نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال دهم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲

صفحات ۱ – ۱۴

مدل‌سازی تغییرات دمای بلوک‌های شهری در ارتباط با ساختار و پیکربندی سیمای سرزمین در استان گیلان

روشنک افراخته[۱]؛ دانشجوی دوره دکتری، دانشکده محیط زیست، دانشگاه منابع طبیعی گرگان، ایران.

عبدالرسول سلمان ماهینی؛ استاد دانشکده محیط زیست، دانشگاه منابع طبیعی گرگان، ایران.

مهدی معتق؛ استاد مرکز تحقیقات GFZ آلمان، دانشکده علوم زمین، پوتسدام، آلمان.

حمیدرضا کامیاب؛ استادیار دانشکده محیط زیست، دانشگاه منابع طبیعی گرگان، ایران.

دریافت مقاله :۱۴۰۲/۰۶/۱۱ پذیرش نهایی:۱۴۰۲/۰۹/۰۱

چکیده

نواحی سکونتگاهی الگوهای متنوعی از چیدمان سطوح نفوذناپذیر هستند که به‌شدت تحت‌تأثیر خصوصیات منفی محیط زیستی - اکولوژیک مانند شکل گیری جزیره حرارتی قرار دارند. در این مطالعه، رابطه بین این چیدمان با خصوصیات دمایی نواحی سکونتگاهی در واحد بلوک‌های شهری در جلگه استان گیلان، مدل‌سازی شد. برای استخراج نواحی سکونتگاه هر واحد بلوک، از تحلیل شی‌گرای تصاویر ماهواره لندست در تابستان سه مقطع زمانی (۱۳۸۱، ۱۳۹۱ و ۱۴۰۱) استفاده و متوسط دمای هر بلوک در هر مقطع با استفاده از معادلات انتقال تشعشع تهیه شد. متغیرهای توصیفی دمای هر بلوک در دو دسته متغیرهای ذاتی و متغیرهای همسایگی تهیه و با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی، چهار متغیرِ وسعت واحد، سنجه مرز مشترک، وسعت پلیگون مادر و نسبت محیط به مساحت واحد به عنوان مهم‌ترین پارامتر شناسایی و به مدل رگرسیون غیرخطی GAM وارد شدند. نتایج مدل‌سازی (R^2 =۰/۶۱۹) نشان داد که دو عامل وسعت بلوک شهری و وسعت پلیگون شهری که در آن قرار دارد، به صورت مستقیم منجر به افزایش دمای بلوک می‌شود. شکل خطی هر واحد، نسبت بالای محیط به مساحت و داشتن کمترین مرز مشترک با سایر واحدهای شهری نیز نقش کاهنده متوسط دمای واحدهای شهری در دوره‌های زمانی مورد مطالعه داشته اند. نتایج حاصل می‌تواند به درک بهتر عوامل مؤثر بر دمای سطح زمین در مناطق سکونتگاهی بخصوص پیکربندی و ساختار بلوک‌های شهری کمک کند.

واژه‌های کلیدی: جزایر گرمایی شهری، دمای سطح زمین، مدل‌سازی دما، مدل GAM ،استان گیلان.

[۱] نویسنده مسئول: Email: Roshanak_afra@yahoo.com

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.1.8]

[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.1]

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.1.8]

[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.1]

مقدمه

نواحی سکونتگاهی، محیط‌های اجتماعی-اقتصادی و اکولوژیک منحصربه‌فردی هستند که به صورت ترکیبی ناهمگن از سطوح غیرقابل نفوذ و مجموعه‌ای دیگر از طبقات کاربری زمین و پوشش زمین پدیدار می‌شوند (Dutta et al., ۲۰۲۱). نواحی سکونتگاهی که به عنوان بخشی از مناطق انسان ساخت نیز قلمداد می‌شوند، بسیار پویا بوده و اغلب به صورت هسته‌های مرکزی فشرده و متراکم که توسط زمین‌های کم تراکم پیرامونی احاطه شده‌اند، شناخته می‌شوند (Nadoushan, ۲۰۲۲). مطالعات متعددی نشان داده است که نواحی سکونتگاهی ممکن است به اکوسیستم‌های بسته تبدیل شده و به شدت تحت تأثیر خصوصیات منفی محیط زیستی- اکولوژیک قرار گیرد. از شناخته شده‌ترین این پدیده‌های منفی، جزیره گرمایی شهری است (Zhang et al., ۲۰۱۸) که با افزایش قابل توجه دمای هوای هسته‌های فشرده شهری در مقایسه با نواحی پیرامونی که آلبدو بیشتری دارند، تشکیل می‌شوند. این پدیده، پیامدهای محیط زیستی و اجتماعی متعددی شامل افزایش مصرف انرژی (Zou and Zhang, ۲۰۲۱)، آلودگی هوا (Piracha and Chaudhary, ۲۰۲۲) و مشکلات بهداشت عمومی (Alqasemi et al., ۲۰۲۱) برجا گذاشته است.

شواهد علمی متعددی نشان دهنده ارتباط مکانی قوی بین جزیره حرارت شهری و دمای سطح زمین[۲] است. تصاویر ماهواره‌ای، امکانات مناسبی برای مطالعه ویژگی‌های حرارت شهر در رابطه با الگوی مکانی انواع کاربری‌های آن در مقیاس‌های متعدد مکانی و زمانی فراهم کرده است (Siddiqui et al., ۲۰۲۱). مطالعات اولیه بر روی دمای سطح زمین شهری نشان داده‌اند که ویژگی‌های سطح زمین در سیماهای شهری، که بیشتر توسط شاخص‌های نسبت باند ماهواره‌ای، کمّی می‌شوند، بهترین پیش‌بینی‌کننده‌های دمای سطح زمین شهری هستند (Roy and Sen, ۱۹۹۹). پس از آن مجموعه‌ای از تحقیقات به مطالعه تأثیر آرایش فضایی و ساختار طبقات مختلف کاربری زمین شهری بر شکل‌گیری دمای سطح زمین شهری پرداخته‌اند (Osborne and Alvares-Sanches, ۲۰۱۹). فرض اکثر تحقیقات مزبور این بوده که خصوصیات سیمای سرزمین شهری شامل خصوصیات ساختاری و همسایگی، اثرات تعیین‌کننده‌ای بر تغییرات دمای سطح زمین شهری دارند. برای این منظور، متغیرهای پیش‌بینی‌کننده مستقل، بیشتر شامل ترکیب (همچنین متغیرهای مبتنی بر بافت) (Afrakhteh et al., ۲۰۱۶)، ساختار (Shen et al., ۲۰۲۲) و ترکیب‌بندی (Lu et al., ۲۰۲۰) سیمای شهر بوده است. از نظر روش‌شناسی، روش‌های پیش‌بینی دمای سطح زمین از مدل‌های تک سطحی[۳] مانند رگرسیون خطی (Asgarian et al., ۲۰۱۵)، مدلهای وزنی-جغرافیایی (Li et al., ۲۰۱۰) تا مدل‌های خبره، شبکه عصبی مصنوعی (Bozorgi et al., ۲۰۱۸) را شامل می‌شوند. باید توجه داشت که این تنوع در روش‌ها و متغیرهای توضیحی نشان دهنده فقدان رویکردهای یکپارچه و اهمیت بالای شرایط محلی در پیش بینی دمای سطح زمین شهری است که باعث شده محققان، محیط‌هایی با تنوع ساختاری کمتر مانند مراکز شهری بزرگ را برای پیش‌بینی این متغیر استفاده کنند.

