پژوهش‌های جغرافیای انسانی، دورهٔ ۵۴ ، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۴۰۱
ص. ۱۵۸۵-۱۵۶۳
DOI:10.22059/jhgr.2021.329110.1008364

مدل‌سازی و پیش‌بینی روند گسترش و توسعه فیزیکی شهر بجنورد

عاطفه صداقتی[1]– استادیار گروه شهرسازی، دانشکده هنر، دانشگاه بجنورد، بجنورد، ایران
علی مداحی – کارشناس ارشد برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
حمید طالب‌خواه – کارشناس ارشد برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۳۰ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۹**

چکیده

شهر بجنورد، در پی انتخاب به‌عنوان مرکز سیاسی–اداری استان خراسان شمالی در سال ۱۳۸۴، با رشد دوچندان جمعیت و تحولات جمعیتی مواجه شد. تمرکز مراکز اداری، نظامی، سیاحتی، فرهنگی و آموزشی در کنار مهاجرت بی‌رویه روستائیان به شهر، شهر را با نیازهای جدید توسعه شهری مواجه ساخت. گسترش فیزیکی شهر بیش‌ازپیش، تبدیل زمین‌های کشاورزی به شهری و ساخت‌وساز بی‌رویه، یکی از مسائل اصلی پیش‌روی شهر است. پژوهش حاضر با روش توصیفی–تحلیلی و با استفاده از روش اتوماتای سلولی توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی پرسپترون و داده‌های سنجش‌ازدور، انجام‌شده است. تصاویر ماهواره‌ای مربوط به سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۲۱ دشت بجنورد، مبنای بررسی قرار گرفت و به‌منظور به‌طورکلی الگوهای فضایی–زمانی کاربری زمین، از داده‌های آرشیو سنجش‌ازدور، استفاده شد. در راستای اهداف تحقیق، تصاویر مولتی اسپکتورال لندست ۷ و لندست ۸ در ارتباط با شهر بجنورد (path 161, row 034) دانلود شده است. باهدف افزایش اعتبار نتایج، نقشه‌های خروجی با نقشه‌های گوگل ارث، تطبیق داده شد. همچنین در طبقه‌بندی سال ۲۰۱۱ دقت کلی ۸۶ و ضریب کاپا ۸۱ و در سال ۲۰۲۱، دقت کلی ۸۸ و ضریب کاپا ۸۵ به دست آمد. یافته‌های اصلی شامل محاسبه و برآورد تغییرات کاربری زمین و سهم هر کاربری در سال‌های مبنای این تحقیق، مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین‌برای سال ۲۰۳۱ بر اساس ترسیم نقشه پتانسیل انتقال برای کاربری‌ها و تشکیل زنجیره مارکوف در کنار هشت عامل تأثیرگذار شیب، ارتفاع، فاصله از گسل، زمین‌های کشاورزی، راه‌های اصلی، شبکه برق اصلی، مناطق ساخته‌شده و قیمت زمین، است. نتایج نوشتار، تأییدکننده افزایش مناطق ساخته‌شده و کاربری‌های شهری و کاهش کاربری کشاورزی و مرتع در افق پیش‌بینی گسترش شهر بجنورد در سال ۲۰۳۱ است. بعلاوه به لحاظ ساختار فضایی، رشد مناطق ساخته‌شده عمدتاً در سه جبهه بجنورد–اسفراین، بجنورد–مشهد و بجنورد–آشخانه قابل‌مشاهده است. بدین ترتیب، انتظار می‌رود با شناسایی روند گسترش و توسعه فیزیکی شهر بجنورد، بتوان در مدیریت و برنامه‌ریزی این فرآیند، تأثیرگذار واقع شد.

واژگان کلیدی: تغییر کاربری زمین، شبکه عصبی مصنوعی، زنجیره مارکوف، مدل‌سازی، بجنورد.

۱ . نویسنده مسئول
Email: a.sedaghati@ub.ac.ir

مقدمه

امروزه به‌طور فزاینده‌ای فرصت‌ها و چالش‌های اصلی جهان در شهرها متجلی گردیده و رشد شتابان شهرنشینی در چند دهه گذشته و گسترش فعالیت‌های صنعتی، زیرساخت‌های شهری را کاهش و در مقابل، ضایعات زیست‌محیطی را به‌شدت افزایش داده است (حسینی و همکاران، ۴:۱۳۹۴). یکی از مهم‌ترین مشکلات شبکه شهری در ایران نیز، گسترش سریع شهرها و به‌تبع آن، توسعه و رشد ناموزون شهرها، است که به دلایل مختلف ازجمله افزایش فزاینده جمعیت و مهاجرت‌های بی‌رویه، حادث‌شده است (نورایی‌صفت و همکاران، ۱۳۹۵: ۲۲). این گسترش پراکنده شهرها، آسیب‌های اجتماعی- اقتصادی و پیامدهای نامطلوب زیست‌محیطی مانند تغییر کاربری زمین‌های کشاورزی، اراضی جنگلی، آلودگی هوا، آب، خاک، تأثیرات منفی در فضای سبز شهری و ...به بار آورده است (زادولی و همکاران، ۲:۱۳۹۶). یکی از مهم‌ترین پیامدهای زیست‌محیطی گسترش شهرها، تغییرات کاربری زمین است که به چالش مهمی در بسیاری از شهرها، به دلیل تأثیر مستقیم بر اجزای محیط‌زیست، ازجمله خاک، آب و اتمسفر، مبدل شده است (عبداللهی و همکاران، ۱۳۹۹: ۴۹). تغییرات در کاربری زمین می‌تواند به دلیل افزایش جمعیت و توسعه فعالیت‌های منطقه‌ای رخ دهد. به‌عبارت‌دیگر، تأمین نیاز زمین باعث تغییر کاربری زمین در منطقه می‌شود (پری‌ایتنو و همکاران[1] ۲۰۲۰: ۶۴). بنابراین تشخیص به‌موقع و دقیق این نوع تغییرات، پایه و اساس درک بهتر روابط و تعاملات میان انسان و پدیده‌های طبیعی است و درنتیجه مدیریت بهتر و استفاده مناسب‌تر از منابع طبیعی را فراهم می‌کند (شنانی هویزه و زراعی، ۱:۱۳۹۵). با توجه به افزایش روزافزون مشکلات شهرها و شهرنشینان و نیاز مدیران و برنامه‌ریزان به مهار چنین رشد لجام‌گسیخته‌ای از شهر، همواره برنامه‌ریزان شهری از روش‌های مختلفی برای مهار این نوع توسعه شهری، اقدام کرده‌اند. این در حالی است که نظارت و مدیریت کاربری و پوشش زمین، مستلزم آگاهی از پویایی‌های قبلی، روندهای فعلی و پیش‌بینی تحولات آینده است (محمد و ورکوو[2] ۲۰۲۰: ۱). این در حالی است که در سال‌های اخیر برنامه‌های متعددی جهت ساماندهی، مدیریت و هدایت گسترش شهرها در اراضی پیرامونی تهیه‌شده که به دلیل عدم شناخت کافی از عوامل تأثیرگذار و محرک توسعه و وضعیت و نحوه گسترش آتی شهر در اراضی پیرامون، تحقق‌نیافته است و فقدان ابزاری مناسب جهت مدل‌سازی برای شناسایی نقاط آسیب‌پذیر و در معرض توسعه و پیش‌بینی گسترش شهر در اراضی پیرامونی، تصمیم‌گیری و تصمیم‌سازی در این حوزه را با مشکل اساسی مواجه کرده است. درنتیجه به‌منظور دست‌یابی به توسعه پایدار شهری، درک چگونگی فرآیند رشد شهری که لازمه آن شناخت عوامل اساسی مؤثر بر رشد و توسعه شهری و اثرات متقابل آن‌ها برهم است، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده؛ به‌گونه‌ای که نیاز به پیش‌بینی الگوهای رشد شهری با استفاده از روشی دقیق و کارآمد در جهت مدیریت پایدار شهری، بیش‌ازپیش ضرورت پیدا می‌کند (صاحبقرانی و همکاران، ۲:۱۳۹۲). در همین راستا، استفاده از اتوماتای سلولی، به‌عنوان تکنیکی با خصوصیاتی همچون سادگی، شفافیت و پتانسیل قوی جهت شبیه‌سازی پویایی‌های مکانی، باعث گردیده تا روزبه‌روز، در مدل‌سازی سامانه اطلاعات مکانی و امور شهری بیشتر موردتوجه قرار بگیرد.

مدل اتوماتای سلولی در دو مرحله به علم جغرافیا معرفی شد: یک‌بار در اواخر دهه ۵۰ میلادی که در آن زمان پدیده‌های جغرافیایی به‌عنوان شبکه‌ای از سلول‌های مشابه فرض شد و از رایانه‌ها نیز در این میان کمک گرفته شد. هرچند در این مطالعات به یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های مدل اتوماتای سلولی که تأثیر همسایگی است توجه نشده بود. با ورود نظریه دستگاه‌های پیچیده و پذیرفته شدن آن به‌وسیله جغرافی‌دانان، دوباره در اواخر دهه ۸۰ میلادی، مدل‌های

1 . Prayitno
2 . Mohamed and Worku

اتوماتای سلولی مشابه مدل‌های کنونی مطرح شدند (میرباقری و همکاران، ۳:۱۳۸۹). این مدل، مدلی محاسباتی است که فرآیندهای محلی کوچک‌مقیاس را به الگوهای بزرگ‌مقیاس تعمیم می‌دهد. در این روش که بیشتر به بررسی الگوهای پویایی پراکنش مکانی می‌پردازد، فضای موردنظر (محیط) به‌صورت شبکه تقسیم‌بندی شده و ارتباط بین خانه‌های شبکه با قوانینی مشخص بیان می‌شود که معمولاً این قوانین در سرتاسر شبکه یکسان و عمومی می‌باشند. سلول‌های خودکار به‌عنوان یک روش مدل‌سازی رایج در شاخه‌های مختلف علوم و به‌عنوان یکی از رایج‌ترین مدل‌های مورداستفاده در مطالعات گسترش مکانی در بوم‌شناسی مورداستفاده قرار می‌گیرد (حمیدیان و خطیبی، ۲:۱۳۹۵). شهر بجنورد نیز در سالیان اخیر و با یافتن جایگاه مرکزیت استان خراسان شمالی در سال ۱۳۸۳-۱۳۸۴، شاهد تحولات زیادی به‌ویژه در جمعیت شهرنشین و رشد فیزیکی شهر بوده است به‌گونه‌ای که جمعیت این شهر بنا بر اطلاعات مرکز آمار ایران، از ۱۷۲۷۷۲ نفر در سال ۱۳۸۵ به ۲۲۸۹۳۱ نفر در سال ۱۳۹۵ رسیده است. این افزایش جمعیت، نیاز به زمین را برای تأمین محل سکونت و خدمات موردنیاز شهروندان را بیشتر می‌کند درنتیجه اگر متغیرهای رشد شهر بجنورد شناسایی نشود و همچنین پیش‌بینی رشد و توسعه شهر با توجه به روش‌های دقیق و مناسب انجام نگیرد، ممکن است رشد شهر منجر به تغییر کاربری اراضی مطلوب و آسیب دیدن محیط‌زیست شود. در همین راستا، در این پژوهش، با دو سؤال محوری که «مهم‌ترین متغیرهای رشد شهری بجنورد چیست؟ و بر اساس این متغیرها، چگونه می‌توان رشد و توسعه شهر بجنورد را مدل‌سازی و پیش‌بینی نمود؟» سعی شده است تا با بهره از ویژگی‌های روش اتوماتای سلولی توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی و داده‌های سنجش‌ازدور، مدلی ساده و درعین‌حال قدرتمند، جهت شبیه‌سازی توسعه شهری بجنورد، ایجاد گردد. نتایج چنین مدل‌سازی‌ای، بدون شک به‌عنوان یک ابزار مناسب، جهت اخذ تصمیم بهینه و سیاست‌گذاری‌های هدفمند، در اختیار برنامه‌ریزان و مدیران شهری، قرار خواهد گرفت.

