



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره سی و هفتم، بهار ۱۴۰۰

صص ۱۶۰-۱۴۳

doi: <https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.67025.0>

مقاله پژوهشی

شبیه‌سازی و پیش‌بینی رشد و گسترش شهری با استفاده از تکنیک سنجش‌ازدور (نمونه موردی: تربت‌جام سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹)

احمد اسدی^۱ - استادیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه بزرگمهر فئات، قاین، ایران

زینت محمدپور سنگانی - دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
علی حاجی‌زاده شیخ‌انلو - دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۷/۲۹ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۰/۸ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۰/۱۳

چکیده

شهرنشینی یکی از پیامدهای انقلاب صنعتی است که روند توسعه آن را متحول کرده و باعث گسترش مهاجرت‌ها به شهر شده است. یکی از نتایج اصلی گسترش شهرنشینی در دهه‌های گذشته تغییرات کاربری زمین‌ها در شهرها و رشد ناموزون آنهاست که این مسئله، مدیریت رشد شهرها را به یکی از مهم‌ترین چالش‌های قرن ۲۱ تبدیل کرده است. پژوهش حاضر تغییرات زمین‌های شهر تربت‌جام را طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ ارزیابی و سپس این تغییرات را تا سال ۱۴۲۰ هجری شمسی پیش‌بینی می‌کند و در پایان با استفاده از شاخص توسعه سیمای سرزمین، نوع رشد شهر مشخص می‌شود. روش پژوهش توصیفی - تحلیلی است. برای گردآوری داده‌ها در این پژوهش از تصاویر لندست، سنجنده، ETM سال-های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ و سنجنده OLI سال ۲۰۱۹ استفاده شده است. پس از طبقه‌بندی تصاویر در ادامه برای بردن به تغییرات صورت گرفته در کاربری اراضی شهر تربت‌جام و پیش‌بینی تغییرات تا سال ۱۴۲۰ از الگوی زنجیره مارکوف و CA استفاده شده است. نتایج به دست آمده در بازه زمانی ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ و ۲۰۱۹ نشان می‌دهد که مساحت تمام کاربری‌های منطقه مورد مطالعه به جز کاربری اراضی بایر روندی افزایشی داشته است؛ به طوری که مساحت کاربری شهر از ۸۱۱۹۸ مترمربع در سال ۲۰۰۰ به ۱۰۸۷۲۰ مترمربع در سال ۲۰۱۰ و به ۱۴۴۴۴۱ مترمربع در سال ۲۰۱۹ رسیده است. همچنین مساحت اراضی کشاورزی از ۲۰۷۸۲۸ مترمربع در سال ۲۰۰۰ به ۲۶۶۲۶۵ مترمربع در سال ۲۰۱۰ و به ۲۰۲۹۴۱

مترمربع در سال ۲۰۱۹ رسیده است. مساحت اراضی فضای سبز و باغات از ۲۰۰۷ مترمربع در سال ۲۰۰۰ به ۳۰۸۶۱ مترمربع در سال ۲۰۱۰ و به ۲۷۳۵۱ مترمربع در سال ۲۰۱۹ رسیده است. مساحت اراضی بایر از ۷۵۶۵۰۴ مترمربع در سال ۲۰۰۰ به ۶۵۹۷۵۴ مترمربع در سال ۲۰۱۰ و به ۶۹۰۸۶۷ مترمربع در سال ۲۰۱۹ رسیده است و این نشان می‌دهد مساحت این اراضی با گذشت زمان کاهش داشته است. همچنین پیش‌بینی وضعیت چهار طبقه پوشش زمین شامل اراضی شهر، کشاورزی، بایر و فضای سبز و باغات در شهر تربت‌جام در افق ۱۴۰۴ نشان می‌دهد مساحت کاربری شهر در افق ۱۴۲۰ افزایش خواهد داشت؛ به طوری- که این کاربری ۱۹۲/۱۳٪ دچار تغییر خواهد شد. مساحت کاربری کشاورزی با ۷۱/۰۵٪ و فضای سبز و باغات با ۵۳,۳۲٪ تغییرات روندی کاهشی خواهند داشت و مساحت کاربری بایر نیز با ۱۰۰/۸۷٪ تغییرات روندی افزایشی خواهد داشت. در پایان با شاخص توسعه چشم‌انداز، نوع رشد شهری مشخص شد. همچنین براساس این شاخص، نوع رشد شهر تربت‌جام از نوع لبه‌ای است.

کلیدواژه‌ها: شهرنشینی، کاربری اراضی، لندست، زنجیره مارکوف و CA، تربت‌جام.

۱- مقدمه

تمرکز بی‌برنامه جمعیت، بدون در نظر گرفتن تمهیدات زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی، ریشه بسیاری از بحران‌ها و مشکلاتی است که بشر به تازگی با آن‌ها برخورد کرده است. با اهمیت پیدا کردن محدودیت منابع، اندیشمندان و نظریه‌پردازان بسیاری رشد ناموزون شهرها را پدیده‌ای غیرقابل پذیرش معرفی کرده‌اند و در جست‌وجوی راهی برای اصلاح روندهای موجود می‌باشند (شیخی و روشناس، ۱۳۹۴). ناحیه‌های شهری چهار درصد از سطح زمین را دربرگرفته‌اند؛ بیش از نیمی از جمعیت جهان در شهرها ساکن‌اند (حسین‌زاده و پناهی، ۱۳۹۳). رشد سریع جمعیت شهری جهان به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، یکی از چالش‌های اصلی برای دولت‌ها و آژانس‌های برنامه‌ریزی محسوب می‌شود. امروزه ۳,۹ میلیارد نفر، ۵۴ درصد جمعیت جهان، در نواحی شهری زندگی می‌کنند و در سال ۲۰۵۰ این تعداد به ۶,۳ میلیارد نفر افزایش خواهد یافت و نزدیک به ۹۰ درصد افزایش جمعیت شهرنشین در شهرهای کشورهای در حال توسعه صورت می‌گیرد (سازمان ملل، ۲۰۱۵). الگوی گسترش فضایی-کالبدی شهرها در مقیاس جهانی، فرآیندهایی از تغییرات کاربری زمین‌ها را پیش روی شهرنشینان به‌طور اعم و مدیران، برنامه‌ریزان و مجریان شهری به‌طور اخص قرار داده است. این موضوع در کنار مداخله پارامترهای متغیری همچون جمعیت و جریان‌های جمعیتی چون مهاجرت، سیاست‌های کلان شهرسازی دولتمردان و مدیریت ارشد برنامه‌ریزی ساختارهای شهری، بر پیچیدگی‌های مدیریت و کنترل شهری می‌افزاید (اصغری زمانی و همکاران، ۱۳۸۹). کاربری اراضی شهری جزو مفاهیم پایه و اصلی دانش شهرسازی و در واقع شالوده شکل‌گیری آن است و

