



## مطالعه و پیش‌بینی تغییرات دمای سطح زمین شهر یزد: بررسی اثر مجاورت و تغییرات پوشش اراضی

مقاله پژوهشی

محمد منصورمقدم، ایمان روستا، محمد صادق زمانی، محمدحسین مختاری، محمد کریمی فیروزجایی، سید کاظم علوی پناه

دریافت: ۹ اسفند ۱۳۹۹ / پذیرش: ۴ خرداد ۱۴۰۰

دسترسی اینترنتی: ۱۵ دی ۱۴۰۰

### چکیده

یزد طی ۳۰ سال اخیر با استفاده از تصاویر لندست ۵ و ۸ بررسی می‌کند. این پژوهش همچنین نسبت مجاورت پیکسل‌های پوشش گیاهی و زمین‌های بایر به‌منظور بررسی نحوه تأثیرپذیری دمای سطح زمین ثبت‌شده توسط سنجنده را در همین دوره زمانی مورد ارزیابی قرار می‌دهد.

**مواد و روش‌ها** ابتدا نقشه‌های پوشش اراضی شهر یزد با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی نظارت‌شده شبکه عصبی برای سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ به دست آمد. از داده‌های زمینی، گوگل ارث و نقشه‌های واقعیت زمینی به‌منظور تهیه داده‌های تعلیمی استفاده شد. نقشه‌های دمای سطح زمین شهر یزد از تصاویر باند حرارتی لندست ۵ و ۸ محاسبه شد. سپس نقشه‌های دمای سطح زمین به ۶ کلاس دمایی موجود از جمله؛ ۱۶-۲۰، ۲۱-۲۵، ۲۶-۳۰، ۳۱-۳۵، ۳۶-۴۰ و ۴۱-۴۶ درجه سانتی‌گراد طبقه‌بندی شد که نشان داده شد که چهار کلاس انتهایی، نقش عمده‌ای در دمای سطح زمین این شهر طی ۳۰ سال اخیر داشت. به‌منظور ارزیابی اثر مجاورت کلاس‌های پوشش اراضی بایر و پوشش گیاهی بر دمای سطح زمین ثبت‌شده توسط سنجنده، ابتدا نسبت مجاورت هر یک از پیکسل‌ها در یک پنجره (کرنل) ۵×۵ محاسبه شد. سپس میانگین دمای سطح زمین محاسبه شد. میانگین دمای سطح زمین بر اساس نسبت مجاورت با

پیشینه و هدف گسترش شهرنشینی مقیاس و شدت گسترش جزایر حرارتی در شهرها را گسترش داده است. بررسی و مطالعه نحوه تأثیرپذیری شهرها از این جزایر حرارتی نقش مهمی در آینده برنامه‌ریزی برای شهرها ایفا می‌کند. به همین منظور، این پژوهش اثر تغییرات پوشش اراضی شهر یزد در سه دسته مناطق شهری، پوشش گیاهی و زمین‌های بایر بر دمای سطح زمین را برای شهر

محمد منصورمقدم<sup>۱</sup>، ایمان روستا<sup>۲</sup>، محمد صادق زمانی<sup>۳</sup>، محمدحسین مختاری<sup>۴</sup>، محمد کریمی فیروزجایی<sup>۵</sup>، کاظم علوی پناه<sup>۶</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، گروه جغرافیا، دانشگاه یزد، ایران

۲. استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه یزد، یزد، ایران

۳. استادیار، دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

۴. استادیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

۵. دانشجوی دکتری سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، گروه جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۶. استاد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، گروه جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: [irousta@yazd.ac.ir](mailto:irousta@yazd.ac.ir)

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1400.12.4.1.8>

نتایج این مطالعه نشان داد بیشترین میانگین دمایی در تمام سال‌ها برای زمین‌های بایر با  $37/3$  درجه سانتی‌گراد ثبت شده است. همچنین همبستگی مثبت (میانگین همبستگی  $0/95$ ) بین مجاورت با پوشش اراضی بایر و میانگین دمای سطح زمین نیز نمایش داده شد. باین وجود، روند شدید افزایشی مناطق شهری در کل دوره آماری ( $91/5$  درصد با  $33/6$  کیلومتر مربع) به‌عنوان دومین کلاس با بیشترین میانگین دمایی پس از زمین‌های بایر با میانگین  $34/1$  درجه سانتی‌گراد در مقابل روند کاهش  $79/4$  درصدی ( $21/3$  کیلومتر مربع) زمین‌های بایر موجب افزایش میانگین دمای سطح زمین طی دوره آماری  $30$  ساله شده است. چراکه کاهش  $68/5$  درصدی ( $12/2$  کیلومتر مربع) مناطق پوشش گیاهی به‌عنوان کلاس پوشش اراضی با کمترین میانگین دمای سطح زمین ( $32/2$  درجه سانتی‌گراد) در همین دوره، اثر کاهش زمین‌های بایر را خنثی، و روند افزایش میانگین دمای سطح زمین را تشدید کرده است. این در حالی است که همبستگی منفی (میانگین همبستگی  $-0/97$ ) میان نسبت مجاورت با پوشش گیاهی و میانگین دمای سطح زمین به اثبات رسید.

نتایج حاصل از پیش‌بینی تغییرات پوشش زمین در سال  $2030$  برای شهر یزد بیانگر آن است که در روندی مشابه با دوره‌های قبل، پوشش مناطق شهری با افزایش روبرو خواهد بود. این رشد، نسبت به سال  $2020$ ، با  $1/6$  درصد ( $1/1$  کیلومتر مربع) چشمگیر نخواهد بود. اما کاهش چشمگیر مناطق سبز (پوشش گیاهی) با  $19/6$  درصد ( $1/1$  کیلومتر مربع) در همین دوره، به همراه ناچیز بودن کاهش زمین‌های بایر ( $1/8$  درصد با  $0/1$  کیلومتر مربع) سبب گرم‌تر شدن زمین، و رشد مساحت کلاس‌های دمای سطح زمین در سال  $2030$  خواهد شد. بر این اساس، عمده‌ترین مساحت کلاس دمای سطح زمین در سال  $2030$  برای شهر یزد، همانند سال  $2020$ ،  $36$ – $40$  درجه سانتی‌گراد با  $58/2$  کیلومتر مربع ( $7/6$  درصد) رشد نسبت به دوره  $2020$  (پیش‌بینی شده است). اما رشد فزاینده و چشمگیر گرم‌ترین کلاس دوره آمار ( $41$ – $46$  درجه سانتی‌گراد) با  $166/3$  درصد ( $14/3$  کیلومتر مربع) رشد مثبت به‌عنوان دومین کلاس عمده دمای سطح زمین در این سال ( $2030$ )، و نیز رشد منفی و چشمگیر کلاس نسبتاً خنک‌تر  $31$ – $35$  درجه سانتی‌گراد با  $97/9$  درصد ( $9/5$  کیلومتر مربع) در این سال بیانگر گرم‌تر شدن دمای سطح زمین در سال  $2030$  خواهد بود.

هریک از کلاس‌های پوشش گیاهی و زمین‌های بایر به دست آمد. **نتایج و بحث** بر اساس نتایج به‌دست آمده، در شهر یزد، از سال  $1990$  تا  $2020$ ، مساحت منطقه شهری به‌طور فزاینده‌ای رشد داشته است. به‌طوری‌که این منطقه طی  $30$  سال اخیر  $91/5$  درصد ( $33/6$  کیلومتر مربع) رشد داشته است. زمین‌های بایر و پوشش گیاهی اما، در این منطقه و در دوره زمانی یکسان با رشد منفی همراه بوده‌اند. به‌گونه‌ای که زمین‌های بایر، از سال  $1990$  تا  $2020$ ، در شهر یزد، رشد  $79/4$ –درصدی ( $21/3$  کیلومتر مربع) را تجربه کرده‌اند که رشد شدید مناطق شهری، این رشد منفی در زمین‌های بایر، را توجیه می‌کند. طبقات پوشش گیاهی شهر یزد از سال  $1990$  تا  $2020$ ، رشد  $68/5$ –درصدی ( $12/2$  کیلومتر مربع) را نشان داد.

میانگین دمای سطح زمین این شهر طی همین دوره  $30$  ساله به‌صورت مداوم افزایشی بوده است. به‌طوری‌که تا سال  $2020$ ، شهر یزد با رسیدن به میانگین  $38/1$  درجه سانتی‌گراد نسبت به  $29/2$  درجه سانتی‌گراد در  $1990$ ، افزایش  $30/4$  درصدی را در میانگین دمای سطح زمین خود تجربه کرده است. کلاس‌های دمایی این شهر نیز در این  $30$  سال به سمت کلاس‌های دمایی گرم‌تر حرکت کرده‌اند. به‌گونه‌ای که عمده‌ترین بخش مساحت‌های دمایی سطح زمین شهر یزد، در سال  $1990$  در وهله نخست، در کلاس  $26$ – $30$  درجه با  $47$  کیلومتر مربع سانتی‌گراد و در وهله دوم در کلاس  $31$ – $35$  درجه با  $26/4$  کیلومتر مربع طبقه‌بندی می‌شوند. این در حالی است که در سال  $2000$ ، در روندی معکوس، کلاس دمایی  $31$ – $35$  درجه سانتی‌گراد با  $52/8$  کیلومتر مربع در وهله نخست و کلاس دمایی  $26$ – $30$  درجه سانتی‌گراد با  $20$  کیلومتر مربع در وهله دوم قرار دارد. با یک کلاس افزایش، کلاس دمایی  $36$ – $40$  درجه سانتی‌گراد برای هر دو سال  $2010$  و  $2020$  با به ترتیب  $40/2$  و  $63$  کیلومتر مربع به‌عنوان بزرگ‌ترین کلاس دمایی ثبت شده است. کلاس دمایی  $31$ – $35$  درجه سانتی‌گراد نیز به‌عنوان کلاس دمایی دوم هر دو سال به ترتیب با  $33/2$  و  $9/7$  کیلومتر مربع ثبت شده است. تفاوت این دو سال، در رشد  $70/7$ –درصدی ( $23/5$  کیلومتر مربع) مساحت کلاس  $31$ – $35$  درجه سانتی‌گراد و افزایش رشد  $10/3$  درصدی ( $0/8$  کیلومتر مربع) گرم‌ترین کلاس کل دوره آماری،  $41$ – $46$  درجه سانتی‌گراد، در سال  $2020$ ، نسبت به سال  $2010$  است.

زمین در این شهر شده است. همچنین رابطه منفی بین مجاورت با پوشش گیاهی رابطه مثبت بین مجاورت با زمین‌های بایر با میانگین دمای سطح زمین ثبت شده یافت شد. افزایش مجاورت با پوشش گیاهی از طریق ایجاد زمین‌های سبز با افزایش میزان نسبت پوشش گیاهی در مجاورت پوشش‌های مختلف و نیز کاهش مساحت زمین‌های بایر، می‌تواند راهکار مناسبی در مقابله با تأثیر گسترش شهرنشینی در سال‌های اخیر بر روی دمای سطح زمین باشد.

**واژه‌های کلیدی:** مجاورت پوشش اراضی، طبقه‌بندی پوشش اراضی، پیش‌بینی پوشش اراضی، شبکه عصبی، دمای سطح زمین، شهر یزد

**نتیجه‌گیری** نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که در یک دوره ۳۰ ساله در شهر یزد، کاهش پوشش گیاهی در وهله نخست، به همراه افزایش مناطق شهری در وهله دوم، سبب افزایش دمای سطح زمین شده است. بدین ترتیب، کلاس پوشش گیاهی به دلیل اثر خنک‌کننده خود به دلیل دارا بودن آب، سبب کاهش دمای سطح زمین می‌شود. در این پژوهش نشان داده شد که با ثابت در نظر گرفتن تمام عوامل، کاهش زمین‌های بایر به کاهش دمای سطح زمین منجر خواهد شد و همچنین افزایش مناطق شهری با ضریب تأثیر کمتر از زمین‌های بایر، دمای سطح زمین را افزایش می‌دهند. با این حال کاهش مساحت زمین‌های سبز (پوشش گیاهی) در سال‌های اخیر، به همراه افزایش شدید مساحت زمین‌های مناطق شهری موجب افزایش دمای سطح

لطفاً به این مقاله استناد کنید: منصورمقدم، م.، روستا، ا.، صادق زمانی، م.، مختاری، م. ح.، کریمی فیروزجایی، م.، علوی پناه، س. ک. ۱۴۰۰. مطالعه و پیش‌بینی تغییرات دمای سطح زمین شهر یزد: بررسی اثر مجاورت و تغییرات پوشش اراضی، نشریه سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱۲(۴): ۲۷-۱.

