

بررسی تأثیر حرارتی اراضی ساخته‌شده و غیر ساخته‌شده بر یکدیگر با استفاده از

داده‌های سنجش از دور حرارتی و انعکاسی

محمد کریمی فیروزجایی^۱، نعیم میجانی^۲، مجید کیاورزمقدم^{۳*}، سید کاظم علوی‌پناه^۴

۱. دانشجوی دکتری، گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تهران
mohammad.karimi.f@ut.ac.ir
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تهران
naeim.mijani@ut.ac.ir
۳. استادیار، گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تهران
salavipa@ut.ac.ir
۴. استاد، گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۱۱/۱۵

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۷/۰۲/۰۳

چکیده

بررسی تأثیر گسترش فیزیکی شهر بر تغییرات طبقات دمایی و تأثیر حرارتی اراضی ساخته‌شده و غیر ساخته‌شده بر یکدیگر در بسیاری از مسائل محیط‌زیستی از جمله نگرانی‌های مربوط به مصرف انرژی، دغدغه برای ایجاد محیط‌های شهری باکیفیت‌تر و توسعه شهری پایدار کاربرد دارد. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر گسترش فیزیکی شهر بر تغییرات طبقات دمایی و تأثیر حرارتی اراضی ساخته‌شده و غیر ساخته‌شده بر یکدیگر است. برای این منظور در این پژوهش از تصاویر چند زمانه لندست، محصول بخار آب مودیس و داده‌های زمینی شهر بابل و حومه آن برای تابستان سال‌های ۱۳۶۴، ۱۳۷۱، ۱۳۷۹، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۴ استفاده شده است. برای طبقه‌بندی کاربری اراضی و محاسبه دمای سطح به ترتیب الگوریتم‌های بیشترین شباهت و تک کاناله به کار گرفته شده است. نتایج پژوهش نشان داد که دمای سطح اراضی فضای سبز و زراعی با کاهش فاصله از اراضی ساخته‌شده افزایش می‌یابد. اراضی ساخته‌شده بر دمای سطح اراضی اطراف خود تأثیر مستقیم گذاشته و اراضی غیر ساخته‌شده واقع در طبقه دمایی بالاتر به نسبت طبقه دمایی پایین‌تر در میانگین فاصله نزدیک‌تر به اراضی ساخته‌شده قرار می‌گیرند. اراضی فضای سبز واقع در فضای شهری تحت تأثیر دمای سطح بالای مناطق اطراف، نسبت به اراضی فضای سبز مناطق حومه دمای سطح بالاتری دارند. اراضی فضای سبز در فضای شهری با مساحت پایین بیشتر تحت تأثیر قرار گرفته و در طبقه دمایی گرم طبقه‌بندی می‌شوند. از طرف دیگر اراضی ساخته‌شده در همسایگی اراضی فضای سبز و زراعی به سبب جذب گرمای محیط با این کاربری‌ها دمای سطح پایین‌تری به نسبت اراضی ساخته‌شده نزدیک‌تر به مرکز شهر دارند و در کلاس دمایی متوسط طبقه‌بندی می‌شوند. نتایج پژوهش نشان دهنده تأثیر حرارتی اراضی ساخته‌شده و غیر ساخته‌شده بر یکدیگر است.

کلیدواژه

آثار محیط‌زیستی، اراضی ساخته‌شده و غیر ساخته‌شده، تغییرات، تأثیر حرارتی، سنجش از دور حرارتی.

۱. سرآغاز

از جمله تغییرات کاربری اراضی، افزایش انواع آلودگی‌ها و تغییرات شرایط اقلیمی شده است (Baker, 1989; Brunzell, 2006). افزایش مساحت اراضی ساخته‌شده و کاهش فضای سبز و اراضی کشاورزی آثار منفی محیط‌زیستی را به همراه دارد. از جمله آثار محیط‌زیستی این تغییرات گسترده انسانی، پیامدهای ناخواسته و ناخوشایندی همچون افت کیفی محیط‌زیستی در

در قرن ۲۱، که حدود نیمی از جمعیت جهان ساکنان شهرها هستند، «قرن شهری» نامیده می‌شود. مطالعات نشان می‌دهد که این مقدار تا سال ۲۰۵۰ به ۷۰ درصد افزایش خواهد یافت (Weng et al., 2018). طی دهه‌های گذشته توسعه فیزیکی شهرها به عنوان تهدید اصلی برای منابع طبیعی و اکولوژیکی در سطح جهان مطرح و سبب تغییرات فراوانی

و پیوسته، بهنگام بودن و توانایی کسب اطلاعات در محدوده‌های انعکاسی و حرارتی امواج الکترومغناطیسی، منبع اطلاعاتی مناسبی برای تهیه نقشه‌های حرارتی به شمار آمده و کاربردهای بسیاری برای بررسی دقیق تغییرات اقلیم و کاربری اراضی مناطق شهری و غیرشهری دارند (Firozjahi et al., 2018; Panah et al., 2017). از عوامل مؤثر بر دمای سطح، نوع کاربری اراضی منطقه است. محاسبه دقیق LST و مطالعه رابطه بین کاربری سطح و LST عاملی مهم در حل بسیاری از مشکلات محیط‌زیستی در مناطق شهری و تعامل بین انسان و محیط‌زیست است. در طول چند دهه اخیر نیاز فراوان به اطلاعات LST برای مطالعات محیط‌زیستی و فعالیت‌های مدیریتی منابع زمین، برآورد LST با استفاده از داده‌های سنجش از دور انعکاسی و حرارتی را به یکی از موضوعات مهم علمی تبدیل کرده است (Jiménez-Muñoz & Sobrino, 2003). Rao (۱۹۷۲) در تحقیقی برای نخستین بار با استفاده از داده‌های ماهواره NOAA نشان داد که مرز مناطق شهری از طریق تجزیه و تحلیل تصاویر مادون قرمز حرارتی قابل شناسایی است. Zhang & Ban (۲۰۱۱) به بررسی تأثیر توسعه شهری بر LST با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که توزیع مکانی LST در مناطق شهری، الگوی متحدالمرکزی ندارد همچنین بالاترین LST در مناطق شهری مربوط به اطراف جاده‌های پر تردد شهرها است. Estoque و همکاران (۲۰۱۷) رابطه بین LST، سطوح نفوذناپذیر و فضای سبز را در شهرهای بانکوک، جاکارتا و مانیل بررسی کردند. نتایج پژوهش بیانگر این بود که با افزایش درصد سطوح نفوذناپذیر و کاهش فضای سبز، LST افزایش می‌یابد. Singh و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی تأثیر منفی رشد شهرنشینی در طول زمان و تأثیر آن بر روند افزایش LST، با استفاده از داده حرارتی ماهواره لندست در شهر لکه‌نو^۲ هند، پرداختند. نتایج نشان داد که توزیع مکانی LST تحت تأثیر تغییرات کاربری اراضی/پوشش زمین است. تفاوت میانگین LST منطقه مورد مطالعه بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۴، ۰/۷۵ درجه سانتی‌گراد بود. مناطق با اراضی ساخته شده تراکم دارای

مقیاس‌های مختلف محلی، منطقه‌ای و جهانی است که سرانجام به کاهش کیفیت زندگی می‌انجامد (Fan et al., 2008; Wu, 2014). موضوع گرمایش جهانی و آثار منفی آن بر کیفیت زندگی جوامع بشری که طی سال‌های اخیر بسیار مورد توجه مجامع بین‌المللی قرار گرفته است؛ در ارتباط مستقیم با افزایش روزافزون جمعیت شهرها، مراکز صنعتی و فعالیت‌های انسانی گرماساز در فضای شهرها و در نتیجه گسترش فیزیکی شهرها و تخریب منابع طبیعی اطراف شهرها است. جایگزین شدن پوشش طبیعی زمین با عوارض شهری همچون سنگفرش، ساختمان و دیگر ساخت‌وسازهای شهری سبب تفاوت در میزان جذب انرژی طول موج کوتاه و بلند رسیده به سطح و آثار خنک‌کنندگی سطح در اثر تبخیر و تعرق خواهد شد (Schwarz et al., 2012; Xu et al., 2011). علاوه بر آن، حرارت و آلودگی ناشی از وسایل نقلیه، صنایع و کارخانه‌های بزرگ و دیگر منابع مربوط به فعالیت‌های انسانی آلودگی و دمای هوا را افزایش داده و سبب تفاوت اساسی در رفتار محیط‌زیستی مناطق شهری و غیر شهری می‌شود. نخستین آثار منفی افزایش دما، افزایش مصرف انرژی، آب و الکتریسیته، سرانه مالی، تخریب منابع طبیعی و کاهش مقادیر شاخص‌های کیفیت زندگی است (Santamouris & Kolokotsa, 2015). با توجه به روند افزایش جمعیت، نگرانی‌های مربوط به مصرف انرژی، دغدغه برای ایجاد محیط‌های شهری با کیفیت‌تر و اهمیت مواردی همچون منابع طبیعی و محیط‌زیست بر برنامه‌ریزی به‌منظور نیل به توسعه شهری پایدار در دنیای امروز، اهمیت بررسی روند تغییرات شهرها و محیط پیرامون‌شان و آثار متقابل آن‌ها بر یکدیگر را افزایش داده است (Firozjahi et al., 2018).

دمای سطح زمین (LST^۱) یکی از پارامترهای کلیدی برای کنترل و ارزیابی فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی سطح زمین و عاملی مهم برای بررسی مسائل محیط‌زیستی در مناطق شهری محسوب می‌شود (Mackey et al., 2012). تصاویر سنجش از دور به دلیل پوشش وسیع

اراضی/پوشش زمین، پوشش گیاهی، سطوح نفوذناپذیر و رطوبت سطح به صورت دقیق و کامل بررسی و تجزیه و تحلیل شده است. ولی در مطالعات گذشته تأثیر حرارتی اراضی ساخته شده و غیر ساخته شده بر یکدیگر بررسی نشده است. بر همین اساس هدف اصلی این پژوهش بررسی تأثیر گسترش فیزیکی شهر بر تغییرات طبقات دمایی و تأثیر حرارتی اراضی ساخته شده و غیر ساخته شده بر یکدیگر است. تعیین میزان تأثیرگذاری حرارتی اراضی ساخته شده و اراضی غیرساخته شده بر یکدیگر می‌تواند یکی از پارامترهای کلیدی برای مدیریت مسائل محیط‌زیستی مختلف باشد.

۲. مواد و روش

۱.۱.۲. داده‌ها

در این پژوهش از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵، لندست ۷ و لندست ۸ استفاده شده است. این تصاویر زمین مرجع شده و در سیستم تصویر UTM^۶ در ناحیه N۳۹ قرار دارند. تصاویر مذکور در سایت زمین شناسی آمریکا در دسترس هستند. به منظور تهیه داده‌های آموزشی مورد استفاده در طبقه‌بندی کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای از داده‌های جمع‌آوری شده طی بازدید میدانی و نقشه‌های توپوگرافی تهیه شده توسط سازمان نقشه‌برداری و شهرداری شهر بابل استفاده شده است. برای محاسبه LST علاوه بر باندهای انعکاسی و حرارتی تصاویر ماهواره‌ای لندست از محصولات بخار آب ماهواره مودیس و داده‌های دمای هوا و رطوبت نسبی ثبت شده در ایستگاه هواشناسی سازمان هواشناسی استان مازندران استفاده شده است. داده‌های مورد استفاده در پژوهش در جدول ۱ نشان داده شده است. تصاویر ماهواره‌ای به نحوی انتخاب شده‌اند که از لحاظ موقعیت زمانی در سال و شرایط جوی نزدیک به یکدیگر باشند.