به اندازه‌ای حائز اهمیت است که برخی از صاحب‌نظران برنامه‌ریزی شهری در کشورهای پیشرفته دنیا آن را برابر با برنامه‌ریزی شهری می‌دانند (زمانی و دیگران، ۱۳۹۵). گسترش روزافزون شهرها، افزایش مهاجرت به آن‌ها و رشد بی‌رویه جمعیت، لزوم هدایت آگاهانه و سازماندهی فضایی را دو چندان کرده است. از سوی دیگر پیش‌بینی توسعه شهرها برای برنامه‌ریزی و تأمین امکانات لازم با هدف رشد شهر در آینده بسیار ضروری است (خمر و نمازی، ۱۳۹۶). در دهه‌های اخیر رشد اسپرال و پراکنده شهری، به یکی از مهم‌ترین چالش‌های برنامه‌ریزی فضایی تبدیل شده و حامل آسیب‌های اجتماعی و زیست‌محیطی است. در سال‌های اخیر برنامه‌ریزان، اقتصاددانان، اکولوژیست‌ها و مدیریت مرتبط با امور شهری از مدل‌های مختلف و متنوعی برای ارزیابی تغییرات کاربری و بررسی نتایج این تغییرات در آینده استفاده کرده‌اند و روزه‌روز این مدل‌ها توسعه می‌یابند (رحیمی، ۱۳۹۷). در پی این فرآیند، اراضی کشاورزی در معرض نابودی قرار می‌گیرد (احدئزاد روشنی و حسینی، ۱۳۹۰)؛ بنابراین الگوی توسعه فضایی پراکنده، نیازی مبرم به تدوین برنامه‌ای منسجم و دقیق دارد؛ زیرا با شدت گرفتن توسعه شهر، برنامه‌ریزی برای توسعه‌های آتی جهت کاهش میزان تخریب در زمینه‌های مختلف امری باارزش تلقی می‌گردد (شیعه و انام پور، ۱۳۹۰). شهر تربت‌جام یکی از شهرهای استان خراسان رضوی است که طی سال‌های اخیر شاهد روند روبه رشد جمعیت، رشد کالبدی و تغییر کاربری اراضی است؛ بنابراین برای غلبه بر مشکلاتی همچون پراکندگی ناموزون شهری و نوع تغییر کاربری اراضی، پیش‌بینی، بررسی و تحقیق این شهر ضروری است تا بتوان به توسعه پایدار محیط شهری کمک کرد. با در نظر گرفتن شرایط محیطی و مطالب مذکور اهداف اصلی این پژوهش به این صورت می‌باشند: بررسی وضعیت چهار طبقه پوشش زمین شامل اراضی شهر، کشاورزی، بایر و فضای سبز و باغات در شهر تربت‌جام طی سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۹، پیش‌بینی وضعیت کاربری اراضی در افق ۱۴۲۰ همچنین در این راستا سؤالات اصلی تحقیق به این صورت می‌باشند: ۱- با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تغییرات کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه از سال ۲۰۰۰ تا افق ۱۴۲۰ به چه شکل خواهد بود؟ ۲- رشد و توسعه شهر تربت‌جام از سال ۲۰۰۰ تا افق ۱۴۲۰ به کدام سمت خواهد بود؟ بنابراین فرضیه اصلی این پژوهش به این صورت ارائه شده است: با استفاده از فناوری سنجش‌ازدور و مدل زنجیره مارکوف طی دو دهه گذشته شهر تربت‌جام شاهد توسعه فضایی و گسترش فیزیکی در جهات مختلف بوده و تغییرات و انتقال کاربری‌های اراضی آن چشمگیر است. تاکنون مطالعات زیادی در زمینه پیش‌بینی و گسترش شهری انجام گرفته است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود: اکبری و همکاران (۱۳۹۸) در تحقیقی به تحلیل و پیش‌بینی گسترش شهر مشهد با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه و زنجیره مارکوف طی سال‌های ۱۴۰۴-۱۳۷۹ پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین تغییر در سال‌های ۷۹ تا ۸۸ مربوط به محور باغات و اراضی کشاورزی بوده است. مساحت اراضی بایر و مراتع در سال ۱۳۸۸ نسبت به سال ۱۳۷۹ کاهش یافته اما در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال ۱۳۸۸ افزایش یافته است. همچنین در طی سه بازه ۱۳۷۹، ۱۳۸۸، ۱۳۹۵ بیشترین

تغییر در کاربری‌های مربوط به محدوده‌های ساخته شده است که براساس پیش‌بینی مارکوف در افق ۱۴۰۴ این کاربری حدود ۱۲۱/۵۷٪ دچار تغییر خواهد شد. اورامبوت^۱ و همکاران (۲۰۱۸) روند توسعه اسپرال را در اروپا ارزیابی کرده‌اند. براساس این پژوهش رشد اسپرال شهری از مشخصات شهرهای جهان سوم نبوده است؛ بلکه این نوع رشد در بیشتر مناطق شهری دنیا به شکل‌های مختلف دیده می‌شود؛ به طوری که در بین سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۰، توسعه شهری سه برابر بیش از رشد جمعیت شهری بوده است که از میل به توسعه پیرامونی و به صورت پراکنده حکایت دارد. رحیمی (۱۳۹۷) در مقاله‌ای به ارزیابی رشد اسپرال تبریز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌سازی توسعه احتمالی پرداخته است. نتایج ارزیابی دوره ۱۰ ساله (۱۳۸۵-۱۳۹۵) نشان دهنده توسعه رو به پیرامون و اسپرال شهری در تبریز است که طی آن بیشترین زمین‌های پیرامونی شهر به ساختار شهری تبدیل شده است. امان‌پور و همکاران (۱۳۹۵) در مقاله‌ای به عنوان تحلیلی بر تغییرات کاربری اراضی در کلانشهرها با استفاده از آنالیز تصاویر ماهواره‌ای در محیط ENVI (مطالعه موردی: کلانشهر اهواز) پرداخته‌اند. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که طی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۳ نزدیک به ۲۳٪ از سهم اراضی بایر و زمین‌های کشاورزی کم شده و در طرف مقابل سهم اراضی ساخته شده از ۱۶,۳۵ به ۳۴,۵۵ افزایش یافته است که بیشترین آن‌ها مربوط به مناطق جنوبی و شرقی اهواز (قسمت‌هایی از مناطق ۴، ۵ و ۶ شهرداری) می‌باشد. آرخی و همکاران (۱۳۹۴) در مقاله‌ای به ارزیابی و تحلیل توسعه فیزیکی شهرهای میانی با استفاده از GIS و RS (مطالعه موردی: شهر گنبد) پرداخته‌اند. براساس نتایج بدست آمده مشخص گردید روش تفاضل شاخص پوشش گیاهی NDVI بیشترین ضریب کاپا را که برابر است با ۹۹,۶۶ درصد داشته است و بقیه تکنیک‌ها نیز دارای ضریب کاپا بالا می‌باشند. واکود^۲ و همکاران (۲۰۱۳)، به ارزیابی گسترش شهری حیدرآباد هند با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و GIS اقدام کرده‌اند. تاپا و مورباماس^۳ (۲۰۱۲)، از مدل‌سازی تغییرات اراضی (LCM) جهت مدل‌سازی توسعه شهر نیال استفاده کردند. هادوی و روستایی (۱۳۹۰) شیبه-سازی رشد شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در شهر زنجان را انجام دادند. ورودی‌های اصلی این پژوهش الگوهای زمانی و مکانی کاربری، پوشش اراضی و قوانین تبدیل بوده که به دو صورت کلی و محلی تقسیم شده بود. در انتها نیز مشخص شد که رشد شهر زنجان همراه با از بین رفتن باغات و مزارع و از طرفی همراه با افزایش اراضی بایر و رها شده در داخل محدوده بوده و این بیانگر توسعه بی‌قواره، افقی و نامطلوب شهر زنجان در سه دهه اخیر بوده است.

