

## مقایسه روش‌های CA-Markov و ANN جهت پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر چند زمانه لندست

آرمان غلامپور<sup>۱</sup>، رحیم غلامپور<sup>۲</sup>، آرمین احمدی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد GIS دانشگاه تهران، نویسنده مسئول

<sup>۲</sup> کارشناس ارشد راه و ترابری دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

<sup>۳</sup> دکترای جغرافیا، دانشگاه وسترن انتاریو کانادا

### چکیده

تغییرات کاربری اراضی در اثر گسترش فیزیکی شهر در اکثر شهرهای ایران به قدری سریع است، که برنامه ریزان و مدیران شهری با توأم ساختن فرایند برنامه‌ریزی در این مناطق با توسعه دینامیک و پیچیده آن روبرو هستند. بنابراین هدف پژوهش حاضر، مقایسه روش‌های CA-Markov و ANN جهت پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی برای آینده می‌باشد. در پژوهش حاضر از تصاویر چند زمانه لندست استفاده شده است. با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان روند تغییرات کاربری اراضی طی ۳۰ سال گذشته ارزیابی گردید. همچنین، با استفاده از روش‌های CA-Markov و ANN تغییرات کاربری اراضی برای آینده پیش‌بینی شده است. نتایج حاصل از این پژوهش، بیانگر گسترش بی‌رویه شهر طی ۳۰ سال گذشته می‌باشد. به‌طوری‌که اراضی ساخته شده با رشد ۱۴۴/۹۶ درصدی خود باعث تخریب بیش‌ازحد اراضی فضای سبز و اراضی بایر شهر شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که با افزایش فاصله از اراضی ساخته شده میزان تغییرات کاربری اراضی کاهش چشمگیری داشته است. مقایسه روش‌های CA-Markov و ANN جهت پیش‌بینی کاربری اراضی نشان داد که روش ANN دارای کارایی بالایی جهت پیش‌بینی کاربری اراضی می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** تغییرات کاربری اراضی، تصاویر چند زمانه

## مقدمه

از عوامل مهم برای برنامه‌ریزی و مدیریت شهری خصوصاً در راستای نیل به توسعه پایدار در نواحی شهری و استفاده بهینه از سرزمین، در دسترس بودن اطلاعات صحیح و بهنگام از وضعیت کاربری و پوشش اراضی مناطق شهری است (Rahman, 2016). در دهه‌های اخیر همزمان با افزایش جمعیت جهان و گسترش شهرنشینی در دنیا، بخش زیادی از زمین‌های شهری دستخوش تغییرات کاربری شده و موجب جایگزینی سطوح طبیعی نسبتاً نفوذپذیری با سطوح سخت غیرقابل نفوذ شامل سنگ فرش خیابان-ها، آسفالت و نواحی متراکم و پر از ساختمان گردیده است (Alam et al., 2020). شهرنشینی نقش اساسی در خط مشی توسعه جغرافیایی جمعیت و رشد شهری دارد. از این رو در دهه‌های اخیر در ایران رشد و گسترش شهرها به صورت نوعی مشکل اساسی ظاهر شدند و لزوم توجه به مسائل شهری (به ویژه مسائل کالبدی آن) در قالب چارچوبی علمی، اهمیت و ضرورت یافته است (Chen et al., 2003). البته رشد روزافزون شهرها به تخریب اراضی کشاورزی محدود نمی‌شود بلکه مهمتر از آن تنش‌های شهری همچون افزایش قیمت زمین، ایجاد تفرجگاه و کارگاه و به طور کلی تبدیل کاربری‌ها نیز دارای تبعات مخربی در این زمینه می‌باشد (Serra et al., 2008; Usman et al., 2015). به بیان دیگر رشد حساب نشده شهرها برای زمین‌های کشاورزی بیش از مساحتی است که مستقیماً به وسیله آنها اشغال می‌شود لذا شناخت کاربری پیرامون شهرها می‌تواند نقش مؤثری در تحقق قانون حفظ باغ‌ها و اراضی کشاورزی و هدایت اصولی رشد و توسعه آتی شهر داشته باشد (Pal et al., 2017).

در رابطه با تغییرات کاربری اراضی مطالعات متعددی در داخل و خارج ایران انجام شده است. محمدی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی به مدلسازی تغییرات کاربری اراضی شهر رامیان استان گلستان پرداختند. در این پژوهش برای بررسی تغییرات از تصاویر ماهواره‌ای سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۲ استفاده کردند. نتایج تحقیق نشان داد که روش کلاسه‌بندی تلفیقی روش مناسبی برای تهیه نقشه کاربری اراضی می‌باشد. یافته‌ها همچنین نشان داد مهمترین تغییرات کاربری در شهرستان رامیان تبدیل جنگل‌ها و مراتع به زمین‌های کشاورزی و مسکونی بوده است. امان پور و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی به بررسی تغییرات کاربری اراضی در کلانشهر اهواز پرداختند. در این مطالعه جهت بررسی تغییرات کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه از روش حداکثر احتمال استفاده شده است. نتایج به دست آمده نشان داد که طی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۳ نزدیک به ۲۳ درصد از سهم اراضی بایر و زمین‌های کشاورزی کم شده و در طرف مقابل سهم اراضی ساخته شده از ۱۶/۳۵ به ۳۴/۵۵ افزایش یافته است که بیشترین آنها مربوط به مناطق جنوبی و شرقی اهواز می‌باشد. کیانی سلمی و ابراهیمی (۱۳۹۷) به بررسی تغییرات کاربری اراضی و پیش‌بینی آن با استفاده از سلول‌های خودکار در شهرستان شهرکرد پرداختند. نتایج نشان داد که در سال ۱۳۹۵ میزان اراضی شهری ۱۳ درصد نسبت به سال ۱۳۸۲ افزایش یافته است. میزان تغییرات اراضی برای ۱۰ سال آینده (۱۴۰۵) نشان داد که رشد اراضی شهری برابر با ۶/۰۱ درصد خواهد بود.

Wakode و همکاران (۲۰۱۴) به ارزیابی گسترش شهری با استفاده از تصاویر ماهواره لندست در منطقه حیدرآباد هند پرداختند. نتایج تحقیق بیانگر این بود که در طول بازه زمانی ۲۰۱۱-۱۹۸۹ گسترش شهری با چگالی بالا اتفاق افتاده است. تغییرات کاربری اراضی در جهت‌های جنوبی و شمال شرقی شهر نمود بیشتری داشته است. در جهت شمال شرقی، رشد شهری بیشتر به دلیل توسعه مناطق مسکونی و در جهت جنوبی بیشتر تحت تاثیر رشد و گسترش مناطق صنعتی و مسکونی بوده است. Wu و همکاران (۲۰۰۶)

به بررسی دینامیک تغییر کاربری اراضی شهر پکن با ادغام داده‌های ماهواره‌ای سنجنش از راه دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداخته و تغییرات کاربری اراضی را برای ۲۰ سال آینده با استفاده از زنجیره مارکوف و تجزیه و تحلیل‌های رگرسیونی پیش‌بینی

کرده‌اند. نتایج بیانگر این بود که رشد اراضی شهری در منطقه قابل توجه بوده و موجب تخریب بسیاری از اراضی زراعی بین سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۱ شده و تداوم این روند را برای آینده نیز پیش‌بینی کرده‌اند. Mishra و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای به بررسی تغییرات کاربری اراضی و پوشش در هند پرداختند. برای تهیه نقشه کاربری اراضی از روش بیشترین شباهت استفاده کردند. نتیجه گرفتند که کاربری‌های جنگل متراکم، اراضی ساخته شده و سطح آبی با افزایش مساحت روبه‌رو بودند و کاربری‌های جنگل‌های تنک، زمین بایر و کشاورزی با افزایش مساحت روبه‌رو بوده‌اند.

