نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیست و یکم، شماره۶۲، پاییز ۱۴۰۰

واکاوی تغییرات سطوح نفوذ ناپذیر و دمای سطح زمین در قائم شهر

دریافت مقاله: ۹۷/۱۱/۵ **پذیرش نهایی**: ۹۸/۳/۱

صفحات: ۱۹۹-۱۸۳

طاهر صفرراد: استادیار اقلیم شناسی، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران[1]
Email: t.safarrad@umz.ac.ir
یداله یوسفی: استادیار اقلیم شناسی، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران.
Email: y.yousefi@umz.ac.ir
عاطفه رضایی طالعی: دانشجوی کارشناسی ارشد اقلیم شناسی دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران.
Email: ateferezai1373@gmail.com

چکیده

آگاهی از تغییرات سطوح غیر قابل نفوذ برای درک شهرنشینی و تأثیر آن بر چرخه هیدرولوژیکی، مدیریت آب، تعادل انرژی سطحی، جزیره گرمایشی و تنوع زیستی ضروری است. این پژوهش به آشکارسازی سطوح نفوذ ناپذیر و تغییرات آن در شهر قائمشهر با استفاده از تصاویر ماهواره لندست پرداخته است. پس از آشکارسازی، ارتباط سطوح نفوذ ناپذیر شهری با تفاوت‌های درجه حرارت سطح زمین در شهر بررسی شد. بدین منظور پس از اخذ سه تصویر در سال‌های ۱۹۷۸، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۷ و انجام پیش‌پردازش‌های لازم، مقادیر بازتاب طیف فروسرخ کوتاه و درجه حرارت سطح زمین در منطقه مورد مطالعه محاسبه شد. میزان بازتاب این طیف در کاربری‌های مختلف پوشش گیاهی، آسفالت و مناطق ساخته شده در دو بخش شهر و حومه شهر بررسی و محاسبه شد. با استفاده از نتایج حاصل از آزمون تحلیل واریانس یک طرفه(ANOVA) و آزمون تعقیبی توکی(Tukey) ویژگی‌های فوق در این کاربری‌ها با هم مقایسه شدند. با استناد به تفاوت سطوح نفوذپذیر(پوشش گیاهی) و سطوح نفوذ ناپذیر(مناطق ساخته شده و آسفالت)، شاخص سطوح نفوذ ناپذیر شهری تعریف و محاسبه شد. نتایج آشکارسازی و مقایسه سه تصویر بررسی شده مشخص نمود، سطوح نفوذ ناپذیر در قائم شهر از سال ۱۹۷۸ تا ۲۰۱۷ افزایش چشمگیری داشته است. در مرحله بعد با محاسبه دمای سطح زمین مشخص شد مقدار دما در سطوح نفوذ ناپذیر بیشتر از سایر بخش‌های محدوده مورد مطالعه است. افزایش جمعیت شهر و به دنبال آن افزایش ساخت و ساز سبب افزایش سطوح نفوذ ناپذیر و کاهش فضای سبز شده است و این کاهش، افزایش دمای شهر را سبب شده است. نتایج پژوهش نشان داد، افزایش سطوح نفوذ ناپذیر شهری، افزایش حدود ۴ درجه در دمای شهر را در پی داشته است. نهایتاً می‌توان گفت هرگونه افزایش سطوح نفوذ ناپذیر در سطح شهر اگر همراه با برنامه‌ریزی صحیح نباشد منجر به عدم تعادل محیط شهری خواهد شد.

کلید واژگان: کاربری شهری، سطوح نفوذ ناپذیر، دمای سطح، تحلیل واریانس یک طرفه، قائم شهر

---

۱ . **نویسنده مسئول:** استان مازندران، بابلسر، سه راه دانشگاه، پردیس دانشگاه مازندران، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، ۰۹۳۷۰۲۸۶۳۲۱، ۰۱۱۳۵۳۰۲۶۴۷

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.62.14.4]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.183]

مقدمه

در نیم‌قرن گذشته، فعالیت‌های انسانی از طریق جنگل‌زدایی و توسعه شهرها تغییرات چشمگیری بر زمین اعمال کرده است. در مناطق شهری، مشکلات زیست‌محیطی فراوانی ازجمله کاهش فضای سبز به دلیل تغییرات سریع پوشش زمین رخ داده است(امیری و همکاران،۲۰۰۹: ۲۶۰۶). تفاوت در واکنش پوشش‌های مختلف سطح زمین در مقابل انرژی رسیده به سطح، سبب تغییرات مکانی روزانه دمای سطح زمین می‌شود (دره‌بادامی و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۲۱) جمعیت شهری ایران طی ۹۰ سال گذشته حدود ۲۶ برابر افزایش‌یافته که سبب تغییرات زیادی در شهرها شده است. توسعه مناطق شهری موجب تغییر در چشم‌انداز، ساختمان‌ها، جاده‌ها و دیگر زیرساخت‌ها می‌شود. از طرف دیگر، جایگزین شدن پوشش طبیعی زمین با سنگ‌فرش، بتن، آسفالت و دیگر ساخت‌وسازهای شهری، اثر خنک‌کنندگی سطوح طبیعی را از بین خواهد برد (لیو[1] و ژانگ , ۲۰۱۱: ۱۵۳۵). نتایج تحقیقات نشان می‌دهد مکان‌های شهری، گرم‌تر از نواحی مجاورشان هستند و یکی از نگرانی‌های قابل‌توجه در ارتباط با شهرها، افزایش مداوم درجه حرارت آن‌ها است که به عنوان جزیره حرارتی شهر از آن یاد می‌شود (دباغیان امیری، ۱۳۹۱: ۱؛ لیلای رز و دیواداس۲، ۲۰۰۹: ۱؛ لیو و ژانگ: ۲۰۱۱: ۱۵۳۵).

امروزه به دنبال روند افزایشی شهرنشینی، سطوح غیرقابل نفوذ شهری نیز افزایش پیدا کرده است. سطوح نفوذ ناپذیر به طور کلی به عنوان مواد مصنوعی که آب نمی‌تواند در آن نفوذ کند، شناخته می‌شوند و سقف ساختمان‌ها، سیستم‌های حمل و نقل مانند جاده‌ها، راه‌های عبور، پارکینگ‌ها و پیاده‌روها را شامل می‌شود (لی[3]، ۲۰۱۷: ۲۳۸۹). از بین بردن فضای سبز و جایگزین کردن آن‌ها با سطوح نفوذ ناپذیر باعث تغییرات در بیلان انرژی شهری و آلبدوی شهری می‌شود. به طوری که همگام با رنگ و جنس سطوح نفوذ ناپذیر میزان بازتاب و نگهداشت انرژی تغییر کرده و در پی آن افزایش دما در شهر به وجود خواهد آمد. سطوح نفوذ ناپذیر شهری از نظر جنس و ترکیب ارتباط مستقیمی با جزیره حرارتی، آلبدو و بیلان انرژی دارند که علاوه بر آن، چرخه هیدرولوژیکی را نیز متأثر می‌سازد. سطوح نفوذ ناپذیر شهری نشان دهنده تراکم جمعیت، سطح رفاه و کیفیت محیط شهری بوده و روند گسترش شهرسازی و شهرنشینی را بازتاب می‌دهد. توسعه شهرها و افزایش سطوح نفوذ ناپذیر علاوه بر افزایش دما، ساختار شهری را نیز تحت تأثیر خود قرار می‌دهد چنانچه با افزایش اندازه شهر، دامنه گرمادهی آن افزایش یافته (ایمهوف[4] و همکاران، ۲۰۱۰: ۵۰۴) و اختلاف دمای آن با حومه شهر به صورت معناداری بیشتر می‌شود (گالو[5] و زیان[6]، ۲۰۱۴: ۱). نتایج پژوهش‌های مرتبط نشان می‌دهد که مناطق صنعتی، کاربری‌های خدماتی و حمل و نقل در شهرها گرمترین و فضاهای سبز و نواحی مجاور رودخانه‌ها خنک‌ترین نقاط داخل شهر به حساب می‌آیند (رات[7] و همکاران، ۱۹۸۹: ۱۶۹۹؛ لو[1] و همکاران،