## مقدمه

الگوی استفاده از زمین به دلیل افزایش فعالیت‌های انسانی دائماً در حال دگرگونی است. تغییرات سریع از طریق رشد چشم‌اندازهای غیرقابل نفوذ در کاربری/پوشش اراضی، مستقیم یا غیرمستقیم محیط‌زیست محلی را در رابطه با متغیرهای اقلیمی و چشم‌اندازهای اقتصادی تغییر می‌دهد (۳۰). در طول زمان الگوهای پوشش زمین و به دنبال آن کاربری اراضی دچار تغییرات عمده می‌شوند. به‌منظور استفاده بهینه از منابع زمینی، کسب اطلاعات از پتانسیل اراضی ضروری به نظر می‌رسد. همچنین با توجه به دگرگونی‌های عمده در نحوه استفاده از زمین، تصاویر چند طیفی فناوری سنجش‌ازدور به‌عنوان یک ابزار مهم در بررسی این تغییرات ظاهر شده است. امکان کشف اثر گرمایی شهرها برای اولین بار توسط راثو (۱۹۷۲) بیان شد (۳). شهرنشینی چهره طبیعی سطح زمین را به کاربری‌ها و پوشش‌های اراضی جدیدی مانند ساختمان‌ها، جاده‌ها و دیگر سطوح غیرقابل نفوذ تغییر داده و این امر باعث قطعه-قطعه شدن و ایجاد پیچیدگی در چشم‌اندازهای شهری و تأثیر بر نحوه سکونت در شهرها گشته است (۲). تغییرات عظیم کاربری اراضی/پوشش اراضی سبب ایجاد جزایر حرارتی (Urban Heat Island) در شهرها گشته است. این امر سبب شده است تا به دلیل تجمع گرمایی بر اثر سطح بالای دما در شهرها توسط جزایر حرارتی (۲۵)، دمای شهرها ۲ تا ۵ درجه گرم‌تر از روستاهای اطرافشان باشد (۱). جزایر حرارتی باعث ایجاد اثرات منفی بر اقلیم شهری شده (۹) و به‌صورت جدی سازگاری محیط زندگی شهری و سلامت ساکنان شهری را تهدید می‌کند (۲۵). استفاده ناکارآمد از زمین‌های شهری و ذخایر ناچیز زمینی با شهرنشینی امری اجتناب‌ناپذیر است. همچنین گسترش سریع شهرها منجر به بروز پدیده نوسازی شهرها می‌گردد (۲۲)، این به معنای تخریب و یا نوسازی مناطق صنعتی، تجاری، مسکونی و یا روستاهای شهری به‌منظور بهبود سرزندگی آن منطقه و ارتباط آن با محیط اطراف است (۱۰). به‌عنوان مثال برخی از روستاهای شهری، کارخانه‌های قدیمی، منازل رهاشده و زاغه‌ها و تسهیلات

آلاینده می‌توانند با مناطق مسکونی، مناطق تجاری و اداری و یا مجتمع‌های تفریحی و تسهیلات عمومی مانند پارک‌های سبز جایگزین شوند. با این حال مطالعات مربوط به اثرات نوسازی شهری بر دمای سطح زمین محدود به چند مطالعه اخیر می‌شود (۱۴). به‌عنوان مثال بر اساس داده‌های تصاویر رزولوشن بالای Worldview و چند زمانه پیشرفته حرارتی ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)، نوسازی مناطق شهری و تغییرات دمای سطح زمین در منطقه در بازه‌های زمانی متفاوتی بررسی شده است (۲۵). در سال‌های اخیر مطالعات مربوط به کاربرد سنجش‌ازدور حرارتی در شهرها مرتبط با موضوعاتی از قبیل مطالعه روی دمای سطح زمین یا ارتباط بین ساختار فضایی الگوی حرارتی شهرها با مؤلفه‌های سطح زمین، شار و تعادل انرژی سطح زمین (۱۳)، ارتباط بین دمای اتمسفر و دمای سطح زمین بوده است. برخی مطالعات اثر کاربری اراضی/پوشش اراضی بر روی دمای سطح زمین را مورد بررسی قرار داده‌اند (۷)، که رابطه مثبتی با سطح غیرقابل نفوذ داشته است (۱۶). برخی مطالعات نیز رابطه بین فراوانی پوشش گیاهی و دمای سطح زمین را تخمین زده‌اند (۳۱)، نتایج حاکی از آن است که رابطه منفی بین اثر خنک‌کننده فضای سبز، فراوانی پوشش گیاهی و دمای سطح زمین وجود دارد (۱۶).

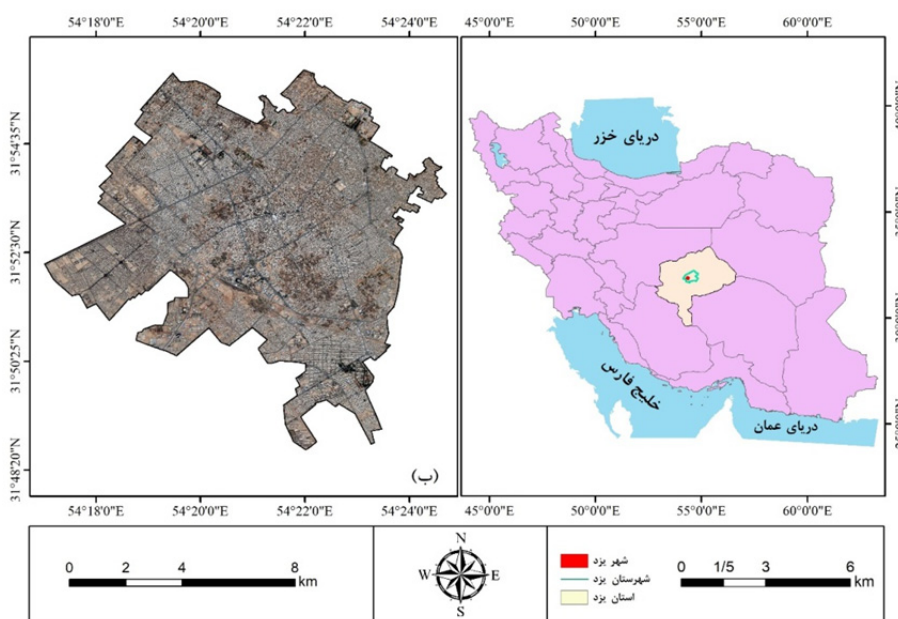
دمای سطح زمین به عوامل متعددی از قبیل تغییر در کاربری اراضی، مؤلفه‌های سطح زمین، تغییرات فصلی، شرایط اقلیمی و توسعه اقتصادی و غیره (۱۶) بستگی دارد. با ادامه یافتن روند شهرنشینی، بر مقیاس و شدت جزایر حرارتی افزوده می‌شود (۲۵)، بررسی اینکه چگونه شهرها تحت تأثیر جزایر حرارتی قرار می‌گیرند از اهمیت بسزایی برخوردار است. در این بین، مدل‌سازی نقش مؤثری در نمایش و شناخت اثرات این تغییرات ایفا کرده و به انجام برنامه‌ریزی‌های مؤثر کمک شایانی می‌نماید (۶). روستا و همکاران (۲۶) طی پژوهشی با بررسی ارتباط بین دمای سطح زمین (Land Surface Temperature) و شاخص نرمال شده (Normalize Difference Built-up index) رابطه

زمین برای شهر یزد، پیرو بررسی اثر تغییرات پوشش زمین در تغییرات دمای سطح زمین، به‌منظور تسهیل در امر برنامه‌ریزی و مدیریت گسترش اراضی شهری، با استفاده از مدل Markov و CA-Markov که دقت آن توسط مطالعات زیادی مورد بررسی قرار گرفته است (۱۷)، پیش‌بینی تغییرات پوشش اراضی و دمای سطح زمین برای سال ۲۰۳۰ شهر یزد محاسبه می‌شود. این پژوهش همچنین با بررسی اثر مجاورت پیکسل‌های پوشش اراضی بر دمای سطح زمین ثبت‌شده توسط سنجنده، رویکرد جدیدی را از این نظر در بررسی اثرات کاربری اراضی ارائه می‌کند.

### منطقه مورد مطالعه

شهر یزد، یکی از کلان‌شهرهای ایران و به‌عنوان مرکز استان و شهرستان یزد است. این شهر بین طول جغرافیایی ۲۲° ۵۴' شرقی و ۳۱° ۵۳' شمالی عرض جغرافیایی قرار گرفته است (شکل ۱).

مثبتی میان دو پارامتر مذکور به دست آوردند. با توجه به موقعیت جهانی شهر یزد و قرارگیری در مرکز ایران و نتیجتاً فرصت مهاجرپذیری، و نیز رشد این شهر طی سال‌های اخیر، و نیز با توجه به بررسی کمتر اراضی شهر یزد و نبود مطالعات به‌روز و جدید از نظر زمانی در این زمینه، بررسی میزان و سطح تأثیرپذیری این شهر از نظر دمای سطح زمین در نتیجه تغییرات پوشش اراضی ضروری به نظر می‌رسد. لذا به‌منظور بررسی اثرات تغییرات پوشش اراضی بر دمای سطح زمین در شهر یزد، این پژوهش با جمع‌آوری داده‌های لندست و با استفاده از روش طبقه‌بندی شبکه عصبی مصنوعی و شاخص دمای سطح زمین (LST)، به تهیه و مقایسه نقشه‌های پوشش اراضی با در نظر گرفتن توان تفکیک مکانی تصاویر لندست و عمده کلاس‌های مؤثر شهری بر دمای سطح زمین و تغییر کاربری، در سه طبقه عمده مناطق شهری ساخته‌شده که در این پژوهش از آن با عنوان مناطق شهری یاد می‌شود، زمین‌های بایر و پوشش گیاهی و نیز دمای سطح زمین در یک دوره سی‌ساله می‌پردازد. همچنین با توجه به غفلت بررسی‌های پیشین از مدل‌های آینده‌نگر و پیش‌بینی پوشش اراضی و دمای سطح



شکل ۱. موقعیت شهر یزد در شهرستان و استان یزد و کشور ایران و تصویر ماهواره‌ای بینگ مپ سال ۲۰۱۹ شهر یزد

Fig. 1. Location of Yazd city in Yazd county and province and Iran and Bing-map satellite image of Yazd city for 2019

### روش تحقیق

در این پژوهش تصاویر اپتیکی و حرارتی بدون ابر با قدرت تفکیک مکانی به ترتیب ۳۰ و ۱۲۰ متر سنجنده TM لندست ۵ برای سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ میلادی و سنجنده‌های OLI (اپتیکی) و TIRS (حرارتی) لندست ۸ با قدرت تفکیک مکانی به ترتیب ۳۰ و ۱۰۰ متر برای سال ۲۰۲۰ میلادی از گرم‌ترین ماه‌های سال شهر یزد (جولای و آگوست) در ردیف ۳۸ و گذر ۱۶۲ ماهواره از وبسایت earthexplorer.usgs.gov ایالات متحده استخراج گردید (جدول ۱).

مساحت این شهر برابر با ۱۱۰ کیلومترمربع است. میانگین ارتفاع یزد از سطح دریا ۱۲۲۸ متر و میانگین دمای سالیانه این شهر ۲۰ درجه سانتی‌گراد است. گرم‌ترین ماه سال در این شهر، با میانگین ۳۳ درجه سانتی‌گراد، جولای (تیرماه) و پس‌از آن، ژوئن (خرداد) و آگوست (مرداد) با ۳۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشند. روستای شحنة و شهرک صنعتی در حاشیه غربی، شهر شاهدیه در حاشیه شمال غربی، روستای اکرمیه در حاشیه شرقی و نیز شهر حمیدیا در جنوب شرقی شهر یزد واقع شده‌اند.

جدول ۱. مشخصات تصاویر و سنجنده مورد استفاده

Table 1. Specifications of images and sensor used

سنجنده	شناسه تصویر	تاریخ برداشت	ساعت (GMT)
TM، لندست ۵	LT05_L1TP_162038_19900701_20180612_01_T1	۰۱ جولای ۱۹۹۰ (۱۰ تیر ۱۳۶۹)	۰۶:۱۷:۰۵
TM، لندست ۵	LT05_L1TP_162038_20000728_20180922_01_T1	۲۸ جولای ۲۰۰۰ (۷ مرداد ۱۳۷۹)	۰۶:۳۴:۰۴
TM، لندست ۵	LT05_L1TP_162038_20100708_20161014_01_T1	۰۸ جولای ۲۰۱۰ (۱۷ تیر ۱۳۸۹)	۰۶:۴۷:۲۸
OLI، لندست ۸	LC08_L1TP_162038_20200804_20200804_01_T1	۰۴ آگوست ۲۰۲۰ (۱۴ مرداد ۱۳۹۹)	۰۶:۵۶:۵۳

### تهیه نقشه پوشش اراضی با استفاده از طبقه‌بندی شبکه عصبی مصنوعی

شبکه عصبی مصنوعی یا پردازش توزیع‌شده موازی (Parallel Distributed Processing) که به‌عنوان پردازش گر اطلاعات سیستم‌ها از جمله تعداد بسیار زیادی از واحدهای به‌هم‌پیوسته به‌عنوان عناصر پردازش، شناخته می‌شود. شبکه عصبی الهام گرفته از مدل زیستی است، چراکه بر اساس استفاده از یک سازمان‌دهی عمومی است که توسط مغز انسان به‌منظور ایجاد یک ماشین محاسبه قوی‌تر استفاده می‌شود (۴).

به‌منظور تهیه نمونه‌های تمرینی، از یک‌صد داده زمینی به ازای هر کلاس برای سال ۲۰۲۰ و نیز تصاویر Google Earth و نقشه‌های واقعیت زمینی موجود برای تمام سال‌ها استفاده شد. به‌منظور تفکیک سه کلاس پوشش اراضی مسکونی شهری، پوشش گیاهی و زمین‌های بایر از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده شبکه عصبی مصنوعی (Artificial Neural Network) استفاده شد.

واحدها و لایه‌های مخفی و ارتباطات متقابل بین آن‌ها) است. تعداد لایه‌های مخفی برای استفاده، توسط کاربر انتخاب می‌گردد و همچنین یک تابع فعال‌سازی لجستیک (Logistic) یا هذلولی (Hyperbolic) نیز ممکن انتخاب شود. تنها ارتباطات مجاز در شبکه، ارتباطات روبه‌جلو (همانند ورودی به لایه مخفی یا لایه مخفی به لایه خروجی (۲۰) هستند. یادگیری در فرایند تنظیم وزن‌ها در گره به‌منظور کاهش اختلاف بین فعال‌سازی گره خروجی و لایه خروجی انجام می‌پذیرد. خطا توسط شبکه به عقب منتقل شده و وزن‌ها با استفاده از یک روش بازگشتی تنظیم می‌شوند (۱۲). به‌منظور انجام طبقه‌بندی به روش شبکه عصبی مصنوعی در نرم‌افزار ENVI، مقادیر زیر پیشنهاد شده‌اند (جدول ۲).

شبکه عصبی مصنوعی به‌عنوان گسترده‌ترین روش طبقه‌بندی مورد استفاده قرار گرفته (۳۲)، یک روش طبقه‌بندی شبکه عصبی لایه‌ای غیرخطی روبه‌جلو است. شبکه عصبی از روش پس انتشار استاندارد برای طبقه‌بندی نظارت شده استفاده می‌نماید. پس انتشار، موجب کاهش خطای بین خروجی و مدل واقعی شبکه و هردو نمونه‌های آموزشی ورودی، خروجی می‌شود (۵). بدین ترتیب، زوج ورودی/خروجی مکرراً به شبکه معرفی شده و خطا، از خروجی، به لایه ورودی انتقال می‌یابد. به کمک نرخ یادگیری و یک قانون بروز رسانی، وزن مسیر پس انتشار بروز می‌شود (۸).

