسیون لجستیک که برای دوره زمانی ۲۰۰۷-۱۹۹۸ تهیه شده بود، به کار گرفته شد. در مرحله نخست، این نقشه با ماژول Rank رتبه‌بندی شد. سپس، پیکسل‌هایی که احتمال زیادی برای تغییر در دوره زمانی ۲۰۱۶-۲۰۰۷ و ۲۰۲۵-۲۰۱۶ دارند، به طور جداگانه از این نقشه استخراج شدند. همان‌طور که نتایج آشکارسازی تغییرات کاربری شهر نشان داد، در دوره زمانی ۲۰۰۷-

۱۹۹۸، حدوداً ۱۰۱۳ هکتار به سطح مناطق مسکونی افزوده شده است. میزان پیکسل‌های با احتمال بالا برای تغییر با به‌کارگیری همین میزان تغییر، تعیین می‌شود. از آنجا که اندازه پیکسل‌ها ۲۴ متر است، تعداد پیکسل‌های تغییر یافته در دوره زمانی ۲۰۱۶-۲۰۰۷ برابر با ۱۷۵۸۶ پیکسل، و در دوره زمانی ۲۰۲۵-۲۰۰۷ برابر با ۳۵۱۷۲ پیکسل است. این پیکسل‌ها از نقشه رتبه‌بندی شده جدا، و برای اجرای مدل رگرسیون لجستیک برای شرایط آینده به‌کار گرفته شدند. برای نمونه، شکل ۷ نقشه پیش‌بینی احتمال حاصل از اجرای مدل رگرسیون لجستیک در دوره زمانی ۲۰۲۵-۲۰۰۷ را نشان می‌دهند. در این نقشه مقادیر بالا نشان‌دهنده محل‌های با احتمال بیشتر برای تغییر کاربری و تبدیل به کاربری شهر در زمان مورد نظر است.



شکل ۷. نقشه پیش‌بینی رگرسیون لجستیک برای کاربری شهر در دوره ۲۰۲۵-۲۰۰۷

نتایج نشان می‌دهد نرخ رشد مناطق مسکونی در این منطقه بالا است. در این منطقه، اغلب در پیرامون مناطق مسکونی، اراضی کشاورزی و مرتعی قرار دارند. بنابراین، با توجه به نرخ سریع رشد مناطق مسکونی در این منطقه، سطح اراضی کشاورزی و مرتعی در آینده کاهش خواهند یافت.

بحث و نتیجه گیری

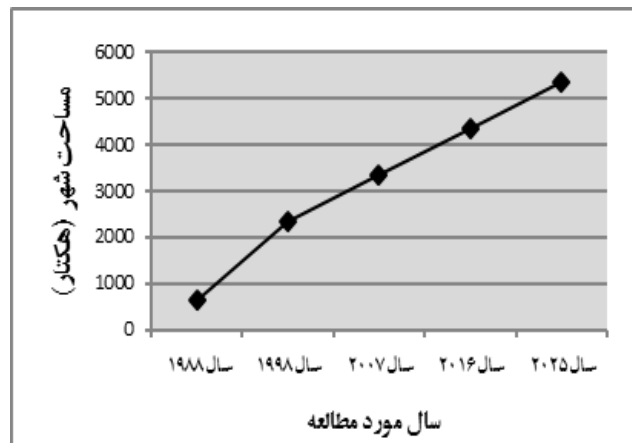
در این مطالعه، الگوی رشد شهری در منطقه گرگان با رگرسیون لجستیک در بازه زمانی ۲۰ ساله مدل سازی و سپس، الگوی رشد شهری در منطقه برای سال های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۵ تعیین شد. تصاویر ماهواره ای چندزمانه در بازه زمانی ۲۰ ساله، جهت تهیه نقشه های کاربری زمین با روش حداکثر احتمال به گرفته شد. روش حداکثر احتمال توسط بسیاری از محققان از جمله شتایی و همکاران (۱۳۸۶) و ارزانی و همکاران (۱۳۸۸) به عنوان بهترین الگوریتم طبقه بندی کننده تعیین شده است. در این مطالعه ارزیابی صحت نقشه های کاربری زمین با روش ماتریس خطا انجام گرفت. میزان کاپای حاصل از بررسی درستی طبقه بندی تصاویر سال های ۱۹۸۸، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۷ به ترتیب، برابر با ۰٫۹۱۴۰، ۰٫۹۶۰۲ و ۰٫۹۳۰۴ است. مقادیر بالای معیار کاپای حاصل از ارزیابی صحت این نقشه ها، قابلیت بالای اعتماد به این نقشه ها را نشان می دهد. نقشه های کاربری زمین چندزمانه جهت انجام دادن فرایندهای آشکارسازی و مدل سازی تغییرات به کار گرفته شد. این روش در مطالعات بسیاری از جمله امینی و همکاران (۱۳۸۷)، اشنایدر و پانتیوس (۲۰۰۱)، پانتیوس و همکاران (۲۰۰۱)، چنگ و ماسر (۲۰۰۳) و سلمان ماهینی و ترنر (۲۰۰۳) به کار گرفته شده است.

