نشریه علمی – پژوهشی برنامه‌ریزی توسعه کالبدی
سال چهارم، شماره ۴ (سری جدید)، پیاپی ۱۶، زمستان ۱۳۹۸ (۱۰۴-۹۳)

Journal of Physical Development Planning
Vol. 4, No. 4, (New Series), Winter 2019 (93-104)

نقش تغییرات کاربری اراضی بر فرم فضایی جزایر حرارتی در شهر مشهد

رحمان زندی*[۱]، مختار کرمی[۲]، جلال طاهری[۳]
۱. استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه حکیم سبزواری
۲. استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه حکیم سبزواری
۳. دانشجوی کارشناسی ارشد آب و هواشناسی کاربردی، دانشگاه حکیم سبزواری
(دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۱۶ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۲۱)

The Role of Land Use Changes in Spatial form of Heat Islands in Mashhad City

Rahman Zandi*[1], Mokhtar Karami[2], Jalal Taheri[3]
1. Assistant Professor, Department of Geography, Hakim Sabzevari University
2. Assistant Professor, Department of Geography, Hakim Sabzevari University
3. M.A. Student of Climatology, Hakim Sabzevari University
(**Received**: 07/guA/2018 **Accepted**: 13/Oct/2019)

چکیده

طی چهار دهه اخیر رشد شتابان شهرنشینی سبب تغییر و تحول پدیده‌های طبیعی تغییر و تحول شده‌اند. این تغییرات در نهایت موجب تغییرات دمای سطح زمین شده است. هدف از این مطالعه بررسی رابطه تغییرات کاربری اراضی و تغییرات مکانی جزایر حرارتی شهر مشهد در بازه زمانی ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۶ است. بدین ترتیب با استفاده از تصاویر ماهواره لندست، سنجنده (۲۰۱۶، ۱۹۹۸) دمای سطح زمین و میزان تغییرات کاربری اراضی شهر مشهد استخراج شد. همچنین به‌منظور شبیه‌سازی و پیش‌بینی گسترش از شهر مشهد از مدل CA مارکوف استفاده شده است. از سال ۱۹۹۸ – ۲۰۱۶ محدوده ساخته‌شده از ۱۳۸/۵۲ کیلومترمربع به ۱۹۸/۸۷ کیلومترمربع ، فضایی سبز از ۴۶/۴۹ کیلومترمربع به ۲۹/۹۸ کیلومترمربع، مرتع از ۳۵/۸۵ کیلومترمربع به ۳۱/۲۹ کیلومترمربع و زمین‌های بایر از ۱۰۰/۷۱ کیلومترمربع و از به ۶۴/۶۲ کیلومتر تغییر کرده است. جزایر حرارتی از نظر تعداد و وسعت در سال ۱۹۹۸ وسعت کمتری و نیز هم‌دمایی کمتری نسبت به سال ۲۰۱۶ داشته‌اند. به طوری که در سال ۱۹۹۸ بیشترین دما بین ۴۸–۴۲ درجه سانتی‌گراد بوده که در سال ۲۰۱۶ بین ۵۲–۴۶ سانتی‌گراد رسیده است. با توجه به افزایش محدوده ساخته‌شده از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۶ جزایر حرارتی از خارج از شهر به داخل شهر انتقال پیدا کرده است و با سطوح سخت و غیرقابل نفوذ منطبق شده‌اند. پیش‌بینی صورت گرفته تا سال ۲۰۳۰ نشان می‌دهد که رشد شهر بیشتر در نواحی شمالی غربی خواهد بود و در نواحی جنوبی با توجه به اینکه ارتفاعات قرار دارد شهر رشد کمتری خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: کاربری اراضی، تغییرات فضایی، جزایر حرارتی، زنجیره‌ی مارکوف، مشهد.

Abstract

During the last four decades, the rapid growth of urbanization has dramatically transformed many natural phenomena. Such changes led eventually to changes in the Earth's surface temperature. The purpose of this study was to investigate the relationship between land use changes and spatial variations of thermal islands in Mashhad from 1998 to 2016. Thus, land surface temperature and land use changes of Mashhad were extracted using Landsat satellite imagery (1998- 2016). The CA Markov model has also been used to simulate and predict the expansion of Mashhad. From 1998 to 2016, the constructed area, green space, rangeland and barren lands are changed from 138.52, 46.49, 35.85 and 100.71 square kilometers to 198.87, 29.98, 31.29 and 64.62 square kilometers, respectively. Thermal islands in terms of number and extent in 1998 were less extensive and less synchronous than in 2016. In 1998 the maximum level of temperature was between 42 to 48 degrees Celsius but it reached 46 to 52 in 2016. With respect to the expansion of constructed area in the mentioned time period, the thermal islands are moved from outside of the city to the inside and have been overlapped with hard and impenetrable planes. The obtained results from the prediction illustrate that the expansion of city will occur in northwestern sides more than the others and it will be less in southern sides due to the existence of altitudes.

Keywords: Land Use, Spatial Variations, Thermal Islands, Markov Chain, Mashhad.

