نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال پنجم، شماره سوم، پاییز 1396

Vol.5, No.3, Autumn 2017

123-151

پایش و پیش‌بینی شدت جزیره حرارتی شهر بابل با توجه به گسترش شهری و تغییرات کاربری اراضی در بازه زمانی 1394-1364

محمد کریمی فیروزجایی[1]، مجید کیاورز[2*] ، سید کاظم علوی پناه[3]

1- دانشجوی دکتری گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی دانشگاه تهران

2- استادیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی دانشگاه تهران

3- استاد گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی دانشگاه تهران

تاریخ دریافت مقاله: 1395/10/22 تاریخ پذیرش مقاله: 1396/04/11

چکیده

جزیره حرارتی شهری یکی از مهم‌ترین خطرات زیست محیطی مناطق شهری می‌باشد. استفاده از فناوری سنجش از دور به دلیل فراهم کردن دید یکپارچه، کم‌هزینه و سریع یک روش کارآمد برای مطالعه و پایش تغییرات محیطی محسوب می‌شود. هدف از این پژوهش بررسی فضایی-زمانی تغییرات شدت جزیره حرارتی در بازه زمانی 1394- 1364و پیش‌بینی تغییرات شدت جزیره حرارتی محدوده مورد مطالعه در شهرستان بابل می‌باشد. برای این منظور در این پژوهش از تصاویر چند زمانه لندست، محصول بخار آب مودیس و داده¬های زمینی استفاده شده است. برای محاسبه دمای سطح زمین از الگوریتم تک باندی و برای طبقه‌بندی تصاویر از الگوریتم بیشترین شباهت استفاده شده است. تغییرات کاربری اراضی و دمای سطح زمین بررسی و سپس رابطه بین تغییرات کاربری اراضی با دمای سطح نرمال شده تحلیل شد. با بهره‌گیری از میانگین و انحراف معیار تصاویر حرارتی نرمال شده، منطقه به پنج کلاس دمایی طبقه‌بندی و با استفاده از شاخص شدت جزیره حرارتی، میزان تغییرات جزیره حرارتی در طول بازه زمانی مورد مطالعه بررسی شده است. تغییر کاربری اراضی برای آینده با استفاده از مدل مارکوف بررسی و با توجه به آن تغییرات شدت جزیره حرارتی پیش‌بینی شده است. نتایج پژوهش نشان دهنده این است که تغییرات کاربری اراضی به نحوی بوده که اراضی ساخته‌شده با رشد 92 درصدی و اراضی کشاورزی با کاهش چشمگیری مواجه شده‌اند. روند تغییرات اراضی ساخته‌شده با روند تغییرات دمای سطح نرمال شده رابطه مستقیم دارد. طبقات دمایی بالا و بسیار بالا در نزدیکی هسته شهر و راه‌های خروجی از شهر قرار دارند که در طی این سال‌ها با روند افزایش مساحت روبه هستند. شاخص نسبت جزیره حرارتی در طی این دوره روند رو به رشدی داشته و مقدار این شاخص از 0,5 در سال 1364 به 0,67 در سال 1394 رسیده است. پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و فرایند تغییر شدت جزیره حرارتی برای منطقه مورد مطالعه نتایج نگران کننده‌ای را نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: پایش، مکانی-زمانی، کاربری اراضی، جزیره حرارتی شهری، بابل.

*نویسنده مکاتبه کننده: تهران- خیابان انقلاب- کوچه آذین- دانشکده جغرافیا

تلفن: 09123301922

Email: Kiavarzmajid@ut.ac.ir

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jgit.5.3.123]

1- مقدمه

طی دهه‌های گذشته سطح زمین دستخوش تغییرات فراوانی ناشی از فعالیت‌های انسانی ازجمله تغییرات کاربری اراضی و توسعه شهرها شده است[1]. این تغییرات گسترده انسانی، پیامدهای ناخواسته و ناخوشایندی همچون افت کیفی محیط زیستی را به‌همراه دارد که سرانجام به کاهش کیفیت زندگی منجر می‌شود [2، 3]. گرم‌تر شدن محیط شهری یکی از آثار ناآگاهانه توسعه شهری ناپایدار است که «جزیره حرارتی» نامیده می‌شود [4]. جزایر حرارتی شهری از معمول‌ترین پدیده‌های شهری‌اند که در آن‌ها برخی از مناطق شهری و به‌خصوص مراکز شهرها، چند درجه از مناطق اطراف گرم‌تر می‌شوند. از علل اصلی ایجاد جزیره حرارتی، جایگزین شدن پوشش طبیعی زمین با عوارض شهری همچون سنگفرش، ساختمان و سایر ساخت و سازهای شهری می‌باشد که اثرات خنک‌کنندگی سطح را از بین می‌برند. همچنین، ساختمان‌های بلند و خیابان‌های باریک جریان هوا را کاهش داده و هوای پیرامون را گرم‌تر می‌کنند. این عوامل منجر به شکل‌گیری پدیده جزیره حرارتی شهری می‌شوند [5، 6، 7 و 8]. علاوه بر آن، حرارت و آلودگی ناشی از وسایل نقلیه، صنایع و کارخانه‌های بزرگ، وسایل تهویه کننده هوا و دیگر منابع مربوط به فعالیت‌های انسانی گرمای هوا را افزایش داده و اثرات جزیره حرارتی را تشدید می‌کنند [9 و 10]. نخستین اثر مهم پدیده جزیره حرارتی شهری افزایش مصرف انرژی، آب و الکتریسیته و درنتیجه افزایش سرانه بار مالی به‌ویژه در ماه‌های گرم سال می‌باشد [11]. مسئله‌ی دوم اینکه پدیده جزیره حرارتی نمایانگر کمبود شدید فضای سبز شهری است. کمبود فضای سبز شهری معمولاً خود موجب بروز مشکلات دیگری در محیط شهری می‌شود. با توجه به روند افزایش جمعیت، نگرانی‌های مربوط به مصرف انرژی و دغدغه برای ایجاد محیط‌های شهری با کیفیت‌تر و اهمیت برنامه‌ریزی برای محیط شهری در دنیای امروز بررسی جزیره حرارتی شهری را مهم کرده است. دمای سطح زمین (LST[1]) یکی از پارامترهای کلیدی برای کنترل و ارزیابی فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی سطح زمین و یک عامل مهم برای مطالعه آب‌وهوا در مناطق شهری محسوب می‌شود [12]. داده‌های دمای ثبت‌شده توسط ایستگاه‌های سینپوتیک فاقد قدرت تفکیک مکانی مناسب می‌باشند. اما تصاویر سنجش از دور به‌دلیل پوشش وسیع 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، جزیره حرارتی و کاربری اراضی مناطق شهری و غیرشهری دارند [7، 13، 14 و 15]. از عوامل مؤثر بر دمای سطح، نوع کاربری اراضی منطقه می‌باشد. شناخت و بررسی کاربری اراضی در بررسی جزیره حرارتی شهری ضروری می‌باشد. ترکیب فن آوری سنجش از دور و مدل‌های پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی مانند سلول‌های خودکار مارکوف امکان مدل‌سازی روند تغییرات گذشته و استفاده از نتایج به‌دست آمده برای پیش‌بینی آینده را به خوبی فراهم کرده است [5، 16 و 17].

در طول دو دهه اخیر نیاز فراوان به اطلاعات دمای سطح زمین برای مطالعات محیطی و فعالیت‌های مدیریتی منابع زمین، سنجش از دور دمای سطح زمین را به یکی از موضوعات مهم علمی تبدیل کرده است [14]. نخستین مطالعاتی که کوشیدند با استفاده از داده‌های مادون قرمز حرارتی وضعیت حرارتی شهری را مطالعه کنند از داده‌های سنجنده *NOAA AVHRR* استفاده کردند [16، 18، 19 و 20]. قدرت تفکیک مکانی باند حرارتی برای تمام

[1] *Land Surface Temperatures*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jgit.5.3.123]

این مطالعات *1/1* کیلومتر بوده که فقط برای تهیه نقشه کوچک مقیاس دمای شهر مناسب می‌باشد. با استفاده از داده‌های مادون قرمز حرارتی ماهواره‌های لندست و استر امکان استخراج درجه حرارت سطح زمین و مطالعه دقیق‌تر جزایر حرارتی شهری فراهم شده و مطالعات متعددی در این زمینه انجام شده است [*10*, *15*, *21*, *22*, *23*, *24*, *25*, *26*, *27*, *28* و *29*]. پژوهش‌ها در این زمینه بیشتر روی الگوهای دمای سطح زمین و ارتباط آن‌ها با انواع کاربری-پوشش زمین در محیط شهری متمرکز بوده‌اند [*22*, *25*, *30*, *31*, *32*, *33*, *34*, *35*, *36* و *37*]. بررسی ارتباط بین *LST* و شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده (*NDVI*[1]) از اولین مطالعات در این حوزه بوده است [*19*, *20* و *38*]. در ادامه مطالعاتی درباره دیگر شاخص‌های بیوفیزیکی همچون کسر پوشش گیاهی(*FVC*[2]) و درصد سطوح نفوذناپذیر انجام شده است که نتایج نشان از ارتباط قوی بین این شاخص‌ها و دمای سطح زمین دارد [*10*, *15*, *26*, *31*, *39*, *40* و *41*]. در برخی از مطالعات الگوی توزیع مکانی فضای سبز شهری و سطوح نفوذناپذیر با استفاده از معیارهای چشم‌انداز بررسی و ارتباط آن‌ها با دمای سطح زمین تجزیه و تحلیل شده است [*10*, *24*, *25*, *26*, *42*, *43* و *44*]. پژوهش‌های متعددی در شهرهای مختلف جهان انجام گرفته که نتایج آن بیانگر این است که شهرنشینی باعث ایجاد تغییرات قابل ملاحظه‌ای بر روی پارامترهای هواشناسی و ویژگی‌های سطح زمین شده و به طبع آن تغییرات زیادی در وضع هوا و اقلیم محلی به‌وجود آورده است [*18*, *45* و *46*]. مطالعاتی نیز بر تأثیر جزیره حرارتی بر روی ساکنین و زندگی شهری تأکید داشته‌اند. از جمله سوبرینو و همکاران (*2013*) با بررسی جزیره حرارتی شهر مادرید، نقش آن را بر آسایش حرارتی شهروندان در طول روز و شب ارزیابی کردند. مو و همکاران (*2011*) برای شناسایی تغییرات فضایی-زمانی جزایر حرارتی از روش‌های آماری کلاسیک استفاده کردند. با توجه به این‌که تصاویر حرارتی دارای تغییرات فصلی و ماهانه هستند، لذا مقایسه مستقیم داده‌های مطلق دمای استخراج شده از تصاویر هیچ کمکی به پژوهشگران نمی‌کند. برای حل این مشکل ابتدا باید داده‌های تصاویر حرارتی نرمال (استاندارد) شوند. برخی از پژوهشگران برای نرمال‌سازی تصاویر چند زمانه از دو پارامتر میانگین و انحراف معیار و برخی از پارامترهای حداقل و حداکثر دمای هر تصویر استفاده کرده‌اند [*23*, *39*, *43*, *47* و *48*].

افزایش جمعیت شهر بابل در دهه‌های گذشته باعث افزایش ساخت و سازهای بی‌رویه و بی‌برنامه، تغییر در مدل فیزیکی شهر و گسترش آن در جهت‌های مختلف شده است. گسترش فیزیکی باعث ایجاد تغییرات زیادی در کاربری اراضی شهری و کاربری‌های کشاورزی اطراف شهر شده است. این موضوع مشکلاتی از قبیل ناسازگاری در کاربری‌ها، آشفتگی محیط شهری و افزایش دمای سطح را به همراه داشته است. لذا جهت انجام فرآیند برنامه‌ریزی، اهمیت مطالعه روی نحوه‌ی گسترش فیزیکی شهر، تغییرات کاربری اراضی و درنتیجه، روند تغییرات دمایی سطح ناشی از آن نمایان می‌گردد.

هدف از پژوهش حاضر بررسی و پیش‌بینی شدت جزیره حرارتی شهر بابل در بازه زمانی *1424-1364* می‌باشد. در همین راستا تغییرات کاربری اراضی و دمای سطح منطقه برای بازه زمانی *1394-1364* بررسی شده است. همچنین ارتباط تغییرات کاربری اراضی و تغییرات دمای سطح تجزیه و تحلیل شده است. درنهایت با پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی برای سال *2045*، دمای نسبی

[1] *Normalized Difference Vegetation Index*
[2] *Fraction Vegetation Cover*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]
[DOI: 10.29252/jgit.5.3.123]

سطح منطقه و درنتیجه شدت جزیره حرارتی برای این سال مدل‌سازی شده است.

2-مواد و روش

در این بخش به معرفی داده‌های استفاده شده و روش تحقیق پرداخته می‌شود.

2-1- داده‌ها

در مطالعه حاضر از تصاویر ماهواره‌ای، لندست 5، لندست 7 و لندست 8 استفاده شده است. این تصاویر زمین مرجع شده و در سیستم تصویر UTM در ناحیه N39 قرار دارند. تصاویر مذکور در سایت زمین‌شناسی امریکا در دسترس می‌باشند. همچنین به‌منظور ارزیابی صحت هندسی تصاویر حاضر و تهیه داده‌های آموزشی مورد استفاده در عملیات طبقه‌بندی از داده‌های جمع‌آوری شده طی بازدید میدانی و نقشه‌های توپوگرافی تهیه شده توسط سازمان نقشه‌برداری و شهرداری شهر بابل استفاده شده است. برای تکمیل پارامترهای ورودی برای تهیه نقشه دمای سطح از تصاویر ماهواره‌ای از محصول بخار آب ماهواره مودیس و داده دمای هوای تهیه شده توسط سازمان هواشناسی استان مازندران استفاده شده است. داده‌های مورد استفاده در پژوهش در جدول (1) نشان داده شده است.

جدول 1: تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های توپوگرافی مورد استفاده

نوع داده	ماهواره (سنجنده)	قدرت تفکیک/مقیاس	تاریخ
تصاویر ماهواره‌ای (روز)	لندست 5 (TM)	30 متر	1364/03/09
تصاویر ماهواره‌ای (روز)	لندست 5 (TM)	30 متر	1371/03/28
تصاویر ماهواره‌ای (روز)	لندست 7 (ETM+)	30 متر	1380/03/13
تصاویر ماهواره‌ای (روز)	لندست 5 (TM)	30 متر	1387/04/10
تصویر ماهواره‌ای (روز)	لندست 8	30 متر	1394/02/27
تصویر ماهواره‌ای (شب)	لندست 7 (ETM+)	30 متر	1380/04/05
تصویر ماهواره‌ای	لندست 8	30 متر	1394/09/20
دمای هوا	ایستگاه زمینی	---	1364-1394
بخار آب	مودیس/ایستگاه زمینی	5000 متر	1364-1394

لازم به ذکر است که تصاویر تابستان به نحوی انتخاب شده‌اند که از لحاظ موقعیت زمانی در سال نزدیک به یکدیگر باشند همچنین بررسی‌های لازم درباره شرایط جوی در تاریخ‌های مورد نظر صورت گرفته و مشخص شده که حداقل 4 روز قبل از تاریخ‌های انتخابی در منطقه مورد مطالعه بارندگی وجود نداشته است.