مبانی نظری

موضوع کاربری/ پوشش زمین (LULC[1]) و تغییرات آن به‌عنوان عاملی اساسی در نحوه کارکرد نظام‌های محیطی، اقتصادی و اجتماعی، توجه فزاینده‌ای را از جانب محققان در حوزه‌های مختلف علمی از قبیل برنامه‌ریزی شهری، محیط‌زیست، اقتصاد، منابع طبیعی و جامعه‌شناسی به خود جلب کرده است. مطالعات مربوط به کاربری/پوشش زمین باوجود تنوع در مقیاس‌های زمانی و فضایی دربرگیرنده موضوعاتی از قبیل نظریه‌های فضایی و غیر فضایی کاربری/پوشش زمین، دلایل تغییرات و پیامدهای تغییر کاربری/پوشش زمین، روش‌شناسی و مطالعات موردی به‌منظور تدارک رویکردی یکپارچه برای تحلیل تغییرات پوشش/کاربری زمین است (داداش‌پور و همکاران،۱۳۹۸:۴۰). بنابراین می‌توان بااطلاع از روند تغییرات کاربری اراضی، در راستای هدایت اکوسیستم به سمت تعادل قدم برداشت. تغییر کاربری زمین، فرآیندی است که درنتیجه پدیده‌های بیوفیزیکی و اقتصادی – اجتماعی شکل می‌گیرد و به مکان جغرافیایی، مقیاسی، اندازه زمین و وضعیت فعلی کاربری زمین، ارتباط و وابستگی پیدا می‌کند. کار رایج مدل‌سازان در این حوزه، توضیح و تشریح فرآیند مذکور بر اساس یک سری مفاهیم و مکانیسم‌های خاص است. درنتیجه، مفاهیم تغییرات کاربری زمین از یک سری اصول محوری تشکیل‌شده است که می‌توان تصور کرد فرآیندهای دنیای واقعی بر اساس این اصول عمل می‌کنند. در ادامه، این اصول و مفاهیم در قالب الگوریتم‌هایی پیاده‌سازی می‌شوند که این الگوریتم‌ها، مدل‌های مختلف تحلیلی را شکل می‌دهند. درواقع، یک الگوریتم و یا یک مدل

1 . Land use and land cover

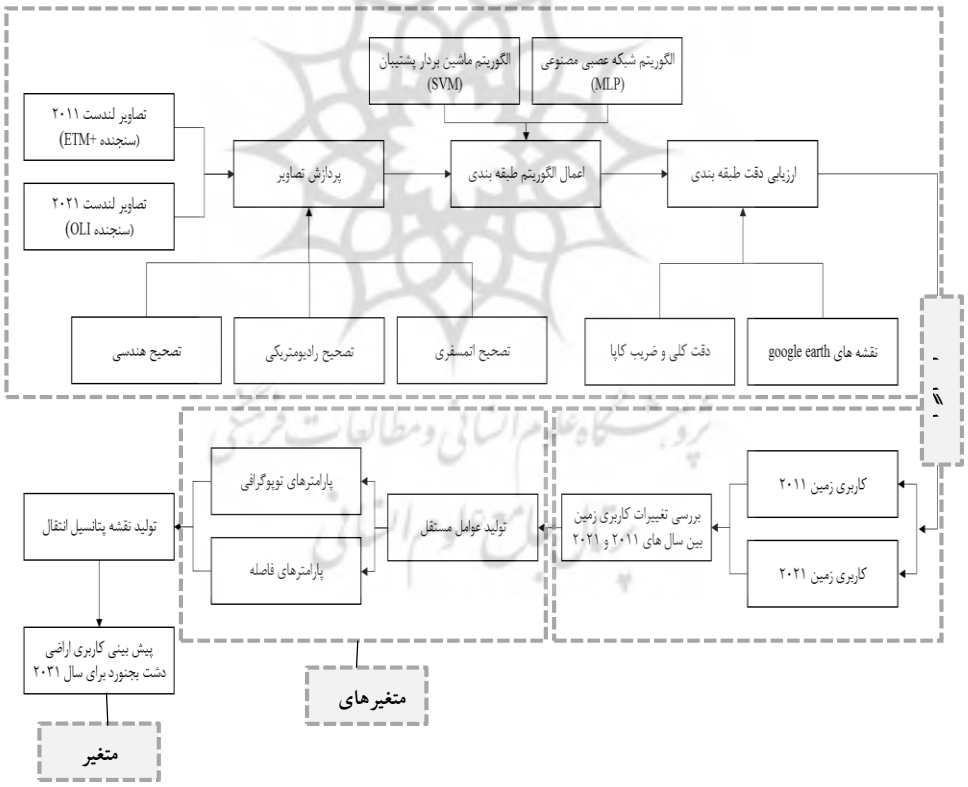
شبیه‌سازی، چیزی به‌غیراز مفاهیم و اصول محوری که در قالب قوانین محاسباتی پیاده‌سازی شده است، نیست(مسگری و جبل عاملی، ۱۳۹۵: ۷۶).

یکی از مسائل مهم در حوزه برنامه‌ریزی شهری، چگونگی رشد و توسعه فضایی شهر و الگوی حاصل از آن است. توسعه فضایی به‌عنوان رهیافتی نوین در برنامه‌ریزی، ایجادکننده اثرات مثبت و منفی بر محیط پیرامون خود است؛ از بین رفتن پوشش گیاهی و تخریب خاک ازجمله این اثرات منفی است. همچنین رشد سریع جمعیت و توسعه اقتصادی و به‌تبع آن افزایش شهرنشینی منجر به ایجاد تأثیرات گسترده‌ای بر منابع زیست‌محیطی و زمین‌های با ارزش کشاورزی از طریق تبدیل آن به مناطق ساخته‌شده می‌شود. ازاین‌رو یکی از چالش‌های اساسی تمامی کشورها در خصوص دستیابی به توسعه پایدار حفاظت از منابع طبیعی و استفاده متعادل از آن‌هاست (دبیری و همکاران، ۱۳۸۸: ۲۱۵). با افزایش رو به رشد جمعیت بخصوص در کشورهای درحال‌توسعه، پیش‌بینی می‌شود که میزان نیاز جهانی به غذا در طول سال‌های ۱۹۹۰–۲۰۳۰ دو برابر شده و حتی در کشورهای درحال‌توسعه ۲,۵ تا ۳ برابر افزایش یابد (الگساندراتوس و هان[1] ۱۹۹۵: ۳۶۱). بنابراین از بین رفتن زمین‌های کشاورزی، اثرات فزاینده مهمی خواهد داشت. دراین‌بین مناطق کلان‌شهر به‌ویژه در کشورهای درحال‌توسعه با رشد سریع جمعیت در دهه‌های گذشته تأثیرات مخربی را با تغییرات در کاربری زمین محیط پیرامونی خود به محیط‌زیست وارد نموده‌اند(یو و همکاران[2] ۲۰۱۱: ۶۰۰). تا قبل از دهه ۱۹۵۰ میلادی بیشتر مدل‌های کاربری زمین‌بر اساس نظریه اقتصاد فضایی استوار بود (ونگ، ۲۰۱۲ :۲). یکی از قدیمی‌ترین این نظریه‌ها اجاره زمین ون‌تونن حلقه‌های تمرکز بود که به سال ۱۸۲۶ میلادی برمی‌گردد. بر اساس این نظریه، زمین‌های نزدیک به مرکز شهر با اشتیاق بیشتری مورداستفاده قرار می‌گیرند و هر چه از آن دور می‌شویم، ارزش اقتصادی زمین کم می‌شود (پیراتون و باکستر، ۱۹۷۴). از اواخر ۱۹۸۰، ابعاد فضایی به مدل‌های کاربری زمین وارد شد؛ که باعث شد مدل‌های فضایی کاربری زمین به‌عنوان چارچوب غالب مدل‌های تغییر معرفی شوند؛ در این مدل‌ها، سیستم کاربری زمین به‌عنوان سیستم پیچیده متشکل از تعامل اجزای فضایی شناخته می‌شد (باتی و همکاران،۱۹۹۷ : ۱۶۲). شاید اولین فردی که اقدام به بررسی و انتشار مدل‌ها کرد، باکر[3](باکر, ۱۹۸۹، ۱۱۳–۱۱۱) باشد که درزمینه چشم‌انداز اکولوژی، با تأکید بر تغییر پوشش زمین مطالعه خود را انجام داد؛ وی بر اساس هدف و جزئیات موردتوجه در مدل‌ها آن‌ها را دسته‌بندی کرده است؛ این دسته‌بندی، سه نوع مدل را بیان می‌کند: مدل چشم‌انداز کلی، مدل چشم‌انداز توزیعی و مدل‌های فضایی چشم‌انداز. در سال ۱۹۹۷ لمبین[4]مدل‌های کاربری زمین را به مدل‌های ریاضی، آماری و مدل‌های شبیه‌سازی دسته‌بندی می‌کند(لمبین, ۱۹۹۷: ۳۹۳–۳۷۵). یک سال بعد یعنی در سال ۱۹۹۸ کایمووِیتز و آنجلسن[5]با روش مشابه بر روی مدل تغییرات کاربری زمین در توسعه خرد منطقه به‌خصوص در زمینه جنگل‌زدایی تحقیقات گسترده‌ای را انجام داد.دو نوع اصلی مدل‌های تغییر کاربری زمین را بیان داشتند: مدل‌های نوع رگرسیونی (مدل‌های برآورد تجربی) و مدل‌های شبیه‌ساز بر پایه قوانین انتقال. سپس در سال ۲۰۰۲ آگروال و دیگران[6]۱۹مدل در تغییر کاربری زمین را شناسایی می‌کنند. آن‌ها با مشخص کردن

1 - Alexandratos & Haen
2 - Yu etal
3- Baker
4- Lambin
5- Kaimowitz and Angelsen
6- Agarwal et al.

نوع مدل، اجزا و نقاط قوت و ضعف آن‌ها به تبیین ویژگی‌های فضایی، زمانی و تصمیم‌سازی فردی مدل‌ها پرداخته‌اند (اگروال و دیگران , ۲۰۰۲: ۶۱).

گیست و لمبین[1]در سال ۲۰۰۲ مدل‌های تغییر کاربری زمین را به ۲ گروه مدل‌های تجربی متناسب و مدل‌های شبیه‌سازی فرآیند تقسیم می‌کند (اگیست و لمبین , ۲۰۰۲، ۱۵۰-۱۴۳) که گروه اول تأثیرات تصمیم‌گیری و فرآیندهای مختلف را بر کاربری زمین‌بررسی می‌کنند و نشان‌دهنده تغییر کاربری زمین در چه مکانی، چه مقداری و چه نوعی است؛ و گروه دوم تبدیل نتایج به‌دست‌آمده از تغییر بیوفیزیکی و تصمیم‌گیری به داده‌های فضایی کار شبیه‌سازی را انجام می‌دهد. امروزه یکی از مؤثرترین و قدرتمندترین مدل‌های پیش‌بینی و تخمین کمی تغییرات کاربری زمین مدل زنجیره مارکوف است(جیونگ,[2] ۲۰۱۷: ۴۲۱). مدل زنجیره مارکوف بر اساس پیشرفت فرآین تصادفی مارکوف است که تغییرات از یک حالت به حالت دیگر را پیش‌بینی می‌کند(آل شریف و پرادهان[3], ۲۰۱۴: ۴۲۹۵). مدل زنجیره مارکوف معمولاً برای مدل و شبیه‌سازی تغییرات،ابعاد و رند کاربری زمین استفاده می‌شود. مدل مارکوف تغییر در کاربری زمین را توسط احتمالات انتقال منطقه را از یک وضعیت به وضعیت دیگر در طول یک دوره زمانی مشخص تجزیه‌وتحلیل می‌کند(لیپینگ و همکاران[4], ۲۰۱۸: ۶). درمجموع می‌توان مدل مفهومی پیش‌بینی کاربری زمین دشت بجنورد در افق مدنظر پژوهش حاضر را این‌گونه (به‌قرار شکل ۱) ترسیم نمود:



شکل ۱. مدل مفهومی نحوه پیش‌بینی کاربری اراضی دشت بجنورد (سال ۲۰۳۱) و تغییرات کاربری زمین

1 . Geist & Lambin,
2 . Jeong
3 . Al-sharif & Pradhan
4 . Liping etal

در سال‌های اخیر موضوع مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در بررسی گسترش شهرها بسیار موردتوجه بوده که در ادامه به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌شود: پری‌ایتنو و همکاران (۲۰۲۰)، پیش‌بینی استفاده از زمین در منطقه را موردپژوهش قرار می‌دهند. طبق نتایج ایشان، پیش‌بینی کاربری زمین دارای الگوی توسعه خطی در شبکه‌های جاده‌ای گسترده و شهرک‌های مسکونی است؛ به‌نحوی‌که توسعه شهرک‌های مسکونی ۱۳/۶۲ درصد و توسعه صنعتی ۷/۲۰ درصد رشد یافته‌اند. آنند و اوینم[1](۲۰۲۰)، پیش‌بینی پوشش اراضی و کاربری اراضی آینده را با تأکید ویژه بر شهرنشینی و تالاب‌ها، موردبررسی قرار می‌دهند. نتایج مطالعات ایشان نشان می‌دهد که سطح زمین‌های آبی، کشاورزی و منطقه ساخته‌شده به ترتیب ۱۵/۹۳، ۲/۴۲ و ۱۱/۵۸ درصد در سال ۲۰۱۷ نسبت به وضعیت اولیه کاربری زمین در سال ۲۰۰۷، افزایش‌یافته است. همچنین می‌توان مشاهده کرد که کاهش در تالاب‌ها، تالاب‌های علفی و جنگل به ترتیب ۶/۰۸ درصد، ۲۸/۶۵ درصد و ۰/۵۵ درصد وجود دارد.