۲.۲. روش تحقیق

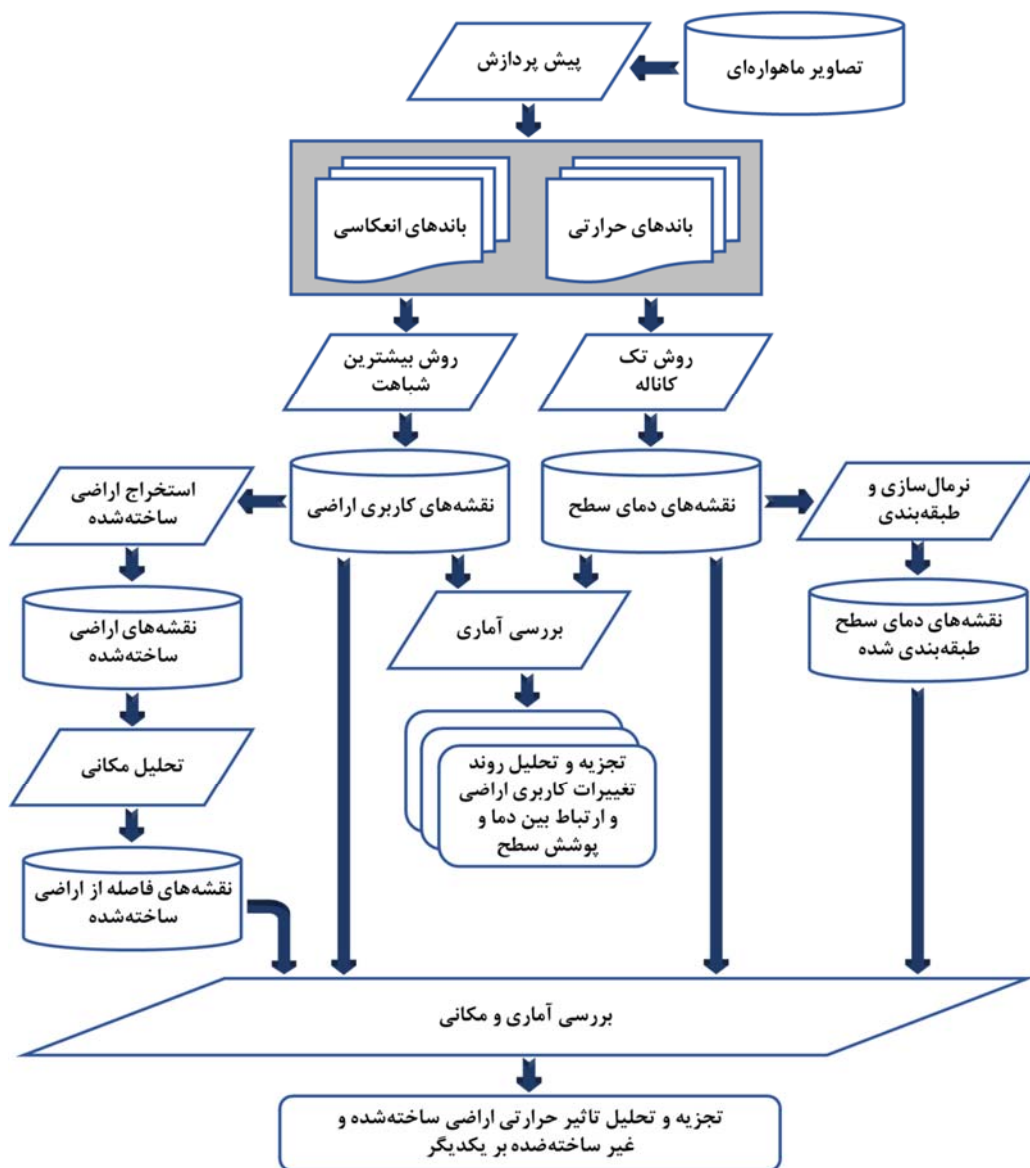
مراحل کلی انجام پژوهش حاضر به صورت شکل ۱، نشان داده شده است.

LST بالاتر و مناطق شامل پوشش گیاهی و آب LST پایین تری دارند. همبستگی قوی و منفی بین LST با شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI^۳) وجود دارد. wang و همکاران (۲۰۱۸b) تأثیر الگوهای کاربری اراضی/پوشش زمین بر LST شهر یانگون^۴ را با استفاده از داده‌های سنجنش از دور بررسی کردند. بررسی محصولات دمای سطح سنجنده مادیس منطقه مورد مطالعه برای بازه زمانی ۱۹۸۷-۲۰۱۷ نشان داد که در فصل‌های گرم زمین‌های کشاورزی در حومه در طول روز دمای سطح بالاتری نسبت به مناطق شهری دارند در حالی که در فصل سرد، در طول روز و شب، دمای سطح مناطق شهری بالاتر از مناطق حومه است. wang و همکاران (۲۰۱۸a)، تأثیر روند گسترش اراضی ساخته شده شهر نانجینگ^۵ بر تغییرات دمای سطح منطقه مورد مطالعه را بررسی کردند. در این مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه لندست سال‌های ۱۹۸۵، ۱۹۹۱، ۱۹۹۶ و ۲۰۰۹ استفاده شد. نتایج نشان داد که به دلیل رشد فیزیکی شهر نانجینگ در طول بازه زمانی مورد مطالعه مساحت زیادی از اراضی خاک و پوشش گیاهی با سطوح نفوذناپذیر جایگزین شده است. به همین دلیل تغییر کاربری اراضی/پوشش زمین در منطقه مورد مطالعه سبب افزایش دمای سطح شده است. Guo و همکاران (۲۰۱۹)، تأثیر تغییرات کاربری اراضی، درصد سطوح نفوذناپذیر و پوشش گیاهی بر LST شهر پکن را در طول سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ و ۸ بررسی کردند. نتایج این مطالعه بیانگر این بود که مساحت مناطق با پوشش سطح نفوذناپذیر در طول بازه زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵ از ۳۶/۷۶ درصد به ۴۴/۹۵ درصد مساحت منطقه مورد مطالعه افزایش یافته است. میانگین LST مناطق با سطوح نفوذناپذیر تقریباً ۲ درجه سانتی‌گراد بالاتر از مناطق با پوشش گیاهی است. ارتباط بین LST و درصد سطوح نفوذناپذیر لگاریتمی و مثبت و ارتباط بین LST و درصد پوشش گیاهی خطی و منفی است (Guo et al., 2019).

بررسی مطالعات گذشته نشان می‌دهد که ارتباط بین LST و خصوصیات سطح مختلف از جمله کاربری

جدول ۱. تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های توپوگرافی مورد استفاده

نوع داده	ماهواره (سنجنده)	قدرت تفکیک/مقیاس	تاریخ
تصاویر ماهواره‌ای (روز)	لندست ۵ (TM)	۳۰ متر	۱۳۶۴/۰۳/۰۹
تصاویر ماهواره‌ای (روز)	لندست ۵ (TM)	۳۰ متر	۱۳۷۱/۰۳/۲۸
تصاویر ماهواره‌ای (روز)	لندست ۷ (ETM+)	۳۰ متر	۱۳۷۹/۰۳/۱۳
تصاویر ماهواره‌ای (روز)	لندست ۵ (TM)	۳۰ متر	۱۳۸۷/۰۴/۱۰
تصویر ماهواره‌ای (روز)	لندست ۸	۳۰ متر	۱۳۹۴/۰۲/۲۷
دمای هوا	ایستگاه زمینی	---	۱۳۶۴-۱۳۹۴
بخار آب/رطوبت نسبی	مودیس/ایستگاه زمینی	۵۰۰۰ متر/---	۱۳۶۴-۱۳۹۴



شکل ۱. مراحل کلی انجام پژوهش

و شناخت کامل نویسندگان از منطقه طی بازدیدهای میدانی متعدد به تهیه داده‌های آموزشی برای هر چهار طبقه کاربری اراضی برای استفاده در عملیات طبقه‌بندی نظارت‌شده اقدام شد.

در این پژوهش، از روش بیشترین شباهت برای طبقه‌بندی تصاویر استفاده شده است. در این روش بعد از ارزیابی احتمالات در هر کلاس، پیکسل به کلاسی که بیشترین احتمال را دارند اختصاص می‌یابد (Otakei & Blaschke, 2010). پس از پایان عملیات طبقه‌بندی تصاویر، دقت طبقه‌بندی با استفاده از سری دوم داده‌های آموزشی که به‌عنوان داده‌های چک جمع‌آوری شده بود ارزیابی شد. پس از ارزیابی دقت طبقه‌بندی، مساحت مربوط به کاربری‌ها در سال‌های مختلف استخراج شد. برای بررسی و تحلیل دقیق تغییرات، از مدل کراس تب استفاده شده است. در این مدل، هم محاسبه تعداد پیکسل‌هایی که بین دو تاریخ تغییر یافته‌اند امکان‌پذیر بوده و هم می‌توان ماهیت تغییرات اراضی را مشخص کرد.

۳.۲.۲. دمای سطح

برای محاسبه دمای سطح با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، در نظر گرفتن مقادیر انرژی طیفی و دمای تابشی ثبت شده توسط سنجنده در طول موج‌های مادون قرمز حرارتی، آثار اتمسفری و پارامتر توان تشعشعی سطح ضروری است. در این پژوهش برای تبدیل رادیومتریکی مقادیر خام اولیه باندهای مادون قرمز حرارتی به انرژی طیفی و دمای تابشی ثبت‌شده توسط سنجنده از روابط فیزیکی و ریاضی ارائه‌شده در (Chander et al., 2009) استفاده شد. توان تشعشعی یکی از خواص مهم یک پدیده و مواد است. برای محاسبه توان تشعشعی سطح زمین از روش جیمز و سوبرینو استفاده شده است. در این روش توان تشعشعی سطح زمین با استفاده از آستانه‌گذاری برای مقادیر NDVI و کسر پوشش گیاهی (FVC^A) به دست می‌آید (Jiménez-Muñoz et al., 2014; Sobrino et al., 2008).

۱.۲.۲. پیش‌پردازش

به‌منظور کنترل کیفیت داده‌ها و آگاهی از وجود خطاهای هندسی و رادیومتری، داده‌ها مورد بررسی اولیه قرار گرفتند. با توجه به اهمیت دقت تصحیح هندسی بر صحت نتایج آشکارسازی تغییرات، تصاویر باید کاملاً از نظر هندسی بر یکدیگر منطبق باشند. تصاویر استفاده شده در این پژوهش با خطای کمتر از ۱۲ متر زمین مرجع می‌باشند (Weng et al., 2019). با توجه به اهمیت تأثیر آثار اتمسفری بر نتایج نهایی بررسی تغییرات کاربری اراضی و محاسبه دمای سطح، تمام تصاویر با استفاده از الگوریتم تصحیح اتمسفری FLAASH^۷ تصحیح شدند. این الگوریتم از مدل عبور اتمسفری MODTRAN6 برای تصحیح اتمسفری استفاده می‌کند که اطلاعاتی جانبی مانند زمان عبور ماهواره، ارتفاع سنجنده، موقعیت جغرافیایی منطقه، زاویه تابش خورشید و مدل اتمسفری منطقه را به‌کار می‌برد (Karimi Firozjaei et al., 2018).

۲.۲.۲. طبقه‌بندی کاربری اراضی و ارزیابی تغییرات

تعداد و نوع طبقه‌های کاربری اراضی موجود در محدوده مورد مطالعه با توجه به شناخت کامل نویسندگان بر منطقه بر اساس بازدیدهای میدانی، تفسیر چشمی تصاویر ماهواره‌ای و مطالعات گذشته مشخص شده است. این طبقه‌ها شامل اراضی ساخته‌شده، زراعی، فضای سبز و آبی هستند (Firozjaei et al., 2018; Panah et al., 2017). در این پژوهش برای طبقه‌بندی کاربری اراضی از الگوریتم طبقه‌بندی نظارت‌شده استفاده شده است.