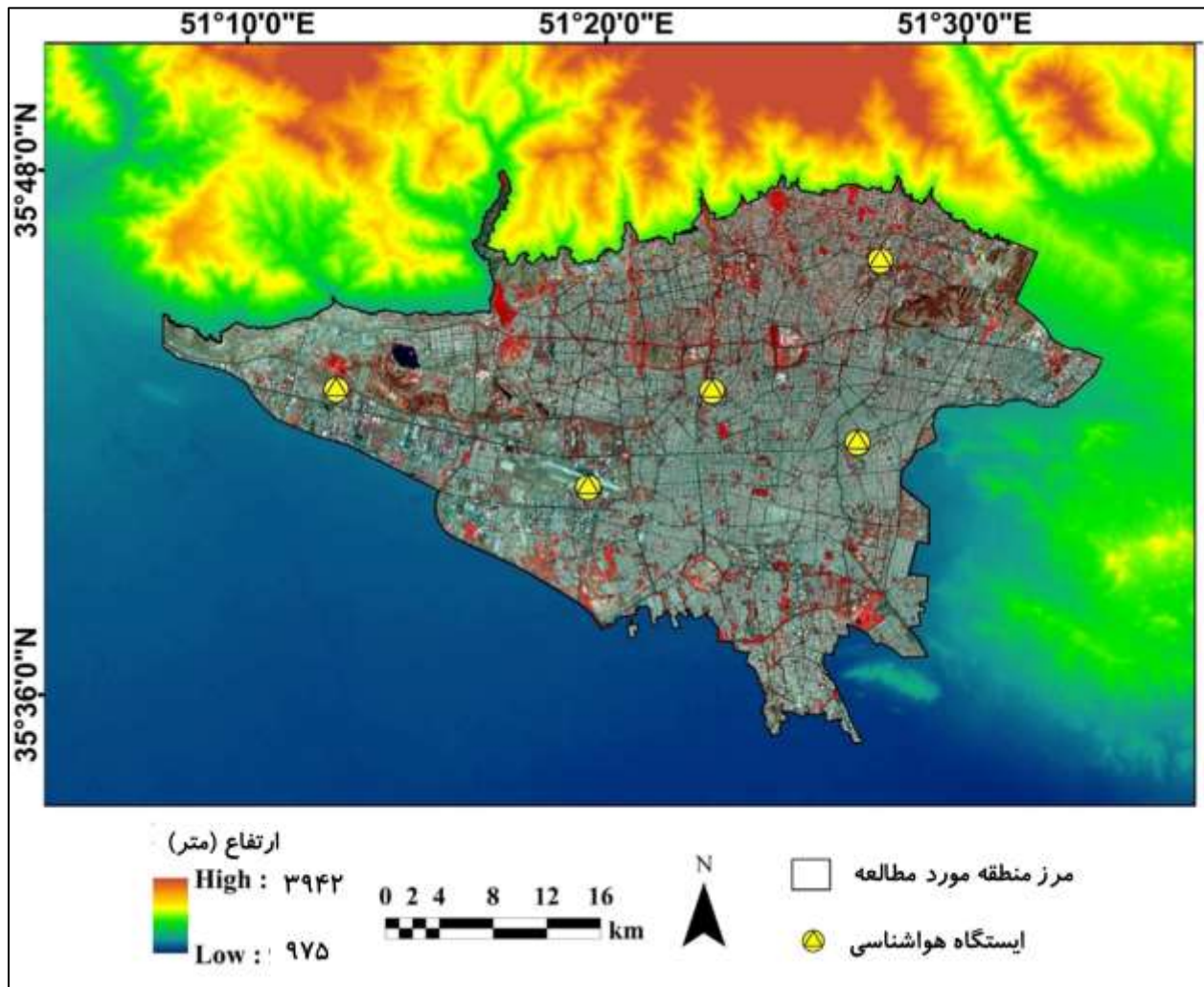
تحقیقات گذشته در زمینه بررسی تغییرات کاربری اراضی طی دوره‌های زمانی مختلف، کارایی فناوری‌های سنجش از دور در این زمینه را ثابت کرده است. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه با توجه به پوشش سطح زمین طی سری‌های زمانی ثابت، این قابلیت را فراهم کرده تا با استفاده از این تصاویر بتوان تغییرات کاربری‌های مختلف سطح زمین را طی فواصل زمانی مختلف پایش کرد. همچنین می‌توان با بررسی این تغییرات طی یک دوره زمانی، روند تغییرات را مدلسازی کرده تا مدل حاصل شده برای پیش‌بینی تغییرات برای آینده به کار گرفته شود تا با توجه به نتایج بدست آمده تصمیم‌های لازم گرفته شود. اهداف اصلی و اساسی این پژوهش عبارت‌از:

۱- بررسی تغییرات کاربری اراضی و گسترش فیزیکی شهر اسلامشهر در بازه زمانی ۲۰۲۰-۱۹۹۰ می‌باشد

۲- مقایسه روش‌های زنجیره مارکوف و شبکه عصبی مصنوعی جهت پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی برای سال ۲۰۳۰

### منطقه مورد مطالعه

شهر تهران به عنوان پایتخت ایران و مرکز استان تهران؛ در شمال کشور و دامنه‌های جنوبی رشته کوه البرز قرار دارد. از لحاظ جغرافیایی در ۵۱ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). بر اساس آخرین سرشماری عمومی نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۵ توسط مرکز آمار در ایران، تهران دارای جمعیتی بیش از ۸ میلیون نفر می‌باشد. منطقه مورد مطالعه از سمت شمال به مناطق کوهستانی و از سمت جنوب به مناطق بیابانی محدود می‌شود. به طوری که در جنوب و شمال آن آب و هوای متفاوتی وجود دارد. مناطق شمالی دارای آب و هوای سرد و خشک در حالی که بخش‌های جنوبی از شرایط آب و هوای گرم و خشک رنج می‌برند. ارتفاع این شهرستان از ۹۰۰ تا ۱۸۰۰ متر متغیر است. در شهر تهران تغییرات متوسط سالانه درجه حرارت بین ۱۵ تا ۱۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و با توجه به اختلاف ارتفاع در منطقه مورد مطالعه بخش‌های مختلف به طور متوسط دارای تفاوت حرارتی ۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. میزان بارش سالانه در تهران عمدتاً تحت تاثیر اختلاف ارتفاع قرار می‌گیرد. در شمال ۴۲۲ میلی‌متر و در جنوب ۱۴۵ میلی‌متر می‌باشد. تعداد روزهای بارانی از این الگوی پیروی می‌کند که بین ۸۹ روز در شمال و ۳۳ روز در جنوب متفاوت است. همچنین در منطقه مورد مطالعه هر ساله حدود ۲۰۵ تا ۲۱۳ روز آسمان صاف همراه با کمی ابر وجود دارد.



شکل (۱). منطقه مورد مطالعه

### داده‌های مورد استفاده

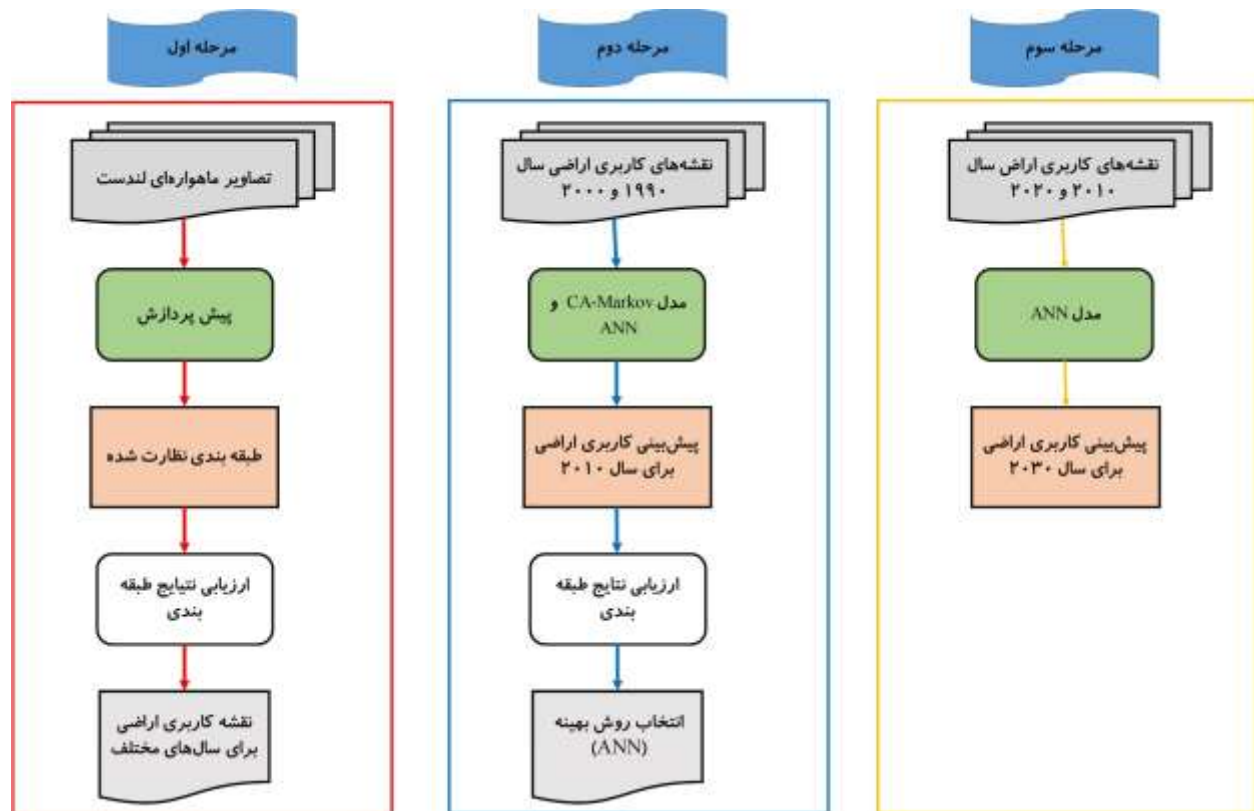
این پژوهش از نوع پژوهش کاربردی و روش پژوهش تحلیلی است. روش گردآوری داده‌ها به صورت میدانی و با بهره‌گیری از سایت‌های مرجع تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد. از نظر زمانی روش تحقیق مقطعی است. زیرا اولاً روند توسعه فیزیکی شهر و تغییرات کاربری آن بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ مورد مطالعه قرار گرفت و از طرف دیگر تغییرات کاربری‌ها برای سال‌های آینده پیش‌بینی شد. در مطالعه حاضر از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵، لندست ۷ و لندست ۸ استفاده شده است. این تصاویر زمین مرجع شده و در سیستم تصویر UTM در ناحیه N۳۹ قرار دارند. تصاویر مذکور در سایت زمین‌شناسی امریکا به رایگان در دسترس می‌باشد. همچنین به منظور ارزیابی صحت هندسی نقشه‌های حاضر از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ تهیه شده توسط سازمان نقشه برداری استفاده شده است داده‌های مورد استفاده در پژوهش در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول (۱). تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های توپوگرافی مورد استفاده

| تاریخ           | قدرت تفکیک/مقیاس | ماهواره (سنجنده) | نوع داده         |
|-----------------|------------------|------------------|------------------|
| ۱۹۹۰/۰۶/۱۵      | ۳۰ متر           | لندست ۵          | تصویر ماهواره‌ای |
| ۲۰۰۰/۰۷/۲۹      | ۳۰ متر           | لندست ۷          | تصویر ماهواره‌ای |
| ۲۰۱۰/۰۸/۱۹      | ۳۰ متر           | لندست ۵          | تصویر ماهواره‌ای |
| ۲۰۲۰/۰۸/۲۳      | ۳۰ متر           | لندست ۸          | تصویر ماهواره‌ای |
| برای همه سال‌ها | ۱:۲۵۰۰۰          | ---              | نقشه توپوگرافی   |