1 Liu
2 Lilly Rose
3 Li
4 Imhoff
5 Gallo
6 xian
7 Roth

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.62.14.4]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.183]

۱۹۹۷: ۱۳۷۷؛ اصغری سراسکانرودی و امامی، ۱۳۹۸: ۱۹۵). در مناطق خشک و نیمه خشک طی فصل گرم، بدلیل وجود فضای سبز و اثر سایه اندازیِ ساختمان‌ها، بخش‌های متراکم و فشرده شهر غالبا دمای کمتری نسبت به پیرامون شهر که عمدتا زمین‌های بایر و فضاهای باز هستند، دارند. برعکس در فصل زمستان داخل شهرها به واسطه حمل و نقل و استفاده از وسایل گرمایشی، گرمتر از محیط پیرامونی خود هستند (رسول[۲] و همکاران، ۲۰۱۷: ۳۸). افزایش ساخت و ساز در شهرهای ایران، استفاده از منابع انرژی را سرعت بخشیده و این عامل، افزایش مقدار دما و آلودگی هوا در سطح شهر را بدنبال داشته است، چنانچه در شهری مانند تهران طی سال‌های اخیر الگوی توزیع دمای سطحی دچار تغییر شده و همزمان با افزایش ساخت و ساز در سطح شهر از مساحت پهنه‌های با دمای متوسط و بسیار خنک شهر کاسته و در مقابل به مساحت پهنه‌های با دمای بسیار بالا (نواحی بسیار گرم) افزوده شده است(صادقی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۲الف: ۱) بدین صورت که طی سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰ تخریب نیمی از پوشش گیاهی نواحی غرب و جنوب غربی تهران(مناطق ۱۸، ۱۹، ۲۱ و ۲۲) سبب افزایش دمای این مناطق شده است(صادقی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۲ب: ۶۷) پهنه‌های مذکور مناطق مسکونی متراکمی هستند که جزء عمده‌ترین مناطق آلوده شهر نیز محسوب می‌شوند(اکبری، ۱۳۷۹: ۱). در بیشتر شهرهای پر جمعیت ایران از جمله تهران، اصفهان و رشت، طی سال‌ها اخیر کاهش پوشش گیاهی همزمان با افزایش ساخت و ساز در داخل شهر را شاهد بوده‌ایم، این امر افزایش محسوس و معنادار دما در مراکز شهر و تقویت جزیره حرارتی شهرها را در پی داشته است(مشتاق و همکاران، ۱۳۹۰: ۱؛ هاشمی دره بامی و همکاران،۱۳۹۴: ۱۵؛ علوی پناه و همکاران،۱۳۹۵: ۱۸۳؛ احمدی و داداشی رودباری، ۱۳۹۶: ۱). بنابراین می‌توان استدلال نمود که هرگونه افزایش و توسعه تأسیسات شهری در نهایت منجر به افزایش سطوح نفوذ ناپذیر و جایگزینی آن‌ها با پوشش گیاهی و خاک(سطوح نفوذپذیر) می‌شود. سطوح نفوذ ناپذیر غالبا مواد انسان ساختی هستند که آب قادر به نفوذ در آن‌ها نیست و مرتبط با فعالیت‌های انسانی هستند(اسلونکر[۳] و همکاران،۲۰۰۱: ۲۲۷). این سطوح به عنوان شاخصی مهم در مطالعات مرتبط با شهر و محیط زیست مورد توجه قرار گرفته‌اند (ونگ[۴]، ۲۰۱۲: ۳۴). سطوح یاد شده، تفاوت معناداری در ویژگی‌های حرارتی و انعکاسی با سایر سطوح دارند (ژیاو[۵] ۲۰۰۷: ۲۵۰) نتایج تحقیقات وجود ارتباط مستقیم و معنادار بین دمای سطح زمین و سطوح نفوذ ناپذیر را نشان می‌دهد(دره‌بادامی و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۲۲). هر چند در ایران پژوهش‌های متعددی به افزایش دمای شهر و تغییرات کاربری اراضی پرداخته‌اند اما مطالعه و آشکارسازی سطوح نفوذ ناپذیر مغفول مانده است، از آن‌جا که سطوح نفوذ ناپذیر بیانگر گستره فیزیکی شهر بوده و به عنوان یک شاخص می‌توان از آن‌ها در مطالعات شهری استفاده نمود، اهمیت پژوهشی در این باب دوچندان می‌شود، تحقیق پیش رو سعی دارد با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، سطوح نفوذ ناپذیر در قائمشهر را طی سال‌ها ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۷ آشکارسازی کرده و تغییرات این سطوح در ارتباط با تغییرات دمای سطح زمین را مورد بررسی و تحلیل قرار دهد.

---

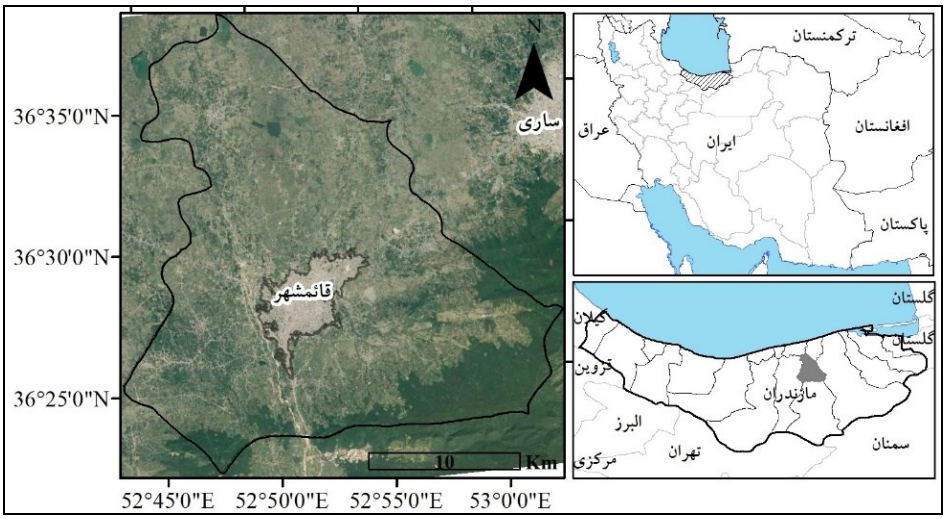
1 Lu
6 Rasul
3 Slonecker
4 Weng
5 Xiao

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.62.14.4]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.183]

روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش، شهر قائمشهر، یکی از مراکز جمعیتی مهم استان مازندران که طی دهه‌های گذشته تغییرات کاربری زیادی را تجربه کرده است، انتخاب شد. موقعیت این شهر در شکل(۱) نشان داده شده است.