در طبقه‌بندی نظارت‌شده تصاویر، داده‌های آموزشی باید به دقت انتخاب شوند. تعریف اشتباه کلاس‌های کاربری اراضی توسط داده‌های آموزشی، بر کل روند طبقه‌بندی نظارت‌شده تأثیر گذاشته و موجب خطا در طبقه‌بندی و اشتباه تصویر می‌شود (Otakei & Blaschke, 2010). در این مرحله، با استفاده از تفسیر چشمی تصاویر، نقشه‌های توپوگرافی، تصاویر گوگل ارت

شناسایی و تحلیل تغییرات توزیع مکانی و آماری LST است. وضعیت کاربری اراضی، LST و ارتباط بین تغییرات کاربری اراضی و تغییرات دمای سطح در طول بازه زمانی مورد مطالعه به صورت دقیق بررسی شده است. مساحت هر یک از کاربری‌های اراضی در طبقات دمایی مختلف استخراج شده و تغییرات مساحت طبقات دمایی با تغییرات کاربری اراضی تحلیل شده است. با استخراج گسترش اراضی ساخته شده در بازه‌های زمانی مختلف و نقشه مناطق ساخته شده واقع در طبقه دمایی معتدل، اشتراک این دو نقشه بررسی و تأثیر همسایگی اراضی فضای سبز و زراعی بر رفتار دمایی اراضی ساخته شده تحلیل شده است. در نهایت با ایجاد نقشه‌های فاصله از اراضی ساخته شده برای سال‌های مختلف، وضعیت میانگین فاصله اراضی زراعی و فضای سبز واقع شده در طبقات دمایی مختلف بررسی و با توجه به آن تأثیر دمای سطح اراضی ساخته شده بر دمای سطح مناطق همجوار بررسی شده است.

۳. محدوده مورد مطالعه

محدوده مطالعه شده، شامل محدوده‌ای از شهر بابل و حومه آن با مساحت تقریبی ۶۶۶۶/۶۶ هکتار در عرض ۴۰۴۹۸۶۵، ۴۰۴۲۱۵۵ متر شمالی و طول ۶۴۵۰۴۵، ۶۳۳۵۹۵ متر شرقی ناحیه N۳۹ سیستم تصویر UTM است. بابل یکی از شهرهای استان مازندران و مرکز شهرستان بابل، پرجمعیت‌ترین شهرستان مازندران و دومین شهرستان پرجمعیت شمال ایران است. شهرستان بابل با ۱۵۷۸/۱ کیلومتر مربع وسعت، حدود ۶/۶ درصد کل مساحت استان را به خود اختصاص داده است.

برای محاسبه دمای سطح منطقه از الگوریتم محاسبه دمای سطح تک کاناله^۹ استفاده شده است. جزئیات این الگوریتم برای محاسبه دمای سطح با استفاده از تصاویر لندست ۵، ۷ و ۸ در (Jiménez-Muñoz & Sobrino, 2003; Firozjaei et al., 2018; Weng et al., 2018) ارائه شده است.

۴.۲.۲. طبقه‌بندی نقشه‌های دمای سطح

برای بررسی تغییرات مکانی-زمانی خصوصیات دمایی سطح، نقشه‌های LST منطقه با روش‌های آماری تجزیه و تحلیل شدند. در این پژوهش با استفاده از دو پارامتر حداقل و حداکثر دما همه تصاویر نرمال شدند. برای نرمال‌سازی تصاویر از رابطه (۱) استفاده شده است (Xunqiang et al., 2011; Firozjaei et al., 2018).

$$NLST_i = \frac{LSTT_i - LST_{min}}{LST_{max} - LST_{min}} \quad (1)$$

در این رابطه، $NLST_i$ مقدار نرمال شده پیکسل i ، LST_i مقدار مطلق پیکسل i ، LST_{min} حداقل دمای هر تصویر و LST_{max} حداکثر دمای هر تصویر است. تصاویر نرمال شده با استفاده از مقدار میانگین و انحراف معیار خود به سه طبقه دمایی طبقه‌بندی شدند (Xu et al., 2011). LST_{mean} بیانگر میانگین دمای هر یک از تصاویر نرمال شده و SD نشان‌دهنده مقدار انحراف معیار هر یک از تصاویر نرمال شده است (جدول ۲).

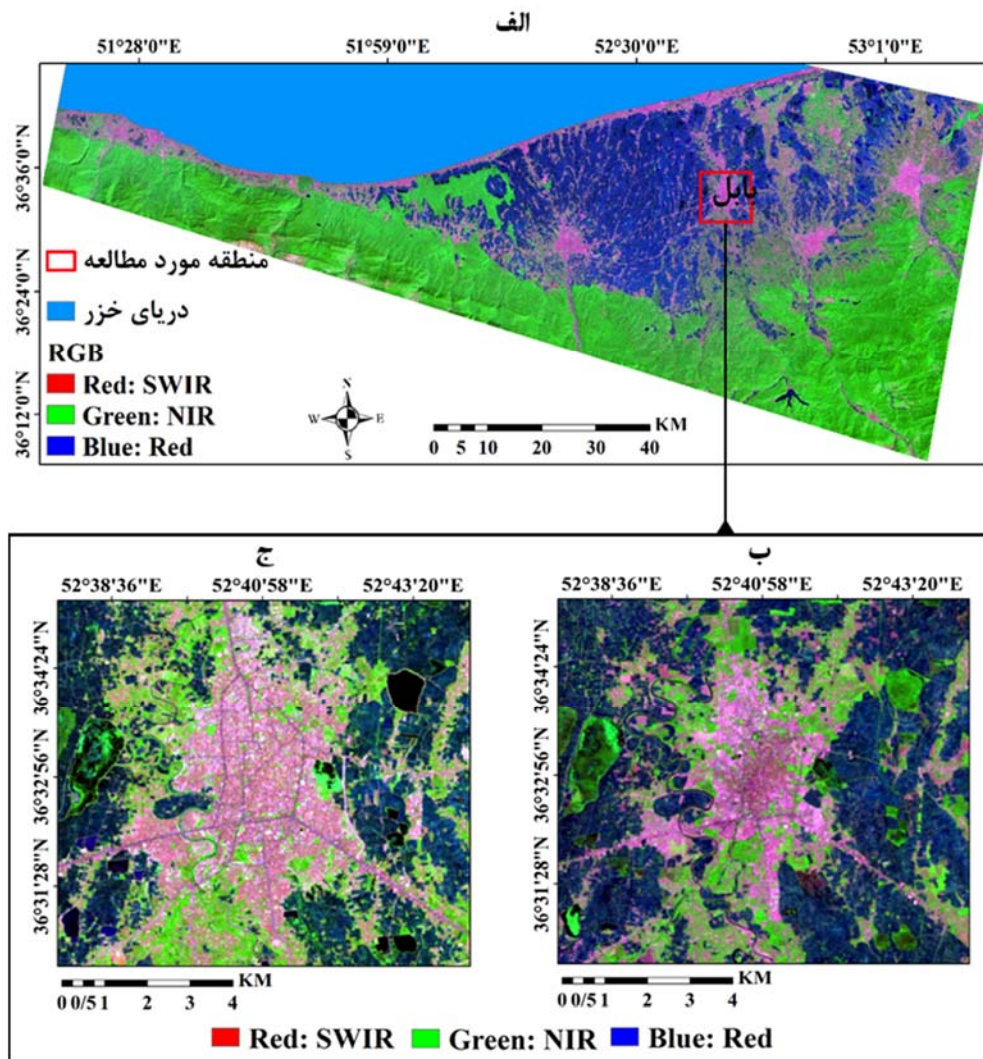
پس از طبقه‌بندی تصاویر LST ، مقدار مساحت هر یک از طبقات دمایی محاسبه و روند تغییرات مساحت هر طبقه دمایی در بازه زمانی مورد مطالعه بررسی شده است. هدف از فرایند نرمال‌سازی و سپس طبقه‌بندی تصاویر دمای سطح

جدول ۲. نحوه طبقه‌بندی LST به سه طبقه دمایی

دامنه مربوط به هر طبقه	طبقه دما
$NLST \leq LST_{mean} - SD$	دمای سرد
$LST_{mean} - SD < NLST \leq LST_{mean} + SD$	دمای معتدل
$LST_{mean} + SD < NLST$	دمای گرم

شمال شرقی تهران، واقع شده است. ارتفاع این شهر به طور متوسط ۲ متر از سطح دریاهای آزاد پایین تر است. در شکل ۲ موقعیت محدوده مورد مطالعه نشان داده شده است. طی دو دهه اخیر، شهر بابل شاهد گسترش قابل توجه فضاهای ساخته شده بوده، به گونه‌ای که در بین شهرهای استان مازندران پس از شهر ساری بیشترین میزان توسعه فیزیکی را داشته است. بخش اعظم این توسعه نامنظم و خودسرانه صورت گرفته، رشد ناموزون شهر را به دنبال داشته است.

شهرستان بابل در قسمت مرکزی استان قرار گرفته و از شمال به شهرستان بابلسر، از شمال شرقی به شهرستان‌های جویبار و قائم‌شهر، از جنوب شرقی به سوادکوه و از غرب به شهرستان آمل محدود می‌شود. نواحی جنگلی در شهر، حومه و بخش مرکزی و ناحیه کوهستانی در جنوب آن قرار دارد. میانگین بارش سالانه در این شهرستان ۷۸۰/۴ میلی‌متر و متوسط دمای آن از ۱۲ تا ۳۹/۲ درجه سانتی‌گراد در تغییر است. این شهر در حدفاصل دریا و رشته‌کوه البرز و در فاصله ۱۵ کیلومتری دریای خزر و ۲۱۰ کیلومتری



شکل ۲. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه: الف. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه نسبت به دریای خزر و شهرهای اطراف؛ ب. تصویر ترکیب رنگی برای سال ۱۳۶۴؛ ج. تصویر ترکیب رنگی برای سال ۱۳۹۴

۴. تجزیه و تحلیل نتایج

۱.۴. نتایج طبقه‌بندی و تغییرات کاربری اراضی

به‌طور کلی با توجه به شرایط خاص اکولوژیکی، حاصلخیزی خاک و عبور رودخانه بابلرود از کنار شهر بابل، اراضی کشاورزی و باغ‌ها در محدوده مطالعه شده از دوران گذشته توسعه یافته‌اند. اما در چندین سال اخیر، افزایش جمعیت مناطق شهری و در نتیجه آن گسترش فیزیکی شهر، این کاربری‌ها را به خطر انداخته است. نتایج حاصل از ارزیابی دقت طبقه‌بندی در جدول ۳ نشان داده شده است.

نقشه‌های طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای برای سال‌های ۱۳۶۴، ۱۳۷۱، ۱۳۷۹، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۴ به صورت شکل ۳ نشان داده شده است.

مساحت کاربری‌های اراضی در دوره زمانی ۱۳۶۴-

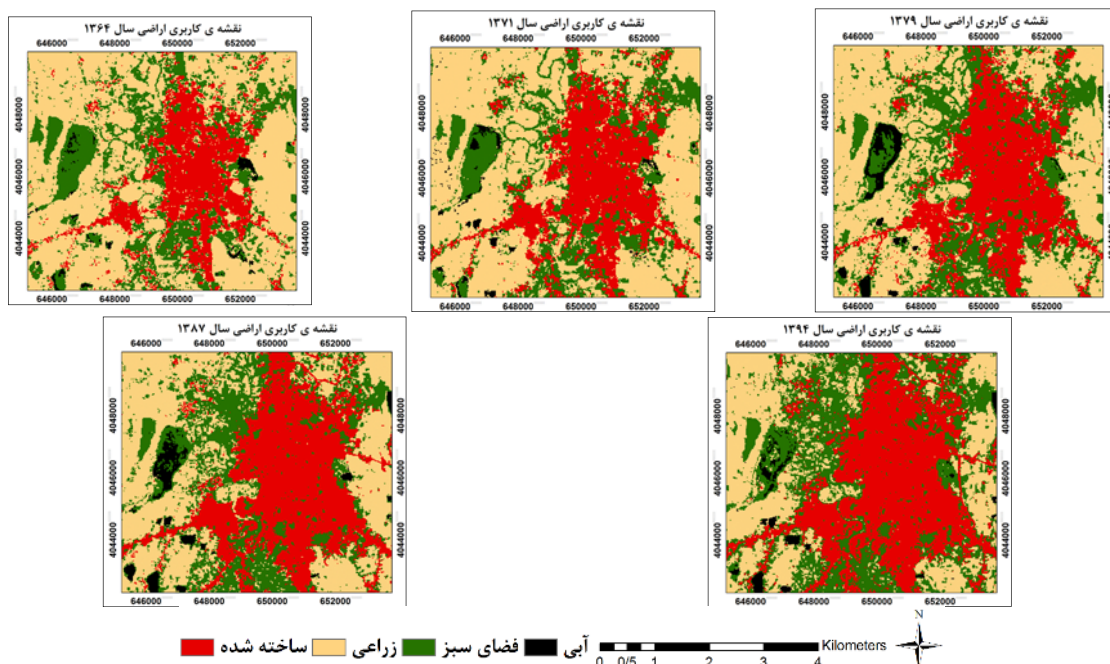
۱۳۹۴ به صورت شکل ۴ نشان داده شده است.