تنوع روش‌شناختی و مشروط، لازمه اتخاذ رویکردهای ساده‌تر است که منجر به تجزیه محیط‌های شهری به واحدهای همگن فضایی می‌شود (Guo et al., ۲۰۲۰)(Guo et al. ۲۰۲۰). این امر موجب می‌شود تا اثر نسبی نیروهای مؤثر بر دمای

[۲] Land surface temperature (LST)

[۳] Single- level models

سطح زمین شهری با دقت بیشتری تعیین شود. برای این هدف، رویکردهای متعددی مانند تفکیک الگوهای توسعه به ساختارهای مشابه چه از نظر مدل توسعه (Zhao et al., ۲۰۱۹) و چه از نظر خصوصیات همگن مانند تفکیک نواحی سکونتگاهی به بلوک‌های شهری (Asgarian et al., ۲۰۱۵) ارائه شده است. با توجه به اینکه هر الگوی توسعه شهری (مانند خصوصیات متمایز بلوک‌های شهری) ویژگی‌های پیکربندی و حتی ساختاری خاص خود را دارد، به نظر می‌رسد که نقش‌های متفاوتی در شکل‌گیری دمای سطح زمین آن منطقه بخصوص از شهر را نیز ایفا کنند.

هدف تحقیق حاضر آن است که نخست با در نظر گرفتن سیمای شهری جلگه گیلان، الگوهای توسعه به تفکیک بلوک‌های شهری، شناسایی شود. آنگاه متوسط دمای سطح زمین در بلوک‌های مزبور در سه مقطع زمانی متفاوت بدست آید. سپس با شناسایی خصوصیات مکانی هر بلوک (با نام خصوصیات ذاتی) و همچنین خصوصیات همسایه‌های هر بلوک (با نام خصوصیات همسایگی) به عنوان متغیرهای مستقل، به مدل‌سازی دمای سطح زمین شهری پرداخته شود. در نهایت، با استفاده از از تحلیل مؤلفه‌های اصلی، مهم‌ترین متغیرهای اثرگذار، شناسایی شده و رابطه بین متغیرها از طریق مدل افزدونی تعمیم یافته[۴] مشخص شود.

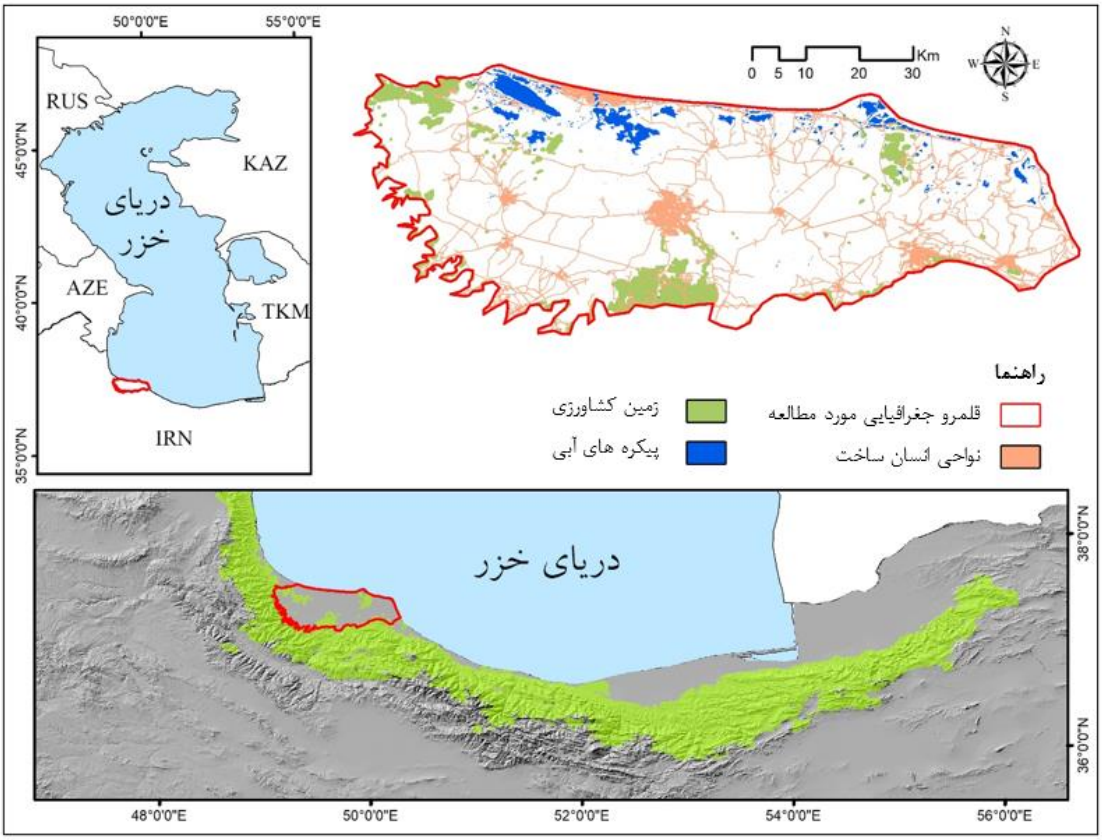
داده‌ها و روش کار

- **قلمرو جغرافیایی مورد مطالعه**

این مطالعه در جنوب غربی دریای خزر در قسمت کم ارتفاع استان گیلان به مساحت تقریبی ۳۸۲۰ کیلومتر مربع بین ۳۷/۰۴ تا ۳۷/۵۳ درجه طول شمالی و ۴۹/۱۲ تا ۵۰/۵۰ ۴۹ درجه عرض شرقی انجام شد (شکل۱). جمعیت منطقه بیش از ۲/۵۳ میلیون نفر تخمین زده می‌شود که طی دو دهه گذشته با نرخ رشد ۰/۷ افزایش یافته است. این منطقه یکی از پراکنده‌ترین الگوهای گسترش شهری را در ایران تجربه کرده است. شهر رشت به عنوان مرکز استان با جمعیت ۰/۶۸ میلیون نفر و مساحت ۵۵/۵ کیلومتر مربع، بزرگترین تراکم شهری منطقه است و همراه با شهر ساحلی انزلی با جمعیت ۰/۱۲ میلیون نفر جمعیت و مساحت ۳۳/۴۳ کیلومتر مربع، بیش از ۳۰ درصد جمعیت منطقه مورد مطالعه را در خود جای داده است. بر اساس سیستم طبقه‌بندی اقلیمی کوپن-گایگر، این منطقه دارای آب و هوای نیمه گرمسیری مرطوب، با تابستان‌های گرم و مرطوب بدون هیچ گونه فصل خشک شناخته می‌شود. میانگین دراز مدت حداقل و حداکثر دمای سالانه منطقه به ترتیب ۳ و ۳۸ درجه سانتی گراد است که در زمستان و تابستان اتفاق می‌افتد. میانگین بارندگی سالانه منطقه بالای ۱۲۰۰ میلی‌متر با پراکندگی همگن در تمام فصول سال است. در تابستان‌ها به دلیل رواج شرایط جوی آرام، رطوبت نسبی از ۸۰ درصد فراتر می‌رود (Aeinehvand et al., ۲۰۲۱).