## روش تحقیق

در این پژوهش ابتدا مراحل اول، پیش‌پردازش بر روی تصاویر ماهواره‌ای اعمال شد. در مرحله دوم، با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت شده ماشین بردار پشتیبان نقشه کاربری اراضی برای سال‌های مختلف استخراج گردید. در مرحله سوم، با استفاده از روش-های ANN و CA-Markov نقشه کاربری اراضی برای سال ۲۰۳۰ پیش‌بینی شد. در نهایت در مرحله چهارم، نتایج روش‌های پیش‌بینی جهت انتخاب روش بهینه مورد ارزیابی قرار گرفت. مراحل اصلی انجام پژوهش به صورت شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل (۲). فلوچارت روش تحقیق

## تهیه نمونه‌های تعلیمی

اساساً طبقه‌بندی تصاویر سنجش از دور فرآیند مشکلی است، زیرا بیشتر روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده نیازمند داده‌های تعلیمی به اندازه‌ی کافی بزرگ هستند (Chi et al., 2008). از طرفی، نحوه‌ی انتخاب نمونه‌های تعلیمی نیز یکی از مهمترین عوامل در طبقه‌بندی پیکسل‌ها است (Paola and Schoweng, 1995). برای رسیدن به دقت بهتر این عامل می‌تواند حتی از انتخاب الگوریتم طبقه‌بندی نیز مهم‌تر باشد (Hixon et al., 1980). بنابراین به منظور تهیه‌ی نمونه‌های تعلیمی روی تصاویر سال‌های موردنظر، با توجه به اینکه اطلاعات زمینی در دسترس نبود، با تفسیر چشمی تصویر رنگی کاذب برای هر تصویر تهیه و با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی نمونه‌هایی که معرف بازتاب کاربری و پوشش‌های مورد نظر بودند، انتخاب گردید.

## طبقه‌بندی تصاویر

طبقه‌بندی تصاویر را می‌توان مهم‌ترین بخش تفسیر اطلاعات ماهواره‌ای شمرد. برای این کار از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان استفاده شد. ماشین بردار پشتیبان یک روش کلاسه‌بندی الگو است که اولین بار توسط ویپینگ معرفی شد (Srivastava & Gupta, 2003). این روش یکی از روش‌های طبقه‌بندی غیرپارامتریک نظارت شده بر مبنای نظریه‌ی یادگیری آماری است. از جمله قابلیت‌های آن، توانایی غلبه بر مشکل توزیع غیرخطی داده‌های آموزشی است. در این حالت با استفاده از توابع کرنل، داده‌ها به فضایی با بعد بزرگ‌تر انتقال می‌یابند که در آن تفکیک‌پذیری بهتر انجام می‌شود. عمومی‌ترین کرنل‌ها، خطی، چندجمله‌ای، حلقوی و پایه‌ی شعاعی هستند. در این پژوهش کرنل پایه‌ی شعاعی با توجه به استفاده وسیع در مطالعات تغییر کاربری اراضی با داده‌های ماهواره‌ای مختلف و همچنین عملکرد بهتر نسبت به کرنل‌های دیگر مورد استفاده قرار گرفت.

## زنجیره مارکوف

جهت پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و میزان گسترش فیزیکی، روش ریاضی و احتمالی زنجیره‌ی مارکوف استفاده شد. در این مدل همواره از دو نقشه‌ی رستری استفاده می‌شود که ورودی‌های مدل هستند. علاوه بر این دو نقشه، فاصله‌ی زمانی بین دو تصویر و فاصله‌ی زمانی پیش‌بینی نیز در نظر گرفته می‌شود. علاوه بر این دو نقشه، فاصله‌ی زمانی بین دو تصویر و فاصله‌ی زمانی پیش‌بینی نیز در مدل در نظر گرفته می‌شود. بر اساس احتمال شرطی قانون بیز، پیش‌بینی تغییر کاربری اراضی در مدل مارکوف با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود (Jiang et al., 2019).

$$s(t+1) = p_{ij} \cdot s(t) \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه (۱)،  $s(t)$  و  $s(t+1)$  حالت‌های سیستم در زمان  $t$  و  $t+1$  هستند و  $p_{ij}$  ماتریس احتمال انتقال در یک حالت است که از طریق رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$p_{ij} = \begin{bmatrix} p_{11} & \dots & p_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n1} & \dots & p_{nn} \end{bmatrix} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$(0 \leq p_{ij} \leq 1 \text{ and } \sum_{j=1}^N p_{ij} = 1, (i, j=1, 2, \dots, n))$$

خروجی مدل نیز شامل احتمالات تبدیل وضعیت، ماتریس مساحت‌های تبدیل‌شده هر کلاس و درنهایت تصاویر احتمالی شرطی برای تبدیل کاربری‌های مختلف است.

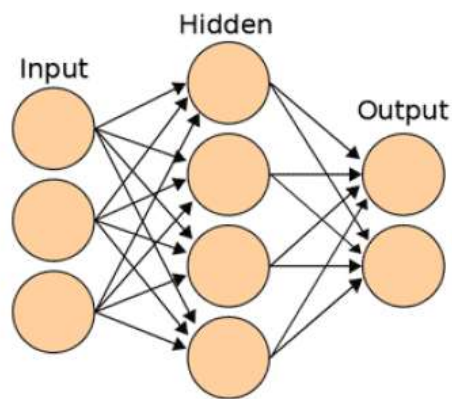
### شبکه عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی تلاشی است برای شبیه‌سازی پدیده‌های شبکه‌های عصبی بیولوژیکی به منظور پردازش، تحلیل و مدل‌سازی مسائل پیچیده. عناصر پردازشی این شبکه‌ها نرون<sup>۲</sup> نام دارد. این شبکه‌ها با پردازش روی داده‌های تجربی دانش یا قانون نهفته آن را به ساختار شبکه منتقل می‌کنند به این خاطر به این سیستم‌ها، سیستم هوشمند گفته می‌شود (Gharaibeh et al., 2020). شبکه‌های عصبی در واقع یک تکنیک غیرپارامتریک است که برای کمی‌سازی و مدل‌سازی الگوهای پیچیده مورد استفاده قرار می‌گیرد. و برخلاف روش‌های آماری رایج، شبکه‌های عصبی دارای مزایای زیر می‌باشد که روش‌های آماری فاقد آن می‌باشند و آنها عبارتند از (Kesikoglu et al., 2019):

- احتیاج نداشتن به مطابقت و پیروی داده‌ها با توزیع آماری خاص
- شبکه‌های عصبی می‌توانند با مقیاس‌های اندازه‌گیری متفاوت بدون نیاز داشتن به تبدیل مقیاس‌ها به مقیاس واحد، کار کنند.
- این شبکه‌ها می‌توانند مسائل غیره خطی با پیچیدگی بالا را حل کنند.
- یک شبکه عصبی می‌تواند سازماندهی یا ارائه‌اش را، برای اطلاعاتی که در طول دوره یادگیری دریافت می‌کند، خودش ایجاد کند.
- محاسبات شبکه عصبی می‌تواند به صورت موازی انجام شود، نرم افزارها و سخت افزارهایی برای بهینه ساختن این چنین محاسبات طراحی و ساخته شده‌اند.

بطور کلی یک مدل شبکه عصبی مصنوعی معمولی از سه لایه تشکیل یافته که عبارتند از (شکل ۳):

- لایه ورودی: فعالیت این لایه نشان‌دهنده اطلاعات خامی است که شبکه را تغذیه می‌کند.
- لایه نهان: عملکرد این لایه به وسیله لایه ورودی و وزن‌های ارتباطی بین ورودی‌ها و واحدهای نهان مشخص می‌گردد.
- لایه خروجی: رفتار این لایه بستگی به عملکرد لایه نهان و وزن‌های بین لایه نهان و لایه خروجی دارد.



شکل (۳). لایه‌های شبکه عصبی چند لایه

➤ شبکه عصبی پرسپترون چند لایه‌ای

<sup>2</sup> - Neuron

شبکه‌های عصبی پرسپترون چند لایه معمول‌ترین مدل مورد استفاده برای طبقه‌بندی تصویر در سنجش از دور می‌باشد که در آن پوشش زمین منطقه، بر اساس روابط آموزشی طی فاز آموزشی، تهیه می‌شود. هرچند انواعی دیگر از روش‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی برای طبقه‌بندی کاربری و پوشش زمین وجود دارد (Dede et al., 2021).

مدل پرسپترون چند لایه‌ای یک شبکه عصبی از نوع شبکه‌های پیش‌خور<sup>۳</sup> با یک یا چند لایه بین لایه‌های ورودی و خروجی می‌باشد. الگوریتم یادگیری مدل پرسپترون چند لایه، الگوریتم پس‌انتشار<sup>۴</sup> می‌باشد که اساس یادگیری آن بر پایه محاسباتی است که بر روی نواحی آموزشی انجام می‌دهد. این الگوریتم یادگیری شامل دو گام اساسی می‌باشد که عبارتند از Forward Propagation و Backward Propagation.

فرآیند Forward Propagation و Backward Propagation بصورت مکرر تکرار می‌گردد تا زمانی که خطاهای شبکه به حداقل رسیده یا به مقدار قابل قبول برسد. در واقع هدف یادگیری شبکه رسیدن به وزن‌های مناسب برای هر دو رابطه بین لایه ورودی و نهان، و لایه نهان و لایه خروجی می‌باشد (Zhan et al., 2019).