نتایج مدل کراس تب بیانگر این است که وسعت

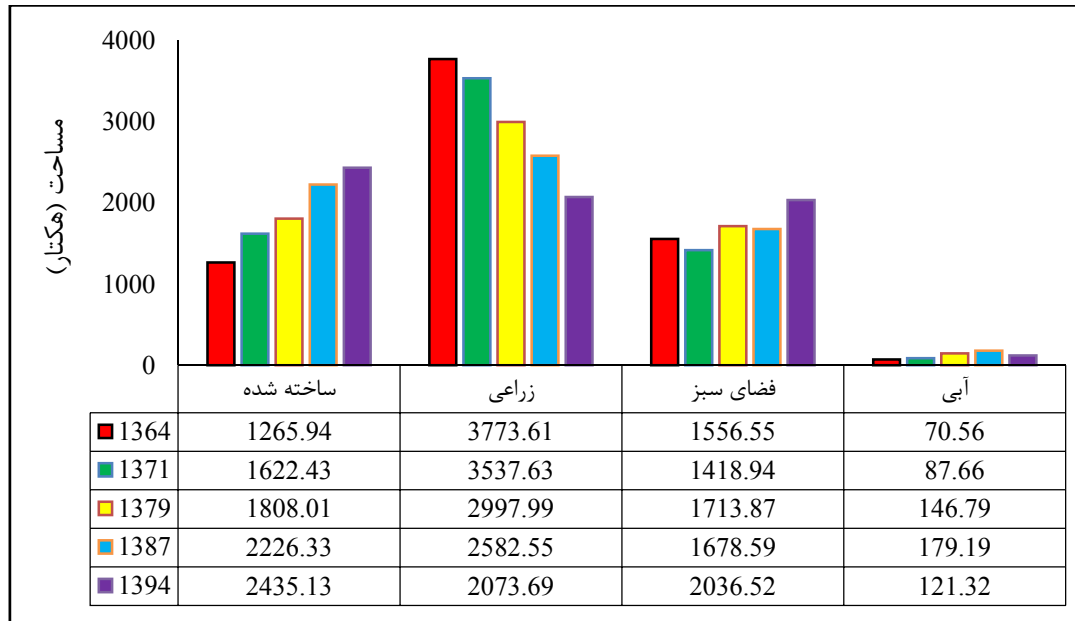
اراضی زراعی از سال ۱۳۶۴ تا سال ۱۳۹۴ روند کاهشی داشته است. به طوری که ۷۴۰/۵۲ هکتار به اراضی ساخته شده، ۱۱۳۲/۹۲ هکتار به اراضی فضای سبز و ۵/۴۹ هکتار به اراضی آبی تبدیل شده است. این تغییرات در حاشیه کناری شهر نمود بیشتری دارد. کاربری فضای سبز از ۱۶۵۶/۵۵ هکتار در سال ۱۳۶۴ به ۲۰۳۶/۵۲ هکتار در سال ۱۳۹۴ رسیده است که رشد ۲۳ درصدی را نشان می‌دهد. روند رشد کاربری فضای سبز در حاشیه شهر با تبدیل زمین‌های کشاورزی به باغ مرکبات کاملاً مشخص است. رشد کاربری فضای سبز به نسبت رشد کاربری ساخته شده دارای سرعت کمتری است. کاربری ساخته شده، روند رو به رشد چشمگیری در دوره زمانی مورد مطالعه داشته است به طوری که مساحت کاربری ساخته شده از ۱۹ درصد در سال ۱۳۶۴، به ۳۶/۵۲ درصد مساحت منطقه مورد مطالعه در سال ۱۳۹۴ رسیده است.

جدول ۳. ارزیابی دقت نقشه‌های کاربری اراضی تهیه شده

سال	۱۳۹۴	۱۳۸۷	۱۳۷۹	۱۳۷۱	۱۳۶۴
ضریب کاپا	۰/۹۰	۰/۹۴	۰/۹۲	۰/۸۹	۰/۹۱
صحت کلی	۹۲	۹۴/۶	۹۳	۹۰/۱	۹۲/۲



شکل ۳. نقشه‌های طبقه‌بندی کاربری اراضی سال‌های ۱۳۶۴-۱۳۹۴

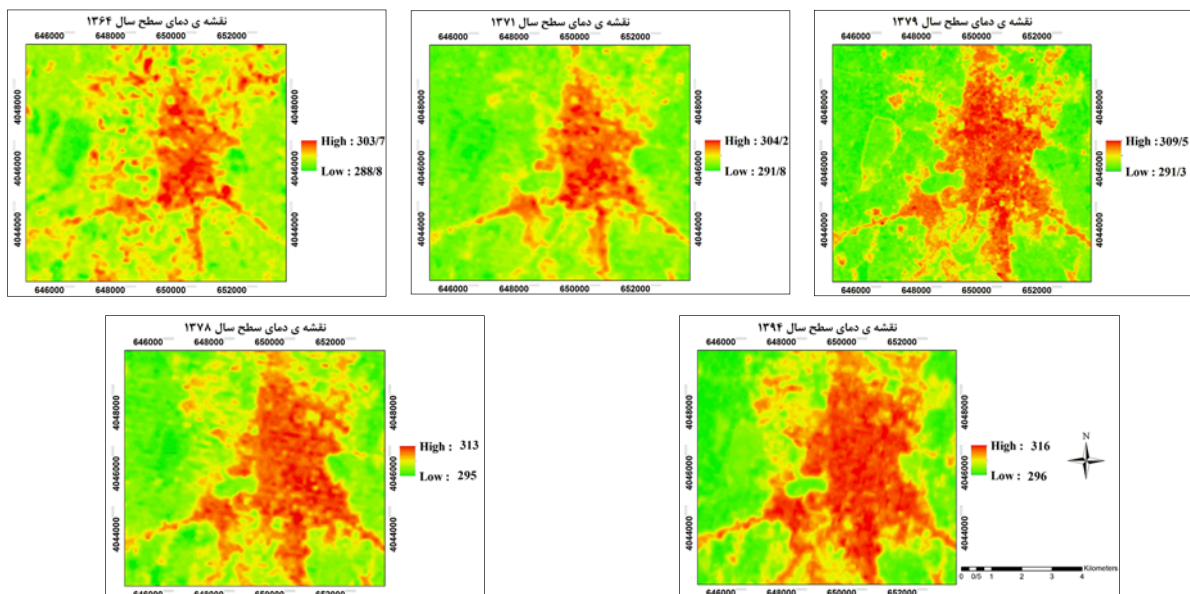


شکل ۴. مساحت طبقات مختلف کاربری اراضی برای سال‌های ۱۳۶۴، ۱۳۷۱، ۱۳۷۹، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۴ (هکتار)

کمینه با اختلاف زیاد است (Firozjaei et al., 2018; Panah et al., 2017). نقشه‌های دمای سطح به دست آمده برای منطقه، طی دوره زمانی ۱۳۶۴-۱۳۹۴ به صورت شکل ۵ آمده است.

۲.۴. دمای سطح منطقه

منطقه مورد مطالعه به دلیل شرایط خاص محیطی همچنین به واسطه قرارگیری کاربری‌های ساخته‌شده، کشاورزی، فضای سبز و آبی کنار یکدیگر از نظر دمایی دارای بیشینه و



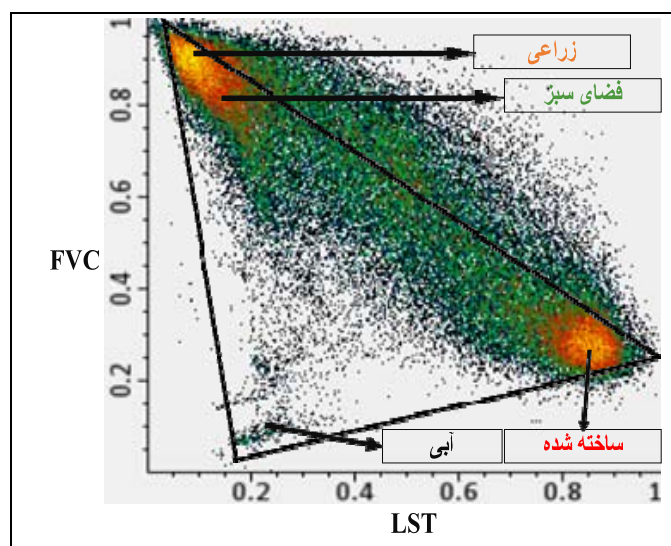
شکل ۵. نقشه‌های دمای سطح برای سال‌های ۱۳۶۴، ۱۳۷۱، ۱۳۷۹، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۴ (کلین)

۳.۴. رابطه بین دمای سطح زمین با انواع کاربری

پوشش زمین

نمودار پراکنش داده‌های NLST و FVC مربوط به سال ۱۳۹۴ در شکل ۶ نشان داده شده است. فضای ویژگی بین NLST و FVC به صورت یک مثلث است؛ به طوری که پوشش گیاهی مترکم از جمله کاربری فضای سبز و زراعی با بالاترین FVC و کمترین NLST در رأس اول، اراضی ساخته شده شهری با بیشترین NLST و FVC پایین در رأس دوم و کاربری آبی با تعداد پیکسل‌های کم، کمترین دما و کمترین FVC در رأس سوم قرار دارند. اراضی زراعی منطقه شالیزار می‌باشد که از خصوصیات بارز این گونه اراضی در تاریخ‌های مورد نظر در پژوهش، رطوبت بالا می‌باشد. شالیزارها به دلیل ظرفیت حرارتی بالای آب، دیر گرم می‌شوند. همچنین کاربری فضای سبز به دلیل شاخص سطح برگ، درصد تعرق بالا و ایجاد سایه LST پایین دارند. بیشترین LST مربوط به مناطق ساخته شده است. این اراضی به علت تشعشعی بالای مصالح شهری مانند آسفالت و سیمان بیشترین جذب نور خورشید را دارند. این مناطق همچنین به علت فعالیت‌های گرماساز انسانی، تردد وسایل نقلیه موتوری و غیره بیشترین LST را نسبت به دیگر کاربری‌های زمین دارند (Firozjahi et al., 2018; Karimi Firozjahi et al., 2017).

نتایج بررسی میانگین LST انواع کاربری اراضی برای منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که اراضی ساخته شده نسبت به دیگر اراضی در تمام سال‌ها دارای بالاترین LST است. اراضی آبی به دلیل ظرفیت گرمایی بالای آب دارای کمترین LST هستند. اراضی زراعی در اکثر سال‌ها دارای میانگین LST پایین‌تری نسبت به اراضی فضای سبز هستند که دلیل عمده آن به رطوبت بالای اراضی زراعی منطقه و بیشتر بودن فعالیت تبخیر و تعرق برمی‌گردد (Firozjahi et al., 2018; Karimi Firozjahi et al., 2017). با توسعه شهرنشینی، مقادیر زیادی از مساحت مناطق کشاورزی و فضای سبز جای خود را به خانه‌ها، مناطق صنعتی و دیگر زیرساخت‌ها می‌دهند. از این رو محدوده‌های شهری دارای بیلان انرژی و آبی متفاوتی در مقایسه با نواحی غیر شهری پیرامون خود هستند. این تفاوت و تغییر در این دو مفهوم، توازن انرژی و رطوبتی در محیط‌های شهری را از بین برده و به ایجاد مشکلات زیست‌محیطی جدی مانند سیلاب‌های شهری و تنش‌های گرمایی برای ساکنان شهر منجر می‌شود. در ادامه ارتباط بین تغییرات کاربری اراضی و تغییرات LST در فاصله‌های مختلف از اراضی ساخته شده بررسی شده است.