2-2- روش تحقیق

در این بخش به روش تحقیق به کارگرفته شده شامل پیش پردازش، طبقه بندی، پیشبنی تغییرات کاربری و ... پرداخته می‌شود.

2-2-1- پیش‌پردازش

به‌منظور کنترل کیفیت داده‌ها و آگاهی از وجود خطاهای هندسی و رادیومتری داده‌ها مورد بررسی اولیه قرار گرفتند. نظر به اهمیت دقت تصحیح هندسی بر صحت نتایج آشکارسازی

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]
[DOI: 10.29252/jgit.5.3.123]

تغییرات، تصاویر باید کاملاً از نظر هندسی بر یکدیگر منطبق باشند. قبل از شروع پردازش‌ها و مقایسه‌های تصاویر مذکور، با توجه به زمین مرجع بودن این تصاویر، تصحیح هندسی به روش ثبت تصویر به نقشه انجام شد. سپس با توجه به اهمیت تأثیر اثرات رادیومتریکی و جوی بر نتایج نهایی بررسی تغییرات کاربری اراضی و محاسبه دمای سطح، تمام تصاویر با استفاده از الگوریتم تصحیح اتمسفری *FLAASH* تصحیح شدند. این الگوریتم از مدل عبور اتمسفری *MODTRAN4* 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.

2-2-2- طبقه‌بندی تصاویر و ارزیابی تغییرات

پس از دریافت تصاویر ماهواره‌ای جهت انتخاب ترکیب باندی بهینه برای طبقه‌بندی از ضریب شاخص مطلوبیت استفاده شده است. این شاخص یک شاخص آماری است که اساس آن انحراف معیار و ضریب همبستگی بین باندها می‌باشد. ترکیب باندی که ضریب شاخص مطلوبیت بالاتری داشته باشد دارای اطلاعات بالاتری است [*49*]. با در نظر گرفتن تفکیک‌پذیری باندها و ضریب شاخص مطلوبیت، باندهای مناسب برای طبقه‌بندی انتخاب شدند. برای تصاویر *TM* ، *ETM+* باندهای *7،4،1* و برای تصاویر لندست *8* باندهای *7،5،2* مورد استفاده قرار گرفتند.

نوع طبقه‌های کاربری اراضی موجود در محدوده مورد مطالعه با توجه به تسلط کامل نگارنده بر منطقه، بازدیدهای میدانی و تفسیر چشمی تصاویر ماهواره‌ای مشخص شدند. این طبقه‌ها شامل اراضی ساخته‌شده، زراعی، فضای سبز و آبی می‌باشند.

پیش از طبقه‌بندی نظارت‌شده‌ی تصاویر، بایستی داده‌های آموزشی به دقت انتخاب شوند. هدف از عملیات آموزشی آن است که به یک مجموعه آماری، که بیانگر الگوی طیفی پوشش زمینی باشد دست یابیم. تعریف اشتباه کلاس‌های موردنیاز توسط داده‌های آموزشی، بر کل روند طبقه‌بندی با نظارت تأثیر گذاشته و موجب طبقه‌بندی اشتباه تصویر می‌شود [*50*]. در این مرحله، با استفاده از تفسیر چشمی و اطلاعات نگارنده از کاربری‌های منطقه با توجه به بازدیدهای میدانی متعدد اقدام به تهیه‌ی داده‌های آموزشی برای هر چهار طبقه جهت استفاده در عملیات طبقه‌بندی نظارت‌شده گردید.

در این تحقیق، از روش بیشترین شباهت برای طبقه‌بندی تصاویر استفاده شده است. در این روش بعد از ارزیابی احتمالات در هر کلاس، پیکسل‌ها به کلاس‌هایی که بیشترین احتمال را دارند اختصاص می‌یابند [*50*].

پس از پایان عملیات طبقه‌بندی تصاویر، دقت طبقه‌بندی با استفاده از نقشه توپوگرافی *1:25000* منطقه ارزیابی شد. درنهایت، پس از ارزیابی دقت طبقه‌بندی و تائید معنی‌دار بودن خطاها، مساحت مربوط به کاربری‌ها در تمام سال‌ها استخراج گردید. جهت پی بردن به تغییرات حادث شده در مقطع زمانی مورد مطالعه، تصاویر طبقه‌بندی شده مورد مقایسه قرار گرفتند. برای بررسی و تحلیل دقیق تغییرات، از مدل کراس‌تب استفاده شده است. در این مدل هم محاسبه تعداد پیکسل‌های که بین دو تاریخ تصویربرداری، تغییریافته امکان‌پذیر شده و هم می‌توان ماهیت تغییرات اراضی را مشخص کرد.

2-2-3- پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی

جهت پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی، از مدل سلول‌های خودکار-مارکوف استفاده شده است [*51*]. این مدل دو بخش اصلی، مدل زنجیره‌ی مارکوف و مدل سلول‌های خودکار را شامل می‌شود. در مدل زنجیره‌ی مارکوف، همواره از دو نقشه رستری استفاده می‌شود که ورودی‌های مدل نامیده می‌شوند. علاوه بر این دو نقشه، فاصله زمانی بین دو تصویر و

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jgit.5.3.123]

فاصله زمانی پیش‌بینی نیز در مدل در نظر گرفته می‌شود. بر اساس احتمال شرطی قانون بیز، پیش‌بینی تغییر کاربری اراضی در مدل مارکوف با استفاده از رابطه (1) محاسبه می‌شود [52].

رابطه (1)
$$s(t+1)=p_{ij}\times s(t)$$

در رابطه (1)، s(t) و s(t + 1) حالت‌های سیستم در زمان t و t + 1 هستند و p_{ij} ماتریس احتمال انتقال در یک حالت است که از طریق رابطه (2) محاسبه می‌شود.

رابطه (2)
$$p_{ij}=\begin{bmatrix} p_{11} & \cdots & p_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n1} & \cdots & p_{nn} \end{bmatrix}$$
$$(0\le p_{ij}\le 1 \text{ and } \sum_{j=1}^{N} p_{ij}=1,\ (i,j=1,2,\ldots,n))$$

خروجی مدل نیز شامل احتمالات تبدیل وضعیت، ماتریس مساحت‌های تبدیل‌شده هر کلاس و درنهایت تصاویر احتمالی شرطی برای تبدیل کاربری‌های مختلف است [51].

در مدل زنجیره مارکوف، اگرچه احتمالات انتقال محاسبه شده در هر کاربری دارای دقت زیادی است، ولی این مدل فاقد هرگونه اطلاعات وابستگی مکانی است [53]. به‌همین دلیل از مدل شبکه خودکار برای اضافه کردن مشخصه مکانی به مدل استفاده می‌شود. شبکه خودکار، عاملی است که توانایی تغییر وضعیتش را بر اساس به‌کارگیری قانونی که وضعیت جدید را مطابق با وضعیت قبلی و وضعیت همسایگانش نشان می‌دهد داراست. از فیلتر شبکه خودکار برای توسعه یک فاکتور وزن‌دهی- مجاورت مکانی برای تغییر وضعیت سلول‌ها بر اساس وضعیت همسایه‌اش استفاده خواهد شد؛ بنابراین در مدل سلول‌های خودکار-مارکوف با استفاده از ماتریس انتقال مساحت، نقشه شبیه‌سازی شده کاربری اراضی برای آینده به‌دست خواهد آمد [2 و 53]. برای ارزیابی اعتبار مدل‌سازی، نقشه‌ی حاصل شده از مدل در یک زمان خاص معمولاً با نقشه واقعی مربوط به همان زمان مقایسه می‌شود [54]. اگر اختلاف مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی برای کاربری‌ها کمتر از 8 درصد باشد مدل سلول‌های خودکار-مارکوف قابلیت مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در منطقه را دارد [54]. در پژوهش حاضر برای ارزیابی قابلیت مدل سلول‌های خودکار-مارکوف برای پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی از نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های 1364 و 1380 برای پیش‌بینی نقشه کاربری اراضی سال 1394 استفاده شده است. در نهایت اختلاف مساحت کاربری‌های اراضی نقشه کاربری اراضی پیش‌بینی شده سال 1394 با استفاده از مدل سلول‌های خودکار مارکوف و نقشه کاربری اراضی 1394 حاصل از طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای بررسی شده است.

2-2-4- دمای سطح

در این بخش به معرفی روشهای محاسبه دمای سطح پرداخته می‌شود.

2-2-4-1- محاسبه دمای درخشندگی

برای محاسبه دمای درخشندگی از اطلاعات باند حرارتی سنجنده TIRS استفاده می‌شود. جهت دستیابی به دمای درخشندگی، ابتدا مقدار رقومی هر پیکسل به کمک مقادیر کالیبراسیون داده شده به انرژی طیفی ثبت شده در سنجنده تبدیل می‌شود. برای تبدیل مقدار رقومی هر پیکسل در تصاویر خام به انرژی طیفی ثبت شده در سنجنده برای تصاویر لندست 8 از رابطه (3) و برای TM و +ETM از رابطه (4) استفاده می‌شود [55].

رابطه (3)
$$L_{\lambda}= ML * Q_{cal}+A_L$$

در این رابطه، L_{λ} انرژی طیفی ثبت شده در سنجنده $[W/(m^2.sr.\mu m)]$، ML ضریب تبدیل ضربی، Q_{cal} ارزش

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]
[DOI: 10.29252/jgit.5.3.123]

پیکسل (DN) تصویر خام حرارتی، A_L ضریب تبدیل جمعی می‌باشد.

رابطه (4) $$L_\lambda=\left(\frac{L_{max}-L_{min}}{Q_{cal\ max}-Q_{cal\ min}}\right)*Q_{cal}+L_{min}$$

در رابطه (4)، L_λ انرژی طیفی ثبت شده در سنجنده $[W/(m^2.sr.\mu m)]$، Q_{cal} ارزش پیکسل (DN) تصویر خام حرارتی، $Q_{cal\ min}$ حداقل ارزش پیکسل که برابر است با 1، $Q_{cal\ max}$ حداکثر ارزش پیکسل که برابر است با 255 و L_{min} و L_{max} حداقل و حداکثر انرژی طیفی ثبت شده در سنجنده $[W/(m^2.sr.\mu m)]$ می‌باشند.

بعد از تبدیل ارزش پیکسل به انرژی طیفی، دمای درخشندگی ثبت شده در سنجنده از رابطه (5) محاسبه می‌گردد [55].

رابطه (5) $$BT=\frac{K_2}{\mathrm{Ln}(\frac{K_1}{L_\lambda}+1)}$$

در رابطه (5)، BT دمای درخشندگی ثبت شده در سنجنده بر حسب کلوین (K)، L_λ انرژی طیفی ثبت شده در سنجنده بر حسب ($W/(m2.sr.\mu m)$)، K_2 ضریب ثابت کالیبراسیون اول برحسب ($W/(m2.sr.\mu m)$)، K_2 ضریب ثابت کالیبراسیون دوم بر حسب کلوین می‌باشند.

2-2-4-2-توان تشعشی

توان تشعشی یکی از خواص مهم یک پدیده و مواد است. توان تشعشی ، توانایی ساطع انرژی یک جسم واقعی نسبت به جسم سیاه در دمای یکسان است [14 و 56]. برای محاسبه دمای سطح زمین ابتدا باید توان تشعشی سطح زمین محاسبه شود. برای محاسبه توان تشعشی سطح زمین از روش جیمز و سوبرینو استفاده شده است. در این روش توان تشعشی سطح زمین با استفاده آستانه‌گذاری بر شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده $NDVI$ و کسر پوشش گیاهی به دست می‌آید. شاخص $NDVI$ از رابطه (6) به‌دست می‌آید [14].

رابطه (6) $$NDVI=\frac{\rho_{nir}-\rho_{red}}{\rho_{nir}-\rho_{red}}$$

ρ_{nir} و ρ_{red} به ترتیب بازتابندگی در باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز می‌باشد. مقادیر این شاخص بین 1- و 1+ می‌باشد. کسر پوشش گیاهی با استفاده از رابطه (7) محاسبه می‌شود.

رابطه (7) $$FVC=\left(\frac{(NDVI-NDVI_s)}{(NDVI_v-NDVI_s)}\right)^2$$

در این رابطه، $NDVI_v$ مربوط به پوشش گیاهی متراکم و $NDVI_v$ مربوط به خاک خشک است. با به‌دست آوردن کسر پوشش گیاهی، توان تشعشی محاسبه می‌شود. برای باند 10 لندست 8 از رابطه (8) برای محاسبه توان تشعشی استفاده می‌شود [14 و 56].

رابطه (8)

$$IF\ FVC=0 \quad Then \quad LSE=0/979-0/046\rho_{red}$$
$$IF\ 0<FVC\leq 1 \quad Then \quad LSE=0/971(1-FVC)+0$$
$$IF\ NDVI<0 \quad Then \quad LSE=0/991$$

در رابطه (7)، ρ_{red} بازتابندگی باند قرمز و FVC کسر پوشش گیاهی می‌باشد. برای محاسبه دمای سطح منطقه از الگوریتم محاسبه دمای سطح تک باندی استفاده شده است. این الگوریتم توسط جیمنز و سوبرینو (2003) پیشنهاد شده است. رابطه کلی ارائه شده برای محاسبه دمای سطح با استفاده از این الگوریتم به‌صورت رابطه (9) می‌باشد.

رابطه (9) $$LST=\gamma\left[\frac{1}{\varepsilon}(\psi_1 L_{sen}+\psi_2)+\psi_3\right]+\delta$$

در این معادله LST دمای سطح، L_{sen} میزان انرژی ثبت‌شده در سنجنده برای باند حرارتی، ε میزان توان تشعشی مربوط به طول موج باند حرارتی مورد استفاده، γ و δ دو پارامتر وابسته به تابع پلانک هستند که به‌صورت رابطه‌های (10 و 11) محاسبه می‌شود. همچنین ψ_1، ψ_2 و ψ_3 توابع اتمسفری هستند که برای لندست 8 از طبق رابطه (12) محاسبه می‌شود.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jgit.5.3.123]

$$\gamma=\frac{T_{sen}^{\ 2}}{b_{\lambda}L_{sen}}$$ رابطه (10)

$$\delta=-\gamma\times L_{sen}+T_{sen}$$ رابطه (11)

رابطه (12)

$$\begin{cases}\psi_1=0/04019W^2+0/02916W+1/01523\\ \psi_2=-0/38333W^2-1/50294W-0/20324\\ \psi_3=0/00918W^2+1/36072W-0/27514\end{cases}$$

که در این رابطه‌ها، T_{sen} دمای درخشندگی ثبت‌شده در سنجنده، L_{sen} میزان انرژی ثبت‌شده در سنجنده برای باند حرارتی 10، b_{λ} ضریب ثابتی است که برای باند 10 لندست 8 برابر با 1324 درجه کلوین در نظر گرفته می‌شود. W میزان بخار آب موجود در اتمسفر که با استفاده از محصول بخار آب مودیس برای تاریخ موردنظر به‌دست می‌آید.