[۴] Generalized additive models

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.1.8]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.1]



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

- **روش کار**

- نقشه‌سازی زمین‌های سکونتگاهی و دمای سطح زمین

برای نگاهی جامع از تغییرات دما نسبت به توسعه سکونتگاهی، داده‌های مورد نیاز در این تحقیق برای سه دوره زمانی مختلف در سال‌های ۱۳۸۱، ۱۳۹۱ و ۱۴۰۱ تولید شدند. داده‌های ماهواره‌های لندست از سنجنده +ETM برای سال ۱۳۸۱، TM برای سال ۱۳۹۱ و OLI برای سال ۱۴۰۱ استفاده شدند. برای بدست آوردن میانگین تصاویر فصل تابستان در هر سال، از فیلتر زمانی موجود در سامانه گوگل ارث انجین استفاده شد تا تصاویر مورد نظر تولید و در سطح یک تصحیح (بازتاب بالای سطح زمین) استخراج شوند. از آنجایی که مبنای این مطالعه بر توصیف و پیش‌بینی دمای سطح شهرها در واحدهای مستقل با نام بلوک شهری است، این واحدها با استفاده از تحلیل شی‌گرا در نرم‌افزار eCognition از تمامی تصاویر استخراج شد. برای انجام این مهم، چهار فاکتور فشردگی، شکل، مقیاس (متوسط اندازه) و وزن[۵] نسبی با آزمون و خطا و مشاهده تطابق نسبی واحدهای مستخرج با واقعیت زمینی تعیین شدند.

[۵] فشردگی اغلب به خصوصیات طیفی وابسته است. شکل نشان‌دهنده خصوصیات مکانی، وزن برای اولویت‌بندی باندها اختصاص داده می‌شود و مقیاس برای اندازه متوسط بلوک‌های شهری مورد استفاده قرار می‌گیرد.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.1.8]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.1]

باندهای حرارتی تصاویر لندست شامل باند ٦ TM (قدرت تفکیک ۱۲۰ متر؛ ۱۰.۴۵-۱۲.۴۲ میکرومتر)، باند ٦ +ETM (قدرت تفکیک ۶۰ متر؛ ۱۰.۳۱-۱۲.۳۶ میکرومتر) و باند ۱۰ TIR-۱ (قدرت تفکیک ۱۰۰ متر؛ ۱۰.۶۰-۱۱.۱۹ میکرومتر) برای بازیابی لایه‌های دمای سطح زمین استفاده شد. همچنین از میان روش‌های بازیابی دمای سطح زمین از معادله انتقال تشعشع که در مطالعات پیشین نتایج دقیق‌تری را در مناطق مرکزی ایران به‌دست آورده، استفاده شد. در این روش، دمای سطح زمین از طریق محاسبه تشعشع از سنسور یا بالای جو (TOA) پس از اصلاح اثرات جوی و انتشاری به دست می‌آید (Sobrino et al., ۲۰۰٤). برای بازیابی لایه‌های دما با استفاده از این روش، تصاویر خام ابتدا به تشعشع TOA (معادله ۱) و سپس به دمای درخشایی ماهواره (T) با استفاده از ضرایب تبدیل حرارتی باند (K۱ و K۲) ،(معادله ۲) تبدیل شدند. در نهایت با استفاده از ثابت پلانک (h)، سرعت نور (c)، ثابت بولتزمن (α) و تشعشع سطح زمین (ε) در معادله ۳، لایه‌های دمای سطح زمین برای هر سال بازیابی شد. در این پژوهش، تشعشع سطح زمین با استفاده از روش حد NDVI ارائه شده توسط Sobrino et al. (۲۰۰۴) تخمین زده شد.

$$L(\lambda) = \text{gain}\,(DN) + \text{offset}$$ معادله ۱

$$T = K_2 / \ln\left(\frac{K_1}{L(\lambda)} + 1\right) - 272.15$$ معادله ۲

$$LST = T/[1 + (\lambda \times T/(h \times c/\alpha) \ln \varepsilon$$ معادله ۳

- **شناسایی و انتخاب متغیرهای پیش‌بینی کننده دمای سطح شهر**

به دلیل انجام این مطالعه در مقیاس واحد (بلوک) سکونتگاهی، امکان تفکیک متغیرهای پیش‌بینی کننده در دو دسته متغیرهای ذاتی: متغیرهایی که مربوط به خصوصیات ساختاری هر واحد است و متغیرهای همسایگی: متغیرهایی که مربوط به خصوصیات واحدهای همسایه هر واحد (منظور واحدهایی که دارای مرز مشترک هستند) بوجود آمد. متغیرهای ذاتی منتخب در این تحقیق شامل وسعت واحد (Ar)، شاخص شکل واحد (SHI)، محیط به مساحت واحد (P/A) و شاخص هسته مرکزی واحد (CIA) بود که همگی در واحدهای استاندارد متر و هکتار با استفاده از نرم‌افزار Fragstats محاسبه گردید. در بین شاخص‌های همسایگی از سنجه مرز مشترک (Rm)، وسعت پلیگون مادر (Ar-M)، تعداد واحدهای همسایه (Num-N)، متوسط فاصله تا مرکز واحدهای همسایه (ENN)، متوسط وسعت واحدهای همسایه (Ar-N)، متوسط شاخص شکل واحدهای همسایه (SHI-N) و متوسط شاخص هسته مرکزی واحدهای همسایه (CIA-N) استفاده شد. برای محاسبه درصد مرز مشترک هر واحد با واحدهای همسایه از روش ساده توصیف شده توسط Shi et al. (۲۰۱۲) استفاده شد و در صورت وجود همسایه (مقدار Rm>۰) آن واحدها به عنوان واحدهای همسایه در نظر گرفته شدند. منظور از پلیگون مادر، ناحیه سکونتگاهی است که واحد مورد مطالعه در داخل آن قرار گرفته است. برای شناسایی مرکز واحدهای همسایه نیز از ابزار Feature to point در محیط نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد.

برای انتخاب اصلی‌ترین متغیرهایی که بخش اعظم واریانس داده‌ها رو توصیف می‌کنند، از تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده شد. هر مؤلفه که دارای مقدار بردار ویژه بیش از ۱ بود، متغیر (یا متغیرهایی) که بیشترین رتبه را در هر مؤلفه بدست آوردند

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.1.8]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.1]

به عنوان متغیر منتخب به فرآیند مدل‌سازی وارد شدند. همچنین برای جلوگیری از خطا در انتخاب مهم‌ترین متغیر هر مؤلفه، فرآیند تحلیل مؤلفه‌های اصلی با استفاده از روش Varimax صورت گرفت.