1 Aurambout

2 Wakode

3 Thapa & Murayama

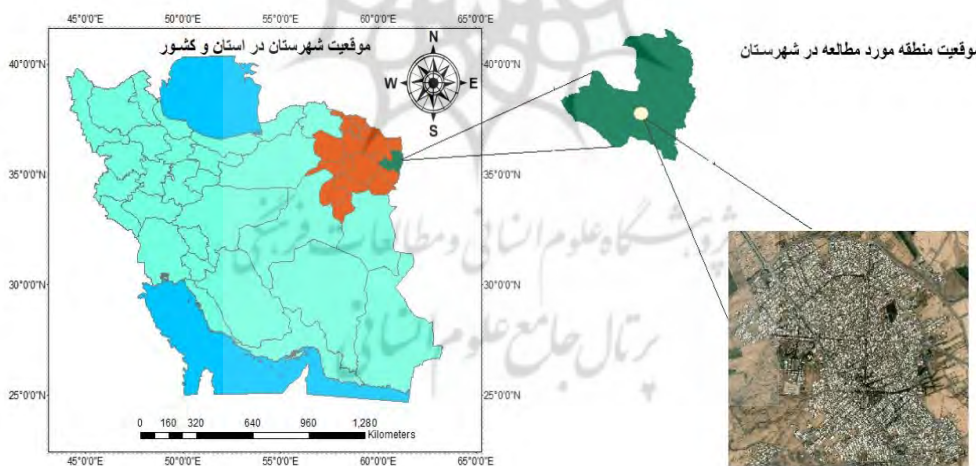
۲- منطقه مورد مطالعه

تربت جام تا سال ۱۳۳۰. ش یکی از بخش های شهرستان مشهد از استان نهم (خراسان) به شمار می آمد و در همان سال به شهرستان ارتقاء یافت. این شهرستان بر اساس قانون تقسیمات کشوری در ۱۳۸۶. ش، مشتمل بر ۳ شهر، ۵ بخش، ۱۰ دهستان است. شهرستان تربت جام دارای دو ناحیه کوهستانی و دشتی است. بلندی های شهرستان تربت جام بیشتر در جنوب غربی، مرکزی و شمال شهرستان است. امروزه شهرستان تربت جام با جمعیتی بالغ بر ۱۴۰ هزار نفر بعد از شهرستان های نیشابور، سبزوار و تربت حیدریه بزرگ ترین شهرستان استان خراسان رضوی است. شهر تربت جام که مرکز شهرستان تربت جام است، در ۳۵ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی و ۶۰ درجه و ۳۷ دقیقه طول شرقی و در ارتفاع ۹۱۰ متری از سطح دریا واقع است.

جدول ۱- تحولات جمعیتی شهر تربت جام طی سال های ۱۳۶۵-۱۳۹۵

سال	۱۳۶۵	۱۳۷۵	۱۳۸۵	۱۳۹۰	۱۳۹۵
میزان جمعیت بر اساس نفر	۶۴۰۱۰	۶۸۴۸۳	۸۳۵۵۸	۹۴۷۵۸	۱۰۰۴۷۷
متوسط رشد سالانه به درصد	۲,۲	۰,۵	۱,۱	۰,۹	۰,۷

(منبع: مرکز آمار ایران)



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

۳- مواد و روش

در این تحقیق از تصاویر سنجنده ETM مربوط به سال های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ و سال ۲۰۱۹ سنجنده OLI از ماهواره لندست استفاده شده است. در ابتدا تصاویر ماهواره ای لندست تصحیح هندسی و رادیو متریک شد تا خطاهای

مربوط به تصاویر ماهواره‌ای کاهش یابد. در ادامه محدوده مورد مطالعه از تصاویر جدا کرده و اقدام به طبقه‌بندی اطلاعات ماهواره‌ای شد. روش مورد استفاده جهت طبقه‌بندی اطلاعات روش نظارت شده می‌باشد. در این روش برای رده‌بندی پیکسل‌ها از نمونه‌های آموزشی استفاده می‌گردد. بدین معنی که با تعریف پیکسل‌های مشخص از تصویر برای هر یک از کلاس‌ها عمل طبقه‌بندی در قالب کلاس‌های در نظر گرفته شده انجام شده است. همچنین لازم به توضیح است که الگوریتم حداکثر مشابهت جهت طبقه‌بندی نظارت مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش ارزش بازتابی هر پیکسل ناشناخته و بر اساس واریانس و کوواریانس آن طبقه واکنش طیفی ویژه، مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد و فرض بر این است که توزیع داده‌های هر طبقه بر اساس توزیع نرمال در اطراف پیکسل میانگین آن طبقه قرار گرفته‌اند (علیزاده ربیعی، ۱۳۹۲). در ادامه واریانس و کوواریانس و میانگین طبقه مختلف هر تصویر ماهواره‌ای، برای طبقه‌بندی پدیده‌ها محاسبه می‌شود تا هر یک از پیکسل‌ها به طبقه‌ای تعلق یابد که حضورش در آن طبقه از احتمال بیشتری برخوردار است. در ادامه جهت پی بردن به تغییرات صورت گرفته در کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه (شهر تربت‌جام) که شامل کاربری‌های شهر، کشاورزی، فضای سبز و باغات و بایر مد نظر قرار گرفته، از مدل زنجیره مارکوف استفاده شد. در زنجیره مارکوف از کلاس‌های پوشش به عنوان حالت یا همان وضعیت‌های زنجیره استفاده شده است. در این تحلیل همواره از دو نقشه رستری استفاده می‌شود که موردی‌ها مدل نامیده می‌شوند. علاوه بر این دو نقشه فاصله زمانی بین دو تصویر و فاصله زمانی پیش بینی در افق ۱۴۲۰ نیز در مدل CA مارکوف در نظر گرفته می‌شود. خروجی مدل مارکوف نیز شامل احتمال تبدیل وضعیت و ماتریس مساحت‌های تبدیل شده در هر کلاس و در نهایت تصاویر احتمالی شرطی برای تبدیل کاربری مختلف است. پیش‌بینی در مدل مارکوف با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود (فن و همکاران، ۲۰۰۸).

$$S(t+1) = P_{ij} * S(t)$$

در این رابطه؛ $S(t)$ ، $S(t+1)$ حالت‌های سیستم در زمان $t+1$ هستند و P_{ij} ماتریس احتمال انتقال در یک حالت است که از طریق رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$P = \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} & \dots & P_{0m} \\ P_{10} & P_{11} & \dots & P_{1m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ P_{n0} & P_{n1} & \dots & P_{nm} \end{bmatrix}$$

همین طور در این پژوهش جهت اعتماد به طبقه بندی صورت گرفته از شاخص کاپا استفاده شده است. شاخص کاپا از رابطه زیر محاسبه می گردد:

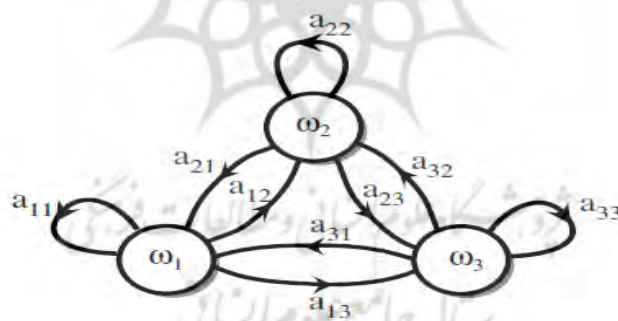
$$kappa = \frac{P_0 - P_C}{1 - P_C} * 100$$

P0: درستی مشاهده شده

PC: توافق مورد انتظار

۳-۱- مدل پیش بینی زنجیره مارکوف

زنجیره های مارکوف یک روش ریاضی و احتمالاتی می باشد. در واقع مدل زنجیره ای مارکوف مدلی تصادفی برای توصیف یک توالی از رویدادهای احتمالی است که در آن احتمال هر رویداد فقط به حالت رویداد قبلی بستگی دارد و بر اساس آن پیش بینی می شود. زنجیره مارکوف یک فرآیند تصادفی بدون حافظه است بدین معنی که توزیع احتمال شرطی حالت بعد تنها به حالت فعلی بستگی دارد و مستقل از گذشته است. نتیجه مستقیم حاصل از این مدل، ماتریس احتمال انتقال است؛ اما در این مدل هیچ درک جغرافیایی به دست نمی آید و در پایان به مدل سازی نقشه واحدی که نشان دهنده توزیع مکانی کلاس ها باشد، تولید نمی گردد. برای رفع این مشکل در دهه ۱۹۵۰ مدل CA مارکوف توسط جان وان نیومن^۱ برای اضافه کردن مشخصه مکانی به مدل مارکوف طراحی شد (فن و همکاران^۱، ۲۰۰۸: ۱۴۷-۱۲۷).