2-2-4-3- ارزیابی دقت دمای سطح به‌دست آمده

دقت دمای سطح به‌دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از مدل‌های موجود باید ارزیابی گردد. با توجه به ارتباط بین دمای سطح زمین و دمای هوا که قبلاً توسط برخی از پژوهشگران انجام شده است، می‌توان دقت دمای سطح به‌دست آمده را به‌تقریب ارزیابی کرد. یکی از ساده‌ترین و مناسب‌ترین مدل‌های خطی به‌صورت رابطه (13) پیشنهاد شده است.

$$T_a=14/6+0/44\times LST$$ رابطه (13)

T_a دمای هوا در زمان عبور ماهواره و LST دمای سطح زمین می‌باشد.

لازم به ذکر است که برای ارزیابی دقیق‌تر دمای سطح حاصل شده از تصاویر ماهواره‌ای حتماً باید در هنگام عبور ماهواره یک گروه کارشناس دمای سطح منطقه را در چند نقطه از منطقه مورد مطالعه را با دقت بالا اندازه‌گیری کرده و نتایج حاصل با دمای استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای مقایسه شود.

2-2-5-پیش‌بینی نقشه دمای سطح زمین

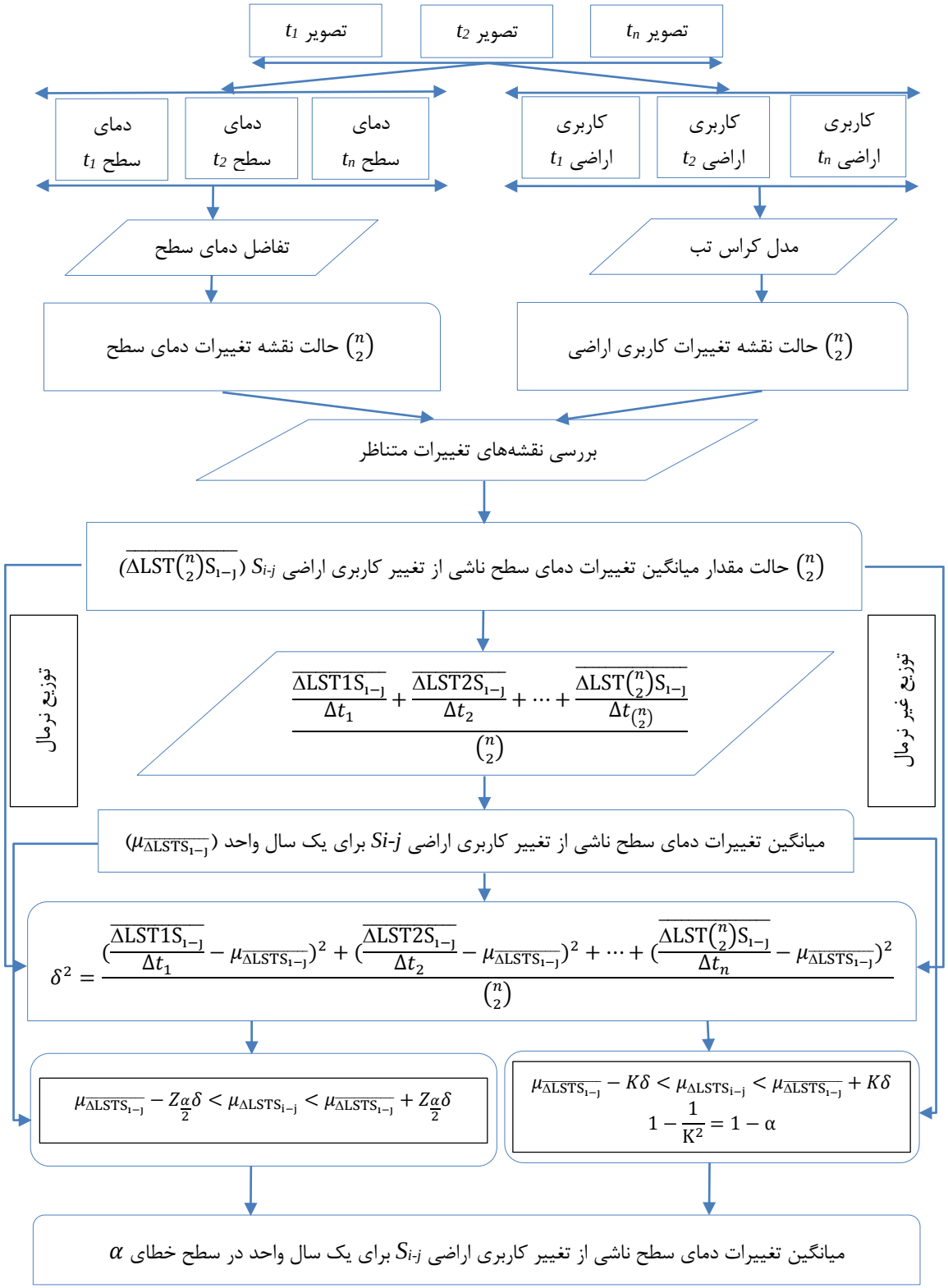
برای پیش‌بینی دمای سطح منطقه از روند تغییرات کاربری اراضی و تغییرات دمای سطح ناشی از آن در 30 سال گذشته استفاده شده است. میزان تغییرات دمای سطح برای کاربری‌های مختلف در بازه‌های زمانی متفاوت بررسی شده است. تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر دمای سطح زمین نیز به‌صورت کامل برای بازه‌های زمانی مختلف تجزیه تحلیل شده است. با توجه به آن میانگین تغییرات دمای سطح ناشی از تغییر کاربری اراضی خاص برای یک سال واحد به‌صورت مدل پیشنهادی (1) محاسبه خواهد شد.

در نهایت با استفاده از نقشه کاربری اراضی پیش‌بینی شده برای سال t_{n+1} و نقشه تغییرات کاربری اراضی بین سال‌های t_{n+1}-t_n و اعمال نتایج بدست آمده از مدل پیشنهادی (1) نقشه دمای سطح سال t_{n+1} با توجه به نقشه دمای سطح سال t_n به‌دست آمد. مدل پیشنهادی برای پیش‌بینی نقشه دمای سطح منطقه برای سال t_{n+1} به‌صورت شکل (2) نشان داده شده است.

برای ارزیابی کارایی مدل پیشنهادی، نقشه دمای سطح سال‌های 1387 و 1394 به‌صورت نسبی پیش‌بینی شده است. برای این منظور نقشه‌های تغییرات کاربری اراضی بازه‌های زمانی 1394-1364 و 1378-1371، نقشه‌های دمای سطح سال‌های 1364 و 1379 و نتایج بررسی تغییرات دمای سطح ناشی از تغییرات کاربری اراضی (شکل (1)) مطابق شکل (2) با یکدیگر ادغام و نقشه دمای سطح سال‌های 1387 و 1394 به صورت نسبی پیش‌بینی شده است. در نهایت صحت نقشه‌های حاصل شده با استفاده از نقشه‌های دمای سطح بدست آمده از تصاویر ماهواره‌ای ارزیابی شده است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]

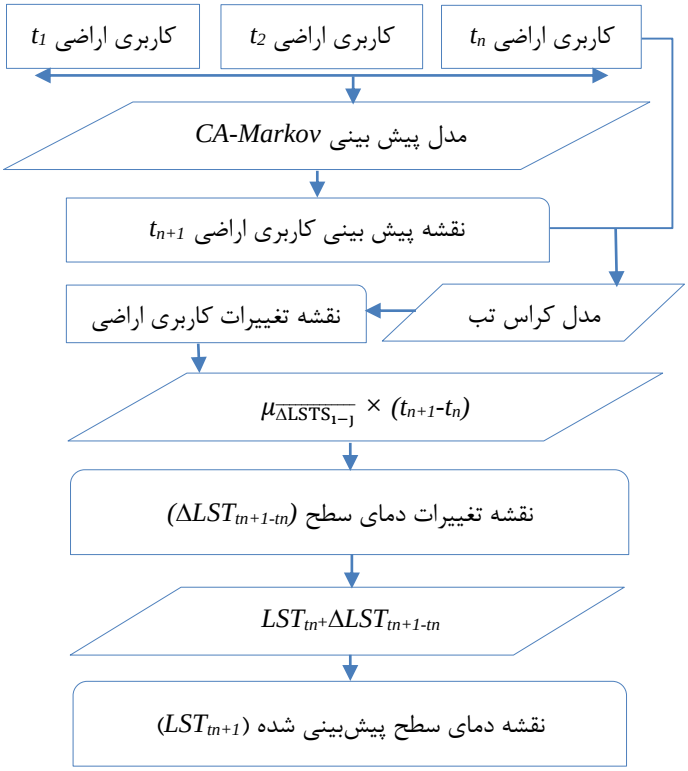
[DOI: 10.29252/jgit.5.3.123]



شکل *1*: میانگین تغییرات دمای سطح ناشی از تغییر کاربری اراضی خاص برای یک سال واحد

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jgit.5.3.123]



شکل 2: مدل کلی پیشنهادی برای پیش‌بینی نقشه دمای سطح منطقه

2-2-6-شدت جزیره حرارتی

جهت بررسی تغییرات مکانی-زمانی جزیره حرارتی، داده‌های دمای سطحی منطقه با روش‌های آماری تجزیه و تحلیل شدند. نرمال‌سازی دمای سطح زمین، امکان مقایسه و بررسی بهتر و دقیق‌تر توزیع مکانی دمای سطح به‌دست آمده از تصاویر با شرایط متفاوت فصلی و اتمسفری را در یک دوره زمانی ممکن می‌سازد. در این پژوهش با استفاده از دو پارامتر حداقل و حداکثر دما همه تصاویر نرمال شدند [4، 23، 43، 48]. برای نرمال‌سازی تصاویر از رابطه (14) استفاده شده است.

$$NLST_i = \frac{LST_i - LST_{min}}{LST_{max} - LST_{max}} \quad \text{رابطه (14)}$$

در رابطه (13)، $NLST$ مقدار دمای سطح نرمال شده پیکسل i، LST_i مقدار مطلق پیکسل i، LST_{min} حداقل دمای هر تصویر، LST_{max} حداکثر دمای هر تصویر می‌باشد.

سپس تصاویر نرمال شده با استفاده از مقدار میانگین و انحراف معیار خود به پنج طبقه دمایی طبقه‌بندی شدند [17، 43 و 47]. در جدول (2)، T_{mean} بیانگر میانگین دمای هر یک از تصاویر نرمال شده و std نشان دهنده مقدار انحراف معیار هریک از تصاویر نرمال شده می‌باشد.

جدول 2: نحوه طبقه‌بندی دمای سطحی به پنج طبقه دمایی

طبقه دما	دامنه مربوط به هر طبقه
دمای بسیار پایین	$T \leq T_{mean} - 1.5std$
دمای پایین	$T_{mean} - 1.5std < T \leq T_{mean} - std$
دمای متوسط	$T_{mean} - std < T \leq T_{mean} + std$
دمای بالا	$T_{mean} + std < T \leq T_{mean} + 1.5std$
دمای بسیار بالا	$T > T_{mean} + 1.5std$

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]
[DOI: 10.29252/jgit.5.3.123]

پس از طبقه‌بندی داده‌های دمای سطحی هر یک از تصاویر، مقدار مساحت هر یک از طبقات دمایی محاسبه و روند تغییرات مساحت هر طبقه دمایی در بازه زمانی مورد مطالعه بررسی شده است. هدف اصلی از فرایند نرمال‌سازی و سپس طبقه‌بندی داده‌های دمای سطحی آن است که با استفاده از این روش آماری تغییرات به وقوع پیوسته در توزیع آماری داده‌های دما را شناسایی کرده و به واسطه آن نحوه تغییرات جزایر حرارتی را کمی نمود.

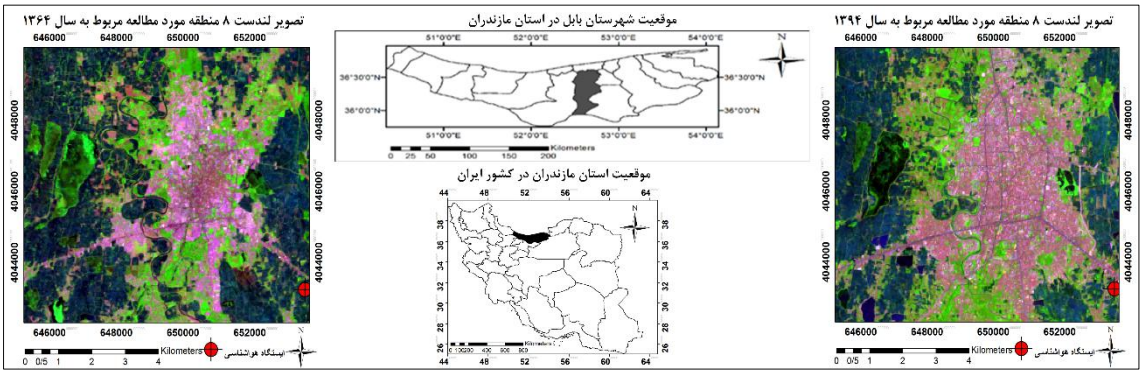
جهت بررسی تغییرات شدت جزیره حرارتی منطقه بین سال‌های *1364* تا سال *1394* و تصویر پیش‌بینی سال *1424* از شاخص نسبت جزیره حرارتی استفاده شده است. استفاده از این شاخص مقایسه شدت جزیره حرارتی را با استفاده تصاویر چند زمانه با تفاوت ماهانه و فصلی را ممکن می‌کند [*47*]. در این روش لازم است تا ابتدا با استفاده از رابطه (*14*) داده‌ها نرمال شوند. سپس شدت جزیره حرارتی از طریق رابطه (*15*) محاسبه می‌شود [*47*].

$$URI = \frac{1}{100m}\sum_{i=1}^{n} W_i P_i \qquad \text{رابطه (15)}$$

در این رابطه *URL* شاخص نسبت جزیره حرارتی، m تعداد طبقات دمای نرمال شده، n تعداد طبقات دمایی که بالاتر از طبقه دمای متوسط قرار دارند. W_i مقدار وزن طبقات دمایی بالاتر از نرمال هستند را نشان می‌دهد که با توجه به شماره طبقه وزن‌ها لحاظ می‌شود. P_i مقدار مساحت طبقات دمایی بالاتر از نرمال واقع در اراضی ساخته‌شده به کل مساحت شهر را نشان می‌دهد.