کیفیت و اندازه‌ی مجموعه داده‌های آموزشی، بیشترین تأثیر را روی قابلیت تعمیم نتیجه‌ی طبقه‌بندی و صحت کل طبقه‌بندی دارد. تعداد گره‌های ورودی در این مطالعه شامل باندهای طیفی می‌شود. به صورت کلی، باید مجموعه داده‌های آموزشی، توانایی ارائه‌ی اطلاعات مناسب از طبقه‌های مورد نظر برای طبقه‌بندی شبکه عصبی را داشته باشد. اندازه‌ی مجموعه آموزشی باید متناسب با افزایش تعداد گره‌های ورودی یا باندهای طیفی، تغییرپذیری طیفی طبقه‌های مورد نظر و صحت طبقه‌بندی مورد نظر، افزایش یابد. عامل مهم دیگر که باید در شبکه عصبی به دقت تعیین شود، ضریب شتاب است که عملی شبیه فیلتر کم‌گذر دارد و به شبکه اجازه می‌دهد تا عوارض کوچک در سطح خطا را نادیده بگیرد. ضریب شتاب باید با تجربه و آزمایش انتخاب شود. تعداد تکرار در طبقه‌بندی شبکه‌ی عصبی نیز اهمیت دارد و باید به اندازه‌ی کافی بزرگ باشد تا شبکه آموزش داده شود، ولی نه آنقدر که شبکه بسیار زیاد آموزش داده شود (Barman et al., 2020).

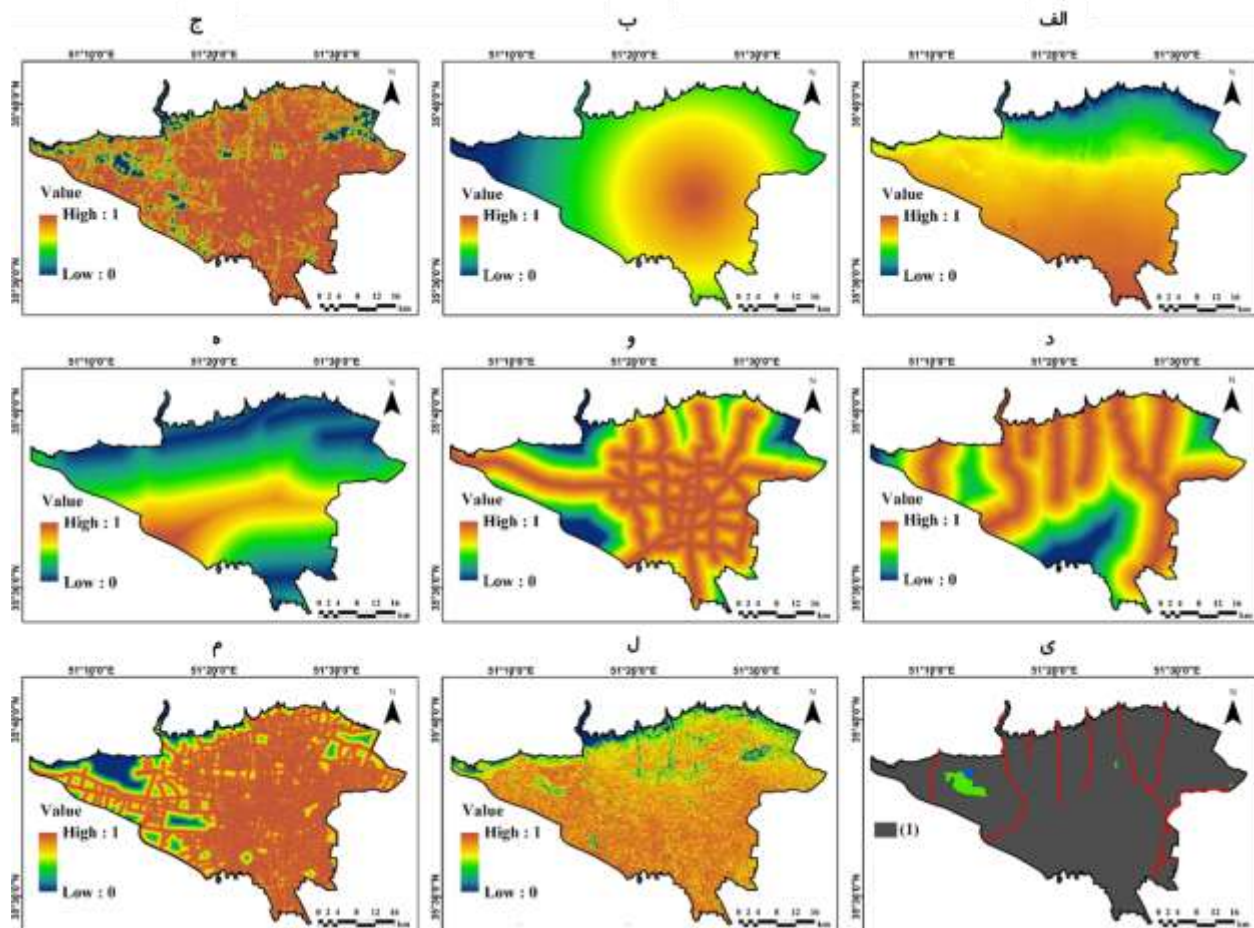
### نقشه تناسب

همزمان با تجزیه و تحلیل توسعه شهری تهران در ۳۰ سال گذشته، برای پیش‌بینی کاربری اراضی آینده از مجموعه معیارهای مکانی جهت تهیه نقشه تناسب استفاده شده است. این معیارها شامل هفت معیار هزینه (فاصله از اراضی ساخته شده، فاصله از مرکز شهر، ارتفاع، شیب، فاصله از خطوط مترو، فاصله از شبکه جاده و فاصله از روخانه) و یک معیار سود (فاصله از غسل) است (شکل ۴). به منظور تهیه نقشه‌هایی با مقیاس مقادیر مشابه، نقشه معیارهای مورد استفاده با استفاده از توابع Min-Max به مقیاس ۰ (دارای کمترین پتانسیل) تا ۱ (دارای بیشترین پتانسیل) نرمال شدند. همچنین نقشه محدودیت‌ها منطقه مورد مطالعه شامل رودخانه‌ها، اجسام آبی و مناطق حفاظت شده با استفاده از منطق بولین تهیه شدند. در نهایت با استفاده از نظر کارشناسان و متخصصان برنامه‌ریزی شهری و مدل تحلیل سلسله‌مراتبی وزن هر کدام از معیارها محاسبه شد.

<sup>3</sup> - Feed-Forward

<sup>4</sup> - Back Propagation





شکل (۴). نقشه معیارها؛ الف) ارتفاع؛ ب) فاصله از مرکز شهر؛ ج) فاصله از اراضی ساخته شده؛ د) فاصله از روخانه؛ و) فاصله از خطوط مترو؛ ه) فاصله از گسل؛ ز) محدودیت‌ها؛ ل) شیب؛ م) فاصله از شبکه راه

### معیارهای ارزیابی دقت طبقه‌بندی

ارزیابی نتایج دقت طبقه‌بندی یکی از مراحل مهم پس از طبقه‌بندی است. برای ارزیابی دقت نتیجه‌ی طبقه‌بندی از اطلاعات حاصل از شناخت کامل نگارنده نسبت به منطقه‌ی مورد مطالعه، نقشه‌ی توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و Google Earth استفاده شده است. در این تحقیق به منظور بررسی دقت و صحت طبقه‌بندی تصاویر از معیارهای ارزیابی به شرح زیر استفاده شده است:

**ماتریس خطا<sup>۵</sup>:** ارزیابی خطا و برآورد دقت طبقه‌بندی معمولاً براساس پارامترهای آماری است که از ماتریس خطا استخراج می‌شود. ماتریس خطا حاصل مقایسه‌ی پیکسل به پیکسل، پیکسل‌های معلوم (در واقعیت زمینی) با پیکسل‌های متناظر در نتایج طبقه‌بندی است (فاطمی و رضایی، ۱۳۸۹). به منظور درستی ایجاد ماتریس خطا باید عواملی مانند جمع‌آوری داده‌های مرجع، طبقه‌بندی، روش‌های نمونه‌برداری، واحد همبستگی فضایی و حجم و واحد نمونه را در نظر گرفت.

**دقت کلی<sup>۶</sup>:** دقت کلی میانگینی از دقت طبقه‌بندی است که نسبت پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی شده به جمع پیکسل‌های معلوم را نشان می‌دهد.

<sup>5</sup> Confusion Matrix

<sup>6</sup> Overall Accuracy

**دقت تولیدکننده<sup>۷</sup> و کاربر<sup>۸</sup>:** این دو معیار ارزیابی دقت با استفاده از ماتریس خطا به دست می‌آیند. دقت تولیدکننده احتمال اینکه طبقه‌بندی کننده، پیکسلی را به یک کلاس خاص نسبت داده باشد در صورتی که کلاس واقعی آن مشخص باشد، را بیان می‌کند. در صورتی که دقت کاربر احتمال طبقه‌بندی یک کلاس خاص مطابق با همان کلاس در نقشه واقعیت زمینی را بیان می‌کند.

**ضریب کاپا<sup>۹</sup>:** یکی دیگر از پارامترهای دقت که از ماتریس خطا استخراج می‌شود. ضریب کاپا دقت طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی محاسبه می‌کند (فاطمی و رضایی، ۱۳۸۹).