نویسنده مسئول: رحمان زندی

*Corresponding Author: Rahman Zandi
E-mail: rahmanzandi@gmail.com

مقدمه

شهرها در اغلب موارد شرایط اقلیمی خاصی را تجربه می‌کنند که به آن «اقلیم شهری» گفته می‌شود. اقلیم شـهری به‌واسطه تفاوتی که در متغیرهای اقلیمی شهر (دمای هوا، رطوبت، سرعت و جهت بـاد، مقـدار بـارش) بـا نـواحی کم تراکم‌تر اطرافش وجود دارد، مشخص می‌شود. تحقیقات نشان می‌دهد که، مکان‌های شـهری گرم‌تر از نـواحی روستایی اطرافشان هستند و به‌طورکلی به این پدیده «جزیره حرارتی شـهری» گفتـه می‌شود (روژه و دیـواداس[۱]، ۲۰۰۹:۱۷۰۰). جزایر حرارتی شهری از معمول‌ترین پدیده‌های شهرند که در آن‌ها برخی از مناطق شهری و به‌خصوص مراکز شهرها چند درجه از مناطق اطرافشان گرم‌تر می‌شوند. جزایر حرارتی شرایط زیست‌محیطی دشواری را برای ساکنان شهرها به وجود آورده و تأثیر زیادی بر کیفیت هوا، مصرف انرژی، آسایش انسان و بروز بیماری‌ها ناشی از حرارت زیاد می‌گذارند (فلاح زاده، ۱۳۸۸: ۵). مطالعه این پدیده و بررسی سازوکار یا مکانیسم آن‌ها در برنامه‌ریزی‌های شهری اهمیت بسیار زیادی دارد. در طول دو دهه اخیر نیاز فراوان به اطلاعات دمای سطح زمین برای مطالعات محیطی و فعالیت‌های مدیریتی منابع زمینی، سنجش‌ازدور دمای سطح زمین را به یکی از موضوعات مهم علمی تبدیل کرده است (سوبرینو همکاران[۲]،۲۰۰۴: ۴۳۵). کاربری اراضی شهری جزو مفاهیم پایه و اصلی دانش شهرسازی و درواقع شالوده شکل‌گیری آن است و به‌اندازه‌ای اهمیت دارد که برخی از صاحب‌نظران برنامه‌ریزی شهری در کشورهای پیشرفته دنیا آن را برابر با برنامه‌ریزی شهری می‌دانند. تغییرات کاربری زمین، فرآیندهای پویای فضایی و کالبدی هستند که توجه برنامه‌ریزان و دیگران را برای مدیریت منابع از طریق پیش‌بینی رشد آینده و معرفی نواحی زیست‌محیطی در معرض خطر به خود جلب کرده است (واحدیان بیکی و همکاران، ۱۳۹۰: ۳۳). نوع سازه، پوشش سطح زمین، ترافیک، ازدحام جمعیت و فعالیت‌های صنعتی منجر به شکل‌گیری جزایر حرارتی شهری می‌شوند. جایگزین شدن پوشش طبیعی زمین با سنگفرش، سازه‌ها، آسفالت و سایر ساخت‌وسازهای شهری اثرات خنک‌کنندگی سطوح طبیعی را از بین می‌برند. همچنین سازه‌های مرتفع و خیابان‌های باریک جریان هوا را کاهش داده و هوای پیرامون را گرم می‌کنند. علاوه بر این، حرارت وسایل نقلیه، کارخانه‌ها وسایل تهویه کننده هوا، گرمای محیط را افزایش داده و اثرات جزایر حرارتی را تشدید می‌کنند. جزایر حرارتی با تغییر الگویی بادهای محلی، تقویت رشد ابرها و مه، افزایش تعداد رعدوبرق و تأثیر بر میزان بارش، شرایط هوا اقلیم محلی را تحت تأثیر قرار می‌دهد متوسط بعضی از مناطق شهری به میزان ۹ درجه سانتی‌گراد نسبت به متوسط دمای سطح شهر هست. این محدوده حرارتی در واقع همان جزایر حرارتی در سطح شهر هستند. 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 نفوذپذیر با سطوح سخت غیرقابل نفوذ شامل سنگ‌فرش، آسفالت و نواحی متراکم مملو ساختمان شده است. این‌گونه تغییرات همراه با فعالیت‌های گوناگون انسان در چشم اندازهای شهری، زمینه‌ی فرآیندهای تبادل گرما و رطوبت در لایه‌مرزی شهری را هرچه بیشتر فراهم می‌آورد. این تغییر در فرآیندهای سبب می‌شود چشم‌انداز شهری از آب‌وهوای ویژه‌ای نسبت به روستایی پیرامونش برخوردار شود(لیووهانگ ،۲۰۱۱: ۱۵۳۵).

بر اساس بررسی‌های انجام‌گرفته، مطالعات انجـام‌شـده در سراسر جهان در زمینه پژوهش حاضر را می‌توان به دو دسته‌ی پژوهش‌های محققان خارجی و داخلی تقسیم‌بندی کرد کـه بـه شرح زیر می‌باشند:

جزایـر حـرارتی مـدت زیـادی اسـت که هدف مطالعاتی سایت‌های ویژه تحقیقاتی است. از زمانی که هواردز[۳]، ۱۸۰۹، مطالعاتی را روی اقلیم لندن انجام داد، بسیاری از مطالعات در خصوص بعضی جنبه‌های کاربردی زمین که به شکل‌گیری وسیله داده‌های سنجش‌ازدور، ابتدا با استفاده از داده‌های ماهواره NOAA انجام شد. رو[۴](۱۹۹۲: ۶۴۷)، اولین محققی بود که نشان داد مناطق شهری از طریق تجزیه و تحلیل تصاویـر مـادون قرمـز حـرارتی قابـل‌شناسایـی‌اند (موستون و همکاران[۵]، ۱۹۸۷: ۱۷۲۵)و از نخستین پژوهشگرانی هستند که مطالعاتی درزمینه اقلیم شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای انجام داده‌اند. آن‌ها با استفاده از تصاویر شب‌هنگام ماهواره نوا در نیمه غربی و شمال شرق آمریکا، بیشترین اختلاف دمایی بین مناطق شهری و روستایی را ۲/۶ تا ۶/۵ درجه سانتی‌گراد