3- محدوده‌ی مورد مطالعه

محدوده‌ی مورد مطالعه، شامل محدوده‌ای از شهر بابل و حومه آن با مساحت تقریبی *6666/66* هکتار در عرض *4049865*، *4042155* متر شمالی و طول *645045*، *633595* متر شرقی ناحیه *N39* سیستم تصویر *UTM* می‌باشد. بابل معروف به شهر بهارنارنج یکی از شهرهای استان مازندران و مرکز شهرستان بابل، پرجمعیت‌ترین شهرستان مازندران و دومین شهرستان پرجمعیت شمال ایران می‌باشد. این شهر در حدفاصل دریا و رشته‌کوه البرز و در فاصله ۱۵ کیلومتری دریای خزر و ۲۱۰ کیلومتری شمال‌شرقی تهران، واقع شده است. ارتفاع این شهر حدود ۲ متر از سطح دریاهای آزاد پایین‌تر است. شکل (*3*) موقعیت محدوده مورد مطالعه را نشان داده شده است.



شکل *3*: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در کشور ایران، استان مازندران و ترکیب رنگی کاذب برای تصویر لندست *8* سال *1394* و لندست *5* سال *1364* منطقه مورد مطالعه

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]
[DOI: 10.29252/jgit.5.3.123]

4- بحث و نتایج

در این بخش به ارائه نتایج و بحث در مورد آنها پرداخته می‌شود.

4-1- نتایج طبقه‌بندی تصاویر

به‌طور کلی با توجه به شرایط خاص اکولوژیکی، حاصلخیزی خاک و عبور رودخانه بابلرود از کنار شهر بابل اراضی کشاورزی و باغات در محدوده مورد مطالعه از دوران گذشته توسعه یافته بودند. ولی در چندین سال اخیر به دلیل افزایش جمعیت مناطق شهری و درنتیجه آن گسترش فیزیکی شهر این کاربری‌ها را به‌خطر انداخته است. نتایج تصحیح هندسی تصاویر قبل از طبقه‌بندی با خطای کمتر از 0/5 پیکسل انجام شده است. نتایج حاصل از ارزیابی دقت طبقه‌بندی در جدول (3) نشان داده شده است.

جدول 3: ارزیابی دقت نقشه‌های کاربری اراضی تهیه‌شده

سال	1364	1371	1379	1387	1394
ضریب کاپا	0/91	0/89	0/92	0/94	0/9
صحت کلی	92/2	90/1	93	94/6	92

جهت پیش‌بینی میزان تغییرات کاربری اراضی برای آینده از مدل سلول‌های خودکار-مارکوف استفاده شده است. برای ارزیابی کارایی مدل سلول‌های خودکار-مارکوف برای پیش‌بینی کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه با استفاده از نقشه کاربری اراضی سال 1364 و 1380 نقشه کاربری اراضی سال 1394 پیش‌بینی شده است و اختلاف مساحت هر یک از کاربری‌های اراضی نقشه پیش‌بینی شده و طبقه‌بندی شده تصویر ماهواره‌ای 1394 بررسی شده است. نتایج ارزیابی دقت پیش‌بینی با مدل سلول‌های خودکار-مارکوف به‌صورت جدول شماره (4) نشان داده شده است.

جدول 4: ارزیابی دقت پیش‌بینی با مدل زنجیره‌ای مارکوف برای کاربری اراضی سال 1394 (هکتار)

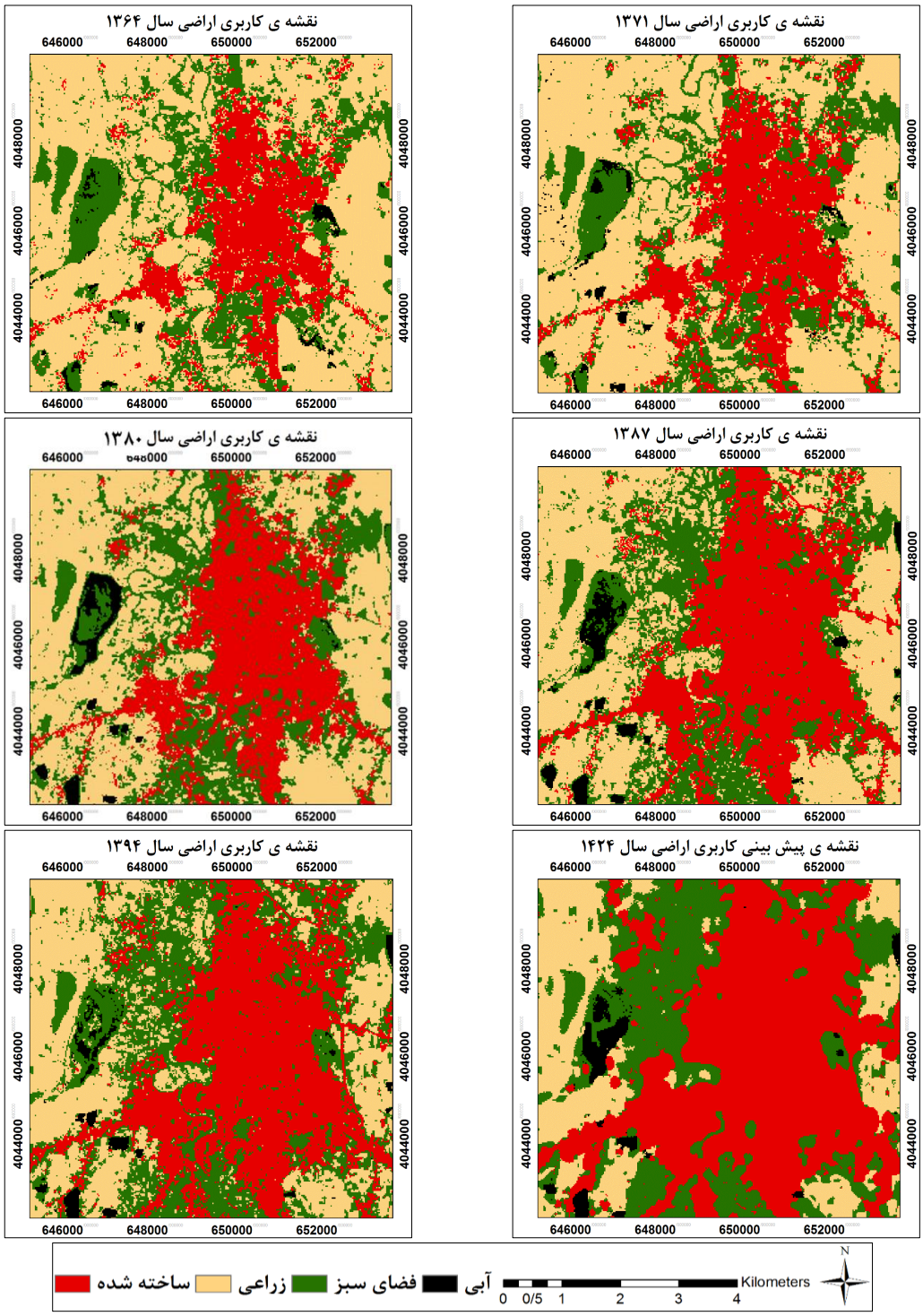
کاربری اراضی	ساخته‌شده	زراعی	فضای سبز	آبی
پیش‌بینی برای سال 1394	2396/12	2223/24	2001/72	145/58
مساحت در نقشه سال 1394	2435/13	2073/69	2036/52	121/32
اختلاف مساحت	139/01	149/55	134/35	24/26
درصد اختلاف	1/6	7/2	6/6	19/9

نتایج نشان می‌دهد که اختلاف‌های طبقات مختلف متفاوت است و بزرگی آن‌ها به غیر از کاربری آبی کمتر از 8 درصد است. نتایج نشان‌دهنده قابلیت و مفید بودن بهره‌گیری از مدل سلول‌های خودکار-مارکوف در پیش‌بینی تغییرات کاربری در این منطقه است.

نتیجه طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای برای سال‌های 1364-1371-1379-1387-1394 و تصویر پیش‌بینی شده سال 1424 به‌صورت شکل (4) نشان داده شده است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jgit.5.3.123]

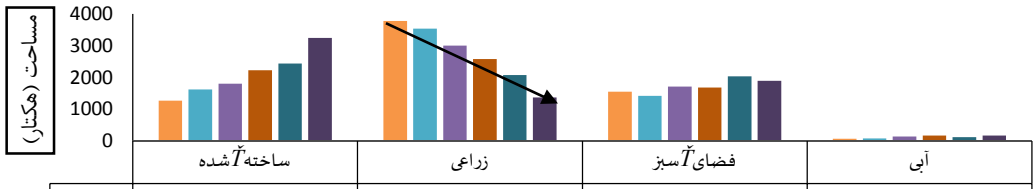


شکل 4: نقشه‌های طبقه‌بندی کاربری اراضی سال‌های *1394-1364* و سال پیش‌بینی *1424*

مساحت کاربری‌های اراضی در دوره زمانی سال‌های *1394-1364* و مساحت پیش‌بینی شده سال *1424* به‌صورت شکل (5) نشان داده شده است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jgit.5.3.123]



	ساخته‌شده	زراعی	فضای سبز	آبی
1364	1265.94	3773.61	1556.55	70.56
1371	1622.43	3537.63	1418.94	87.66
1379	1808.01	2997.99	1713.87	146.79
1387	2226.33	2582.55	1678.59	179.19
1394	2435.13	2073.69	2036.52	121.32
1424	3238.83	1368.99	1889.82	169.83

شکل 5: مساحت طبقات مختلف کاربری اراضی بین سال‌های *1394-1364* و سال پیش‌بینی *1424* (هکتار)

4-2- تحلیل تغییرات احداث‌شده در کاربری اراضی

طبق جدول ماتریسی حاصل از مدل کراس تب می‌توان گفت که محدوده‌ی مورد مطالعه از لحاظ تغییر و دگرگونی کاربری‌ها، طی مقطع زمانی مورد مطالعه چه مقدار تغییرات داشته است. نتیجه بررسی میزان تغییرات کاربری اراضی به‌صورت یک جدول ماتریسی می‌باشد که ستون‌های آن نشان دهنده‌ی تصویر طبقه‌بندی شده سال *1364* و ردیف آن نشان دهنده تصویر طبقه‌بندی شده سال *1394* است. نتایج حاصل از آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی در دوره زمانی مورد بررسی در جدول (*5*) نشان داده شده است.

جدول 5: ماتریس تغییرات کاربری اراضی بین سال‌های *1394-1364*

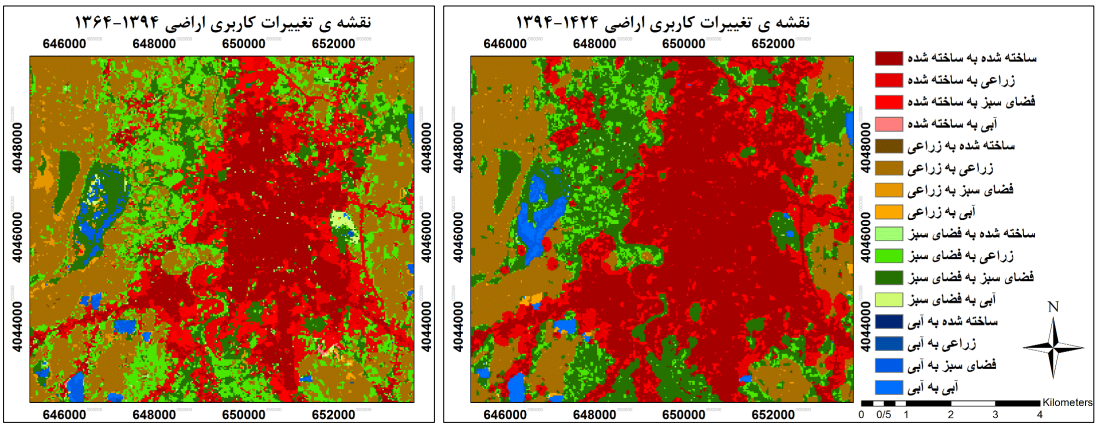
1364-1394	ساخته‌شده	زراعی	فضای سبز	آبی	مجموع تغییرات *1394*
ساخته‌شده	*1218/96*	*740/52*	*472/14*	*3/51*	*2435/13*
زراعی	*8/1*	*1894/68*	*157/68*	*13/23*	*2073/69*
فضای سبز	*38/79*	*1132/92*	*833/49*	*3/132*	*2036/52*
آبی	*0/9*	*5/49*	*93/24*	*22/5*	*121/32*
مجموع تغییرات *1364*	*1265/94*	*3773/61*	*1656/55*	*70/56*	*6666/66*

نتایج حاصل از جدول (*5*) بیانگر این است که وسعت اراضی زراعی از سال *1364* تا سال *1394* روند کاهشی داشته است. به‌طوری که *740/52* هکتار به اراضی ساخته‌شده، *1132/92* هکتار به اراضی فضای‌سبز و *5/49* هکتار به اراضی آبی تبدیل شده است. این تغییرات در حاشیه کناری شهر نمود بیشتری دارد. کاربری فضای سبز از *1656/55* هکتار در سال *1364* به *2036/52* هکتار در سال *1394* رسیده است که رشد *23* درصدی را نشان می‌دهد. روند رشد کاربری فضای سبز در حاشیه شهر با تبدیل زمین‌های کشاورزی به باغ مرکبات کاملاً مشخص می‌باشد. رشد کاربری فضای سبز به نسبت رشد کاربری ساخته‌شده دارای سرعت کمتری است. کاربری ساخته‌شده روند رو به رشد قابل ملاحظه‌ای در

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]
[DOI: 10.29252/jgit.5.3.123]

دوره زمانی مورد مطالعه داشته است، به‌طوری که از 19 درصد کل محدوده در سال 1364 با 1169/11 هکتار افزایش وسعت، به 36/52 درصد کل مساحت محدوده در سال 1394 رسیده است. گسترش شهر بابل در همه جهت‌ها به‌صورت زائده‌های مثلثی صورت گرفته است. این موضوع در حاشیه راه‌های کناری و خروجی از شهر ملموس‌تر است.

نتایج حاصل از پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی برای 30 سال آینده بر اساس تغییرات گذشته بیانگر این مسئله است که گسترش بی‌رویه شهر در سال‌های آینده نیز ادامه خواهد داشت و موجب تخریب اراضی زراعی و فضای سبز اطراف خود خواهد شد. در این بین احتمال تبدیل اراضی فضای سبز و کشاورزی به اراضی ساخته‌شده به ترتیب 26/86 و 16/07 درصد می‌باشد. نقشه تغییرات کاربری اراضی بدست آمده مربوط به بازه زمانی 1394-1364 و 1424-1394 به‌صورت شکل (6) ارائه شده است.