فرایند آشکارسازی تغییرات کاربری زمین در دوره زمانی ۲۰۰۷-۱۹۸۸ و در دو مقطع زمانی ۱۹۹۸-۱۹۸۸ و ۲۰۰۷-۱۹۹۸ اجرا شد و تغییرات ایجاد شده در هر یک از دوره های زمانی به طور جداگانه تعیین شد. این فرایند نشان داد در دوره های زمانی مورد مطالعه، تغییرات قابل توجهی در مناطق شهری ایجاد شده است. تغییرات کاربری شهر در دوره اول حدوداً ۲۳۲۲ هکتار افزایش و در دوره دوم حدوداً ۱۰۱۳ هکتار افزایش داشته است. همان طور که نتایج نشان می دهد، نرخ رشد مناطق مسکونی در دوره زمانی اول بیشتر بوده است که دلیل آن می تواند شرایط خاص حاکم بر آن زمان، شامل شرایط اقتصادی- اجتماعی این دوره زمانی باشد که باعث رشد گسترده در سطح منطقه شده است. اما در دوره دوم، رشد به طور متمرکز و در اطراف محدوده های مسکونی ادامه یافته است. البته این نرخ رشد، وضعیت شدید تغییر کاربری زمین را در منطقه تأیید می کند. این مطلب نشان می دهد برای اجرای فرایندهای توسعه ای پایدار و حفظ محیط، اجرای فرایندهای

کنترلی و طراحی دقیق کاربری زمین در منطقه نیاز است تا مناطق مسکونی در محل‌های مناسب و با طراحی و برنامه‌ریزی اصولی ساخته شود. نتایج این بخش از مطالعه با نتایج خاکپور و همکاران (۱۳۸۶) مطابقت دارد. آن‌ها الگوی تغییر کاربری اراضی شهر بابل را طی سال‌های ۱۳۶۷-۱۳۶۲ مطالعه کردند. نتایج نشان داد در دوره زمانی مورد مطالعه مهم‌ترین تأثیر تحولات کاربری زمین شهر بابل، کاهش اراضی کشاورزی و باغی، و تبدیل آن به کاربری‌های دیگر از جمله مناطق مسکونی است. همچنین، نتایج مطالعه حاضر با نتایج لی و همکاران (۲۰۱۰) مطابقت دارد. آن‌ها تغییرات کاربری زمین در آبخیزی در چین را با به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۶ مطالعه کردند. نتایج نشان داد منطقه مطالعاتی در این دوره دستخوش رشد سریع شهر شده است. در مرحله بعد، مدل رگرسیون لجستیک برای مدل‌سازی رشد شهری در بازه زمانی ۱۹۹۸-۱۹۸۸ و ۲۰۰۷-۱۹۹۸ اجرا شد.

نتایج اجرای مدل رگرسیون لجستیک برای تغییرات کاربری شهری در دوره اول با $Pseudo-R^2$ حدود ۰٫۲۷۹۵، و ROC حدود ۰٫۸۳۶۳ و در دوره زمانی دوم با $Pseudo-R^2$ حدود ۰٫۲۷۳۰ و ROC حدود ۰٫۸۳۰۶ توانایی بالای مدل رگرسیون لجستیک را برای مدل‌سازی تغییرات کاربری شهری در این منطقه نشان می‌دهد. سپس، شرایط آینده اراضی منطقه مورد مطالعه برای سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۵ با استفاده از رگرسیون لجستیک مدل‌سازی شد.

پیش‌بینی الگوی آینده مناطق شهری در منطقه نشان داد این اراضی با نرخ رشد بالا در منطقه در حال گسترشند. این امر با گذشت زمان باعث افزایش روند تغییرات اراضی کشاورزی و مرتعی، و تبدیل آن‌ها به مناطق مسکونی شهری می‌شود. علاوه بر این گسترش سطوح شهری در محیط باعث افزایش آثار محیط‌زیستی انسان بر محیط مانند تغییر شرایط هیدرولوژیکی اکوسیستم‌ها می‌شود. لذا نیاز به اجرای فرایندهای کنترلی برای کنترل و هدایت صحیح فرایندهای رشد شهری در منطقه وجود دارد. شکل ۸ روند تغییرات شهر را در دوره زمانی مورد مطالعه از سال ۱۹۸۷ تا سال ۲۰۲۵ نشان می‌دهد.