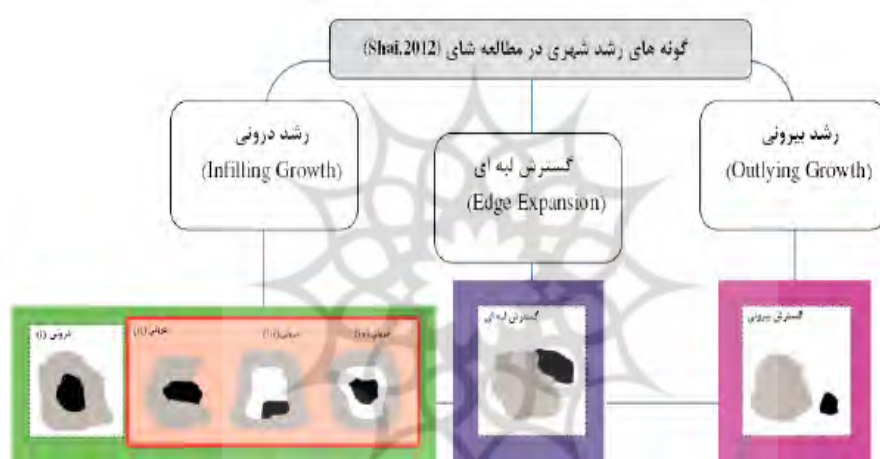


شکل ۲- نمونه ای از زنجیره مارکوف با سه حالت

۳-۲- شاخص سیمای سرزمین (LEI)

شاخص سیمای سرزمین به تجزیه و تحلیل الگوهای روند توسعه شهری می پردازد و هدف آن درک روابط پیچیده بین الگوی چشم انداز و فرآیندهای تغییر چشم انداز است. (شرودر و سپلت ۲۰۰۶) فورمن گسترش شهری را در سه قالب رشد بیرونی، گسترش لبه ای و رشد درونی قرار داده است و به این موضوع اشاره کرده است که سایر

تقسیم‌بندی‌های گونه‌های مختلف رشد شهری، به نوعی تحت تأثیر و با اندک تغییری می‌تواند در چاچوب سه گونه‌ی برشمرده قرار گیرد (لوو و همکاران^۱، ۲۰۱۰). از متریک‌های سرزمین بیشتر برای تجزیه و تحلیل ساده و توصیف خصوصیات هندسی و مکانی از نقشه‌های طبقه‌بندی شده استفاده می‌شود؛ اما شاخص‌های توسعه چشم-انداز علاوه برای تجزیه و تحلیل شهرهایی که آهنگ رشد سریعی دارند منعکس کننده الگوهای توزیع فضایی سرزمین‌ها می‌باشند که علاوه بر الگوهای چشم‌انداز بر پویایی زمانی متغیرها برای دو یا چند برهه زمانی هم استفاده می‌شود که استفاده از آنالیز بافر (Landscape Expansion Index) تعریف می‌شود به این صورت که با تجزیه و تحلیل آن می‌توان تعیین کرد که کدام یک از ویژگی‌ها یا در داخل یا خارج از محدوده تعریف شده رخ می‌دهد (لوو و همکاران^۲، ۲۰۱۰).

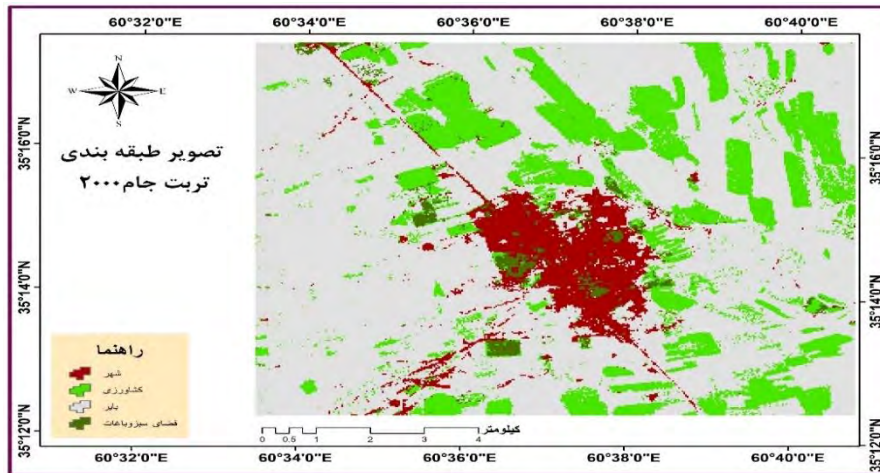


شکل ۳- طبقه‌بندی شش نوع فضایی از سه گونه رشد شهری و نحوه تشخیص آن از نظر شای

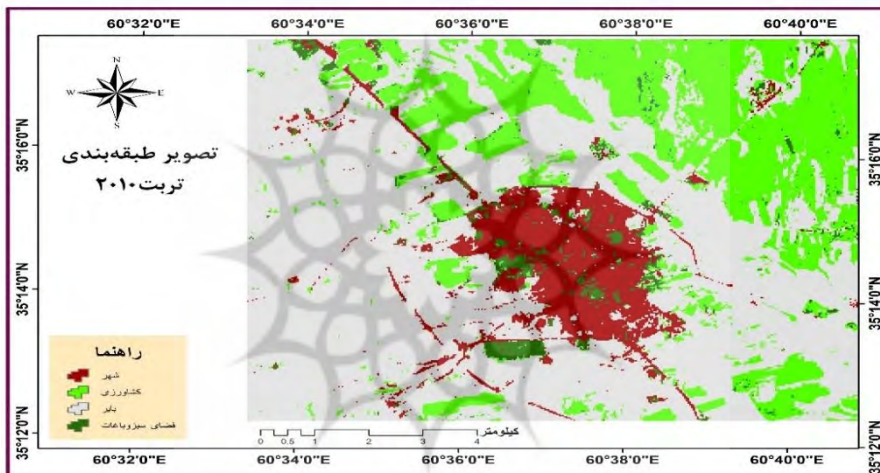
۴- یافته‌های تحقیق

همان‌طور که گفته شد در پژوهش حاضر سعی بر آن است تا تغییرات کاربری اراضی در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ مورد بررسی و پیش‌بینی تغییرات برای افق ۱۴۲۰ انجام پذیرد.