- **مدل‌سازی دمای سطح شهر در ارتباط با متغیرهای پیش‌بینی کننده**

ارتباط بین دمای سطح زمین و متغیرهای مشتق شده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی با استفاده از مدل افزودنی تعمیم‌یافته از طریق بسته mgcv در محیط R پیاده‌سازی شد (Wood and Wood, ۲۰۱۵). به طور ساده، مدل افزودنی تعمیم‌یافته، نوع گسترش یافته مدل رگرسیون خطی سنتی است و این اجازه را می‌دهد تا روابط غیرخطی بین پیش‌بینی‌کننده‌ها و متغیر پاسخ با استفاده از توابع صاف تعیین گردد. در این مطالعه پارامترهای صاف‌کننده[۶] با استفاده از روش حداکثر شبه درست‌نمای محدود[۷] (یا باقیمانده) تخمین زده شدند. در نهایت، دقت آماری و قابلیت تفسیر نتایج این مدل با استفاده از ضریب تعیین و تجزیه و تحلیل آزمون F ارزیابی شدند. نوع ساده مدل افزودنی تعمیم‌یافته در رابطه ۱ نمایش داده شده است که در آن PCA_Variable_i متغیر مستقل i ام است که توسط تحلیل مؤلفه‌های اصلی انتخاب شده است، s تابع صاف کننده و ϵ متغیر خطای مدل است (Wood and Wood, ۲۰۱۵).

$$LST \sim s(PCA_Variable_۱) + s(PCA_Variable_۲) + \cdots + s(PCA_Variable_n) + \epsilon \qquad \text{رابطه ۱}$$

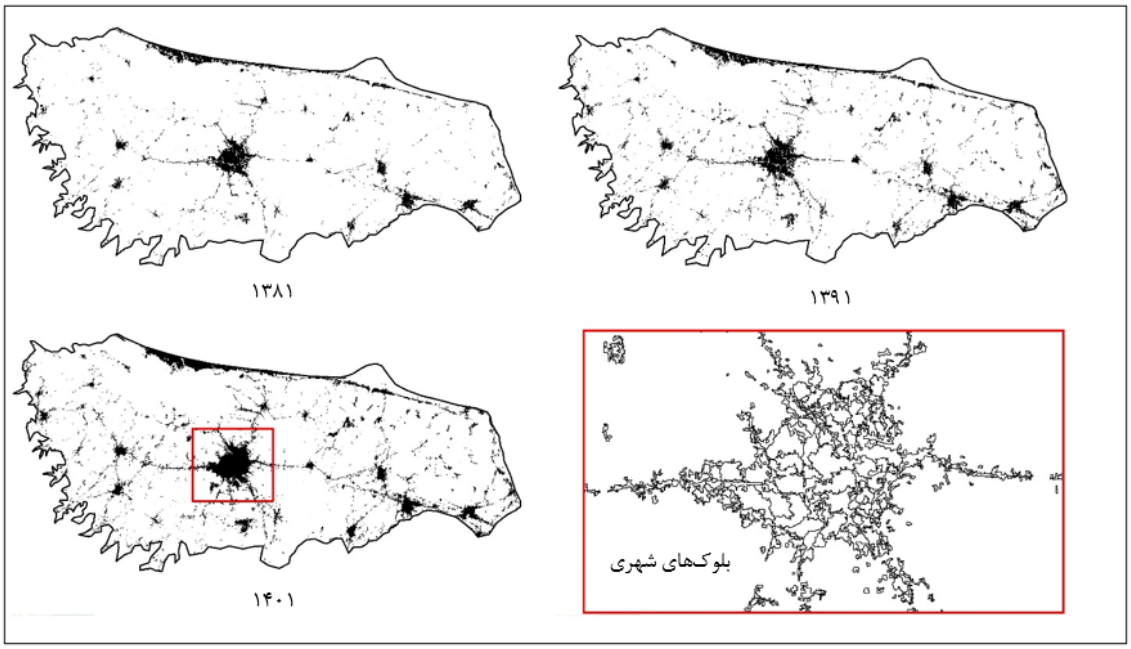
شرح و تفسیر نتایج

نقشه کاربری سکونتگاهی برای هر سه مقطع زمانی توسط تحلیل شی‌گرا انجام شد. برای استخراج بهترین واحدهای طیفیِ منطبق با بلوک‌های شهری از ضرایب فشردگی، شکل، مقیاس به ترتیب برابر با ۰/۵، ۰/۹ و ۲۰ استفاده شد (شکل ۲). متوسط وسعت واحدها در سال‌های ۱۳۸۱، ۱۳۹۱ و ۱۴۰۱ به ترتیب برابر با ۱۹/۶۱، ۲۲/۱۸ و ۲۱/۶۲ هکتار بدست آمد (متوسط ۷/۱۴ ± ۲۱/۱۲ هکتار). وسعت کلی نواحی سکونتگاهی در سال‌های مورد مطالعه روند افزایشی را نشان داد و از ۲۳۸۷۰ هکتار (۵/۹ درصد منطقه) در سال ۱۳۸۱ به وسعت ۳۴۴۷۸ (۸/۶ درصد) در سال ۱۳۹۱ و ۴۴۱۶۹ هکتار (۱۱/۰ درصد) در سال ۱۴۰۱ رسید. چنانچه در شکل-۲ نشان داده شده است، افزایش وسعت نواحی سکونتگاهی به صورت همگن و توسعه پراکنده در کل گستره مورد مطالعه قابل مشاهده است. لایه‌های دمای سطح زمین در کل منطقه بین دو مقدار ۲۲/۸۴ و ۲۶/۲۶ درجه سانتی‌گراد بین سال‌های مورد مطالعه در نوسان بوده است. دمای نواحی سکونتگاهی نیز در محدوده ۲۶/۱۴ و ۵۳/۰۴ درجه سانتی‌گراد قرار داشت. بالاترین متوسط دمای سطح زمین در سال ۱۳۹۱ برابر با ۷/۲۶ ± ۳۶/۳۸ درجه سانتی‌گراد و کمترین آن در سال ۱۳۸۱ برابر با ۸/۶۲ ± ۳۳/۱۴ درجه سانتی‌گراد ثبت گردید (شکل ۳).

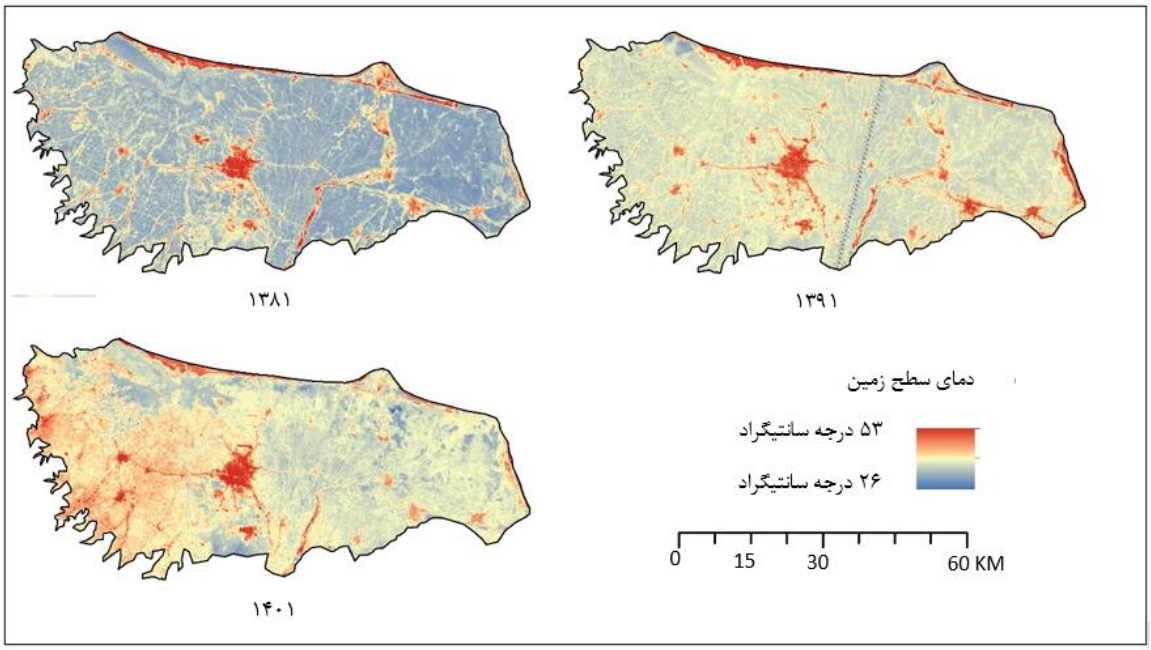
[۶] smoothing parameters

[۷] Limited pseudo-likelihood maximum method

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.1.8]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.1]



