

فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، سال ۶، شماره پیاپی ۲۱، بهار ۱۳۹۵

شاپای چاپی: ۶۷۳۵-۲۲۵۱ - شاپای الکترونیکی: ۷۰۵۱-۲۴۲۳

<http://jzpm.miau.ac.ir>

مدلسازی رشد شهری بجنورد با استفاده از داده‌های سنجش از دور (بر اساس شبکه عصبی-مارکوف و مدلساز تغییرات زمین)

مریم یوسفی^۱: دانشجوی دکتری محیط زیست و عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد

اسلامی، بیرجند، ایران

علی اشرفی: عضو هیات علمی گروه جغرافیا و سنجش از دور، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

دریافت: ۱۳۹۳/۸/۱۴ صص ۱۷۹-۱۹۲ پذیرش: ۱۳۹۴/۲/۲۰

چکیده

در چند دهه اخیر سرعت لجام گسیخته شهرنشینی و متقابلاً گسترش کالبدی شهرها و دست‌اندازی آن‌ها به زمین‌های مستعد کشاورزی حومه شهری تخریب‌های غیر قابل جبرانی بر محیط زیست داشته است. ضرورت مدل‌سازی و مهار این گسترش‌های خارج از برنامه، محققین زیادی را از حوزه‌های مختلف بر آن داشته است تا جهت جلوگیری از چنین گسترش‌هایی، مدل‌های پایش و پیش‌بینی مختلفی را ارائه دهند. هدف از پژوهش حاضر، مدلسازی رشد شهری شهر بجنورد بر اساس تلفیق طبقه‌بندی شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه و مدل زنجیره مارکوف با استفاده از مدلساز تغییرات زمین بوده است. از تصاویر لندست ۵ مربوط به سال ۱۳۸۴ و لندست ۸ مربوط به سال ۱۳۹۲ جهت تهیه نقشه کاربری اراضی به روش شبکه عصبی پرسپترون چند لایه استفاده گردید و با اعمال متغیرهای فاصله از جاده، شیب و متغیرهای کیفی مدلسازی رشد شهری برای سال ۱۴۱۰ انجام گرفت. نتایج مدلسازی پتانسیل تبدیل در همه زیر مدل‌ها صحت بالای ۹۵/۲ درصد را نشان داد. اعتبارسنجی مدل با محاسبه ضرایب کاپا (ضرایب کاپای بالای ۸۶ درصد) بیانگر اعتبار مدل می‌باشند. نتایج بدست آمده از 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. اراضی شهری از ۱۵۲۹/۳۸ هکتار در سال ۱۳۸۴ به ۱۸۳۷ هکتار در سال ۱۳۹۲ افزایش یافته است. این روند صعودی در آینده نیز ادامه خواهد داشت و طبق نتایج بدست آمده به ۲۸۵۶/۳۱ هکتار می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: رشد شهری، زنجیره مارکوف، شبکه عصبی پرسپترون چند لایه، مدلساز تغییرات زمین، بجنورد.

^۱ نویسنده مسئول: m.yuseffi@gmail.com ۰۹۳۷۰۴۰۰۴۸۲

بیان مسأله:

امروزه با توجه به رشد روزافزون جمعیت، تغییرات کاربری اراضی نسبت به نیازهای انسانی و تأثیر آن بر محیط زیست، پایش و مدلسازی تغییرات کاربری اراضی یکی از موضوعات اصلی پژوهش در حوزه تغییرات جهانی محیط زیست و توسعه پایدار محسوب می‌گردد. نظر به اینکه بیشترین رشد جمعیت شهری آینده جهان در کشورهای در حال توسعه خواهد بود، دغدغه بیشتری برای نیل به توسعه پایدار شهری در این کشورها وجود دارد. رشد شهری تصادفی و بی‌برنامه‌ی مناطق شهری، تغییر کاربری و پوشش زمین در بسیاری از کلان شهرهای دنیا بخصوص در کشورهای در حال توسعه را به دنبال دارد که ایران نیز از این موضوع مستثنی نمی‌باشد. اولین اقدام جهت بررسی مسائل ناشی از تغییرات کاربری، مطالعه فرایند توسعه شهری و درک دینامیک فضایی- زمانی استفاده از اراضی شهری و سپس اتخاذ استراتژی‌های مناسب مدیریتی جهت دستیابی به توسعه پایدار شهری است (Fang et al, 2005: 298). نظر به پویایی تغییرات کاربری اراضی و اثرات گسترده آن بر محیط زیست، درک چگونگی این تغییرات چه از نظر الگوی مکانی و چه از نظر کمیت آن ضروری به نظر می‌رسد. پایش این چنین تغییرات ما را در درک درستی از روند توسعه در گذشته و الگوهای رشد یاری می‌دهد، در حالی که مدل‌سازی و شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی نقش به‌سزایی در درک پیامدهای تغییرات آبی و تحولات احتمالی آینده ایفا می‌کند (Jokar, Arsanjani et al, 2011: 332).

محدوده مورد مطالعه در این پژوهش شهر بجنورد می‌باشد که در سال‌های اخیر (بخصوص پس از معرفی شدن به عنوان مرکز استان خراسان شمالی در سال ۱۳۸۳) دچار تحولات زیادی از جمله افزایش شدید جمعیت شهرنشین و گسترش فیزیکی سکونت‌گاه‌های شهری شده است. بر این اساس، تأمین نیازهای انسانی با توجه به رشد جمعیت، مستلزم استفاده گسترده از منابع طبیعی است و مسلماً تقاضا برای منابع زمین هم در بخش کشاورزی و هم غیر کشاورزی رو به افزایش خواهد بود. بدون شک توسعه بدون برنامه‌ریزی در این شهر از دست رفتن منابع کمیاب و حیاتی آن، یعنی خاک‌های حاصلخیز و منابع آب را به همراه خواهد داشت. نظر به مشکلات مطرح شده، چگونگی نحوه استفاده از زمین و مشخص نمودن الگوهای مکانی کاربری و پوشش اراضی آینده در محدوده مورد مطالعه بسیار ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین هدف از مطالعه حاضر بررسی تغییرات کاربری اراضی و مدلسازی رشد افقی شهر بجنورد تا سال ۱۴۱۰ با استفاده از مدلسازی تغییرات زمین و تلفیق شبکه عصبی پرسپترون چند لایه و مدل زنجیره مارکوف بوده است. پژوهش حاضر در تلاش است تا با بررسی و تحلیل تغییرات کاربری اراضی و به کارگیری آن برای شهر بجنورد با استفاده از مدلساز تغییرات زمین^۱، به پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی محدوده شهر بجنورد بپردازد. همچنین مهم‌ترین سؤالاتی که در این پژوهش به آن پاسخ داده می‌شود؛ این است که تغییرات کاربری‌های زمین محدوده مورد مطالعه در سال‌های بین ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۲ چقدر بوده است؟ این تغییرات در چه مکان‌هایی از شهر بجنورد رخ می‌دهند و کدام محدوده‌های مکانی را تحت تأثیر قرار می‌دهند؟ در سال ۱۴۱۰ چه تغییراتی در کاربری اراضی این محدوده رخ خواهد داد؟

پیشینه نظری تحقیق:

مدلسازی تغییرات زمین یکی از روش‌های تلفیقی است که تاکنون توسط محققین زیادی جهت مدلسازی تغییرات کاربری اراضی با تلفیق معیارهای اقتصادی- اجتماعی مورد استفاده قرار گرفته است (خوی و یوجی^۲، ۲۰۱۱: ۱۷۵، گوبیا روی و همکاران، ۲۰۱۴: ۳۲۵، پرز وگا و همکاران^۳، ۲۰۱۱: ۱۵). غلامعلی فرد و همکاران در سال ۱۳۹۱ به مدلسازی تغییرات کاربری اراضی سواحل استان مازندران با استفاده از مدلسازی تغییرات زمین پرداختند و نشان دادند که در کل دوره مورد مطالعه حدود ۳۳ هزار هکتار از وسعت جنگل‌ها کاسته شده و به اراضی کشاورزی و مسکونی تغییر یافته است. نتایج حاصل از مدلسازی و پیش‌بینی تغییرات حاکی از ادامه و افزایش روند کاهش اراضی جنگلی بوده است. مونسی و همکاران^۴ (۲۰۱۲)

¹. Land Change Modeler (LCM)

². Khoi and Yuji

³. Pérez-Vega et al

⁴. Munsu et al

تغییرات پوشش جنگلی در محدوده جنگل‌های هیمالیا را در سال ۱۹۹۰، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۶ بررسی و با استفاده از روش مدل‌سازی تغییرات زمین به پیش‌بینی وضعیت پوشش جنگلی برای سال ۲۰۱۰ و ۲۰۱۵ پرداختند. روی و همکاران^۱ (۲۰۱۴) به پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در مقیاس‌های زمانی مختلف در حوضه آبریز دریای مدیترانه در جنوب شرقی فرانسه پرداختند. نتایج حاکی از رشد بالای نواحی شهری و به تبع آن کاهش اراضی کشاورزی بوده است. آنان استفاده از روش مدل‌سازی تغییرات زمین را یکی از کاربردی‌ترین مدل‌های پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی می‌دانند.