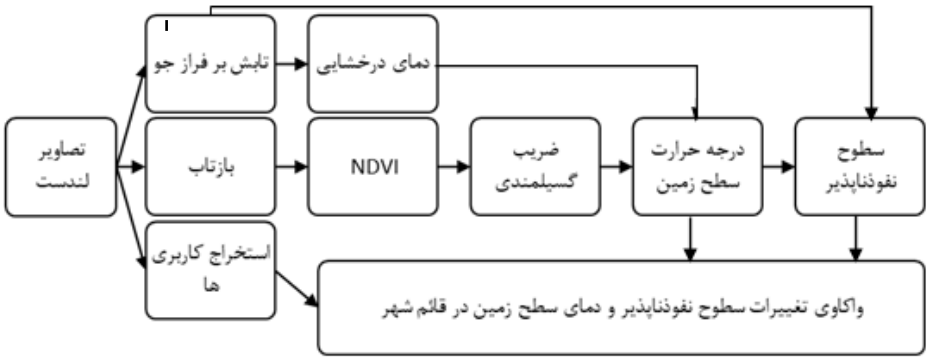
شکل(۱). موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه (شهرستان قائم شهر)

داده و روش کار

برای بررسی تغییرات سطوح نفوذ ناپذیر در این شهر از داده‌های ماهواره‌ای استفاده شده است. تصاویر ماهواره‌های لندست ۵ و ۸، برای سه تاریخ، ۱۹۸۷/۰۷/۰۷، ۲۰۰۰/۰۷/۱۹ و ۲۰۱۷/۰۷/۱۸ با کمترین مقدار ابرناکی جهت برآورد مؤلفه‌های مورد نیاز تحقیق از وب‌سایت سازمان زمین شناسی آمریکا[1] دریافت شدند. پیش‌پردازش‌های لازم شامل تصحیح هندسی، تصحیح اتمسفریک و تصحیح رادیومتریک روی تصاویر اعمال شدند. مقادیر تابش بر فراز جو و بازتاب هر یک از باندها محاسبه شد سپس از طریق آنها، دمای سطح زمین و شاخص پوشش گیاهی نرمال شده بدست آمد در نهایت شاخص سطوح نفوذ ناپذیر استخراج و دقت آن از طریق تشکیل ماتریس خطا و محاسبه ضریب دقت انجام پذیرفت شکل(۲).

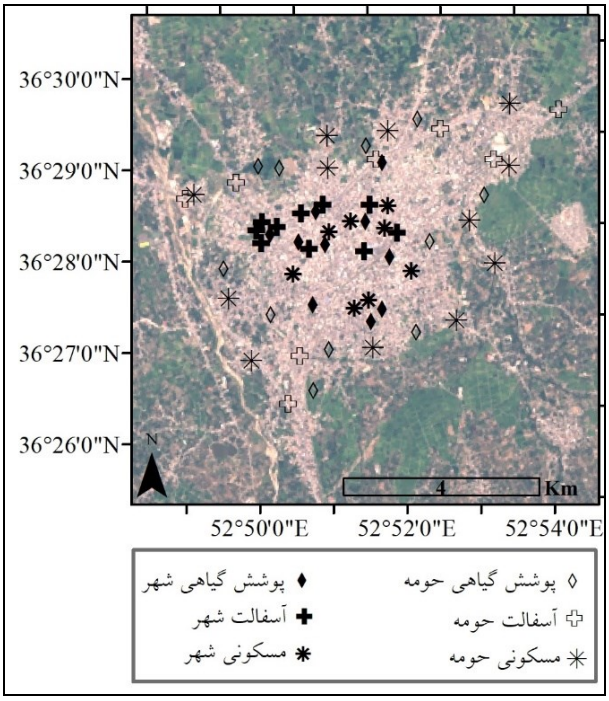
[1] https://earthexplorer.usgs.gov

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.62.14.4]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.183]



شکل(۲). مراحل انجام تحقیق به صورت شماتیک

جهت بررسی تفاوت دمای سطح زمین و مقدار بازتاب پدیده‌ها در کاربری‌های مختلف از آزمون‌های تحلیل واریانس یک طرفه (ANOVA) و تعقیبی Tukey استفاده شده است. جهت انتخاب کاربری‌های مختلف، ۶۰ نقطه با پراکندگی مناسب در سطح شهر و اطراف آن گزینش شدند شکل(۳) برای نمونه‌برداری این نقاط سعی شد تا پیکسل‌های خالص از هر کاربری در کل محدوده مورد مطالعه انتخاب شوند. برای این هدف از تصاویر ماهواره‌ای و برداشت‌های میدانی با GPS بهره گرفته شد. در نهایت با استفاده از نتایج بدست آمده و تحلیل آن‌ها، سطوح نفوذ ناپذیر شهری شناسایی، استخراج و تغییرات این سطوح در ارتباط با تغییرات درجه حرارت سطح زمین واکاوی و تحلیل شدند.



شکل(۳). پراکنش فضایی نقاط برداشت شده زمینی در شهر قائم شهر و حومه

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.62.14.4]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.183]

استخراج سطوح نفوذ ناپذیر

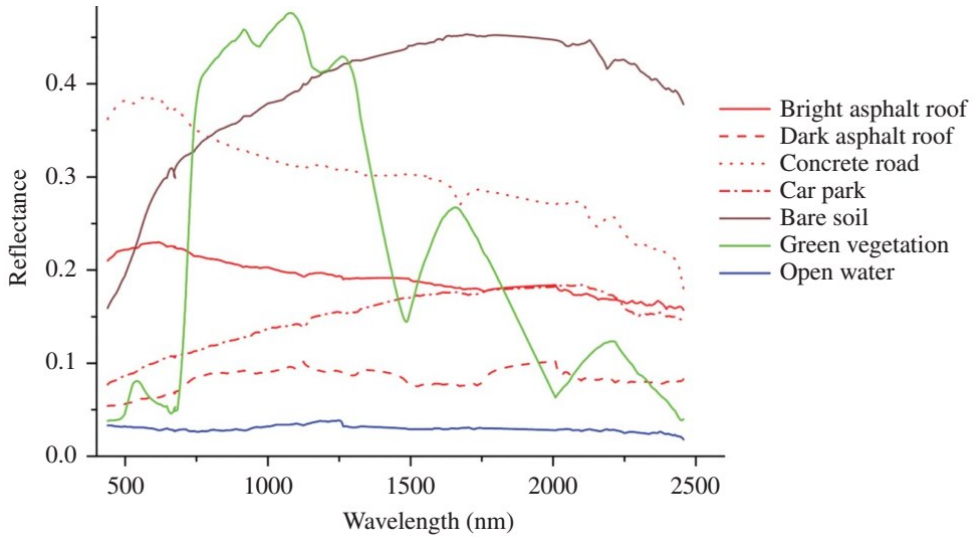
سطوح نفوذ ناپذیر، عمدتا ساختارهای مصنوعی هستند که از مواد غیرقابل نفوذ مانند آسفالت، بتن، آجر، سنگ، پشت‌بام‌ها و خاک‌های فشرده شده در پی توسعه شهرها ایجاد شده‌اند. این سطوح شامل بخش‌های ارتباطی(جاده‌ها، پیاده‌روها، پارکینگ‌ها) و مناطق صنعتی(فرودگاه‌ها، بنادر و تدارکات و مراکز توزیع) می‌شوند، معمولا درجه حرارت سطوح نفوذ ناپذیر بیشتر از سایر سطوح است(یوآن و باور[1]، ۲۰۰۷: ۳۷۵) لذا، هرگونه افزایش سطوح نفوذ ناپذیر، افزایش دما را سبب می‌شود و در محیط شهری به صورت تقویت جزیره گرمایی شهر نمایان می‌شود (چیترا [2]و همکاران، ۲۰۱۵: ۲۳۱۹). روش های برآورد و محاسبه سطوح غیر قابل نفوذ عمدتا بر روی تفاوت های طیفی بین سطوح غیر قابل نفوذ و سایر پوشش های زمین متمرکز شده است (ژانگ و وِنگ[3] ۲۰۱۶: ۸۶). تفاوت ویژگی‌های انعکاسی سطوح نفوذ ناپذیر و نفوذپذیر شکل(۴) امکان شناسایی این سطوح را از طریق تصاویر ماهواره‌ای مهیا می‌نماید. براساس این شکل، سطوح نفوذ ناپذیر (آسفالت، سیمان، پارکینگ و جاده) در محدوده فروسرخ کوتاه (SWIR[4] : 2000-2500 nm) متفاوت از سایر سطوح هستند. این سطوح مقدار بازتاب کمتری نسبت به خاک و زمین بایر دارند اما مقدار بازتاب آنها از منابع آب و پوشش گیاهی بیشتر است. با توجه به مطالب یادشده، می‌توان گفت که نسبت درجه حرارت سطح زمین به بازتاب پدیده‌ها در محدوده مادون قرمز کوتاه منجر به شناسایی سطوح نفوذ ناپذیر خواهد شد. شاخص نفوذ ناپذیری به صورت رابطه(۱) قابل تعریف است:

$$ISI = \frac{LST}{SWIR}$$ رابطه(۱)

که ISI، شاخص سطوح نفوذ ناپذیر، LST، درجه حرارت سطح زمین و SWIR، بازتاب محدوده فروسرخ کوتاه است.

1 Yuan & Bauer
2 Chithra
3 Zhang and Weng
4 Shortwave infrared

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.62.14.4]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.183]



شکل(۴). منحنی رفتار طیفی سطوح نفوذ ناپذیر(آسفالت، سیمان، پارکینگ و جاده) و نفوذپذیر(آب، خاک و پوشش گیاهی). منبع: لیو و همکاران ۲۰۱۳: ۸۰۵.

ارزیابی دقت

مقدار خطا و برآورد دقت طبقه‌بندی، معمولا براساس پارامترهای مستخرج از ماتریس خطا[1] ارزیابی می‌شود این ماتریس، حاصل مقایسه پیکسل به پیکسلِ پیکسل‌های معلوم (برداشت‌های میدانی) با پیکسل‌های متناظر در تصویر استخراج شده است که از طریق آن دقت کلی[2] رابطه(۲) بواسطه نسبت پیکسل‌های صحیح برآورد شده به جمع کل پیکسل‌های معلوم محاسبه می‌گردد (فاطمی و رضایی، ۱۳۸۵: ۲۴۰). بنابراین، دقتِ سطوح نفوذ ناپذیر استخراج شده، از طریق برداشت‌های میدانی شکل(۴)، کاربری‌های آسفالت و مناطق مسکونی به عنوان سطوح نفوذ ناپذیر و کاربری پوشش گیاهی به عنوان سطوح نفوذپذیر طبقه‌بندی شدند) بواسطه‌ی تشکیل ماتریس خطا و ضریب دقت کلی مورد ارزیابی قرار گرفت رابطه(۲).

$$O.A. = \frac{\sum_{i=1}^{c} E_{ii}}{N}$$ رابطه(۲)

که در آن C تعداد کلاس‌ها، N تعداد کل پیکسل‌های معلوم، E_{ii} اعضای قطری ماتنریس خطا و .O.A دقت کلی طبقه‌بندی می‌باشد.

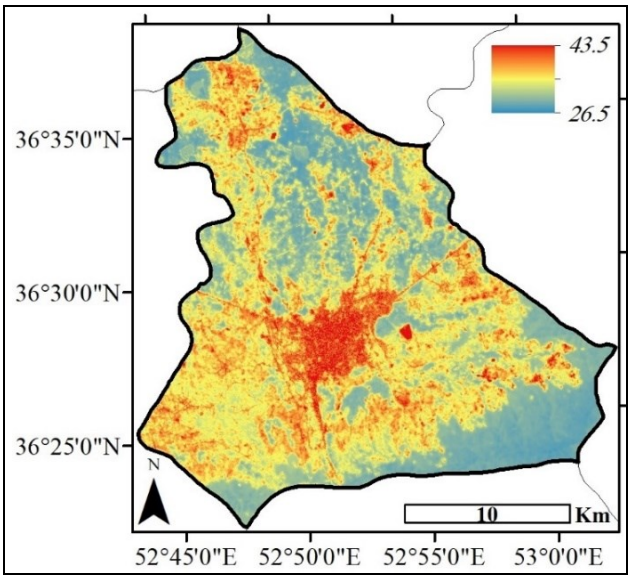
[1] Confusion Matrix
[2] Overall Accuracy

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.62.14.4]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.183]

نتایج

تغییرات درجه حرارت سطح زمین

شکل(۵) به خوبی تفاوت‌های دمایی میان کاربری‌های طبیعی و انسان ساخت را نشان می دهد. لکه‌های داغ در تصویر، مناطق مسکونی را نشان می‌دهند. با دور شدن از مناطق شهری مقدار درجه حرارت سطح زمین کاهش محسوس پیدا می‌کند و در مزارع(شالیزارها) به کمترین مقدار خود می‌رسد. آسفالت شهری، شهر، حومه و آسفالت حومه به ترتیب بالاترین دما و پوشش گیاهی حومه و پوشش گیاهی شهری به ترتیب کمترین دما را ثبت کرده‌اند.



شکل (۵). تغییرات درجه حرارت سطح زمین در منطقه ی مورد مطالعه

پدیده‌های انسان ساخت یا همان سطوح نفوذ ناپذیر(مناطق مسکونی و آسفالت) دمای بیشتری نسبت به سطوح نفوذپذیر(پوشش گیاهی) دارند. نتایج آزمون ANOVA و Tukey نیز تفاوت معنادار مقدار درجه حرارت سطوح نفوذ ناپذیر و نفوذپدیر را نشان داد جداول (۱ و ۲). به گونه‌ای که سطوح نفوذ ناپذیر از نظر دمایی در داخل یک خوشه قرار گرفته و تفاوت معناداری با هم ندارند اما کاملا متفاوت از سطوح نفوذپذیر هستند جدول(۲).

جدول(۱). تفاوت دمای سطح زمین در کاربری‌های مختلف براساس تحلیل واریانس یک طرفه (ANOVA).

		مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	Sig.
دمای سطح زمین	بین گروهی	۵۲۴/۸۵	۵	۱۰۸/۵۷	۳۶/۲۶	۰/۰۰۰
	درون گروهی	۱۵۸/۶۵	۵۳	۲/۹۹۴		
	جمع	۷۰۱/۵۱	۵۸			

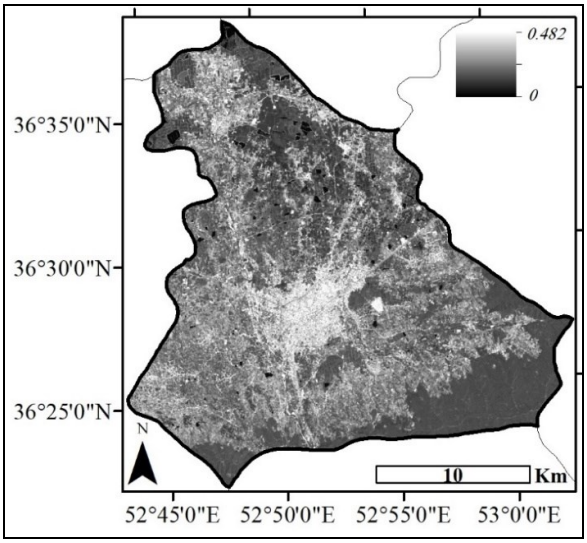
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.62.14.4]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.183]

جدول(۲). تفاوت دمای سطح زمین در کاربری‌های مختلف براساس آزمون Tukey.

کاربری ها	تعداد	Subset for alpha = 0.05		
		۱	۲	۳
پوشش گیاهی حومه	۱۱	۳۰۵/۷۵		
پوشش گیاهی شهر	۱۰		۳۰۹/۷۰	
آسفالت حومه	۸			۳۱۲/۳۲
مسکونی حومه	۱۲			۳۱۳/۴۶
مسکونی شهر	۸			۳۱۳/۶۷
آسفالت شهر	۱۰			۳۱۳/۹۳
معناداری		۱	۱	۰/۳۴

تغییرات بازتاب فرو سرخ کوتاه

تغییرات بازتاب فروسرخ کوتاه در منطقه مورد مطالعه نشان داد که سطوح نفوذ ناپذیر بیشترین مقدار بازتاب را دارند و درمقابل کمترین مقدار بازتاب متعلق به پهنه‌های آب است که امواج فروسرخ کوتاه را جذب می‌کنند شکل(۶). تغییرات بازتاب فروسرخ کوتاه مطابق نمودار منحنی طیفی شکل(۴) پدیده‌ها است. در منطقه مورد مطالعه چون زمین بایرِ فاقد پوشش گیاهی وجود نداشت لذا پدیده‌های انسان‌ساخت شامل مناطق مسکونی و آسفالت (راه‌های ارتباطی) بیشترین بازتاب را ثبت کرده‌اند. نتایج آزمون ANOVA و Tukey نیز تفاوت معنادار مقدار بازتاب فروسرخ کوتاه در سطوح نفوذ ناپذیر و نفوذپدیر را نشان می‌دهد جداول(۳ و ۴). مقدار بازتاب فروسرخ کوتاه برای مناطق مسکونی(شهر و حومه)، آسفالت(شهر و حومه) و پوشش گیاهی(شهر و حومه) متفاوت از هم هستند و همانطور که در منحنی رفتار طیفی نیز به آن اشاره شده بود هر سه کاربری متفاوت از هم هستند و قرارگیری آنها در شهر و حومه سبب تفاوت کاربری‌های هم سنخ نخواهد شد. البته پوشش گیاهی حومه و شهر به خاطر تنوع گونه (پوشش گیاهی داخل شهر بیشتر درخت است حال آنکه پوشش گیاهی حومه شهر شالیزار است) در بازتاب فروسرخ کوتاه متفاوت از هم هستند جدول(۴).



شکل(۶). تغییرات مقدار بازتاب فروسرخ کوتاه در منطقه‌ی مورد مطالعه

جدول(۳). تفاوت مقدار بازتاب فروسرخ کوتاه در کاربری‌های مختلف براساس تحلیل واریانس یک طرفه (ANOVA)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.62.14.4]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.183]

		مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	Sig.
بازتاب فروسرخ کوتاه	بین گروهی	۰/۱۴۱	۵	۰/۰۲۸	۲۷۶/۹۸۱	۰/۰۰۰
	درون گروهی	۰/۰۰۵	۵۳	۰/۰۰۰		
	جمع	۰/۱۴۷	۵۸			

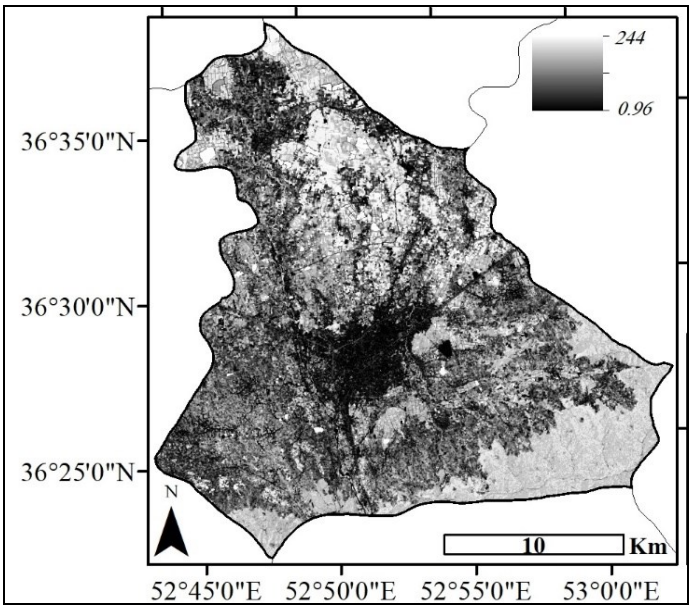
جدول(۴). تفاوت مقدار بازتاب فروسرخ کوتاه در کاربری‌های مختلف براساس آزمون Tukey

کاربری ها	تعداد	Subset for alpha = 0.05			
		۱	۲	۳	۴
پوشش گیاهی حومه	۱۱	۰/۰۷			
پوشش گیاهی شهر	۱۰		۰/۱۱		
آسفالت شهر	۱۰			۰/۱۳	
آسفالت حومه	۸			۰/۱۴	
مسکونی حومه	۱۲				۰/۲۰
مسکونی شهر	۸				۰/۲۱
معناداری		۱	۱	۰/۶۳	۰/۶۵

سطوح نفوذ ناپذیر

با مشخص شدن تفاوت معنادار سطوح نفوذ ناپذیر و نفوذپذیر در مقدار دمای سطح زمین و بازتاب فروسرخ کوتاه، شاخص سطوح نفوذ ناپذیر(ISI) به صورت نسبت دمای سطح زمین به بازتاب فروسرخ کوتاه محاسبه شد شکل(۷). همان گونه که در این شکل مشخص است، پهنه‌های آبی و پوشش‌های گیاهی غنی و متراکم (جنگل) به خوبی از سایر پهنه‌ها مجزا شده‌اند اما پوشش‌های گیاهی تنک و پراکنده تا حدودی شبیه به مناطق مسکونی و راه‌های ارتباطی شده‌اند که برای جلوگیری از طبقه‌بندی آنها به عنوان سطوح نفوذ ناپذیر از شاخص پوشش گیاهی (NDVI) با آستانه کمتر از ۰/۳ استفاده شد. در نهایت سطوح نفوذ ناپذیر با آستانه ISI < 10 استخراج شدند شکل(۸). دقت شاخص مذکور در سال ۲۰۱۷، براساس مشاهدات زمینی شکل(۳) و تصویر حاصل از شاخص ISI شکل(۸)، مورد ارزیابی قرار گرفت. به همین منظور، ماتریس خطا تشکیل گردید و ضریب دقت کلی محاسبه شد. نتایج این محاسبات حاکی از دقت حدود ۸۰ درصدی (Overall Accuracy = 0.79) شاخص بود جدول(۵). پس از اطمینان از دقت شاخص مورد نظر، سطوح نفوذ ناپذیر برای سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۰۰ نیز استخراج گردید و مشخص شد که طی سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۷ تغییرات بسیار زیادی در این سطوح اتفاق افتاده است. با توجه به بررسی انجام شده این تغییرات بیشتر در حاشیه و در کنار مسیرهای ارتباطی اصلی شهر رخ داده است شکل(۸).