۱. Rose and Devadas
۲. Sobrino & et al
3. Howards
۴. Rao
۵. Matson & et al

برآورد کرده‌اند. در پژوهشی دیگر روث و همکاران[1] (۱۹۸۹: ۱۶۹۹)، با همراه کردن الگوهای دمایی سطحی با انواع کاربری زمین ازداده‌های AVHRR برای ارزیابی شدت جزیره حرارتی استفاده کردند. گالوو همکاران[2] (۱۹۹۳: ۸۹۹)، شاخص‌های گیاهی و دمای سطح زمین به‌دست‌آمده از AVHRR را با حداقل دمایی هوایی مشاهده شده در مناطق شهری و روستایی مقایسه کردند. در این مطالعه مشخص شد که شاخص‌های گیاهی به‌دست‌آمده از داده‌های ماهواره‌ای رابطه خطی با تفاوت دمای شهری و روستایی دارد؛ اما همه این مطالعات قدرت تفکیک ۱/۱ کیلومتر داده‌های AVHRR برای تصویر کردن دمای شهر تنها در مقیاس ماکرو مناسب به نظر می‌رسید و برای تعیین رابطه معنادار و دقیق بین ارزش‌های تصاویر استخراج‌شده و اندازه‌گیری‌های روی زمین مناسب نبود. ارزیابی آثار توسعه شهری بر جزایر حرارتی شهر گوانگژو چین توسط (ونگ و یانگ[3]،۲۰۰۴)، با از تصاویر ماهواره لندست TM نشان داد که گسترش ساخت سازهای شهری موجب تقویت اثر جزایر حرارتی با بزرگی ۰/۲ تا ۴/۷ درجه سانتی‌گراد شده است. ژیاومودی[4] (۲۰۰۵: ۲۷۳)، رابطه بین تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین را با الگوی دمای سطح زمین در دلتایی به نام پیرل ریور در ایالت گوانجانگ در جنوب چین با استفاده از تصاویر ماهواره لندست TM و ETM+ بررسی کردند، نتایج بیانگر آن بود که پراکندگی جزایر حرارتی در مناطق شهری با الگویی توزیع‌شده بودند که رابطه مستقیم با توزیع الگویی پوشش اراضی داشتند. جیانگ و همکاران[5]، (۲۰۱۰: ۲۷۱)، شاخص فضایی درجه حرارت پوشش گیاهی (LST) را محاسبه کردند تا اثرات تغییرات کاربری را در سطح شهر به دست آوردند و مشخص شد که تغییرات شدید کاربری پوشش زمین منجر به ایجاد جزایر حرارتی می‌شوند. جزایر حرارتی شهری و تأثیر آن بر امواج گرما و سلامت انسان در شانگهای چین پژوهشی است که توسط تان و همکاران[6] (۲۰۱۰)، انجام شده است. نتایج نشان داد که سایت های مختلف (مرکز شهر) درجات مختلفی از گرم شدن را تجربه کرده‌اند. گوان و همکاران[7] (۲۰۱۱: ۳۷۶۱) تغییرات کاربری اراضی ساگا در ژاپن را برای سالهای ۲۰۴۲-۲۰۱۵ با اسفاده از مدل زنجیره‌ای CA مارکف مدل سازی کردند. نتایج نشان داد که با افزایش محدوده ساخته شده شهر اراضی طبیعی و کشاورزی کاهش می یابد. وانگ[8] و همکاران در سال ۲۰۱۲ با استفاده از تصاویر ماهواره لندست تغییرات کاربری اراضی را برای شهر پکن برای سال ۲۰۰۰ پیش بینی کردند. زانا و همکاران[9] (۲۰۱۵: ۲۵۵) در مطالعه‌ای با هدف بررسی و مقایسه روابط بین دمای سطح زمین شهری، نسبت پوشش زمین و تراکم حجم ساخت و ساز از داده تصاویر سنجنده +ETM لندست ۷ (سالهای ۲۰۱۱، ۲۰۱۳) استفاده کردند. برای برآورد دمای سطح زمین در منطقه شهری ووهان چین و نقشه‌های دمای سطح زمین و تراکم حجم ساخت و ساز را با استفاده از داده‌های آمار ساختمان سال ۲۰۱۱ و ۲۰۱۳ تولید کردند. تحلیل‌ها نشان داد که یک رابطه خطی قوی بین دمای سطح زمین و نسبت پوشش سطح زمین وجود دارد، در حالی که رابطه بین دمای سطح زمین و تراکم حجم ساخت و ساز مستقیم نیست. امیری و همکاران (۱۳۸۶: ۱۷۱)، با استفاده از تصاویر ETM+ و TM چند زمانه شهر تبریز تغییرپذیری فضایی زمانی حرارت را در زمینه کاربری پوشش زمین بررسی کردند. نتایج نشان می‌دهد گرم‌ترین کلاس پوشش در سال ۱۹۹۸ کلاس کاربری مسکونی بود، اما در سال ۲۰۰۱ و ۱۹۸۹ زمین‌های بایر گرم‌ترین کلاس بودند. سلطانی‌مقدس (۱۳۹۸)، با بررسی پیامدهای مکانی-فضایی تغییر کاربری اراضی سکونتگاه‌های روستایی شهرستان قرچک به این نتیجه رسید که افزایش کاربری مسکونی به علت جذب جمعیت، تأثیرات اجتماعی از قبیل؛ تفاوت‌های اجتماعی، پیامدهای اقتصادی از جمله افزایش مشاغل واسطه‌گری و بورس بازی زمین، تأثیرات زیست محیطی را در قالب کاهش فضای سبز و کشاورزی به همراه داشته است. رنگزن وهمکاران (۱۳۹۰)، به بررسی تحلیل کاربری اراضی در شکل‌گیری جزایر حرارتی شهر اهواز پرداختند. نتایج نشان‌دهنده نقش زمین‌های بایر و محدوده‌های صنعتی در شکل‌گیری جزایر حرارتی بودند. فیضی‌زاده و بلاشکه[10] (۲۰۱۳: ۱۲۹۰) یک اتحاد از تحلیل ترکیب طیفی و شاخص سنجش از دور عضو نهایی برای استخراج دمای سطح زمین را برای شناسایی جزایر حرارتی شهری و به

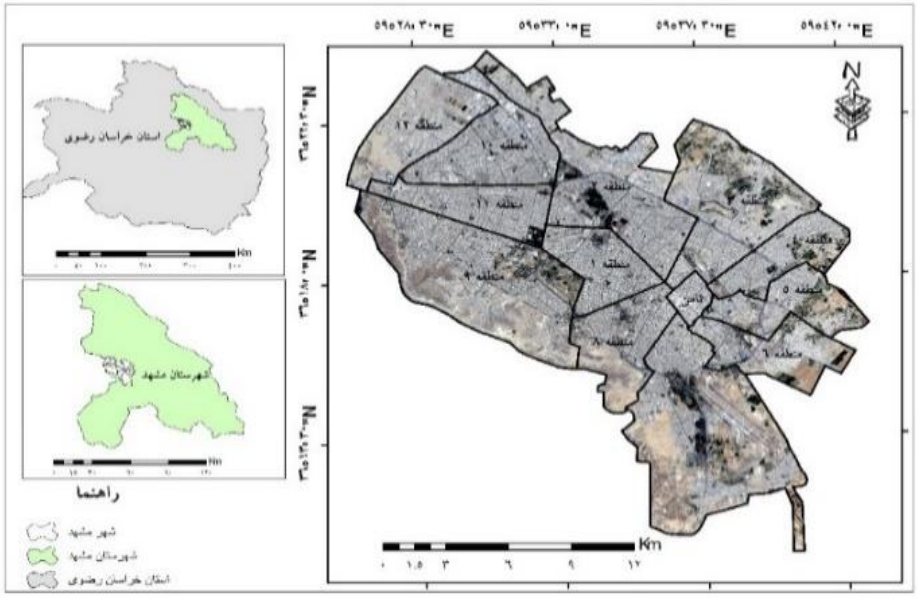
1. Roth & et al
2. Gallo & et al
3. Weng
4. Xiao & Moody
5. Jiang & et al
۶. Tan & et al
7. Guan
8. Wang & et al
۹. Zhan & et al
10. Feizizadeh and Blaschke

منظـور بررسی رابطه کاربری زمین/پوشش زمـین و آلـودگی هوا در شهرستان تبریز ارائه کردند. نتـایج نشـان داد که دمای سـطح زمـین بـه شـدت توسـط کـاربری و پوشش زمین تحت تأثیر قرار میگیرد و اینکه جزایـر حرارتی شهر به دمای سطح زمین با کاربری و پوشش زمـین مـرتبط اسـت.

داداش‌پور و همکاران(۱۳۹۸)الگوی بهینه کاربری اراضی با رویکرد اکولوژیک را در مجموعه شهری مشهد تدوین کردند. نتایج نشان داد که وضعیت کاربری اراضی موجود با الگوی بهینه تطابق ندارد که می‌تواند منجر به پدید آمدن خسارات جبران ناپذیر زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی شود. رمضانی و جعفری (۱۳۹۳: ۸۳) در تحقیقی تحت عنوان آشکارسازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی در افق ۱۴۰۴ با استفاده از مدل زنجیره‌ای CA مارکوف (مطالعه موردی: اسفراین) انجام‌شده است با استفاده از مدل مارکوف و تصاویر ماهواره‌ای لندست در شهرستان اسفراین استان خراسان شمالی به مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی برای سال ۱۴۰۴مشاهده شده است. ولی‌زاده کامران و همکاران (۱۳۹۶: ۳۵) با استفاده از تصاویر ماهواره لندست، دمای سطح زمین و استخراج جزایر حرارتی را در شهر زنجان برآورد کردند. نتایج نشان داد که موثرترین عامل در ایجاد جزایر حرارتی در محدوده شـهر زنجـان بـه ترتیـب لایـه شـیب بـا دارای بیشترین اهمیت و لایه های جهت، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و ارتفاع در اولویت‌های بعدی قرار دارند.