در روش شبکه عصبی مصنوعی، عملکرد طبقه‌بندی کننده، شدیداً تحت تأثیر توپولوژی شبکه (از قبیل تعداد

جدول ۲. مقادیر پیشنهاد شده برای ورودی الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی (۱۸)

Table 2. Proposed values for the input of artificial neural network algorithm (18)

مقدار	ورودی
0.9	Training threshold contribution
0.9	Training momentum field
0.2	Training rate
0.1	Training RMS exit criteria

داده‌ها از یک مقدار تصادفی بهتر نیست. مقدار منفی کاپا بیانگر آن است که با توجه به توزیع حاشیه‌ای، سازگاری داده‌ها حتی از یک مقدار تصادفی نیز کمتر است. ضریب کاپا نه تنها به حساسیت و کیفیت منحصربه‌فرد دو کلاس طبقه‌بندی، بلکه به توزیع صحیح ویژگی‌های جامعه آماری بستگی دارد (۲۸). دقت کلی عبارت است از حاصل تقسیم تمام پیکسل‌های طبقه‌بندی شده به صورت صحیح، بر تمام پیکسل‌های موجود در ماتریس خطای N با استفاده از رابطه ۱ تعیین گردید (۲۷).

$$P_j = \frac{\sum_{i=1}^k X_{ij}}{N} \quad [1]$$

دقت تولیدکننده از طریق تقسیم ساده تعداد کل پیکسل‌های صحیح در یک کلاس، بر تمام پیکسل‌های آن کلاس است که از طریق داده‌های مرجع زمینی به دست آمده‌اند

### ارزیابی دقت نقشه پوشش اراضی

به‌منظور ارزیابی دقت طبقه‌بندی کننده، برای هر کلاس و برای تصویر هر سه سال، بیش از صد نقطه تصادفی پراکنده بر اساس ترکیبی از بازدید زمینی، تفسیر بصری گوگل ارث و نیز تجربه کاربر به‌عنوان نمونه واقعیت زمینی در نظر گرفته شد. سپس دقت کاربر، دقت تولیدکننده، دقت کلی (۲۷) و نیز مقدار خطای جذر میانگین مربعات محاسبه شد. ضریب کاپا یک آزمون غیرپارامتریک برای مشخص کردن میزان سازگاری بین مقادیر واقعی و مقادیر اختصاص داده شده توسط کاربر است. کاپا معمولاً به‌عنوان شاخصی به‌منظور ارزیابی کیفیت اندازه‌گیری مشخصات باینری استفاده می‌شود. هنگامی که سازگاری کامل باشد، خروجی کاپا ۱ (۱۰۰ درصد) خواهد بود، بدان معنی که طبقه‌بندی در هر زمینه‌ای مطابق با واقعیت است و همچنین مقدار ۰ کاپا بیانگر آن است که سازگاری

در این رابطه؛ P بیانگر احتمال از حالت i به حالت j است. رابطه ۹، همچنین باید دو شرط بعدی را برآورده کند (رابطه‌های ۳ و ۴).

$$\sum_{j=1}^n P_{ij} = 1 \quad [3]$$

$$0 \leq P_{ij} \leq 1 \quad [4]$$

گام کلیدی مدل مارکوف، در به دست آوردن یک ماتریس اصلی و یک ماتریس احتمال انتقال نهفته است (P<sub>ij</sub>). بنابراین مدل پیش‌بینی مارکوف از رابطه ۵ تعیین گردید.

$$P_{(n)} = P_{(n-1)} \quad P_{ij} = P_{(0)} P_{ij}^n \quad [5]$$

در این رابطه؛ P<sub>n</sub> بیانگر احتمال در هر زمان و P(0) بیانگر ماتریس اولیه است (رابطه ۶).

$$\chi^2 = \frac{\sum(O - E)^2}{E} = 0.106 \quad [6]$$

در این رابطه؛ O بیانگر نقشه شبیه‌سازی شده و E بیانگر نقشه واقعی است.

### نقشه دمای سطح زمین

جهت محاسبه دمای سطح زمین، ابتدا تصاویر بانده ۶ (حرارتی) برای تصاویر لندست ۵ و نیز تصویر بانده ۱۰ (حرارتی) لندست ۸ بایستی از حالت خام (raw data) به صورت رادیانس طیفی تبدیل شوند (به دلیل وجود عدم قطعیت در دیگر بانده حرارتی لندست (بانده ۱۱) (۲۹)، این بانده در محاسبات (رابطه ۷) آورده نشد (۱۹)).

$$L_{\phi} = M_L \times Q_{Cal} + A_L, \quad [7]$$

در این رابطه؛ L<sub>φ</sub> بیانگر تابش طیفی بالای اتمسفر (وات بر مترمربع بر استرادیان)، M<sub>L</sub> بیانگر ضریب هم‌مقیاس‌سازی باندها بر اساس باندهای مشخص بر شده بر اساس متادیتای تصویر، Q<sub>Cal</sub> مقادیر پیکسل کالیبره شده (عدد رومی) در

(۲۷). این آمار بیانگر احتمال طبقه‌بندی شدن یک پیکسل مرجع در کلاس صحیح است و به‌عنوان یک معیار اندازه‌گیری خطای omission (خطای اختصاص یک پیکسل به کلاس خود) است (۱۵). اما چنانچه تمام پیکسل‌های صحیح در یک طبقه، بر مجموع پیکسل‌های موجود طبقه‌بندی شده در آن دسته‌بندی تقسیم شوند، حاصل، میزان خطای Commission (خطای اختصاص یک پیکسل به کلاس اشتباه) خواهد بود. که این اندازه‌گیری، دقت کاربر یا قابلیت اطمینان نامیده می‌شود (۲۷).

### پیش‌بینی پوشش اراضی با استفاده از مدل Markov و CA-Markov

هنگامی که توصیف تغییرات چشم‌انداز زمین سخت باشد، مدل مارکوف یک ابزار مناسب برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری/پوشش اراضی است. پروسه مارکوف همچنین می‌تواند وضعیت تغییرات آینده یک سیستم را بر اساس حالتی که صرفاً پیش از آینده قرار دارد شبیه‌سازی کند. بنابراین مدل مارکوف می‌تواند برای پیش‌بینی تغییرات کاربری/پوشش اراضی در دوره‌های زمانی آینده بر اساس یک ماتریس انتقال از تغییرات کاربری/پوشش بین دوره‌های گذشته مناسب باشد. ماتریس انتقال، ماهیت تغییرات را درحالی‌که به‌صورت هم‌زمان، برای مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات در دوره نیز بعد استفاده می‌شود را نشان دهد (۲۳). مدل مارکوف یک روش ساده را مبتنی بر مطالعه و آنالیز یک سیستم پویا ارائه می‌دهد (۲۴). روش کار مدل مارکوف به شرح زیر است. عبور از یک وضعیت به وضعیت دیگری از یک سیستم، انتقال حالت نامیده می‌شود. اگر P احتمال وقوع تغییر باشد، به‌عنوان مثال امکان تغییر شرایط کنونی به شرایطی دیگر در زمان بعدی، رابطه ۲ برقرار است (۱۷).

$$P = P_{ij} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$



$K_2$  ضرایب ثابت کالیبراسیون هر باند حرارتی است (جدول ۲).

$$\tau = \left[ \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L\phi} + 1\right)} \right], \quad [8]$$

پروداکت استاندارد و  $A_L$  فاکتور هم مقیاس سازی افزایشی بر اساس باندهای مشخص شده در متادیتای تصویر است. سپس دمای روشنایی سنجنده از طریق رابطه ۸ محاسبه گردید (۲۷). در این رابطه؛  $\tau$  دمای روشنایی بالای اتمسفر به کلونین،  $L\phi$  تابش بالای اتمسفری (وات بر مترمربع بر استرادیان)،  $K_1$  و

جدول ۲. جدول ضرایب کالیبراسیون سنجنده‌های مختلف لندست

Table 3. Calibration coefficients of different Landsat sensors

K2 (Watts/(m <sup>2</sup> × sr × μm))	K1 (Watts/(m <sup>2</sup> × sr × μm))	باند	سنجنده
1321.0	774.8	10	OLI، لندست ۸
1260.56	607.76	6	TM، لندست ۵

$$LST = \tau / \left[ 1 + \left( \lambda \times \frac{\tau}{c_2} \right) \times \ln(e) \right] \quad [9]$$

در این رابطه؛  $\tau$  دمای روشنایی بالای اتمسفر،  $\lambda$  طول موج باند حرارتی (جدول ۴)،  $c_2$  عدد ثابت (رابطه ۹) و  $e$  گسیلمندی (رابطه ۱۰) است.

پس از محاسبه دمای روشنایی بالای اتمسفر، با کسر تصویر از عدد ۲۷۳/۱۵ واحد دمایی را از کلونین به سانتی‌گراد تبدیل کرده، و در نهایت دمای سطح زمین (LST) از رابطه ۹ تعیین گردید (۲۷).

جدول ۴. جدول طول موج باندهای حرارتی سنجنده‌های مختلف لندست

Table 4. Wavelength table of thermal bands of different Landsat sensors

طول موج (μm)	باند	سنجنده
۱۰/۹	۱۰	OLI، لندست ۸
۱۱/۴۵	۶	TM، لندست ۵

در این رابطه؛ PV از رابطه ۱۲ محاسبه گردید (۱۱).

مقدار C2 از رابطه ۱۰ محاسبه گردید.

$$PV = ((NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min}))^2 \quad [12]$$

در این رابطه؛ NDVI شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده است. NDVI که از طریق نسبت بین دو باند قرمز و مادون قرمز نزدیک محاسبه می‌شود (۲۱). باند قرمز، بیانگر باند ۳ (۰/۶۹-۰/۶۳ μm) در لندست ۵ و باند ۴ (۰/۶۴-۰/۶۷ μm) در لندست ۸ و باند مادون قرمز نزدیک بیانگر باند ۴ (۰/۷۶-۰/۹۰ μm) در لندست ۵ و باند ۵ (۰/۸۸-۰/۸۵ μm) در لندست ۸ است.

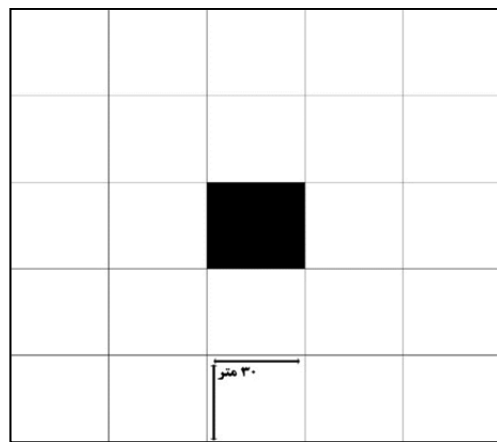
$$C2 = h \times c / s = 1.4388 \times 10^{-2} \text{ mK} = 14388 (\mu\text{mK}) \quad [10]$$

در این رابطه؛  $h$  ثابت پلانک ( $6.626 \times 10^{-14}$ ) ژول بر ثانیه،  $S$  ثابت بولتزمن ( $1.38 \times 10^{-25}$ ) ژول بر کلونین، و  $c$  سرعت نور ( $2.998 \times 10^8$ ) متر بر ثانیه است. همچنین به منظور محاسبه گسیلمندی، از رابطه ۱۱ استفاده گردید (۱۱).

$$e = 0.004 \times PV + 0.986 \quad [11]$$

تحلیل مجاورت

به منظور بررسی اثرات مجاورت کلاس‌های پوشش گیاهی و زمین‌های بایر بر دمای سطح زمین، در هر تصویر، کرنل‌های ۵×۵ از پیکسل‌های ۳۰ متری در نظر گرفته شده و در هر کرنل، اثر مجاورت بر اساس تعداد پیکسل‌های پوشش گیاهی و زمین‌های بایر بر روی دمای سطح زمین ثبت شده از پیکسل مرکزی به وسیله سنجنده، توسط R محاسبه شد (شکل ۲).



شکل ۲. ابعاد کرنل سایز در نظر گرفته شده به منظور اثر مجاورت  
 Fig. 2. Dimensions of the kernel size intended for the effect of proximity

به منظور محاسبه میزان مجاورت هر پیکسل مرکزی، از رابطه ۱۳ استفاده شد.

$$r = \frac{n_i}{n} \quad [13]$$

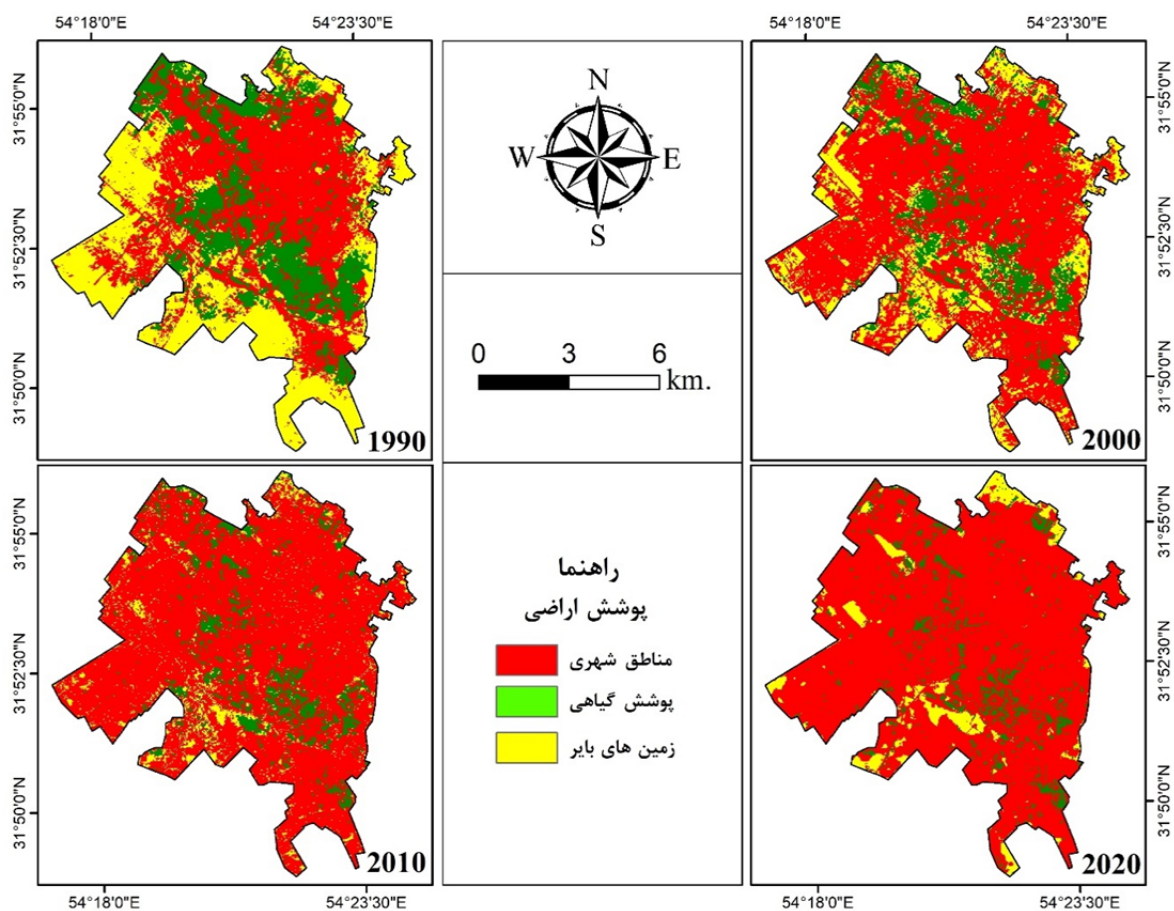
در این رابطه، r عبارت است از نسبت حضور پیکسل‌های هر یک از کلاس‌ها،  $n_i$  عبارت است از تعداد پیکسل‌های کلاس مدنظر و n عبارت است از تعداد کل پیکسل‌های کرنل.