شکل ۲: نقشه کاربری سکونتگاهی در سال‌های مورد مطالعه



شکل ۳: نقشه متوسط دمای سطح زمین در سال‌های مورد مطالعه

مقادیر پارامترهای مستقل در دو طبقه متغیرهای ذاتی و متغیرهای همسایگی محاسبه گردید (جدول ۱). بر اساس نتایج، وسعت پلیگون مادر که در برگیرنده‌ی واحدهای مطالعاتی است برابر با ۱۸/۷۲ ± ۱۸/۳۸ هکتار بدست آمد. شهر رشت نیز با متوسط وسعت ۳۹۲۳ هکتار در سال‌های مورد مطالعه به عنوان بزرگترین پلیگون مادر شناخته شد. متوسط شاخص شکل

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.1.8]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.1]

واحد و نسبت محیط به مساحت آن نیز به ترتیب برابر با ۱/۱۵ ± ۲/۶۴ و ۱۸/۷۸ ± ۳۹/۵۵ بدست آمد. شاخص هسته مرکزی واحدها نیز بین دو مقدار ۵/۰۹ و ۷۸/۱۳ قرار گرفت. مقدار این شاخص برای سنجه‌های همسایه به طور متوسط برابر با ۲۴/۴۶ ± ۳۴/۰۴ بدست آمد. حداکثر تعداد پلیگون‌های شهری همسایه در منطقه برابر با ۸ بدست آمد و متوسط آن ۲/۳۸ ± ۳/۲۳ بدست آمد. شاخص مرز مشترک برای واحدهای منزوی برابر با ۰ و واحدهای محصور در بین واحدهای شهری همسایه برابر با ۱ بدست آمد. متوسط این شاخص نیز برابر با ۰/۳۲ ± ۰/۲۶ بدست آمد که گویای ماهیت پراکنده نواحی شهری در منطقه مورد مطالعه و انزاوای اغلب واحدهای سکونتگاهی به صورت محصور در داخل زمین کشاورزی است.

جدول ۱: مقادیر پارامترهای توصیف کننده دمای سطح زمین در دو دسته پارامترهای ذاتی و پارامترهای همسایگی

متغیر	حرف اختصاری	آماره		
		حداقل	حداکثر	متوسط	Std.
وسعت واحد	Ar	۲/۵۵	۳۸/۶۱	۱۲/۲۱	۷/۱۴
شاخص شکل واحد	SHI	۱/۰۸	۹/۰۱	۲/۶۴	۱/۱۵
محیط به مساحت واحد	P/A	۴/۰۰	۱۵۸/۹۵	۳۹/۵۵	۱۸/۷۸
شاخص هسته مرکزی واحد	CIA	۵/۰۹	۷۸/۱۳	۳۹/۴۴	۲۶/۴۲
سنجه مرز مشترک	Rm	۰	۱	۰/۲۶	۰/۳۲
وسعت پلیگون مادر	Ar-M	*	۳۹۲۳/۱۹	۱۵/۳۸	۱۸/۷۲
تعداد واحدهای همسایه	Num-N	۰	۸	۳/۲۳	۲/۳۸
متوسط فاصله تا مرکز واحدهای همسایه	ENN	۵۶۸/۶۷	۶۲۹۳/۷۳	۳۳۱۲/۵۹	۳۸۵۸/۷۸
متوسط وسعت واحدهای همسایه	Ar-N	۰	۲۳۴/۲۲	۳۵/۹۴	۲۸/۷۳
متوسط شاخص شکل واحدهای همسایه	SHI-N	۱/۰۵	۷/۸۶	۳/۶۶	۱/۲۳
متوسط شاخص هسته مرکزی واحدهای همسایه	CIA-N	۶/۶۸	۸۳/۳۹	۳۴/۰۴	۲۴/۶۴

* برخی واحدها به صورت مستقل از سایر واحدها حضور داشته و وسعت پلیگون‌های مادر برابر با وسعت خود واحد در نظر گرفته شد.

نتایج حاصل از تجزیه مؤلفه‌های اصلی در جدول ۲ نشان داده شده است. سه مؤلفه اول مقدار بردار ویژه بالاتر از ۱ را نشان دادند. بردار اول توانست ۳۴/۱۹ درصد از واریانس متغیرهای مستقل را دربر گیرد. مهم‌ترین پارامترهای که بیشترین نقش را در تشکیل این مؤلفه داشت وسعت واحد (Ar) بود. سنجه مرز مشترک (Rm) و وسعت پلیگون مادر (Ar-M) مهم‌ترین متغیرهای مؤلفه دوم با بردار ویژه ۱/۷۹ و درصد واریانس ۱۷/۱۱ شناخته شد. در مؤلفه سوم (بردار ویژه ۱/۴۸ و درصد واریانس ۱۵/۲۹) نیز پارامتر محیط به مساحت (P/A) به عنوان مهم‌ترین پارامتر شناسایی شد. در مجموع این سه مؤلفه توانستند بیش از ۶۶ درصد تغییرات واریانس را توصیف کرده و متغیرهای اصلی آن برای اجرای مدل افزایشی تعمیمی مورد استفاده قرار گیرند.

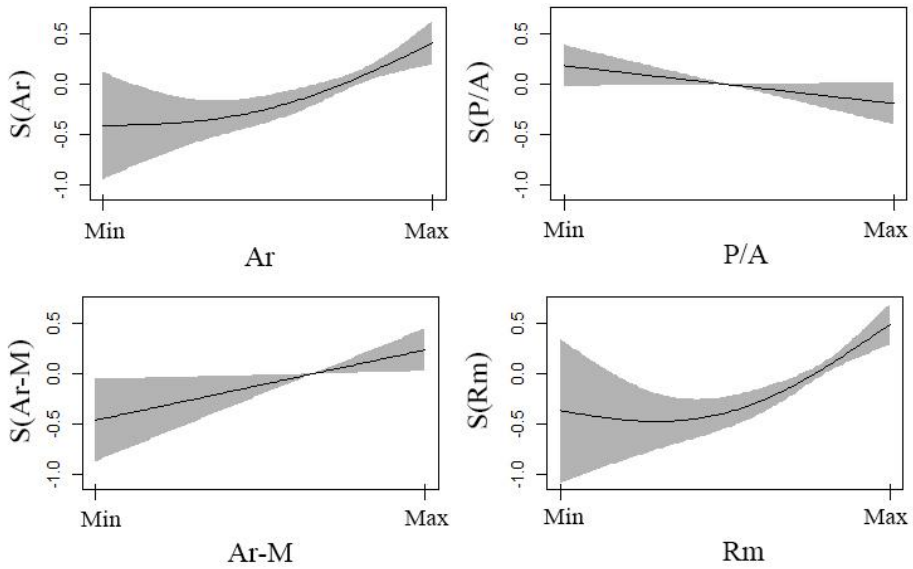
[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.1.8]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.1]