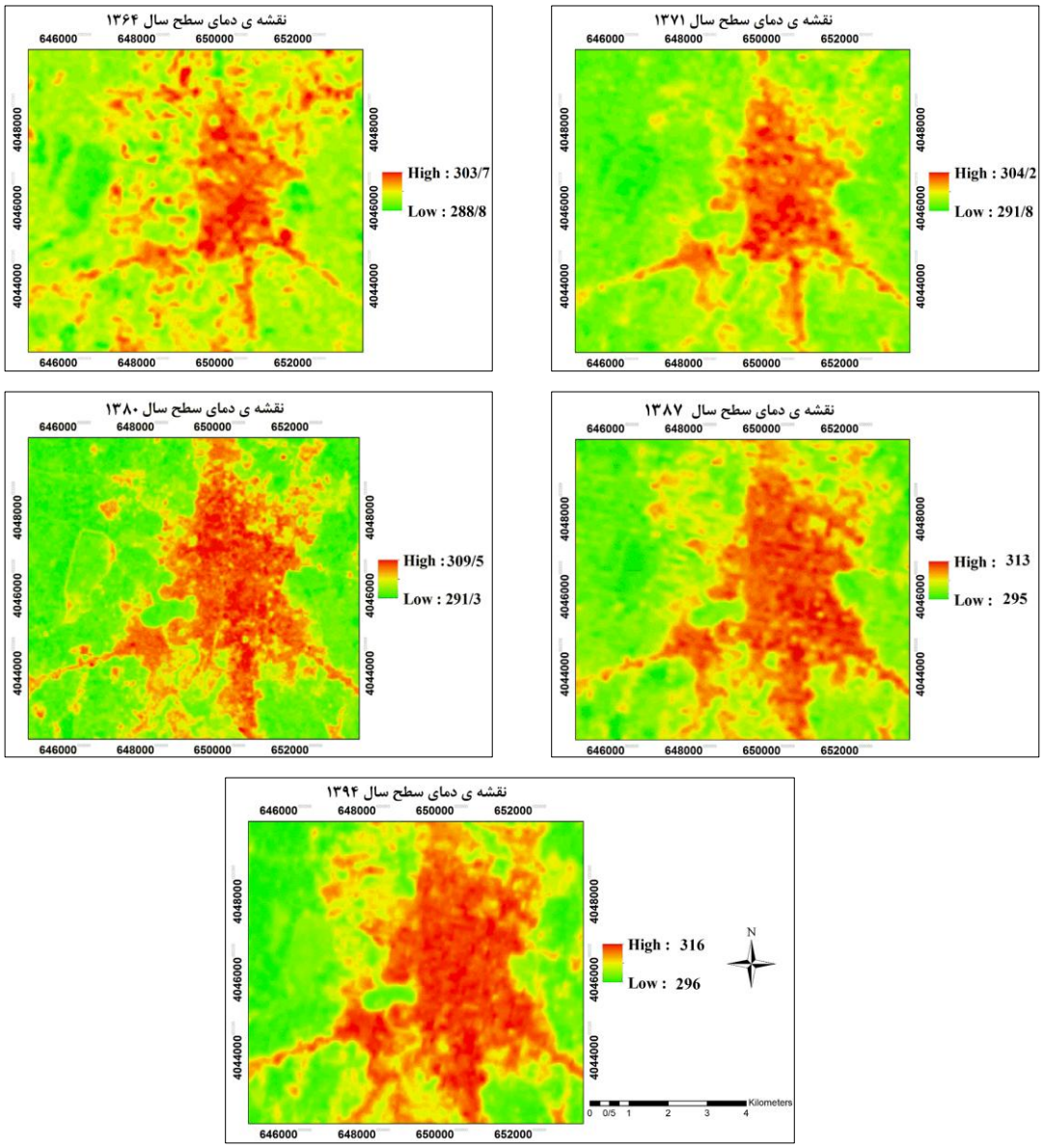
شکل 6: نقشه تغییرات کاربری اراضی برای دوره زمانی 1394-1364 و 1424-1394

4-3- دمای سطح منطقه

منطقه مورد مطالعه به‌دلیل شرایط خاص محیطی، به‌واسطه قرارگیری کاربری‌های ساخته‌شده، کشاورزی، فضای سبز و آبی کنار یکدیگر از نظر دمایی دارای بیشینه و کمینه با اختلاف زیاد می‌باشد. نقشه‌های دمای سطح به‌دست آمده برای منطقه، طی دوره زمانی 1394-1364 به‌صورت شکل (7) نشان داده شده است. برای ارزیابی دقت دمای سطح حاصل شده تصاویر ماهواره‌ای از داده‌های دمای هوای ثبت شده در لحظه عبور ماهواره توسط ایستگاه هواشناسی استفاده شده است. جدول (6) اختلاف دمای هوای بدست آمده از ایستگاه زمینی و دمای هوای به‌دست آمده از مدل تبدیل دمای سطح به دمای هوا را نشان می‌دهد.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jgit.5.3.123]



شکل 7: نقشه دمای سطح برای سال‌های *1394-1387-1380-1371-1364* (درجه‌ی کلوین)

جدول 6: مقایسه دماهای LST، T_s و T_a در موقعیت ایستگاه هواشناسی (درجه سانتی‌گراد)

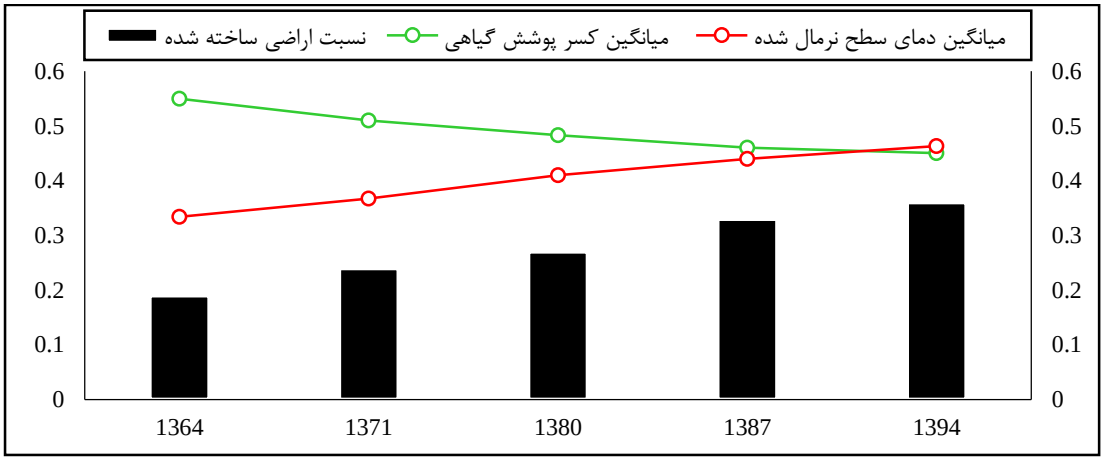
سال	1364	1371	1380	1387	1394
LST	19	21	22٫5	29	33
T_s	22٫96	23٫84	24٫5	27٫36	29٫12
T_a	23٫3	23٫8	24٫8	26٫7	28٫3
$T_a - T_s$	0٫34	-0٫04	0٫3	-0٫66	-0٫82

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]
[DOI: 10.29252/jgit.5.3.123]

نتایج بدست‌آمده از جدول (6) دقت دمای سطح به‌دست‌آمده از تصاویر ماهواره‌ای را تایید می‌کند.

4-4- رابطه بین پوشش گیاهی و دمای سطح منطقه

دمای سطح از شرایط مختلف سطح تأثیر می‌گیرد، نواحی دارای تجمع پوشش گیاهی بیشتر نسبت به مکان‌های عاری از پوشش گیاهی، دمای سطح پایین‌تری دارند. پوشش گیاهی با جذب انرژی خورشید و تعرق آب از طریق برگ‌های خود یک سیستم تهویه مطبوع طبیعی ایجاد می‌کند. توسعه فیزیکی شهر بابل در دهه‌های گذشته اثرات زیست محیطی زیادی را به‌وجود آورده است. ازجمله این اثرات تغییرات کاربری زمین‌های زراعی و فضای سبز اطراف شهر به کاربری ساخته‌شده می‌باشد که موجب جایگزین شدن سطوح طبیعی با سطوح نفوذناپذیر مانند ساختمان‌ها و جاده‌ها شده است. این امر، کاهش درصد پوشش گیاهی، از بین رفتن سیستم خنک‌کنندگی سطوح طبیعی و افزایش دمای سطح را به همراه داشته است. شکل (8) روند تغییرات نسبت اراضی ساخته‌شده، NLST و FVC در منطقه در دوره زمانی 1394-1364 را نشان می‌دهد.

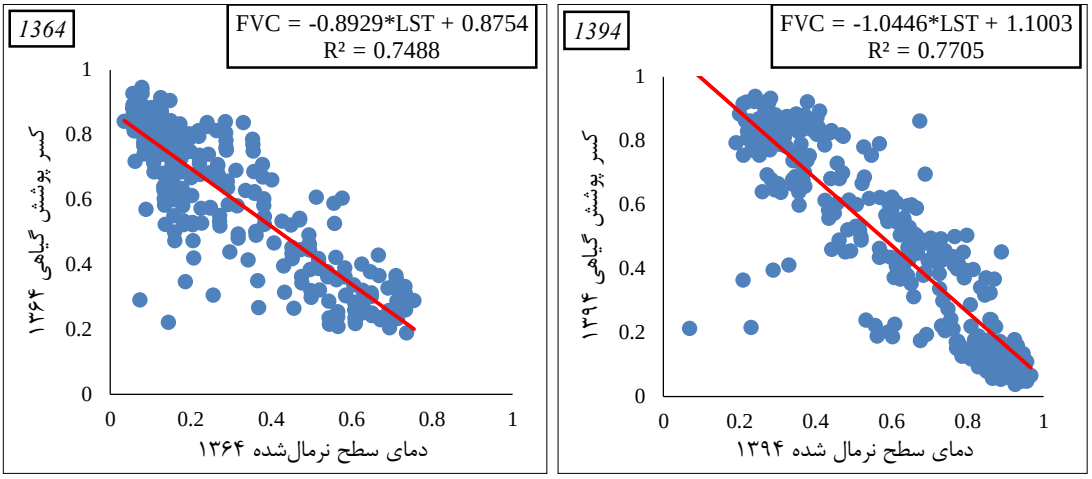


شکل 8: روند تغییرات نسبت اراضی ساخته‌شده، کسر پوشش گیاهی و دمای سطح نرمال شده

روند گسترش فیزیکی شهر با روند تغییرات FVC رابطه عکس و با تغییرات NLST رابطه مستقیم دارد. نمودار پراکندگی ارتباط بین NLST با FVC برای سال‌های 1364 و 1394 به‌صورت شکل (9) می‌باشد. همان‌طور که شکل (9) نشان می‌دهد NLST با FVC ارتباط خطی معکوس دارد. از تراکم نقاط با FVC بالا و NLST پایین در سال 1364 کاسته و در سال 1394 این نقاط به سمت FVC پایین و NLST بالا جابجا شده‌اند. بیشتر این تغییرات به مناطقی که در طول این بازه زمانی با تغییر دیگر کاربری‌ها به کاربری اراضی ساخته‌شده همراه بوده‌اند مربوط می‌باشد.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]

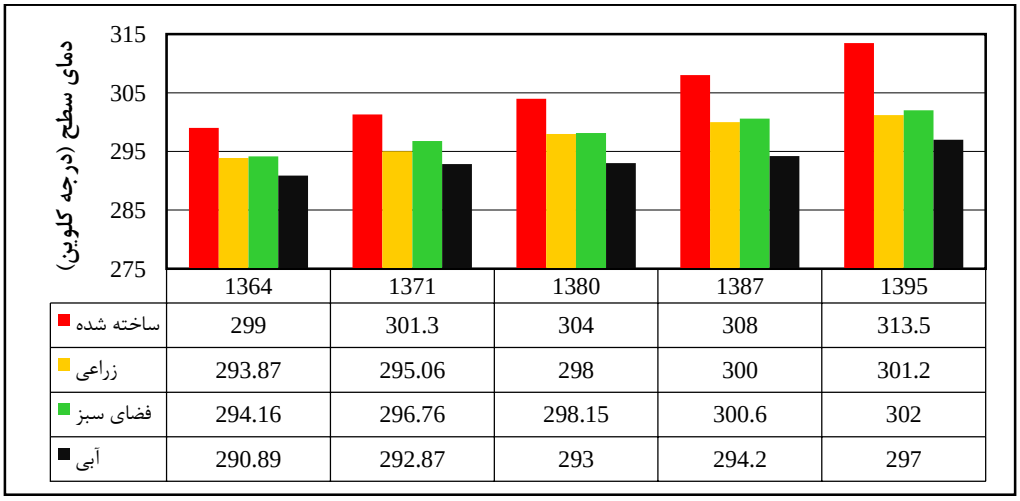
[DOI: 10.29252/jgit.5.3.123]



شکل *9*: نمودار ارتباط NLST – FVC برای نمونه‌های تصادفی انتخاب شده مربوط به سال‌های *1364* و *1394*

4-5- رابطه بین دمای سطح زمین با انواع کاربری پوشش زمین

نتایج بررسی میانگین *LST* انواع کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه برای سال‌های مختلف به‌صورت شکل (*10*) نشان داده شده است.