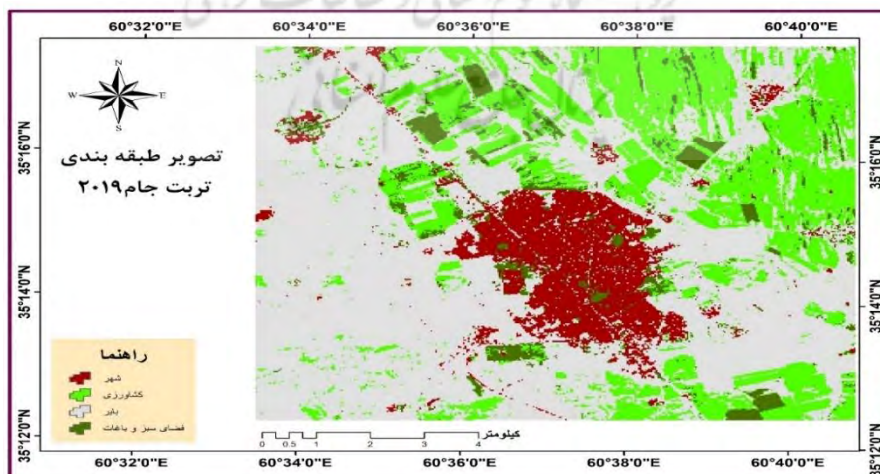
1 Liu
2 Liu



شکل ۴- تصویر طبقه بندی شده شهر تربت جام در سال ۲۰۰۰



شکل ۵- تصویر طبقه بندی شده شهر تربت جام در سال ۲۰۱۰



شکل ۶- تصویر طبقه بندی شده شهر تربت جام در سال ۲۰۱۹

با توجه به تصاویر طبقه‌بندی شده در بازه زمانی ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ و ۲۰۱۹ مشخص گردید مساحت تمام کاربری‌های منطقه مورد مطالعه به جز کاربری اراضی بایر روندی افزایشی داشته است. به طوری که مساحت کاربری شهر از ۸۱۱۹۸ مترمربع در سال ۲۰۰۰ به ۱۰۸۷۲۰ مترمربع در سال ۲۰۱۰ و به ۱۴۴۴۴۱ مترمربع در سال ۲۰۱۹ رسیده است. همچنین مساحت اراضی کشاورزی از ۲۰۷۸۲۸ مترمربع در سال ۲۰۰۰ به ۲۶۶۲۶۵ مترمربع در سال ۲۰۱۰ و به ۲۰۲۹۴۱ مترمربع در سال ۲۰۱۹ رسیده است. مساحت اراضی فضای سبز و باغات از ۲۰۰۷ مترمربع در سال ۲۰۰۰ به ۳۰۸۶۱ مترمربع در سال ۲۰۱۰ و به ۲۷۳۵۱ مترمربع در سال ۲۰۱۹ رسیده است. مساحت اراضی بایر از ۷۵۶۵۰۴ مترمربع در سال ۲۰۰۰ به ۶۵۹۷۵۴ مترمربع در سال ۲۰۱۰ و به ۶۹۰۸۶۷ مترمربع در سال ۲۰۱۹ رسیده است و این نشان می‌دهد مساحت این اراضی با گذشت زمان کاهش داشته است.

۴-۱- ماتریس مساحت انتقال وضعیت

با استفاده از نقشه‌های طبقه‌بندی شده شهر تربت‌جام برای هر دوره ماتریس احتمال انتقال وضعیت کلاس‌های کاربری اراضی بین دو دوره محاسبه شده است. از نقشه پوشش سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰، ماتریس تبدیل وضعیت اول و از نقشه پوشش سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ ماتریس تبدیل وضعیت دوم محاسبه شده است. این ماتریس‌ها حاوی اطلاعات و تبدیل هر کلاس به سایر کلاس‌ها می‌باشد و در نهایت مساحت کاربری‌ها در بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۱۹ در شهر تربت‌جام مشخص شد.

ماتریس مساحت انتقال که نشان‌دهنده تعداد پیکسل‌هایی است که از هر کلاس به کلاس‌های دیگر تبدیل

می‌شوند.

جدول ۲- ماتریس مساحت انتقال وضعیت بین سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۰۰ (به مترمربع)

پوشش زمین	شهر	کشاورزی	بایر	فضای سبز و باغات
شهر	۷۴۵۶	۲۷۱	۴۰۰۶	۳۷۴
کشاورزی	۷۷	۱۰۷۲۹	۱۸۴۴۰	۳۳۹
بایر	۸۸۷	۱۱۵۶۵	۶۰۲۹۸	۵۵۶
فضای سبز و باغات	۶۰۲	۵۲۷	۱۳۱۲	۹۸۸

(منبع: یافته‌های تحقیق)

بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ ماتریس انتقال وضعیت بر حسب مترمربع نشان‌دهنده آن است که بیشترین تغییرات در تبدیل اراضی بایر به کشاورزی و برعکس کشاورزی به بایر رخ داده است. همچنین در همین بازه زمانی تبدیل اراضی فضای سبز و باغات به بایر تبدیل شده است.

جدول ۳- ماتریس احتمال انتقال وضعیت بین سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۰۰ (به مترمربع)

پوشش زمین	شهر	کشاورزی	بایر	فضای سبز و باغات
شهر	۰,۰۶۲۶	۰,۰۰۲۳	۰,۰۳۳۶	۰,۰۰۲۹
کشاورزی	۰,۰۰۰۶	۰,۰۹۰۱	۰,۱۵۴۸	۰,۰۰۲۸
بایر	۰,۰۰۷۴	۰,۰۹۷۱	۰,۵۰۶۳	۰,۰۰۴۷
فضای سبز و باغات	۰,۰۰۵۱	۰,۰۰۴۴	۰,۰۱۱۰	۰,۰۰۸۳

(منبع: یافته‌های تحقیق)

ماتریس احتمال انتقال، احتمال تغییر هر کلاس به کلاس دیگر را مشخص می‌کند. براساس جدول (۳) بیشترین احتمال انتقال کاربری‌ها در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ به تبدیل اراضی بایر به کشاورزی و برعکس کشاورزی به بایر و فضای سبز و باغات به بایر مربوط می‌باشد.

جدول ۴- ماتریس مساحت انتقال وضعیت بین سال‌های ۲۰۱۹-۲۰۱۰ (به مترمربع)

پوشش زمین	شهر	کشاورزی	بایر	فضای سبز و باغات
شهر	۱۰۹۹۸	۳۸۵	۳۶۵۲	۱۰۱۴
کشاورزی	۱۸	۱۴۲۳۹	۷۸۸۳	۴۰۹
بایر	۸۵۲	۱۳۸۴۹	۶۱۲۲۲	۸۴۰
فضای سبز و باغات	۲۱۲	۱۱۱۲	۵۴۹	۱۱۶۶

(منبع: یافته‌های تحقیق)

باتوجه به خروجی‌های جدول (۴) مشخص شد بیشترین احتمال انتقال کاربری‌ها به ترتیب در بازه زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ مربوط به احتمال تغییر اراضی بایر به اراضی کشاورزی و کشاورزی به بایر می‌شود همچنین احتمال تغییر فضای سبز و باغات به اراضی کشاورزی مربوط می‌باشد.

جدول ۵- ماتریس احتمال انتقال وضعیت بین سال‌های ۲۰۱۹-۲۰۱۰ (به مترمربع)

پوشش زمین	شهر	کشاورزی	بایر	فضای سبز و باغات
شهر	۰,۰۹۲۳	۰,۰۰۳۲	۰,۰۳۰۷	۰,۰۰۸۵
کشاورزی	۰,۰۰۰۲	۰,۱۱۹۶	۰,۰۶۶۲	۰,۰۰۳۴
بایر	۰,۰۰۷۲	۰,۱۱۶۳	۰,۵۱۴۱	۰,۰۰۷۱
فضای سبز و باغات	۰,۰۰۱۸	۰,۰۰۹۳	۰,۰۰۴۶	۰,۰۰۹۸

(منبع: یافته‌های تحقیق)

باتوجه به خروجی‌های جدول (۵) مشخص شد بیشترین احتمال انتقال کاربری‌ها به ترتیب در بازه زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ مربوط به احتمال تغییر اراضی بایر به اراضی کشاورزی و کشاورزی به بایر می‌شود همچنین احتمال تغییر فضای سبز و باغات به اراضی کشاورزی مربوط می‌باشد. کاربری شهری تربت‌جام در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰، ۲۰۱۹ به ترتیب ۸۱۱،۹۸، ۱۰۸۷،۲۰، ۱۴۴۴،۴۱ هکتار بوده که حدود ۶۳۲،۴۳ هکتار به مساحت اراضی شهری منطقه مورد مطالعه اضافه شده است و بالعکس از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ از مساحت اراضی کشاورزی، بایر و فضای سبز و باغات کاسته شده است که دلیل آن توسعه شهر تربت‌جام بوده است.