شکل ۶. نمودار پراکنش داده‌های NLST و FVC

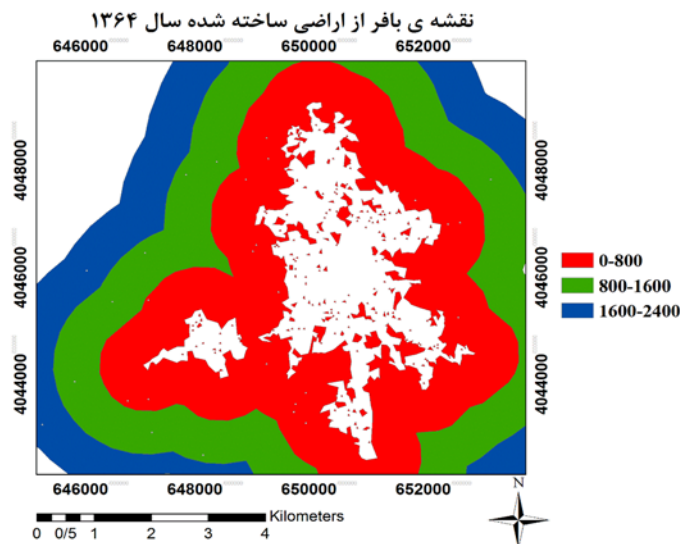
بوده است. به عبارت دیگر رشد فیزیکی شهر موجب افزایش میانگین LST منطقه شده است. برای ارزیابی میزان تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر تغییرات LST در منطقه مورد مطالعه، تغییرات کاربری اراضی در فاصله‌های مشخص از اراضی ساخته‌شده بررسی و در این فاصله‌ها میانگین تغییرات LST بررسی شده است. بدین منظور این تغییرات در بازه‌های فاصله‌ای ۰-۸۰۰، ۸۰۰-۱۶۰۰ و ۱۶۰۰-۲۴۰۰ متر بررسی شده است. نقشه فاصله از اراضی ساخته‌شده به صورت شکل ۷ نشان داده شده است.

میزان تغییرات کاربری اراضی بین سال‌های ۱۳۶۴ تا سال ۱۳۹۴ به تفکیک برای هر یک از بازه‌های فاصله بررسی و نتایج حاصل از آن به صورت جدول ۴ نشان داده شده است.

پارامترهای آماری مربوط به مقدار تغییرات LST در دوره زمانی ۱۳۶۴-۱۳۹۴ برای بازه‌های فاصله‌ای بررسی شده است (جدول ۵).

۴.۴. رابطه بین تغییرات کاربری اراضی و تغییرات دمای سطح

در حومه شهری منطقه مورد مطالعه، افزایش جمعیت باعث تغییر کاربری اراضی کشاورزی به مسکونی، تجاری و صنعتی شده است. این تغییرات دارای پیامدهای ناخوشایندی بر محیط‌زیست شهری همچون کاهش پوشش گیاهی و افزایش LST هستند. بیشترین تغییرات LST به مناطقی اختصاص دارد که طی ۳۰ سال گذشته از دیگر کاربری‌ها به کاربری ساخته‌شده تبدیل شده‌اند. اراضی فضای سبز و زراعی که دستخوش تغییرات کاربری قرار نگرفته‌اند دارای کمترین تغییرات LST در منطقه هستند (Firozjaei et al., 2018; Karimi Firozjaei et al., 2017). با تحلیل نتایج حاصل از بررسی تغییرات کاربری اراضی و تأثیر تغییرات کاربری خاص به یکدیگر بر دمای سطح منطقه می‌توان نتیجه گرفت که گسترش شهری در منطقه مورد مطالعه طی سی سال گذشته به منظور افزایش LST



شکل ۷. نقشه فاصله از اراضی ساخته‌شده سال ۱۳۶۴ (متر)

جدول ۴. میزان تبدیل کاربری‌ها به یکدیگر در بازه‌های مختلف فاصله از اراضی ساخته شده طی سال‌های ۱۳۶۴-۱۳۹۴ (هکتار)

تغییرات کاربری	فاصله (متر)		
	۰-۸۰۰	۸۰۰-۱۶۰۰	۱۶۰۰-۲۴۰۰
زراعی به ساخته شده	۵۵۶/۹۲	۱۲۷/۹۸	۴۹/۳۶
فضای سبز به ساخته شده	۳۹۵/۷۳	۵۹/۰۴	۷/۸۲
آبی به ساخته شده	۳/۳۳	۰	۰/۲۷
ساخته شده به زراعی	۲/۰۷	۳/۶۹	۱/۰۸
فضای سبز به زراعی	۳۲/۴۹	۴۹/۴۱	۳۵/۳۷
آبی به زراعی	۴/۵	۴/۴۱	۳/۷۶
ساخته شده به فضای سبز	۲۰/۷۹	۹/۵۲	۷/۰۲
زراعی به فضای سبز	۲۰۲/۹۹	۴۳/۳۶	۸۱/۵۲
آبی به فضای سبز	۲۱/۹۶	۰/۴۵	۸/۸۲
ساخته شده به آبی	۰	۰	۰/۰۹
زراعی به آبی	۲/۶۱	۰/۳۶	۲/۲۵
فضای سبز به آبی	۲۰/۲۵	۶۲/۹۵	۴۹/۹۵
مجموع تغییرات	۱۲۶۳/۶۴	۳۶۱/۱۷	۲۴۷/۳۱

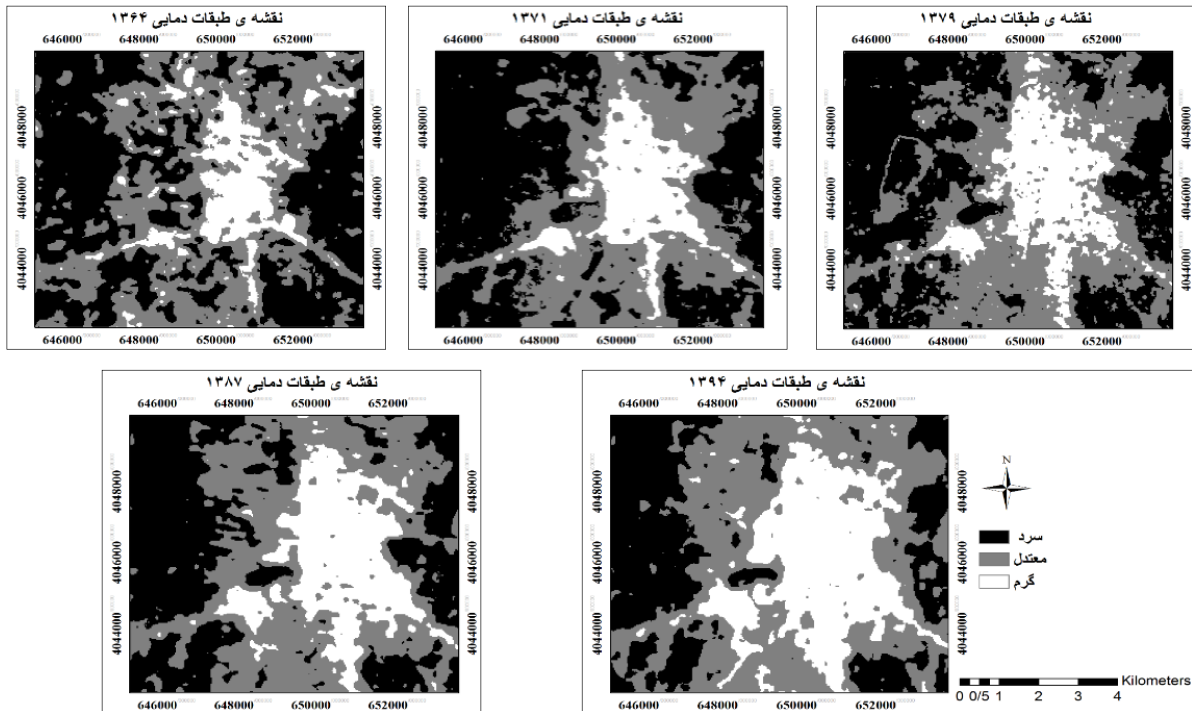
جدول ۵. پارامترهای آماری مربوط به مقدار تغییرات دما در دوره زمانی ۱۳۶۴-۱۳۹۴ برای بازه‌های فاصله‌ای

فاصله (متر)	فاصله (متر)		
	۰-۸۰۰	۸۰۰-۱۶۰۰	۱۶۰۰-۲۴۰۰
میانگین تغییرات دمای سطح	۱۳	۹/۸	۷
بیشترین تغییرات دمای سطح	۱۷	۱۵	۱۱
کمترین تغییرات دمای سطح	۴	۴	۷
انحراف معیار تغییرات دمای سطح	۳/۹۷	۳/۲	۲/۸۵

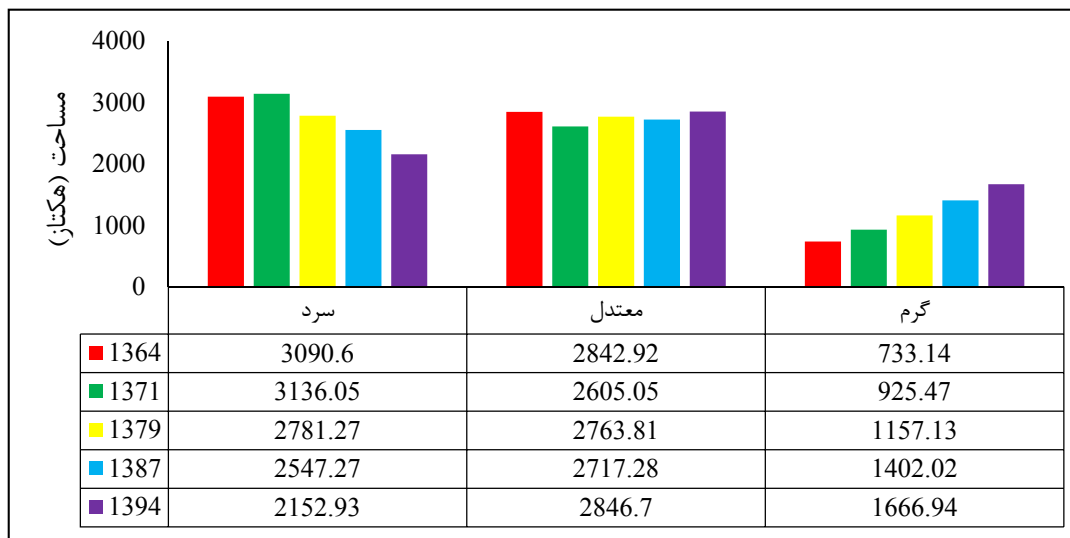
۵.۴. بررسی تغییرات توزیع مکانی-زمانی طبقات دمایی

برای بررسی توزیع مکانی طبقات دمایی در منطقه، تصاویر LST مربوط به سال‌های مختلف با استفاده از بیشترین و کمترین مقدار LST، نرمال شدند. سپس با استفاده از مقادیر میانگین و انحراف معیار، تصاویر LST نرمال شده به سه طبقه دمایی تقسیم شدند. شکل ۸ نقشه‌های LST طبقه‌بندی شده را نشان می‌دهد.

نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد بیشترین تغییرات LST در منطقه مورد مطالعه مربوط به فاصله ۰-۸۰۰ متری از اراضی ساخته شده است که از دلایل اصلی آن می‌توان به تبدیل اراضی زراعی و فضای سبز به اراضی ساخته شده در این فاصله اشاره کرد که به‌طور چشمگیری بیشتر از مقادیر مربوط به این تغییرات در فاصله‌های دورتر است. با افزایش فاصله از اراضی ساخته شده، مقادیر تغییرات کاربری‌ها به یکدیگر کاهش پیدا کرده و در نتیجه میزان تغییرات LST نیز کمتر شده است.



شکل ۸. نقشه‌های LST طبقه‌بندی شده با استفاده از مقادیر میانگین و انحراف معیار تصاویر LST نرمال شده



شکل ۹. مساحت مربوط به طبقات دمایی در دوره زمانی مورد مطالعه (هکتار)

شده است. شکل ۹ مساحت مربوط به طبقات دمایی را در دوره زمانی مورد مطالعه نشان می‌دهد. بر اساس شکل ۹، در هر پنج دوره گذشته بیشترین مساحت مربوط به طبقه دمایی متوسط بوده است. طی دوره زمانی ۱۳۶۴-۱۳۹۴، مساحت طبقه دمایی گرم افزایش و طبقه دمایی سرد کاهش یافته است.