بدین ترتیب ممکن است هر پیکسل مرکزی، از مجاورت ۱ تا n پیکسل از کلاس پوشش گیاهی و یا زمین‌های بایر برخوردار باشد.

نتایج

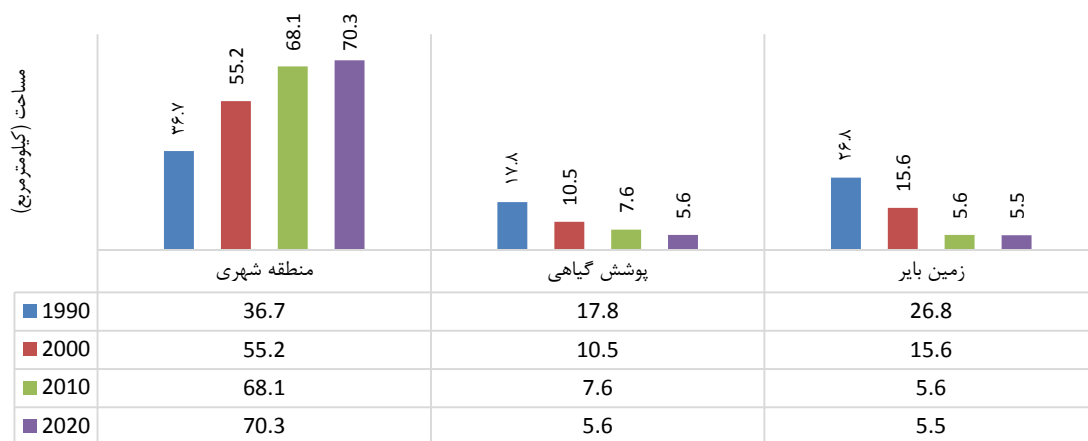
تغییرات پوشش اراضی

نتایج حاصل از نقشه‌های طبقه‌بندی پوشش اراضی ۳۰ سال اخیر برای شهر یزد نشان می‌دهد که منطقه شهری روند صعودی برابر با ۵۰/۴ درصد را تجربه کرده، و از ۳۶/۷ کیلومترمربع در سال ۱۹۹۰ به ۵۵/۲ کیلومترمربع در سال ۲۰۰۰ افزایش پیدا کرده است. سپس با ۲۳/۳ درصد رشد، به ۶۸/۱ کیلومترمربع در سال ۲۰۱۰ رسیده است. مساحت طبقه شهری در سال ۲۰۲۰، با تنها ۳/۲ درصد رشد، به ۷۰/۳ کیلومترمربع افزایش یافته است (شکل ۳). نتایج همچنین نشان می‌دهند، هر دو کلاس پوشش گیاهی و زمین‌های بایر در گذر زمان دچار کاهش مساحت شده‌اند. به نحوی که پوشش گیاهی با یک رشد ۴۱- درصدی از ۱۷/۸ کیلومترمربع در سال ۱۹۹۰ به ۱۰/۵ کیلومترمربع در سال ۲۰۰۰ رسیده است. این کلاس در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ به ترتیب با رشد ۲۷/۶- و ۲۶/۳- به ترتیب به ۷/۶ و ۵/۵ کیلومترمربع کاهش پیدا کرده‌اند. زمین‌های بایر نیز در روندی مشابه، ابتدا با رشد ۴۱/۷- درصدی از ۲۶/۸ سال ۱۹۹۰ به ۱۵/۶ کیلومترمربع سال ۲۰۰۰ کاهش پیدا کرده و سپس مجدداً با یک رشد چشمگیر ۶۴/۱- درصدی به ۵/۶ کیلومترمربع در سال ۲۰۱۰ کاهش پیدا کرده است. این کلاس در سال ۲۰۲۰ با رشد ۱/۷- درصدی به ۵/۵ کیلومترمربع کاهش پیدا کرده است (شکل ۴).



شکل ۳. نقشه پوشش اراضی شهر یزد برای ۳۰ سال اخیر

Fig. 3. Land cover map of Yazd city for the last 30 years



کلاس پوشش اراضی

شکل ۴. مقایسه تغییرات مساحت پوشش اراضی طی ۳۰ سال اخیر برای شهر یزد

Fig. 4. Comparison of land cover changes over the last 30 years for the Yazd city

ارزیابی دقت نتایج تغییرات پوشش اراضی  
و نیز ضریب کاپا بر اساس ۵۰ نقطه با بازدید زمینی برای سال  
به منظور ارزیابی دقت نتایج حاصل از طبقه‌بندی پوشش  
۲۰۲۰ و ۵۰ نقطه از گوگل ارث برای کلاس‌های تمام سال‌ها  
اراضی، سه شاخص دقت کلی، دقت کاربر و دقت تولیدکننده  
محاسبه شد (جدول ۳).

جدول ۳. آمار ارزیابی دقت طبقه‌بندی پوشش اراضی برای سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰

Table 5. Accuracy assessment statistics of land cover classification for 1990 to 2020

سال				کلاس پوشش اراضی	شاخص (درصد)
۱۹۹۰	۲۰۰۰	۲۰۱۰	۲۰۲۰		
۹۸/۴۸	۷۸/۴۴	۹۵/۵۵	۹۶/۶۷	منطقه شهری	دقت کاربر
۹۸/۹۴	۹۰/۷۰	۱۰۰	۹۷/۱۴	پوشش گیاهی	
۹۹/۳۹	۹۹/۵۶	۸۷/۱۸	۹۸/۲۵	زمین بایر	
۹۸/۹۸	۹۹/۷۳	۹۶/۶۲	۱۰۰	منطقه شهری	دقت تولیدکننده
۱۰۰	۱۰۰	۶۷/۳۳	۹۰/۶۷	پوشش گیاهی	
۹۸/۱۸	۹۶/۱۴	۳۷/۷۸	۸۳/۵۸	زمین بایر	
۹۸/۹۳	۸۵/۸۴	۸۳/۲۷	۹۵/۸۸		دقت کلی
۹۸/۳۹	۷۷/۲۵	۷۵/۷۴	۹۳/۴۶		ضریب کاپا

پیش‌بینی تغییرات پوشش اراضی با استفاده از مدل

### CA-Markov و Markov

نقشه پیش‌بینی تغییرات پوشش اراضی برای سال ۲۰۳۰  
میلادی شهر یزد با استفاده از طبقه‌بندی پوشش اراضی سال  
۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ و به‌وسیله مدل CA-Markov و Markov  
استخراج شد. بدین منظور ابتدا ماتریس انتقال برای طبقات  
پوشش اراضی شهر یزد از مدل Markov تعیین گردید  
(جدول ۴). ماتریس احتمال تغییر برای طبقات پوشش اراضی  
در جدول ارائه شده است.

جدول ۳ بیانگر آن است که میزان دقت کلی برای تمام

سال‌ها، بیشتر از ۸۳ درصد و نیز ضریب کاپا، بیشتر از ۷۵  
درصد بوده است. طبقه‌بندی سال ۱۹۹۰ بیشترین میزان دقت  
کلی (۹۸/۹۳ درصد) و بیشترین میزان کاپا (۹۸/۳۹ درصد) را  
به خود اختصاص داده است.

جدول ۴. ماتریس انتقال برای طبقات پوشش اراضی

Table 6. Transition matrix for land cover classes

کاربری اراضی	منطقه شهری	پوشش گیاهی	زمین‌های بایر
منطقه شهری	۶۰/۲	۱	۳/۱
پوشش گیاهی	۲/۱	۳	۰/۴
زمین‌های بایر	۳/۴	۰/۱	۱/۸

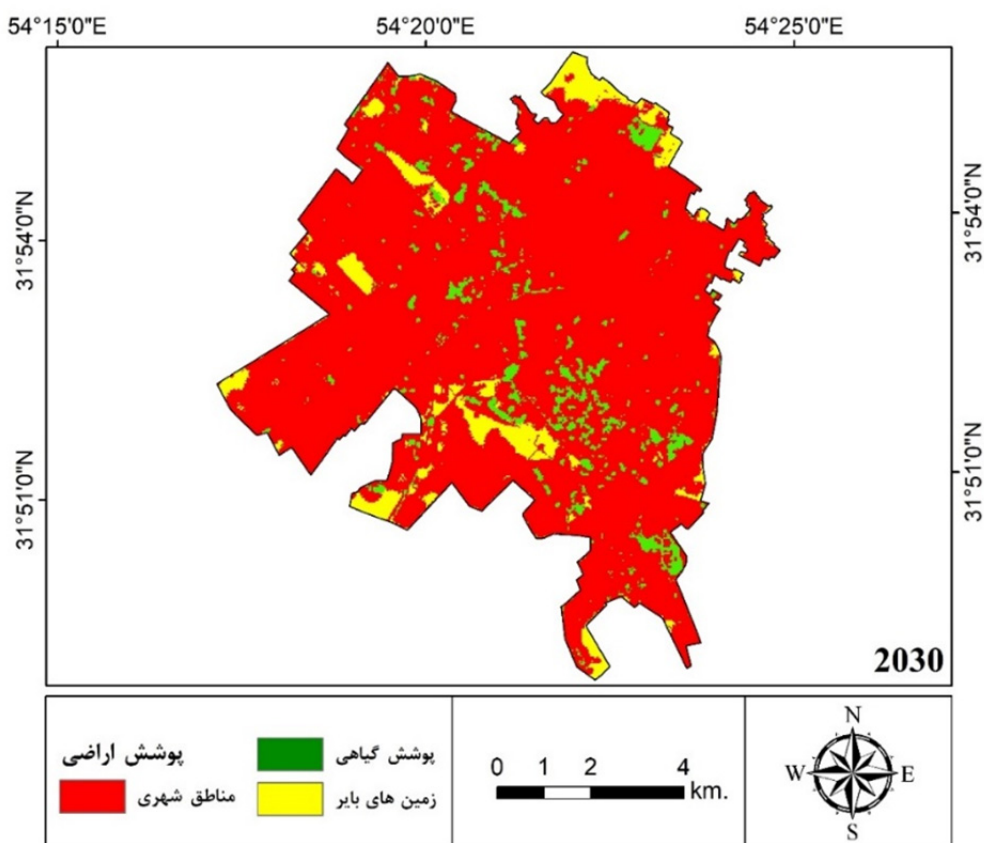
جدول ۷. ماتریس احتمال تغییر برای طبقات پوشش اراضی

Table 7. Probability change matrix for land cover classes

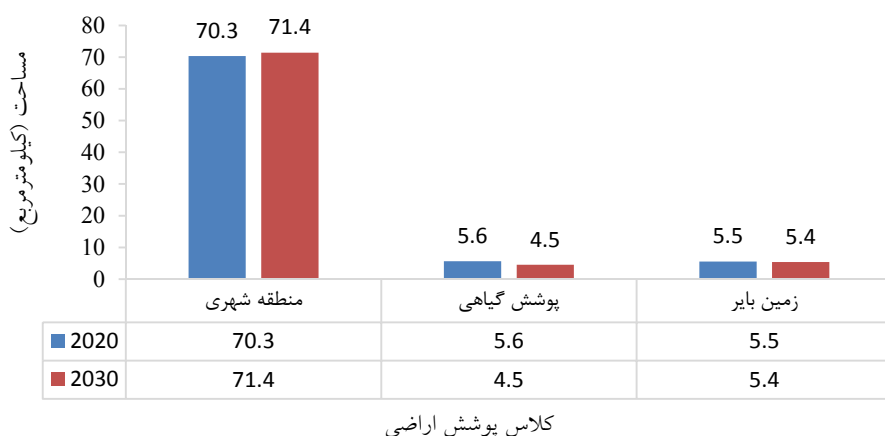
کاربری اراضی	منطقه شهری	پوشش گیاهی	زمین‌های بایر
منطقه شهری	۰/۹۲	۰/۰۱	۰/۰۴
پوشش گیاهی	۰/۳۷	۰/۵۳	۰/۰۷
زمین‌های بایر	۰/۶۱	۰/۰۱	۰/۳۲

مثبت روبرو خواهد بوده و مساحت آن به ۷۱/۴ کیلومترمربع خواهد رسید (شکل ۶). کلاس‌های پوشش گیاهی و بایر با ادامه روند رشد منفی، به ترتیب با ۱۹/۶- درصد و ۱/۸- درصد به ۵/۴ و ۴/۵ کیلومترمربع در سال ۲۰۳۰ کاهش پیدا خواهند کرد (شکل ۶).

سپس نقشه پیش‌بینی تغییرات پوشش اراضی برای سال ۲۰۳۰ میلادی شهر یزد به وسیله مدل CA-Markov استخراج شد (شکل ۵). نتایج حاصله از این مدل بیانگر آن است که در مقایسه با آمار سال ۲۰۲۰، در سال ۲۰۳۰ میلادی، تمامی کلاس‌های شهر یزد رشد یا کاهش اندکی خواهند داشت. بدین ترتیب که در سال ۲۰۳۰، کلاس شهری با ۱/۵ درصد رشد



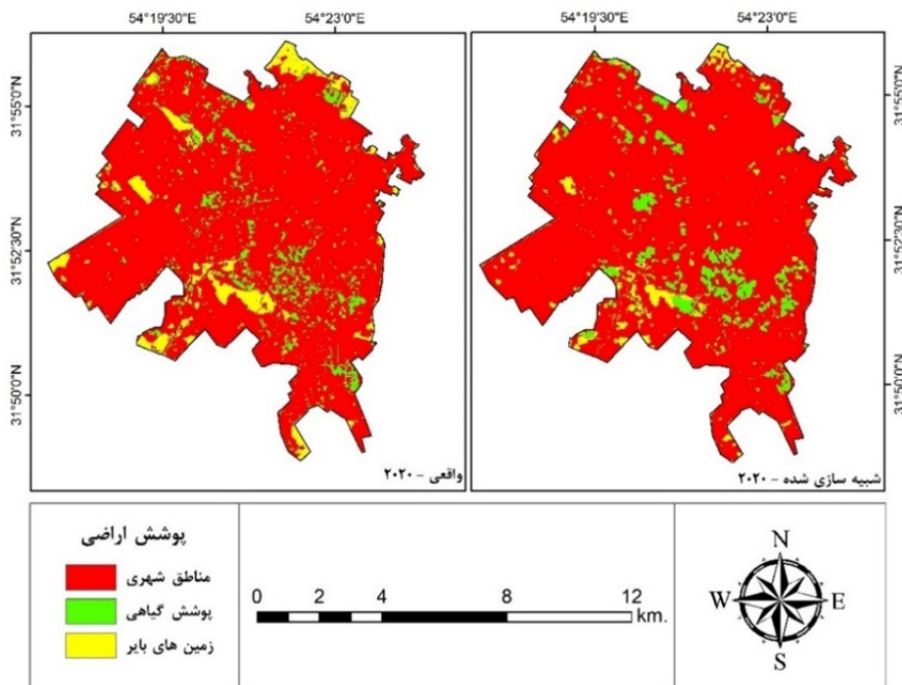
شکل ۵. نقشه پوشش اراضی پیش‌بینی شده برای سال ۲۰۳۰ برای شهر یزد  
Fig. 5. Forecasted Land cover map for 2030 for the city of Yazd