بربروگلو و همکاران[2](۲۰۱۶) باهدف ارزیابی کاربرد خودکاره سلولی[3](CA) در مدل‌سازی شهری برای رسیدن به فهم جامعی از این مدل‌ها در پدیده‌های شهری به مقایسه مدل‌های رایج در مدل‌سازی توسعه شهری پرداختند. این مدل‌ها شامل زنجیره مارکوف[4] اسلوث[5] مدل پویایی محیطی[6] رگرسیون لجستیک[7] رگرسیون درختی[8] و شبکه عصبی مصنوعی[9] بود. این پژوهشگران برای انجام مدل‌سازی منطقه آدانا[10] در ترکیه را انتخاب کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که مدل‌های اسلوث و شبکه عصبی مصنوعی نتایجی با دقت بالاتر را ارائه می‌دهند. هان و جیا[11](۲۰۱۶)، اشاره می‌کنند که دقت مدل ماتریس زنجیره مارکوف برای پیش‌بینی فرآیندهای تغییر کاربری زمین شهری در مقایسه با سایر مدل‌ها کافی است. بر این اساس سه سناریو برای تغییر کاربری زمین و پیش‌بینی آن ارائه می‌دهند. نتایج شبیه‌سازی مطالعات ایشان نشان داد که یک الگوی گسترده شهری در آینده در نمونه فوشان[12] غالب خواهد بود، درحالی‌که توسعه منطقه بندی، با حفظ ویژگی‌های اکولوژیکی در مناطق روستایی-شهری، تخریب محیط‌زیست شهرداری فوشان را کاهش می‌دهد. مایماتیجیانگ و همکاران[13](۲۰۱۵)، ضمن انجام پژوهشی پیرامون تغییر کاربری زمین با تأکید بر داده‌های سنجش‌ازدور و داده‌های اجتماعی، نشان می‌دهند که سلول‌های شبکه پیشنهادی‌شان به ترکیب قوی داده‌های سنجش‌ازدور و داده‌های اجتماعی و اقتصادی منجر شده است که این خود باعث می‌شود که دانش ما از پویایی رشد شهری از هر دو مقیاس فضایی و زمانی و ارتباط آن با تغییر جمعیت، بیش‌ازپیش باشد. کانچانامالا و سکار[14](۲۰۱۴)، نیز در پژوهش خود، متغیرهایی که بر تغییر کاربری زمین شهری تأثیر می‌گذارند را مشخص نمودند و یک مدل شبیه‌سازی کاربری زمین‌برای تدوین سناریوهای آینده استفاده از زمین ارائه کرده‌اند. متغیرهای این پژوهش عبارت‌اند از: دسترسی به شبکه حمل‌ونقل، کیفیت فیزیکی و در

1 . Anand & Oinam
2 . Berberoglu et
3 . Cellular automata
4 . Markov chain
5 . SLEUTH
6 . Dinamica Enviroment for Geoprocessing Object model
7 . Logistic regression
8 . Regression tree
9 . Artificial Neural Networks
10 . Adana
11 . Han & Jia
12 . Foshan
13 . Maimaitijiang
14 . Kanchanamala & Sekar

دسترس بودن زمین، نزدیکی به مراکز کار، برنامه‌ها و سیاست‌ها. وربرگ و همکاران[1](۲۰۰۶) در پی تغییرات سریع و گسترده کاربری زمین روستایی در اروپا و تأثیرات آن بر کیفیت چشم‌انداز و منابع طبیعی، تأثیرات توسعه اقتصادی و فنّاورانه در سطح جهانی را بر تغییرات کاربری زمین در سطح محلی مدل‌سازی کردند. در این پژوهش از مدل‌های اقتصاد جهانی[2](GTAB) و مدل ارزیابی یکپارچه[3](IMAGE) برای محاسبه زمین‌های موردنیاز و مدل CLUE-s برای اختصاص این تقاضا استفاده شد. در نتایج نقاط داغ تغییرات چشم‌انداز که نیازمند توجه بیشتر بود شناسایی‌شده و تأثیرات این تغییرات بر الگوهای روستایی مشخص شد. سان و همکاران[4](سال ۲۰۱۲) در نانچانگ چین با ترکیب CLUE-S و رگرسیون لجستیک و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ۱۹۹۹۵ و ۲۰۰۵، ضمن شناسایی عوامل محرک، به مدل‌سازی کاربری زمین‌بر ای سال ۲۰۱۷ اقدام نمودند.

عبداللهی و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی به مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از شبکه عصبی پرسپترون در نمونه لاهیجان می‌پردازد. وی بر اساس نقشه‌های تغییر کاربری بین بازه سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۷، و لحاظ چهار متغیر دیگر شامل فاصله از جاده، فاصله از شالیزار، فاصله از جنگل و باغات و فاصله از اراضی ساخته‌شده، شبیه‌سازی تغییرات کاربری زمین را انجام می‌دهد و درنهایت، مهم‌ترین متغیر را فاصله از اراضی ساخته‌شده، می‌داند. جعفرزاده و همکاران (۱۳۹۷)، برای مدل‌سازی تغییرات ساختار شهر قائم‌شهر، از مدل‌سازی نیروی انتقال با استفاده از پرسپترون چندلایه شبکه عصبی مصنوعی و ۱۱ متغیر استفاده می‌نمایند. این متغیرها عبارت‌اند از: فاصله از جاده، فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از پهنه آبی، فاصله از باغ، فاصله از اراضی بایر، فاصله از اراضی کشاورزی، فاصله از پوشش درختی، فاصله از مراکز صنعتی، شیب، ارتفاع و کاربری زمین. طبق نتایج ایشان، کاربری‌های جاده، زمین‌های بایر، باغات، آموزشی، مذهبی، پهنه آبی، پارک و فضای سبز، صنعتی، ورزشی و مسکونی، روندی افزایشی داشته است. اما کاربری کشاورزی دارای کاهش بوده است. نهایتاً برای سال ۱۴۰۲، پیش‌بینی افزایش کاربری مسکونی و باغ و کاهش کاربری کشاورزی را دارد. شکوهی فرد و اسماعیلی (۱۳۹۵)، مدل‌سازی و پیش‌بینی روند گسترش و توسعه فیزیکی شهرها به روش اتوماتای سلولی توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی و داده‌های سنجش‌ازدور را در نمونه خرم‌آباد، انجام می‌دهند. پارامترهای کمکی در این پژوهش، ارتفاع، شیب و فاصله از راه‌های اصلی است. هرچند ایشان نتیجه‌گیری می‌کنند که مدل‌سازی موفق نبوده و به‌طورکلی نمی‌توان گفت که الگوی توسعه شهری همانند الگوی اتوماتای سلولی دارای یک الگوی ثابت است و الگوی تغییر هر سلول در یک‌زمان، وابسته به شرایط محیطی در آن زمان است و هر سلول شرایط محیطی خاص خود را دارد. پژوهش دیگر، مربوط به تحقیقی از یوسفی و اشرفی (۱۳۹۵) است که مدل‌سازی رشد شهری بجنورد با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور بر اساس شبکه عصبی مارکوف و مدل‌سازی تغییرات زمین (برای سال ۱۴۱۰)، انجام داده‌اند. هدف اصلی محققان در این پژوهش، تلفیق طبقه‌بندی شبکه عصبی مصنوعی چندلایه و مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین‌بر اساس چند متغیر شامل کاربری زمین، فاصله از جاده، شیب و متغیرهای کیفی است. نتیجه و خروجی اصلی این نوشتار، اثبات افزایش اراضی شهری در سال ۱۳۹۲ نسبت به سال ۱۳۸۴ و پیش‌بینی این روند رشد برای سال ۱۴۱۰، است. در ادامه و در جدول ۱، متغیرهای مؤثر بر تغییرات کاربری زمین در پژوهش‌های مذکور ارائه‌شده است.

1 . Verburg
2 . Global economic model
3 . Integrated assesment model
4 . X. Sun

جدول ۱. متغیرهای مؤثر بر تغییرات کاربری زمین در پیشینه پژوهش

محققین	متغیرها	نتیجه پژوهش
عبداللهی و همکاران (۱۳۹۹)	فاصله از جاده، فاصله از شالیزار، فاصله از جنگل و باغات، فاصله از اراضی ساخته‌شده	مهم‌ترین متغیر مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی فاصله از اراضی ساخته‌شده است.
جعفرزاده و همکاران (۱۳۹۷)	فاصله از جاده، فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از پهنه آبی، فاصله از باغ، فاصله از اراضی بایر، فاصله از اراضی کشاورزی، فاصله از پوشش درختی، فاصله از مراکز صنعتی، شیب، ارتفاع، کاربری زمین	پیش‌بینی صورت گرفته با استفاده از مدل شبکه عصبی پرسپترون چندلایه، نسبت به مطالعات گذشته و مدل‌های دیگر به واقعیت‌های زمینی نزدیک‌تر است و روند توسعه موجود را بهتر نشان می‌دهد.
شکوهی‌فرد و اسماعیلی (۱۳۹۵)	ارتفاع، شیب و فاصله از راه‌های اصلی	مدل‌سازی موفق نبوده و به‌طورکلی نمی‌توان گفت که الگوی توسعه شهری همانند الگوی اتوماتای سلولی دارای یک الگوی ثابت است و الگوی تغییر هر سلول در یک‌زمان، وابسته به شرایط محیطی در آن زمان است و هر سلول شرایط محیطی خاص خود را دارد.
یوسفی و اشرفی (۱۳۹۵)	کاربری زمین، فاصله از جاده، شیب و متغیرهای کیفی	بررسی تغییرات و پیش‌بینی کاربری اراضی نیز، گویای رشد توسعه مناطق شهری و متقابلاً کاهش کلاس‌های دیگر کاربری اراضی بوده و با توجه به نتایج حاصل این روند در آینده نیز ادامه خواهد داشت.
کانچانامالا و سکار (۲۰۱۴)	دسترسی به شبکه حمل‌ونقل، کیفیت فیزیکی و در دسترس بودن زمین، نزدیکی به مراکز کار، برنامه‌ها و سیاست‌ها	مدل محاسباتی برای کاربردهای شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی با در دسترس بودن داده‌های تاریخی دقیق، معتبر است. لذا محدودیت صحت داده‌ها باید برطرف شود و این از طریق به‌روزرسانی داده‌ها در فواصل زمانی منظم توسط مقامات برنامه‌ریزی، ممکن خواهد بود.

پس از بررسی پیشینه مرتبط با موضوع پژوهش، می‌توان بیان کرد نوشتار حاضر برای طبقه‌بندی تصاویر از دو روش شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه و الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (SVM) استفاده کرده است و پس از مقایسه این دو روش، تصمیم بر استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی، نموده است؛ مادامی‌که برخی پژوهش‌ها مستقیماً بر نتایج روش شبکه عصبی مصنوعی تکیه داشته‌اند؛ به‌عبارت‌دیگر بدون در نظر گرفتن شرایط نمونه موردی مطالعه، مستقیماً از این روش استفاده کرده‌اند. این در حالی است که می‌توان پژوهش‌هایی را یافت که روش SVM، برحسب شرایط، طبقه‌بندی بهتری از کاربری‌ها را منتج شده است. همچنین متغیرهای انتخابی پیش‌بینی رشد شهری در کنار دقت تصاویر ماهواره‌ای استفاده‌شده و بهره از روش اتوماتای سلولی، مهم‌ترین وجه تمایز پژوهش حاضر خواهد بود. درمجموع، نگرش شهرسازانه به موضوع و علم به روند توسعه شهر بجنورد در شناسایی متغیرهای اصلی پیش‌بینی رشد و توسعه شهر بجنورد، دیگر وجه تفاوت این نوشتار خواهد بود. لذا سعی شده است تا با کندوکاو در اسناد بالادست نشان‌دهنده روند توسعه شهر، شاخص‌هایی انتخاب شوند که بیشترین قابلیت مدل‌سازی رشد شهر بجنورد را دارا باشند (صرفاً بر شاخص‌های سایر پژوهش‌ها تکیه نشده است) و درعین‌حال، نتایج در ساختار فضایی شهر مدنظر قرارگرفته و شناسایی محورهای بیشتر آسیب‌دیده و تحت تأثیر گسترش شهر بجنورد، در اهداف تحقیق، دیده‌شده است؛ آنچه در سایر پژوهش‌ها کمتر یافت شد.

روش پژوهش

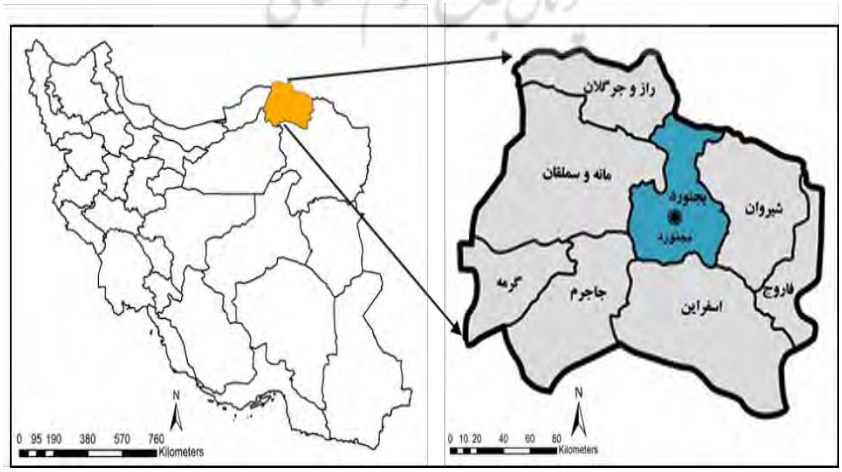
پژوهش حاضر با روش توصیفی- تحلیلی و با استفاده از روش اتوماتای سلولی توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی و داده‌های سنجش‌ازدور، انجام‌شده است. روش‌هایی که برای جمع‌آوری اطلاعات و داده‌های پژوهش حاضر مورداستفاده

قرار می‌گیرد همان‌گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌گردد، شامل روش کتابخانه‌ای، مطالعات اسنادی و روش پیمایشی است. داده‌های تحقیق از تصاویر ماهواره‌ای مربوط به سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۲۱ (یک بازه ده‌ساله) و همچنین نقشه‌های توپوگرافی دشت و شهر بجنورد در کنار برخی داده‌های فضایی منطقه شامل قیمت زمین، فاصله از کاربری‌ها، فاصله از گسل، شیب، ارتفاع، فاصله از راه و فاصله از مناطق ساخته‌شده، تهیه‌شده است. منبع و سازمان اخذ این داده نیز مربوط به سازمان نقشه‌برداری، گوگل ارث و سازمان نقشه‌برداری ایران است.