جدول ۶- مساحت کاربری اراضی در بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۰۰ (به مترمربع)

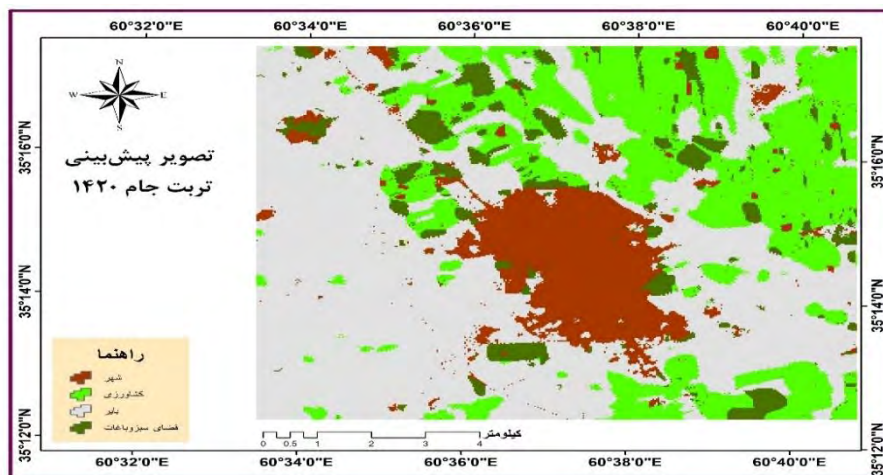
پوشش زمین	۲۰۰۰	۲۰۱۰	۲۰۱۹
شهر	۸۱۱۹۸۰۰	۱۰۸۷۲۰۰۰	۱۴۴۴۴۱۰۰
کشاورزی	۲۰۷۸۲۸۰۰	۲۶۶۲۶۵۰۰	۲۰۲۹۴۱۰۰
بایر	۷۵۶۵۰۴۰۰	۶۵۹۷۵۴۰۰	۶۹۰۸۶۷۰۰
فضای سبز و باغات	۲۰۰۷۰۰۰	۳۰۸۶۱۰۰	۲۷۳۵۱۰۰

(منبع: یافته‌های تحقیق)

براساس جدول (۶) مشخص شد که مساحت کاربری شهر از سال ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۱۹ افزایش داشته است. مساحت کاربری کشاورزی از سال ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۱۰ روندی افزایشی داشته است اما از سال ۲۰۱۰ تا سال ۲۰۱۹ به شدت مساحت این کاربری کاهش یافته است. مساحت اراضی بایر از سال ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۱۰ روندی کاهش داشته است اما از سال ۲۰۱۰ تا سال ۲۰۱۹ مساحت این کاربری افزایش داشته است. مساحت کاربری فضای سبز و باغات از سال ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۱۰ افزایش یافته است، اما از سال ۲۰۱۰ تا سال ۲۰۱۹ با کاهش مساحت این کاربری روبه‌رو بوده است.

۴-۲- مدل‌سازی کلاس‌های کاربری برای افق ۱۴۲۰

به منظور ارزیابی تغییرات صورت گرفته در کاربری اراضی شهر تربت‌جام که شامل کاربری‌های شهر، کشاورزی، بایر و فضای سبز و باغات می‌باشد از مدل زنجیره مارکوف استفاده شده است. در مدل زنجیره مارکوف از کلاس‌های پوشش به عنوان حالت یا همان وضعیت‌های زنجیره استفاده شد و (ماتریس مساحت انتقال که نشان‌دهنده تعداد پیکسل‌هایی که از هر کلاس به کلاس‌های دیگر تبدیل شوند) یا همان مقدار وسعتی که از هر کاربری به کاربری دیگر در بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۱۹ مشخص گردید که از خروجی جداول ذکر شده، براساس مدل CA مارکوف، پیش‌بینی مساحت چهار طبقه پوشش زمین در کاربری‌های ذکر شده برای افق ۱۴۰۴ مشخص گردید.



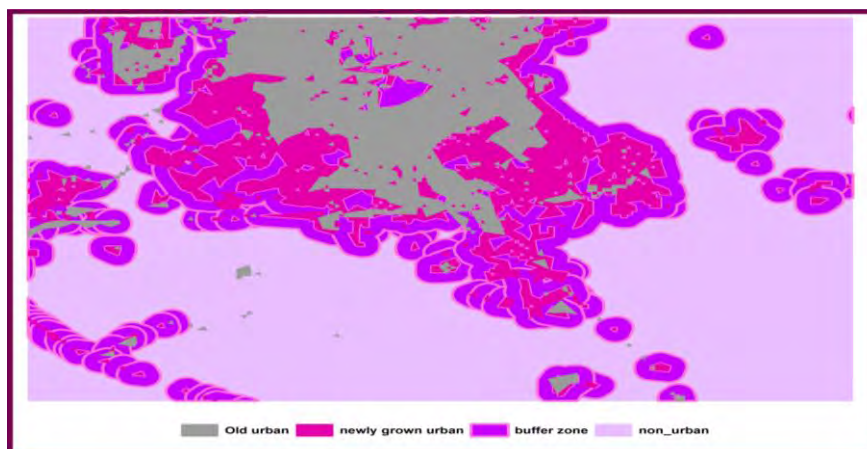
شکل ۷- تصویر طبقه بندی شده شهر تربت جام در سال ۱۴۲۰

جدول ۷- کاربری اراضی از سال ۲۰۱۹ تا افق ۱۴۲۰ و درصد تغییرات

پوشش زمین	۲۰۱۹	۱۴۲۰	افزایش تغییرات در افق ۱۴۲۰ (به درصد)
شهر	۱۰۶۹۳۸۰۰	۲۰۵۶۱۱۰۰	۱۹۲٫۱۳
کشاورزی	۲۶۷۱۱۱۰۰	۱۸۹۸۰۱۰۰	۷۱٫۰۵
بایر	۶۳۴۱۸۵۰۰	۶۳۹۷۴۷۰۰	۱۰۰٫۸۷
فضای سبز و باغات	۵۷۳۶۶۰۰	۳۰۵۹۱۰۰	۵۳٫۳۲

(منبع: یافته‌های تحقیق)

باتوجه به نقشه شماره (۵) که پیش بینی وضعیت چهار طبقه پوشش زمین شامل اراضی شهر، کشاورزی، بایر و فضای سبز و باغات در شهر تربت جام در افق ۱۴۰۴ را نشان داده است، مساحت کاربری شهر در افق ۱۴۲۰ افزایش خواهد داشت به طوری که مساحت این کاربری به ۲۰۵۶۱۱۰۰ مترمربع خواهد رسید. مساحت کاربری کشاورزی و فضای سبز و باغات روندی کاهشی خواهد داشت. مساحت کاربری بایر نیز روندی افزایشی خواهد داشت.