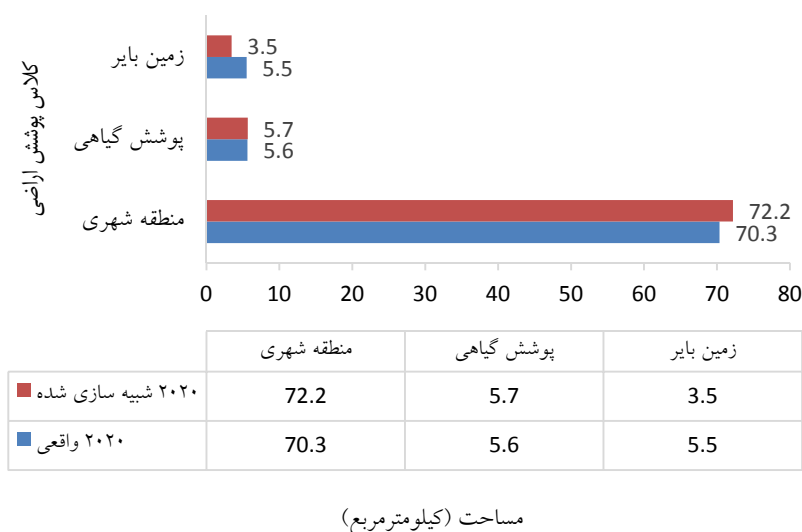
شکل ۶. مقایسه مساحت پیش‌بینی شده کلاس‌های شهری، پوشش گیاهی و زمین‌های بایر برای سال ۲۰۲۰ و ۲۰۳۰  
 Fig. 6. Comparison of the forecasted area of urban area, vegetation, and bare land classes for 2020 and 2030

۲۰۲۰ شبیه‌سازی شده و با آمار به دست آمده از طبقه‌بندی پوشش اراضی این سال مقایسه شد (شکل ۷). بدین وسیله آمار حاصل از مقایسه تصویر واقعی و شبیه‌سازی شده ۲۰۲۰ بیانگر آن است که دقت کلی این مدل ۹۹/۷ درصد است (شکل ۸).

**ارزیابی دقت روش پیش‌بینی بر اساس مدل CA-Markov**  
 به منظور ارزیابی دقت مدل CA-Markov در پیش‌بینی پوشش اراضی، برای سال ۲۰۳۰، با استفاده از نقشه‌های پوشش اراضی سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۰۰، نقشه پوشش اراضی سال



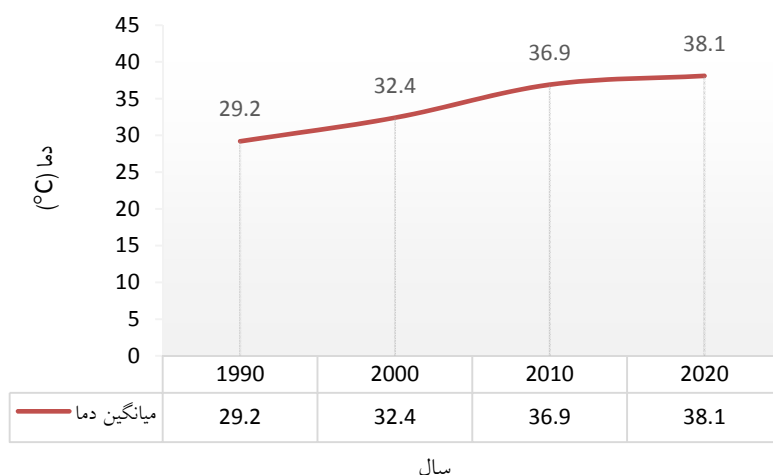
شکل ۷. مقایسه نقشه کلاس‌های پوشش اراضی واقعی و شبیه‌سازی شده برای سال ۲۰۲۰ شهر یزد  
 Fig. 7. Comparison of actual and simulated land cover classes maps for 2020 in Yazd



شکل ۸. مقایسه آمار کلاس‌های پوشش اراضی واقعی و شبیه‌سازی شده برای سال ۲۰۲۰ شهر یزد  
 Fig. 8. Comparison of statistics of actual and simulated land cover classes for 2020 in Yazd

بررسی تغییرات دمای سطح زمین  
 تغییرات فضایی-زمانی دمای سطح زمین

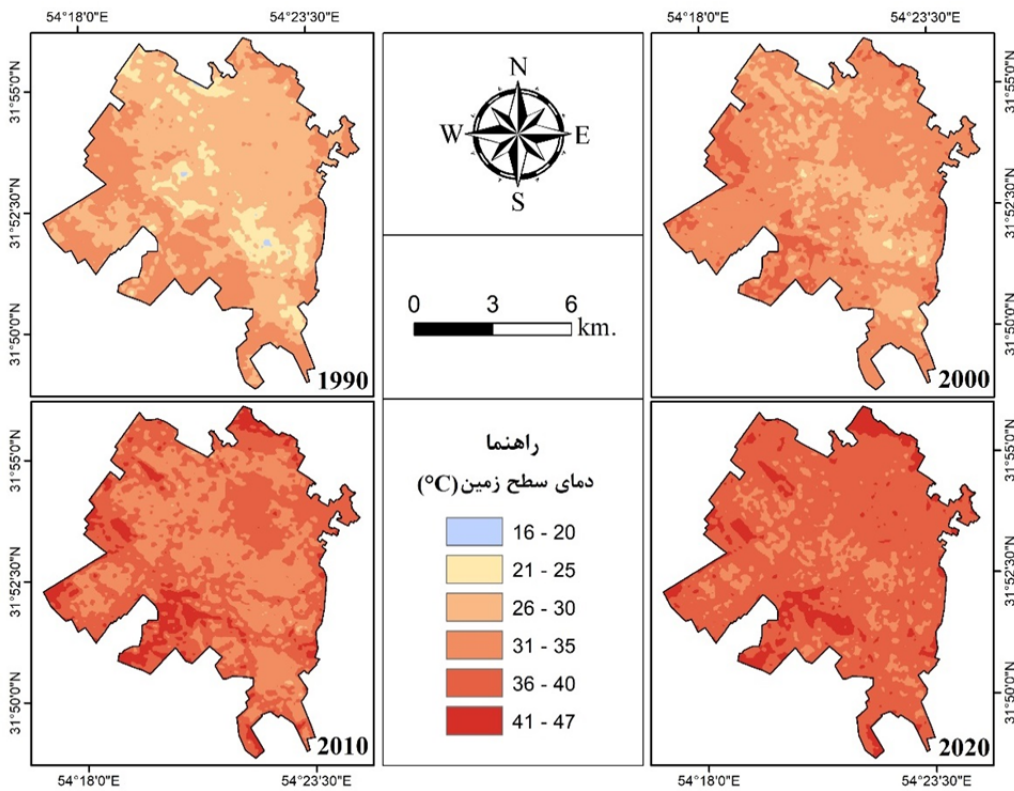
نتایج مربوط به استخراج دمای سطح زمین از شهر یزد برای سی سال اخیر بیانگر آن است که میانگین دمای سطح زمین در شهر همواره روند صعودی داشته است. بدین ترتیب میانگین دمای سطح زمین در شهر یزد، از ۲۹/۲ درجه سانتی‌گراد در سال ۱۹۹۰ با ۱۰/۹ درصد رشد، به ۳۲/۴ درجه سانتی‌گراد در سال ۲۰۰۰ افزایش داشته است. این مقدار در سال ۲۰۱۰ با ۱۳/۸ درصد رشد، به ۳۶/۹ درجه سانتی‌گراد رسیده است. دمای سطح زمین شهر یزد در سال ۲۰۲۰، با ۳/۲ درصد رشد نسبت به دوره قبل (۲۰۱۰)، به ۳۸/۱ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است (شکل ۹).



شکل ۹. میانگین دمای سطح زمین در شهر یزد طی ۳۰ سال اخیر  
 Fig. 9. The mean of land surface temperature in Yazd city during the last 30 years

مهمی در دمای سطح زمین طی سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ داشته است. در این میان، کلاس دمایی ۳۶-۴۰ درجه سانتی‌گراد افزایش چشمگیری را تا سال ۲۰۲۰ نشان می‌دهد؛ بطوریکه این کلاس در سال ۱۹۹۰ یافت نمی‌شود، اما تا سال ۲۰۲۰، با یک افزایش ۶۳ برابری مساحت این کلاس به ۶۳ کیلومترمربع رسیده و در نقش مهم‌ترین کلاس دمایی ۲۰ سال اخیر ظاهر شده است. به همین صورت گرم‌ترین کلاس دمایی، ۴۱-۴۶ درجه سانتی‌گراد فقط طی ۲۰ سال اخیر ثبت شده و از ۷/۸ کیلومترمربع در سال ۲۰۱۰ با ۱۰/۲ درصد رشد، به ۸/۶ کیلومترمربع در سال ۲۰۲۰ رسیده است (شکل ۱۰).

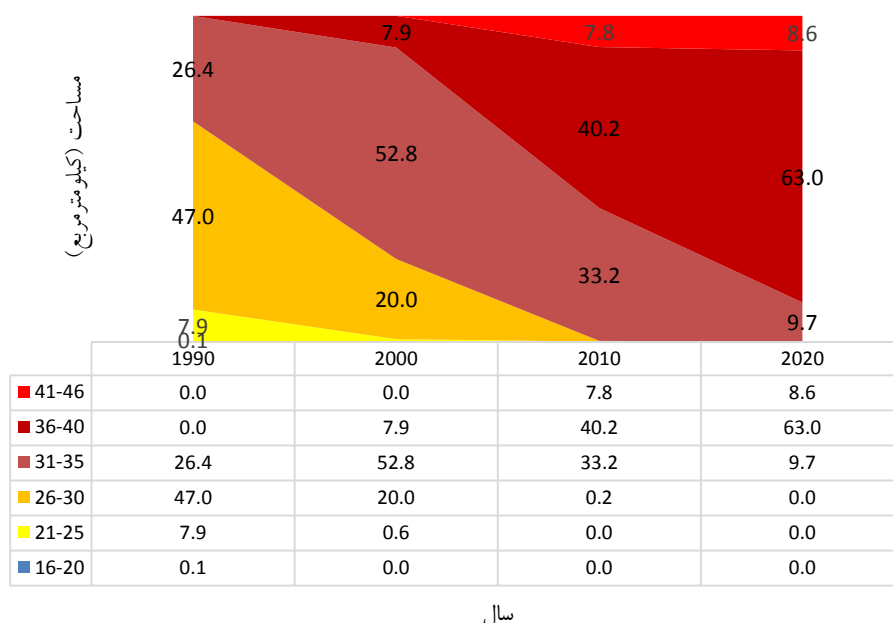
همچنین روند تغییر مساحت کلاس‌های دمایی طی سی سال اخیر در شهر یزد بیانگر آن است که در طول دوره مورد مطالعه، همواره از مساحت کلاس‌های سردتر کاسته و به مساحت کلاس‌های گرم‌تر افزوده شده است (شکل). به عبارت بهتر، در گذر از سال ۱۹۹۰ به ۲۰۲۰، کلاس‌های گرم‌تر همواره در حال رشد بوده‌اند. بدین ترتیب، مساحت کلاس‌های دمایی ۱۶-۲۰، ۲۱-۲۵ و ۲۶-۳۰ درجه سانتی‌گراد، در سال ۲۰۲۰ به صفر رسیده و وجود ندارند. همچنین کلاس ۳۱-۳۵ با وجود رشد ۱۰۰ درصدی در سال ۲۰۰۰ نسبت به دوره پیشین خود از ۲۶/۴ به ۵۲/۸ کیلومترمربع، متعاقباً روند نزولی ۶۳/۲ درصدی را از ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ نشان می‌دهد؛ این کلاس نقش



شکل ۱۰. نقشه تغییرات کلاس‌های دمای سطح زمین شهر یزد طی ۳۰ سال اخیر

Fig. 10. Map of land surface temperature classes changes in Yazd city during the last 30 years



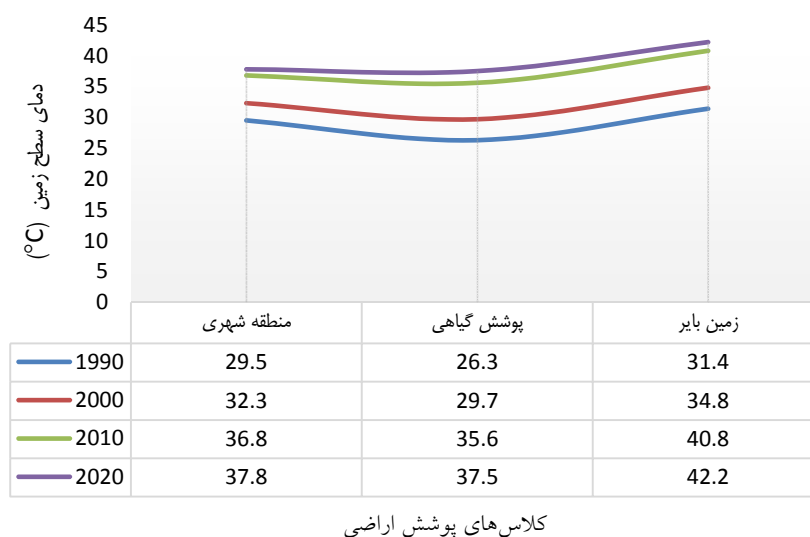


شکل ۱۰. مقایسه رشد طبقات دمای سطح زمین طی ۳۰ سال اخیر برای شهر یزد

Fig. 11. Comparison of the growth of land surface temperature classes during the last 30 years for the Yazd city

به خود اختصاص داده‌اند. کلاس مناطق شهری با ۳۴/۱ درجه سانتی‌گراد حد وسط این دو کلاس در دمای سطح زمین را به خود اختصاص داده است (شکل ۱۱).