شکل ۸. نمودار روند تغییرات کاربری شهر در دوره زمانی مورد مطالعه

همان‌طور که بیان شد، تغییرات کاربری زمین به‌طور گسترده در سطح منطقه مطالعاتی در حال انجام‌گرفتن است. بنابراین، اگر فرایندهای تغییر کاربری زمین کنترل و مدیریت نشود، موجب تغییرات شدید کاربری زمین در منطقه در آینده‌ای نه‌چندان دور می‌شود. برای جلوگیری و کنترل تغییرات بی‌رویه و غیراصولی کاربری زمین به‌ویژه رشد شهری باید اقدامات ضروری انجام گیرد. از جمله این اقدامات می‌توان اقدامات مدیریتی و حفاظتی مانند بستن محدوده اراضی کشاورزی، ممانعت از تخریب و تبدیل آن‌ها به مناطق مسکونی و نیز خرید و تبدیل اراضی کشاورزی به کاربری‌هایی مانند کاربری حفاظتی را پیشنهاد کرد. همچنین، به‌کارگیری نقشه‌های خروجی مدل برای مدیریت و کنترل الگوی رشد مناطق شهری در آینده، بررسی و مدیریت متغیرهای با اثر زیاد بر رشد شهری در منطقه جهت محدود کردن مشکلات ناشی از تغییرات غیراصولی کاربری زمین پیشنهاد می‌شود. با به‌کارگیری نقشه‌های احتمال پیش‌بینی‌شده تغییر حاصل از اجرای مدل، می‌توان محل‌های با احتمال تغییر بالا را تعیین و اقدامات لازم برای جلوگیری از این تغییرات را در منطقه اجرا کرد.

پیشنهادات

با توجه به نتایج تحقیق پیشنهادهای زیر بیان می‌شود:

۱. به‌کارگیری نقشه‌های خروجی مدل برای مدیریت و کنترل تغییرات کاربری زمین آینده.
۲. توجه به محلهایی که قابلیت زیادی برای تغییر در آینده دارند تا در صورت نیاز مسیر برخی تغییرات کاربری زمین را تغییر، یا شدت آن را کاهش داد.
۳. به‌کارگیری نتایج تحقیق برای بررسی‌های مرتبط با ارزیابی آثار توسعه و آمایش سرزمین.
۴. انجام‌دادن اقدامات مدیریتی و حفاظتی مانند بستن محدوده اراضی کشاورزی، ممانعت از تخریب و تبدیل آن‌ها به مناطق مسکونی، و نیز خرید و تبدیل اراضی کشاورزی به کاربری‌هایی مانند کاربری حفاظتی.

منابع و مأخذ

۱. ارزانی، حسین؛ میرآخورلو، خسرو؛ حسینی، سیدزین‌العابدین (۱۳۸۸). «تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از داده‌های سنجنده ETM⁺ ماهواره Landsat7 (مطالعه موردی قسمتی از مراتع حوزه آبخیز طالقان)». فصل‌نامه پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، دوره ۱۰، شماره ۲، صفحات ۱۶۰-۱۵۰.
۲. امینی، محمد رشید؛ شتایی جویباری، شعبان؛ معیری، محمدهادی؛ غضنفری، هدایت‌اله (۱۳۸۷). «بررسی امکان مدل‌سازی احتمال تخریب جنگل‌های غرب کشور با استفاده از GIS و RS. (مطالعه موردی: جنگل‌های آرموده بانه)». فصل‌نامه علمی-پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، دوره ۱۲، شماره ۳، صفحات ۴۴۳-۴۳۱.
۳. پوراحمد، احمد؛ یدقار، علی؛ حبیبی، کیومرث (۱۳۸۲). «بررسی روند و الگوی توسعه شهری سنندج با استفاده از GIS و RS». نشریه هنرهای زیبا، شماره ۱۶، صفحات ۳۲-۱۵.
۴. خاکپور، برات‌علی؛ ولایتی، سعیدالله؛ کیانژاد، سیدقاسم (۱۳۸۶). «الگوی تغییر کاربری شهر بابل». مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، دوره ۱۸، شماره ۹، صفحات ۶۴-۴۶.
۵. شتایی جویباری، شعبان؛ نجارلو، سحر؛ جباری‌ارفعی، شاهرخ و معیری، هادی (۱۳۸۶). «ارزیابی قابلیت تصاویر چندطیفی و ادغام‌شده ماهواره‌های لندست ۷ و IRS-1D در تهیه نقشه گستره جنگل». مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دوره ۱۴، شماره ۵، صفحات ۲۲-۱۳.
۶. کبیر، آتنا (۱۳۸۵). مدل‌سازی بارندگی-رواناب در حوضه آبخیز کچیک استان گلستان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مرتع و آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
۷. گلدوی، سمیه؛ محمدزاده، مرجان؛ سلمان ماهینی، عبدالرسول؛ نجفی‌نژاد، علی (۱۳۹۳). «مدل‌سازی تغییرات اراضی جنگلی با روش رگرسیون لجستیک در دوره زمانی ۱۹۸۸-۲۰۰۷ و پیش‌بینی شرایط آینده این اراضی در منطقه گرگان». فصل‌نامه علمی پژوهشی فضای