کاربری اراضی به معنی استفاده از امکانات طبیعی موجود بر حسب نیازهای انسانی است. این استفاده، ممکن است منطبق بر استعداد اراضی و به شیوه‌های علمی یا به روش سنتی و احتمالاً تخریب‌کننده اراضی باشد. در عین حال ساختارها و فرایندهای موجود در محیط زیست را ممکن است تغییر دهد. به عبارتی دیگر کاربری اراضی به نوع فعالیت انسان بر سطح زمین اطلاق می‌گردد، مانند مناطق مسکونی، تجاری، صنعتی و غیره (لو و ونگ^۲، ۲۰۰۷: ۸۳۱). پیش‌بینی و مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی، ابزاری توانمند در مدیریت منابع طبیعی و نظارت بر تغییرات محیط زیست به شمار می‌آید. این تغییرات نشان دهنده تعامل بشر با محیط زیست خود بوده و مدل‌سازی آن در تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی‌های کلان تأثیرگذار می‌باشد. در این بین با مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده شهری، الگوهای فضایی و روندهای رشد شهری را می‌توان شبیه‌سازی کرد و درک بهتری از شهر به عنوان یک سیستم به دست آورد. در طول دو دهه گذشته، روش‌های زیادی جهت بررسی و مدل‌سازی روند تغییرات کاربری اراضی توسعه یافته‌اند و طبیعتاً هر روشی که مورد استفاده قرار گیرد دارای نقاط قوت و ضعف-هایی خواهد بود، برای مثال این نقاط قوت و ضعف می‌توانند در میزان پیچیدگی روش انتخاب شده و یا میزان اعتماد به نتایج حاصل از اجرای یک مدل خاص، نمایان شوند. چنگ و همکاران^۳ (۲۰۰۱)، داده‌های مورد نیاز در مدل‌سازی، قابلیت تلفیق با سیستم اطلاعات جغرافیایی و قابلیت تفسیر خروجی مدل را سه معیار عمده برای مقایسه مدل‌ها با هم می‌دانند. از طرفی پونتیوس^۴ (۲۰۱۱) و مس و همکاران^۵ (۲۰۱۴)، درک مدل توسط کاربر، مخاطبان و کنترل پارامترهای مدل توسط کاربر را از عواملی می‌دانند که می‌توانند در انتخاب بهترین مدل مؤثر باشند. مدل‌سازی تغییرات زمین روشی است که در محیط نرم‌افزار ادریسی و سیستم اطلاعات جغرافیایی قابل اجرا می‌باشد، با فراهم‌آوری امکان تجزیه و تحلیل تغییرات کاربری اراضی، مدل‌سازی و پیش‌بینی روند تغییرات، ابزاری جهت مدیریت هدفمند توسعه محسوب می‌شود. از قابلیت‌های این روش می‌توان به امکان تجزیه و تحلیل تغییرات کاربری اراضی در کوتاهترین زمان و محیط کاربردوست آن جهت درک فرایند مدل و کنترل پارامترهای آن اشاره کرد.

شبکه عصبی: یکی از قابل توجه‌ترین روش‌های مورد استفاده در زمینه طبقه‌بندی کاربری اراضی با استفاده از داده‌های سنجش از دور، روش شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه است. در این پژوهش از شبکه عصبی به دلیل توانایی آن در مدل‌سازی روابط پیچیده بین متغیرها استفاده گردید. از جمله قابلیت‌های مدل شبکه عصبی سازگاری آسان با انواع گوناگون داده‌ها، قابلیت مدیریت داده‌های مکانی چند منبعی (کارباژال و همکاران^۶، ۲۰۰۶: ۳۹)، وابسته نبودن به پارامترهای آماری داده‌های آموزشی توزیع آزاد (سیوکو و ونگ^۷، ۱۹۹۴: ۱۲۸) است که کاربرد آن را در مطالعات زیست محیطی مؤثر ساخته است. کاربرد شبکه عصبی در سنجش از دور در بسیاری از مطالعات بطور گسترده مورد نقد و بررسی قرار گرفته است. ساختار شبکه عصبی با توجه به هدف مورد مطالعه متغیر می‌باشد (لیپمن^۸، ۱۹۸۷: ۱۹). هنگام استفاده از شبکه عصبی در سنجش از دور سه نوع شبکه کاربرد دارد که شامل پرسپترون چند لایه^۹ هاپفیلد و کوهنون می‌باشد (Mostapha et al, 2010).

¹ Roy et al

² Lu and Weng

³ Cheng et al

⁴ Pontius

⁵ Mas et al

⁶ Carvajal et al

⁷ Ciyco and Waug

⁸ Lippmann

⁹ Multi-layer perceptron (MLP)

(2852). اما در این بین پرسپترون چند لایه در مطالعات محیط‌زیست جهت مدلسازی (Maier and Dandy, 2001: 672). و در سنجش از دور جهت طبقه‌بندی نظارت شده تصاویر ماهواره‌ای (Atkinson and Tatnall, 1997: 701). ساختاری کاربردی تلقی می‌گردد. از پرسپترون چند لایه به خاطر قدرت آن در تفکیک‌پذیری استفاده می‌شود. تفاوت آن با شبکه تک لایه در این است که بین لایه ورودی و لایه خروجی یک یا چند لایه پنهان وجود دارد. الگوریتم بکار برده شده در طبقه‌بندی داده‌های سنجش از دور با شبکه عصبی نقش مهمی ایفا می‌کند (Fikrin et al, 2009: 709). برای آموزش پرسپترون چند لایه از الگوریتم آموزشی قانون پس‌انتشار خطا^۱ استفاده می‌گردد که اولین بار توسط (روملهارت و همکاران^۲، ۱۹۸۶: ۳۲۰) توسعه یافت. این الگوریتم شامل دو مرحله است:

- مسیر رفت^۳: مراحل با وارد نمودن داده‌های آموزشی به شبکه پرسپترون چند لایه با وزن‌های تصادفی آغاز، بردار خروجی محاسبه شده و مقدار خطا شکل می‌گیرد (Subramaniana et al, 1997). (رابطه ۱). بردار خطا برابر با اختلاف بین پاسخ مطلوب (هدف)^۴ و پاسخ واقعی^۵ شبکه است. در این مسیر پارامترهای شبکه بدون تغییر در نظر گرفته می‌شوند (Helmy and El-Taweel, 2010: 608).

$$E = \frac{1}{2} \sum_k (t_k - o_k)^2 \quad (\text{رابطه ۱})$$

E در (رابطه ۱) مربع خطا بین خروجی مطلوب و خروجی واقعی است. t_k و o_k به ترتیب نمایش دهنده خروجی واقعی و خروجی مطلوب (هدف) بدست آمده از شبکه است.

- مسیر برگشت^۶: در این مرحله یادگیری انجام می‌شود (Dai and Khorram, 1999: 1190). شبکه یاد می‌گیرد خروجی را با داده‌های آموزشی توسط الگوریتم پس انتشار خطا تصحیح نماید. در نتیجه این فرآیند با تعدیل وزن گره‌ها تا به حداقل رساندن اختلاف بین نرون‌های خروجی و ورودی ادامه می‌یابد (Rumelhart et al, 1986). سپس مقدار تصحیح برای هر وزن بصورت زیر محاسبه می‌گردد (رابطه ۲).

$$\left(\frac{\delta E}{\delta w}\right) \Delta w = -\eta \quad (\text{رابطه ۲})$$

W وزن بین دو گره η نرخ یادگیری که پارامتر ثابت و مثبت است. روملهارت و همکاران (۱۹۸۶)، جهت تعدیل و بهبود وزن‌ها رابطه (۳) را پیشنهاد داده‌اند که در آن نرخ گشتاور^۷ نیز بکار برده شده است.

$$\Delta w(n)(n+1) = -\eta \left(\frac{\delta E}{\delta w}\right) + \alpha \Delta w \quad (\text{رابطه ۳})$$

در این رابطه W وزن بین دو گره η نرخ آموزش می‌باشد و پارامتری ثابت و مثبت است که برای کنترل مقدار سرشکنی خطا بکار می‌رود، α نرخ گشتاور که می‌تواند مقادیری بین صفر تا یک را بخود بگیرد و n نشان‌دهنده تکرار می‌باشد.