نتایج بررسی میانگین دما در هر یک از کلاس‌های پوشش اراضی نیز بیانگر آن است که پوشش اراضی زمین‌های بایر با میانگین ۳۷/۳ درجه سانتی‌گراد بیشترین و کلاس پوشش گیاهی با ۳۲/۲ درجه سانتی‌گراد کمترین دما را در تمام سال‌ها

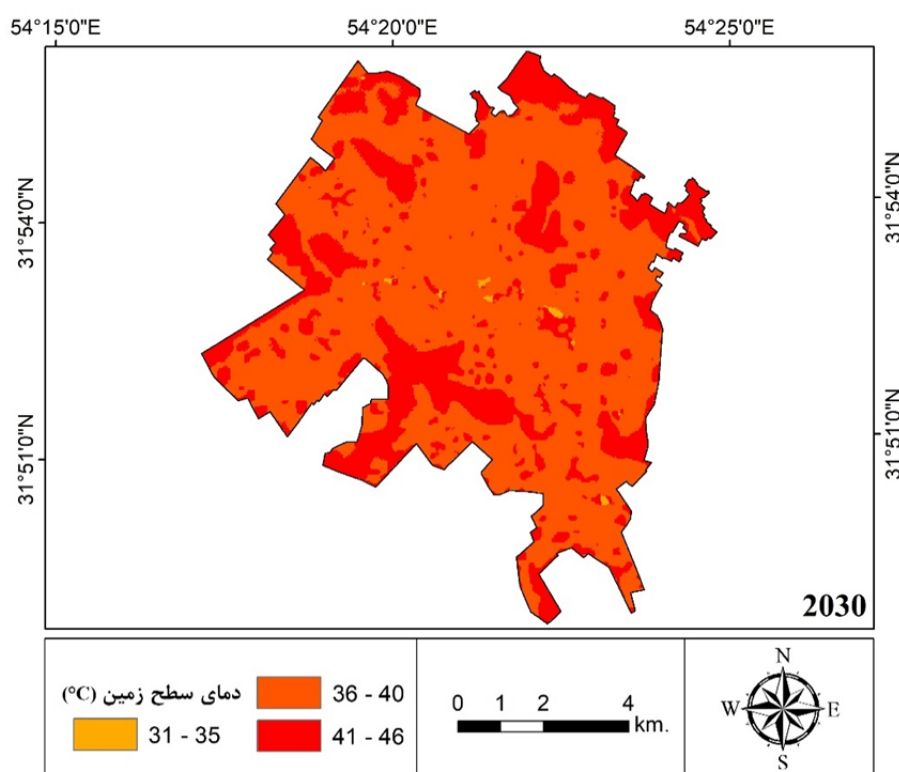


شکل ۱۱. میانگین دمای سطح زمین به تفکیک کلاس‌های پوشش اراضی  
Fig. 12. The mean of land surface temperature by land cover classes

۲۰۳۰ کاهش خواهد یافت. کلاس دمایی ۳۶-۴۰ درجه سانتی‌گراد در حالی با یک افت ۷/۶- درصدی از ۶۳ کیلومترمربع در سال ۲۰۲۰ به ۵۸/۲ کیلومترمربع پیش‌بینی شده است که بر اساس این پیش‌بینی، گرم‌ترین کلاس کل دوره آماری، ۴۱-۴۶ درجه سانتی‌گراد به‌صورت چشمگیری با ۱۶۶/۲ درصد رشد، از ۸/۶ کیلومترمربع در سال ۲۰۲۰ به ۲۲/۹ کیلومترمربع در سال ۲۰۳۰ افزایش خواهد یافت (شکل ۱۳).

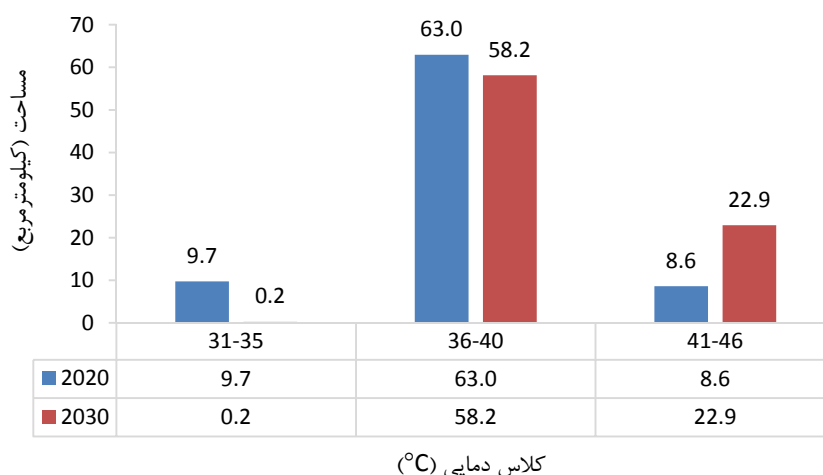
پیش‌بینی تغییرات دمای سطح زمین با استفاده از مدل مارکوف

نتایج به‌دست آمده بیانگر آن است که درگذر از سال ۲۰۲۰ به سال ۲۰۳۰، کلاس‌های دمایی گرم‌تر در شهر یزد در حال رشد بوده و نسبت به ۲۰۲۰، کلاس‌های سردتر در حال از بین رفتن می‌باشند (شکل ۱۲). بدین ترتیب، کلاس دمایی ۳۱-۳۵ درجه سانتی‌گراد با افت بسیار زیادی (۹۷/۹ درصدی) از ۹/۷ کیلومترمربع در سال ۲۰۲۰ به ۰/۲ کیلومترمربع در سال



شکل ۱۲. نقشه پیش‌بینی دمای سطح زمین برای سال ۲۰۳۰ شهر یزد

Fig. 13. land surface temperature forecast map for 2030 in Yazd city

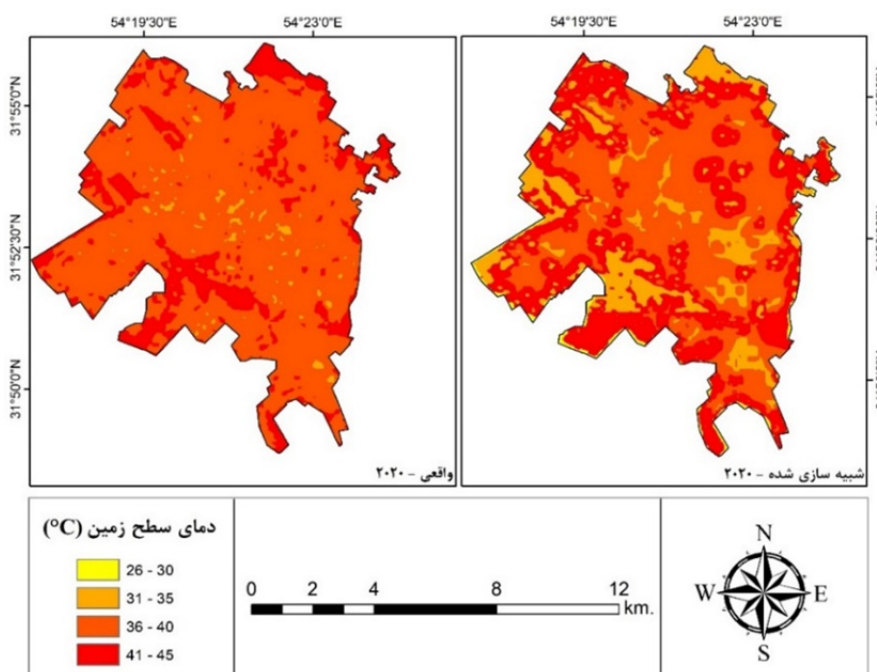


شکل ۱۳. مقایسه مساحت کلاس‌های دمای سطح زمین شهر یزد برای سال ۲۰۲۰ و پیش‌بینی سال ۲۰۳۰

Fig. 14. Comparison of the area of land surface temperature classes in Yزد for 2020 and 2030 forecast

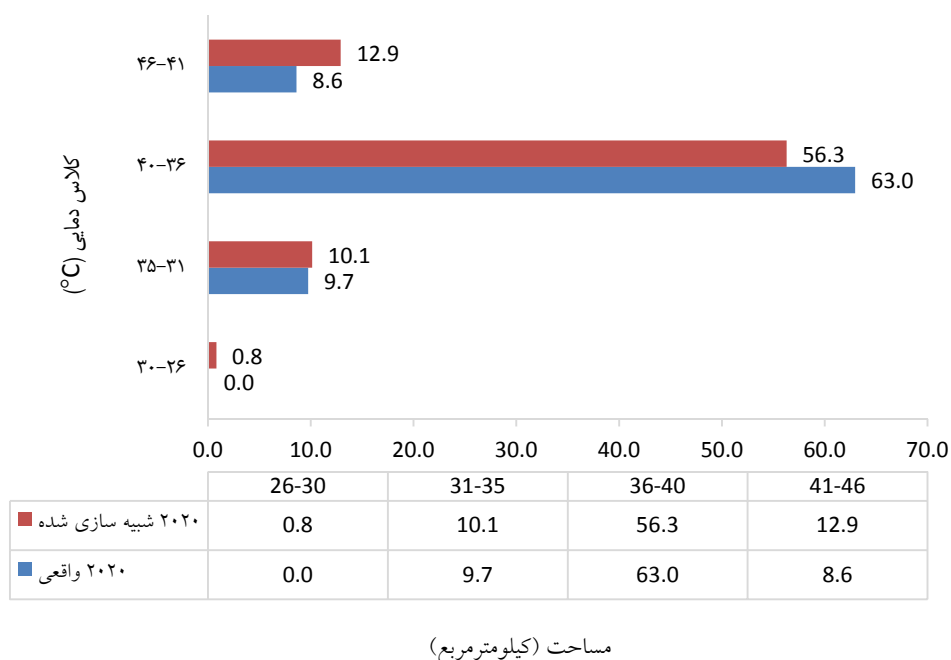
نقشه‌های طبقه‌بندی شده واقعی دمای سطح زمین برای ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ به منظور شبیه‌سازی سال ۲۰۲۰ استفاده شد (شکل ۱۴). نتایج نشان داد، دقت کلی این روش برای دو تصویر ۲۰۲۰، ۹۸/۵ درصد است (شکل ۱۵).

ارزیابی دقت پیش‌بینی تغییرات دمای سطح زمین با استفاده از مدل مارکوف به منظور ارزیابی دقت مدل CA-Markov در پیش‌بینی نقشه دمای سطح زمین برای شهر یزد، برای سال ۲۰۳۰،



شکل ۱۴. نقشه مقایسه کلاس‌های دمای سطح زمین در نقشه واقعی و شبیه‌سازی شده برای سال ۲۰۲۰

Fig. 15. Comparison map of land surface temperature classes in the actual and simulated model for 2020



شکل ۱۵. مقایسه مساحت کلاس های دمای سطح زمین در نقشه دمای سطح زمین واقعی و شبیه سازی شده برای سال ۲۰۲۰ شهر یزد

Fig. 16. Comparison of the area of land surface temperature classes in the actual and simulated land surface temperature map for 2020 in Yazd city

کلاس بایر، میانگین دمای سطح زمین ثبت شده، افزایش یافته و همبستگی بین این دو متغیر به صورت مثبت است (جدول ۵).

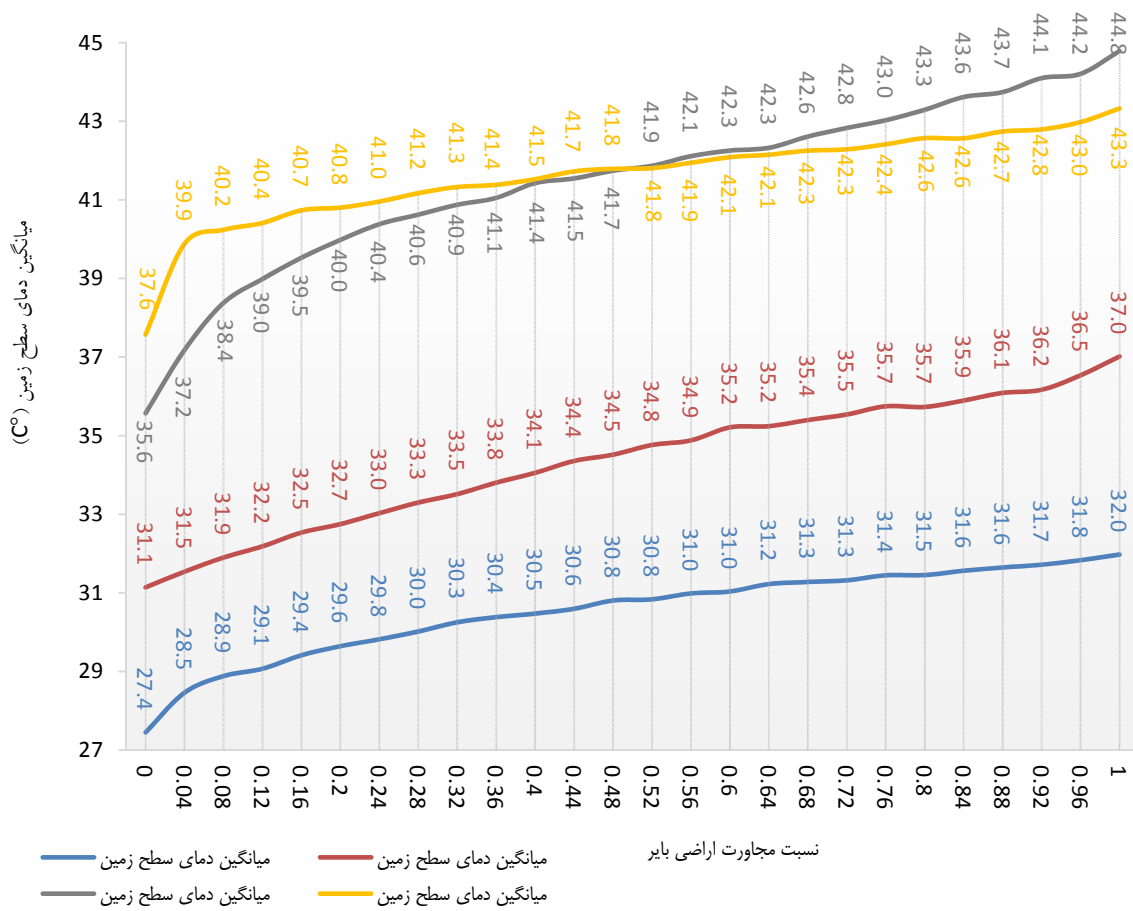
#### اثر مجاورت کلاس های پوشش اراضی

بررسی اثر مجاورت کلاس های زمین بایر (شکل ۱۶) بیانگر آن است که با افزایش نسبت مجاورت با پیکسل های

جدول ۵. ضریب همبستگی بین نسبت مجاورت اراضی بایر و دمای سطح زمین برای شهر یزد

Table 8. The correlation coefficient between the ratio of the proximity of bare lands and land surface temperature for Yazd city

دمای سطح زمین				کلاس کاربری
۱۹۹۰	۲۰۰۰	۲۰۱۰	۲۰۲۰	
۰/۹۴	۰/۹۸	۰/۹۵	۰/۹۰	زمین بایر



شکل ۱۶. مقایسه آماری نسبت مجاورت اراضی بایر و دمای سطح زمین برای شهر یزد

Fig. 17. Statistical comparison of the ratio of the proximity of bare lands and land surface temperature for the Yazd city

پیکسل‌های پوشش گیاهی در هر کرنل، دمای سطح زمین ثبت شده کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر نسبت مجاورت پیکسل‌های پوشش گیاهی با دما رابطه منفی دارند (جدول ۶).