جدول ۲: مؤلفه‌های با مقدار بردار ویژه بیشتر از ۱، درصد واریانس و اهمیت هر پارامتر در توصیف مؤلفه‌ها

متغیر	مؤلفه		
	۱	۲	۳
بردار ویژه	۲/۶۳	۱/۷۹	۱/۴۸
درصد واریانس	۳۴/۱۹	۱۷/۱۱	۱۵/۲۹
وسعت واحد	**۰/۸۸***	۰/۳۳	-۰/۰۸
وسعت پلیگون مادر	۰/۴۱	**۰/۶۷***	۰/۰۰
شاخص شکل واحد	-۰/۵۱	-۰/۷۰	۰/۲۴
محیط به مساحت واحد	-۰/۳۸	۰/۲۹	**۰/۹۰***
متوسط فاصله تا واحدهای همسایه	-۰/۷۶	-۰/۰۷	-۰/۳۸
شاخص هسته مرکزی واحد	۰/۱۹	-۰/۴۷	۰/۳۳
سنجه مرز مشترک	۰/۱۳	**۰/۵۹***	۰/۱۰
تعداد واحدهای همسایه	-۰/۰۸	-۰/۰۲	۰/۲۴
متوسط وسعت واحدهای همسایه	۰/۰۲	-۰/۳۹	-۰/۰۲
متوسط شاخص شکل واحدهای همسایه	-۰/۱۱	۰/۱۷	۰/۱۴
متوسط شاخص هسته مرکزی واحدهای همسایه	-۰/۱۲	۰/۲۲	۰/۰۳

با استفاده از وسعت واحد (Ar)، سنجه مرز مشترک (Rm)، وسعت پلیگون مادر (Ar-M) و پارامتر محیط به مساحت (P/A)، مدل رگرسیون افزایشی تعمیم‌یافته برای پیش‌بینی دمای سطح هر واحد اجرا شد. نتایج نشان داد که هر چهار متغیر ارتباط غیرخطی معنی‌داری در پیش‌بینی دمای نواحی سکونتگاهی دارند. متغیر وسعت واحد (Ar)، سنجه مرز مشترک (Rm) و وسعت پلیگون مادر (Ar-M) روند افزایشی را با افزایش دمای واحد نشان دادند (شکل ۴) که برای متغیر وسعت واحد (Ar) در بالاترین سطح معنی‌داری (p-value = ۰/۰۰۰، F = ۳/۲۹۹) و برای وسعت پلیگون مادر (Ar-M) در پایین‌ترین سطح قرار داشت (p-value = ۰/۰۳۴، F = ۴/۱۰۶). بر خلاف این سه متغیر، پارامتر محیط به مساحت (P/A) روند کاهش و معنی‌داری با افزایش دما از خود نشان داد (p-value = ۰/۰۰۸، F = ۷/۸۸۶). مدل مذکور توانست کارایی مطلوبی با مقدار ضریب تشخیص ۰/۶۱۹ را از خود نشان دهد (جدول ۳).

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.1.8]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.1]



شکل ۴: روند تغییرات پارامترهای ورودی به مدل افزایشی تعمیم‌یافته در پاسخ به تغییر دمای سطح زمین در هر واحد

جدول ۳: ضریب تشخیص و عملکرد پارامترهای ورودی به مدل افزایشی تعمیم یافته

خصوصیت	آماره	پارامتر				R-sq.(adj)
		Ar	Rm	Ar-M	P/A	
دمای سطح زمین	F	۳/۲۹۹	۱/۵۰۱	۴/۱۰۶	۷/۸۸۶	۰/۶۱۹
	p-value	۰/۰۰۰	۰/۰۱۰	۰/۰۳۴	۰/۰۰۸	
	اطمینان	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۱	

مطالعات در مورد رابطه بین الگوهای مکانی کاربری زمین و دمای سطح زمین شهری توجه زیادی را در طول دهه گذشته به خود جلب کرده است. با این حال، به دلیل پیچیدگی و تنوع ساختاری بالا در الگوهای کاربری زمین، پیش‌بینی دمای سطح زمین بخصوص در عرصه‌های سکونتگاهی به چالش تحقیقاتی تبدیل شده است بطوریکه محققان را مجبور کرده تا مجموعه‌های نوآورانه از متغیرهای مستقل و وابسته را در مطالعات خود لحاظ کنند (Kuang et al., ۲۰۱۵). در این راستا، مطالعه کنونی به بررسی دمای سطح زمین در واحدهای طیفی که نماینده‌ای از بلوک‌های شهری هستند و همچنین تفکیک متغیرهای مستقل در طبقات متغیرهای ذاتی و همسایگی پرداخته است تا الگوی دقیقتری از روابط دمای سطح زمین شهری با الگوهای استقرار آن در پهنه سیما بدست آید.

اگرچه دمای سطح زمین شهری به صورتِ متوسطِ فصل گرم در بین سال‌های مورد بررسی تهیه شد، اما اختلافات بارزی بین دماهای سال‌های مختلف به ثبت رسید که این امر را می‌توان به اثر بارز شرایط محیطی بر تغییر دمای سطح زمین ثبت شده توسط سنجنده‌های ماهواره‌ای مرتبط دانست. به عبارت دیگر، به دلیل اثرات آب و هوایی و اتمسفری و همچنین تغییرات بالای آن در زمان تصویر برداری، امکان ثبت روند یکنواخت و افزایشی در دمای سطح زمین شهری با گذشت زمان وجود ندارد. از این رو مطالعه حاضر سعی دارد تا مدل‌های مورد بررسی را بر اساسِ مجموعِ تغییرات دما در سال‌های مختلف مورد

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.1.8]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.1]

بررسی قرار دهد تا اثر پارامترهای پویا بر نتایج تا حد ممکن تعدیل گردد. اگرچه این رویکرد در مطالعات مختلفی به حصول نتایج قابل اطمینان کمک کرده است (Chen et al., ۲۰۲۱; Guha et al., ۲۰۱۸)، اما کماکان استفاده از تصاویر در مقاطع زمانی کوتاه مدت برای حصول نتایج مورد نظر در تحقیقات مشابه، به تولید نتایج اریب منجر خواهد شد.

در بین پارامترهای پیش‌بینی کننده همسایگی، در این مطالعه تنها بر شاخص‌های مکانی واحدهای شهری اکتفا شد زیرا سایر واحدها بخصوص واحدهای کشاورزی، تغییرات بسیار زیادی را در طول زمان (حتی در مقیاس ماهانه) تجربه می‌کنند که این امر نه تنها بر تفکیک همگن واحدها در طول زمان اثرگذار خواهد بود بلکه موجب کالیبره شدن مدل با متغیرهای بی‌ثبات و عدم حصول نتایج قابل استفاده در مدیریت دمای سطح زمین از طریق جانمایی انواع کاربری‌ها خواهد شد. نتایج حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی نشان داد که وسعت واحد، مهم‌ترین پارامتر پیش‌بینی کننده دمای سطح زمین در مهم‌ترین مؤلفه استخراج شده است. این نتیجه تأییدی بر نتایجی است که مطالعات مختلفی از قبیل لو و همکاران (Lu et al, ۲۰۲۰) و یاو و همکاران (Yao et al, ۲۰۲۰) . نشان دادند، با این تفاوت که مقیاس مکانی مورد بررسی از وسعت پلیگون شهری به وسعت بلوک شهری تقلیل پیدا کرده است. از این رو اینطور می‌توان نتیجه گرفت که وسعت بلوک شهری و تجمیع بلوک‌ها به صورت یک پهنه همگن از نواحی سکونتگاهی، هر دو از مهم‌ترین متغیرهای پیش‌بینی کننده دمای آن هستند. در مدل افزودنی تعمیم یافته نیز هم اثر وسعت واحد و هم وسعت پلیگون مادر بر دمای سطح زمین به صورت افزایشی و در بالاترین سطح معنی‌داری قرار داشتند.