مواد و روش تحقیق:

در این پژوهش با استفاده از روش اسنادی و مطالعه منابع مختلف، عوامل مختلف تأثیرگذار بر روند تغییرات کاربری زمین، شناسایی شدند. سپس با استفاده از مدلسازی تغییرات زمین، تأثیرات این عوامل بر یکدیگر و بر تغییرات کاربری زمین مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. محدوده مورد مطالعه در این پژوهش در عرض جغرافیایی ۴۱ درجه و ۴۸/۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی در مرکز استان خراسان شمالی قرار گرفته است. (شکل شماره ۱). شهر بجنورد که

^۱. Backpropagation Algorithm

^۲. Rumelhart

^۳. Forward pass

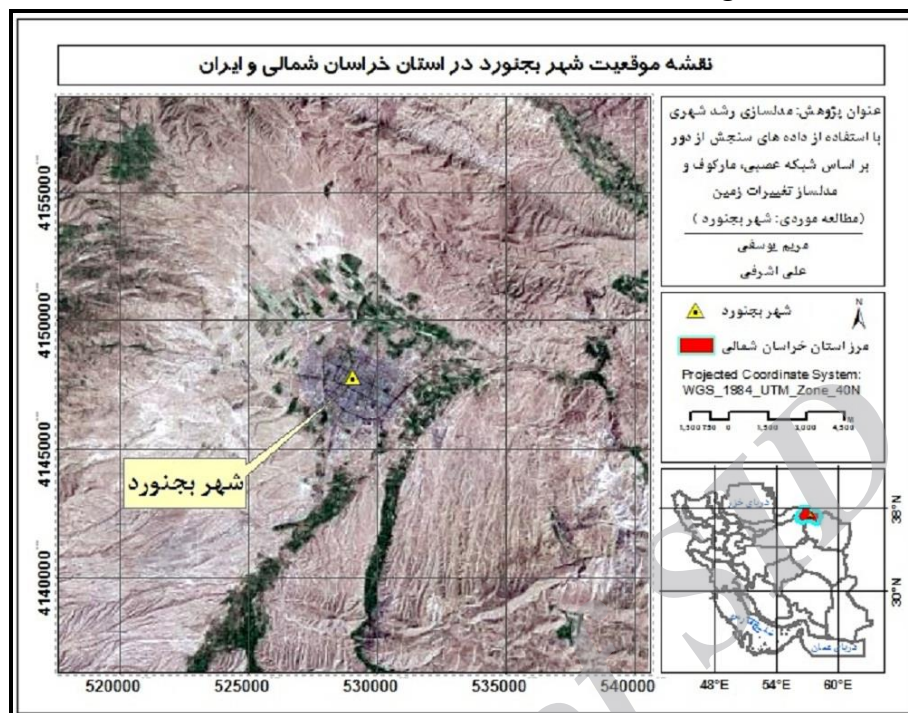
^۴. Target output

^۵. Actual Output

^۶. Backward pass

^۷. Momentum

وسعتی حدود ۱۷۲۴۵ کیلومتر مربع را در بر گرفته است؛ در سال ۱۳۸۳ به عنوان مرکز استان خراسان شمالی معرفی شد. جمعیت این شهر در سال ۱۳۹۰ بالغ بر ۱۹۹ هزار نفر بوده است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۰).



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه، تصویر پس زمینه مربوط به ماهواره لندست ۵، برگرفته شده از سایت زمین شناسی امریکا

تصاویر مورد استفاده در این مطالعه شامل تصویر لندست ۵ در تاریخ ۸ شهریور ۱۳۸۴ و تصویر لندست ۸ در تاریخ ۳۰ شهریور ۱۳۹۲ بوده است. تصحیح هندسی با کاربرد معادله درجه یک با روش نزدیک‌ترین همسایه و خطای RMS کمتر از یک پیکسل انجام شد. در این پژوهش طبقه‌بندی و آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از آشکارسازی تغییرات پس از طبقه‌بندی انجام شد. در این روش پوشش‌ها و کاربری‌های اراضی محدوده مورد مطالعه در تصاویر چند زمانی مورد استفاده، از طریق طبقه‌بندی تعیین شده و با مقایسه این تصاویر طبقه‌بندی شده، اطلاعات مربوط به تغییرات این پوشش‌ها و کاربری‌ها در بازه زمانی مورد نظر قابل استخراج می‌باشد. هر تصویر در این روش به طور جداگانه طبقه‌بندی شد و سپس نتایج حاصل پیکسل به پیکسل با یکدیگر مقایسه گردید.

زمانی که داده‌های تاریخ ۱ با الگوریتم حداکثر احتمال طبقه‌بندی شده باشند و داده‌های آموزشی از همان تصویر استخراج شده باشند و داده‌های زمان ۲ هم به همین ترتیب، در شناسایی تغییرات تصحیح رادیومتریک تصاویر مهم نیست (Jensen, 2005: 491 and Song et al, 2001: 235). همچنین مدل ارتفاعی رقومی استخراج شده از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور، جهت ساخت لایه شیب محدوده و لایه وکتوری جاده‌های موجود در محدوده مورد مطالعه که از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ استخراج و مورد استفاده قرار گرفت. در این مطالعه از نرم‌افزارهای ArcGIS نسخه ۱۰ جهت رقومی‌سازی و آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی و تصاویر کارتوگرافی نقشه‌های خروجی محدوده مورد مطالعه، از نرم‌افزار ERDAS نسخه ۹٫۲ جهت پیش پردازش‌های تصاویر مورد استفاده و نرم‌افزار IDRISI Selva نسخه ۱۷٫۲ جهت آشکارسازی و مدلسازی رشد شهری استفاده شده است.

طبقه‌بندی تصاویر:

قبل از اقدام به طبقه‌بندی تصاویر لازم است تا کاربری‌های قابل تشخیص در محدوده مطالعه از روی تصاویر ماهواره‌ای مذکور تعیین گردد. برای تعیین نوع کاربری در سال ۱۳۸۴ از نقشه‌های موجود برای آن تاریخ و نیز تصاویر «گوگل ارث» برای تاریخ ۲۰ اکتبر ۲۰۰۵ و برای سال ۱۳۹۲ از تصویر ۲۹ جولای ۲۰۱۴ استفاده شد. با بررسی تصاویر، چهار کلاس کاربری اراضی

کشاورزی و باغات، اراضی شهری، اراضی دیم و اراضی مرتعی به سهولت تشخیص داده شد. ساختار شبکه عصبی از سه لایه تشکیل شده است، لایه ورودی که شامل باندهای تصاویر مورد استفاده، لایه میانی و لایه خروجی که شامل تصاویر طبقه بندی شده می‌باشند. در ساختار پرسپترون چند لایه معمولاً یک لایه میانی برای مقاصد طبقه‌بندی کفایت می‌کند، اما رابطه‌ای که تعداد نرون در لایه میانی را مشخص کند به صورت صریح وجود ندارد (حدادی و همکاران، ۱۳۸۸: ۳۸). در مطالعه حاضر از یک لایه میانی استفاده گردید و در نهایت با تعیین پارامترهای شبکه بر اساس پیش فرض و اتمام آموزش شبکه، نقشه‌های طبقه‌بندی شده کاربری اراضی به عنوان خروجی شبکه عصبی تهیه گردید. خطای RMS حاصل از اجرای مدل برابر ۰/۱۶ و ۰/۱۵ به ترتیب برای تصاویر ۱۳۸۴ و ۱۳۹۲ گزارش گردید.

مدلسازی تغییرات: در این پژوهش جهت انجام تجزیه و تحلیل تغییر کاربری شهری بین سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۹۲ و شبیه‌سازی تا سال ۱۴۱۰ از مدلسازی تغییرات زمین در محیط نرم افزار ادریسی استفاده گردید. تجزیه و تحلیل در این مطالعه شامل سه مرحله می‌باشد: تجزیه و تحلیل تغییرات، مدل‌سازی پتانسیل تبدیل و در نهایت پیش‌بینی تغییرات.

تجزیه و تحلیل تغییرات:

مدلسازی تغییرات زمین امکان بررسی تغییرات پوشش زمین را بین سال‌های مورد تحقیق و نمایش نتایج را با نمودار و نقشه‌های مختلف به صورت کمی و کیفی فراهم نموده است. ابتدا، تغییرات کاربری اراضی شهری بین سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۹۲ مورد تحلیل قرار گرفت و نقشه تغییرات تولید گردید. مدلسازی تغییرات زمین نیز امکان بررسی روند فضایی تغییرات کلاس مورد نظر را به صورت گرافیکی فراهم آورده است. در این بخش روند مکانی تغییر از همه کلاس‌ها به اراضی شهری با استفاده از چند جمله‌ای درجه ۳ تولید و بررسی گردید.