جدول ۲. روش گردآوری و سازمان اخذ داده‌ها

داده	نوع داده	روش گردآوری	سازمان اخذ داده
تصاویر ماهواره‌ای ۲۰۱۱، ۲۰۲۱ دشت بجنورد	داده‌های تصویری و سنجش‌ازدور (باکیفیت ۳۰ متر)	اسنادی، کتابخانه‌ای، پیمایشی	سازمان نقشه‌برداری‌های زمین‌شناسی (USGS)، گوگل ارث، سازمان نقشه‌برداری ایران
نقشه‌های توپوگرافی دشت و شهر بجنورد	داده‌های سنجش‌ازدور و مدل رقومی ارتفاعی	اسنادی، کتابخانه‌ای	سازمان نقشه‌برداری‌های زمین‌شناسی (USGS) و سازمان نقشه‌برداری ایران
داده‌های فضایی منطقه	وکتوری و زمین مرجع	اسنادی و کتابخانه‌ای	مرکز GIS ایران

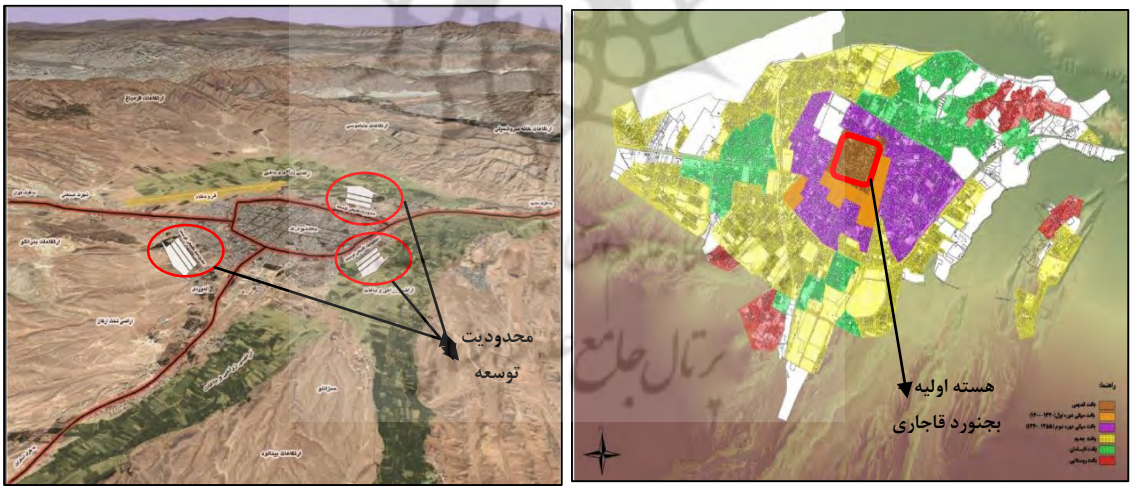
محدوده موردمطالعه، شهر بجنورد، مرکز استان خراسان شمالی است (شکل شماره ۲، موقعیت شهر بجنورد در کشور و استان، نشان می‌دهد). شهر بجنورد، در موقعیت جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۷ دقیقه و ۲۷ ثانیه تا ۳۷ درجه و ۲۹ دقیقه و ۳۱ ثانیه عرض شمالی و ۵۷ درجه و ۱۷ دقیقه و ۴ ثانیه تا ۵۷ درجه و ۲۱ دقیقه و ۳۶ ثانیه طول شرقی، در دشت بجنورد به مساحت ۱۰۰ کیلومترمربع سطح هموار، واقع‌شده است که از شمال به ارتفاعات شمشیرته، قره‌باغ و کوه آخور، از شرق به ارتفاعات خانه سروشمیلی، از جنوب به ارتفاعات آلاداغ- بینالود و از غرب به بلندی‌های بدرانلو، محدود می‌گردد. ارتفاعات و کوه‌های بخش غربی و جنوب غربی، در بخش‌های شمالی و غربی و شرقی بافاصله از شهر قرارگرفته‌اند که حدفاصل محدوده شهر و سکونتگاه‌های پیرامونی و ارتفاعات را نیز در بخش‌هایی از شمال و شرق، اراضی کشاورزی و باغات و اراضی بایر، پوشانده‌اند. رودخانه‌ای فیروزه در جنوب، بازخانه و حمزانلو در شرق و در فاصله‌ای دورتر، رودخانه اترک در پیرامون شهر، جریان دارند. جهت شیب کلی شهر، نیز از سمت جنوب غرب و جنوب به سمت شمال غرب و شمال، می‌باشد و جهت باد غالب، نیز از سمت غرب می‌باشد (مهندسین مشاور نقش محیط، ۱۳۸۹: ۲۶ و ۲۷). ازنظر موقعیت نسبی شهر بجنورد، در ۲۷۰ کیلومتری سمت شمال غرب شهر مشهد و ۳۲۰ کیلومتری سمت شرق شهر گرگان، واقع‌شده است.



شکل ۲. موقعیت شهر بجنورد در کشور و استان خراسان شمالی، مأخذ: موسسه آموزش عالی اشراق، ۱۳۹۸: ۱۸۰ و ۱۸۱

شهر بجنورد به دلیل ویژگی‌های جغرافیایی، مرکزیت ناحیه‌ای و محل تمرکز فعالیت‌های اقتصادی، سیاسی، اداری و فرهنگی منطقه، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در مطالعه تاریخی شهر بجنورد، درواقع با یک شهر توسعه‌یافته از دوران قاجار سروکار داریم. جدا از الگوی مربعی شکل شهر بجنورد در این دوره و عناصر شهری (برج و بارو، باغات، ...)، در این نوشتار سعی شده است تا روند توسعه شهر، مورد مداقه قرار بگیرد تا متغیرهای موثر بر توسعه شهر، شناسایی و در روند مدل‌سازی و پیش‌بینی توسعه شهر بجنورد، مورداستفاده قرار بگیرد.

شرایط طبیعی منطقه‌ای که شهر در آن واقع‌شده و محدودیت‌های فیزیکی موجود در اطراف آن، تعیین‌کننده میزان زمین‌ها با قابلیت توسعه شهری می‌باشد. از یک‌سو کمبود زمین‌های شهری و مناسب برای توسعه موجب محدودیت در عرضه مسکن گردیده و این امر موجب رشد قیمت زمین و مسکن خواهد شد و از سوی دیگر نادیده گرفتن اثرات عواملی همچون جنس خاک، شیب زمین، بالا بودن سطح آب‌های زیرزمینی، موقعیت دشت‌های سیلابی و ... در امر توسعه، می‌تواند مسائل حادی را در این زمینه ایجاد نماید (موسسه آموزش عالی اشراق، ۱۳۹۸: ۲۱۵). قرارگیری اراضی کشاورزی و ارتفاعات در پیرامون شهر، به لحاظ محیطی و طبیعی، شهر بجنورد را با تحدیدهای توسعه و گسترش مواجه ساخته است. در حال حاضر، توسعه‌های پراکنده با تعرض به اراضی کشاورزی و باغات، در حال شکل‌گیری و استقرار می‌باشد که در طول زمان، هاله سبز پیرامون شهر نیز با ادامه این روند، از بین خواهد رفت (مهندسین مشاور نقش محیط، ۱۳۸۹: ۲۷). بافت‌های مسکونی پیرامونی شهر، در سطح روستایی هستند که به‌طور ناهنجاری، سعی بر تقلید از سیمای شهری را دارند. بربرقلعه، اسلام‌آباد، معصوم‌زاده و محله نیروگاه، در این رده قابل‌ذکر است. شکل شماره ۳، ضمن به تصویر کشیدن محدودیت‌های توسعه شهر بجنورد (تصویر چپ)، انواع بافت‌های شهری بجنورد را نشان می‌دهد. بافت‌های نابسامان، روستایی و برخی بافت‌های جدید در موقعیت اراضی زراعی پیرامون شهر، سبب رشد ناموزون شهر بجنورد به اطراف، شده‌اند.



شکل ۳. محدودیت‌های طبیعی شهر بجنورد (سمت چپ)، انواع بافت‌های شهری بجنورد (سمت راست)، مأخذ: نگارنده بر اساس مهندسین مشاور نقش محیط، ۱۳۸۹: ۲۸- ۳۸

به‌منظور به تصویر کشیدن الگوهای فضایی زمانی کاربری زمین در منطقه موردمطالعه از داده‌های آرشیو سنجش‌ازدور استفاده شد. تصاویر مولتی اسپکتورال لندست ۷ (ETM+) و لندست ۸ (OLI) ، بجنورد (path 161, row 034) دانلود شده است. جزئیات داده‌ای لندست برای سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۲۱ اخذشده است، در جدول شماره ۳، ذکرشده است.

جدول ۳. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای

کیفیت فضایی	منبع داده (سنسور)		تاریخ تصویر
۳۰ متر	Path 161: LANDSAT7(ETM+)	02-MAY	۱۲۰۱۱
	ROW 034: LANDSAT7(ETM+)	02-MAY	
۳۰ متر	Path 161:LANDSAT8(OLI)	1-JULY	۲۲۰۲۱
	ROW 034:LANDSAT8(OLI)	1-JULY	

پس از اخذ تصاویر ماهواره‌ای و انجام پیش‌پردازش‌های مختلف بر روی آن‌ها به مرحله طبقه‌بندی کاربری زمین می‌رسیم. ماهواره‌ای که در این پژوهش استفاده‌شده است، سری ماهواره‌های لندست ۷ و ۸ می‌باشد. این ماهواره دارای دو سنجنده OLI و ETM با ۹ باند طیفی و TIRS با دو باند طیفی است که از سطح زمین تصویربرداری می‌نماید. تصحیحاتی که در این پژوهش استفاده‌شده‌اند به شرح ذیل است:

۱. کنترل صحت رادیو متریک تصاویر[3]: گهگاه به دلیل مشکلاتی که برای سیستم الکترونیکی سنجنده‌ها اتفاق می‌افتد، برخی از خطوط پیکسل‌های مربوط به یک باند و یا تصویر برداشت نمی‌شوند و عدد آن‌ها صفر می‌شود. در این حالت باید ابتدا این موارد شناسایی‌شده و سپس اقدام به برطرف کردن آن‌ها نمود.

۲. تصحیح اتمسفری تصویر[4]: خطای اتمسفری در اثر جذب و پراکنش ذرات اتمسفری پیش می‌آید. خطاهای اتمسفری باعث محو جزئیات تصویر می‌شوند و به این وسیله از قدرت تفکیک مکانی سنجنده نیز می‌کاهند. بیشترین اثر اتمسفری مربوط به پراکنش است که وابستگی زیادی به طول‌موج دارد، بنابراین اثر اتمسفر در باندهای مختلف یک سنجنده با هم یکسان نیست. هرچه طول‌موج بیشتر شود اثر پراکنش اتمسفری نیز کمتر خواهد شد. زاویه دید سنجنده نیز عامل دیگری است که بر مقدار خطای اتمسفری موثر است.

۳. کنترل هم‌راستایی و تصحیح هندسی[5]: تصاویر در حالت خام دارای انواع خطاها می‌باشند. خطاهای هندسی باعث جابه‌جایی، تغییر شکل و وضعیت عوارض روی تصویر می‌گردند. لذا لازم است این خطاها از روی تصویر برداشته شوند یا کاهش یابند. تصاویر سنجش‌ازدور، برخلاف نقشه‌ها از ابتدا در یک سیستم مختصات مشخص قرار ندارند. تصحیح هندسی علاوه بر حذف و کاهش خطاهای هندسی یک سیستم، مختصات مشخص را نیز به تصویر اعمال می‌کند و تا حدی خصوصیات یک نقشه را ازنقطه‌نظر هندسی به تصویر می‌دهد.