### ارزیابی کارایی مدل‌های پیش‌بینی

برای ارزیابی عملکرد مدل سازی، می‌توان نقشه پیش‌بینی شده برای یک بازه زمانی خاص را با یک نقشه واقعی مقایسه کرد تا بتوان از مدل برای پیش‌بینی آینده استفاده کرد به شرطی که درجه شباهت به اندازه کافی بالا باشد. در مطالعه حاضر، برای ارزیابی مدل CA-Markov و ANN برای پیش‌بینی، از نقشه پوشش واقعی زمین و پیش‌بینی شده سال ۲۰۱۰ استفاده کردیم. سرانجام، مساحت کاربری‌ها با یکدیگر مقایسه شد.

برای پیش‌بینی نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۰ از نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ استفاده شده است. در نهایت بهترین مدل برای پیش‌بینی نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۳۰ بر اساس نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ استفاده شده است.

## بحث و نتایج

### ۱-۳- ارزیابی دقت و طبقه‌بندی تصاویر

نتایج حاصل از ارزیابی دقت طبقه‌بندی در جدول (۲) نشان داده شده است. ماتریس خطا و ارزیابی دقت نتایج طبقه‌بندی با استفاده از نقاط کنترل برای نقشه‌های طبقه‌بندی شده به دست آمده است. در این مطالعه از دو شاخص دقت کلی و ضریب کاپا برای ارزیابی دقت نتایج طبقه‌بندی استفاده شده است. دقت کلی برای نقشه کاربری اراضی، ۱۹۹۰، ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ به ترتیب برابر ۸۹/۴۷، ۹۱/۹۲، ۹۳/۱۲ و ۹۳/۳۶ است. همچنین ضریب کاپا برای سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ به ترتیب برابر ۰/۹۱، ۰/۹۳، ۰/۹۴ و ۰/۹۴ درصد به دست آمده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که نقشه تغییرات فضایی برای سال‌های مختلف با دقت قابل قبولی تهیه شده است.

جدول (۲). نتایج ارزیابی دقت نقشه‌های کاربری اراضی تهیه شده

| نقشه کاربری اراضی | ۱۹۹۰ | ۲۰۰۰ | ۲۰۱۰ | ۲۰۲۰ |
|-------------------|------|------|------|------|
| ضریب کاپا         | ۰/۹۱ | ۰/۹۳ | ۰/۹۴ | ۰/۹۴ |

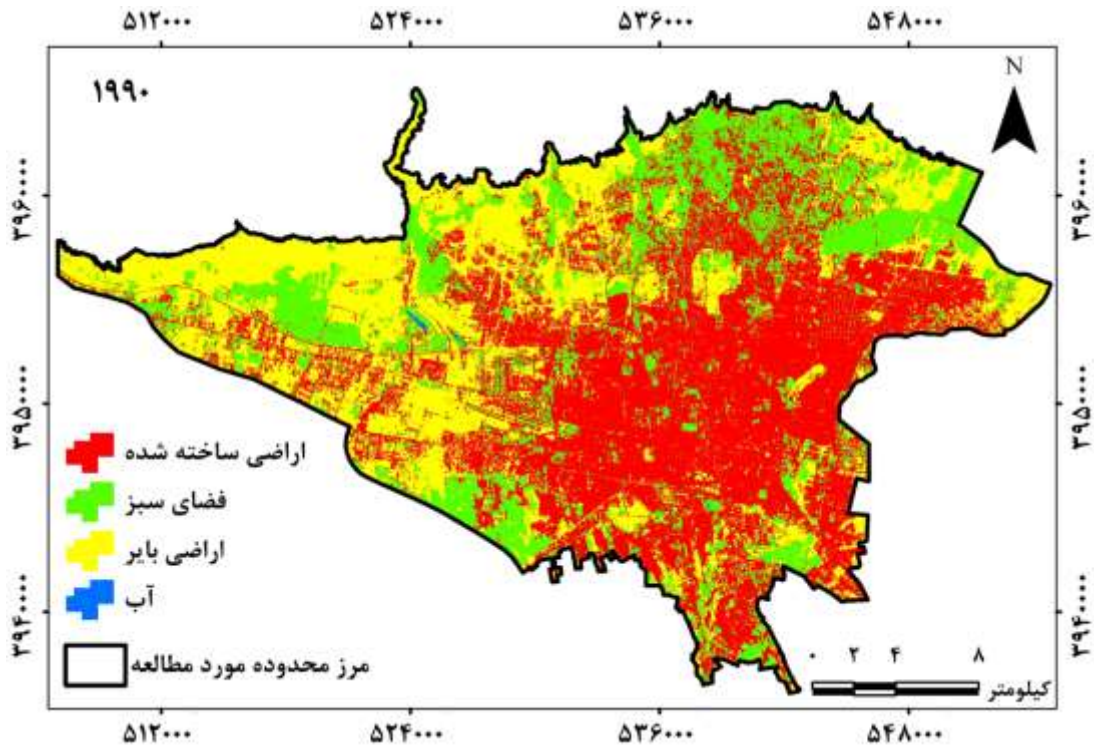
<sup>7</sup> Producer's Accuracy

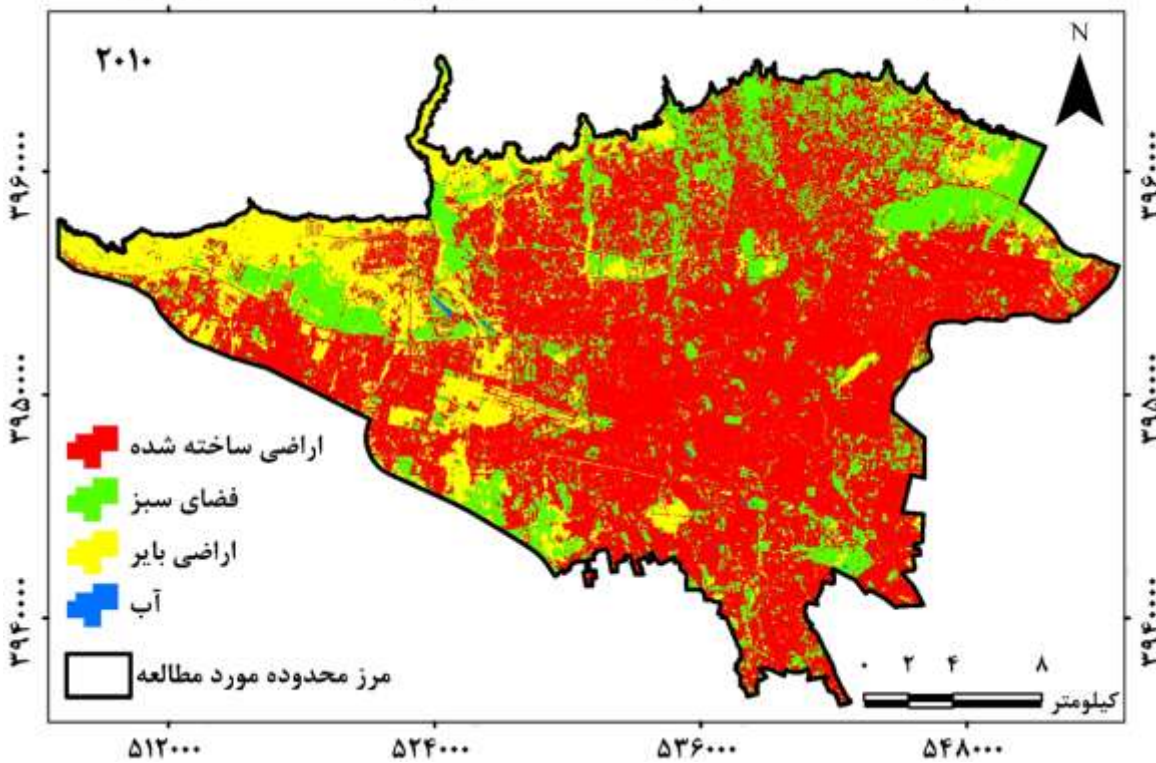
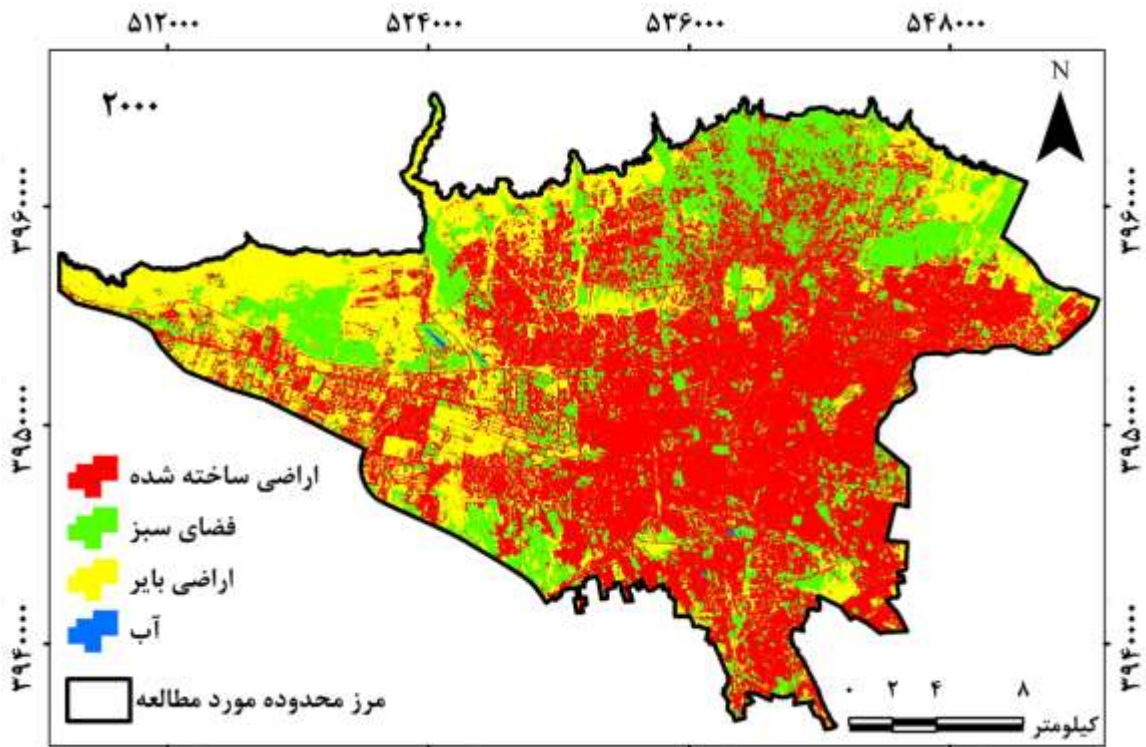
<sup>8</sup> User's Accuracy