اثر معنی‌دار پارامتر محیط به مساحت چه به عنوان یکی از متغیرهای اصلی حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی و چه به عنوان جزئی معنی‌دار از مدل قابل توجه است. این پارامتر ارتباط معکوسی با دمای سطح زمین شهری از خود نشان داد زیرا واحدهایی با محیط به مساحت بالا، هسته مرکزی کمتری داشته و در تعامل بیشتری با واحدهای هم‌جوار بخصوص واحدهای کشاورزی که اثر تعدیل کننده دما دارند، خواهند بود این یافته را می‌توان در مطالعات مشابهی از قبیل افراخته و همکاران (Afrakhteh et al., ۲۰۱٦). نیز مشاهده کرد. به عبارت کلی، چناچه وسعت یک واحد شهری کم و جزئی از یک پلیگون شهری با ابعاد کوچکتر باشد، دمای کمتری را تجربه خواهد کرد و این امر در زمانی که واحد به صورت نواری شکل با محیط به مساحت بالا باشد، بارزتر خواهد بود. چنانچه وسعت پلیگون مادر را به عنوان معیاری از پارامترهای همسایه در نظر بگیریم، موقعیت واحد نسبت به پلیگون مادر با معنی‌دار شدن پارامتر مرز مشترک قابل تفسیر خواهد بود. چناچنه نتایج مدل رگرسیون غیر خطی نشان داد، هرچه درصد مرز مشترک بیشتر باشد، مکان قرارگیری واحد در بخش‌های درونی پلیگون مادر و به صورت محصور در داخل سایر واحدهای شهری خواهد بود حال آنکه با کاهش این پارامتر، موقعیت حاشیه‌ای یا منفرد را می‌توان برای هر واحد در نظر گرفت که در این صورت، اثر کمتری از سایر واحدهای همسایه دریافت خواهد کرد.

نتیجه‌گیری

مطالعات مربوط به درک ارتباط بین الگوهای کاربری زمین و دمای سطح زمین شهری روز به روز در حال افزایش است. با این حال، به دلیل ساختارهای پیچیده و متنوع کاربری زمین به ویژه در مناطق مسکونی، پیش بینی دما در این نواحی همچنان چالش برانگیز است. این مطالعه با بررسی دما در واحدهای بلوک شهری، به تشخیص اثر متغیرهای ذاتی و همسایگی

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.1.8]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.1]

برای درک دقیق رابطه دما و کاربری زمین پرداخت. بر اساس نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی، وسعت، واحدی پارامتر محور، در تعیین دمای سطح زمین شهری است که در کنار گستردگی و تجمع بلوک شهری به عنوان یک پهنه همگن، از پیش‌بینی‌کننده‌های کلیدی دمای سطح زمین در مناطق مسکونی شناخته می‌شود. این مطالعه همچنین بر اهمیت پیکربندی فضایی واحدها و ساختار مکانی آن‌ها در شکل‌دهی الگوهای دمای شهری تأکید کرده است. بطور کلی بر اساس یافته‌های این تحقیق اینطور می‌توان استنباط کرد که بلوک‌های شهری را می‌توان به عنوان واحدهای مجزا در نظر گرفت که شاخص‌های دمایی آن مانند دمای سطح زمین، تحت‌تأثیر خصوصیات ذاتی آن مانند شکل قرار دارد. علاوه بر آن، موقعیت قرارگیری واحد نسبت به سایر واحدها نیز بر دمای نهایی آن اثرگذار خواهد بود که مشابه با نتایج مطالعاتی از قبیل راکوتو و همکاران (Rakoto et al., ۲۰۲۱) و هو و استوک (Hou and Estoque, ۲۰۲۰) گواهی بر اثر پیکربندی سیما بر دمای سطح زمین شهری خواهد بود.

استفاده از روش‌شناسی ارائه شده در این تحقیق در سایر نواحی ایران می‌تواند به درک اهمیت و نقش هر پارامتر در آمایش دمایی سیماهای شهری کمک کند.

منابع

Aeinehvand, R., Darvish, A., Baghaei Daemei, A., Barati, S., Jamali, A. and Malekpour Ravasjan, V., ۲۰۲۱. Proposing alternative solutions to enhance natural ventilation rates in residential buildings in the Cfa Climate Zone of Rasht. Sustainability, **۱۳(۲)**:٦٧٩. https://doi.org/١٠,٣٣٩٠/su١٣٠٢٠٦٧٩.

Afrakhteh, R., Asgarian, A., Sakieh, Y. and Soffianian, A., ٢٠١٦. Evaluating the strategy of integrated urban-rural planning system and analyzing its effects on land surface temperature in a rapidly developing region. Habitat International, ٥٦, pp.١٤٧-١٥٦. https://doi.org/١٠,١٠١٦/j.habitatint.٢٠١٦,٠٥,٠٠٩.

Alqasemi, A.S., Hereher, M.E., Kaplan, G., Al-Quraishi, A.M.F. and Saibi, H., ٢٠٢١. Impact of COVID-١٩ lockdown upon the air quality and surface urban heat island intensity over the United Arab Emirates. Science of the Total Environment, ٧٦٧, p.١٤٤٣٣٠. https://doi.org/١٠,١٠١٦/j.scitotenv.٢٠٢٠,١٤٤٣٣٠.

Asgarian, A., Amiri, B.J. and Sakieh, Y., ٢٠١٥. Assessing the effect of green cover spatial patterns on urban land surface temperature using landscape metrics approach. Urban Ecosystems, ١٨:٢٠٩-٢٢٢. https://doi.org/١٠,١٠٠٧/s١١٢٥٢-٠١٤-٠٣٨٧-٧.

Bozorgi, M., Nejadkoorki, F. and Mousavi, M.B., ٢٠١٨. Land surface temperature estimating in urbanized landscapes using artificial neural networks. Environmental monitoring and assessment, ١٩٠:١-١٠. https://doi.org/١٠,١٠٠٧/s١٠٦٦١-٠١٨-٦٦١٨-٢.

Chen, Z., Zhang, H., Duan, H. and Shi, C., ٢٠٢١. Improvement of thermal and optical responses of short-term aged thermochromic asphalt binder by warm-mix asphalt technology. Journal of Cleaner Production, ٢٧٩:١٢٣٦٧٥. https://doi.org/١٠,١٠١٦/j.jclepro.٢٠٢٠,١٢٣٦٧٥.

Dutta, D., Rahman, A., Paul, S.K. and Kundu, A., ٢٠٢١. Impervious surface growth and its inter-relationship with vegetation cover and land surface temperature in peri-urban areas of Delhi. Urban Climate, ٣٧, p.١٠٠٧٩٩. https://doi.org/١٠,١٠١٦/j.uclim.٢٠٢١,١٠٠٧٩٩.