۴. پس از تصحیحات و پیش‌پردازش‌های تصاویر ماهواره‌ای، طبقه‌بندی کاربری زمین آغاز می‌شود. طبقه‌بندی را می‌توان یک فرآیند تصمیم‌گیری دانست که در آن داده‌های تصویری به فضای کلاس‌های مشخص انتقال می‌یابند. روش‌های طبقه‌بندی را به‌طور مرسوم به دو دسته طبقه‌بندی‌های نظارت‌شده[6] و نظارت‌نشده[7] تقسیم می‌نمایند. روش‌های نظارت‌شده، به اطلاعات اولیه نظیر تعداد کلاس‌ها، خصوصیات آن‌ها و همچنین مقداری نمونه‌های معلوم از هر کلاس نیاز دارد. که در این پژوهش از روش‌های نظارت‌شده، برای طبقه‌بندی استفاده‌شده است. فرآیند کلی طبقه‌بندی به شرح ذیل می‌باشد:

۱- معادل زمانی این تاریخ به شمسی برابر ۱۲ اردیبهشت ۱۳۹۰ است.

۶- معادل زمانی این تاریخ به شمسی برابر ۱۰ تیر ۱۴۰۰ است.

3 . Radiometric correction
4 . Atmosphoric correction
5 . Geometric Correction
6 . Supervised Classification
7 . Unsupervised Classificatin

➢ تعریف کلاس‌ها: تعریف کلاس‌ها اولین قدمی است که در انجام طبقه‌بندی برداشته می‌شود و در همه مراحل بعدی طبقه‌بندی مؤثر خواهد بود. در این مرحله، عوامل متعددی دخیل می‌شوند و فاکتورهای مختلفی با تأثیر بر روند طبقه‌بندی، لیست نهایی کلاس‌ها را تغییر می‌دهند. از مهم‌ترین این عوامل می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: خواست کاربر، وضعیت منطقه، شباهت طیفی عوارض، اطلاعات و داده‌های موجود، میزان اهمیت کلاس‌ها، سطح پوشش، روش طبقه‌بندی. لیست نهایی کلاس‌ها در این پژوهش عبارت‌اند از: ساخته‌شده[۱]–کشاورزی[۲]– مراتع[۳]و بایر.[۴]

➢ انتخاب داده‌ها: پس‌ازاین که تعریف کلاس‌ها انجام شد و لیست نهایی کلاس‌ها تهیه گردید، نوبت به انتخاب داده‌های موردنیاز برای طبقه‌بندی می‌رسد. داده‌های غیر طیفی دامنه متنوعی از اطلاعات و داده‌های موجود را در برمی‌گیرند. بعضی از اطلاعات غیر طیفی در این تحقیق عبارت‌اند از: مرز عوارض، مدل ارتفاعی رقومی[۵] اطلاعات آماری، وضعیت اقلیمی، نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه، اطلاعات ذخیره‌شده در یک سیستم جغرافیایی[۶]در مورد اشیاء و غیره.

➢ انتخاب و اعمال الگوریتم طبقه‌بندی: مرحله پردازش و اعمال الگوریتم طبقه‌بندی مهم‌ترین بخش انجام طبقه‌بندی است. اگر داده‌های موردنیاز این مرحله در مراحل قبل فراهم نگردیده باشند، موفقیت این مرحله ممکن نخواهد بود. در این بخش، الگوریتم طبقه‌بندی مشخص و انتخاب خواهد شد، داده‌ها به طبقه‌بندی کننده معرف می‌شوند و درنهایت پس از انجام عملیات لازم، طبقه‌بندی صورت می‌گیرد. در این پژوهش با استفاده از ابزار ROI اقدام به نمونه‌گیری و آموزش الگوریتم می‌پردازیم. الگوریتمی که در این پژوهش به‌منظور طبقه‌بندی و آموزش استفاده می‌شود الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی[۷]و الگوریتم ماشین بردار پشتیبان[۸]است.

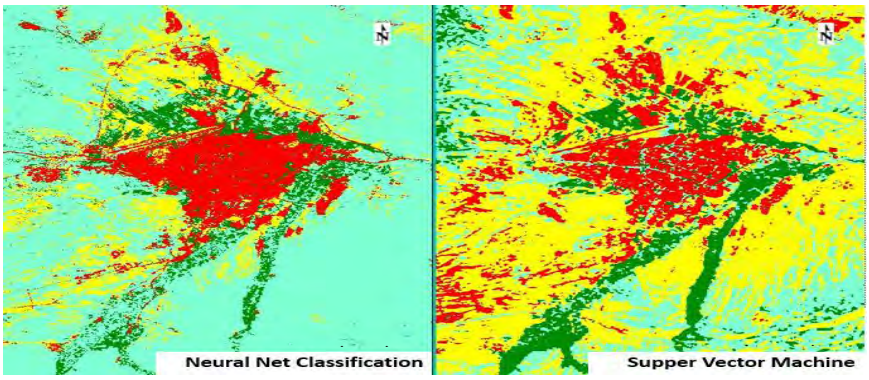
➢ شبکه عصبی مصنوعی پریستون چندلایه[۹] شبکه عصبی مصنوعی یکی از بهترین روش‌های داده‌کاوی است که در بحث مدل‌سازی تغییرات کاربری کاربرد دارد (کوآنگ، ۲۰۱۱: ۳۲۰). این روش‌ها امروزه به‌عنوان نسل جدیدی از سیستم‌های پردازش اطلاعات موردتوجه کارشناسان در محافل علمی و صنعتی قرارگرفته‌اند. به‌طور ساختاری شبکه عصبی حاوی یک لایه ورودی، یک یا چندلایه میانی و یک لایه خروجی است. انواع مختلف شبکه‌های عصبی با توجه به نوع ارتباط میان نرون‌ها، نوع الگوریتم یادگیری شبکه و نوع تابع محرک متفاوت است. با توجه به اینکه شبکه‌های عصبی مصنوعی مجموعه‌ای از نرون‌های به هم متصل هستند، بنابراین دارای معماری‌های متفاوت هستند و به‌طورکلی به دو گروه پیش خورانده و بازگشت کننده، تقسیم می‌شوند.

➢ طبقه‌بندی بر اساس الگوریتم ماشین بردار پشتیبان :[۱]به‌طور خلاصه، SVM یک روش یادگیری ماشین نظارت‌شده برای طبقه‌بندی است که می‌تواند داده‌ها را بر اساس تجزیه‌وتحلیل آماری بسیار پیچیده ترسیم کند. جداسازی بین کلاس‌ها با قرار دادن یک ابر صفحه به‌منظور جداسازی بهینه پیکسل‌های مختلف انجام می‌شود. این امر با استفاده از اطلاعات آموزشی و سپس به حداکثر رساندن جدایی بین کلاس‌ها انجام می‌شود؛ بنابراین، همه‌چیز بر اساس

1 . Urban/Built-up
2 . Cultivated-land
3 . Vegetation-cover
4 . Sand-Area
5 . DEM
6 . GIS
7 . Neural Net Classification
8 . Support Vector Machine(SVM)
9 . MLP
1 . Supper Vector Machine- SVM

سطح تصمیم‌گیری هیپرپروتون است که در آن جداسازی کلاس صورت می‌گیرد. درواقع یکی از جدیدترین روش‌های ارائه‌شده برای طبقه‌بندی، استفاده از روش SVM به‌عنوان روش نظارت‌شده است (هوانگ و همکاران، ۲۰۰۲: ۷۲۶).

در این پژوهش برای طبقه‌بندی از این دو روش به‌طور موازی استفاده شد، اما پس از بررسی و گرفتن خروجی با استفاده از نرم‌افزار ENVI متوجه شدیم روش شبکه عصبی مصنوعی از روش ماشین بردار دقیق‌تر میتوان کلاس‌های موجود در نقشه را از یکدیگر تفکیک کند (شکل شماره ۴). بنابراین از میان این دو روش الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی برای ادامه پژوهش انتخاب گردید.



شکل ۴. مقایسه تصویر طبقه‌بندی‌شده شهر بجنورد با استفاده از شبکه عصبی پریستون و ماشین بردار

پس از استخراج کاربری‌های اراضی به روش شبکه عصبی مصنوعی، نتایج حاصل، دقت سنجی شدند. برای این کار ۴۱۷ نقطه به‌صورت تصادفی بر روی تصاویر ایجاد شد و کاربری این نقاط توسط تصاویر گوگل ارث و نقشه‌های توپوگرافی سازمان نقشه‌برداری مشخص شدند. شایان‌ذکر است. با توجه به تحقیق کیانی و همکاران تصاویر نرم‌افزار گوگل ارث به‌منظور ارزیابی دقت طبقه‌بندی، از دقت مکانی بالایی برخوردار است(کیانی و همکاران، ۱۳۹۳: ۵۹). در رابطه با دقت طبقه‌بندی در این پژوهش، نقشه‌های خروجی با نقشه‌های گوگل ارث تطبیق داده‌شده. همچنین در طبقه‌بندی سال ۲۰۱۱ دقت کلی ۸۶ و ضریب کاپا ۸۱ و در سال ۲۰۲۱، دقت کلی ۸۸ و ضریب کاپا ۸۵ به دست آمد.

بحث و یافته‌ها

گام اول- محاسبه و برآورد تغییرات کاربری زمین در بازه سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱

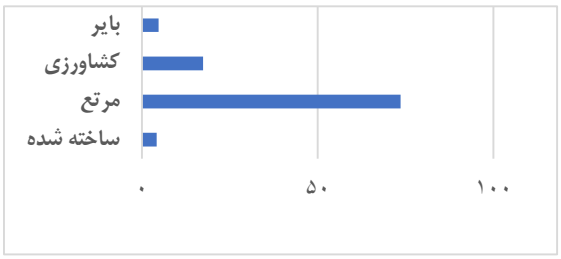
سطح زمین همواره در تغییر بوده و عوامل انسانی و طبیعی می‌تواند منجر به خسارت و تغییرات قابل‌توجهی در سطح زمین شود. تهیه نقشه و ارزیابی کمی تغییرات کاربری، نقش مهمی را در مدیریت زمین ایفا می‌نماید. در این بخش به بررسی تحولات کاربری‌های زمین از حیث جغرافیایی آن با توجه به داده‌های سنجش‌ازدور می‌پردازیم. هدف از بررسی تغییرات کاربری زمین، ارزیابی تغییرات کالبدی بر روی زمین در نحوه تغییر پوشش و تغییر کاربری زمین و همچنین ارائه وجه فنی با استفاده از روش‌های سنجش‌ازدور برای چگونگی تغییرات در یک بازه ۱۰ ساله که انتظار می‌رود بیشترین تغییر سطح کاربری اراضی در شهر بجنورد را نیز در برداشته باشد، است. بدین ترتیب، ابتدا تغییرات کاربری زمین در منطقه دشت بجنورد در طول یک دوره ۱۰ ساله از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ بررسی خواهد شد و تغییرات مساحتی و موقعیتی هر یک از کاربری‌های موجود در منطقه مشخص می‌شود.

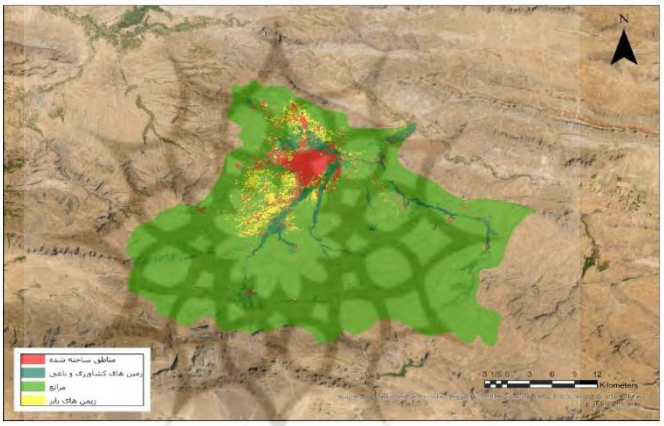
الف- سهم کاربری‌ها در سال ۲۰۱۱

مساحت هر یک از کاربری‌ها در سال ۲۰۱۱ در جدول شماره ۴ و شکل شماره ۵، مشخص‌شده است. در این سال بیشترین مساحت منطقه را، مرتع به خود اختصاص داده است که ۷۳٫۶ درصد مساحت کل اراضی را شامل می‌شود. در این دوره مناطق ساخته‌شده، ۴٫۲ درصد منطقه که مساحت آن ۵۳۷۴۸۹۰۱ مترمربع است را دربر می‌گیرد. به‌طورکلی مراتع بیشتر در مناطق جنوبی و شرقی محدوده می‌باشند و مناطق ساخته‌شده در بخش مرکزی و شمالی دشت بجنورد، همچنین اراضی کشاورزی در قسمت‌های مرکزی و شرقی واقع‌شده‌اند. نقشه نحوه استقرار کاربری‌های عمده در دشت بجنورد در قالب شکل شماره ۶، آورده شده است.