	1364	1371	1380	1387	1395
ساخته شده	299	301.3	304	308	313.5
زراعی	293.87	295.06	298	300	301.2
فضای سبز	294.16	296.76	298.15	300.6	302
آبی	290.89	292.87	293	294.2	297

شکل *10*: میانگین دمای سطح انواع پوشش زمین در سال‌های *1394*- *1364* (درجه‌ی کلوین)

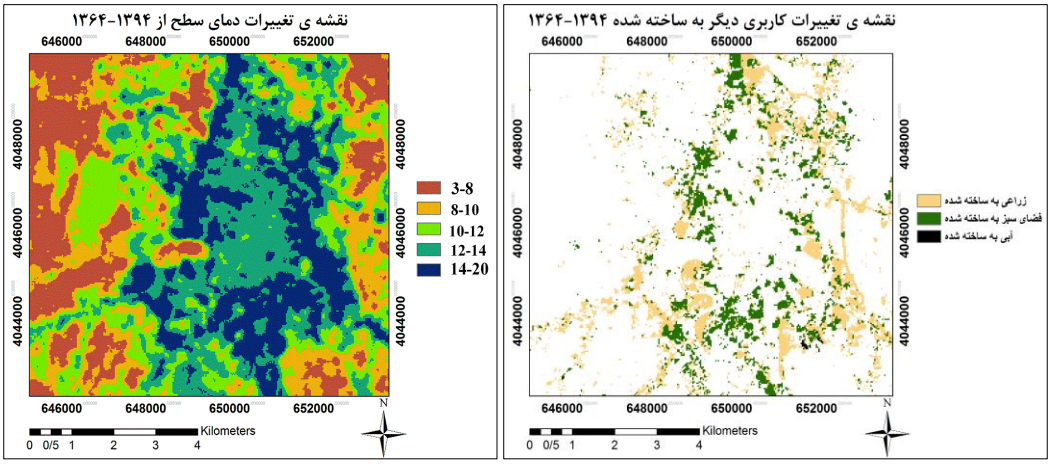
همان‌طور که شکل (*10*) نشان می‌دهد اراضی ساخته‌شده نسبت به دیگر اراضی در تمام سال‌ها دارای بالاترین دما می‌باشد که دلیل آن فعالیت‌های انسانی و خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و هندسی اجزا تشکیل دهنده این اراضی می‌باشد. اراضی آبی به دلیل ظرفیت گرمایی بالای آب دارای کمترین دما می‌باشند. اراضی زراعی در اکثر سال‌ها دارای میانگین دمایی پایین‌تری نسبت به اراضی فضای سبز می‌باشد که دلیل عمده آن به رطوبت بالایی اراضی زراعی منطقه و بیشتر بودن فعالیت تبخیر و تعرق برمی‌گردد. همه کاربری‌های اراضی در طول دوره زمانی مورد مطالعه با افزایش میانگین دما مواجه هستند که از

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]
[DOI: 10.29252/jgit.5.3.123]

دلایل اصلی آن می‌توان به روند افزایشی دمای هوا در منطقه مورد مطالعه اشاره کرد. ولی افزایش میانگین دما در اراضی ساخته شده از سرعت بالاتری برخوردار است. نمودار مربوط به تغییرات میانگین دمای مناطق ساخته‌شده برای سال‌های اخیر دارای شیب بزرگ‌تری نسبت به نمودار کاربری‌های دیگر می‌باشد. افزایش مراکز تجاری و صنعتی، حجم بالایی تردد وسایل نقلیه موتوری و ایجاد ترافیک سنگین به دلیل قرارگیری در مسیرهای ارتباطی دیگر شهرها باعث افزایش دمای سطح اراضی ساخته‌شده با سرعت بیشتری گردیده است.

4-6- رابطه بین تغییرات کاربری اراضی و تغییرات دمای سطح

جهت بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر تغییرات دمای سطح، نقشه تغییرات دمای سطح منطقه برای بازه‌های زمانی مختلف بین سال‌های *1364-1394* تهیه و با نقشه تغییرات کاربری اراضی مربوط به همان بازه زمانی بررسی شده است. نتایج حاصل از بررسی نشان می‌دهد که بیشترین تغییرات دما به مناطقی اختصاص دارد که طی *30* سال گذشته از دیگر کاربری‌ها به کاربری ساخته‌شده تبدیل شده‌اند. مناطقی که به‌صورت کاربری ساخته‌شده باقی مانده‌اند نیز به‌دلیل افزایش فعالیت‌های انسانی گرماساز دارای افزایش دمای قابل ملاحظه‌ای هستند. اراضی فضای سبز و زراعی که دستخوش تغییرات کاربری قرار نگرفته‌اند دارای کمترین تغییرات دما در منطقه هستند. نقشه تغییرات دیگر کاربری‌ها به کاربری ساخته‌شده و تغییرات دمای سطح منطقه در بازه زمانی *1364-1394* به‌صورت نمونه در شکل (*11*) و نتایج حاصل از بررسی تغییرات کاربری اراضی و تغییرات دمای سطح منطقه در جدول (*7*) نشان داده شده است.



شکل *11*: نقشه تغییرات دیگر کاربری‌ها به کاربری ساخته‌شده و تغییرات دمای سطح منطقه

جدول *7*: نتایج بررسی میانگین تغییرات دمای سطح ناشی از تغییرات کاربری اراضی بازه زمانی *1364-1394* (درجه سانتی‌گراد)

تغییرات کاربری	ساخته‌شده به ساخته‌شده	زراعی به ساخته‌شده	فضای سبز به ساخته‌شده	آبی به ساخته‌شده	ساخته‌شده به زراعی	زراعی به زراعی	فضای سبز به زراعی	آبی به زراعی	ساخته‌شده به فضای سبز	زراعی به فضای سبز	فضای سبز به فضای سبز	آبی به فضای سبز
میانگین	0.5	0.3	0.2	0.1	-0.1	-0.3	-0.4	-0.5	-0.6	-0.8	-0.9	-1.1

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]
[DOI: 10.29252/jgit.5.3.123]

میانگین تغییرات	13	15/2	14/8	14/3	11/6	7	7/6	8	12/7	10/2	8/5	9

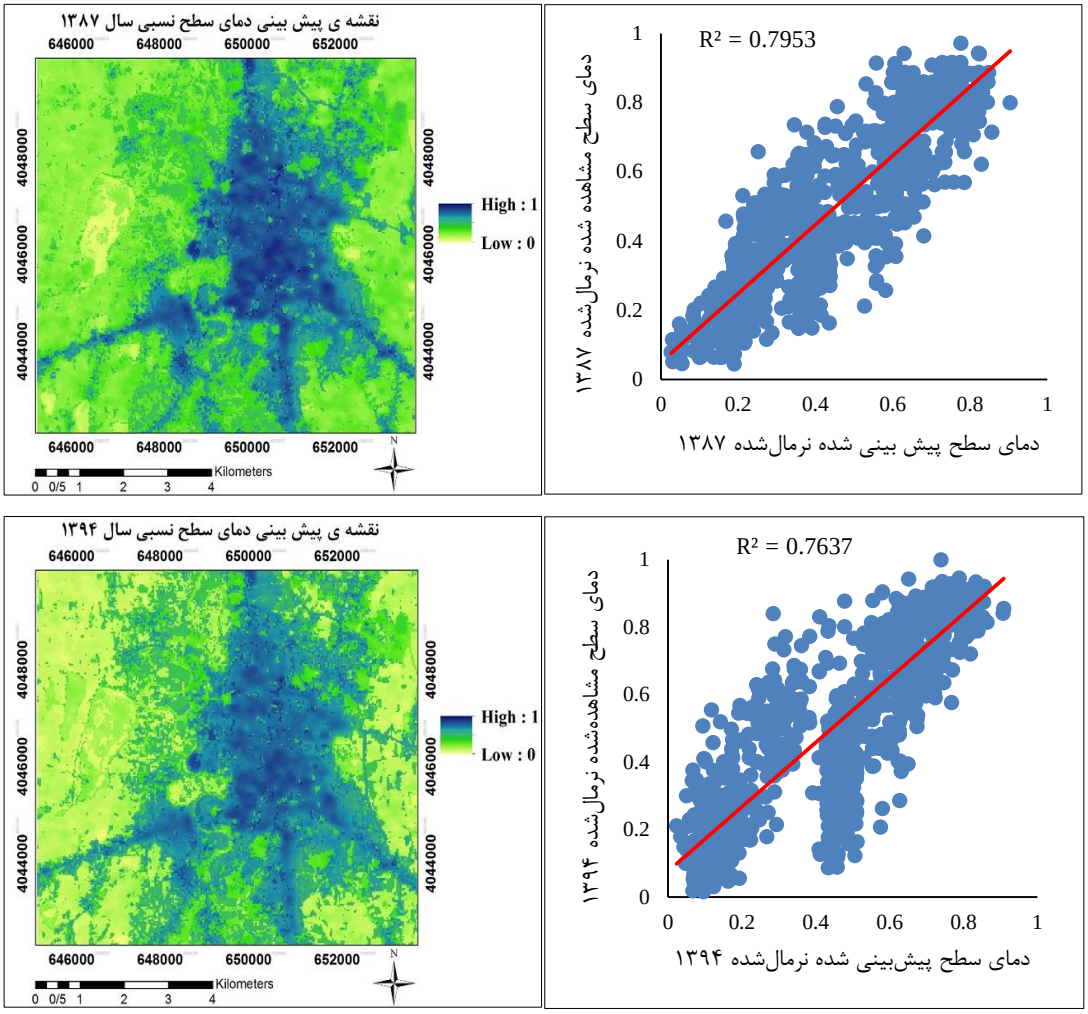
نتایج حاصل از جدول (7) نشان دهنده این است که میانگین تغییرات دمای سطح برای اراضی زراعی و فضای سبز بدون تغییر در منطقه طی 30 سال گذشته حدود 8 درجه بوده است که این تغییر کلی دمای سطح در اثر تغییرات دمای هوا و شرایط محیطی همچون بخار آب موجود در جو و غیره در 30 سال اخیر برای کل منطقه می‌باشد. با صرف نظر از افزایش دمای سطح ناشی از تغییر دمای هوا کل منطقه (8 درجه طی 30 سال گذشته) با توجه به نتایج نشان داده شده در جدول (7) مشخص می‌شود که تغییرات اراضی زراعی و فضای سبز به اراضی ساخته‌شده در منطقه مورد مطالعه، به‌صورت میانگین 7 درجه افزایش دمای سطح را ایجاد کرده است. همچنین دمای سطح مناطقی که طی 30 سال گذشته به صورت اراضی ساخته‌شده باقی مانده‌اند 6 درجه افزایش یافته است.

4-7- پیش‌بینی نسبی دمای سطح منطقه

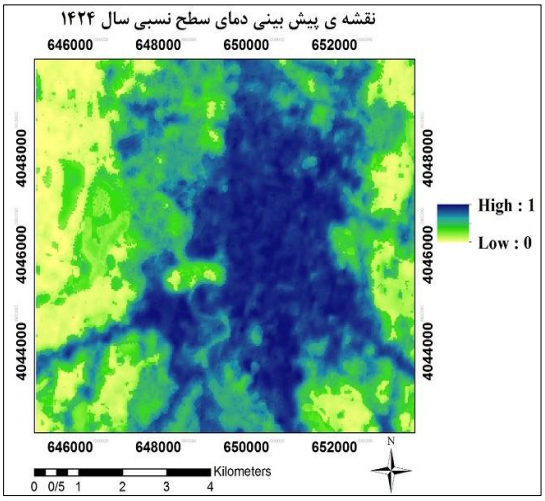
با توجه به روش پیشنهادی در شکل (1)، میزانتغییرات دمای سطح ناشی از تغییرات کاربری اراضی بررسی شده است. سپس با تلفیق نقشه تغییرات کاربری اراضی بازه‌های زمانی 1394-1364 و 1378-1371، نقشه دمای سطح سال 1364 و 1379 و نتایج حاصل از بررسی تغییرات دمای سطح ناشی از تغییرات کاربری اراضی نقشه دمای سطح سال‌های 1387 و 1394 به‌صورت نسبی پیش‌بینی شده است. برای ارزیابی صحت نتایج پیش‌بینی، ارتباط بین نقشه پیش‌بینی نسبی دمای سطح با نقشه دمای سطح حاصل از تصاویر ماهواره‌ای بررسی شده است که نتایج بررسی‌ها به‌ترتیب ضریب همبستگی 0/76 و 0/79 را بین نقشه پیش‌بینی نسبی دمای سطح و دمای سطح حاصل از تصاویر ماهواره‌ای سال‌های 1394 و 1387 را نشان می‌دهد. نقشه پیش‌بینی دمای سطح نسبی سال 1387 و 1394 و نتایج حاصل از ارزیابی صحت مدل برای پیش‌بینی به‌صورت شکل (12) نشان داده شده است. در نهایت با توجه به قابل قبول بودن نتایج حاصل شده، با بهره‌گیری از نتایج به‌دست آمده از تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر تغییرات دمای سطح زمین در گذشته و نقشه کاربری اراضی پیش‌بینی شده سال 1424 با استفاده از مدل سلول‌های خودکار-مارکوف، نقشه تغییرات کاربری اراضی بین سال‌های 1424-1394 و نقشه دمای سطح سال 1394 دمای سطح منطقه به‌صورت نسبی برای سال 1424 پیش‌بینی شده که نتیجه آن به‌صورت شکل (13) نشان داده شده است. این نکته قابل ذکر است که کارایی مدل سلول‌های خودکار-مارکوف برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه اثبات شده است. اگرچه نمی‌توان از نظر دقت مطلق به نقشه دمای سطح پیش‌بینی شده در این مطالعه به‌صورت کامل اطمینان کرد و لازمه پیش‌بینی تغییرات دمای سطح برای آینده در نظر گرفتن پارامترهای وابسته بیشتری می‌باشد. با این حال می‌توان از نتایج به‌دست آمده به‌عنوان شناسایی روند کلی تغییرات دما، شدت جزیره حرارتی و برنامه‌ریزی لازم برای کاهش اثرات جزیره حرارتی برای آینده استفاده کرد و دید کلی از روند احتمالی تغییرات دمای سطح منطقه برای آینده با توجه به روند تغییرات در گذشته حاصل گردد.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jgit.5.3.123]



شکل *12*: نقشه‌های دمای سطح نسبی پیش‌بینی شده نرمال‌شده سال‌های *1387* و *1394* و نتایج ارزیابی صحت مدل



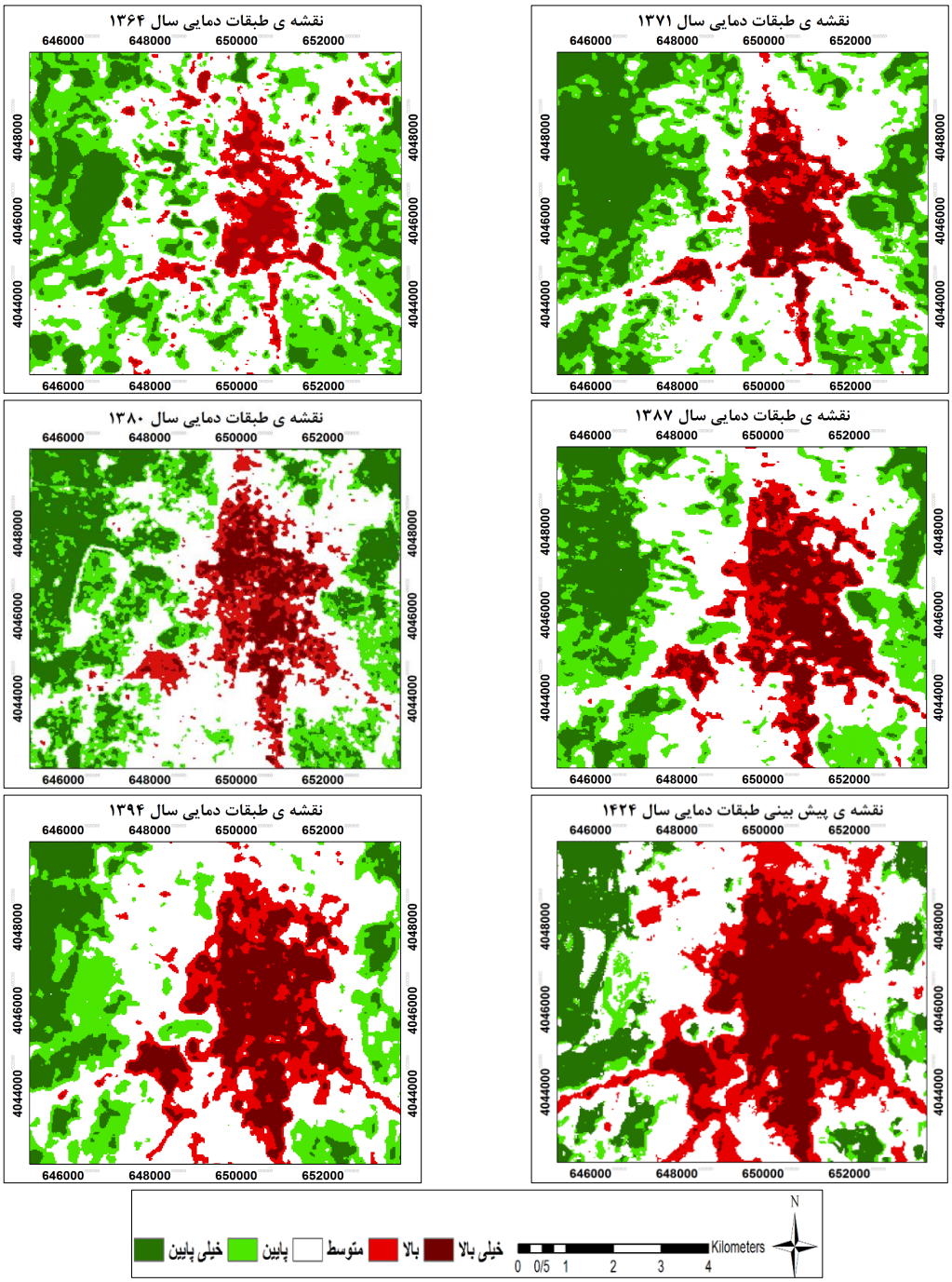
شکل *13*: نقشه دمای سطح نسبی پیش‌بینی شده نرمال‌شده سال *1424*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jgit.5.3.123]