هدف از انجام این پژوهش بررسی شدت و گسترش الگویی توزیع مکانی و زمانی جزایر حرارتی و رابطه آن با رشد و گسترش محدوده ساخته‌شده شهر مشهد در بازه زمانی ۱۹۹۸–۲۰۱۶ و پیش‌بینی گسترش محدوده ساخته‌شده تا سال ۲۰۳۰ می باشد.

شهر مشهد، مرکز استان خراسان رضوی با ۳۲۸ کیلومترمربع مساحت، در شمال شرق ایران و در ″۴۳ ′۳۶ ۵۹ شرقی و″۴۵ ′۱۷ ۳۶ شـمالی قرار دارد. این شهر در حوضه آبریز کشف رود، بین رشته‌کوه‌های بینالود و هزار مسجد قرارگرفته است. ارتفاع این شهر از سطح دریا حدود ۱۰۵۰ متر (حداکثر ۱۱۵۰ متر و حداقل ۹۵۰ متر) است. این شهر از شمال به شهرستان کلات، از شمال غربی به درگز، از غرب به چناران و نیشابور و از شرق به سرخس و تربت‌جام و از جنوب به شهرستان تربت حیدریه می‌رسد. رشته‌کوه هزار مسجد در شمال شرقی رشته‌کوه بینالود در غرب و جنوب غربی آن واقع شده است. شهر مشهد آب و هوای متغیر، اما معتدل و متمایل به سرد و خشک و همچنین تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد و مرطوب دارد. بیشینه درجه حرارت در تابستان‌ها ۴۳ درجه بالای صفر و کمترین دمای ثبت‌شده آن در زمستان‌ها ۲۳ درجه زیر صفر بوده است. بر اساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ این شهر با ۳۰۰۱۱۸۴ نفر جمعیت، دومین شهر پرجمعیت ایران پس از تهران است (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد پژوهش

داده‌ها و روش کار

در این تحقیق به منظور استخراج تغییرات کاربری اراضی از تصاویر سنجنده TM (۱۹۹۸) و سنجنده OLI (۲۰۱۶) ماهواره لندست استفاده شد. در ابتدا پیش پردازش‌هایی از جمله تصحیح هندسی و رادیو متریک بر روی تصاویر اعمال شد تا خطاهای مربوط به تصاویر کاهش یابد. در ادامه، محدوده موردمطالعه از تصاویر جدا کرده و اقدام به طبقه‌بندی اطلاعات ماهواره‌ای شد. روش مورد استفاده جهت طبقه‌بندی اطلاعات، روش نظارت‌شده است. در این روش برای رده‌بندی پیکسل‌ها از نمونه‌های آموزشی استفاده می‌شود. بدین معنی که با تعریف پیکسل‌های مشخص از تصویر برای هر یک از کلاس‌ها عمل طبقه‌بندی در قالب کلاس‌های در نظر گرفته‌شده انجام می‌شود. همچنین لازم به توضیح است که الگوریتم حداکثر مشابهت جهت طبقه‌بندی نظارت مورد استفاده قرارگرفته است. در این روش ارزش بازتابی و هر پیکسل ناشناخته و بر اساس واریانس و کوواریانس آن طبقه واکنش طیفی ویژه تجزیه‌وتحلیل می‌شود؛ و فرض بر این است که توزیع داده‌های هر طبقه بر اساس توزیع نرمال در اطراف پیکسل میانگین آن طبقه قرارگرفته‌اند. در عمل واریانس و کوواریانس و میانگین طبقه مختلف هر تصویر ماهواره‌ای، برای طبقه‌بندی پدیده‌ها محاسبه می‌شود تا هر یک از پیکسل‌ها به طبقه‌ای تعلق یابد که حضورش در آن طبقه از احتمال بیشتری برخودار است. در ادامه، جهت پی بردن به تغییرات صورت گرفته در کاربری اراضی محدوده موردمطالعه (شهر مشهد) که شامل کاربری‌های باغات و زمین‌های کشاورزی، محدوده‌های ساخته‌شده، اراضی بایر و مراتع مدنظر قرارگرفته که از مدل زنجیره مارکوف استفاده شد. در زنجیره مارکوف از کلاس‌های پوشش به‌عنوان حالت یا همان وضعیت‌های زنجیره استفاده شده است. در این تحلیل همواره از دو نقشه رستری استفاده می‌شود که موردی‌ها مدل نامیده می‌شوند. علاوه بر این دو نقشه فاصله زمانی بین دو تصویر و فاصله زمانی پیش‌بینی تا سال ۲۰۳۰ نیز در مدل CA مارکوف در نظر گرفته می‌شود. خروجی مدل مارکوف نیز شامل احتمال تبدیل وضعیت و ماتریس مساحت‌های تبدیل‌شده در هر کلاس و درنهایت تصاویر احتمالاً شرطی برای تبدیل کاربری مختلف است. همین‌طور در این پژوهش جهت اعتماد به طبقه‌بندی صورت گرفته از شاخص کاپا استفاده شده است شاخص رونوشت از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

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

P0: درستی مشاهده‌شده

PC: توافق مورد انتظار

یکی از پرکاربردترین روش‌های ارزیابی صحت طبقه‌بندی، محاسبه ماتریس خطا است که در مطالعات زیادی استفاده شده است. نقشه‌های طبقه‌بندی کاربری اراضی در این مطالعه با صحت کلی از ۸۰ درصد و ضریب رونوشت بالاتر از ۰/۸ از محاسبه ماتریس خطا ارزیابی شد. این مقادیر ضریب کاپا و صحت کلی بالای ۸۰ درصد نشان‌دهنده این است که به‌طورکلی توافق خوبی بین طبقه‌بندی و انواع طبقات کاربری موجود در زمین وجود دارد. جدول ۱ ارزیابی صحت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای را نشان می‌دهد.

جدول ۱. ارزیابی صحت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

سال	تصویر	شاخص کاپا	ضریب صحت
۱۹۹۸	ETM	۰/۸۶	۸۹/۵۴
۲۰۱۰	ETM	۰/۸۸	۹۱/۴۶
۲۰۱۶	OLI	۰/۸۵	۸۸/۶۵

در این تحقیق به منظور استخراج تغییرات دمای سطح زمین از تصاویر سنجنده TM (۱۹۹۸) و سنجنده OLI (۲۰۱۶) ماهواره لندست استفاده شد. تصاویر انتخاب شده مربوط به فصل گرم سال (تیر ومرداد) است. برای محاسبه دمای سطح زمین در گام نخست باید میزان تابش مرتبط با باند حرارتی را محاسبه کنیم. مقدار تابش هر تصویر از رابطه (۱) استفاده شد.

در این رابطه $LMAX_\lambda$ مقدار تابش بیشینه، $LMIN_\lambda$ مقدار تابش کمینه، QMAX مقدار بیشینه واسنجی، QMIX مقدار کمینه واسنجی و DN باند حرارتی است.

در گام بعد، دمای کلوین محاسبه می‌شود. برای محاسبه دمای کلوین از رابطه (۲) استفاده شود.

