نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی سال نوزدهم، شماره ۵۲، بهار ۹۸

تحلیل تغییرات جزیره حرارتی سطوح شهری در روز و شب با استفاده از محصولات چند زمانه سنجنده مادیس (مطالعه موردی: کلانشهر تهران)

دریافت مقاله: ۹۶/۳/۱۹ **پذیرش نهایی:** ۹۷/۳/۳۰

صفحات: ۱۲۸-۱۱۳

سیروس هاشمی دره بادامی : دانشجوی دکترای سنجش از دور و سامانه اطلاعات جعرافیایی دانشگاه تهران، تهران، ایران[۱].
Email: siroushashemi@ut.ac.ir
علی درویشی بلورانی: استادیار سنجش از دور و سامانه اطلاعات جعرافیایی دانشگاه تهران، تهران، ایران.
Email: ali.darvishi@gmail.com
سید کاظم علوی‌پناه : استاد سنجش از دور و سامانه اطلاعات جعرافیایی دانشگاه تهران، تهران، ایران.
Email: salavipa@ut.ac.ir
محمد ملکی: کارشناس ارشد سنجش از دور و سامانه اطلاعات جعرافیایی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.
Email: Malekimohamad14@gmail.com
رضا بیات : دانشجوی دکتری مهندسی محیطزیست دانشکده محیطزیست دانشگاه تهران تهران، ایران. تهران، ایران.
Email: bayat7@gmail.com

چکیده

اصطلاح جزیره حرارتی شهری (UHI)، پدیده تغییر دمای مناطق شهری در مقایسه با مناطق پیرامون آن را توصیف می کند. اثرات UHI شامل: افزایش مصرف انرژی و آب، افزایش آلودگی هوا و تداخل در آسایش حرارتی می باشد. جزیره حرارتی سطوح شهری (SUHI) در برگیرنده الگوهای دمای سطح زمین (LST) درمناطق شهری است که با UHI در لایه تاج پوشش شهری و لایه مرز شهری (UBL) در ارتباط است و با سنجش از دور حرارتی قابل بررسی است . با توجه به اینکه SUHI دارای نوسانات روزانه و فصلی می باشد لذا نیاز به داده‌های چند زمانه در تحلیل SUHI، دور از انتظار نیست. در این تحقیق از داده‌های چند زمانه MODIS (آکوا و ترا)، به منظور تحلیل SUHI در شب و روز در کلانشهر تهران استفاده شد. خواص فیزیکی و بیوفیزیکی سطح زمین از قبیل کاربری اراضی، ارتفاع، آلبدو، شاخص پوشش گیاهی NDVI و شاخص سطوح نفوذناپذیر NDBI به منظور تفسیر تغییرات LST و SUHI استفاده شد. نتایج نشان داد که SUHI در تهران، دارای نوسانات مکانی و زمانی روزانه و فصلی است به طوریکه در ایام گرم سال در طول روز جزیره سرمایی سطوح شهری[۲] (SUCL) در سطح شهر تهران تشکیل می شود. در شب مقدار شاخص SUHI بین ۲ تا ۵ درجه سانتی‌گراد (حداکثر در بهار) متفاوت است. همچنین نتایج نشان داد که ویژگی‌های حرارتی متفاوت پوشش های زمین، آلبدو و ارتفاع مهمترین عوامل تغییرات روزانه

---

۱ . **نویسنده مسئول:** تهران، خیابان انقلاب، خیابان وصال، کوچه آذین، دانشکده جغرافیای دانشگاه تهران.

2. Surface urban Cool Island

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.52.4.0]
[DOI: 10.29252/jgs.19.52.113]

SUHI تهران است در حالی که تغییرات فنولوژیکی پوشش گیاهی و آلبدو، مهمترین عوامل تغییرات فصلی SUHI تهران می باشد.