مطابق شکل ۸ طبقات دمایی گرم بیشتر در هسته مرکزی شهر، مسیر خیابان‌ها و راه‌های خروجی از شهر قرار دارند، اطراف شهر با طبقات دمایی معتدل پوشش داده می‌شود و طبقات دمایی سرد در فاصله‌های دورتر از منطقه ساخته شده شهری قرار دارند. بعد از طبقه‌بندی LST نرمال شده به طبقات دمایی، مساحت مربوط به هر کاربری محاسبه و تغییرات آن در بازه زمانی مورد مطالعه بررسی

۶.۴. ارتباط بین تغییرات کاربری اراضی و تغییرات طبقات دمایی

مساحت طبقات دمایی در کاربری‌های مختلف بررسی و نتایج بررسی به صورت جدول ۶ نشان داده شده است.

کاربری زراعی به دلیل رطوبت بالای سطح در تمام سال‌های مورد مطالعه، بیشترین مساحت طبقه دمایی سرد را پوشش می‌دهد. در سال‌های ۱۳۶۴ و ۱۳۷۱ بیشترین مساحت طبقه دمایی متوسط مربوط به اراضی زراعی بوده است ولی به دلیل کاهش مساحت اراضی زراعی و افزایش مساحت اراضی فضای سبز منطقه در طول دوره زمانی مورد مطالعه، در سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۴ بیشترین مساحت طبقه دمایی متوسط مربوط به اراضی فضای سبز است. به همین دلیل در طول دوره زمانی مورد مطالعه مساحت طبقه دمایی متوسط اراضی فضای سبز، روند افزایشی و مساحت طبقه دمایی متوسط اراضی زراعی، روند کاهشی را نشان می‌دهد. در تمام سال‌ها، بیشترین

مساحت طبقه دمایی بالا، مربوط به اراضی ساخته شده بوده است که این موضوع به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی سطوح این اراضی و فعالیت‌های انسانی گرما ساز مربوط می‌شود (Karimi Firozjaei & Kiavarz, 2018).

مساحت اراضی ساخته شده که طبقه دمایی گرم را پوشش می‌دهند، روند افزایشی دارد که به افزایش جمعیت، رشد فیزیکی و افزایش فعالیت‌های گرماساز در این کاربری در طول بازه زمانی مورد مطالعه مربوط می‌شود. در مجموع با توجه به کاهش مساحت کاربری کشاورزی و گسترش فیزیکی شهر، مساحت طبقه دمایی پایین، کاهش زیاد و طبقه دمایی بالا، افزایش چشمگیری داشته است. این موضوع نشان دهنده تأثیر توسعه شهرها بر پدیده گرمایش جهانی است. بنابراین افزایش بی‌رویه مساحت اراضی ساخته شده در مناطق شمالی ایران سبب ایجاد مشکلات محیط‌زیستی مختلفی از جمله افزایش دمای سطح می‌شود (Firozjaei et al., 2018).

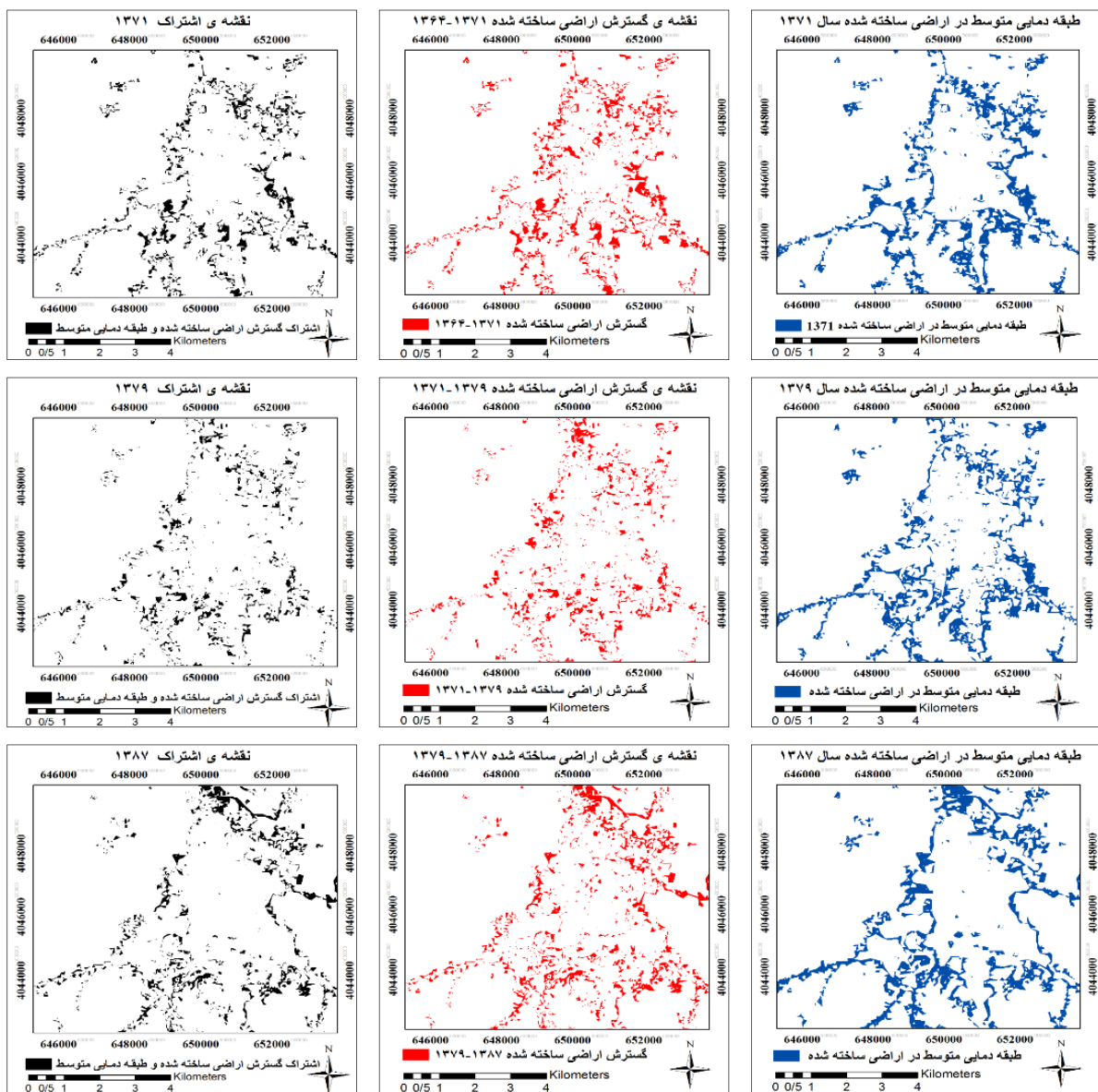
جدول ۶. مساحت کاربری‌های اراضی قرار گرفته شده در طبقات دمایی خاص (هکتار)

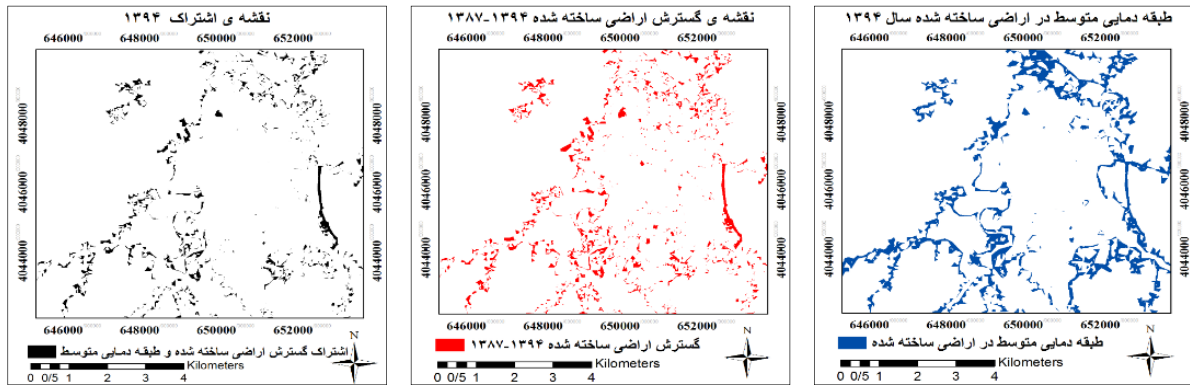
سال	طبقات دمایی	ساخته شده	زراعی	فضای سبز	آبی
۱۳۶۴	پایین	۲۹/۲۵	۲۱۱۲/۰۳	۸۸۰/۱۱	۶۹/۰۳
	متوسط	۶۲۶/۷۶	۱۵۰۸/۷۶	۶۶۰/۷۸	۱/۵۳
	بالا	۶۹/۷۵	۱۵۲/۶۴	۱۵/۶۶	۰
۱۳۷۱	پایین	۱۰/۹۸	۲۴۸۸/۷۷	۵۵۴/۸۵	۸۱/۳۶
	متوسط	۷۳۴/۴	۱۰۱۷/۸۱	۸۴۶/۱۸	۶/۳
	بالا	۸۷۷/۱۴	۳۰/۹۶	۱۸/۰۹	۰
۱۳۷۹	پایین	۹/۶۳	۲۲۴۴/۴۲	۴۴۲/۱۷	۸۴/۵۱
	متوسط	۷۳۴/۳	۷۳۵/۳۹	۱۲۳۶/۶	۵۷/۴۲
	بالا	۱۰۶۳/۷۱	۱۷/۵۵	۳۵/۱۹	۴/۵
۱۳۸۷	پایین	۹/۴۵	۱۸۸۴/۵۱	۴۷۵/۶۵	۱۷۷/۶۶
	متوسط	۸۵۸/۶۹	۶۹۵/۷۹	۱۱۶۱/۲۷	۱/۴۴
	بالا	۱۳۵۴/۷۷	۲/۲۵	۴۳/۴۷	۰
۱۳۹۴	پایین	۷/۴۷	۱۵۹۸/۲۲	۳۴۲/۸۱	۷۴/۳۴
	متوسط	۷۹۲/۳۶	۴۷۲/۷۷	۱۵۹۷/۵۹	۴۶/۹۸
	بالا	۱۶۹۲/۰۹	۲/۴۳	۱۰۰۷/۱۰	۰

تبدیل شده‌اند. نقشه‌های مربوط به مناطق طبقه دمایی واقع شده در فضای اراضی شهری برای سال‌های مختلف و مناطقی که در بازه زمانی گذشته از اراضی فضای سبز و کشاورزی به اراضی ساخته شده تبدیل شده‌اند بررسی و به صورت شکل ۱۰ نشان داده شده است. نقشه‌های نشان داده شده در شکل ۱۰ بررسی و نتایج آن به صورت جدول ۷ نشان داده شده است.