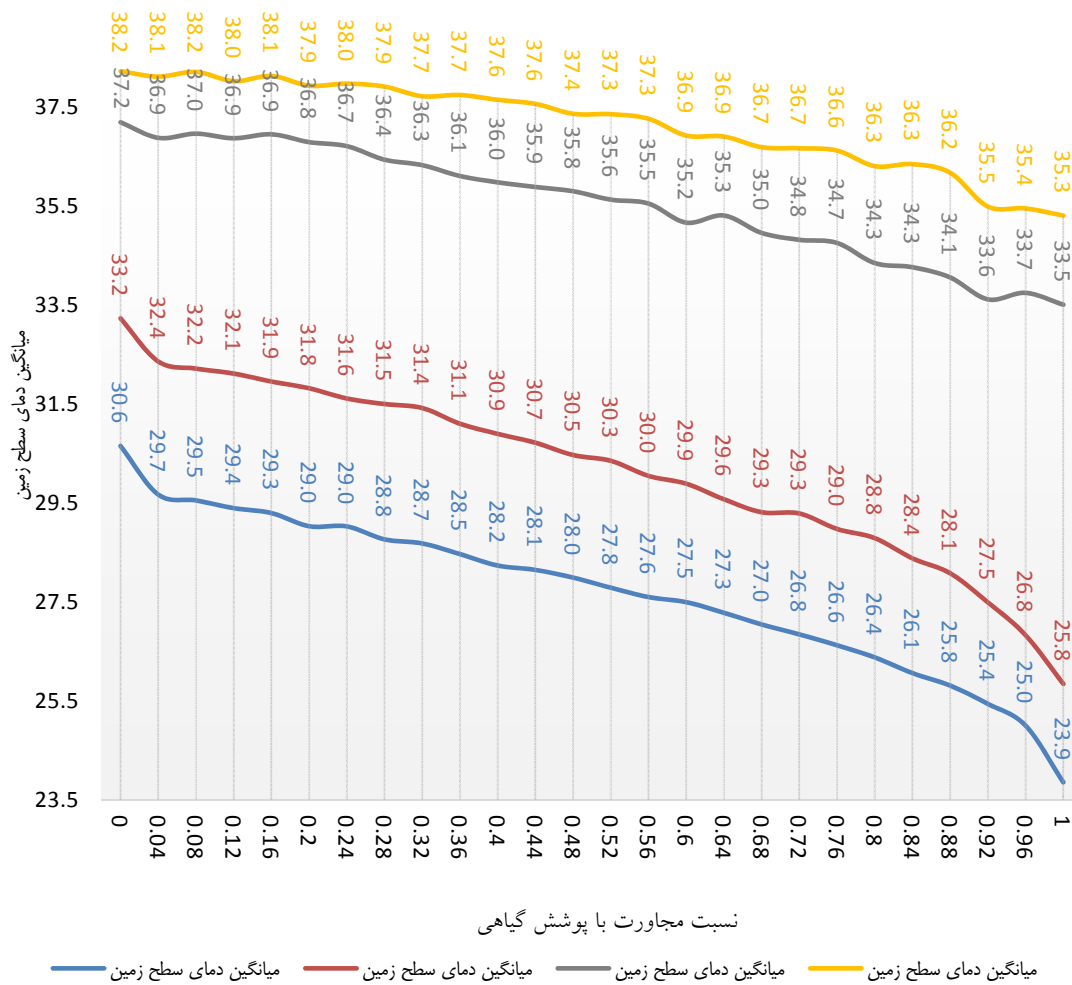
اثر مجاورت کلاس‌های پوشش گیاهی

بررسی اثر مجاورت کلاس زمین‌های بایر بر دمای سطح زمین در شهر یزد (شکل ۱۷) نیز بیانگر آن است که در روندی معکوس نسبت به زمین‌های بایر، با افزایش نسبت مجاورت

جدول ۶. ضریب همبستگی بین نسبت مجاورت پوشش گیاهی و دمای سطح زمین برای شهر یزد

Table 9. Correlation coefficient between the ratio of vegetation proximity and land surface temperature for Yazd city

دمای سطح زمین				کلاس کاربری
۱۹۹۰	۲۰۰۰	۲۰۱۰	۲۰۲۰	
-۰/۹۷	-۰/۹۷	-۰/۹۸	-۰/۹۶	پوشش گیاهی



شکل ۱۷. مقایسه آماری نسبت مجاورت پوشش گیاهی و دمای سطح زمین برای شهر یزد

Fig. 18. Statistical comparison of the ratio of vegetation proximity and land surface temperature for Yazd city

### بحث و نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰، مساحت کلاس مناطق شهری شهر یزد به طور فزاینده ای رشد داشته است. بطوریکه این منطقه طی ۳۰ سال اخیر ۹۱/۵ درصد (۳۳/۶ کیلومترمربع) رشد داشته است. زمین های بایر و پوشش گیاهی اما، در این منطقه و در دوره زمانی یکسان با رشد منفی همراه بوده اند. به گونه ای که زمین های بایر، از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰، در شهر یزد، رشد -۷۹/۴ درصدی (۲۱/۳ کیلومترمربع) را تجربه کرده اند که رشد شدید مناطق شهری، این رشد منفی در زمین های بایر، را توجیه می کند. طبقات پوشش گیاهی شهر یزد نیز از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰، رشد -۶۸/۵ درصدی (۱۲/۲

کیلومترمربع) را تجربه کرده است. میانگین دمای سطح زمین این شهر طی همین دوره ۳۰ ساله به صورت مداوم افزایشی بوده است. بطوریکه تا سال ۲۰۲۰، شهر یزد با رسیدن به میانگین ۳۸/۱ درجه سانتی گراد نسبت به ۲۹/۲ درجه سانتی گراد در ۱۹۹۰، افزایش ۳۰/۴ درصدی را در میانگین دمای سطح زمین خود تجربه کرده است. این افزایش دما می تواند با توجه به افزایش مساحت مناطق شهری که موجب افزایش تراکم شهری و سطوح نفوذناپذیر شده، کاهش مساحت پوشش گیاهی و در نتیجه کاهش نقش خنک کنندگی آن و نیز کاهش مساحت زمین های بایر و جایگزین شدن آن با مناطق شهری و کاهش عامل تهویه هوا نسبت به حالت اولیه، در شهر یزد توجیه پذیر باشد. با این حال، به دلیل چندوجهی بودن مسائل

تعدیل دمایی در آن‌ها کمتر وجود داشته و این می‌تواند، عامل افزایش میانگین دمای سطحی در آن‌ها نسبت به پوشش‌های دیگر باشد. با توجه به این توضیحات، بر اساس نتایج، همبستگی مثبت (میانگین همبستگی ۰/۹۵) بین مجاورت با پوشش اراضی بایر و میانگین دمای سطح زمین نیز نمایش داده شد (Error! Reference source not found). با این وجود، روند شدید افزایشی مناطق شهری در کل دوره آماری (۹۱/۵ درصد با ۳۳/۶ کیلومترمربع) به‌عنوان دومین کلاس با بیشترین میانگین دمایی پس از زمین‌های بایر با میانگین ۳۴/۱ درجه سانتی‌گراد در مقابل روند کاهشی ۷۹/۴ درصدی (۲۱/۳ کیلومترمربع) زمین‌های بایر موجب افزایش میانگین دمای سطح زمین شهر یزد طی دوره آماری ۳۰ ساله شده است. چراکه کاهش ۶۸/۵ درصدی (۱۲/۲ کیلومترمربع) مناطق پوشش گیاهی به‌عنوان کلاس پوشش اراضی با کمترین میانگین دمای سطح زمین (۳۲/۲ درجه سانتی‌گراد) در همین دوره، اثر کاهش زمین‌های بایر را خنثی، و روند افزایش میانگین دمای سطح زمین را تشدید کرده است. این در حالی است که همبستگی منفی (میانگین همبستگی -۰/۹۷) میان نسبت مجاورت با پوشش گیاهی و میانگین دمای سطح زمین به اثبات رسید. که این نقش خنک‌کنندگی پوشش گیاهی که می‌تواند به دلیل عواملی همچون تبخیر و تعرق و سایه است را اثبات می‌نماید. نتایج حاصل از پیش‌بینی تغییرات پوشش زمین در سال ۲۰۳۰ برای شهر یزد بیانگر آن است که در روندی مشابه با دوره‌های قبل، پوشش مناطق شهری با افزایش روبرو خواهد بود. این رشد، نسبت به سال ۲۰۲۰، با ۱/۶ درصد (۱/۱ کیلومترمربع) چشمگیر نخواهد بود. اما کاهش چشمگیر مناطق سبز (پوشش گیاهی) با ۱۹/۶- درصد (۱/۱ کیلومترمربع) در همین دوره، به همراه ناچیز بودن کاهش زمین‌های بایر (۱/۸- درصد با ۰/۱ کیلومترمربع) سبب گرم‌تر شدن زمین، و رشد مساحت کلاس‌های دمای سطح زمین در سال ۲۰۳۰ خواهد شد. بر این اساس، عمده‌ترین مساحت کلاس دمای سطح زمین در سال ۲۰۳۰ برای شهر یزد، همانند سال ۲۰۲۰، ۳۶-۴۰ درجه سانتی‌گراد با ۵۸/۲ کیلومترمربع (۷/۶- درصد رشد

زیست‌محیطی، عوامل دیگری از جمله تراکم جمعیت که خود عامل مؤثری برافزایش مناطق شهری است، آلودگی هوا، تغییر اقلیم و مسائلی از این دست نیز عوامل مؤثری در این تغییر الگوی دمای سطحی به شمار می‌روند. بطوریکه کلاس‌های دمایی این شهر نیز در این ۳۰ سال به سمت کلاس‌های دمایی گرم‌تر حرکت کرده‌اند. به‌گونه‌ای که عمده‌ترین بخش مساحت‌های دمایی سطح زمین شهر یزد، در سال ۱۹۹۰ در وهله نخست، در کلاس ۲۶-۳۰ درجه با ۴۷ کیلومترمربع سانتی‌گراد و در وهله دوم در کلاس ۳۱-۳۵ درجه با ۲۶/۴ کیلومترمربع طبقه‌بندی می‌شوند. این در حالی است که در سال ۲۰۰۰، در روندی معکوس، کلاس دمایی ۳۱-۳۵ درجه سانتی‌گراد با ۵۲/۸ کیلومترمربع در وهله نخست و کلاس دمایی ۲۶-۳۰ درجه سانتی‌گراد با ۲۰ کیلومترمربع در وهله دوم قرار دارد. با یک کلاس افزایش، کلاس دمایی ۳۶-۴۰ درجه سانتی‌گراد برای هر دو سال ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ با به ترتیب ۴۰/۲ و ۶۳ کیلومترمربع به‌عنوان بزرگ‌ترین کلاس دمایی ثبت شده است. کلاس دمایی ۳۱-۳۵ درجه سانتی‌گراد نیز به‌عنوان کلاس دمایی دوم هر دو سال به ترتیب با ۳۳/۲ و ۹/۷ کیلومترمربع ثبت شده است. تفاوت این دو سال، در رشد ۷۰/۷- درصدی (۲۳/۵ کیلومترمربع) مساحت کلاس ۳۱-۳۵ درجه سانتی‌گراد و افزایش رشد ۱۰/۳ درصدی (۰/۸ کیلومترمربع) گرم‌ترین کلاس کل دوره آماری، ۴۱-۴۶ درجه سانتی‌گراد، در سال ۲۰۲۰، نسبت به سال ۲۰۱۰ است. همچنین نتایج این مطالعه نشان داد بیشترین میانگین دمایی در تمام سالها برای زمین‌های بایر با ۳۷/۳ درجه سانتی‌گراد ثبت شده است. که این نتیجه، می‌تواند با توجه به اقلیم گرم و خشک شهر یزد که موجب افزایش دمای سطحی زمین‌های بایر با توجه به یکنواختی و مساحت بیشتر نسبت به سایر پوشش‌های مختلط شهری (من‌جمله مناطق شهری) شده و نیز با توجه به معادلات بیلان انرژی سطح زمین که دمای خاک بایر بالاتر از دمای سطح مناطق ساخته‌شده شهری است، ذکر شود. چراکه همگنی زمین‌های بایر و عدم وجود پوشش‌های مختلط (از جمله پوشش گیاهی) در آن‌ها موجب شده است تا نقش

## References

- Ackerman B. 1985. Temporal march of the Chicago heat island. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 24(6): 547-554. doi:https://doi.org/10.1175/1520-0450(1985)024<0547:TMOTCH>2.0.CO;2.
  - Alberti M, Marzluff JM. 2004. Ecological resilience in urban ecosystems: Linking urban patterns to human and ecological functions. *Urban Ecosystems*, 7(3): 241-265. doi:https://doi.org/10.1023/B:UECO.0000044038.90173.c6.
  - Amiri R, Weng Q, Alimohammadi A, Alavipanah SK. 2009. Spatial-temporal dynamics of land surface temperature in relation to fractional vegetation cover and land use/cover in the Tabriz urban area, Iran. *Remote Sensing of Environment*, 113(12): 2606-2617. doi:https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.07.021.
  - Bischof H, Schneider W, Pinz AJ. 1992. Multispectral classification of Landsat-images using neural networks. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 30(3): 482-490. doi:https://doi.org/10.1109/36.142926.
  - Bishop CM. 1995. *Neural networks for pattern recognition*. Oxford University Press, 1374 AP - Computers - 482 pages.
  - Borana S, Yadav S. 2017. Prediction of land cover changes of Jodhpur City using cellular automata markov modelling techniques. *International Journal of Engineering Science*, 17(11): 15402-15406. doi:http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.10705.38246.
  - Carlson TN, Arthur ST. 2000. The impact of land use—land cover changes due to urbanization on surface microclimate and hydrology: a satellite perspective. *Global and planetary change*, 25(1-2): 49-65. doi:https://doi.org/10.1016/S0921-8181(00)00021-7.
  - Collobert R, Weston J. 2008. A unified architecture for natural language processing: Deep neural networks with multitask learning. In: *Proceedings of the 25th international conference on Machine learning*. pp 160-167. https://doi.org/10.1145/1390156.1390177.
  - Coseo P, Larsen L. 2014. How factors of land use/land cover, building configuration, and adjacent heat sources and sinks explain Urban Heat Islands in Chicago. *Landscape and Urban Planning*, 125: 117-129. doi:https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.02.019.
  - Deakin M, Allwinkle S. 2007. Urban regeneration and sustainable communities: The role of networks, innovation, and creativity in building successful partnerships. *Journal of Urban*
- نسبت به دوره (۲۰۲۰) پیش‌بینی شده است. اما رشد فزاینده و چشمگیر گرم‌ترین کلاس دوره آمار (۴۱-۴۶ درجه سانتی‌گراد) با ۱۶۶/۳ درصد (۱۴/۳ کیلومترمربع) رشد مثبت به‌عنوان دومین کلاس عمده دمای سطح زمین در این سال (۲۰۳۰)، و نیز رشد منفی و چشمگیر کلاس نسبتاً خنک‌تر ۳۱-۳۵ درجه سانتی‌گراد با ۹۷/۹- درصد (۹/۵ کیلومترمربع) در این سال بیانگر گرم‌تر شدن دمای سطح زمین در سال ۲۰۳۰ خواهد بود.
- نتایج این پژوهش بیانگر آن است که در یک دوره ۳۰ ساله در شهر یزد، کاهش پوشش گیاهی در وهله نخست به دلیل کاهش اثر خنک‌کنندگی و تعادلی، به همراه افزایش مناطق شهری در وهله دوم به‌موجب کاهش اثر تهویه هوای شهری، سبب افزایش دمای سطح زمین شده است. بدین ترتیب، کلاس پوشش گیاهی به دلیل اثر خنک‌کننده خود به دلیل دارا بودن آب، سبب کاهش دمای سطح زمین می‌شود. در این پژوهش نشان داده شد که میانگین دمای سطحی زمین‌های بایر از مناطق شهری و پوشش گیاهی بیشتر است و انتظار می‌رود که با ثابت در نظر گرفتن تمام عوامل، کاهش زمین‌های بایر به کاهش دمای سطح زمین منجر شود، اما کاهش مساحت زمین‌های سبز (پوشش گیاهی) در سال‌های اخیر، به همراه افزایش شدید مساحت زمین‌های مناطق شهری موجب افزایش دمای سطح زمین در این شهر شده است. همچنین رابطه منفی بین مجاورت با پوشش گیاهی به دلیل اثر خنک‌کنندگی و رابطه مثبت بین مجاورت با زمین‌های بایر به دلیل همگنی و مساحت بالا، با میانگین دمای سطح زمین ثبت‌شده یافت شد. که این نتیجه، می‌تواند اهمیت افزایش مجاورت با پوشش گیاهی و افزایش ترکیب آن در سایر پوشش‌ها (به‌خصوص مناطق شهری)، از طریق ایجاد زمین‌های و نیز کاهش مساحت زمین‌های بایر را به‌عنوان راهکار مناسبی در مقابله با تأثیر گسترش شهرنشینی در سال‌های اخیر بر روی دمای سطح زمین بیان نماید.