8-4- بررسی تغییرات توزیع فضایی-زمانی جزیره حرارتی

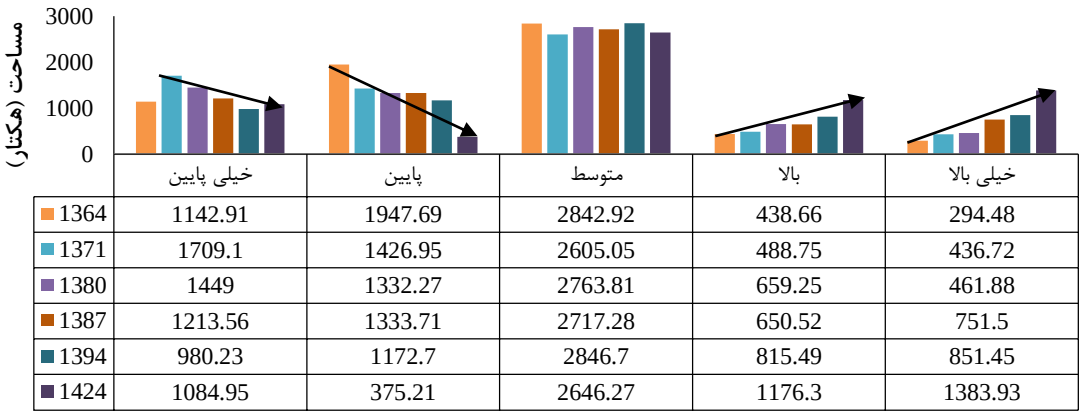
برای بررسی توزیع مکانی جزیره حرارتی در منطقه، تصاویر حرارتی مربوط به سال‌های مختلف با استفاده از بیشترین و کمترین مقدار دمای سطح نرمال شد. سپس با استفاده از مقادیر میانگین و انحراف معیار، تصاویر حرارتی نرمال شده به پنج طبقه دمایی تقسیم شدند. شکل (14) نقشه‌های حرارتی طبقه‌بندی شده را نشان می‌دهد.



شکل 14: نقشه‌های طبقه‌بندی دمای سطح با استفاده از مقادیر میانگین و انحراف معیار تصاویر حرارتی نرمال شده

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]
[DOI: 10.29252/jgit.5.3.123]

طبقات دمایی بالا و بسیار بالا بیشتر در هسته مرکزی شهر قرار دارند، اطراف شهر توسط طبقه دمایی متوسط پوشش داده می‌شود و کاربری کشاورزی به‌دلیل رطوبت بالا بیشتر طبقه دمایی خیلی پایین را دربر می‌گیرد. پارک‌ها و فضای سبز در شهر به‌دلیل تأثیر گرفتن از مناطق با دمای بالا و بسیار بالای اطراف خود جزء طبقات دمایی متوسط قرار می‌گیرند. بعد از طبقه‌بندی داده‌های حرارتی نرمال شده به طبقات دمایی، مساحت مربوط به هر کاربری محاسبه شده و تغییرات آن در بازه زمانی مورد مطالعه بررسی شد. شکل (*15*) مساحت مربوط به طبقات دمایی را در دوره زمانی مورد مطالعه نشان می‌دهد.



	خیلی پایین	پایین	متوسط	بالا	خیلی بالا
1364	1142.91	1947.69	2842.92	438.66	294.48
1371	1709.1	1426.95	2605.05	488.75	436.72
1380	1449	1332.27	2763.81	659.25	461.88
1387	1213.56	1333.71	2717.28	650.52	751.5
1394	980.23	1172.7	2846.7	815.49	851.45
1424	1084.95	375.21	2646.27	1176.3	1383.93

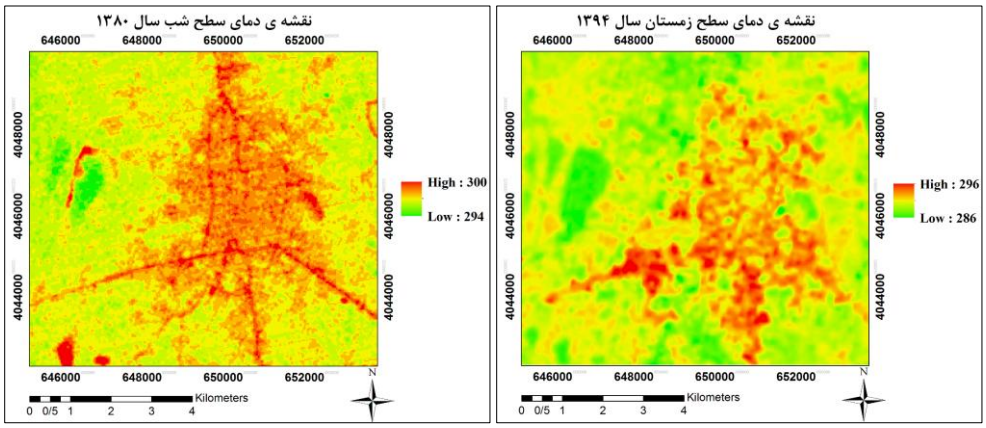
شکل *15*: مساحت مربوط به طبقات دمایی را در دوره زمانی مورد مطالعه (هکتار)

بر اساس شکل (*15*) در هر پنج دوره گذشته بیشترین مساحت مربوط به طبقه دمایی متوسط بوده است. و این روند طی سال‌های آینده نیز ادامه خواهد داشت. با توجه به کاهش مساحت کاربری کشاورزی و گسترش فیزیکی شهر، مساحت طبقه دمایی پایین و بسیار پایین کاهش زیاد و طبقه دمایی بالا و بسیار بالا افزایش چشمگیری داشته است. از دلایل دیگر افزایش طبقه دمایی بالا و بسیار بالا می‌توان به افزایش جمعیت، افزایش صنایع و تعداد خودروها در شهر و چند برابر حجم تردد راه‌های ارتباطی اشاره کرد.

شکل (*16*) نقشه‌های دمای سطح شب برای سال *1380* و نقشه دمای سطح برای زمستان سال *1394* را نشان می‌دهد. همان‌طور که در نقشه دمای سطح شب سال *1380* مشخص می‌باشد بیشترین دمای سطح مربوط به اراضی ساخته‌شده شهری و اراضی آبی در شب می‌باشد. دمای سطح شهر در شب چند درجه از دمای سطح مناطق اطراف بالاتر است. که خود تائید کننده وجود جزیره حرارتی قوی در منطقه دارد. مناطق هم‌جوار راه‌های تردد وسایل نقلیه موتوری و مناطق صنعتی دارای بیشترین دما در شب می‌باشد. که در حال آزاد کردن دمای جذب شده در طول روز هستند. نقشه دمای سطح مربوط به زمستان *1394* نیز بیانگر همین موضوع می‌باشد.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jgit.5.3.123]



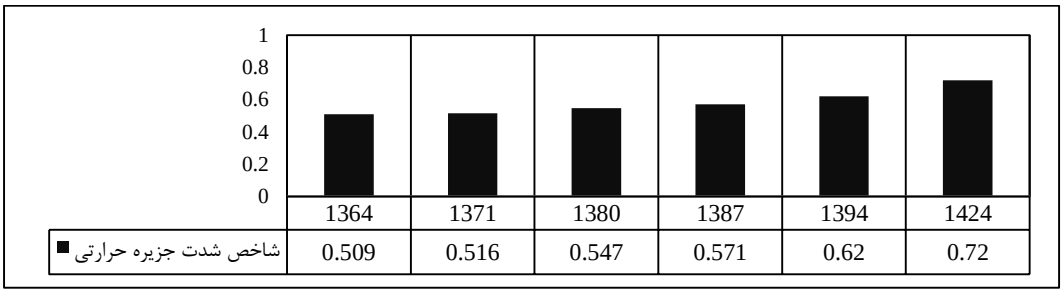
شکل *16*: نقشه‌های دمای سطح شب و زمستان منطقه مورد مطالعه (درجه‌ی کلوین)

4-9- بررسی تغییرات شدت جزیره حرارتی

جهت بررسی تغییرات شدت جزیره حرارتی منطقه طی سال‌های گذشته و آینده از شاخص شدت جزیره حرارتی استفاده شده است. نتایج حاصل از بررسی شاخص شدت جزیره حرارتی برای سال‌های موردنظر به‌صورت شکل (*17*) نشان داده شده است که روند رشد شدت جزیره حرارتی با افزایش رشد جمعیت شهر بابل از سال *1364-1395*(جدول (*8*)) متناسب است.

جدول *8*: جمعیت شهر بابل در بازه زمانی *1364-1394* (نفر)

سال	*1364*	*1371*	*1380*	*1387*	*1394*
جمعیت شهری (نفر)	*110526*	*171689*	*232128*	*290501*	*356781*



شکل *17*: نتایج حاصل از شاخص جزیره حرارتی برای سال‌های *1364-1394*

افزایش شدت جزیره حرارتی با افزایش جمعیت منطقه و درنتیجه افزایش مساحت اراضی ساخته‌شده رابطه مستقیم دارد. همچنین روند افزایشی شدت جزیره حرارتی در آینده نیز ادامه خواهد داشت که لزوم توجه بیشتر برنامه‌ریزان و مدیران شهری در این خصوص را نمایان می‌سازد.

5- نتیجه‌گیری

این مطالعه از طریق تلفیق داده‌های چند زمانه حرارتی و انعکاسی و به‌کارگیری الگوریتم‌های مربوط به علم سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی درصدد پاسخگویی به سؤالات متعددی در مورد نحوه‌ی تغییرات کاربری اراضی و گسترش فیزیکی شهر در منطقه مورد مطالعه در بازه زمانی *1364-1394* و تأثیر آن بر تغییرات فضایی-زمانی جزیره حرارتی شهر در بازه

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]
[DOI: 10.29252/jgit.5.3.123]

زمانی موردنظر می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که ارتباط مستقیمی بین کاهش کاربری فضای سبز و کشاورزی با افزایش حرارت سطح در منطقه وجود دارد. کاربری ساخته‌شده در تمام سال‌های بررسی شده دارای بیشترین میانگین دما بوده است. اراضی کشاورزی منطقه از نوع شالیزار می‌باشند از خصوصیات بارز این زمین‌ها رطوبت بسیار بالا می‌باشد به همین دلیل میانگین دمای سطح پایین‌تری نسبت به اراضی فضای سبز دارند. روند تغییرات نسبت اراضی ساخته‌شده با روند تغییرات میانگین کسر پوشش گیاهی رابطه معکوس و با روند تغییرات میانگین دمای سطح نرمال شده منطقه رابطه مستقیم دارد. بیشترین تغییرات کاربری اراضی در منطقه مربوط به تغییر کاربری کشاورزی و فضای سبز به کاربری ساخته‌شده در اطراف شهر به ترتیب به میزان *740/52* و *472/14* هکتار بوده است که موجب افزایش *92* درصدی مساحت کاربری ساخته‌شده در طول بازه زمانی سی سال گذشته گردیده است. این مقدار کاهش کاربری فضای سبز و کشاورزی با مقدار افزایش مناطق با دمای بالا و خیلی بالا برابری می‌کند. این نتیجه نشان از اهمیت کاربری فضای سبز و کشاورزی در تعدیل دمای سطح منطقه دارد. بیشترین مساحت مربوط به طبقات دمایی در تمام سال‌ها مربوط به طبقه دمایی متوسط بوده است که اراضی اطراف شهر را پوشش می‌دهد. طبقات دمایی پایین و بسیار پایین مربوط به اراضی دورتر از شهر می‌باشند که با روند کاهش مساحت روبه‌رو هستند. همچنین طبقات دمایی بالا و بسیار بالا در نزدیکی هسته شهر و راه‌های خروجی از شهر قرار دارند که در طی این سال‌ها با روند افزایش مساحت رو به هستند. شدت جزیره حرارتی بر طبق شاخص نسبت جزیره حرارتی در طی این دوره روند رو به رشدی داشته است و مقدار این شاخص از *0/50* در سال *1364* به *0/62* در سال *1394* رسیده است. پی‌بینی تغییرات کاربری اراضی و در نتیجه آن، دمای سطح، نتایج نگران‌کننده‌ای را برای منطقه نشان می‌دهد. طبق بررسی‌های انجام شده، روند گسترش شهری طی سال‌های آینده با سرعت بیشتری ادامه خواهد داشت که سبب افزایش فعالیت‌های انسانی، افزایش طبقه دمایی گرم و خیلی گرم و در نتیجه افزایش جزیره حرارتی برای منطقه خواهد شد. طبق پیش‌بینی صورت گرفته، شدت جزیره حرارتی برای سال *1424* به *0/72* خواهد رسید. جزیره حرارتی شهری یکی از مهم‌ترین خطرات زیست محیطی مناطق شهری محسوب می‌شود. که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر اقلیم مناطق شهری و غیرشهری، آلودگی هوای شهری، تولید گازهای گلخانه‌ای و تأثیر بر گرمایش جهانی، برهم زدن آسایش حرارتی، افزایش مصرف آب و الکتریسیته و تشدید بیماری‌ها مانند آسم تأثیر می‌گذارد درنتیجه مطالعه، بررسی و ارائه راهکارهای مناسب در این زمینه بسیار مفید و کاربری خواهد بود. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از داده‌های سنجش از دور و ترکیب روش‌های معمول بررسی جزایر حرارتی (بررسی تغییرات توزیع فضایی-زمانی جزایر حرارتی شهری نسبت به تغییرات گسترش شهری، رابطه جزیره حرارتی با پوشش گیاهی و کاربری – پوشش زمین) می‌تواند دید همه‌جانبه از نحوه شکل‌گیری و گسترش جزیره حرارتی شهری به‌دست دهد. از جمله ایده‌های پیشنهادی برای مطالعات آینده در این زمینه می‌توان به تهیه داده‌های دمای هوا برای کاربری‌های مختلف موجود در منطقه و بررسی ارتباط آن با دمای سطح زمین اشاره کرد. همچنین بررسی پدیده جزیره حرارتی برای این منطقه یا مناطق مشابه بر اساس دمای هوا و مقایسه نتایج حاصل از آن با نتایج بررسی پدیده جزیره حرارتی بر اساس دمای سطح که در این مقاله بر روی آن بحث شده است می‌تواند از اهمیت بالایی برخوردار باشد.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jgit.5.3.123]

مراجع

[1] T. Owen, T. Carlson, and R. Gillies, "An assessment of satellite remotely-sensed land cover parameters in quantitatively describing the climatic effect of urbanization," International journal of remote sensing, vol. 19, no. 9, pp. 1663-1681, 1998.