۷.۴. رفتار حرارتی اراضی جدید ساخته‌شده

اراضی ساخته شده که در حاشیه شهر و در کنار اراضی فضای سبز و زراعی قرار گرفته‌اند به دلیل تأثیر دو طرفه‌ای که بر یکدیگر می‌گذارند در طبقه دمایی متوسط قرار می‌گیرند. این مناطق معمولاً شامل مناطقی هستند که زمان کمی از توسعه آن‌ها می‌گذرد و در سال‌های اخیر از کاربری‌های فضای سبز و زراعی به اراضی ساخته‌شده





شکل ۱۰. نقشه‌های مربوط به مناطق طبقه دمایی معتدل واقع شده در فضای اراضی ساخته شده و مناطقی که در بازه زمانی گذشته از اراضی فضای سبز و کشاورزی به اراضی ساخته شده تبدیل و منطقه مشترک آن‌ها

جدول ۷. مساحت طبقه دمایی واقع شده در فضای اراضی ساخته شده، مناطقی که در بازه زمانی گذشته از اراضی فضای سبز و کشاورزی به اراضی ساخته شده تبدیل و منطقه مشترک آن‌ها (هکتار)

	سال	۱۳۷۱	۱۳۷۹	۱۳۸۷	۱۳۹۴
مساحت طبقه دمایی متوسط در اراضی ساخته شده		۷۰۷/۸۹	۷۱۴/۰۶	۸۲۳/۵۶	۶۶۶/۷۳
مساحت گسترش اراضی ساخته شده		۴۶۶/۲	۳۲۳/۶۳۱۱	۴۸۲/۱۰	۲۹۵/۰۴
مساحت اشتراک		۳۷۴/۱	۲۷۰/۷۹	۴۰۳/۷۷	۲۳۶/۲
نسبت مساحت اشتراک به اراضی ساخته شده جدید		۰/۸	۰/۸۴	۰/۸۴	۰/۸

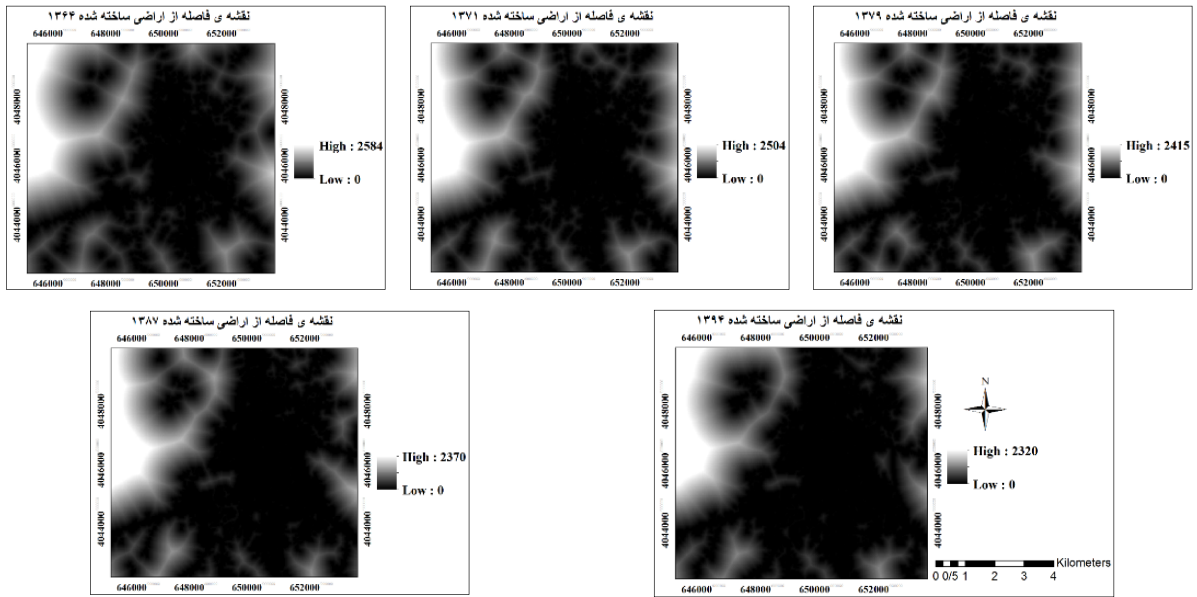
سبز، میزان گرمایی که از مناطق اطراف خود جذب می‌کنند افزایش می‌یابد.

۸.۴. تأثیر اراضی ساخته شده بر رفتار حرارتی مناطق غیر ساخته شده اطراف

هر یک از کاربری‌های اراضی موجود در منطقه، در هر سال مشخص، هم‌زمان در چندین طبقه دمایی قرار می‌گیرند. برای بررسی تأثیر اراضی ساخته شده بر دمای سطح دیگر کاربری‌های اراضی در منطقه، نقشه فاصله از اراضی ساخته شده تهیه شده است (شکل ۱۱).

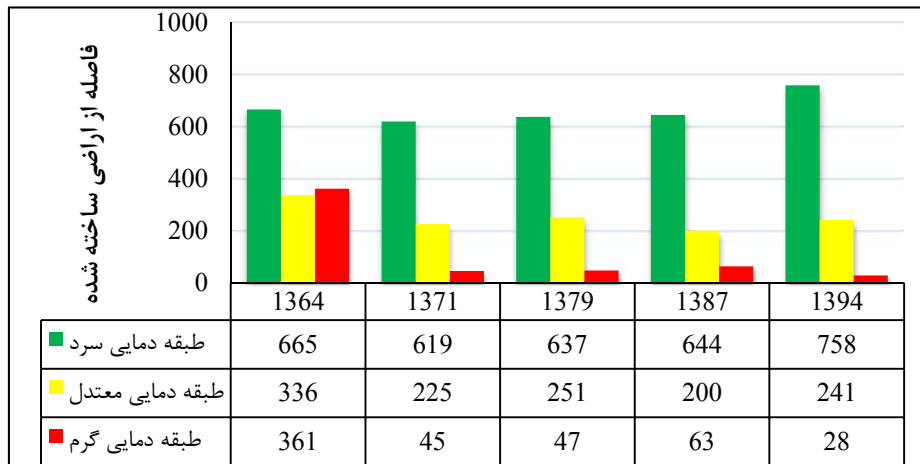
میانگین فاصله کاربری‌های زراعی و فضای سبز قرار گرفته شده در طبقات دمایی مختلف تا اراضی ساخته شده، برای تمام سال‌ها بررسی شده است (شکل ۱۲).

با توجه به شکل ۱۰، اراضی که در بازه زمانی خاصی به اراضی ساخته شده تبدیل شده‌اند، نخست تا چندین سال در طبقه دمایی متوسط قرار می‌گیرند و به مرور زمان وارد طبقه دمایی گرم خواهند شد. اراضی ساخته شده و فضای سبز در منطقه شهری بر رفتار دمایی یکدیگر اثر متقابل می‌گذارند. همچنین اراضی ساخته شده‌ای که در محیط شهری در مجاورت فضای سبز قرار گرفته‌اند نیز به نسبت اراضی ساخته شده دورتر از فضای سبز میانگین دمای سطح پایین‌تری داشته و بعضاً در طبقه دمایی متوسط قرار می‌گیرند. این موضوع به اثر تعدیل‌کنندگی دمای سطح در مناطق ساخته شده توسط اراضی فضای سبز اشاره دارد. شدت اثرگذاری با مساحت اراضی فضای سبز در این مناطق در ارتباط است و با افزایش مساحت اراضی فضای

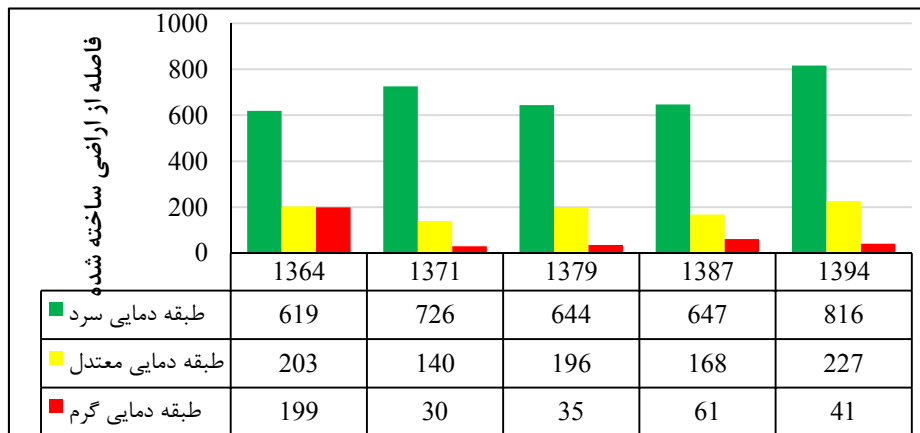


شکل ۱۱. نقشه فاصله از اراضی ساخته شده (متر)

الف



ب



شکل ۱۲. میانگین فاصله کاربری‌های (الف) زراعی و (ب) فضای سبز واقع شده در طبقات دمایی مختلف تا اراضی ساخته شده (متر)

۵. بحث و نتیجه‌گیری

انسان بدون توجه به عوامل اصلی محیط و حد تحمل آن سبب تخریب بیش از حد محیط‌زیست گذشته و بقا، رشد و سلامت نسل‌های فعلی و آینده را در معرض خطر قرار داده است. در ایران نیز در چهار دهه گذشته تغییرات کاربری اراضی و پوشش گیاهی با سرعت فزاینده و در بعضی جهات به صورت نامطلوب به وقوع پیوسته است و این باعث تشدید روند تخریب منابع محیطی و نابودی محیط‌زیست شده است. این مطالعه از طریق ترکیب داده‌های چند زمانه حرارتی و انعکاسی و به کارگیری الگوریتم‌های مربوط به علم سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در صدد پاسخگویی به سؤالات متعددی درباره تأثیر گسترش فیزیکی شهر بر تغییرات طبقات دمایی و تأثیر حرارتی اراضی ساخته‌شده و غیر ساخته‌شده بر یکدیگر است. بررسی تأثیر گسترش فیزیکی شهر بر تغییرات طبقات دمایی و تأثیر حرارتی اراضی ساخته‌شده و غیر ساخته‌شده بر یکدیگر می‌تواند در بسیاری از مسائل محیط‌زیستی از جمله نگرانی‌های مربوط به مصرف انرژی، دغدغه برای ایجاد محیط‌های شهری با کیفیت تر و اهمیت مواردی همچون منابع طبیعی و محیط‌زیست بر برنامه‌ریزی به منظور نیل به توسعه شهری پایدار کاربرد داشته باشد. برای این منظور از مجموع تصاویر چند زمانه لندست، بخار آب مودیس و مجموعه داده‌های زمینی مربوط به محدوده شهر بابل و اطراف آن برای بازه زمانی ۱۳۶۴-۱۳۹۴ استفاده شده است. روند تغییرات کاربری اراضی و دمای سطح منطقه در بازه زمانی مورد نظر بررسی شده است. سپس ارتباط بین تغییرات کاربری اراضی و تغییرات دمای سطح بررسی و تأثیر حرارتی سطح اراضی ساخته‌شده بر دمای سطح اراضی غیرساخته‌شده و بالعکس، بررسی و تجزیه و تحلیل شده است. نتایج نشان می‌دهد که ارتباط مستقیمی بین کاهش مساحت اراضی فضای سبز و زراعی با افزایش حرارت سطح در منطقه وجود دارد. کاربری ساخته‌شده در تمام سال‌ها دارای بیشترین میانگین دمای سطح است. اراضی

برای تمام سال‌ها، کاربری‌های اراضی واقع شده در طبقات دمایی گرم‌تر در میانگین فاصله کمتری از اراضی ساخته‌شده قرار دارند (شکل ۱۲). به عبارت دیگر در کاربری مشخص، مناطقی که در فاصله نزدیک‌تر به اراضی ساخته‌شده قرار دارند، میانگین دمای سطح بالاتری دارند و با دورتر شدن از اراضی ساخته‌شده منطقه، میانگین دمای مناطق آن کاربری خاص کاهش یافته و در طبقات دمایی پایین‌تر قرار می‌گیرند. این موضوع برای هر دو اراضی فضای سبز و زراعی منطقه در طول بازه زمانی مورد مطالعه صادق است. با توجه به شکل ۸ مشخص می‌شود که در سال‌های مختلف، طبقات دمایی مختلف، از هسته مرکزی شهر به صورت شعاعی قرار گرفته‌اند. طبقات دمایی گرم، معتدل و سرد به ترتیب از مرکز به سمت حاشیه قرار گرفته‌اند. برای نمونه در سال ۱۳۹۴ کاربری فضای سبز که در طبقه دمایی گرم قرار می‌گیرند در میانگین فاصله ۲۸ متری از اراضی ساخته‌شده و آن قسمتی از اراضی فضای سبز که در طبقه دمایی پایین قرار می‌گیرند در میانگین فاصله ۷۵۸ متری از اراضی ساخته‌شده قرار دارند. نتایج شکل (۱۲) نشان می‌دهد که شهر در تمام سال‌ها بر محیط اطراف خود تأثیر می‌گذارد و سبب افزایش دمای سطح مناطق اطراف خود می‌شود. تأثیر این شهر در مقیاس منطقه‌ای کاملاً مشخص و اثبات شده است (شکل ۱۲). حال با وجود تعداد زیادی شهرهای کوچک و بزرگ در سطح جهان و در نظر گرفتن تأثیر دمای سطح هر کدام از این شهرها بر دمای فضای پیرامون خود، می‌توان در مقیاس جهانی تأثیر این پدیده و در پی آن پدیده گرمایش جهانی را متصور شد. شایان ذکر است که پارک‌ها و فضاهای سبز با مساحت کم در محیط شهری به دلیل تأثیر گرفتن از مناطق با دمای بالای اطراف خود جزء طبقات دمایی بالا قرار می‌گیرند. فضاهای سبز با مساحت زیاد واقع شده در فضای اراضی ساخته‌شده شهری به دلیل تأثیر کمتری که از مناطق با دمای بالای اطراف خود می‌گیرند در طبقه دمایی معتدل قرار می‌گیرند.