11. Technology, 14(1): 77-91. doi:<https://doi.org/10.1080/10630730701260118>.
12. Dos Santos AR, de Oliveira FS, da Silva AG, Gleriani JM, Gonçalves W, Moreira GL, Silva FG, Branco ERF, Moura MM, da Silva RG. 2017. Spatial and temporal distribution of urban heat islands. *Science of the Total Environment*, 605: 946-956. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.275>.
13. Exelis visual information solutions. 2015. ENVI 53 help.
14. Grimmond C. 2006. Progress in measuring and observing the urban atmosphere. *Theoretical and Applied Climatology*, 84(1): 3-22. doi:<https://doi.org/10.1007/s00704-005-0140-5>.
15. Hou H, Ding F, Li Q. 2018. Remote sensing analysis of changes of urban thermal environment of Fuzhou city in China in the past 20 years. *Journal of Geo-information Science*, 20(3): 385-395.
16. Jensen JR. 2005. Introductory digital image processinga remote sensing perspective. vol 621.3678 J4/2005. 526 p.
17. Jiang J, Tian G. 2010. Analysis of the impact of land use/land cover change on land surface temperature with remote sensing. *Procedia Environmental Sciences*, 2: 571-575. doi:<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2010.10.062>.
18. Jianping L, Bai Z, Feng G. 2005. RS-and-GIS-supported forecast of grassland degradation in southwest Songnen plain by Markov model. *Geospatial Information Science*, 8(2): 104-109. doi:<https://doi.org/10.1007/BF02826848>.
19. Kavzoglu T, Colkesen I. 2009. A kernel functions analysis for support vector machines for land cover classification. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 11(5): 352-359. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jag.2009.06.002>.
20. LANDSAT 8 data users handbook. 2016. Using the USGS Landsat8 product, US Department of the Interior-US Geological Survey-NASA.
21. Li C, Wang J, Wang L, Hu L, Gong P. 2014. Comparison of classification algorithms and training sample sizes in urban land classification with Landsat thematic mapper imagery. *Remote Sensing*, 6(2): 964-983. doi:<https://doi.org/10.3390/rs6020964>.
22. Li X, Zhou Y, Asrar GR, Imhoff M, Li X. 2017. The surface urban heat island response to urban expansion: A panel analysis for the conterminous United States. *Science of the Total Environment*, 605: 426-435. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.22>.
23. Liu G, Chen S, Gu J. 2019. Urban renewal simulation with spatial, economic and policy dynamics: The rent-gap theory-based model and the case study of Chongqing. *Land Use Policy*, 86: 238-252. doi:<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.04.038>.
24. Logsdon MG, Bell EJ, Westerlund FV. 1996. Probability mapping of land use change: A GIS interface for visualizing transition probabilities. *Computers, Environment and Urban Systems*, 20(6): 389-398. doi:[https://doi.org/10.1016/S0198-9715\(97\)00004-5](https://doi.org/10.1016/S0198-9715(97)00004-5).
25. Muller MR, Middleton J. 1994. A Markov model of land-use change dynamics in the Niagara Region, Ontario, Canada. *Landscape Ecology*, 9(2): 151-157. doi:<https://doi.org/10.1007/BF00124382>.
26. Qiao Z, Liu L, Qin Y, Xu X, Wang B, Liu Z. 2020. The impact of urban renewal on land surface temperature changes: a case study in the main city of Guangzhou, China. *Remote Sensing*, 12(5): 794. doi:<https://doi.org/10.3390/rs12050794>.
27. Rousta I, Sarif MO, Gupta RD, Olafsson H, Ranagalage M, Murayama Y, Zhang H, Mushore TD. 2018. Spatiotemporal analysis of land use/land cover and its effects on surface urban heat island using Landsat data: A case study of Metropolitan City Tehran (1988–2018). *Sustainability*, 10(12): 4433. doi:<https://doi.org/10.3390/su10124433>.
28. Story M, Congalton RG. 1986. Accuracy assessment: a user's perspective. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 52(3): 397-399.
29. Thompson WD, Walter SD. 1988. A reappraisal of the kappa coefficient. *Journal of Clinical Epidemiology*, 41(10): 949-958. doi:[https://doi.org/10.1016/0895-4356\(88\)90031-5](https://doi.org/10.1016/0895-4356(88)90031-5).
30. USGS. 2014. OLI and TIRS Calibration Notices. Landsat 8 Reprocessing to Begin February 3, 2014.
31. Wang R, Derdouri A, Murayama Y. 2018. Spatiotemporal simulation of future land use/cover change scenarios in the Tokyo metropolitan area. *Sustainability*, 10(6): 2056. doi:<https://doi.org/10.3390/su10062056>.
32. XIU L-n, Xiang-nan L. 2011. Current status and future direction of the study on artificial neural network classification processing in remote sensing. *Remote Sensing Technology and Application*, 18(5): 339-345.
33. Ziaul S, Pal S. 2016. Image based surface temperature extraction and trend detection in an urban area of West Bengal, India. *Journal of Environmental Geography*, 9(3-4): 13-25. doi:<http://dx.doi.org/10.1515/jengeo-2016-0008>.



## Study and prediction of land surface temperature changes of Yazd city: assessing the proximity and changes of land cover

Mohammad Mansourmoghaddam, Iman Rousta, Mohammadsadegh Zamani, Mohammad Hossein Mokhtari, Mohammad Karimi Firozjaei, Seyed Kazem Alavipanah

Received: 27 February 2021 / Accepted: 25 May 2021  
Available online 5 January 2022

### Abstract

**Background and Objective** The expansion of urbanization has increased the scale and intensity of thermal islands in cities. Investigating how cities are affected by these thermal islands plays an important role in the future planning of cities. For this purpose, this study examines and predicts the effect of land cover (LC) changes in the three classes of LC including urban areas, barren lands, and vegetation on land surface temperature (LST) in the city of Yazd during the last 30 years using Landsat 5 and 8 images. This study also examines the effect of the ratio of proximity to the barren land and vegetation classes during this period to examine how the recorded LST is affected by the mentioned ratio.

M. Mansourmoghaddam<sup>1</sup>, I. Rousta<sup>2</sup>, M. S. Zamani<sup>3</sup>, M. H. Mokhtari<sup>4</sup>, M. Karimi Firozjaei<sup>5</sup>, S. K. Alavipanah<sup>6</sup>

1. MSc. Student of Remote Sensing and Geographical Information System, Department of Geography, University of Yazd, Iran
2. Assistant Professor, Department of Geography, University of Yazd, Iran
3. Assistant Professor, Faculty of Mathematic Sciences, University of Yazd, Iran
4. Assistant Professor, Department of Management in the Arid Regions, Faculty of Environmental and Desert Studies, University of Yazd, Iran
5. PhD. Student of Remote Sensing and Geographical Information System, Department of Geography, University of Tehran, Iran
6. Professor, Department of Geography, University of Tehran, Iran

e-mail: [irousta@yazd.ac.ir](mailto:irousta@yazd.ac.ir)

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1400.12.4.1.8>

**Materials and Methods** The LC maps of Yazd city were extracted using a supervised Artificial Neural Network classifier for 1990, 2000, 2010, and 2020. Terrestrial data, google earth, and ground truth maps were used to derive training data. The LST of Yazd was obtained from the thermal band of Landsat 5 and Landsat 8. After that, the LST was classified into six available classes, including 16-20, 21-25, 26-30, 31-35, 36-40, and 41-46°C which has shown that the four last classes play an important role in LST changes in Yazd city during last 30 years. To evaluate the effects of the proximity of barren land and vegetation LC classes on the LST recorded by the sensor, firstly the proximity ratio was calculated in 5×5 kernels for all image pixels. Then the mean of LST was derived based on this ratio of barren and vegetation lands.

**Results and Discussion** The results of this study showed that in Yazd city, from 1990 to 2020, the area of the urban area has grown 91.5 % (33.6 km<sup>2</sup>) over the last 30 years. Barren and vegetation land, have negative growth in the area over the same period. From 1990 to 2020, barren lands in Yazd experienced a growth -79.4% (21.3 km<sup>2</sup>), which the sharp growth of urban areas justifies this negative growth in barren lands. Vegetation classes in Yazd from 1990 to 2020, have experienced a growth -68.5% (12.2 km<sup>2</sup>). The average ground temperature of this city has been constantly increasing during these 30 years.

By 2020, the city of Yazd, reaching an average of 38.1°C compared to 29.2°C in 1990, has experienced a 30.4% increase in its average LST. The temperature

classes of this city have also moved towards warmer temperature classes in these 30 years. As the main part of the LST area of Yazd, in 1990, in the first place, the class of 26-30 °C with 47 km<sup>2</sup> and at the second place the class of 31-35 °C with 26.4 km<sup>2</sup> are classified. In 2000, in a reverse trend, the main LST class was 31-35°C with 52.8 km<sup>2</sup> as the first place and the 26-30°C class with 20 km<sup>2</sup> as the second place. With an increased class, the LST class of 36-40 °C for both 2010 and 2020 with 40.2 and 63 km<sup>2</sup> respectively has been recorded as the largest LST class. The LST class of 31-35 °C has been recorded as the second LST class of both years with 33.2 and 9.7 km<sup>2</sup>, respectively. The difference between these two years is in the growth -70.7% (23.5 km<sup>2</sup>) of the class area of 31-35°C and the increase of 10.3% (0.8 km<sup>2</sup>) of the hottest class of the statistical period, 41-46 °C, in 2020, compared to 2010. The results of this study also showed that the highest average temperature in all year was recorded for barren lands at 37.3°C. Also, a positive correlation (mean correlation 0.95) was shown between the proximity to barren land cover and the mean LST. However, the sharp upward trend of urban areas in the whole statistical period (91.5% with 33.6 km<sup>2</sup>) as the second class with the highest average LST after the barren lands with an average of 34.1 °C versus a downward trend of 79.4% (21.3 km<sup>2</sup>) of barren lands has increased the average LST over a statistical period of 30 years. It is because the decrease of 68.5% (12.2 km<sup>2</sup>) of vegetation areas as an LC class with the lowest average LST (32.2°C) in the same period, neutralized the effect of decreasing barren lands and intensified the trend of increasing the LST. Meanwhile, a negative correlation (mean correlation -0.97) was established between the ratio of proximity to vegetation and the average LST. The results of forecasting land cover changes in 2030 in the city of Yazd indicate that in a process similar to previous periods, the class of urban areas will increase. This growth will not be significant compared

to 2020, with 1.6% (1.1 km<sup>2</sup>). However, a significant decrease in green areas (vegetation) by -19.6% (1.1 km<sup>2</sup>) in the same period, along with a slight decrease in barren lands -1.8% (0.1 km<sup>2</sup>) will cause the earth's surface to become warmer, and the area of LST classes will be increased by the year. Accordingly, the main area of the LST class in 2030 for the city of Yazd, as in 2020, is forecasted 36-40°C with 58.2 km<sup>2</sup> (-7.6% growth compared to 2020). But the dramatic growth of the hottest class of LST over the statistical period (41-46°C) with 166.3% (14.3 km<sup>2</sup>) growth as the second major class of LST in this year (2030), as well as the negative and dramatic growth of the relatively cooler class 31-35°C with -97.9 % (9.5 km<sup>2</sup>) in this year indicates the warmer ground surface temperature in 2030.

**Conclusion** The results of this study indicate that in 30 years in Yazd city, the decrease in vegetation in the first place, along with the increase in urban areas in the second place, has caused an increase in LST. Thus, the vegetation class reduces the LST due to its cooling effect considering its water content. In this study, it was shown that by taking all factors into account, the reduction of barren lands will lead to a decrease in LST, and also increasing urban areas with a lower impact factor than barren lands will increase the LST. However, the decrease in the area of green lands (vegetation) in recent years, along with the sharp increase in the area of urban areas has caused an increase in LST. Increasing the proximity to vegetation by creating green areas by increasing the ratio of vegetation in the vicinity of different LC and also reducing the area of barren lands, can be a good solution to deal with the impact of urbanization in recent years on ground surface temperature.

**Keywords:** Land cover proximity, Land use classification, Prediction of land use, Artificial neural network, Land surface temperature, Yazd city

Please cite this article as: Mansourmoghaddam M, Rousta I, Zamani MS, Mokhtari MH, Karimi Firozjaei M, Alavipannah SK. 2022. Study and prediction of land surface temperature changes of Yazd city: assessing the proximity and changes of land cover. Journal of RS and GIS for Natural Resources, 12(4): 1-27. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1400.12.4.1.8>