جدول۴. مساحت و درصد هر کاربری در سال ۲۰۱۱ ؛ شکل ۵. نمودار درصد سهم هر یک از کاربری‌ها در سال ۲۰۱۱

کاربری	مساحت (مترمربع)	درصد
ساخته‌شده	۵۳۷۴۸۹۰۱	۴/۲
مرتع	۹۴۱۸۸۵۵۰۸	۷۳/۶
کشاورزی	۲۲۲۶۷۴۰۱۹	۱۷/۴
بایر	۶۱۴۲۷۳۱۵	۴/۸
مجموع	۱۲۷۹۷۳۵۷۴۵	۱۰۰





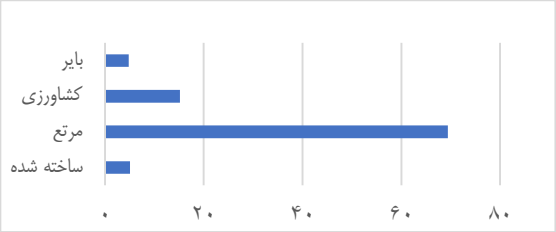
شکل ۶. کاربری زمین دشت بجنورد در سال ۲۰۱۱

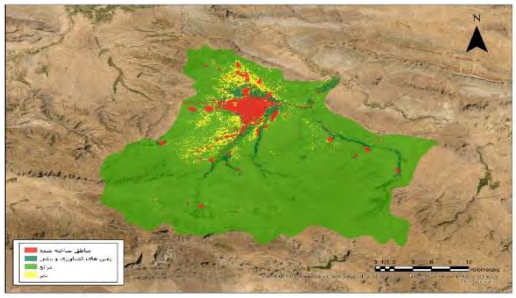
ب- سهم کاربری‌ها در سال ۲۰۲۱

در سال ۲۰۲۱ مساحت هر کاربری در جدول شماره ۵ و شکل شماره ۷، مشخص‌شده است. بر طبق داده‌های حاصله، مناطق ساخته‌شده ۶۵۲۶۶۵۲۲ مترمربع، کشاورزی ۱۹۴۵۱۹۸۳۳ مترمربع، مراتع ۸۸۸۱۳۶۶۰۷ مترمربع و بایر ۱۳۰۵۳۳۰۴۵ مترمربع را شامل می‌شود. سهم مراتع از کاربری زمین دشت بجنورد ۶۹/۴ درصد، بایر ۱۰/۳ درصد، کشاورزی ۱۵/۲ درصد و مناطق ساخته‌شده ۵/۱ درصد است. شکل شماره ۸، نحوه پراکندگی کاربری‌های کلان در دشت بجنورد را نشان می‌دهد. طبق این نقشه، و اطلاعات جدول، کاهش سطوح مرتع و کشاورزی و افزایش سطوح ساخته‌شده و بایر، مشهود است.

جدول ۵. مساحت و درصد هر کاربری در سال ۲۰۲۱؛ شکل ۷. درصد سهم هر یک از کاربری‌ها در سال ۲۰۲۱

کاربری	مساحت (مترمربع)	درصد
ساخته‌شده	۶۵۲۶۶۵۲۲	۵/۱
مرتع	۸۸۸۱۳۶۶۰۷	۶۹/۴
کشاورزی	۱۹۴۵۱۹۸۳۳	۱۵/۲
بایر	۱۳۰۵۳۳۰۴۵	۱۰/۳
مجموع	۱۲۷۹۷۳۵۷۴۵	۱۰۰





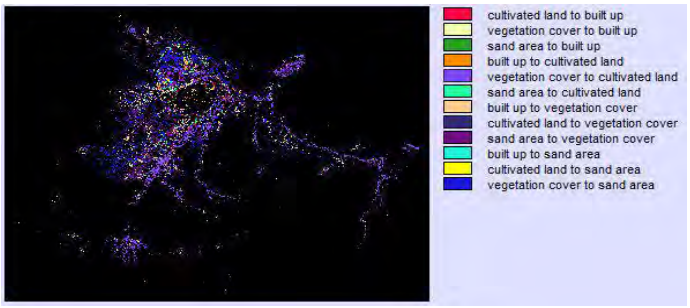
شکل ۸. کاربری زمین دشت بجنورد در سال ۲۰۲۱

ج- تغییرات کاربری زمین در بازه سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱

به‌منظور به دست آوردن تغییرات در دوره‌های زمانی از دستور مدل‌سازی تغییر کاربری زمین، در نرم‌افزار ترست، استفاده‌شده است. نتایج این روش نشان می‌دهد که هر یک از تغییرات بین کاربری‌ها با چه مساحتی و چه مکانی اتفاق افتاده است و می‌توان این تغییرات را در طبقات مختلف مشاهده کرد؛ تغییرات کاربری مدنظر در این پژوهش در فاصله سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ است که در یک بازه زمانی بررسی‌شده است. نمودار آنالیز تغییرات، در همین راستا تهیه و در ذیل ارائه‌شده است. این نمودار درواقع تغییرات مثبت و منفی کاربری‌ها را در محدوده زمانی ۲۰۱۱–۲۰۲۱ نشان می‌دهد. به بیان ساده‌تر، این نمودار نشان می‌دهد که در یک دوره زمانی، چه میزان کاربری‌ها از بین رفته و چه میزان افزایش‌یافته است که در نمودار با تغییرات مثبت و منفی قابل‌تشخیص است. شکل شماره ۹، تحلیل تغییرات بین سال‌های موردبررسی را نشان می‌دهد. طبق این نمودار، افزایش بیشتر کاربری زمین ساخته‌شده و زمین بایر نسبت به آنچه از بین رفته است، محسوس است در مقابل سهم بیشتر میزان ازدست‌رفته زمین مرتع و کشاورزی، نسبت به میزان افزوده‌شده، قابل‌ذکر است.

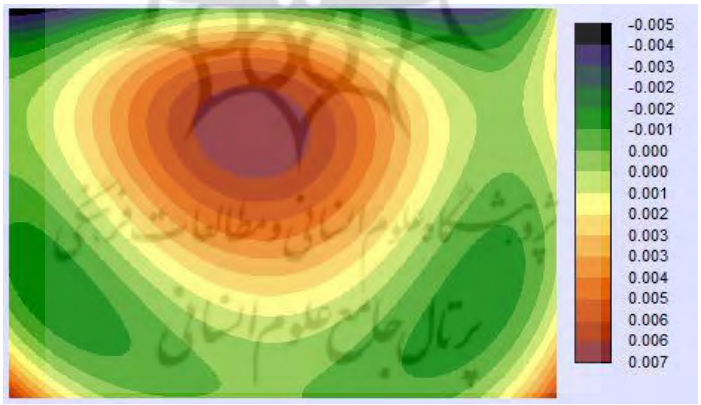
شکل ۹. آنالیز تغییرات بین سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ (برحسب کیلومترمربع)

در مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین، نیروی انتقال از یک کاربری به کاربری دیگر با توجه به متغیرها مورداستفاده مدل قرار می‌گیرد؛ به این مفهوم که هر پیکسل از تصویر برای تغییر از یک کاربری به نوع دیگر، چقدر پتانسیل دارد. همان‌طور که در نقشه زیر (شکل شماره ۱۰) مشاهده می‌شود، تغییرات مناطق ساخته‌شده در قسمت مرکزی دشت بجنورد و در اطراف شهر بجنورد عمدتاً با تغییر زمین‌های کشاورزی و مرتع همراه بوده است. در تمامی قسمت‌ها به‌خصوص نواحی شمال غربی دشت بجنورد زمین‌های مرتع تبدیل به زمین‌های کشاورزی شده‌اند و با توسعه کشاورزی این زمین‌های با ارزش که زیستگاه جانوری و گیاهی گونه‌های مختلف می‌باشد از بین رفته است؛ همچنین محور بجنورد – اسفراین نیز بیشترین تبدیل به مناطق ساخته‌شده را داشته است.



شکل ۱۰. تغییرات کاربری‌ها بین سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱

در شکل زیر روند تغییرات را به‌طور شماتیک و موقعیت مناطق که بیشترین تغییرات در آن اتفاق افتاده است نشان داده‌شده است. به این صورت که در مناطق مرکزی دشت و در اطراف شهر بجنورد پهنه‌ای با بیشترین تغییرات را نشان می‌دهد و این تغییرات در سه جبهه شرقی، غربی و جنوبی قابل‌ملاحظه است و هر چه به سمت شمال، جنوب شرقی و جنوب غربی حرکت می‌شود، این تغییرات کمتر می‌شوند (شکل شماره ۱۱).



شکل ۱۱. روند شماتیک تغییرات در دشت بجنورد بین سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱

گام دوم- مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین در دشت بجنورد

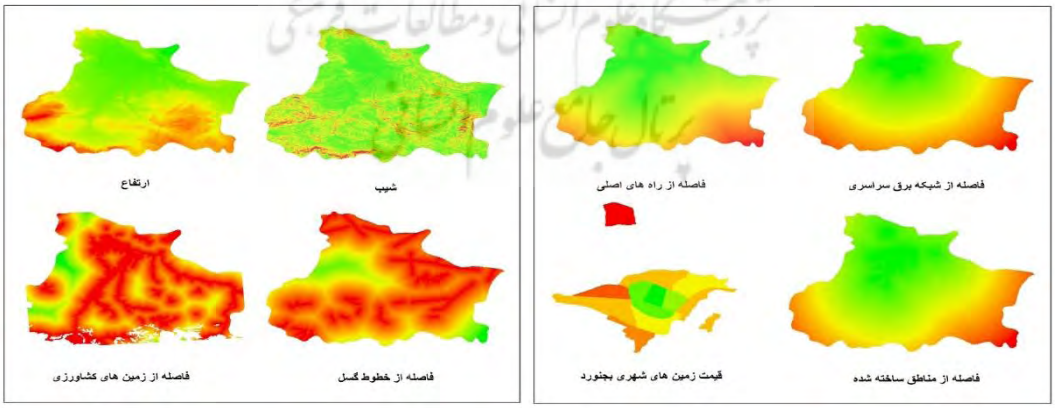
در این بخش از پژوهش به‌منظور مدل‌سازی و پیش‌بینی رشد و توسعه شهر بجنورد، نیاز به مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین، می‌باشد. ابتدا با مدل شبکه عصبی مصنوعی پتانسیل‌های انتقال هر یک از کاربری‌ها مشخص می‌شود. در این مرحله هریک از فاکتورهایی که به‌عنوان عامل وابسته به مدل معرفی‌شده‌اند، ضریب تأثیر مشخصی خواهند شد. همچنین نقشه پتانسیل انتقال هر کاربری برای شبیه‌سازی در افق‌های زمانی پیش رو، مشخص می‌شود.

مرحله اول- تولید عوامل مستقل

درواقع پارامترهای عوامل مستقل، قلب فرآیند مدل‌سازی می‌باشند. به این صورت که در مرحله یادگیری وزن[1]این عوامل بهینه‌شده و در مرحله روبه‌جلو برای پیش‌بینی، بکار گرفته می‌شوند. با توجه به پژوهش‌های کاربردی مرور شده در پیشینه و مبانی نظری، مطالعاتی نظیر: پری‌ایتنو و همکاران (۲۰۲۰)، آنند و اوینم (۲۰۲۰)، هان و جیا (۲۰۱۶)، مایماتیجیانگ و همکاران (۲۰۱۵)، کانچانامالا و سکار (۲۰۱۴)، عبداللهی و همکاران (۱۳۹۹)، جعفرزاده و همکاران (۱۳۹۷)، شکوهی فرد و اسماعیلی (۱۳۹۵) و یوسفی و اشرفی (۱۳۹۵) در کنار برخی اسناد فرادست شهر بجنورد شامل سند راهبردی مسکن (۱۳۹۸) و طرح جامع شهر (۱۳۸۹) و با لحاظ داده‌های رقومی در دسترس برای شهر بجنورد در محیط GIS، تعداد ۸ پارامتر در ۲ گروه شامل پارامترهای «توپوگرافی» و پارامترهای «فاصله»، به‌عنوان ورودی برای شبکه عصبی در نظر گرفته‌شده است. تمامی این فاکتورها به‌صورت نرمال بین ۰ و ۱ تبدیل‌شده، سپس به تصویر با اندازه پیکسل برابر با پیکسل نقشه‌های کاربری تبدیل گردیدند. در این پارامترها هر پیکسل دارای مقداری می‌باشد که نشان‌دهنده میزان ارزش آن پیکسل در پارامتر موردنظر است. تمامی پارامترها از داده‌های خام موجود و با استفاده از ابزار تحلیل فضایی[2]در نرم‌افزار آرک جی‌آی‌اس پرو ۲,۵ [3]تولید شدند.

۱- پارامترهای «توپوگرافی»: شامل ارتفاع از سطح دریا و شیب و خطوط گسل می‌باشد. این پارامترها برای در نظر گرفتن تأثیر عوامل جغرافیایی و محیطی و طبیعی در فرآیند تغییرات کاربری اراضی انتخاب‌شده‌اند. پیکسل‌های موجود در این سه پارامتر با توجه به مقدار واقعی ارتفاع و شیب زمین و فاصله از گسل، وزن دهی می‌شوند.

۲- پارامترهای «فاصله»: شامل فاصله تا مناطق ساخته‌شده موجود، فاصله تا زمین‌های کشاورزی، فاصله تا شبکه برق سراسری، فاصله تا راه‌های اصلی و درنهایت قیمت زمین‌های شهری بجنورد و فاصله از آن‌ها است. این پارامترها برای در نظر گرفتن اثرات عوامل محیطی و وضعیت شهر بجنورد، انتخاب گشتند. این پارامترها با توجه به فاصله هر پیکسل تا عوارض موجود، مقداردهی می‌شوند. لازم به ذکر است که در این پارامترها، منظور از فاصله، فاصله اقلیدسی است. عوامل تأثیرگذار بر گسترش و رشد شهر بجنورد طبق دو دسته پارامترهای اصلی موردبررسی در قالب شکل شماره ۱۱، آورده شده است.