[2] F. Fan, Y. Wang, and Z. Wang, "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, vol. 137, no. 1, pp. 127-147, 2008.

[3] J. Wu, "Urban ecology and sustainability: The state-of-the-science and future directions," Landscape and Urban Planning, vol. 125, pp. 209-221, 2014.

[4] R. Amiri, Q. Weng, A. Alimohammadi, and S. K. Alavipanah, "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, vol. 113, no. 12, pp. 2606-2617, 2009.

[5] T. Chandler, "Selected bibliography on urban climate. Tech," note1970.

[6] [6] N. Schwarz, U. Schlink, U. Franck, and K. Großmann, "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, vol. 18, pp. 693-704, 2012.

[7] J. A. Voogt and T. R. Oke, "Thermal remote sensing of urban climates," Remote sensing of environment, vol. 86, no. 3, pp. 370-384, 2003.

[8] X. L. Zhu, J. Chen, F. Gao, X. H. Chen, and J. G. Masek, "An enhanced spatial and temporal adaptive reflectance fusion model for complex heterogeneous regions," (in English), Remote Sensing of Environment, vol. 114, no. 11, pp. 2610-2623, Nov 15 2010.

[9] A. M. Rizwan, L. Y. Dennis, and L. Chunho, "A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island," Journal of Environmental Sciences, vol. 20, no. 1, pp. 120-128, 2008.

[10] F. Yuan and M. E. Bauer, "Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery," Remote Sensing of environment, vol. 106, no. 3, pp. 375-386, 2007.

[11] M. Santamouris and D. Kolokotsa, "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, vol. 98, pp. 125-133, 2015.

[12] C. W. Mackey, X. Lee, and R. B. Smith, "Remotely sensing the cooling effects of city scale efforts to reduce urban heat island," Building and Environment, vol. 49, pp. 348-358, 2012.

[13] J. C. Jiménez-Muñoz and J. A. Sobrino, "A single-channel algorithm for land-surface temperature retrieval from ASTER data," IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 7, no. 1, pp. 176-179, 2010.

[14] J. C. Jiménez - Muñoz and J. A. Sobrino, "A generalized single - channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data," Journal of Geophysical Research: Atmospheres, vol. 108, no. D22, 2003.

[15] Q. Weng, "Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends," ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 64, no. 4, pp. 335-344, 2009.

[16] D. R. Streutker, "A remote sensing study of the urban heat island of Houston, Texas,"

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jgit.5.3.123]

International Journal of Remote Sensing, vol. 23, no. 13, pp. 2595-2608, 2002.

[17] J. P. Walawender, M. Szymanowski, M. J. Hajto, and A. Bokwa, "Land surface temperature patterns in the urban agglomeration of Krakow (Poland) derived from Landsat-7/ETM+ data," Pure and Applied Geophysics, vol. 171, no. 6, pp. 913-940, 2014.

[18] R. C. Balling and S. W. Brazel, "High-resolution surface temperature patterns in a complex urban terrain," Photogrammetric engineering and remote sensing, vol. 54, no. 9, pp. 1289-1293, 1988.

[19] K. Gallo, A. McNab, T. Karl, J. Brown, J. Hood, and J. Tarpley, "The use of NOAA AVHRR data for assessment of the urban heat island effect," Journal of Applied Meteorology, vol. 32, no. 5, pp. 899-908, 1993.

[20] K. P. Gallo and T. W. Owen, "Satellite-based adjustments for the urban heat island temperature bias," Journal of Applied Meteorology, vol. 38, no. 6, pp. 806-813, 1999.

[21] C. Aniello, K. Morgan, A. Busbey, and L. Newland, "Mapping micro-urban heat islands using Landsat TM and a GIS," Computers & Geosciences, vol. 21, no. 8, pp. 965969-967, 1995.

[22] X.-L. Chen, H.-M. Zhao, P.-X. Li, and Z.-Y. Yin, "Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes," Remote sensing of environment, vol. 104, no. 2, pp. 133-146, 2006.

[23] S. Haashemi, Q. Weng, A. Darvishi, and S. K. Alavipanah, "Seasonal variations of the surface urban heat island in a semi-arid city," Remote Sensing, vol. 8, no. 4, p. 352, 2016.

[24] J. Li, C. Song, L. Cao, F. Zhu, X. Meng, and J. Wu, "Impacts of landscape structure on surface urban heat islands: a case study of Shanghai, China," Remote Sensing of Environment, vol. 115, no. 12, pp. 3249-3263, 2011.

[25] X. Li, W. Zhou, Z. Ouyang, W. Xu, and H. Zheng, "Spatial pattern of greenspace affects land surface temperature: evidence from the heavily urbanized Beijing metropolitan area, China," Landscape ecology, vol. 27, no. 6, pp. 887-898, 2012.

[26] L. Liu and Y. Zhang, "Urban heat island analysis using the Landsat TM data and ASTER data: A case study in Hong Kong," Remote Sensing, vol. 3, no. 7, pp. 1535-1552, 2011.

[27] U. Rajasekar and Q. Weng, "Urban heat island monitoring and analysis using a non-parametric model: A case study of Indianapolis," ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 64, no. 1, pp. 86-96, 2009.

[28] L. Sang, C. Zhang, J. Yang, D. Zhu, and W. Yun, "Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA–Markov model," Mathematical and Computer Modelling, vol. 54, no. 3, pp. 938-943, 2011.

[29] Y. Zhang and G. Hong, "An IHS and wavelet integrated approach to improve pan-sharpening visual quality of natural colour IKONOS and QuickBird images," Information Fusion, vol. 6, no. 3, pp. 225-234, 2005.

[30] S. D. Chakraborty, Y. Kant, and D. Mitra, "Assessment of land surface temperature and heat fluxes over Delhi using remote sensing data," Journal of environmental management, vol. 148, pp. 143-152, 2015.

[31] J. Jiang and G. Tian, "Analysis of the impact of land use/land cover change on land surface temperature with remote sensing," Procedia environmental sciences, vol. 2, pp. 571-575, 2010.

[32] H. Saaroni, E. Ben-Dor, A. Bitan, and O. Potchter, "Spatial distribution and microscale characteristics of the urban heat island in Tel-Aviv, Israel," Landscape and Urban Planning, vol. 48, no. 1, pp. 1-18, 2000.

[33] N. V. Shabanov et al., "Effect of foliage

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jgit.5.3.123]

spatial heterogeneity in the MODIS LAI and FPAR algorithm over broadleaf forests," (in English), Remote Sensing of Environment, vol. 85, no. 4, pp. 410-423, Jun 15 2003.

[34] R. Sharma and P. Joshi, "Identifying seasonal heat islands in urban settings of Delhi (India) using remotely sensed data–An anomaly based approach," Urban Climate, vol. 9, pp. 19-34, 2014.

[35] Q. Weng, D. Lu, and J. Schubring, "Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies," Remote sensing of Environment, vol. 89, no. 4, pp. 467-483, 2004.

[36] H. Xiao and Q. Weng, "The impact of land use and land cover changes on land surface temperature in a karst area of China," Journal of environmental management, vol. 85, no. 1, pp. 245-257, 2007.

[37] X. Zhang, T. Zhong, X. Feng, and K. Wang, "Estimation of the relationship between vegetation patches and urban land surface temperature with remote sensing," International Journal of Remote Sensing, vol. 30, no. 8, pp. 2105-2118, 2009.

[38] C. P. Lo, D. A. Quattrochi, and J. C. Luvall, "Application of high-resolution thermal infrared remote sensing and GIS to assess the urban heat island effect," International Journal of Remote Sensing, vol. 18, no. 2, pp. 287-304, 1997.

[39] C. Deng and C. Wu, "Examining the impacts of urban biophysical compositions on surface urban heat island: A spectral unmixing and thermal mixing approach," Remote Sensing of Environment, vol. 131, pp. 262-274, 2013.

[40] M. Heinl, A. Hammerle, U. Tappeiner, and G. Leitinger, "Determinants of urban–rural land surface temperature differences–A landscape scale perspective," Landscape and Urban Planning, vol. 134, pp. 33-42, 2015.

[41] O. Rotem-Mindali, Y. Michael, D. Helman, and I. M. Lensky, "The role of local land-use on the urban heat island effect of Tel Aviv as assessed from satellite remote sensing," Applied Geography, vol. 56, pp. 145-153, 2015.

[42] T. M. Tu, P. S. Huang, C. L. Hung, and C. P. Chang, "A Fast Intensity-Hue-Saturation Fusion Technique With Spectral Adjustment for IKONOS Imagery," (in English), Ieee Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 1, no. 4, pp. 309-312, Oct 2004.

[43] M. Xunqiang, C. Chen, Z. Fuqun, and L. Hongyuan, "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," in Multimedia Technology (ICMT), 2011 International Conference on, 2011, pp. 4616-4622: IEEE.

[44] W. Zhou, G. Huang, and M. L. Cadenasso, "Does spatial configuration matter? Understanding the effects of land cover pattern on land surface temperature in urban landscapes," Landscape and Urban Planning, vol. 102, no. 1, pp. 54-63, 2011.

[45] M. A. Atwater, "Thermal changes induced by urbanization and pollutants," Journal of applied meteorology, vol. 14, no. 6, pp. 1061-1071, 1975.

[46] W. R. Cotton and R. A. Pielke Sr, Human impacts on weather and climate. Cambridge University Press, 2007.

[47] X. Han-qiu and C. Ben-qing, "Remote sensing of the urban heat island and its changes in Xiamen City of SE China," Journal of Environmental Sciences, vol. 16, no. 2, pp. 276-281, 2004.

[48] H. Xu, Y. Chen, S. Dan, and W. Qiu, "Spatial and temporal analysis of urban heat Island effects in Chengdu City by remote sensing," in Geoinformatics, 2011 19th International Conference on, 2011, pp. 1-5: IEEE.

[49] N. Patel and B. Kaushal, "Classification of features selected through Optimum Index Factor (OIF) for improving classification accuracy," Journal of Forestry Research, vol. 22, no. 1, pp. 99-105, 2011.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jgit.5.3.123]

[50] J. R. Otukei and T. Blaschke, "Land cover change assessment using decision trees, support vector machines and maximum likelihood classification algorithms," International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, vol. 12, pp. S27-S31, 2010.

[51] X. Yang, X.-Q. Zheng, and L.-N. Lv, "A spatiotemporal model of land use change based on ant colony optimization, Markov chain and cellular automata," Ecological Modelling, vol. 233, pp. 11-19, 2012.

[52] K. Rajitha, C. Mukherjee, R. Vinu Chandran, and M. Prakash Mohan, "Land-cover change dynamics and coastal aquaculture development: a case study in the East Godavari delta, Andhra Pradesh, India using multi-temporal satellite data," International Journal of Remote Sensing, vol. 31, no. 16, pp. 4423-4442, 2010.

[53] R. G. Pontius, "Quantification error versus location error in comparison of categorical maps," Photogrammetric engineering and remote sensing, vol. 66, no. 8, pp. 1011-1016, 2000.

[54] M. Rashmi and N. Lele, "Spatial modeling and validation of forest cover change in Kanakapura region using GEOMOD," Journal of the Indian Society of Remote Sensing, vol. 38, no. 1, pp. 45-54, 2010.

[55] G. Chander, B. L. Markham, and D. L. Helder, "Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors," Remote sensing of environment, vol. 113, no. 5, pp. 893-903, 2009.

[56] J. A. Sobrino et al., "Land surface emissivity retrieval from different VNIR and TIR sensors," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 46, no. 2, pp. 316-327, 2008.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jgit.5.3.123]

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.5, No.3, Autumn 2017

Monitoring and predicting spatial-temporal changes heat island in Babol city due to urban sprawl and land use changes

Mohammad Karimi Firozjaei [1], Majid Kiavarz Mogaddam [2*],. Seyed Kazem Alavi Panah [3]

1- MSc. Student in Department of Remote Sensing and GIS, University of Tehran
2- Assistant Professor, Department of Remote Sensing and GIS, University of Tehran
3- Professor, Department of Remote Sensing and GIS, University of Tehran

Abstract

Urban heat island is one of the most vital environmental risks in urban areas. The advent of remote sensing technology provides better visibility due to the integrated view, low-cost, fast and effective way to study and monitor environmental changes. The aim of this study is a spatial-temporal evaluation of heat island intensity in the period of 1985-2015 and prediction of heat island intensity variations for the specific studied area in the city of Babol. For this purpose, multi-temporal Landsat images were used in this study. For calculating the land surface temperature, Single channel algorithm were used, and Maximum likelihood algorithm was also utilized to classify Images. Therefore, land use changes and land surface temperatures (LST) were examined, and thereby the relationship between land-use changes was analyzed with the normalized land surface temperature. By using the mean and standard deviation of normalized thermal images, the area was divided into five thermal categories. Then, by applying the heat island intensity index, the heat island changes in the studied period of time was investigated. Land use changes for the future studies was investigated by using Markov model and then, the heat island intensity changes were anticipated. The results indicate that land use changes for built-up lands increased by 92%, and a noticeable decrease was observed for agricultural lands. The Built-up land changes trend has an inverse relation with the trend of FVC and follows the same trend as normalized surface temperature changes. High and very high-temperature categories whose area increases annually, are adjacent to the city core and exit ways of the town. The index ratio of heat island during this period has an increasing trend and the amount of index was altered from 0/5 in 1985 to 0/67 in 2015. Land use changes anticipation and the process of heat island intensity variations for the studied area show alarming results.

Correspondence Address: *School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran*
Tel:. *09123301922*
Email: *Kiavarzmajid@ut.ac.ir*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jgit.5.3.123]