Guha, S., Govil, H., Dey, A. and Gill, N., ٢٠١٨. Analytical study of land surface temperature with NDVI and NDBI using Landsat ٨ OLI and TIRS data in Florence and Naples city, Italy. European Journal of Remote Sensing, **٥١(١)**:٦٦٧-٦٧٨. https://doi.org/١٠,١٠٨٠/٢٢٧٩٧٢٥٤,٢٠١٨,١٤٧٤٤٩٤.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.1.8]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.1]

Guo, G., Wu, Z., Cao, Z., Chen, Y. and Yang, Z., ۲۰۲۰. A multilevel statistical technique to identify the dominant landscape metrics of greenspace for determining land surface temperature. Sustainable Cities and Society, ۶۱:۱۰۲۲۶۳. https://doi.org/۱۰,۱۰۱۶/j.scs.۲۰۲۰,۱۰۲۲۶۳.

Hou, H. and Estoque, R.C., ۲۰۱۹. Detecting Cooling Effect of Landscape Composition and Configuration: An Urban Heat Island Study on Hangzhou. Abstracts of the ICA, ۱:۱-۲. https://doi.org/۱۰,۱۰۱۶/j.ufug.۲۰۲۰,۱۲۶۷۱۹.

Kuang, W., Liu, Y., Dou, Y., Chi, W., Chen, G., Gao, C., Yang, T., Liu, J. and Zhang, R., ۲۰۱۵. What are hot and what are not in an urban landscape: quantifying and explaining the land surface temperature pattern in Beijing, China. Landscape ecology, **۳۰(۲)**:۳۵۷-۳۷۳. https://doi.org/۱۰,۱۰۰۷/s۱۰۹۸۰-۰۱۴-۰۱۲۸-۶.

Li, S., Zhao, Z., Miaomiao, X. and Wang, Y., ۲۰۱۰. Investigating spatial non-stationary and scale-dependent relationships between urban surface temperature and environmental factors using geographically weighted regression. Environmental Modelling & Software, **۲۵(۱۲)**:۱۷۸۹-۱۸۰۰. https://doi.org/۱۰,۱۰۱۶/j.envsoft.۲۰۱۰,۰۶,۰۱۱.

Lu, L., Weng, Q., Xiao, D., Guo, H., Li, Q. and Hui, W., ۲۰۲۰. Spatiotemporal variation of surface urban heat islands in relation to land cover composition and configuration: A multi-scale case study of Xi'an, China. Remote Sensing, **۱۲(۱۷)**:۲۷۱۳. https://doi.org/۱۰,۳۳۹۰/rs۱۲۱۷۲۷۱۳.

Nadoushan, M.A., ۲۰۲۲. Advancing urban planning in arid agricultural-urbanized landscapes of Iran: Spatial modeling evidence from a rapidly developing region. Sustainable Cities and Society, ۸۷:۱۰۴۲۳۰. https://doi.org/۱۰,۱۰۱۶/j.scs.۲۰۲۲,۱۰۴۲۳۰.

Osborne, P.E. and Alvares-Sanches, T., ۲۰۱۹. Quantifying how landscape composition and configuration affect urban land surface temperatures using machine learning and neutral landscapes. Computers, Environment and Urban Systems, ۷۶:۸۰-۹۰. https://doi.org/۱۰,۱۰۱۶/j.compenvurbsys.۲۰۱۹,۰۴,۰۰۳.

Piracha, A. and Chaudhary, M.T., ۲۰۲۲. Urban Air Pollution, Urban Heat Island and Human Health: A Review of the Literature. Sustainability ۲۰۲۲, ۱۴, ۹۲۳۴. https://doi.org/۱۰,۳۳۹۰/su۱۴۱۵۹۲۳۴.

Rakoto, P.Y., Deilami, K., Hurley, J., Amati, M. and Sun, Q.C., ۲۰۲۱. Revisiting the cooling effects of urban greening: Planning implications of vegetation types and spatial configuration. Urban Forestry & Urban Greening, ۶۴:۱۲۷۲۶۶. https://doi.org/۱۰,۱۰۱۶/j.ufug.۲۰۲۱,۱۲۷۲۶۶.

Roy, R. and Sen, S., ۱۹۹۹. Temporal analysis of Normalised Differential Built up Index and Land Surface Temperature and its link with urbanisation: A case study on Barrackpore sub-division, West Bengal.

Shen, C., Hou, H., Zheng, Y., Murayama, Y., Wang, R. and Hu, T., ۲۰۲۲. Prediction of the future urban heat island intensity and distribution based on landscape composition and configuration: A case study in Hangzhou. Sustainable Cities and Society, ۸۳:۱۰۳۹۹۲. https://doi.org/۱۰,۱۰۱۶/j.scs.۲۰۲۲,۱۰۳۹۹۲.

Shi, Y., Sun, X., Zhu, X., Li, Y. and Mei, L., ۲۰۱۲. Characterizing growth types and analyzing growth density distribution in response to urban growth patterns in peri-urban areas of Lianyungang City. Landscape and urban planning, **۱۰۵(۴)**:۴۲۵-۴۳۳. https://doi.org/۱۰,۱۰۱۶/j.landurbplan.۲۰۱۲,۰۱,۰۱۷.

Siddiqui, A., Kushwaha, G., Nikam, B., Srivastav, S.K., Shelar, A. and Kumar, P., ۲۰۲۱. Analysing the day/night seasonal and annual changes and trends in land surface temperature and surface urban heat island intensity (SUHII) for Indian cities. Sustainable Cities and Society, ۷۵:۱۰۳۳۷۴. https://doi.org/۱۰,۱۰۱۶/j.scs.۲۰۲۱,۱۰۳۳۷۴.

Sobrino, J.A., Jiménez-Muñoz, J.C. and Paolini, L., ۲۰۰۴. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM ۵. Remote Sensing of environment, **۹۰(۴)**:۴۳۴-۴۴۰. https://doi.org/۱۰,۱۰۱۶/j.rse.۲۰۰۴,۰۲,۰۰۳.

Wood, S. and Wood, M.S., ۲۰۱۵. Package 'mgcv'. R package version, **۱(۲۹)**:۷۲۹.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.1.8]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.1]

Yao, L., Li, T., Xu, M. and Xu, Y., ۲۰۲۰. How the landscape features of urban green space impact seasonal land surface temperatures at a city-block-scale: An urban heat island study in Beijing, China. Urban Forestry & Urban Greening, **۵۲**:۱۲۶۷۰٤. https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/j.ufug.۲۰۲۰,۱۲٦۷۰٤.

Zhang, B., Amani-Beni, M., Shi, Y. and Xie, G., ۲۰۱۸. The summer microclimate of green spaces in Beijing'Olympic park and their effects on human comfort index. Ecol. Sci, **۳۷(۵)**:۷۷-۸٦.

Zhao, W., Duan, S.B., Li, A. and Yin, G., ۲۰۱۹. A practical method for reducing terrain effect on land surface temperature using random forest regression. Remote sensing of environment, **۲۲۱**:٦۳۵-٦٤۹. https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/j.rse.۲۰۱۸,۱۲,۰۰۸.

Zou, M. and Zhang, H., ۲۰۲۱. Cooling strategies for thermal comfort in cities: a review of key methods in landscape design. Environmental Science and Pollution Research, **۲۸(٤٤)**:٦۲٦٤۰-٦۲٦۵۰. https://doi.org/۱۰,۱۰۰۷/s۱۱۳۵٦-۰۲۱-۱۵۱۷۲-y.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.1.8]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.1]