کلید واژگان: جزیره حرارتی سطوح شهری، جزیره سرمایی شهری، محصولات مادیس، خواص بیوفیزیکی سطوح شهری.

مقدمه

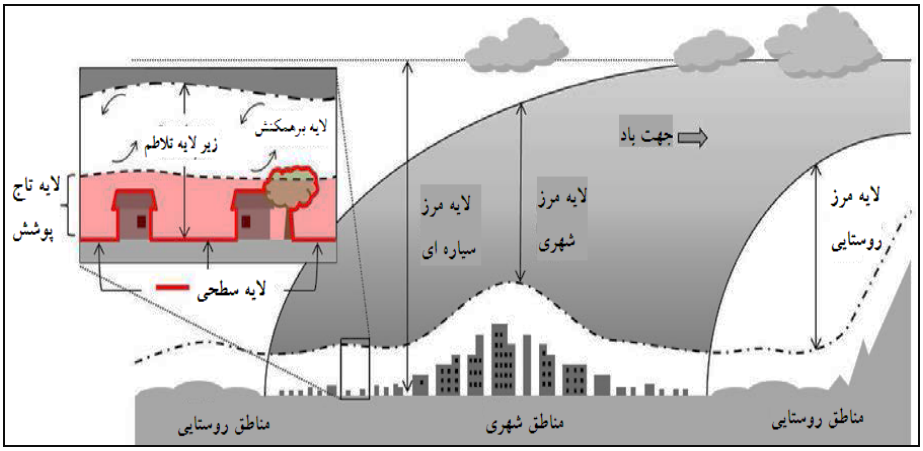
در یک شهر، دمای هوا، اغلب به‌اندازه۳ تا ۴ درجه سانتی گراد بالاتر از سایر مناطق غیرشهری است (Camilloni and Barros, 1997). این درجه حرارت بالا توسط احتراق سوخت در کارخانه ها، حرارت و سیستم‌های حمل‌ونقل و انتشار گرمای اضافی در شب که در طول روز توسط سطوح شهری ذخیره شده است، تولید می‌شود (Rose and Devadas, 2009). این پیامد توسط آلودگی هوا که سبب کاهش تابش زمینی شبانه می‌شود، تشدید می‌یابد. رطوبت کم ناشی از نبود پوشش گیاهی و سطوح نفوذ ناپذیر، و شرایط آرام هوا، منجر به افزایش حرارت می‌شود (Oke, 1987). علاوه بر این هندسه شهری از طریق ساختمان های بلند و خیابان های کانیونی، می‌تواند از انتشار امواج بلند به اتمسفر جلوگیری کند (Kleerekoper, et al, 2012). این عوامل موجب می شود دمای سطح و هوای شهری، از مناطق پیرامون بالاتر باشد که به این پدیده جزیره حرارتی شهری[1] (UHI) می گویند. اثرات نامطلوب جزیره حرارتی شهری شامل افزایش مصرف انرژی (Akbari 2005, 2012)، افزایش مصرف آب در ایام گرم سال (Guhathakurta & Gober, 2007)، افزایش ناراحتی های حرارتی (Almusaed, 2011) و افزایش آلودگی هوا (Rosenfeld et all, 1998) می باشد. شرایط اتمسفر راکد از موج گرما، آلاینده‌ها را در مناطق شهری محبوس نموده و واردکردن تنش شدید زباله سمی به تنش خطرناک هوای گرم ایجادشده، یک مشکل بهداشتی در ابعاد ناشناخته را به وجود می‌آورد. همچنین در شب یا در زمستان وجود هوای سرد در پشت‌بام‌ها باعث می‌شود که لایه هوای گرم‌تر زیر آن به همره لایه گردوغبار ثابت بماند (Almusaed, 2011). با توجه به افزایش جمعیت و شهرنشینی، گرمایش جهانی و اهمیت بیشتر آب و انرژی، انتظار می رود UHI به یکی از بحران های زیست محیطی عمده در دهه های آینده تبدیل شود.