رابطه ۲: $$T = \frac{K1}{ln(\frac{K2}{L_\lambda}+1)}$$

در این رابطه K1 وK2 ضریبی هستند که توسط طول‌موج مؤثر دریافت شده از حسگر ماهواره محاسبه می‌شوند. ln میزان لگاریتم طبیعی را نشان می‌دهد و L_λ تصویری می باشد که تابش آن محاسبه شده است. عداد مرتبط با K1 و K2 درجدول ۲ آمده است.

جدول ۲. ضرایب K1 و K2

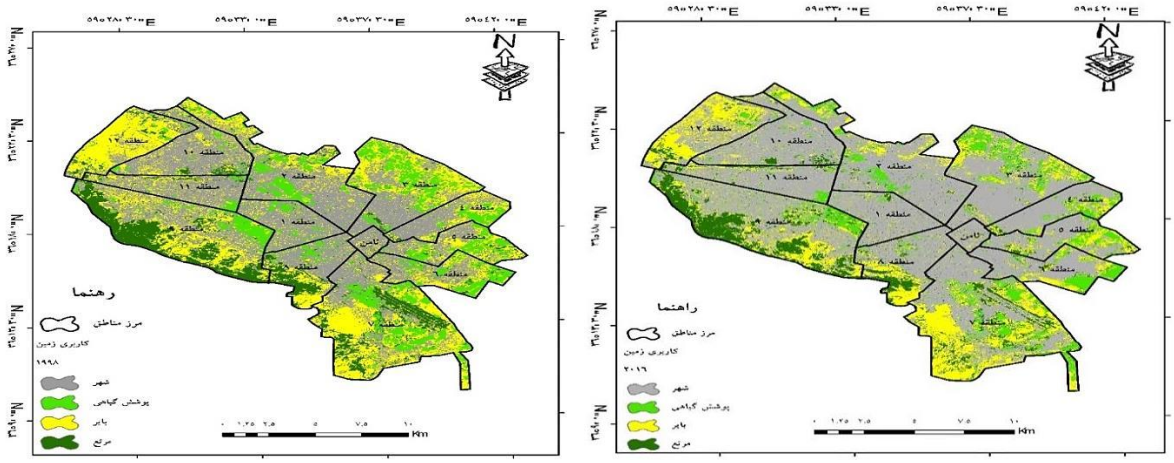
سنجنده	K1	K2
MSS	۶۷۱/۶۲	۱۲۸۴/۳۰
TM	۶۰۷/۷۶	۱۲۶۰/۵۶
ETM	۶۶۶/۰۹	۱۲۸۲/۷۱
OLI	۷۷۴۰/۸۸۵۳	۱۳۲۱/۰۷۸۹

در گام بعدی دمای کلوین را به سانتی‌گراد تبدیل می‌کنیم؛ برای این کار از رابطه (۳) استفاده می‌کنیم.

رابطه۳: $$T_C = T_K - 273.15$$ در این رابطه T_K دمای کلوین می‌باشد.

شرح و تفسیر نتایج

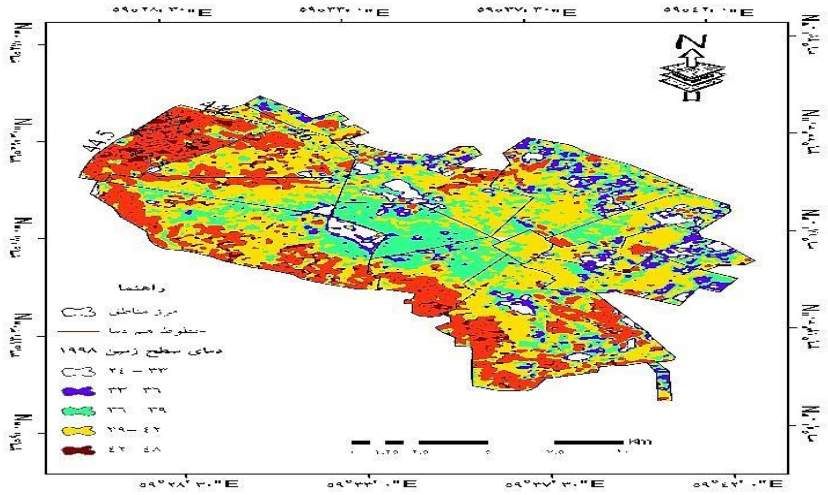
بررسی تغییرات کاربری (شکل ۳) سال‌های ۲۰۱۶ و ۱۹۹۸ نشان داد که از سال ۱۹۹۸ – ۲۰۱۶ محدوده ساخته‌شده از ۱۳۸/۵۲ کیلومترمربع به ۱۹۸/۸۷ کیلومترمربع و فضایی سبز از ۴۶/۴۹ کیلومترمربع به ۲۹/۹۸ کیلومترمربع و مرتع از ۳۵/۸۵ کیلومترمربع به ۳۱/۲۹ کیلومترمربع تغییر کرده است. همچنین، در فاصله سال‌های مورد مطالعه زمین‌های بایر از ۱۰۰/۷۱ کیلومترمربع و از به ۶۴/۶۲ کیلومتر مربع کاهش یافته است. در سال ۲۰۱۶ محدوده ساخته‌شده ۱۹۸/۱۷ کیلومترمربع رسیده است. درسال ۲۰۱۶ پوشش گیاهی، زمین‌های بایر و مراتع در مقایسه با سال ۱۹۹۸ به ترتیب به ۲۹/۹۸، ۶۴/۶۲ و ۳۱/۳۹ کیلومترمربع کاهش‌یافته‌اند. در فاصله این سال‌ها محدوده‌های ساخته بیشترین تغییر را داشته است. زیرا، به‌طور معمول ساخت‌وسازها بر روی باغات و اراضی کشاورزی انجام می‌شود و در سمت شمال غرب شهر باغات و اراضی کشاورزی کاهش یافته‌اند و به دنبال آن محدوده‌های ساخته‌شده افزایش یافته است. با توجه به شکل ۳ ،سال ۲۰۱۶ باغات و اراضی کشاورزی در سمت جنوب شرق همچنان باقی مانده است و یکی از دلایل آن می‌تواند عدم توسعه شهر در این جهت باشد.