مدل‌سازی پتانسیل تبدیل:

گام بعدی در پیش‌بینی تغییرات، مدل‌سازی پتانسیل تبدیل است که پتانسیل تبدیل هر کاربری را در آینده با استفاده از نقشه‌های کاربری دوره‌های قبل و متغیرهای مؤثر بر تغییر کاربری مدلسازی می‌کند. زیر مدل‌های ارائه شده در این مطالعه جهت بررسی گسترش توسعه شهری در آینده شامل اراضی کشاورزی آبی به شهری، اراضی دیم به شهری و اراضی مرتعی و بایر به شهری بوده است. در این مطالعه فاصله از جاده‌ها و شیب به عنوان دو فاکتور مؤثر بر رشد شهری با توجه به در دسترس بودن داده‌های مورد نیاز و تحقیقات انجام شده انتخاب گردید (Li and Yeh, 2002: 328 and Dendoncker et al., 2007: 200). جهت آماده‌سازی متغیرها و استفاده در مدل، توابع فازی بر هر یک از لایه‌های مورد نظر اعمال گردید. فاصله ۰، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ متری از جاده‌ها به عنوان نقاط کنترلی بر تابع خطی فازی جاده اعمال شد. از آنجایی که مناسب‌ترین شیب بین صفر تا ۱۵ درصد برای مناطق برای توسعه شهری می‌باشد، بر لایه شیب نیز تابع سیگموئید کاهشی با نقاط کنترلی ۰ و ۱۵ درجه اعمال شد و در نتیجه هر یک از متغیرها در مقیاس یک تا صفر فازی شدند (Gobinda Roy et al., 2014: 325). همچنین جهت اعمال متغیرهای کیفی در مدل، متغیر کیفی با استفاده از زیر مدل‌های کشاورزی به شهری، اراضی دیم به شهری و مرتع به شهری با استفاده از ابزار احتمال شواهد و نقشه کاربری سال ۱۳۸۴ ایجاد گردید. جهت بررسی همبستگی بین متغیرهای توضیحی و کلاس‌های کاربری اراضی ضریب همبستگی کرامر محاسبه شد. متغیرهای تست شده جهت مدلسازی پتانسیل تبدیل در هر یک از زیر مدل‌های ذکر شده استفاده گردید. هر یک از متغیرها به دو دسته پویا و ایستا تقسیم می‌گردند. متغیرهای ایستا به این معنی است که در طول زمان بدون تغییر باقی خواهد ماند و بر عکس متغیرهای پویا در طول زمان تغییر خواهند یافت. به طور واضح متغیر فاصله از جاده جزء دسته پویا و دو متغیر دیگر به طبقه ایستا اختصاص پیدا کردند. مدل‌سازی تبدیل در نرم‌افزار ادریسی با ابزار مدلسازی تغییرات زمین^۱ سه روش کاربردی را ارائه می‌دهد که شامل شبکه عصبی، رگرسیون لجستیک و $SIM\ weight$ می‌باشد که در این تحقیق روش شبکه عصبی اعمال گردید. در پژوهش حاضر ساختار شبکه شامل یک لایه ورودی یک لایه پنهان و یک لایه خروجی بوده است. ورودی‌های شبکه عصبی از ۳ گره

^۱. LMC

شامل متغیرهای مؤثر بر مدلسازی تشکیل شده است. تعداد گره‌های خروجی نیز به تعداد زیر مدل‌های تعریف شده می‌باشد. همچنین تعداد دو لایه پنهان نیز افزار نتایج قابل قبولی ارائه داد.

پیش‌بینی تغییرات:

پیش‌بینی تغییرات، آخرین مرحله از مدلسازی با استفاده از تغییرات زمین است. در این مرحله یک سناریو با استفاده از قابلیت زنجیره مارکوف و ماتریس احتمال انتقال محاسبه شده و برای سال ۱۴۱۰ ایجاد شد. مدل تعیین می‌کند چگونه متغیرهای انتخاب شده بر روند تغییرات پوشش زمین تأثیر می‌گذارد. هدف استفاده از زنجیره مارکوف، تعیین مقدار کمی تغییرات که ممکن است در برخی از نقاط در آینده رخ دهد. بنابراین ماتریس احتمال انتقال، احتمالی که هر کلاس کاربری به دیگر کلاس‌ها تغییر خواهد کرد را ثبت می‌کند. روش مدلسازی تغییرات زمین دو مدل را جهت پیش‌بینی تغییرات ارائه می‌دهد. پیش‌بینی سخت و پیش‌بینی نرم. در این مطالعه از هر دو مدل سخت و نرم خروجی گرفته شد و در نهایت اعتبار سنجی مدل، با اجرای ماژول *VALIDATE* در ادیسی انجام شد.

یافته‌های تحقیق:

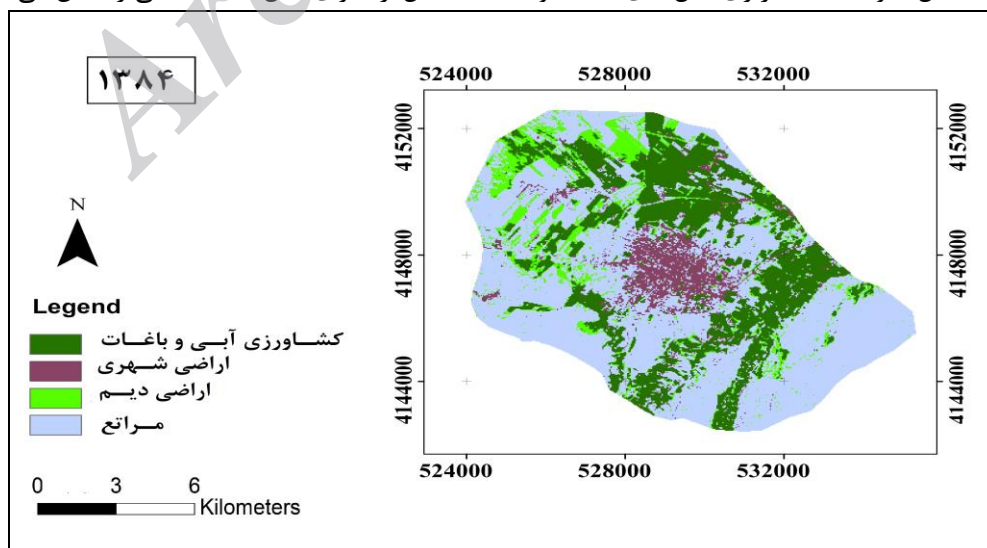
هدف از پژوهش حاضر آنالیز تغییرات و مدلسازی رشد شهری شهر بجنورد تا سال ۱۴۱۰ بر پایه شبکه عصبی پرسپترون چند لایه و مدلسازی تغییرات زمین بوده است. دو تصویر لندست پنج مربوط به سال ۱۳۸۴ و لندست هشت مربوط به سال ۱۳۹۲ جهت تهیه نقشه کاربری اراضی با شبکه عصبی پرسپترون چند لایه مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصل از ارزیابی صحت طبقه‌بندی در جدول شماره ۱ ارائه شده است.

جدول ۱ - نتایج برآورد صحت نقشه‌های سال ۱۳۸۴ و ۱۳۹۲

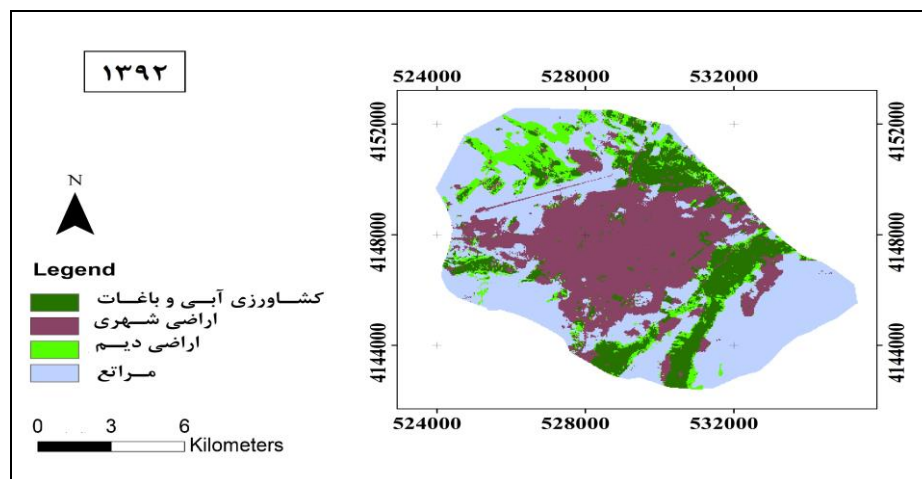
روش طبقه‌بندی شبکه عصبی		برآورد صحت
۱۳۹۲	۱۳۸۴	
۸۷/۰۰	۸۳/۶۰	دقت کلی
۰/۸۲۷۶	۰/۷۶۶۹	ضریب کاپا

منبع: یافته‌های تحلیلی پژوهش، ۱۳۹۴.