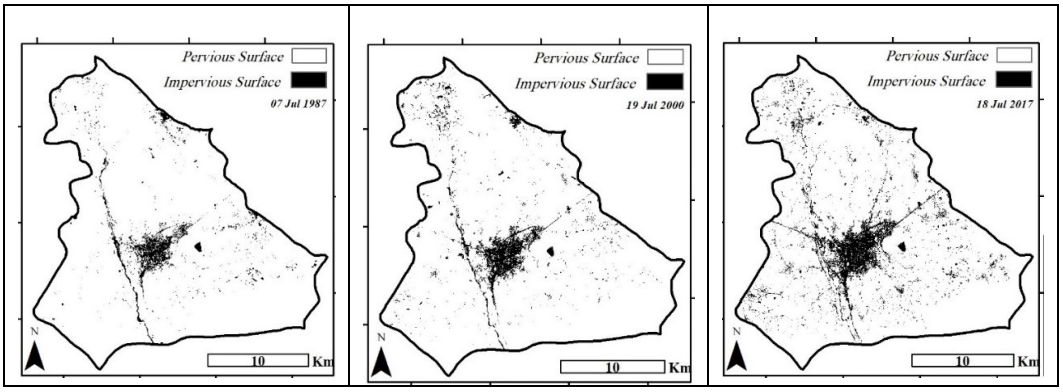
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.62.14.4]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.183]



شکل(۷). نسبت دما سطح زمین به بازتاب فروسرخ کوتاه (شاخص سطوح نفوذ ناپذیر) در منطقه‌ی مورد مطالعه

جدول(۵). ماتریس خطا و شاخص سطوح نفوذ ناپذیر و مقدار دقت آن براساس مشاهدات زمینی

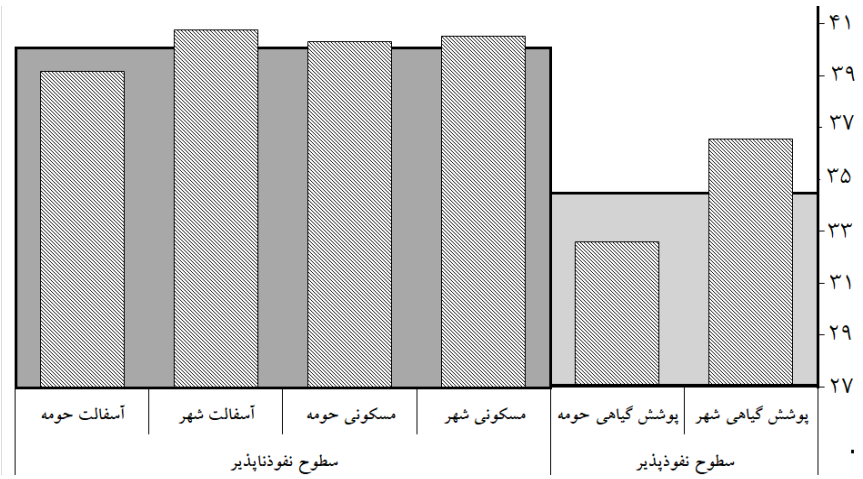
		واقعیت زمینی		مجموع
		نفوذپذیر	نفوذ ناپذیر	
شاخص ISI	نفوذپذیر	۱۵	۵	۲۰
	نفوذ ناپذیر	۷	۳۱	۳۸
	مجموع	۲۲	۳۶	۵۸
Overall Accuracy = 0.7931				



شکل(۸). تغییرات سطوح نفوذ ناپذیر پس از اعمال آستانه‌ها در منطقه‌ی مورد مطالعه طی سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۷

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.62.14.4]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.183]

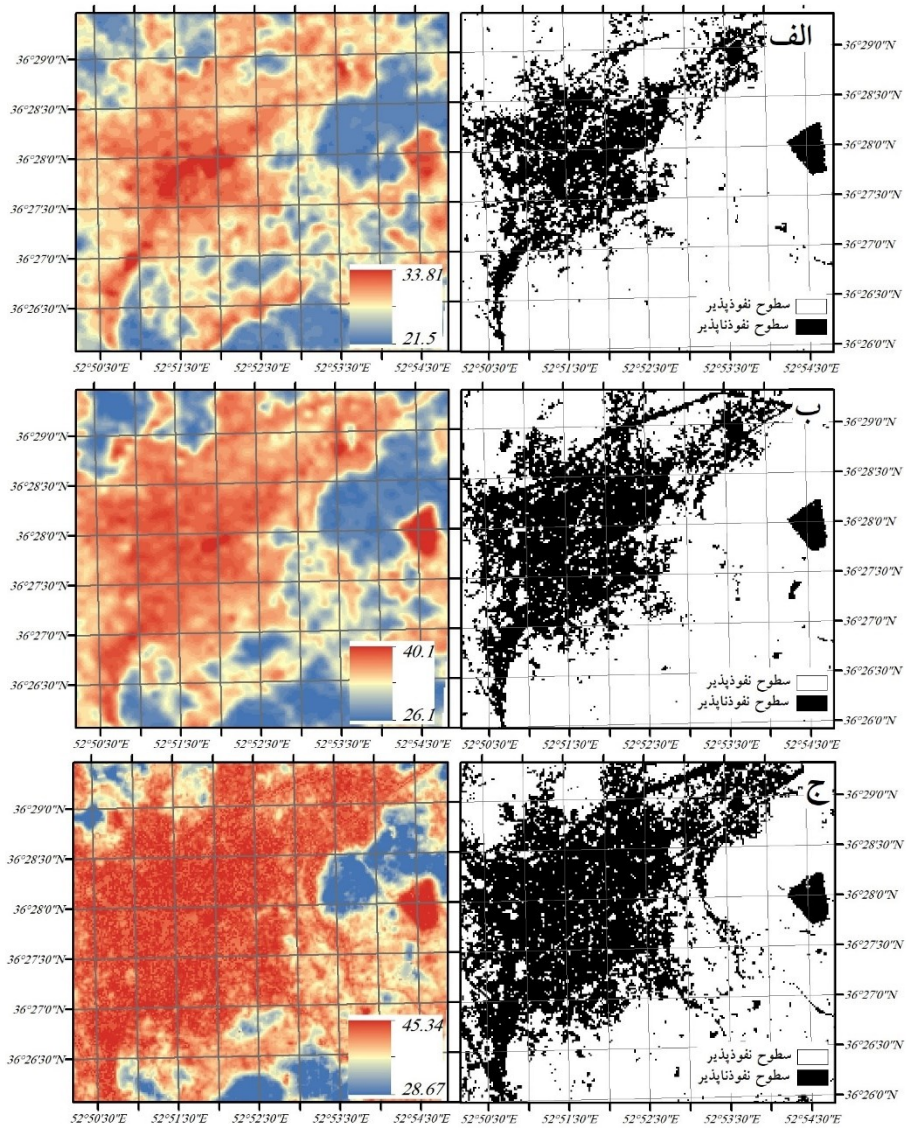
به دلیل فقدان رطوبت در سطوح نفوذ ناپذیر، این سطوح، در طول روز سریعتر گرم می‌شوند و طی شب نیز با سرعت بیشتری انرژی را از دست خواهند داد. همانگونه که در شکل(۹) نشان داده شد، درجه حرارت سطوح نفوذ ناپذیر در روز حدود ۵/۵ درجه سانتیگراد بیشتر از سطوح نفوذپذیر است بنابراین هرگونه افزایش سطوح نفوذ ناپذیر در سطح شهر، افزایش درجه حرارت سطح شهر را در پی خواهد داشت.