زراعی دورتر از اراضی ساخته‌شده دمای بالاتری دارند. همچنین اراضی فضای سبزی که در محیط شهری قرار دارند تحت تأثیر دمای سطح بالای مناطق اطراف خود، دمای بالاتری به نسبت اراضی فضای سبز اطراف شهر دارند. اراضی فضای سبز در محیط شهری که دارای مساحت بالایی نیستند بیشتر تحت تأثیر قرار گرفته و در طبقه دمایی گرم طبقه‌بندی می‌شوند. از طرف دیگر اراضی ساخته‌شده در همسایگی اراضی فضای سبز و زراعی به سبب جذب گرمای محیط توسط این کاربری‌ها دمای سطح پایین‌تری به نسبت اراضی ساخته‌شده نزدیک‌تر به مرکز شهر دارند و در طبقه دمایی متوسط قرار می‌گیرند. به همین دلیل بالای ۸۰ درصد از اراضی ساخته‌شده‌ای که در طول بازه‌های زمانی ۸ ساله مورد مطالعه گسترش یافته‌اند به سبب همسایگی با کاربری‌های فضای سبز و زراعی در طبقه دمایی معتدل قرار می‌گیرند. سپس به مرور در دوره‌های زمانی بعدی به سبب گسترش اراضی ساخته‌شده جدید و از دست دادن خصوصیت همسایگی با اراضی فضای سبز و زراعی در طبقه دمایی گرم قرار می‌گیرند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که گسترش شهرها آثار منفی فراوانی به محیط پیرامون خود تحمیل می‌کنند. با تجمع این آثار برای شهرهای مختلف، در مقیاس جهانی با پدیده‌های زیست‌محیطی همچون پدیده گرمایش جهانی مواجه خواهیم شد که آثار منفی فراوانی بر کیفیت زندگی بشری به همراه دارد. از این رو برای کاهش آثار منفی این پدیده در سطح محلی، منطقه‌ای و جهانی، برنامه‌ریزی لازم برای مدیریت چگونگی گسترش شهرها، تغییرات کاربری اراضی، افزایش اراضی فضای سبز و آبی در محیط شهرها و مدیریت فعالیت‌های انسانی گرماساز به‌منظور توسعه شهری پایدار لازم و ضروری است. نتایج این پژوهش اهمیت برنامه‌ریزی و مدیریت برای حفظ اراضی کشاورزی و فضای سبز و جلوگیری از تبدیل آن‌ها به اراضی ساخته‌شده که سبب افزایش دمای سطح و آثار زیست‌محیطی منفی می‌شود را نمایان می‌سازد.

زراعی منطقه (شالیزار) به سبب رطوبت بسیار بالا، میانگین دمای سطح پایین‌تری نسبت به اراضی فضای سبز دارند. دمای سطح همه کاربری‌ها در منطقه، طی سی سال گذشته افزایش یافته است ولی افزایش دمای سطح برای کاربری ساخته‌شده دارای شیب بزرگ‌تری است. بیشترین تغییرات کاربری اراضی در منطقه، برای بازه زمانی ۱۳۶۴-۱۳۹۴ مربوط به تغییر کاربری زراعی و فضای سبز به کاربری ساخته‌شده در اطراف شهر به ترتیب به میزان ۷۴۰/۵۲ و ۴۷۲/۱۴ هکتار است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که تغییرات اراضی زراعی و فضای سبز به اراضی ساخته‌شده بیشترین تغییرات دمای سطح را در طول بازه زمانی ایجاد کرده و عدم تغییر در اراضی فضای سبز و زراعی منطقه نیز کمترین تغییرات دمای سطح را در پی دارد. بنابر دلایل فوق، بیشترین تغییرات دمای سطح منطقه در طول بازه زمانی مورد مطالعه در فاصله ۰-۸۰ متری و کمترین آن در فاصله دورتر از ۱۶۰۰ متری از اراضی ساخته‌شده سال ۱۳۶۴ اتفاق افتاده است. بیشترین مساحت مربوط به طبقات دمایی در تمام سال‌ها مربوط به طبقه دمایی متوسط بوده است که اراضی اطراف شهر و کاربری فضای سبز را پوشش می‌دهد. طبقه دمایی سرد بیشتر مربوط به اراضی دورتر از شهر و شامل اراضی زراعی است که با روند کاهش مساحت روبه‌رو هستند. همچنین طبقه دمایی گرم در نزدیکی هسته شهر و راه‌های خروجی از شهر شامل اراضی ساخته‌شده است که در این سال‌ها با روند افزایش مساحت روبه‌رو هستند. دمای بالای اراضی ساخته‌شده بر دمای سطح اراضی زراعی و فضای سبز همسایه خود تأثیر مستقیم می‌گذارد. نتایج بررسی و وضعیت اراضی زراعی و فضای سبز در طبقات دمایی مختلف نشان می‌دهد که مناطقی از اراضی فضای سبز و زراعی که در طبقه دمایی بالاتر قرار می‌گیرند به نسبت مناطقی از این اراضی که در طبقه دمایی پایین‌تری قرار می‌گیرند در میانگین فاصله نزدیک‌تر به اراضی ساخته‌شده واقع شده‌اند. به عبارت دیگر اراضی فضای سبز و زراعی که در فاصله نزدیک‌تر به اراضی ساخته‌شده قرار دارند به نسبت اراضی فضای سبز و

یادداشت‌ها

1. Land Surface Temperature (LST)
2. Lucknow
3. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)
4. Yangon
5. Nanjing
6. Universal Transverse Mercator (UTM)
7. Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes (FLAASH)
8. Fractional Vegetation Cover (FVC)
9. Single-Channel

منابع

- Baker, W. L. 1989. A review of models of landscape change. *Landscape ecology*, 2: 111-133.
- Brunsell, N. 2006. Characterization of land-surface precipitation feedback regimes with remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 100: 200-211.
- Chander, G., Markham, B. L. and Helder, D.L. 2009. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote sensing of environment*, 113: 893-903.
- Estoque, R.C., Murayama, Y. and Myint, S.W. 2017. Effects of landscape composition and pattern on land surface temperature: An urban heat island study in the megacities of Southeast Asia. *Science of the Total Environment*, 577: 349-359.
- Fan, F., Wang, Y. and Wang, Z. 2008. Temporal and spatial change detecting (1998–2003) and predicting of land use and land cover in Core corridor of Pearl River Delta (China) by using TM and ETM+ images. *Environmental monitoring and assessment*, 137, 127.
- Firozjaei, M.K., Kiavarz, M., Alavipanah, S.K., Lakes, T. and Qureshi, S. 2018. Monitoring and forecasting heat island intensity through multi-temporal image analysis and cellular automata-Markov chain modelling: A case of Babol city, Iran. *Ecological Indicators*, 91: 155-170.
- Guo, L., Liu, R., Men, C., Wang, Q., Miao, Y. and Zhang, Y. 2019. Quantifying and simulating landscape composition and pattern impacts on land surface temperature: A decadal study of the rapidly urbanizing city of Beijing, China. *Science of The Total Environment*, 654: 430-440.
- Jiménez-muñoz, J. C., Sobrino, J.A., Skoković D., Mattar, C. and Cristóbal, J. 2014. Land surface temperature retrieval methods from Landsat-8 thermal infrared sensor data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 11: 1840-1843.
- Jiménez- Muñoz, J. C. and Sobrino, J.A. 2003. A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108.
- Karimi firozjaei, M. and Kiavarz, M. 2018. Investigating the relationship between heat island intensity and biophysical characteristics differences between built-up and non-built-up regions (Case Study: Cities in East Mazandaran). *Journal of Geospatial Information Technology*, 6: 165-189.
- Karimi firozjaei, M., Kiavarz Mogaddam, M. and Alavipanah, S.K. 2017. Monitoring and predicting spatial-temporal changes heat island in Babol city due to urban sprawl and land use changes. *Journal of Geospatial Information Technology*, 5: 123-151.
- Karimi firozjaei, M., Kiavarz mogaddam, M., Alavipanah, S. and Hamzeh, S. 2018. Normalizing Satellite Images-Derived Land Surface Temperature Relative to Environmental Parameters Based on the Soil and Vegetation Energy Balance Equations. *Journal of Geomatics Science and Technology*, 7: 213-232.
- Mackey, C.W., Lee, X. and Smith, R. B. 2012. Remotely sensing the cooling effects of city scale efforts to reduce urban heat island. *Building and Environment*, 49: 348-358.
- Otukey, J.R. and Blaschke, T. 2010. Land cover change assessment using decision trees, support vector machines and maximum likelihood classification algorithms. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12, S27-S31.
- Panah, S., Mogaddam, M. K. and Firozjaei, M.K. 2017. Monitoring spatiotemporal changes of heat island in babol city due to land use changes. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 42.

- Rao, P.K. 1972. Remote sensing of urban "heat islands" from an environmental satellite. *Bulletin of the American meteorological society*, 53: 647-648.
- Santamouris, M. and Kolokotsa, D. 2015. On the impact of urban overheating and extreme climatic conditions on housing, energy, comfort and environmental quality of vulnerable population in Europe. *Energy and Buildings*, 98: 125-133.
- Schwarz, N., Schlink, U., Franck, U. and Großmann, K. 2012. Relationship of land surface and air temperatures and its implications for quantifying urban heat island indicators—An application for the city of Leipzig (Germany). *Ecological Indicators*, 18: 693-704.
- Sinch, P., Kikon, N. and Verma, P. 2017. Impact of land use change and urbanization on urban heat island in Lucknow city, Central India. A remote sensing based estimate. *Sustainable cities and society*, 32: 100-114.
- Sobrino, J. A., Jiménez-muñoz, J. C., Sòria, G., Romaguera, M., Guanter, L., Moeno, J., Plaza, A. and Martínez, P. 2008. Land surface emissivity retrieval from different VNIR and TIR sensors. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 46: 316-327.
- Wang, S., Ma, Q., Ding, H. and Liang, H. 2018a. Detection of urban expansion and land surface temperature change using multi-temporal landsat images. *Resources, Conservation and Recycling*, 128: 526-534.
- Wang, Y.-C., Hu, B.K., Myint, S.W., Feng, C.-C., Chow, W.T. and Passy, P.F. 2018b. Patterns of land change and their potential impacts on land surface temperature change in Yangon, Myanmar. *Science of The Total Environment*, 643: 738-750.
- Weng, Q., Firozjaei, M.K., Kiavarz, M., Alavipanah, S. K. and Hamzeh, S. 2019. Normalizing land surface temperature for environmental parameters in mountainous and urban areas of a cold semi-arid climate. *Science of The Total Environment*, 650: 515-529.
- Weng, Q., Firozjaei, M.K., Sedighi, A., Kiavarz, M. and Alavipanah, S. K. 2018. Statistical analysis of surface urban heat island intensity variations: A case study of Babol city, Iran. *GIScience & Remote Sensing*, 1-29.
- WU, J. 2014. Urban ecology and sustainability: The state-of-the-science and future directions. *Landscape and Urban Planning*, 125, 209-221.
- Xu, H., Chen, Y., Dan, S. and Qiu, W. Spatial and temporal analysis of urban heat Island effects in Chengdu City by remote sensing. *Geoinformatics, 2011 19th International Conference on, 2011. IEEE*, 1-5.
- Xunqiang, M., Chen, C., Fuqun, Z. and Hongyuan, L. Study on temporal and spatial variation of the urban heat island based on Landsat TM/ETM+ in central city and Binhai New Area of Tianjin. *Multimedia Technology (ICMT), 2011 International Conference on, 2011. IEEE*, 4616-4622.
- Zhang, Q. and Ban, Y. Evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in Beijing, China. *Urban Remote Sensing Event (JURSE), 2011 Joint, 2011. IEEE*, 357-360.