طبق جدول ۱، دقت کلی طبقه‌بندی در سال ۱۳۸۴ و ۱۳۹۲ به ترتیب ۸۳/۶۰ و ۸۷ درصد بوده است. ضریب کاپا نیز به ترتیب برابر با ۰/۷۶۶۹ و ۰/۸۲۷۶ برای سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۹۲ بوده است. نتایج حاصل از بررسی صحت طبقه‌بندی نشان می‌دهند ضرایب کاپا و دقت کلی بالا بوده و نشان از کارایی بالای شبکه عصبی در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در این پژوهش دارد. اشکال ۲ و ۳ نقشه کاربری سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۹۲ حاصل از اجرای مدل شبکه عصبی را نشان می‌دهد.

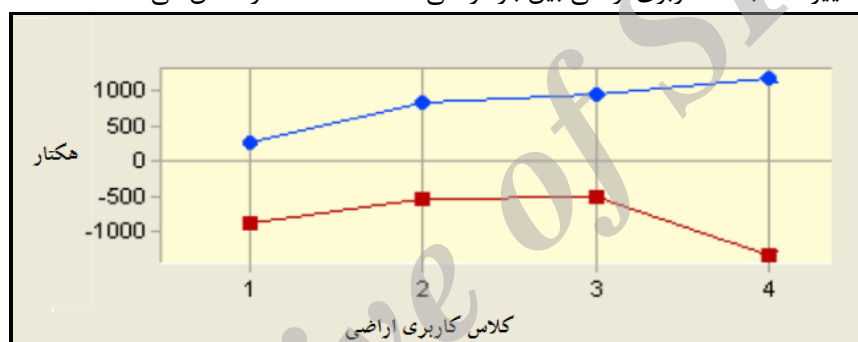


شکل ۲- نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۸۴



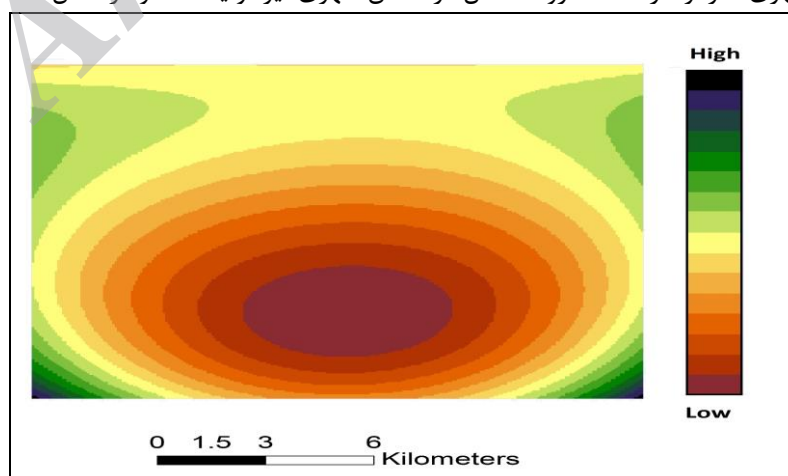
شکل ۳- نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۹۲

آنالیز تغییرات: طی فرآیند آنالیز تغییرات در مدل مذکور، تجزیه و تحلیل تغییرات محاسبه و تغییرات با نمودار نشان داده شده است. شکل ۴ تغییرات طبقات کاربری اراضی بین بازه زمانی ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۲ را نشان می‌دهد.



شکل ۴- تغییرات کلاس‌های کاربری اراضی (به هکتار) ۱) اراضی کشاورزی و باغات ۲) اراضی شهری ۳) اراضی دیم ۴) اراضی مرتعی

با توجه به شکل شماره ۳، کشاورزی آبی و باغات بین بازه زمانی سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۹۲ حدود ۹۰۰ هکتار کاهش و حدود ۲۸۰ هکتار افزایش، اراضی شهری حدود ۲۷۵ هکتار کاهش و ۸۵۳ هکتار افزایش، دیم حدود ۵۰۰ هکتار کاهش و ۹۶۰ هکتار افزایش و در نهایت اراضی مرتعی ۴۹۹ هکتار کاهش و ۹۸۶ هکتار افزایش داشته است. از آنجایی که مطالعه حاضر بر تجزیه و تحلیل رشد شهری تمرکز دارد، نقشه روند انتقال در کلاس شهری نیز تولید شده و در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵- نقشه روند انتقال اراضی شهری

نقشه تولید شده شاخصی جهت تعمیم روند انتقال کاربری اراضی محسوب می‌شود و زمینه را برای تفسیر دقیق‌تر الگوی تغییرات پیچیده زمین فراهم می‌کند. از شکل شماره ۶ مشخص می‌شود که شدت تغییر و انتقال مناطق شهری در مرکز محدوده مورد مطالعه شدیدتر و جهت گسترش آن به سمت شمال محدوده مورد مطالعه است. همچنین ماتریس آشکار سازی تغییرات با استفاده از دستور کراس‌تب نیز مورد بررسی قرار گرفت. (جدول شماره ۲).

جدول ۲- ماتریس حاصل از آشکار سازی پس از طبقه‌بندی طی سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۹۲ (درصد)

		۱۳۸۴			
		اراضی مرتعی	اراضی دیم	اراضی شهری	کشاورزی ابی و باغات
۱۳۹۲	اراضی مرتعی	۲/۲۳	۱۳/۵۱	۵/۴	۲۸/۲۹
	اراضی دیم	۱۵/۵۴	۹/۹۵	۶۴/۴	۱۲/۸
	اراضی شهری	۱۵/۳۲	۳۲/۵۶	۶/۸	۲۱/۱۲
	کلاس کاربری اراضی	۶۶/۲۲	۴۳/۴	۲۳/۸۹	۳۷/۵
	کل	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

منبع: یافته‌های تحلیلی پژوهش، ۱۳۹۴.

بر اساس جدول شماره ۲، ۱۲/۸ درصد اراضی کشاورزی و باغات، ۹/۹۵ درصد از اراضی دیم و ۱۵/۵۴ درصد از اراضی مرتعی سال ۱۳۸۴ به اراضی شهری سال ۱۳۹۲ انتقال یافته است. حدود ۶۴/۴ درصد از اراضی شهری سال ۱۳۸۴ با همین کلاس در سال ۱۳۹۲ مطابقت داشته است. بر همین اساس ۳۷/۵ درصد از اراضی کشاورزی و باغات، ۴۳/۴ درصد از اراضی دیم سال ۱۳۸۴ به اراضی مرتعی در سال ۱۳۹۰ تغییر کاربری یافته است.

مدلسازی پتانسیل تبدیل: مدلساز تغییرات زمین همبستگی بین متغیرهای تأثیرگذار بر مدل و کلاس‌های کاربری اراضی را در قالب ضریب کرامر محاسبه می‌کند که به شرح جدول شماره ۳ می‌باشد. ارزش بالاتر نشان‌دهنده اهمیت بیشتر متغیر در روند مدلسازی تغییرات می‌باشد. ضریب بالاتر بین ۰/۴ و ۱/۵ به عنوان بهترین محدوده ضریب کرامر شناخته شده‌اند.

جدول ۳- ضریب کرامر

شیب	متغیر کیفی	فاصله از جاده	کلاس کاربری اراضی
۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۲	کشاورزی ابی و باغات
۰/۱۹	۰/۶۴	۰/۴۷	اراضی شهری
۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۱۳	اراضی دیم
۰/۱۱	۰/۱۹	۰/۱۴	اراضی مرتعی

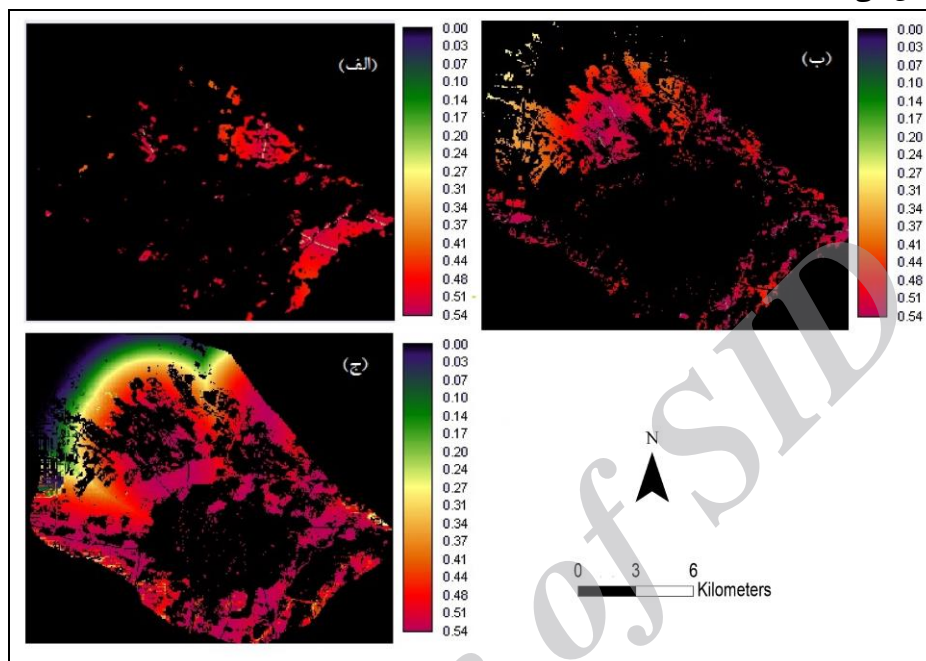
منبع: یافته‌های تحلیلی پژوهش، ۱۳۹۴.