شکل ۱۱. عوامل تأثیرگذار بر گسترش و رشد شهر بجنورد

۱- وزن اولیه عوامل وردی (۸ عامل) برابر در نظر گرفته‌شده است لکن بعد از اجرای روش تحلیل داده‌ها، اهمیت برخی عوامل بر گسترش و توسعه شهر بجنورد بیش از سایر عوامل بود و این امر از بررسی‌های صورت گرفته قابل‌مشاهده بود که در بخش نتایج به آن عوامل اشاره‌شده است.

2 . Spatial Analyze

3 . ArcGIS Pro 2.5

مرحله دوم- پیش‌بینی نقشه پتانسیل انتقال برای کاربری کشاورزی به شهری و پیاده‌سازی روش شبکه عصبی مصنوعی

برای مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات هر کاربری به نقشه پتانسیل انتقال برای همان کاربری نیاز است. خروجی پتانسیل انتقال در مدل تغییرات کاربری، به‌صورت یک نقشه است که هر پیکسل در دشت بجنورد یک ارزش خواهد داشت که نشان‌دهنده پتانسیل انتقال از یک کاربری به کاربری دیگر است. این مدل‌سازی بر اساس یکسری متغیرها (ارتفاع، شیب، فاصله از گسل، فاصله از مناطق ساخته‌شده و...) صورت می‌گیرد. همچنین تغییراتی که طی سال‌های مختلف در دشت بجنورد مورد آنالیز قرار داده‌شده است، توضیح داده‌شده و در ادامه با استفاده از الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی، پتانسیل انتقال برای هر کاربری، مدل‌سازی می‌شود. در این پژوهش با توجه به نقشه‌های پتانسیل انتقال کاربری‌های ۴ گانه موردبررسی به یکدیگر، مهم‌ترین این تغییرات مربوط به تغییر کاربری کشاورزی به شهری بود و لذا به دلیل محدودیت حجم نوشتار، از ارائه سایر نقشه‌های این بخش پرهیز شد.

نقشه پتانسیل انتقال درواقع نقشه‌ای است که ارزش پیکسل‌های آن بین ۰ و ۱ است و هر چه ارزش پیکسلی بیشتر باشد بیانگر این است که آن پیکسل تمایل بیشتری به تغییر کاربری دارد. در این مرحله برای تولید نقشه‌های شایستگی از روش شبکه عصبی مصنوعی استفاده‌شده است. برای آموزش[1]شبکه از داده‌های بین سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ استفاده‌شده است.

مهم‌ترین بخش استفاده از شبکه عصبی برای مدل‌سازی، طراحی معماری آن است. شبکه عصبی استفاده‌شده در این تحقیق، داری ۳ لایه ورودی[2]، پنهان[3] و خروجی[4] است. با توجه به تعداد پارامترهای مستقل، لایه ورودی دارای ۸ نورون[5] می‌باشد. لایه خروجی دارای یک نرون با ارزش پیکسل بین ۰ تا ۱ است که پیکسل‌های با ارزش بیشتر نشان‌دهنده تمایل بیشتر به تغییر هستند. تعداد نرون‌های لایه پنهان با استفاده از ۵ درصد از کل داده وابسته با توجه به کمترین مقدار جذر میانگین مربع خطا[6] به دست می‌آید. ۵ درصد داده‌های موردنظر به‌گونه‌ای انتخاب‌شده‌اند که نصف آن‌ها دارای مقدار ۱ و نصف دیگر آن دارای مقدار صفر باشند. درواقع این شاخص مقدار مؤثر خطا را نشان می‌دهد. به‌عبارت‌دیگر، این شاخص بیانگر تفاوت میان مقدار پیش‌بینی‌شده توسط مدل و مقدار واقعی یک متغیر است. و هر مدلی که مقدار RMSE کمتری داشته باشد به‌عنوان مدل نزدیک به واقعیت انتخاب می‌شود برای توقف چرخه عصبی از دو شرط استفاده‌شده است:

۱. حداکثر تعداد چرخه ۱۰۰۰ در نظر گرفته‌شده است.

۲. مقدار مطلوب RMSE برابر با ۰,۰۰۵ در نظر گرفته‌شده است(راشدنیا و قاسمی، ۲۰۱۰: ۲۳۳)

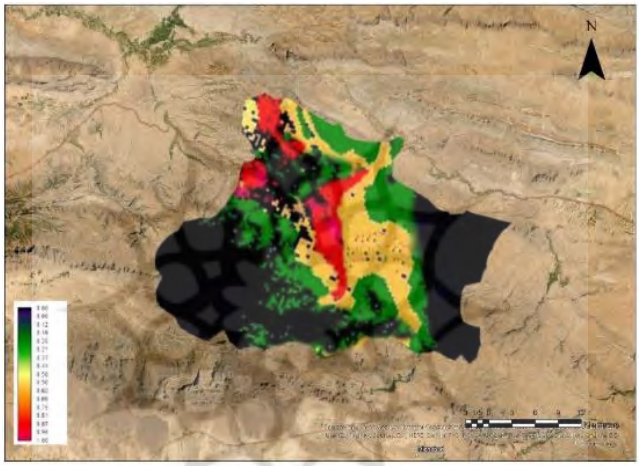
در این پژوهش شبکه عصبی به‌صورت مجزا برای هر کاربری اجرا گردید. سپس برای هر کاربری بهترین معماری به دست آمد (نقشه) و نقشه‌های پتانسیل انتقال تولیدشده از این معماری‌ها، به‌عنوان خروجی مدل در نظر گرفته شدند. در بین تمامی انتقال‌ها مهم‌ترین آن انتقال کاربری کشاورزی به شهری است. چرایی و

1 . Training
2 . Input Layer
3 . Hidden Layer
4 . Output Layer
5 . Neurons
6 . Root Mean Square Error- RMSE

چگونگی تبدیل‌شدن سطح زیر کشت به سطح زیر خشت هدف این پژوهش می‌باشد لذا به‌منظور بررسی این مهم پتانسیل انتقال کشاورزی به شهری موردبررسی و تحلیل قرارگرفته است.

پتانسیل انتقال کشاورزی به شهری

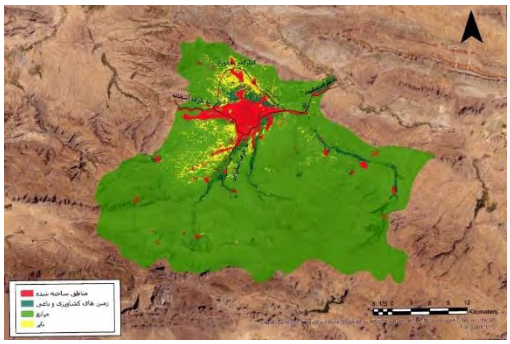
مناطقی که به رنگ تیره و مشکی دیده می‌شود کمترین پتانسیل انتقال را دارد و مرکز نقشه به‌خصوص محور بجنورد به اسفراین و شرق شهر بجنورد که به رنگ‌های روشن است دارای بیشترین پتانسیل انتقال است. این نقشه نشان می‌دهد که در مناطق مرکزی و شمالی دشت بجنورد که اکثر مناطق ساخته‌شده در آنجا قرار دارند، بیشترین سهم را از انتقال کاربری کشاورزی به کاربری شهری دارد و به عبارتی می‌توان گفت در مرکز، جنوب و شرق شهر بجنورد بیشتر زمین‌های کشاورزی در معرض خطر هستند و در این مناطق سطح زیر کشت تبدیل می‌شوند به سطح زیر خشت؛ بنابراین در برنامه‌ریزی‌های شهری و منطقه‌ای دشت بجنورد باید تا حد امکان کاربری کشاورزی حفاظت شود چرا که امنیت غذایی این منطقه متکی به زمین‌های کشاورزی و باغی است.



شکل ۱۳. پتانسیل انتقال کلاس کاربری کشاورزی به شهری در دشت بجنورد

مرحله سوم- پیش‌بینی کاربری اراضی دشت بجنورد برای سال ۲۰۳۱

در مرحله قبل نقشه‌های پتانسیل انتقال برای کاربری منتخب (تغییر کشاورزی به شهری) پژوهش با استفاده از روش شبکه عصبی تولید شدند. پیش‌نیاز ترکیب نقشه پتانسیل حاصل از شبکه عصبی و سپس تولید کاربری اراضی سال ۲۰۳۱ (شکل شماره ۱۴)، تعداد پیکسل‌های مستعد برای تغییر از یک کاربری به کاربری دیگر است. برای این منظور، از روش زنجیره مارکوف استفاده‌شده است. به‌گونه‌ای که ابتدا برای تشکیل ماتریس انتقال مارکوف، از نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۱ و ۲۰۲۱ استفاده گردیده است. نهایتاً با توجه به تغییرات صورت گرفته از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۱ و معرفی بازه زمانی به شبکه، ماتریس انتقال مارکوف تشکیل‌شده است.



شکل ۱۴. پیش‌بینی کاربری اراضی دشت بجنورد برای سال ۲۰۳۱

همان‌طور که در نقشه سال ۲۰۳۱ (شکل شماره ۱۴)، مربوط به پیش‌بینی کاربری زمین دشت بجنورد، مشاهده می‌شود، در این سال با افزایش مناطق ساخته‌شده، زمین‌های مرتع و کشاورزی کاهش می‌یابد. رشد مناطق ساخته‌شده عمدتاً در سه جبهه بجنورد –اسفراین، بجنورد–مشهد و بجنورد–آشخانه است. تغییرات در اطراف شهر بجنورد و مناطق دارای زیرساخت بیشتر دیده می‌شود که نشان از تأثیرگذاری این عوامل دارد.

نتیجه‌گیری

تغییر محیطزیست متناسب با نیازهای جمعیت در حال رشد، بعضاً اثرات مخرب و غیرقابل جبرانی نیز بر شهرها داشته است. به‌عبارت‌دیگر، کاربری زمین به دلیل رشد فزاینده جمعیت و به‌تبع آن تأثیرات مثبت و منفی انسان بر محیطزیست شهری، بیش‌ازپیش با تغییر و دگرگونی همراه بوده است. کاربری زمین در دشت بجنورد نیز در بازه سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۲۱ میلادی از این روند و تغییر و تحول‌ها، مستثنی نیست. به‌گونه‌ای که به ترتیب در بازه سال‌های مبنای موردبررسی، مادامی‌که سطح کاربری مرتع از ۷۳/۶ درصد کل کاربری‌ها به ۶۹/۴ درصد و سطح کاربری کشاورزی نیز از ۱۷/۴ درصد به ۱۵/۲ درصد کاهش‌یافته‌اند، سطح کاربری ساخته‌شده (شهری) از ۴/۲ درصد به ۵/۱ درصد افزایش‌یافته است. این افزایش در بین عوامل مستقل تحقیق حاضر و نظر به شرایط دشت بجنورد غالباً با تأثیر بیشتر مؤلفه‌های شیب، ارتفاع، فاصله از راه‌های اصلی و فاصله از مناطق ساخته‌شده، مشاهده می‌شود. این نتایج مبین این نکته است که زمانی که در محدوده‌ای، شرایط پایه برای ساخت‌وساز مهیا بوده (شیب و ارتفاع مناسب ساخت) و مکان در فاصله مناسب از راه‌های دسترسی (فاصله از راه و دسترسی) قرار داشته و بعلاوه به محدوده شهر (محدوده کاربری‌های ساخته‌شده)، نزدیک بوده است، گزینه‌ای برای گسترش شهر و تغییر کاربری به نفع اراضی ساخته‌شده شهری، ایجادشده است. انطباق این روند تغییر کاربری اراضی با ساختار فضایی شهر اصلی (شهر بجنورد)، بیشترین نسبت تغییر محاسبه‌شده (محدوده‌های داری بیشترین تغییر) را در محور جاده بجنورد–اسفراین (غرب و جنوب غربی شهر)، نشان می‌دهد.