شکل (۹). تغییرات دما در کاربری‌های مختلف به تفکیک نفوذ ناپذیر و نفوذپذیر در منطقه مورد مطالعه براساس تصویر سال ۲۰۱۷

مقایسه سطوح نفوذ ناپذیر طی سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۷ بیانگر افزایش این سطوح در شهر قائمشهر است به گونه‌ای که افزایش جمعیت و به تبع آن افزایش ساخت و ساز در داخل شهر منجر به از بین رفتن سطوح نفوذپذیر (پوشش گیاهی و زمین بایر) و جایگزینی آن با سطوح نفوذ ناپذیر (تأسیسات شهری شامل ساختمان، پیاده رو و آسفالت) شده است. چنانچه (مدیری, ۱۳۹۶: ۱۵) و سبزقبایی و همکاران (۱۳۹۶: ۱۴۳) نیز اشاره کردند در سال‌های اخیر، گسترش ساخت و سازها منجر به افزایش توسعه فیزیکی شهر، افزایش راه‌های ارتباطی و کاهش جنگل‌ها و اراضی کشاورزی در قائمشهر شده است. پیامد این تغییرات در سطح شهر به صورت تغییر در خرداقلیم شهر بواسطه افزایش دما خود را نشان داده است شکل (۱۰).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.62.14.4]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.183]



شکل (۱۰). تغییرات سطوح نفوذ ناپذیر و درجه حرارت سطح زمین در شهر قائمشهر طی سال‌های ۱۹۸۷ (الف)، ۲۰۰۰ (ب) و ۲۰۱۷ (ج).

نتیجه‌گیری

دما به عنوان یکی از مهمترین متغیرهای اقلیمی منتج از توازن انرژی در سطح، نشان دهنده‌ی خرداقلیم‌های شکل گرفته در سطح زمین بوده و هرگونه تغییر در توازن انرژی و درجه حرارت سطح زمین، تغییر در خرد اقلیم‌ها را در پی خواهد داشت. پژوهش‌های انجام گرفته در ارتباط با سطوح نفوذ ناپذیر مشخص ساختند که این سطوح، دمای بیشتری نسبت به سایر سطوح دارند(یوآن و باور، ۲۰۰۷؛ ژیاو ۲۰۰۷؛ چیترا و همکاران، ۲۰۱۵؛ مشتاق و همکاران، ۱۳۹۰؛ هاشمی دره بامی و همکاران،۱۳۹۴؛ علوی پناه و همکاران،۱۳۹۵؛ احمدی و

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.62.14.4]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.183]

داداشی رودباری، ۱۳۹۶) این نتایج با نتایج پژوهش پیش رو هم‌راستا است، بنابراین افزایش دمای رخ داده در شهرها صرفا ناشی ازگرمایش جهانی و تغییر بزرگ اقلیم نیست بلکه بخش قابل توجهی از آن به خاطر تغییر کاربری و تغییر در بیلان تابش شهری بواسطه جایگزینی سطوح نفوذ ناپذیر با سایر سطوح در شهر است که یافته‌های پژوهش متیو[1] و همکاران (۲۰۱۶)، صادقی‌نیا و همکاران (۱۳۹۱) و صفرراد و همکاران (۱۳۹۸) نیز به درستی به آن اشاره کرده‌اند، آن‌ها ارتباط مستقیم و معنادار بین افزایش سطوح نفوذ ناپذیر و افزایش درجه حرارت سطح شهر را از طریق کاهش پوشش گیاهی و جایگزینی آن با تأسیسات شهری نشان دادند. پیامد افزایش سطوح نفوذ ناپذیر صرفا افزایش دما نیست و از دیگر پیامدهای آن، می‌توان به افزایش سیلاب‌های شهری بواسطه‌ی کاهشِ زمان رسیدن اوج هیدروگراف اشاره کرد که موجب کوتاهتر شدن زمان سیل خواهد شد(نگارش و دارایی، ۱۳۸۸: ۱۴۵) چنانچه دو[2] و همکاران ۲۰۱۵ نیز به این موضوع اشاره کرده‌اند و نشان دادند که دبی اوج و حجم سیلاب شهری در حوضه لانگ‌هوآ[3] در چین، ناشی از توسعه چشمگیر سطوح نفوذ ناپذیر شهری به ترتیب ۱۴۰ و ۱۶۲ درصد نسبت به گذشته افزایش یافته است با توجه به فقدان پژوهش‌های این‌چنین در کشور، نگارندگان ضرورت انجام چنین تحقیقاتی را پیشنهاد می‌دهند. با استناد به یافته‌های پژوهش مشخص می‌شود که افزایش سطوح نفوذ ناپذیر، افزایش دمای سطح شهر را در پی دارد و این افزایش دمای شهرها متمایز از بحث گرمایش جهانی است که پژوهشگران به آن پرداخته‌اند بدین صورت که هرگونه کاهش فضای سبز و زمین‌های بایر در شهرها، بواسطه افزایش ساخت و ساز، منجر به افزایش سطوح نفوذ ناپذیر خواهد شد که افزایش دمای سطح شهر را در پی داشته و متعاقب آن تغییر در خرداقلیم شهر را سبب می‌شود بنابراین افزایش سطوح نفوذ ناپذیر در سطح شهر اگر همراه با برنامه‌ریزی صحیح نباشد منجر به عدم تعادل و افزایش ناپایداری محیط شهری خواهد شد.

منابع

احمدی محمود؛ داداشی رودباری عباسعلی. (۱۳۹۶). **شناسایی جزایر حرارتی شهری مبتنی بر رویکرد زیست محیطی، مطالعه موردی(کلان شهر اصفهان)**، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی, ۲۸(۳): ۱-۲۰.

اصغری سراسکانرود صیاد؛ امامی هادی. (۱۳۹۸) **پایش دمای سطح زمین و بررسی رابطه کاربری اراضی با دمای سطح با استفاده از تصاویر سنجنده OLI و ETM+ مطالعه موردی:(شهرستان اردبیل)**، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۹ (۵۳) :۱۹۵-۲۱۵.

اکبری هادی. (۱۳۷۹). **بررسی الگوی توزیع درجه حرارت شهر تهران با استفاده از اطلاعات حرارتی لندستTM** ، پایان نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی دکتر عباس علیمحمدی، رشته سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱-۱۳۵.

1 Mathew
2 Du
3 Longhua

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.62.14.4]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.183]

دباغیان امیری مجید. (۱۳۹۱). **پدیده جزیره حرارتی چالشی برای محیط زیست شهری و راه کارهایی برای کاهش اثرات آن**، ششمین همایش ملی مهندسی محیط زیست، تهران، دانشگاه تهران، دانشکده محیط زیست، ۱-۱۶.