با توجه به جدول ۳ بالاترین ضریب کرامر مربوط به متغیرهای کیفی و جاده در کلاس شهری به ترتیب با ۰/۶۴ و ۰/۴۷ بوده است. کمترین ضریب مربوط به متغیر کیفی و کلاس کشاورزی و اراضی دیم به ترتیب برابر با ۰/۰۶ و ۰/۰۸ بوده است. به طور کلی ضعیف‌ترین متغیر با همه کلاس‌ها متغیر شیب بوده است. جدول شماره ۴ میزان صحت و پارامترهای دیگر حاصل از اجرای مدل را نشان می‌دهد. با توجه به جدول همه متغیرهای استفاده شده در مدل دارای صحت بالای ۹۵ می‌باشند.

جدول ۴ میزان صحت و پارامترهای دیگر از حاصل از اجرای مدل شبکه عصبی

پارامترهای مدل	زیر مدل		
	مراعات به شهری	اراضی دیم به شهر	کشاورزی به شهری
تکرار	۱۰۰۰۰	۱۰۰۰۰	۳۲۰
خطای آموزش	۰/۳۵	۰/۳۴	۰/۲۱
خطای تست	۰/۳۵	۰/۳۴	۰/۲۲
نرخ آموزش	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
دقت مدل	۹۸/۵	۹۵/۲	۱۰۰

بر اساس پژوهش استمان (۲۰۰۹) دقت بالاتر از ۸۰ درصد را در مدلسازی تایید می‌شود. بر این اساس تمام زیر مدل‌های استفاده شده در مدل، قابلیت استفاده در مدل پیش‌بینی تغییرات را دارا است. دقت در زیر مدل کشاورزی به شهری در تکرار ۳۲۰ به ۱۰۰ درصد رسید و متوقف گردید. خطای آموزش و خطای تست به ترتیب ۰/۲۱ و ۰/۲۲ بوده است. دقت در زیر مدل اراضی دیم به شهری و مرتع به شهری در تکرار ۱۰۰۰ به ترتیب به دقت ۹۵/۲ و ۹۸/۵ رسید. شکل ۶ نقشه‌های حاصل از اجرای مدل را نشان می‌دهد.



شکل ۶ - نقشه های حاصل از اجرای مدل: الف: پتانسیل تبدیل زیر مدل کشاورزی به شهری ب) پتانسیل تبدیل زیر مدل دیم به شهری ج) پتانسیل تبدیل زیر مدل مرتع به شهری

پس از تهیه نقشه‌های پتانسیل انتقال از طریق پرسپترون چند لایه مدل آماده برای پیش‌بینی تغییرات با استفاده از تجزیه و تحلیل زنجیره مارکوف برای تاریخ آینده (۱۴۱۰) گردید. شبیه سازی و اعتبار سنجی مدل: در این مرحله مدل جهت پیش‌بینی تغییرات تا سال ۱۴۱۰ اجرا شد. جدول ۵ ماتریس احتمال انتقال حاصل از زنجیره مارکوف را نشان می‌دهد. ارزش‌های واقع در سلول‌های مورب نشان دهنده احتمالی است که یک منطقه تحت همان کلاس باقی خواهد ماند.

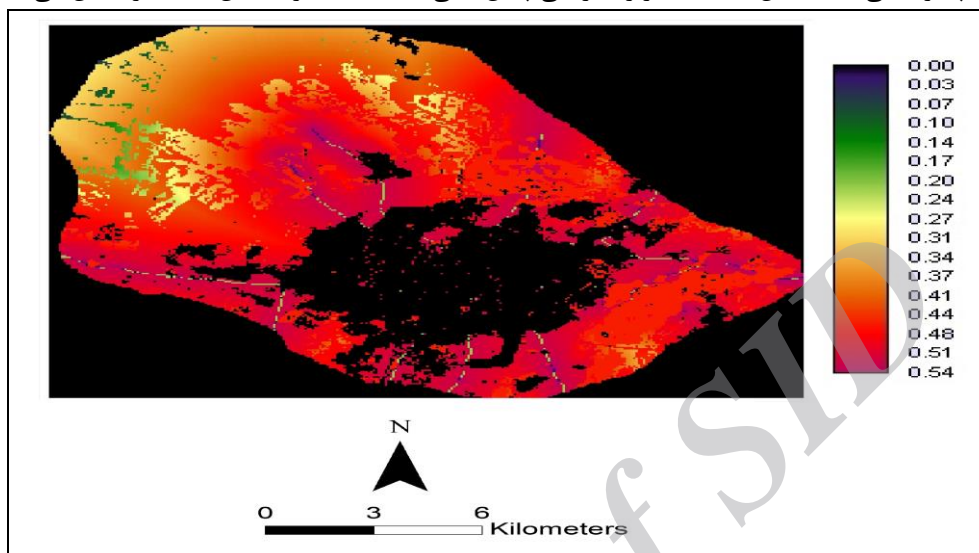
جدول ۵- ماتریس احتمال انتقال حاصل از زنجیره مارکوف

اراضی مرتعی	اراضی دیم	اراضی شهری	کشاروی آبی و باغات	کلاس کاربری اراضی
۰/۴۹	۰/۱۷	۰/۲۴	۰/۰۷	کشاروی آبی و باغات
۰/۴	۰/۱۳	۰/۳۵	۰/۰۶	اراضی شهری
۰/۵	۰/۱۷	۰/۲۳	۰/۰۷	اراضی دیم
۰/۵	۰/۱۶	۰/۰۲	۰/۰۶	اراضی مرتعی

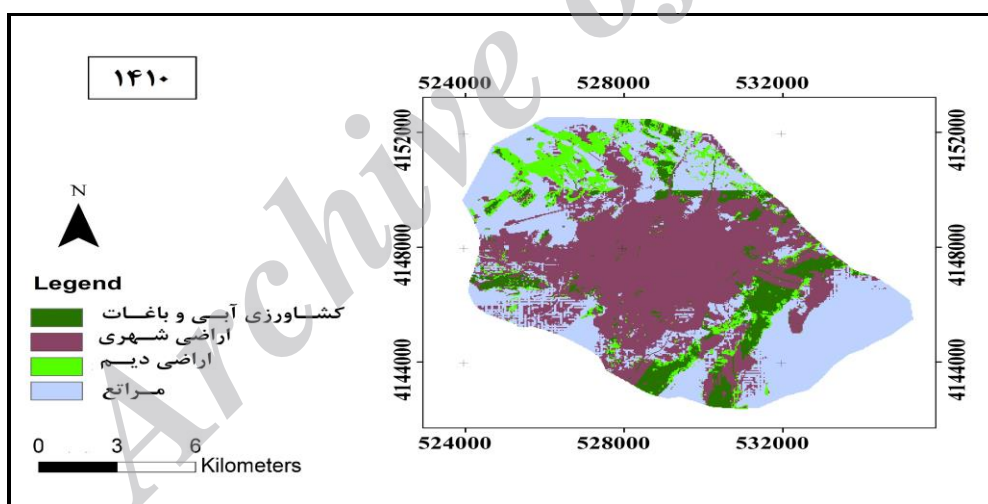
منبع: یافته‌های تحلیلی پژوهش، ۱۳۹۴.

همانطور که از جدول ۵ پیداست بالاترین احتمال انتقال مربوط به کلاس دیم به مراتع با ارزش ۰/۵ و بعد از احتمال انتقال کلاس کشاورزی به مراتع با ۰/۴۹ می‌باشد. بیشترین احتمال انتقال در کلاس شهری انتقال کلاس کشاورزی آبی و دیم به اراضی شهری به ترتیب ۰/۲۴ و ۰/۲۳ بوده است. کلاس مراتع نیز با احتمال ۰/۰۲ به کلاس شهری انتقال خواهد یافت. خروجی‌های مدل پیش‌بینی نرم در شکل ۷ شماره نشان داده شده است. پیش‌بینی نرم آسیب‌پذیری پیوسته تغییرات را نشان

می‌دهد. این نقشه نواحی را که به طور بالقوه توسط انسان تحت تأثیر قرار خواهد گرفت را نشان می‌دهد. ارزش بالاتر نشان-دهنده آسیب‌پذیری بیشتر می‌باشد. در شکل ۷ نواحی نزدیک جاده‌ها و نزدیک به شهر ارزش بالاتری به خود اختصاص دادند که نشان از آسیب‌پذیری بالاتر توسط فعالیت‌های انسانی دارد. اما محدوده شهر ارزش صفر داشته است. بدین علت که تغییر نواحی شهری به کلاس‌های دیگر کاربری اراضی در روند حاضر تغییرات امکان‌پذیر نبوده و بنابراین دارای پایین‌ترین ارزش و کمترین آسیب‌پذیری می‌باشد. شکل ۸ نقشه کاربری اراضی پیش بینی شده برای سال ۱۴۱۰ را نشان می‌دهد.