جغرافیایی، دوره ۱۴، شماره ۴۶. صفحات ۷۰-۵۱.

۸. ماجدی، حمید؛ زبردست، اسفندیار؛ مجری کرمانی، بهاره (۱۳۹۱). «تحلیل عوامل مؤثر بر الگوی رشد کالبدی شهرهای بزرگ ایران، نمونه مطالعه: الگوی رشد کالبدی شهر رشت».

نشریه هنرهای زیبا - معماری و شهرسازی، دوره ۱۷، شماره ۳، صفحات ۶۰-۴۹.

9. Amini, Mohammad Rashid. R.; Shataii Joybari, Shaban; Moayyeri, Mohammad Hadi. H.; Ghazanfari, Hedayatollah (2008). "The possibility of modeling the probability of forests destruction in the West of Iran using GIS and RS (Case study: forest Armardeh Bane)". *Iranian journal of rangelands and forest plant breeding and genetic research*, 16, 431-443.
10. Arzani, Hossein; Mirakhorlo, Khosro; Hosseini, Zeinolabedin (2009). "Preparing Land use maps using satellite data from ETM+ sensor of Landsat7 (Case: part of rangeland Taleghan's watershed)". *International journal of range and deserts research*, 16, - 150
11. Batisani, Nnyaladzi; Yarnal, Brent (2009). "Urban expansion in center county, Pennsylvania: spatial dynamics and landscape transformations". *Applied Geography*, 29, 235-249.
12. Brown, Sandra; Hall, Myrna; Rasko, Ken; Ruiz, Fernando; Marzoli, Walter; Guerrero, Gabriela; Maser, Omar; Dushku, Aaron; DeJong, Ben (2007). "Baselines for land-use change in the tropics: application to avoided deforestation projects". *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12, 1001-1026.
13. Cheng, Jianquan; Masser, Ian (2003). "Urban growth pattern modeling: a case study of Wuhan city, PR China". *Landscape and urban planning*, 62, 199-217.
14. Echeverria, Cristian; Coomes, David. A; Hall, Myrna. Newton; Adrian. C (2008). "Spatially explicit models to analyze forest loss and fragmentation between 1976 and 2020 in southern Chile". *Ecological Modeling*, 212, 439-449.
15. Galdavi, Somyeh; Mohammadzade, Marjan; Salman Mahiny, Abdolrassoul; Nejafi Nejad, Ali (2013). "Urban Change Detection Using Multi-temporal Remotely Sensed imagery (Case study: Gorgan Area, Northern Iran)". *Environment & Urbanization ASIA*, 4, 339-348.
16. Galdavi, Somyeh; Mohammadzade, Marjan; Salman Mahiny, Abdolrassoul; Nejafi Nejad, Ali (2013). "Forest Change Modeling Using Logistic Regression in the period of 1988 – 2007". *Geographic space Journal*, 14(46), 51-70.
17. Huang, Qiu-Hao; Cai, Yun-Long; Peng, Jian (2007). "Modeling the spatial pattern of farmland using GIS and Multiple Logistic Regression: a case study of Maotiao River Basin, Guizhou province, China". *Environ Model Assess*, 12, 55-61.
18. Jenerette, G. G. Darrel; Wu, Jianguo. (2001). "Analysis and simulation of land- use change in the central Arizona- Phoenix region, USA". *Landscape Ecology*. 16, 611-626.
19. Jokar Arsanjani, Jamal; Helbich, Marco; Kainz, Wolfgang; Darvishi Bolorani, Ali (2013). "Integration of logistic regression, Markov chain and cellular automata models to simulate urban expansion". *International Journal of Applied Earth Observation and*