<sup>9</sup> Kappa Coefficient

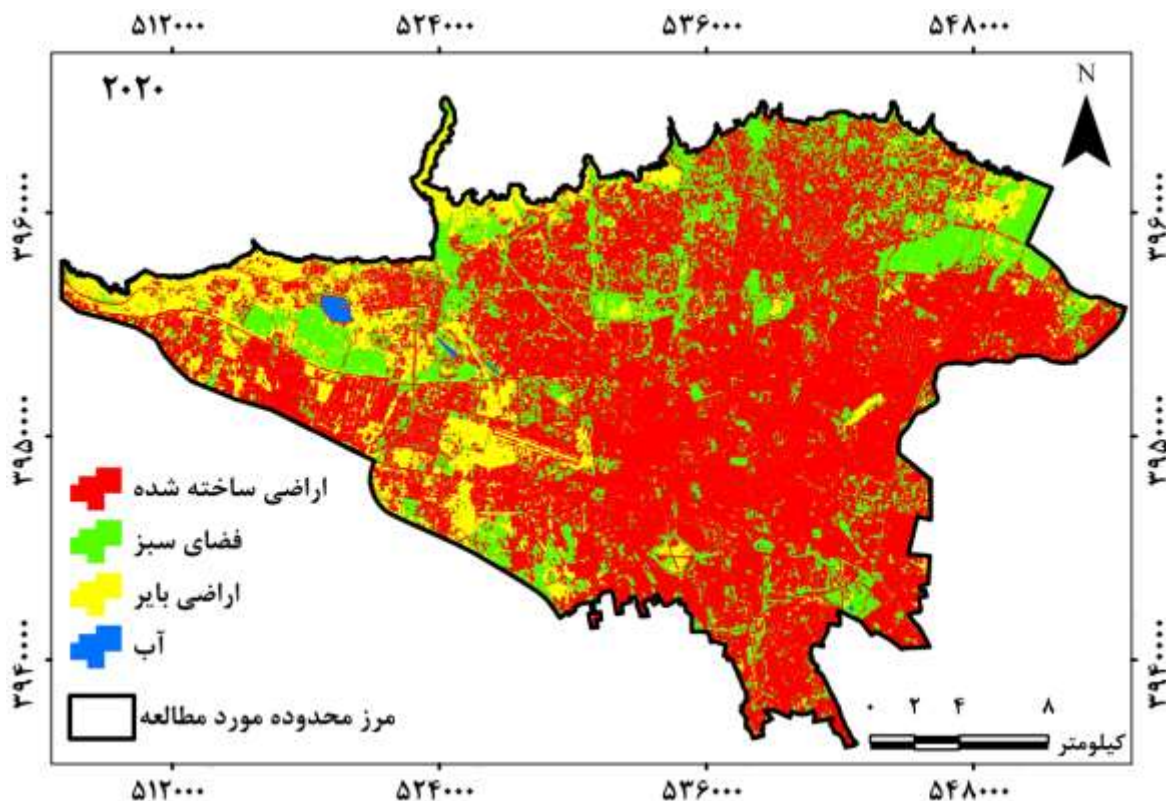
|         |       |       |       |       |
|---------|-------|-------|-------|-------|
| صحت کلی | ۸۹/۴۷ | ۹۱/۹۲ | ۹۳/۱۲ | ۹۳/۳۶ |
|---------|-------|-------|-------|-------|

با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت شده، منطقه مورد مطالعه به ۴ کاربری عمده اراضی ساخته شده، اراضی بایر و فضای سبز و آب طبقه‌بندی شده است (شکل ۴). با استفاده از تصاویر طبقه‌بندی شده، اطلاعات آماری مربوط به هر کلاس استخراج شد.



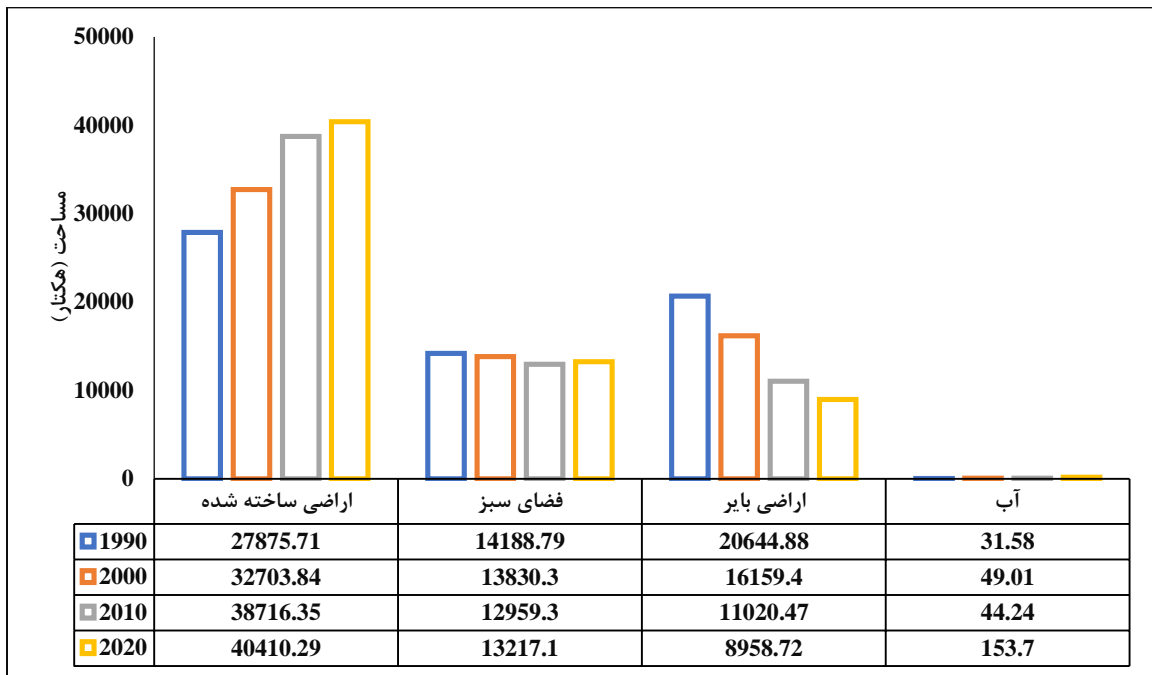






شکل (۴). نقشه تغییرات فضایی منطقه مورد مطالعه برای بازه زمانی ۱۳۹۹-۱۳۷۵

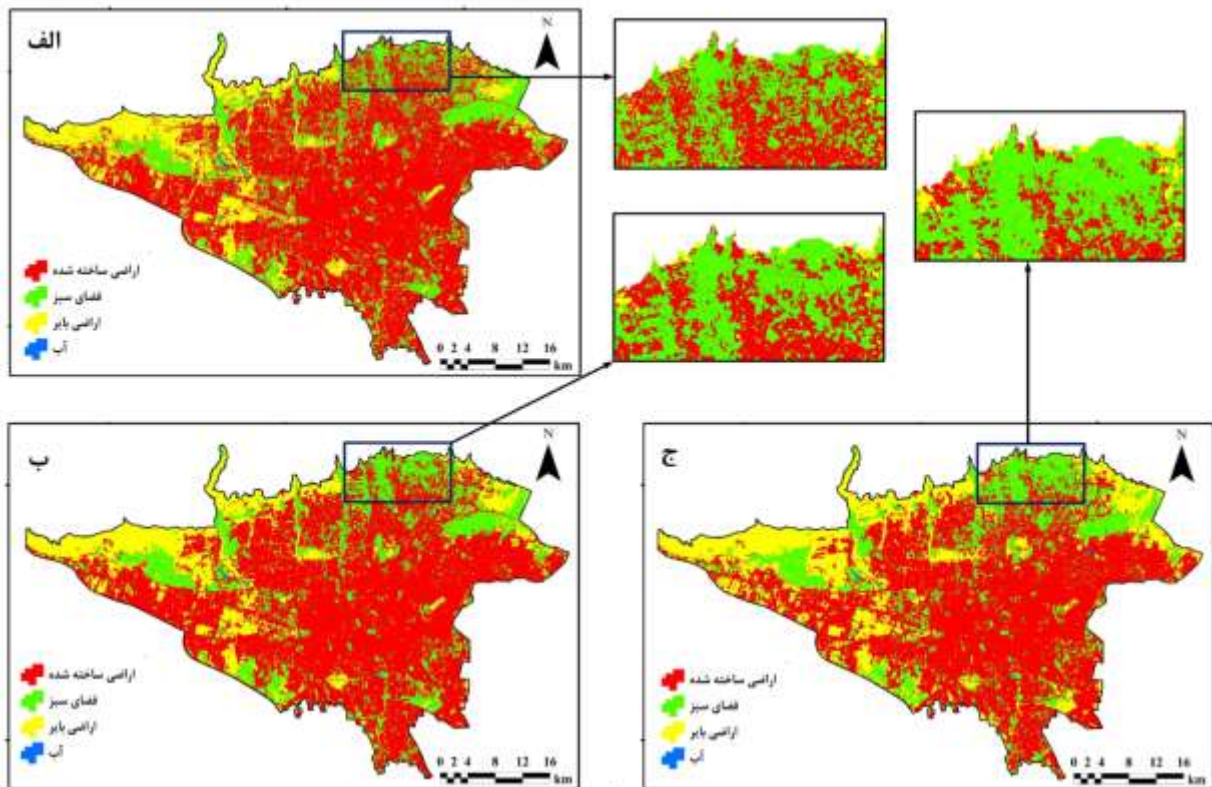
با توجه به شکل (۵) کاربری اراضی ساخته شده و آب داری روند افزایشی می‌باشند. به طوری که اراضی ساخته شده از مساحت ۲۷۸۷۵,۷۱ هکتار در سال ۱۹۹۰ به ۴۰۴۱۰,۲۹ هکتار در سال ۲۰۲۰ رسیده است که از دلایل عمده آن رشد طبیعی جمعیت و مهاجرت به این کلان شهر می‌باشد و همچنین کاربری آب از مساحت ۳۱,۵۸ هکتار در سال ۱۹۹۰ به ۱۵۳,۷ هکتار در سال ۲۰۲۰ رسیده است که دلیل اصلی آن ایجاد دریاچه مصنوعی چیتگر در غرب این شهر می‌باشد. اما کاربری اراضی بایر با روند کاهشی روبه‌رو بوده است به طوری که از مساحت ۲۰۶۴۴,۸۸ هکتار در سال ۱۹۹۰ به ۸۹۵۸,۷۲ هکتار در سال ۲۰۲۰ رسیده است که مهمترین علت آن گسترش فیزیکی شهر تهران می‌باشد. مساحت کاربری فضای سبز تغییرات چندانی نداشته و تقریباً در همه دوره‌ها دارای مساحت یکسانی می‌باشد.