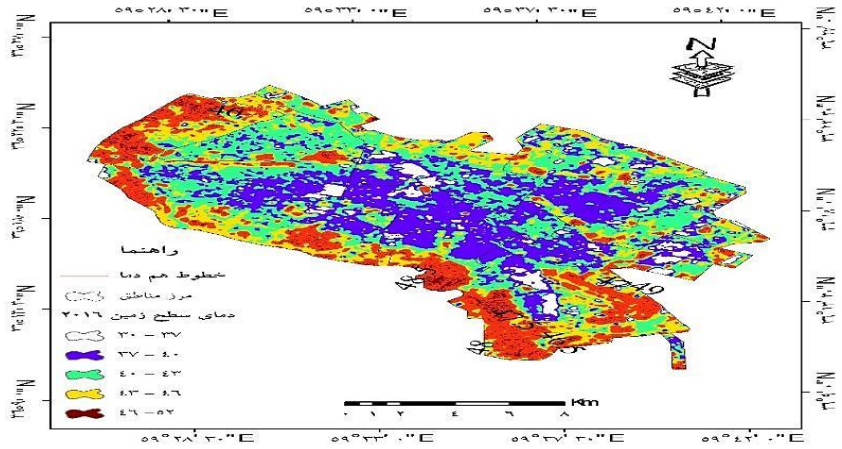
سال ۱۹۸۷ **سال ۲۰۱۶**

شکل ۳. نقشه کاربری اراضی سال ۱۹۹۸–۲۰۱۶

بررسی توزیع دمای سطح زمین نشان می‌دهد شکل۴ در سال ۱۹۹۸ مناطقی که دمای بالای ۴۰ درجه سانتی‌گراد داشته‌اند، در منطقه ۱۲، شرق منطقه ۱۱، غرب منطقه ۹ و ۸، غرب و شرق منطقه ۷ و بخش‌های از منطقه ۱۳، ۲ و ۴ بوده اند. در همه این مناطق دما بین ۴۷–۴۲ درجه سانتی‌گراد بوده است. همچنین، در این سال مناطق ۱ و جنوب منطقه ۲ که دمای کمتر از ۴۰ درجه سانتیگراد داشته‌اند. در این مناطق بین ۳۳–۲۴ درجه سانتی‌گراد بوده است. در سال ۲۰۱۶شکل ۵ ازنظر مکانی جزایر حرارتی پراکندگی و وسعتی بیشتری نسب به سال ۱۹۹۸ داشته‌اند. ازنظر دمای حداقل افزایش یافته است. بخش‌های زیادی از شهر در دمای بین ۳۷–۴۰ درجه سانتی‌گراد دارند. در سال ۲۰۱۶ (شکل ۷) خطوط هم دمای سطح زمین را نشان می‌هد. در این سال به علت بالا رفتن دمای سطح زمین نسبت به سال ۱۹۹۸ خطوط هم‌دمای بالای ۴۲ درجه سانتیگراد ترسیم شده است. در سال ۱۹۹۸ در منطقه۱۲ خطوط هم‌دمای بالا ۴۴ درجه سانتیگراد قرار داشته است و در سال ۲۰۱۶ خطوط بالای ۴۴ درجه سانیگراد به منطقه ۷ انتقال پیدا کرده است. در این سال تعداد خطوط هم-دمای بالای ۴۲ درجه سانتیگراد در مرکز شهر افزایش داشته است.

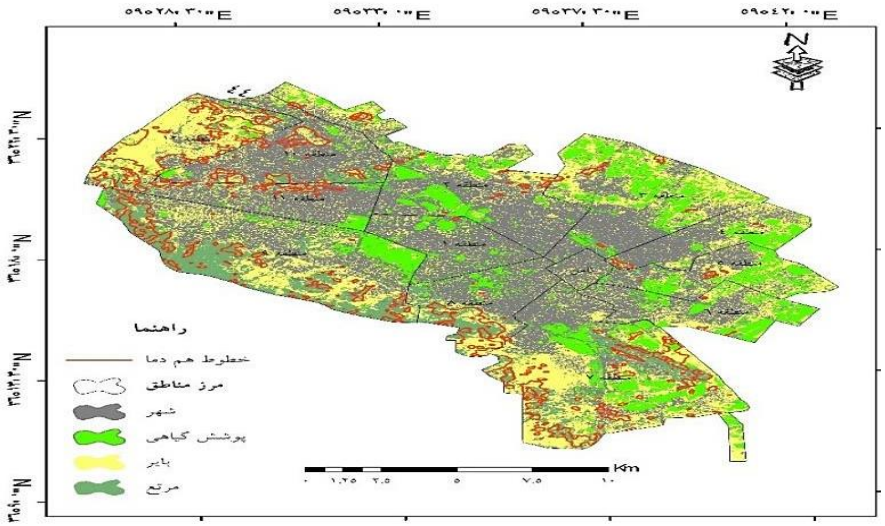


شکل ٤. خروجی دمای سطح زمین و خطوط هم‌دما سال ۱۹۹۸

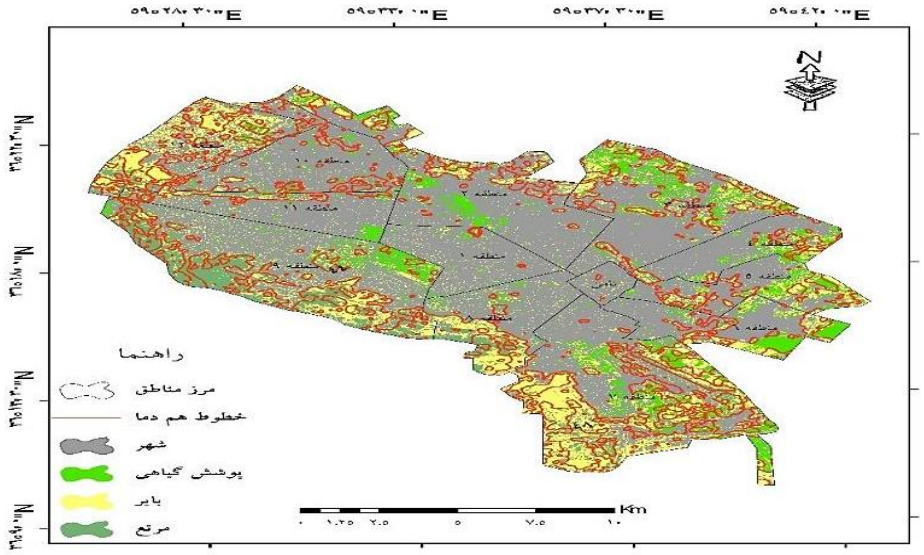


شکل ۵. خروجی دمای سطح زمین و خطوط هم‌دما سال ۲۰۱۶

شکل‌های (۸ و ۹) رابطه دمای سطح زمین و نوع کاربری زمین را برای سال‌های ۲۰۱۶–۱۹۹۸ نشان می‌دهد. در سال ۱۹۹۸ مناطقی که دمای بالای ۴۰ درجه سانتیگراد داشته‌اند، با زمین‌های عاری از پوشش گیاهی، فاقد کاربری و یا زمین های با پوشش خاک و سنگ شهری (منطقه ۱۳، ۱۲) منطبق است. در منطقه ۱۲ و ۱۳ دمای سطح زمین بالا بوده و جزیره‌های گرمایی شهر را شکل می‌دهند. در سال ۱۹۹۸ زمین های بایر بیشترین دما را داشته‌اند. درمجموع مناطقی مانند پارک ملت که بزرگ‌ترین پارک مشهد و دارای مساحتی بالغ بر ۷۲۰ هزار مترمربع، پارک کوه سنگی، پارک جنگلی وکیل‌آباد، کمپ پارک غدیر و باغ‌های آستانه قدس رضوی، با شاخص پوشش گیاهی نسبت به سایر مناطق دمای بسیار پایین‌تری دارند. در سال ۲۰۱۶ با توجه به افزایش محدوده ساخته‌شده و از بین رفتن پوشش گیاهی، جزایر حرارتی به داخل شهر انتقال پیدا کرده است. در این سال وسعت و تعداد جزایر حرارتی افزایش پیداکرده است. در این سال با توجه به افزایش سطوح سخت مانند پارکینگ‌های بزگ مسطح روباز با پوشش آسفالت مثل پارکینگ باغ ملت، پراکنیگ های منطقه ثامن جزایر حرارتی از خارج از شهر به داخل شهر انتقال پیدا کرده و با این مناطق منطبق شده است.