- Geoinformation*, 21, 265–275.
20. Kabir, Atena (2007). *Rainfall-runoff modeling in Kechik basin Golestan province*. Master thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Department of Range and Watershed.
 21. Khakpoor, Barat Ali; Velayati, Sadollah., Kiyanezhad; Seyyed Ghasem (2008). "Land use change pattern of Babol city. *Geography and region development*", 18(5), 46-64.
 22. Li, Yangfan; Zhu, Xiaodong; Sun, Xiang; Wang, Feng (2010). "Landscape effects of environmental on bay- area wetlands under rapid urban expansion and development policy: A case study of Lian yungang, China". *Landscape and Urban Planning*, 94, 218-227.
 23. Lim, K. J.; Engel, B. A.; Tang, Z.; Muthukrishnan, S.; Choi, J.; Kim, K. (2006). "Effects of calibration on L-THIA GIS runoff and pollutant estimation". *Journal of Environmental Management*, 78, 35-43.
 24. Lin, Yu-Pin; Hong, Nien-Ming; Wu, Pei-Jung; Verburg, Peter H. (2007). "Impacts of land use change scenarios on hydrology and land use patterns in the Wu-Tu watershed in northern Taiwan". *Landscape and Urbane Planning*, 80, 111-126.
 25. McDonald, Robert. I.; Urban, Dean. L (2006). "Spatially Varying rules of landscape change: Lessons from a case study". *Landscape and Urban Planning*, 74, 7-20.
 26. Millington James, D. A.; Perry, George. L.; Romero-Calcerrada, Raúl (2007). "Regression techniques for examining land use/cover change: A case study of a Mediterranean landscape". *Ecosystems*, 10, 562-578.
 27. Pauchard, Aníbal.; Aguayo, Mauricio; Penda, Eduardo; Urrutia, Roberto (2006). "Multiple effects of urbanization on the biodiversity of developing countries: The case of a fast-growing metropolitan area (Concepcion, Chile)". *Biological conservation*, 127, 272-281.
 28. Poelmans, Lien; Romoae, Anton Van (2009). "Detection and modeling spatial patterns of urban sprawl in highly fragmented areas: A case study in the Flunders region". *Landscape and Urban Planning*, 93, 10-19.
 29. Pontius J. R. Gil; Cornell, Joseph. D.; Hall, Charles. A. S (2001). "Modeling the spatial pattern of land- use change with GEOMOD2: Application and validation for CostaRica". *Agriculture Ecosystems & Environment*, Vol 85, 1-13.
 30. Pontius Jr, R. Gil; Schneider, Laura C. (2001). "Land-cover change model validation by an ROC method for the Ipswich watershed, Massachusetts, USA". *Agriculture Ecosystems and Environment*, 65, 239-284.
 31. Poorahmad, Ahmad; Yadghar, Ali; Habibi, Kiumars (2003). "Investigating of pattern and trend of urban development in Sanandaj using GIS and RS". *Honar-ha-ye-ziba Memari-va-shahrsazi*, 16, 15-32.
 32. Salman Mahiny, Abdolrassoul; Turner, Brian J. (2003). *Modeling past vegetation change through remote sensing and g.i.s: a comparison of neural networks and logistic regression methods*. School of Resources, Environment and Society, the Australian National University, Canberra 0200, Australia.
 33. Schneider, Laura. C.; Pontius J. R.. Gil (2001). "Modeling land-use change in the Ipswich watershed, Massachusetts, USA". *Agriculture Ecosystems & Environment*, 85,

- 83-94.
34. Tang, Z.; Engel, B. A.; Pihanwski, B. C.; Lim, K. J. (2005). "Forecasting land use change and its environmental impact at a watershed scale". *Journal of Environmental Management*, 76, 35-45.
35. Verburg, Peter, H.; Veldkamp, Tom A.; Bouma, Johan (1999). "Land use change under conditions of high population pressure: the case of Java". *Global Environmental change*, 9, 303-312.
36. Wassenaar, T.; Gerber, P.; Verburg, P. H.; Rosales, M.; Ibrahim, M.; Steinfeld, H. (2007). "Projecting land use changes in the Neotropics: The geography of pasture expansion into forest". *Global Environmental Change*, 17, 86-104.
37. Zeng, Y. N.; Wu, G. P.; Zhan, F. B.; Zhang, H. H. (2008). "Modeling spatial land use pattern using autologistic regression". *The international archives of the Photogrammetry, Remote sensing and Spatial Information Science*, XXX VII, Part B 2, Beijing, 115- 119.