سبزقبایی غلامرضا؛ جعفرزاده کاوه؛ دشتی سیده سولماز؛ یوسفی‌خانقاه شهرام؛ بزم‌آرا بلشتی مژگان. (۱۳۹۶). **آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: شهرستان قائم‌شهر)**، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱۹(۳): ۱۵۷-۱۴۳.

صادقی نیا علیرضا؛ علیجانی بهلول؛ ضیائیان فیروزآبادی پرویز. (۱۳۹۲الف). **تحلیل فضایی- زمانی جزیره حرارتی کلان‌شهر تهران با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی**، جغرافیا و مخاطرات محیطی, ۱(۴):۱-۱۷.

صادقی‌نیا علیرضا؛ علیجانی بهلول؛ ضیائیان پرویز؛ خالدی شهریار. (۱۳۹۲ب) **کاربرد تکنیک‌های خودهمبستگی فضایی در تحلیل جزیره حرارتی شهر تهران**، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۳ (۳۰) :۹۰-۶۷.

صفرراد طاهر؛ منصوری‌نیا مهران؛ انتظامی هیرش. (۱۳۹۸). **بیلان تابش و کاربری اراضی شهری (نمونه موردی: شهر کرمانشاه)**، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۹ (۵۳) :۲۱۷-۲۳۱.

علوی پناه سیدکاظم؛ رضایی عبدالعلی؛ آزادی قطار سعید؛ جدی ازغندی حمیدرضا. (۱۳۹۵). **بررسی سطوح غیرقابل نفوذوشاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده به‌عنوان پارامترهای نمایشگر جزایر حرارتی شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای**، نشریه جغرافیا و برنامه ریزی، ۲۰(۵۵): ۱۸۳-۲۰۷.

فاطمی سید باقر؛ رضایی یوسف. (۱۳۸۵). **مبانی سنجش از دور**، تهران، انتشارات آزاده، چاپ اول.

مدیری مهدی. (۱۳۹۶). **بررسی و ارزیابی تغییر کاربری اراضی شهر قائمشهر با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و تصاویر ماهواره‌ای**، فصلنامه علمی وپژوهشی نگرش های نو در جغرافیای انسانی، ۹(۲): ۱۷-۱.

مشتاق ناهید؛ جعفری رضا؛ سلطانی سعید. (۱۳۹۰). **بررسی تغییرات دمای سطحی و کاربری اراضی با استفاده از داده‌های سنجش از دور(مطالعه موردی شهر اصفهان)**، هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱-۶.

نگارش حسین؛ دارایی محمد. (۱۳۸۸). **گسترش شهر سقز و اثرات آن بر سیل‌خیزی حوضه آبریز چم سقز**، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۹ (۹) :۱۴۵-۱۶۷.

هاشمی دره بادامی سیروس؛ درویشی بلورانی علی؛ علوی پناه سید کاظم؛ ملکی محمد؛ بیات رضا. (۱۳۹۸). **تحلیل تغییرات جزیره حرارتی سطوح شهری در روز و شب با استفاده از محصولات چند زمانه سنجنده مادیس (مطالعه موردی: کلانشهر تهران)**، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۹ (۵۲) :۱۱۳-۱۲۸.

هاشمی دره بادامی سیروس؛ نورایی صفت ایثار؛ کریمی سعید؛ نظری سجاد. (۱۳۹۴). **تحلیل روند توسعه جزیره حرارتی شهری در رابطه با تغییر کاربری اراضی/پوشش با استفاده از سری زمانی تصاویر لندست**، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۶(۳): ۱۵-۲۸.

Amiri, R., Weng, Q., Alimohammadi, A., & Alavipanah, S. K. (2009). **Spatial–temporal dynamics of land surface temperature in relation to fractional vegetation cover and land**

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.62.14.4]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.183]

use/cover in the Tabriz urban area, Iran. Remote sensing of environment, 113(12): 2606-2617.

Chithra, S. V., Nair, M. H., Amarnath, A., & Anjana, N. S. (2015). **Impacts of impervious surfaces on the environment**. International Journal of Engineering Science Invention, 4(5): 2319-6726.

Du, S., Shi, P., Van Rompaey, A., & Wen, J. (2015). **Quantifying the impact of impervious surface location on flood peak discharge in urban areas**. Natural Hazards, 76(3): 1457-1471.

Gallo, K., & Xian, G. (2014). **Application of spatially gridded temperature and land cover data sets for urban heat island analysis**. Urban Climate, 8: 1-10.

Imhoff, M. L., Zhang, P., Wolfe, R. E., & Bounoua, L. (2010). **Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA**. Remote sensing of environment, 114(3): 504-513.

Li, W. (2017). **Examining the importance of endmember class and spectra variability in unmixing analysis for mapping urban impervious surfaces**. Advances in Space Research, 60(11): 2389-2401.

Lilly Rose, A., & Devadas, M. D. (2009, June). **Analysis of land surface temperature and land use/land cover types using remote sensing imagery-a case in chennai city, india**. In The seventh International Conference on Urban Clim held on (Vol. 29).

Liu, C., Shao, Z., Chen, M., & Luo, H. (2013). **MNDISI: a multi-source composition index for impervious surface area estimation at the individual city scale**. Remote sensing letters, 4(8), 803-812.

Liu, L., & Zhang, Y. (2011). **Urban heat island analysis using the Landsat TM data and ASTER data: A case study in Hong Kong**. Remote Sensing, 3(7): 1535-1552.

Lu, J., Arya, S. P., Snyder, W. H., & Lawson Jr, R. E. (1997). **A laboratory study of the urban heat island in a calm and stably stratified environment. Part I: Temperature field**. Journal of Applied Meteorology, 36(10): 1377-1391.

Rasul, A., Balzter, H., Smith, C., Remedios, J., Adamu, B., Sobrino, J., ... & Weng, Q. (2017). **A review on remote sensing of urban heat and cool islands**. Land, 6(2), 38 .

Roth, M., Oke, T. R., & Emery, W. J. (1989). **Satellite-derived urban heat islands from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology**. International Journal of Remote Sensing, 10(11): 1699-1720.

Slonecker, E. T., Jennings, D. B., & Garofalo, D. (2001). **Remote sensing of impervious surfaces: A review**. Remote Sensing Reviews, 20(3): 227-255.

Sobrino, J. A., Oltra-Carrió, R., Sòria, G., Jiménez-Muñoz, J. C., Franch, B., Hidalgo, V., ... & Gómez, J. A. (2013). **Evaluation of the surface urban heat island effect in the city of Madrid by thermal remote sensing**. International journal of remote sensing, 34(9-10): 3177-3192.

Weng, Q. (2012). **Remote sensing of impervious surfaces in the urban areas: Requirements, methods, and trends**. Remote Sensing of Environment, 117: 34-49.

Xiao, R. B., Ouyang, Z. Y., Zheng, H., Li, W. F., Schienke, E. W., & Wang, X. K. (2007). **Spatial pattern of impervious surfaces and their impacts on land surface temperature in Beijing, China**. Journal of Environmental Sciences, 19(2): 250-256.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.62.14.4]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.183]

Yuan, F., & Bauer, M. E. (2007). **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, 106(3): 375-386.

Zhang, L., & Weng, Q. (2016). **Annual dynamics of impervious surface in the Pearl River Delta, China, from 1988 to 2013, using time series Landsat imagery**. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 113: 86-96.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.62.14.4]

[DOI: 10.52547/jgs.21.62.183]