شکل (۵). مساحت کاربری‌های منطقه مورد مطالعه

### پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی

با توجه به ارزیابی مدل‌های CA-Markov و ANN، از نقشه‌های کاربری اراضی در سال ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ برای پیش‌بینی نقشه کاربری اراضی ۲۰۱۰ استفاده کردیم و سپس آن را با نقشه واقعی ۲۰۱۰ مقایسه کردیم. در شکل (۶) نقشه پیش‌بینی با دو روش و در جدول (۳) نتایج روش‌ها نشان داده شده است.



شکل (۶). الف) نقشه پایه کاربری اراضی سال ۲۰۱۰؛ ب) نقشه کاربری اراضی پیش‌بینی شده سال ۲۰۱۰ با استفاده از روش CA-Markov؛ ج) نقشه کاربری اراضی پیش‌بینی شده سال ۲۰۱۰ با استفاده از روش ANN

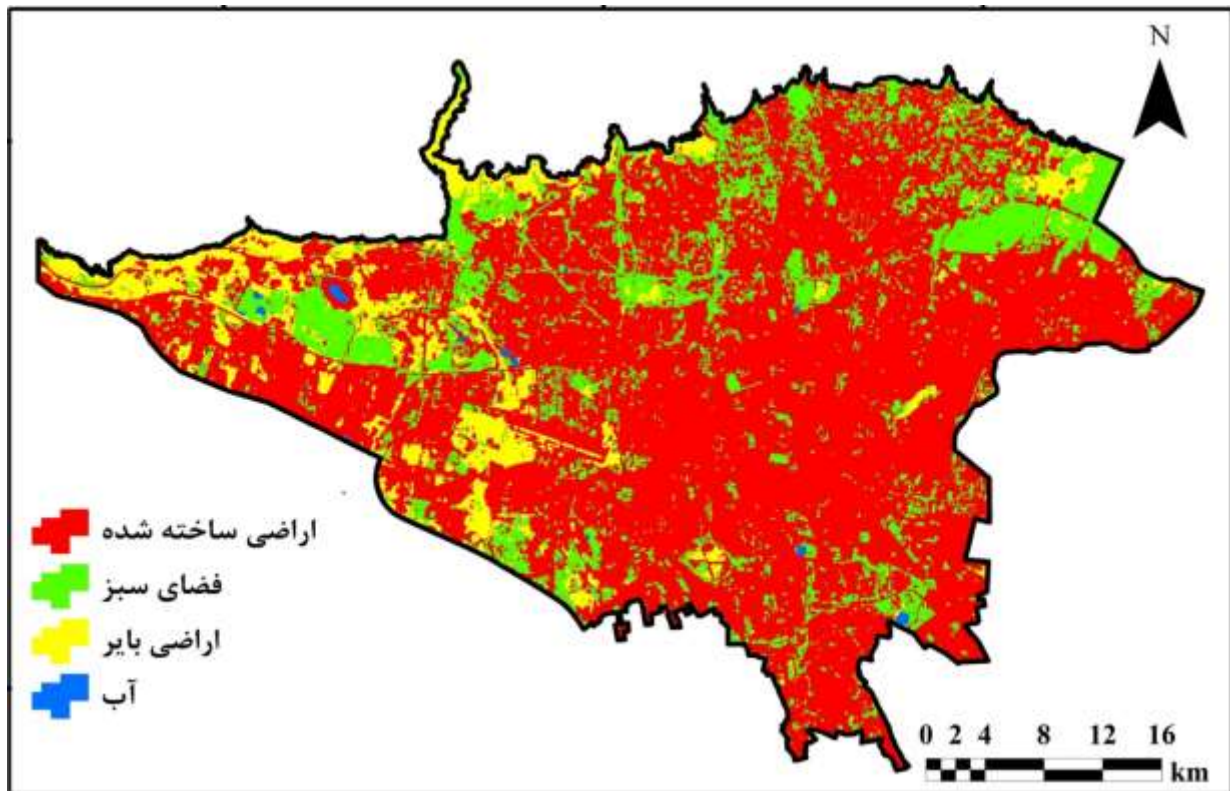
جدول (۳). تفاضل مساحت بین نقشه پیش‌بینی شده و واقعی کاربری اراضی برای سال ۲۰۱۰

| کاربری اراضی   | اراضی ساخته شده | فضای سبز | زمین بایر | آب    |
|--|-----------------|----------|-----------|-------|
| مساحت کاربری اراضی در نقشه پایه سال ۲۰۱۰                 | ۳۸۷۱۶/۳۵        | ۱۲۹۵۹/۳۰ | ۱۱۰۲۲/۳۸  | ۴۴/۲۴ |
| مساحت پیش‌بینی شده برای سال ۲۰۱۰ با استفاده از ANN       | ۳۹۹۴۰/۳۵        | ۱۲۸۱۹/۳۰ | ۱۰۱۷۹/۳۸  | ۵۰/۴۷ |
| مساحت پیش‌بینی شده برای سال ۲۰۱۰ با استفاده از CA-Markov | ۳۶۶۰۰/۲۴        | ۱۳۲۳۹/۱۳ | ۹۹۱۵/۶۷   | ۵۳/۳۶ |

|       |         |        |         |  |
|-------|---------|--------|---------|--|
| ۶/۲۳  | ۸۲۴/۶۵  | ۱۴۰/۰۵ | ۱۲۲۴/۰۰ | تفاضل مساحت کاربری‌های نقشه پیش‌بینی شده با استفاده از روش ANN با نقشه پایه            |
| ۹/۱۲  | ۱۱۰۶/۷۱ | ۲۷۹/۸۳ | ۲۱۱۶/۱۱ | تفاضل مساحت نقشه کاربری‌های پیش‌بینی شده با استفاده از روش CA-Markov با نقشه پایه      |
| ۱۴/۰۸ | ۷/۴۸    | ۱/۰۸   | ۳/۱۶    | تفاضل درصد مساحت کاربری‌های نقشه پیش‌بینی شده با استفاده از روش ANN با نقشه پایه       |
| ۲۰/۶۱ | ۱۰/۰۴   | ۲/۱۵   | ۵/۴۶    | تفاضل درصد مساحت نقشه کاربری‌های پیش‌بینی شده با استفاده از روش CA-Markov با نقشه پایه |