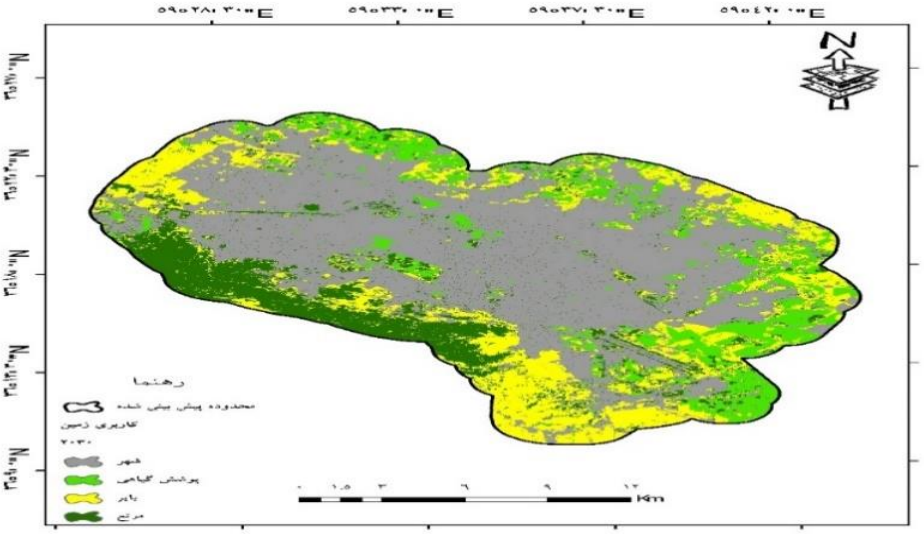


شکل ۸. نقشه کاربری زمین و دمای سطح زمین سال ۱۹۹۸



شکل ۹. نقشه کاربری زمین و دمای سطح زمین سال ۲۰۱۶

برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی محدوده موردمطالعه که شامل کاربری‌های محدوده ساخته‌شده و فضایی سبز، اراضی بایر و مرتع از مدل زنجیره مارکوف استفاده شد. در مدل زنجیره مارکوف از کلاس‌های پوشش به‌عنوان حالت یا همان وضعیت‌های زنجیره استفاده‌شده است و(ماتریس مساحت انتقال که نشان‌دهنده تعداد پیکسل‌هایی که از هر کلاس به کلاس‌های دیگر تبدیل شوند) یا همان مقدار وسعتی که از هر کاربری به کاربری دیگر در دوره زمانی ۱۹۹۸-۲۰۱۶ مشخص گردید. بر اساس مدل CA مارکوف، پیش‌بینی مساحت چهار طبقه پوشش زمین در کاربری‌های ذکرشده تا سال ۲۰۳۰ مشخص گردید. پیش‌بینی وضعیت چهار طبقه پوشش زمین شامل، محدوده ساخته‌شده، فضایی سبز، زمین‌های بایر، مراتع در شهر مشهد در سال ۲۰۳۰ را نشان داده‌شده است. بر این اساس پیش‌بینی می‌شود، شهر هم گسترش افقی بیشتر در سمت شمال و غرب و هم رشد عمودی داشته باشد. به‌طوری‌که محدوده ساخته‌شده به ۲۵۳/۵۲ کیلومترمربع، فضایی سبز به ۵۷/۷۵ کیلومترمربع، زمین‌های بایر به ۹۰/۷۸ کیلومترمربع و مراتع به ۶۵/۵۳ کیلومترمربع خواهند رسید(جدول ۳ و شکل ۱۰).



شکل ۱۰. نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی سال ۲۰۳۰

جدول۳. مساحت هریک از کاربری ها

سال	۱۹۹۸		۲۰۱۶		۲۰۳۰	
نوع کاربری	مساحت به کیلومتر مربع	درصد	مساحت به کیلومتر مربع	درصد	مساحت به کیلومتر مربع	درصد
محدوده ساخته شده	۱۳۸/۵۲	۴۲/۶۵	۱۹۸/۸۷	۶۱/۲۳	۲۵۳/۵۲	۵۴/۲۱
فضایی سبز	۴۶/۴۹	۱۴/۳۷	۲۹/۹۸	۹/۲۲	۵۷/۷۵	۱۲/۳۵
بایر	۱۰۰/۷۱	۳۱/۰۱	۶۴/۶۲	۱۹/۸۹	۹۰/۷۸	۱۹/۴۱
مرتع	۳۸/۸۵	۱۱/۹۶	۳۱/۲۹	۹/۶۳	۶۵/۵۳	۱۴/۰۱

منبع: یافته های تحقیق، ۱۳۹۷

بحث و نتیجه‌گیری

مروری بر تحقیقات صورت گرفته نشان می دهد که تاکنون پژوهش های کمتری در زمینه نقش کاربری اراضی و تغییرات آن بر شکل گیری جزایر حرارتی در دوره ای ۱۸ ساله انجام شده است.

در این پژوهش ازجدیدترین و علمی ترین الگوریتم های سنجش از دور بهره بهره گرفته شده است. ابتدا با استفاده از تصاویر ماهواره لندست رابطه تغییرات کاربری اراضی و دمای سطح ، سپس تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل CA مارکوف پیش‌بینی شد.

بررسی تغییرات کاربری اراضی در فاصله سال ۲۰۱۶-۱۹۹۸ بیان می‌کند که محدوده ساخته‌شده شهر روند افزایشی داشته است. به دنبال این افزایش، فضایی سبز، مرتع و زمین‌های بایر تخریب‌شده‌اند. با توجه به افزایش محدوده ساخته‌شده شهر و به دنبال آن افزایش سطوح سخت و غیرقابل نفوذ دمای سطح زمین نیز افزایش‌یافته است. به‌طوری‌که در سال ۱۹۹۸ بیشترین دما بین ۴۸-۴۲ درجه سانتی‌گراد بوده و همین دما در سال ۲۰۱۶ بین ۵۲-۴۶ سانتی‌گراد رسیده است. بررسی دمای سطح زمین و نوع کاربری بیانگر این بود که در سال ۱۹۹۸ منطقه ۱۲ که جز محدوده ساخته‌شده شهر نبود و جز زمین‌های بایر بود. خطوط دمایی بیشترین فشردگی را در این منطقه داشتند و در سال ۲۰۱۶ که با افزایش محدود شهر و به دنبال آن افزایش سطوح سخت خطوط بسته و فشرده داخل شهر منتقل شد. جزایر حرارتی ازنظر تعداد و وسعت در سال ۱۹۹۸ وسعت کمتر و نیز هم‌دمایی کمتری نسبت به سال ۲۰۱۶ داشته‌اند. بررسی دما و نوع کاربری بیانگر این بود که کاربری فضای سبز کمترین دما را از بین کاربری‌های مختلف داشته است. پیش‌بینی صورت گرفته برای تغییرات کاربری در شهر مشهد، رشد شهر بیشتر در نواحی شمالی غربی خواهد بود و در نواحی جنوبی با توجه به اینکه ارتفاعات قرار دارد، شهر رشد کمتری خواهد داشت. بر اساس این پیش‌بینی در نواحی داخلی و مرکزی شهر فضای سبز به‌شدت کاهش می‌یابد. با توجه به آنچه گفته شد می‌توان به این نتیجه رسید که اگر همین روند ادامه پیدا کند، تعداد و دمای جزایر حرارتی افزایش خواهد یافت و شاهد مشکلات بسیاری در شهر مشهد خواهیم بود. بر این اساس پیشنهاد می‌شود برای جلوگیری از تشکیل جزایر حرارتی در داخل شهر، به نسبت افزایش ساختمان‌ها و سطوح سخت، فضایی سبز را گسترش دهند و از تخریب زمین‌های کشاورزی اطراف جلوگیری کنند.