در ارتباط با امکان پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین دشت بجنورد که در بخش نهایی تحلیل صورت پذیرفت، بر اساس تشکیل ماتریس زنجیره مارکوف و نقشه‌های ایجادشده کلاس کاربری‌ها در سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۲۱، این پیش‌بینی و مدل‌سازی کاربری زمین شهر بجنورد در افق سال ۲۰۳۱ انجام شد. نتایج این بخش از مطالعات، افزایش مناطق ساخته‌شده و کاربری شهری و کاهش کاربری کشاورزی و مرتع در افق پیش‌بینی گسترش شهر بجنورد در سال ۲۰۳۱ را نیز تائید می‌نماید. آن‌چنان‌که پیشینه مرور شده نیز در مطالعاتی چون یوسفی و اشرفی (۱۳۹۴)، پری‌ایتنو و همکاران (۲۰۲۰)، آنند و اوینم (۲۰۲۰)، جعفرزاده و همکاران (۱۳۹۷) و عبداللهی و همکاران (۱۳۹۹) نیز آن را (گسترش کاربری زمین و تغییر آن به نفع کاربری ساخته‌شده شهری در برابر کاربری مرتع و کشاورزی و مهم بودن عامل فاصله از راه)

تائید می‌نماید. درعین‌حال در این نوشتار سعی شد تا با استفاده از جدیدترین و بروزترین تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و ۸ (سنجنده‌های ETM+ و OLI) کیفیت اولیه بهتری نسبت به سایر پژوهش‌ها، ایجاد شود تا با تکیه‌بر پایگاه داده قوی و با دقت بالاتر، خروجی مورد انتظار به لحاظ قابلیت انطباق با ساختار فضایی شهر، بیشترین سازگاری را داشته باشد. در همین راستا برای طبقه‌بندی تصاویر از دو روش شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه و الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (SVM) استفاده و پس از مقایسه این دو روش، تصمیم بر استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی با توجه به شرایط نمونه موردبررسی، شد. همچنین بعد از طبقه‌بندی تصاویر، برای دقت سنجی، ۴۱۷ نقطه کنترل، به‌صورت تصادفی بر روی تصاویر ایجاد و کاربری این نقاط توسط تصاویر گوگل ارث و نقشه‌های توپوگرافی سازمان نقشه‌برداری، در ساختار فضایی شهر بجنورد، مطابقت و تائید داده شد. طبق تحلیل نهایی انجام‌شده، انطباق نتایج خروجی با ساختار فضایی شهر و شناسایی محورهای اصلی تغییر کاربری زمین، سبب شناسایی سه محور اصلی کانون ساخت‌وسازهای جدید در حال گسترش در دشت بجنورد شد. بدین ترتیب، نتایج مطالعات حاضر ضمن ارائه تصویری از چگونگی تغییر کاربری زمین و روند تحول آن در بازه سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۲۱، نظر به ارائه الگوی پیش‌بینی و مدل‌سازی کاربری زمین در سال ۲۰۳۱ میلادی، در تصمیم‌گیری برای کنترل الگوی رشد و گسترش افقی شهر بجنورد، تسهیل‌کننده تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری برنامه‌ریزان و مدیران شهری دست‌اندرکار هدایت توسعه شهر بجنورد، واقع شود. هدایت ساخت سازها، ارائه ضوابط بازدارنده تغیر کاربری از زمین‌های مرتع و کشاورزی دارای پتانسیل، نظارت مستمر و پایش ازجمله راهکارهای اصلی پیشنهادی با تأکید بر سه محور اصلی شناسایی‌شده کانون ساخت‌وسازها و گسترش کاربری‌های ساخته‌شده شهری (محورهای جبهه بجنورد –اسفراین، بجنورد–مشهد و بجنورد–آشخانه)، خواهد بود.

تقدیر و تشکر

بنا به اظهار نویسنده مسئول، این مقاله حامی مالی نداشته است.

منابع

۱) جعفرزاده، کاظم؛ سبزقیانی، غلامرضا؛ یوسفی‌خانقاه، شهرام و سلطانیان، ستار. (۱۳۹۷). مدل‌سازی تغییرات ساختار شهری با رویکرد برنامه‌ریزی فضایی برای رسیدن به توسعه پایدار شهری، مطالعه موردی: شهر قائم‌شهر، فصلنامه اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، ۲۷(۱۰۷)، ۲۰۹–۲۲۲.

۲) حسینی، مهدی؛ برقچی، معصومه؛ باقرزاده، فهیمه و صیامی، قدیر. (۱۳۹۴). ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی گسترش بی‌رویه شهرها (مطالعه موردی: پروژه مسکن مهر شهر طرقبه)، فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، ۵ (۱۸)، ۵۸–۴۳.

۳) حمیدیان، امیرحسین و خطیبی، علی. (۱۳۹۵). طراحی و توسعه نرم‌افزار شبیه‌ساز سلول‌های خودکار (CAS) با رویکرد کاربرد در محیط‌زیست، محیط‌زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، ۶۹ (۴)، ۹۹۶–۹۸۱.

۴) داداش‌پور، هاشم؛ پناهی، حسین و شمس‌الدینی، علی. (۱۳۹۸). تحلیل عوامل متحرک و پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین در منطقه کلان‌شهری تهران با تأکید بر یک مدل منطقه‌ای یکپارچه، فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، ۹(۳۵)، ۳۹–۵۶.

۵) دبیری، فرهاد؛ پورهاشمی، سید عباس و روستا، فخرالضحی. (۱۳۸۸). بررسی اصول و مفاهیم حقوق بین‌الملل محیط‌زیست با نگاهی به توسعه پایدار، علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۱۱(۳)، ۲۱۵– ۲۱۳.

۶) زادولی، فاطمه؛ صدر موسوی، میرستار؛ کریم‌زاده، حسین و صبوری، رحیمه. (۱۳۹۶). بررسی و تحلیل اثرات زیست‌محیطی گسترش پراکنده شهری نمونه موردی: شهر هادی شهر، فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، ۷(۲۶)، ۱۶۰–۱۴۷.

۷) شکوهی‌فرد، حمید و اسماعیلی، علی. (۱۳۹۵). مدل‌سازی و پیش‌بینی روند گسترش و توسعه فیزیکی شهرها به روش اتوماتای سلولی توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور (مطالعه موردی شهرستان خرم‌آباد)،

مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی علوم جغرافیا، مؤسسه حامیان زیست اندیش محیط آرمانی با حمایت مراکز آموزش عالی کشور، اردبیل، ۱۸-۱.

۸) شنانی هویزه، سیده مائده و زراعی، حیدر. (۱۳۹۵). بررسی تغییرات کاربری اراضی طی دو دهه دوره زمانی (مطالعه موردی : حوزه آبخیز ابوالعباس)، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۷(۱۴)، ۲۳۷-۲۴۴.

۹) صاحبقرانی، علیرضا؛ محمدی، محمود و مالکی‌پور، احسان. (۱۳۹۲). مدل‌سازی گسترش شهر در اراضی پیرامونی با استفاده از سلول‌های خودکار (CA) و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) (مطالعه موردی: منطقه ۷ اصفهان)، مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای، ۵(۱۸)، ۱۹۲-۱۷۵.

۱۰) عبداللهی، علی‌اصغر؛ خبازی، مصطفی و درانی‌زاده، زهرا. (۱۳۹۹). مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از شبکه عصبی پرسپترون (مطالعه موردی: شهر لاهیجان)، برنامه‌ریزی و آمایش فضا، ۲۴ (۱)، ۴۹-۷۹.

۱۱) کیانی، واحد؛ علی زاده شعبانی، افشین و نظری سامانی، علی‌اکبر. (۱۳۹۳). ارزیابی صحت طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌IRS-P6با استفاده از پایگاه اطلاعاتی Google Earth به‌منظور تهیه نقشه پوششی/کاربری اراضی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز طالقان)، اطلاعات جغرافیایی، ۲۳(۹۰)، ۵۱-۶۰.

۱۲) موسسه آموزش عالی اشراق. (۱۳۹۸). سند راهبردی توسعه مسکن استان خراسان شمالی، اداره کل راه و شهرسازی خراسان شمالی، گزارش پایانی.

۱۳) مهندسین مشاور نقش‌جهان پارس. (۱۳۸۹). طرح توسعه و عمران (جامع) شهر بجنورد، جلد سوم: مطالعات کالبدی (ویرایش نهایی)، سازمان مسکن و شهرسازی استان خراسان شمالی.

۱۴) میرباقری، بابک؛ متکان، علی‌اکبر و علی‌محمدی سراب، عباس. (۱۳۸۹). ارزیابی کارایی مدل سلول‌های خودکار در شبیه‌سازی گسترش اراضی شهری در حومه جنوب غرب تهران، برنامه‌ریزی و آمایش فضا، ۱۴(۲)، ۱۰۲-۸۱.

۱۵) نژادابراهیمی، احد و صداقتی، عاطفه. (۱۳۹۸). بازآفرینی تصویر ذهنی شهر بجنورد در دوره قاجار با رویکرد فرهنگی، فصلنامه تاریخ شهر و شهرنشینی در ایران و اسلام، ۱(۱)، ۷۷-۹۶.

۱۶) نورائی‌صفت، ایثار؛ نظری، سجاد و کریمی، سعید. (۱۳۹۵). بررسی روند تغییرات رشد و گسترش کالبدی شهر رشت و ارزیابی تغییرات کاربری اراضی زمین‌های اطراف آن با تصاویر ماهواره‌ای، فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی، ۵ (۱۷)، ۲۱-۳۲.

۱۷) یوسفی، مریم و اشرفی، علی. (۱۳۹۵). مدل‌سازی رشد شهری بجنورد با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور (بر اساس شبکه عصبی-مارکوف و مدل‌ساز تغییرات زمین)، فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، ۶(۲۱)، ۱۷۹-۱۹۲.

18) Agarwal, C., (2002). A review and assessment of land-use change models: dynamics of space, time, and human choice.

19) Alexandratos, N., & de Haen, H., (1995). World consumption of cereals: will it double by 2025?, Food Policy, 20(4), 359-366.

20) Al-sharif, A. A., & Pradhan, B. (2014). Monitoring and predicting land use change in Tripoli Metropolitan City using an integrated Markov chain and cellular automata models in GIS. Arabian journal of geosciences, 7(10), 4291-4301.

21) Anand, V., & Oinam, B. (2020) Future land use land cover prediction with special emphasis on urbanization and wetlands. Remote Sensing Letters, 11(3), 225-234.

22) Baker, W. L. (1989). A review of models of landscape change. Landscape ecology, 2(2), 111-133.

23) Batty, M., Couclelis, H. & Eichen, M. (1997). Urban systems as cellular automata. Environment and Planning B: Planning and Design, 24(2), 159-164.

24) Fatemi, M., Karami, E., & Rezaei-Moghaddam, K. (2017) Determinants of land use change in Fars province, Iran. International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology, 13(3), 272-293.

25) Geist, H. J., & Lambin, E. F. (2002). Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation Tropical forests are disappearing as the result of many pressures,

both local and regional, acting in various combinations in different geographical locations. BioScience, 52(2), 143-150.

26) 26. Han, Y., & Jia, H. (2017) Simulating the spatial dynamics of urban growth with an integrated modeling approach: A case study of Foshan, China. Ecological Modelling, 353, 107-116.

27) Huang, C., Davis, L. S., & Townshend, J. R. G. (2002). An assessment of support vector machines for land cover classification. International Journal of remote sensing, 23(4), 725-749.

28) Jeong, Y. S. (2017). Semiconductor wafer defect classification using support vector machine with weighted dynamic time warping kernel function. Industrial Engineering & Management Systems, 16(3), 420-426.

29) Kaimowitz, D., & Angelsen, A. (1998). Economic models of tropical deforestation: a review.

30) Kanchanamala, S., & Sekar, S. P. (2014). Simulation of land use changes for the planning of a metropolitan area. WIT Transactions on Ecology and the Environment, 181, pp. 385-393.

31) Kuang, W. (2011). Simulating dynamic urban expansion at regional scale in Beijing-Tianjin-Tangshan Metropolitan Area. Journal of Geographical Sciences, 21(2), 317-330.

32) Lambin, E. F., (1997). Modelling and monitoring land-cover change processes in tropical regions. Progress in physical geography, 21(3), 375-393

33) Liping, C., & Yujun, S., & Saeed, S. (2018). Monitoring and predicting land use and land cover changes using remote sensing and GIS techniques—A case study of a hilly area, Jiangle, China. PloS one, 13(7), 1-23.

34) Maimaitijiang, M., Ghulam, A., Sandoval, J. O., & Maimaitiyiming, M., (2015). Drivers of land cover and land use changes in St. Louis metropolitan area over the past 40 years characterized by remote sensing and census population data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 35, 161-174.

35) Mohamed, A. & Worku, H., (2020). Simulating urban land use and cover dynamics using cellular automata and Markov chain approach in Addis Ababa and the surrounding. Urban Climate, 31, 100545.

36) Prayitno, G., Sari, N., Hasyim, A. W., & Nyoman, S. W., (2020). Land-use prediction in Pandaan District pasuruan regency. International Journal of GEOMATE, 18(65), 64-71.

37) Rashidinia, J., Ghasemi, M., & Jalilian, R. (2010). Numerical solution of the nonlinear Klein–Gordon equation. Journal of Computational and Applied Mathematics, 233(8), 1866-1878.

38) Seto, K. C., Woodcock, C. E., Song, C., Huang, X., Lu, J., & Kaufmann, R. K., (2002). Monitoring land-use change in the Pearl River Delta using Landsat TM. International journal of remote sensing, 23(10), 1985-2004.

39) Wang, F., & Ge, Q., (2012). Estimation of urbanization bias in observed surface temperature change in China from 1980 to 2009 using satellite land-use data. Chinese Science Bulletin, 57(14), 1708-1715

40) Yu, W., & Zang, S., & Wu, C., & Liu, W., & Na, X. (2011). Analyzing and modeling land use land cover change (LUCC) in the Daqing City, China. Applied Geography, 31(2), 600-608.