شکل ۸- نمایش گونه رشد شهری از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹

جدول ۸- نمایش گونه رشد شهری از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹

LEI	مساحت ۲۰۱۹	درصد
۰	۰,۶۵۳۹۷۱	۶,۰۰۸
>۵۰	۰,۰۰۶۹۴۷	۰,۰۶۳
>۰<۵۰	۱۰,۲۲۴۰۳۶	۹۳,۹۲
مجموع	۱۰,۸۸۴۹۵۴	۱۰۰

(منبع: یافته‌های تحقیق)

طبق شاخص توسعه شهری و براساس ارزش عددی که به بافر داده بودیم مشخص شد که بیشترین توسعه شهر تربت‌جام حدود ۰,۰۶۳ درصد از نوع توسعه درونی (infilling) و حدود ۹۳,۹۲ درصد از نوع توسعه از لبه شهر (edge-expansion) و ۶,۰۰۸ درصد توسعه بیرونی شهر (Outlaying) می‌باشد.

۵- نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر تغییرات پوشش زمین در کاربری‌های شهر، کشاورزی، بایر و فضای سبز و باغات با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۹ الگوریتم حداکثر مشابهت، روش نظارت شده و مدل زنجیره مارکوف استفاده شده است. در مدل زنجیره مارکوف از کلاس‌های پوشش به عنوان حالت یا همان وضعیت‌های زنجیره استفاده شده و (ماتریس مساحت انتقال که نشان‌دهنده تعداد پیکسل‌هایی که از هر کلاس به کلاس‌های دیگر تبدیل شوند) یا همان مقدار وسعتی که از هر کاربری به کاربری دیگر در بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۰۰ تغییر یافته است. همچنین براساس مدل CA مارکوف پیش‌بینی مساحت چهار طبقه پوشش زمین در کاربری‌های ذکر

شده در افق ۱۴۲۰ مشخص گردید. در بررسی سؤال اول تحقیق مبنی بر اینکه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تغییرات کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه از سال ۲۰۰۰ تا افق ۱۴۲۰ به چه شکل خواهد بود؟ در این راستا مشخص شد در طی سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۹ مساحت کاربری‌های شهر، کشاورزی و فضای سبز روندی افزایشی داشته است و مساحت اراضی بایر روندی کاهشی داشته است و مساحت کاربری‌ها در افق ۱۴۲۰ نسبت به سال ۲۰۱۹ به این صورت می‌باشد که مساحت کاربری شهر و بایر با افزایش مساحت، کاربری کشاورزی و فضای سبز و باغات با کاهش مساحت روبه رو خواهند بود. همچنین ماتریس احتمال انتقال و ماتریس مساحت انتقال وضعیت برای سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ محاسبه شد و نتایج آن نشان داد که بیشترین تغییرات در تبدیل اراضی بایر به کشاورزی و اراضی کشاورزی به بایر همچنین اراضی فضای سبز و باغات به بایر مربوط می‌شود. بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ بیشترین احتمال انتقال کاربری‌ها مربوط به اراضی بایر به کشاورزی و کشاورزی به بایر و احتمال تغییر فضای سبز و باغات به کشاورزی می‌باشد. در مقایسه مطالعات مشابه صورت گرفته می‌توان به تحقیقی با عنوان تشخیص و پیش‌بینی توسعه شهری منطقه هانوی (ویتنام) با استفاده از مدل ماهواره‌ای SPOT-5 و مدل زنجیره ماکوف اشاره کرد، که توسط نام وان و همکاران (۲۰۱۷) انجام شد. نتایج این تحقیق نشان داد که سطوح غیرقابل نفوذ هانوی به ترتیب ۸٫۲۷٪ و ۱۴٫۰۹٪ از کل منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۱۹ و ۲۰۲۷ افزایش خواهد یافت. در پژوهش حاضر علاوه بر اینکه از روش طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای برای طبقه‌بندی و نمایش تغییرات کاربری‌های مختلف انجام شد، با استفاده از شاخص سیمای شهر (LEI) نوع گسترش شهر نیز مشخص شد. طبق شاخص توسعه شهری مشخص شد که توسعه شهر تربت‌جام حدود ۰٫۰۶۳ درصد از نوع توسعه درونی (infilling) و حدود ۹۳٫۹۲ درصد از نوع توسعه از لبه شهر (edge-expansion) و ۶٫۰۰۸ درصد توسعه بیرونی شهر (Outlaying) می‌باشد. نتایج این مطالعه اطلاعات ارزشمندی را برای برنامه‌ریزان شهر محلی در برنامه‌ریزی و توسعه شهری ارائه می‌دهند. در تحقیقی دیگر با استفاده از مدل اتوماسیون سلول به بازسازی ترکیب‌بندی‌های توسعه شهری توسط وو (۲۰۰۰) پرداخته شد. در این پژوهش دو فرآیند بر رشد شهر تاثیرگذار بود که شامل توسعه خودانگیخته و توسعه سازماندهی شده می‌باشد. نتایج مدل شبیه‌سازی شده نشان‌دهنده آن بود که اشکال مورفولوژیکی توسعه شهر می‌توانند براساس مدل CA بدست آیند اما برای تهیه نقشه اصلی و توسعه آتی شهر نیاز است تا پارامترهای دیگری نیز جهت کالیبراسیون مورد استفاده قرار گیرند. همچنین در مقاله‌ای تحت عنوان مدل‌سازی توسعه شهری با استفاده از اتوماتای سلولی و الگوریتم ژنتیکی توسعه شهر شیراز را که زارعی و آل‌شینی (۱۳۹۱) مدل‌سازی کردند و به بررسی و توانایی کاربرد این مدل‌ها پرداخته و نتایج به‌دست آمده نشان‌گر این است که با ترکیب این دو مدل جهت پیش‌بینی رشد شهری، تأثیر هر یک از پارامترها را می‌توان بررسی کرد و به پارامترهای اصلی در توسعه اولویت داد. همچنین در مقاله‌ای دیگر با عنوان تعیین جهت بهینه گسترش شهر مشهد با استفاده از مدل ارزیابی چند عامله GIS و

RS که ضیائیان و همکاران (۱۳۹۰) مورد بررسی قرار دادند. در این مقاله با استفاده از مدل ارزیابی چند عامله و روش وزن‌دهی Critic و نیز عوامل فاصله از کاربری‌های شهری، فاصله از گسل، فاصله از اراضی مرغوب کشاورزی و باغ‌ها، زمین‌شناسی، قابلیت اراضی و شیب، تعیین شد که جهت بهینه‌گسترش آینده شهر مشهد، شمال‌غرب و غرب شهر می‌باشد. شهر تربت‌جام در فرآیند توسعه فیزیکی خود در چند دهه اخیر رشد سریع و بی‌برنامه را داشته است که نتیجه آن ایجاد و گسترش حاشیه‌نشینی، تخریب محیط‌زیست، تغییر کاربری اراضی، تداخل کاربری‌ها، عدم توجه به توانایی‌ها و تنگناهای محیطی، ساخت و ساز در پهنه‌های نامن و نظایر این‌ها بوده است. در بررسی سؤال دوم تحقیق مبنی بر اینکه گسترش شهر تربت‌جام از سال ۲۰۰۰ تا افق ۱۴۲۰ به کدام سمت می‌باشد؟ با توجه به خروجی نقشه‌ها در سه بازه زمانی سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۰۰، و ۲۰۱۹ بیشترین تغییر مربوط به محدوده ساخته شده می‌باشد به طوری که در این دوره ساخت و سازها و رشد فیزیکی شهر در جهت شمال منطقه می‌باشد و از طرفی به دلیل اینکه ساخت و سازها بر روی اراضی کشاورزی انجام می‌شود در این سمت شاهد کاهش اراضی کشاورزی و افزایش شهر در این قسمت می‌باشیم. طبق پیش‌بینی انجام شده در تحقیق حاضر، در صورت عدم برنامه‌ریزی صحیح و مناسب برای شهر تربت‌جام و گسترش شهر به سمت شمال و در جهت اراضی کشاورزی در آینده این نه چندان دور شاهد نابودی اراضی کشاورزی خواهیم بود؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود با در نظر گرفتن اقدامات لازم، حتی‌الامکان شهر به سمت شرق و جنوب شرق توسعه پیدا نماید که آسیب‌پذیری کمتری دارد همچنین بازنگری راهبردی در طرح‌های توسعه شهری در راستای حفظ منابع طبیعی شهر انجام پذیرد.