منابع

امیری، رضا، علی‌محمدی، عباس و علوی پناه ، سیدکاظم (۱۳۸۶). مطالعه تغییرپذیری فضایی زمانی حرارت در ارتباط با کاربری/پوشش زمین در منطقه شهری تبریز با استفاده از داده‌های حرارتی و انعکاسی TM و ETM

لند ست. *مجله محیط شناسی*، ۳۳(۴۳)، ۱۲۰-۱۰۷.

داداش پور، هاشم، رفیعیان، مجتبی و جهان زاد، نریمان (۱۳۹۸). تدوین الگوی بهینه کاربری اراضی با رویکرد اکولوژیک در مجموعه شهری مشهد. *فصلنامه برنامه‌ریزی توسعه کالبدی*، ۴(۱۳)، ۷۱-۸۲.

سلطانی مقدس، ریحانه (۱۳۹۸). پیامدهای مکانی- فضایی تغییر کاربری اراضی سکونتگاه های روستایی(مطالعه موردی: شهرستان قرچک - استان تهران). *فصلنامه برنامه‌ریزی توسعه کالبدی*، ۴(۱۴)، ۹۴-۷۹.

رمضانی، نفیسه و رضا، جعفری (۱۳۹۳). آشکارسازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی در افق ۱۴۰۴ با استفاده از مدل زنجیره‌ای CA مارکوف (مطالعه موردی: اسفراین). *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، ۲۹(۴)، ۹۶-۸۳.

رنگزن، کاظم، فیروزی، محمدعلی، تقی‌زاده، ایوب و مهدی‌زاده، رامین (۱۳۹۰). بررسی و تحلیل نقش کاربری در شکل‌گیری جزایر حرارتی با استفاده از R.S, GIS نمونه موردی شهر اهواز، *سمینار ملی کاربرد GIS در برنامه‌ریزی اقتصادی، اجتماعی و شهری*، تهران.

فلاح‌زاده، فاطمه (۱۳۸۸). *مطالعه روند دمای میکرو اقلیم شهر یزد*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه یزد.

واحدیان بیکی، لیلا، پوراحمد، احمد، و سیف الدینی، فرانک (۱۳۹۰). اثر توسعه فیزیکی شهر تهران بر تغییر کاربری اراضی منطقه ۵. *فصلنامه علمی- پژوهشی نگرشی نو در جغرافیای انسانی*، ۴(۱)، ۴۴-۲۹.

ولیزاده کامران، غلام نیا، خلیل، عینالی، گلزار و موسوی، محمد (۱۳۹۶). برآورد دمای سطح زمین و استخراج جزایر حرارتی با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا و تحلیل رگرسیون چند متغیره (مطالعه موردی شهر زنجان). *نشریه پژوهش و برنامه‌ریزی شهری*، ۸(۳۰)، ۵۰-۳۵.

Feizizadeh, B., Blaschke, T., Nazmfar, H., Akbari, E., & Kohbanani, H. R. (2013). Monitoring land surface temperature relationship to land use/land cover from satellite imagery in Maraqeh County, Iran. *Journal of Environmental Planning and Management*, Vol. 56, No,9, s1290-1315.

Gallo, K. P., McNab, A. L., Karl, T. R., Brown, J. F., Hood, J. J., & Tarpley, J. D. (1993). The use of NOAA AVHRR data for assessment of the urban heat island effect. *Journal of Applied Meteorology*, Vol.32, No.5, 899-908.

Guan, D., Li, H., Inohae, T., Su, W., Nagaie, T., & Hokao, K. (2011). Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model. *Journal of Applied Ecological Modelling*, Vol.222. 3761-3772.

Jiang, J., & Tian, G. (2010). Analysis of the impact of land use/land cover change on land surface temperature with remote sensing. *Journal of Applied Procedia environmental sciences*, Vol.2, 571-575.

Liu, L., & Zhang, Y. (2011). Urban heat island analysis using the Landsat TM data and ASTER data: A case study in Hong Kong. *Remote Sensing*, Vol.3, No.7, 1535-1552.

Matson, M., Mcclain, E. P., McGinnis Jr, D. F., & Pritchard, J. A. (1978). Satellite detection of urban heat islands. *Journal of Applied Monthly Weather Review*, Vol.106, No.12, 1725-1734.

Rao, P. K. (1972). Remote sensing of urban" heat islands" from an environmental satellite. Bulletin of the American meteorological society, Vol.53, No.7, 647-648.

Rose, A.L., M. D. Devadas. (2009). Analysis of land surface temperature and land use/land cover types using remote sensing imagery a case internal city, India. *The seventh International Conference on Urban Climate*, 29 June - 3 July 2009, Yokohama, Japan.

Roth, M., Oke, T. R., & Emery, W. J. (1989). Satellite-derived urban heat islands from three coastal *cities* and the utilization of such data in urban

climatology. *International Journal of Remote Sensing*, Vol.10, No.11, 1699-1720.

Sobrino, J. A., Jimenez-Munoz, J. C., & Paolini, L. (2004). Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of environment*, Vol.90, No.4, 434-440.

Tan, J., Zheng, Y., Tang, X., Guo, C., Li, L., Song, G., ... & Chen, H. (2010). The urban heat island and its impact on heat waves and human health in Shanghai. *International journal of biometeorology*, 54(1), 75-84.

Wang, S. Q., Zheng, X. Q., & Zang, X. B. (2012). Accuracy assessments of land use change simulation based on Markov-cellular automata model. *Procedia Environmental Sciences*, Vol.13, 1238-1245.

Weng, Q., & Yang, S. (2004). Managing the adverse thermal effects of urban development in a densely populated Chinese city. *Journal of Environmental Management*, Vol.70, No.2, 145-156.

Xiao, J., & Moody, A. (2005). A comparison of methods for estimating fractional green vegetation cover within a desert-to-upland transition zone in central New Mexico, USA. *Remote sensing of environment*, Vol.98, No. 3, 237-250.

Zhan, Q., Meng, F., & Xiao, Y. (2015). Exploring the relationships of between land surface temperature, ground coverage ratio and building volume density in an urbanized environment. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol.40, No.7, 255.