شکل ۷- پیش بینی نرم در سال ۱۴۱۰



شکل ۸- پیش بینی سخت در سال ۱۴۱۰

جدول شماره ۶ خلاصه نتایج اعتبار سنجی مدل حاصل از اجرای ماژول *VALIDATE* در نرم‌افزار ادریسی را نشان می‌دهد.

جدول ۶- نتایج حاصل از اعتبار سنجی

(%)	ضریب کاپا
۱	عدم توافق کلی
۹۵	کاپا بدون اطلاعات
۹۶	کاپا برای محل
۸۶	کاپا استاندارد

منبع: یافته‌های تحلیلی پژوهش، ۱۳۹۴

عدم توافق کلی در این مطالعه برابر ۰.۲٪ بوده است که تفاوت بین تصویر مرجع و نقشه حاصل از مدلسازی است. مقدار ضریب کاپا از یک تا کمتر از صفر متغیر است، که نشان‌دهنده توافق کامل بین مقادیر دو متغیر است و بیانگر این است که این توافق شانسی نیست. صفر به این معنی است که احتمال تصادفی بودن این توافقیها با احتمال غیرتصادفی بود نشان برابر است و کمتر از صفر بودنش، دلیل این است که، این توافق بیشتر احتمال دارد که بخاطر شانس باشد. ضریب کاپا بدون اطلاعات برابر ۹۵ درصد گزارش شد که نشان‌دهنده توافق کلی بین نقشه بدست آمده از مدلسازی و نقشه مرجع است. کاپا برای مکان نشان دهنده این است که دو نقشه در مکان توافق کلی دارند و در این مطالعه برابر ۹۶ درصد بوده است. ضریب کاپای استاندارد نیز برابر ۸۳ درصد بدست آمد. ضریب کاپای استاندارد مقایسه تحلیلی روند اندازه‌گیری جنبه‌های فضایی و غیر فضایی بین نقشه پیش‌بینی شده و نقشه مرجع است (Asteman, 2012). جدول شماره ۷ مساحت کاربری اراضی در سال-های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۷ - مساحت کاربری اراضی در سال‌های مورد مطالعه

سال مورد مطالعه	۱۴۱۰	۱۳۹۲	۱۳۸۴
کلاس کاربری اراضی	مساحت کاربری اراضی (هکتار)		
کشاورزی آبی و باغات	۷۴۱/۱۸	۶۲۰	۱۲۳۹/۹۸
اراضی شهری	۲۸۵۶/۲۱	۱۸۳۷	۱۵۲۹/۳۸
اراضی دیم	۹۲۱/۷۴	۱۲۱۶	۷۴۰/۱۲
اراضی مرتعی	۲۸۱۶/۸۸	۳۷۹۴/۲۲	۳۹۵۲

منبع: یافته‌های تحلیلی پژوهش، ۱۳۹۴.

مساحت کاربری کشاورزی آبی و باغات در سال ۱۳۸۴ برابر با ۱۲۳۹/۹۸ هکتار بوده است. این کلاس در سال ۱۳۹۲ حدود ۶۱۹ هکتار کاهش یافته و به ۶۲۰ هکتار رسیده است. اما بر اساس نتایج حاصل از مدلسازی با افزایش ۷۴۱/۱۸ هکتاری تا سال ۱۴۱۰ رو به رو خواهد بود. اراضی شهری در سال ۱۳۸۴ برابر با ۱۵۲۹/۳۸ هکتار بوده است که تا سال ۱۳۹۲ به ۱۸۳۷ هکتار افزایش پیدا کرده است. این روند افزایشی همچنان ادامه خواهد داشت و بر اساس نتایج مدلسازی به ۲۸۵۶/۲۱ هکتار خواهد رسید. اراضی دیم روند افزایشی داشته و از ۷۴۰/۱۲ هکتار در سال ۱۳۸۴ به ۱۲۱۶ هکتار در سال ۱۳۹۲ رسیده است. اراضی مرتعی نیز روند کاهشی خواهد داشت و از ۳۹۵۲ هکتار در سال ۱۳۸۴ به ۲۸۱۶/۸۸ هکتار در سال ۱۴۱۰ خواهد رسید.

نتیجه‌گیری:

هدف از پژوهش حاضر مدلسازی رشد افقی شهر بجنورد بر اساس تلفیق شبکه عصبی پرسپترون چند لایه و مدل زنجیره مارکوف با استفاده از مدلسازی تغییرات زمین بوده است. جهت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای از شبکه عصبی استفاده گردید. نتایج ارزیابی صحت، بیانگر قابلیت بالای این روش در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره می‌باشد. مدلسازی پتانسیل انتقال نیز با استفاده از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه انجام گردید و با توجه به انتخاب دقیق متغیرهای تأثیرگذار بر رشد شهری صحت بالای ۹۵ درصد را نشان داد. نتایج جدول ۷ نشان می‌دهد که مساحت اراضی کشاورزی آبی و باغات از ۱۲۳۹/۹۸ هکتار در سال ۱۳۸۴ به ۶۲۰ هکتار در سال ۱۳۹۲ کاهش یافته و پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد این روند نزولی ادامه خواهد داشت و در سال ۱۴۱۰ به حدود ۴۷۱/۱۸ هکتار نزول خواهد کرد. اراضی شهری نیز از ۱۵۲۹/۳۸ هکتار در سال ۱۳۸۴ به ۱۸۳۷ هکتار در سال ۱۳۹۲ افزایش یافته است. این روند صعودی در آینده نیز ادامه خواهد داشت و طبق نتایج بدست آمده در سال ۱۴۱۰ به ۲۸۵۶/۲۱ هکتار می‌رسد. اراضی دیم و مرتعی نیز همچنان روند نزولی خود را در آینده طی خواهند کرد. اراضی مرتعی بیشترین سهم را در تبدیل به مناطق شهری دارا بوده است. کامیاب و همکاران (۱۳۹۰: ۱۰۱) نیز در مطالعه خود با مدلسازی رشد شهری شهر گرگان عنوان نمودند که اراضی مرتعی بیشترین سهم را در تبدیل به اراضی شهری داشته است. نتایج بدست آمده گویای رشد توسعه مناطق شهری و متقابلاً کاهش کلاس‌های دیگر کاربری اراضی بوده و این روند در آینده نیز ادامه خواهد داشت. استفاده از داده‌های ماهواره لندست و تکنیک پردازش تصاویر ماهواره‌ای در این پژوهش نشان‌دهنده کارایی بالای تکنیک بکار رفته در زمینه آشکارسازی و مدلسازی رشد شهری می‌باشد. از مهم‌ترین عوامل مؤثر در تغییرات کاربری

اراضی در بازه زمانی مورد مطالعه می‌توان به معرفی شهر بجنورد به مرکزیت استان خراسان شمالی اشاره کرد. این عامل باعث پیامدهای قابل توجه از جمله گسترش فیزیکی شهر و نابودی اراضی پیرامون از جمله مراتع و کشاورزی شده است. در مجموع، در محدوده شهر بجنورد، شاهد افزایش جایگزینی مراتع با اراضی شهری و کشاورزی آبی و باغات و اراضی رها شده هستیم. نظر به نتایج بدست آمده از اعتبار سنجی مدل، ضرایب کاپای بالای ۸۶ درصد بیانگر اعتبار مدل می‌باشند. گابیناروی و همکاران (۲۰۱۴) نیز در مطالعه خود از ضرایب کاپا برای ارزیابی اعتبار سنجی مدل پیش‌بینی تغییرات پوشش زمین استفاده نموده‌اند. نتایج استفاده از مدل‌سازی تغییرات زمین در این پژوهش حاکی از آن است که مدل‌سازی تغییرات زمین مجموعه‌ای از ابزارهای کاربردی را برای تجزیه و تحلیل تغییرات زمین ارائه می‌دهد. مزیت قابل توجه این ابزار این است که در کوتاه‌ترین زمان نتایج تجزیه و تحلیل تغییرات کاربری اراضی را به صورت گرافیکی، نقشه و کمی ارائه می‌دهد. همچنین مراحل اجرای مدل به صورت ساده و قابل درکی بیان شده است که باعث شده محیط کاربر دوستی را جهت انجام تجزیه و تحلیل‌های تغییرات زمین بوجود آورد. یکی از قابل توجه‌ترین قابلیت‌های مدل استفاده شده توانایی مدل‌سازی تغییرات در آینده بر اساس روند گذشته تغییرات کاربری اراضی و تلفیق آن با متغیرهای تأثیرگذار بر رشد فیزیکی شهرها می‌باشد. به طور کلی مدل‌سازی رشد شهری فرآیندی پیچیده به نظر می‌رسد و تعیین فرآیندهای تأثیرگذار بر توسعه در طول زمان با توجه به عوامل اجتماعی و فرهنگی متغیر می‌باشد. نتایج این مطالعه نقش به‌سزایی جهت درک مدل توسعه شهری و تعیین محتمل‌ترین مکان جهت توسعه شهری در آینده ایفا خواهد کرد. بدین منظور پیشنهاد‌های زیر ارائه می‌شود:

- در این پژوهش از داده‌های کمکی در دسترس همچون نزدیکی به جاده برای پیش‌بینی تغییر کاربری استفاده شد اما مسلماً فاکتورهای بیشتری بر این تغییرات تأثیرگذار هستند. پیشنهاد می‌گردد در پژوهش‌های آتی در این حوزه از داده‌های کمکی بیشتری که در تغییر کاربری‌ها به یکدیگر نقش دارند جهت بررسی دقیق رشد شهری استفاده گردد.
- استفاده از تصاویر لندست جهت تهیه نقشه‌های کاربری اراضی در این پژوهش نتایج قابل قبولی ارائه داد، اما پیشنهاد می‌گردد در پژوهش‌های آتی از تصاویری با قدرت تفکیک مکانی بالاتر همچون *Quick Bird* استفاده گردد تا بتوان به نتایج دقیق‌تر دست یافت.
- پیشنهاد می‌گردد نتایج این تحقیق با طرح‌های توسعه شهری جهت برنامه‌ریزی‌های دقیق‌تر آینده مقایسه گردد.

منابع و مآخذ:

۱. کامیاب، حمیدرضا؛ ماهینی، عبدالرسول؛ حسینی، سید حمزه و مهدی غلامعلی فرد (۱۳۹۰): «کاربرد شبکه عصبی مصنوعی مدل‌سازی رشد شهری»، مجله پژوهش‌های جغرافیای انسانی، شماره ۷۶، تهران، صص ۹۹-۱۱۳.
۲. حدادی، عطاالله؛ صاحبی، محمودرضا؛ مختارزاده، مهدی (۱۳۸۸): «ارائه روش ترکیبی از شبکه‌های عصبی نضارت شده و نظارت نشده در طبقه بندی تصاویر سنجش از دور»، مجله سنجش از دور و GIS ایران، شماره ۳۰، صص ۳۳-۵۰.
۳. غلامعلی فرد، مهدی؛ جورابچیان شوشتری، شریف؛ کهنوج، حمزه و محسن میرزایی (۱۳۹۱): «مدلسازی تغییرات کاربری اراضی سواحل مازندران با استفاده از LCM در محیط GID»، فصلنامه محیط شناسی، شماره ۹، تهران، صص ۱۲۴-۱۰۹.
۴. مرکز آمار ایران (۱۳۹۰): نتایج سرشماری نفوس و مسکن استان خراسان شمالی، تهران.
5. Atkinson, P.M. Tattall, A.R.L, (1997): *Neural Networks in Remote Sensing. International Journal of Remote Sensing*, 4, PP: 699-709.
6. Carbajal, E. Crisanto, F.J. Aguilar, F., Aguera, M. A. (2006): *Green House Detection Using Neural Network With a Very High Resolution Satellite Image. ISPRS Technical Commission II Symposium*, pp: 37-42.
7. Cheng, J. Masser, I. and Ottens, H, (2001): *Understanding Urban Growth System: Theories and Methods*, Department of Urban and Regional Planning, ITC Institute, Netherlands.
8. Civco, D. L. Waug, Y. (1994): *Classification of multi-spectral, multi-temporal multi-source spatial data using artificial neural networks. In: Proceeding of the ASPRS. Annual Convention, Reno, NV, USA, Pp: 123-133.*
9. Dai, X.L. and. Khorram, S. (1999): *Remotely sensed change detection based on artificial neural Networks. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 10, pp: 1187-1194.

10. Dendoncker, N. Roundsevell, and M. Bogaert, P. (2007): *Spatial analysis and modeling of land use distributions in Belgium*. *Computers, Environment and Urban Systems*, 31,p188–205.
11. Eastman, J.R. (2012): *IDRISI Selva Help System*. Clark Labs, Clark University, Worcester
12. Elena G. I. Jacqueline, G. (2001): *Theory, data, methods: developing spatially explicit economic models of land use change* , 85, pp : 7–24 , DOI: 10.1016/S0167-8809(01)00200-6
13. Fang, S. George, Z. Gertnera, G. Z. Sun, Z. Andersonc, A. (2005): *The Impact of Interactions in Spatial Simulation of the Dynamics of Urban Sprawl, Landscape and Urban Planning*,N.73.
14. Fkirin, M.A. Badwai, S.M. and Mohamed. S.A. (2009): *Change Detection Using Neural Network with Improvement Factor in Satellite Images*. *American Journal of Environmental Sciences* .6, pp: 706-713.
15. Helmy, A.K and El-Taweel, Gh.S. (2010): *Using Textural and Spectral Characteristics*. *American J. of Engineering and Applied Sciences*, 4, pp: 604-610.
16. Gobinda Roy, H. Fox, M. D. Emsellem, K. (2014): *Predicting Land Cover Change in a Mediterranean Catchment at Different Time Scales*, B. Murgante et al. (Eds.): *Springer International Publishing Switzerland*, pp: 315–330.
17. Li, X. & Yeh, A.G. (2002): *Neural Network Based Cellular Automata for Simulating Multiple Land Use Changes Using GIS*. *International Journal of Geographical Information Science*, 16, pp: 323–343.
18. Lu, D.,Weng,Q.(2007): *A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance*. *International Journal of Remote Sensing*, 5, pp: 823–870.
19. Jensen, J. R. (2005): *Introductory digital image processing 3rd edition*.
20. Jokar Arsanjani, J. Kainz, W. and Mousivand, A. (2011): *Tracking Dynamic Land Use Change Using Spatially Explicit Markov Chain Based on Cellular Automata: the Case of Tehran*. *International Journal of Image and Data Fusion*, 2, pp: 329-345.
21. Khoi, D.D. and Yuji, M. (2011): *Modeling Deforestation Using a Neural Network-Markov Model*, the *GeoJournal Library*, 100, pp: 169-190, DOI 10.1007/978-94-007-0671-2_11, C.
22. Lippmann, R.P. (1987): *An Introduction To Computing With Neural Networks*," *IEEE. Acoustics,Speech, and Signal Processing Newsletter*, 2 , pp: 4-22.
23. Richards, J.A. (1999): *Remote Sensing Digital Image Analysis*, Springer-Verlag, Berlin.
24. Rumelhart, D.E. Hinton, G.E. Williams, R.J. (1986): *Learning Internal Representation by Error Propagation, Parallel Distributed Processing, exploration in the microstructure of Cognition*, 1:318-332.
25. Mostapha, M.R. Lim, H.S, Mat Jafri, M.Z. (2010): *Comparison of Neural Network and Maximum Likelihood Approaches in Image Classification* .*Journal of Applied Science*, 22, pp: 2847-2854.
26. M. Munsif, G. Areendran, and P. Joshi. (2012): *Modeling spatio-temporal change patterns of forest cover: a case study from the Himalayan foothills (India)*. *Reg. Environ. Change*, 12, pp: 619-632.
27. Maier, H. R. and Dandyg, C. (2001): *Neural Network Based Modelling of Environmental Aribales: a Systematic Approach*", *Mathematical and Computer Modelling*. 6-7, pp: 669-682.
28. Pontius, R.G. (2011): *Material of the Workshop"Land Change Modeling: Calibration, Validation, Extrapolation, and Interpretation"*. *XIX Reunion Nacional SELPER-Mexico*, 3e7 octubre, Morelia, Mich, Mexico.
29. Pérez-Vega, A. Mas, J. Ligmann-Zielinska, A. (2012): *Comparing two Approaches to Land Use/Cover Change Modeling and Their Implications for The Assessment of Biodiversity Loss in a Deciduous Tropical Forest*. *Environmental Modelling & Software*, 29 ,pp: 11-23
30. Roy, H.G. Fox, D.M. and. Emsellem, K. (2014): *Predicting Land Cover Change in a Mediterranean Catchment at Different Time Scales*. *Lect Notes Comput Sc Springer*. 5, pp: 315-330, [doi: 10.1007/978-3-319-09147-1_23].
31. Song, C. Woodcock, C.E. Seto, K. C, Lenney,M.p. and Macomber, S. A.(2001): *Classification and Change Detection Using Landsat TM Data: When and How to Correct Atmospheric Effects?*. *REMOTE SENS. ENVIRON*, 75, pp: 230–244.