کتابنامه

- احدنژاد روشتی، محسن؛ حسینی، سیداحمد؛ ۱۳۹۰. ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات و پراکنش افقی شهرها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه و سیستم اطلاعات جغرافیایی (نمونه موردی: شهر تبریز در مقطع زمانی ۱۳۶۳ - ۱۴۰۰). مجله پژوهش و برنامه‌ریزی شهری. ۲(۴): صص ۲۰ - ۱.
- اصغری‌زمانی، اکبر؛ ملکی، سعید و موحد، علی؛ ۱۳۸۹. پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی شهرزنجان با استفاده از الگوی CLUE-S. مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای. شماره ۱۵. صص ۶۴-۳۹.
- اکبری، ابراهیم؛ زندی، رحمان؛ کلاته، رقیه؛ ۱۳۹۸. تحلیل و پیش‌بینی گسترش شهر مشهد با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه و زنجیره مارکوف (طی سال‌های ۱۳۷۹ - ۱۴۰۴). مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی. دوره ۸. شماره ۳۰. صص ۱۶۶-۱۴۹.
- امان‌پور، سعید؛ کاملی‌فر، محمدجواد؛ بهمنی، حجت؛ ۱۳۹۵. تحلیلی بر تغییرات کاربری اراضی در کلانشهرها با استفاده از آنالیز تصاویر ماهواره‌ای در محیط ENVI (مطالعه موردی: کلانشهر اهواز). فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی. دوره ۲۶. شماره ۱۰۲. صص ۱۵۰-۱۳۹.

- پوراحمد، احمد؛ یدقار، علی؛ حبیبی، کیومرث؛ ۱۳۸۳. بررسی روند و الگوی توسعه شهر سنندج با استفاده از GIS و RS. *نشریه هنرهای زیبا*. دوره ۱۶. شماره ۱۶. صص ۳۲ - ۱۵.
- رحیمی، اکبر؛ ۱۳۹۷. ارزیابی رشد اسپرال تبریز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌سازی توسعه احتمالی. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*. سال ۲۹. پیاپی ۷۲. شماره ۴. صص ۱۲۳-۱۰۹.
- شیهه، اسماعیل؛ آنام پور، محمد؛ ۱۳۹۰. پیاده‌سازی الگوریتم‌های فازی مبتنی بر GIS در الگوهای نوین برنامه‌ریزی برای تهیه برنامه گسترش کالبدی مناسب شهرهای میانه جمعیتی ایران (نمونه موردی: شهر خرمدره). *فصلنامه علمی - پژوهشی مطالعات شهری*. صص ۱۲۷ - ۱۰۹.
- علیزاده ریعی، حسن؛ ۱۳۹۲. *سنجش‌ازدور: اصول و کاربرد*. انتشارات سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت).
- قاسمی، علی؛ ۱۳۸۰. *بررسی روند و شناخت الگوی توسعه فیزیکی شهر بهشهر*. پایان نامه کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری. دانشگاه تهران.
- ماجدی، حمید؛ زبردست، اسفندیار؛ مجربی کرمانی، بهاره؛ ۱۳۹۲. بررسی متغیرهای مؤثر در رشد شهری ارومیه با استفاده از مدل لاجیستیک رگرسیون. *معماری و شهرسازی آرمان شهر*. شماره ۲۱. ۳۷۷-۳۹۲.
- محمدزاده، رحمت؛ ۱۳۸۶. بررسی اثرات زیست محیطی توسعه فیزیکی شتابان شهرها - با تأکید بر تهران و تبریز. *مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای*. شماره نهم. پاییز و زمستان. صص ۱۱۰-۹۴.
- مرکز آمار ایران، سال‌های (۱۳۶۵-۱۳۹۵). *سرشماری عمومی نفوس و مسکن*.
- هادوی، فرامرز؛ روستایی، شهرپور؛ ۱۳۹۰. شبیه‌سازی رشد شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی: شهر زنجان)؛ هجدهمین همایش و نمایشگاه ملی ژئوماتیک. سازمان نقشه‌برداری کشور.

- Aurambout, J.P., Barranco, R., Lavalley, C., (2018). Towards a Simpler Characterization of Urban Sprawl across Urban Areas in Europe, *Land*, Vol 7 (33), Pp 1-18.
- Batisani, N. & Yamal, B. (2009). Urban Expansion in Center County, Pennsylvania: Spatial Dynamics and Landscape Transformations. *Applied Geography*. 29: 235-249.
- Bhatta, B. (2010), *Analysis of Urban Growth and Sprawl from Remote Sensing*; DataSpringer; London; p 191.
- Bueckner, J.K., Helsley, R.W., (2011). Sprawl and blight, *J. Urban Economics*. Vol 69 (2), 205-213.
- Deep, S., Saklani, A., (2014), Urban sprawl modeling using cellular automata. *The Egyptian Journal of Remot Sensikg and Space Sciences*, Vil 17. Pp 179-187.
- Fan, Fenglei, Wang, Yunpeng, and Wang, Zhishi, 2008, Temporal and spatial change, detecting (1998-2003) and predicting of land use and land cover in Core corridor of Pearl pp: 127-147.
- Guan, DongJie, Li, HaiFeng, Inohae, Takuro, Su Weici, Nagaie, Tadashi, and Hokao, Kazunori, 2011, Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model, *Ecological Modelling*, 222 (20-22), 3761-3772.
- Jensen, J.R., (2005). *Introductory digital Imag Processing: A Remote Sensing Perspective*.

- Mas, Jean-François, Melanie, Kolb, Martin, Paegelow, María Teresa, Camacho Olmedo, and Thoma, Houet, 2014, Inductive pattern-based land use/cover change models: Acomparison of four software packages, *Environmental Modelling & Software*, 51: 94-111.
- Stevens, D. et al, (2007). "iCity: A GIS-CA modelling tool for urban planning and decision making", *Environmental Modelling & Software*, 22. pp 761-773.
- Tewelde, M. G., and P. Carbal, (2011), Urban Srawl Analysis and Modeling in Asmara.
- Thapa, R.B. and Y. Murayama. 2012. Scenario based urban growth allocation in Kathmandu Valley, Nepal. *Landscape and Urban Olanning* 105(1-2): 140-148.
- Wakode, Hemant Balwant, Klaus, Bater, Ramakar, Jha. & Raffig, Azzam, (2013), Analysis of yrban growth using Lands at TM/ETM data and GIS- a case study of Hyderabad, India. *Arabian Journal of Geoscience ces*, 7(1), 109-121.
- Zarei, R., Alsheikh, A.A., (2012). Modeling of Urban Development Using Cellular Automata and Genetic Algorithm, Case Study: shiraz City. *Journal of Research and Planning*, 3(11).
- Zhang, Zh., V. Lieven, C. Eva De, X. Ou and De.W. Robert. 2008. Vegetation change detection using artificial neural networks with ancillary data in Xishuangbanna, Yunnan Province, China. *Chin. Sci. Bull.* 52: 232-243.