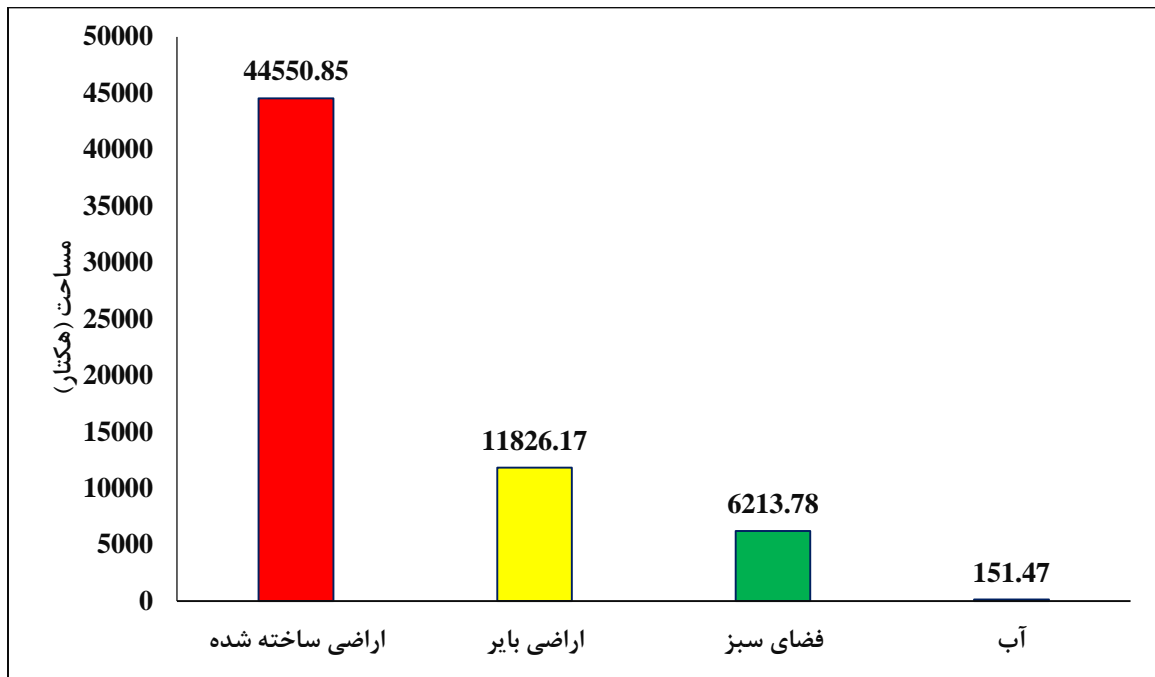
بررسی نتایج شکل (۶) و جدول (۳) نشان می‌دهد درصد اختلاف مساحت پیش‌بینی شده کاربری‌های ساخته‌شده، بایر، فضای سبز و آب با استفاده از مدل ANN (Ca-Markov) به ترتیب ۳/۱۶ (۵/۴۶)، ۱/۰۸ (۲/۱۵)، ۷/۴۸ (۱۰/۰۴) و ۱۴/۰۸ (۲۰/۶۱) می‌باشد. این نتایج نشان دهنده کارایی بالاتر مدل ANN برای پیش‌بینی کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه بالاتر از مدل Ca-Markov است. بنابراین در این مطالعه برای پیش‌بینی نتایج کاربری اراضی سال ۲۰۳۰ از مدل ANN استفاده شده است (شکل ۷).





شکل (۷). نقشه پیش‌بینی شده کاربری اراضی برای سال ۲۰۳۰ با استفاده از روش ANN

در شکل (۸) مساحت کاربری‌های پیش‌بینی شده برای سال ۲۰۳۰ با استفاده از روش ANN نشان داده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده برای آینده اراضی ساخته شده همچنان دارای روند افزایشی می‌باشد به صورتی که از مساحت ۴۰۴۱۰/۲۹ هکتار در سال ۲۰۲۰ به ۴۴۵۵۰/۸۵ هکتار در سال ۲۰۳۰ خواهد رسید. اراضی فضای سبز، اراضی بایر و آب دارای روند کاهشی خواهد بود. که مهمترین علت آنها افزایش جمعیت که در نتیجه‌ای آن افزایش اراضی ساخته‌شده را به دنبال خواهد داشت، می‌باشد.



شکل (۸). مساحت کاربری‌های پیش‌بینی شده برای سال ۲۰۳۰ با استفاده از روش ANN

### نتیجه‌گیری

شهرنشینی شتابان و حرکت به طرف شهری شدن جهان با افزایش جمعیت، ابعاد و تنوع الگوی توسعه‌ی شهرها همسو شده است. گسترش فیزیکی و کالبدی شهر به دلیل افزایش سریع جمعیت شهری در تمام کشورهای جهان از جمله کشورهای در حال توسعه صورت می‌گیرد. توسعه فیزیکی شهر فرآیندی پویا و مداوم است که طی آن محدوده‌های فیزیکی شهر و فضای کالبدی آن در جهت‌های افقی و عمودی از حیث کمی و کیفی افزایش می‌یابند و اگر این روند سریع و بی‌برنامه باشد به توسعه فیزیکی متعادل و موزون شهری نخواهد انجامید. بنابراین هدف از این مطالعه، مقایسه روش‌های CA-Markov و ANN جهت پیش‌بینی کاربری اراضی برای سال ۲۰۳۰ می‌باشد. در این مطالعه از داده‌های ماهواره‌ای مربوط به سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ جهت استخراج کاربری اراضی با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان استفاده شده است. همچنین جهت پیش‌بینی کاربری کاراضی برای آینده از روش‌های CA-Markov و ANN استفاده شده است. بررسی تغییرات کاربری اراضی در بازه زمانی مورد مطالعه نشان داد که کاربری اراضی ساخته شده و آب روند افزایشی و اراضی بایر و فضای سبز روند کاهشی داشته است. ارزیابی دقت روش‌های CA-Markov و ANN نشان داد که درصد اختلاف مساحت پیش‌بینی شده کاربری‌های ساخته شده، بایر، فضای سبز و آب با استفاده از مدل ANN (Ca-Markov) به ترتیب ۳/۱۶ (۵/۴۶)، ۱/۰۸ (۲/۱۵)، ۷/۴۸ (۱۰/۰۴) و ۱۴/۰۸ (۲۰/۶۱) می‌باشد. که نشان دهنده کارایی مدل ANN جهت پیش‌بینی کاربری اراضی می‌باشد. جهت مطالعات آینده پیشنهاد می‌شود از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا جهت افزایش دقت طبقه‌بندی و همچنین از سایر مدل‌های پیش‌بینی تغییرات به صورت مجزا و تلفیقی جهت اخذ نتایج بهتر استفاده شود.

## منابع

۱. امان پور، سعید، کاملی فر، محمدجواد، بهمنی، حجت. (۱۳۹۶). تحلیلی بر تغییرات کاربری اراضی در کلان‌شهرها با استفاده از آنالیز تصاویر ماهواره ای در محیط ENVI «مطالعه موردی: کلان‌شهر اهواز». فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر»، ۲۶(۱۰۲)، ۱۳۹-۱۵۰.
۲. کیانی سلمی، الهام، ابراهیمی، عطاالله. (۱۳۹۷). ارزیابی تغییرات پوشش اراضی شهرکرد و پیش‌بینی آینده آن با بهره‌گیری از داده‌های دورسنجی و مدل CA-Markov، فصلنامه برنامه‌ریزی فضایی، ۸(۲۸)، ۷۱-۸۸.
۳. محمدی، مجید، امیری، مجتبی، دستورانی، جعفر. (۱۳۹۴). مدل‌سازی و بررسی تغییرات کاربری اراضی شهرستان رامیان در استان گلستان. برنامه‌ریزی و آمایش فضا، ۱۹(۴)، ۱۴۱-۱۵۸.
۴. فاطمی، سیدباقر و یوسف رضایی. مبانی سنجش‌ازدور. تهران، انتشارات آزاده، چاپ دوم، ۱۳۸۹.
5. Alam, A., Bhat, M. S., & Maheen, M. (2020). Using Landsat satellite data for assessing the land use and land cover change in Kashmir valley. *GeoJournal*, 85(6), 1529-1543.
6. Barman, S., & Bhattacharjya, R. K. (2020). ANN-SCS-based hybrid model in conjunction with GCM to evaluate the impact of climate change on the flow scenario of the River Subansiri. *Journal of Water and Climate Change*, 11(4), 1150-1164.
7. Chen, J., Gong, P., He, C., Pu, R., & Shi, P. (2003). Land-use/land-cover change detection using improved change-vector analysis. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 69(4), 369-379.
8. Dede, M., Asdak, C., & Setiawan, I. (2021). Spatial dynamics model of land use and land cover changes: A comparison of CA, ANN, and ANN-CA. *Register: Jurnal Ilmiah Teknologi Sistem Informasi*.
9. Gharaibeh, A., Shaamala, A., Obeidat, R., & Al-Kofahi, S. (2020). Improving land-use change modeling by integrating ANN with Cellular Automata-Markov Chain model. *Heliyon*, 6(9), e05092.
10. Kesikoglu, M. H., Atasever, U. H., Dadaser-Celik, F., & Ozkan, C. (2019). Performance of ANN, SVM and MLH techniques for land use/cover change detection at Sultan Marshes wetland, Turkey. *Water Science and Technology*, 80(3), 466-477.
11. Mishra, P. K., Rai, A., & Rai, S. C. (2019). Land use and land cover change detection using geospatial techniques in the Sikkim Himalaya, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*.
12. Pal, S., & Ziaul, S. K. (2017). Detection of land use and land cover change and land surface temperature in English Bazar urban centre. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 20(1), 125-145.
13. Rahman, M. (2016). Detection of land use/land cover changes and urban sprawl in Al-Khobar, Saudi Arabia: An analysis of multi-temporal remote sensing data. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 5(2), 15.
14. Serra, P., Pons, X., & Saurí, D. (2008). Land-cover and land-use change in a Mediterranean landscape: a spatial analysis of driving forces integrating biophysical and human factors. *Applied Geography*, 28(3), 189-209.
15. Usman, M., Liedl, R., Shahid, M. A., & Abbas, A. (2015). Land use/land cover classification and its change detection using multi-temporal MODIS NDVI data. *Journal of Geographical sciences*, 25(12), 1479-1506.

16. Wakode, H. B., Baier, K., Jha, R., & Azzam, R. (2014). Analysis of urban growth using Landsat TM/ETM data and GIS—a case study of Hyderabad, India. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(1), 109-121.
17. Wu, Q., Li, H. Q., Wang, R. S., Paulussen, J., He, Y., Wang, M., ... & Wang, Z. (2006). Monitoring and predicting land use change in Beijing using remote sensing and GIS. *Landscape and urban planning*, 78(4), 322-333.
18. Zhan, Q., Tian, J., & Tian, S. (2019, July). Prediction Model of Land Use and Land Cover Changes in Beijing Based on Ann and Markov\_CA Model. In *IGARSS 2019-2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (pp. 6503-6506). IEEE.