تجزیه‌وتحلیل UHI در یک محیط شهری در سه لایه مختلف و مجزا انجام می‌شود. این لایه‌های شهری، شامل لایه سطحی[2]، لایه تاج پوشش[3] و لایه مرزی شهری[4] نام دارند که مرز لایه‌های و محل آن‌ها در شکل(۱) معرفی‌شده‌اند. لایه سطحی شامل سطوح زمین که در تماس مستقیم با اتمسفر است. لایه تاج پوشش بخشی از فضای بین لایه سطحی و پشت‌بام‌های خانه‌های شهری است. لایه‌مرزی شهری منطقه اتمسفر بالای مناطق شهری است که توسط انتقال حرارت از لایه تاج پوشش تحت تأثیر قرار می‌گیرد. ویژگی‌ها و مکانیک جزایر حرارتی بین این سه لایه متفاوت است. بااین‌حال، رفتار جزایر گرمایی وابسته به تعامل بین این لایه‌ها است

1 Urban Heat Island
۲ Surface layer
۳ Urban Canopy layer
3 Urban boundary layer

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.52.4.0]
[DOI: 10.29252/jgs.19.52.113]

(Arnfield, 2003). شدت UHI در لایه تاج پوشش و لایه مرزی شهری بوسیله داده های ایستگاه های هواشناسی، رادیوسوندها و دماسنج های نصب شده بروی اجسام متحرک، اندازه گیری می شود.



شکل(۱). لایه‌های شهری، مرزهای لایه و محل آن‌ها. منبع (Black, 2013)

رایج‌ترین روش برای تجزیه وتحلیل دمای سطح، استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور است. شدت تشعشع طیفی شناسایی شده در ناحیه مادون‌قرمز حرارتی از طیف الکترومغناطیس می‌تواند برای تخمین دمای سطح، با استفاده از اعمال قانون پلانک، بکار برده شود (Weng, 2004). اطلاعات سنجش از دور غالباً برای ارزیابی UHI سطح، که جزیره حرارتی سطوح شهری[1] (SUHI) نام دارد، استفاده می‌شود(Voogt and Oke, 2003; Weng, 2009). استفاده از داده های سنجش از دور حرارتی در قدرت تفکیک های فضایی-زمانی متفاوت و در انواع مناطق جغرافیایی به منظور بررسی اقلیم شهری به ویژه SUHI مستند شده است. بیشتر این مطالعات بر پایه یافتن رابطه بین دمای سطح زمین (LST) و شدت SUHI با کاربری/پوشش زمین (LULC)، فراوانی پوشش گیاهی، سطوح نفوذ ناپذیر و دیگر خواص فیزیکی و بیوفیزیکی سطح زمین در مناطق شهری استوار بوده است. (Zhou et al, 2014) رابطه بین پوشش زمین و جزیره حرارتی سطحی: تغییرات فصلی و اثر قدرت تفکیک‌های مکانی و موضوعی از داده‌های پوشش زمین بروی پیش‌بینی دمای سطح زمین را بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که اثرات LULC بر پیش‌بینی LST در فصول مختلف متغیر است و سازگارترین پوشش برای پیش‌بینی LST پوشش گیاهی متراکم است. (Deng and Wu, 2013) اثر ترکیبات بیوفیزیکی بر جزیره حرارتی سطحی را با استفاده از رویکرد غیر مخلوط طیفی و مخلوط دمایی (SUTM) بررسی کردند. نتایج نشان داد که SUTM بهتر از همه مدل‌های رگرسیون، با پایین‌ترین ریشه میانگین مربعات خطا (۲٫۸۹ K) و متوسط خطای مطلق (۲٫۱۱ K) می‌باشد. (Connors et al, 2013) به منظور ارتباط بین پیکربندی چشم‌انداز و اثرات جزیره حرارتی شهری، ارتباط بین ویژگی‌های چشم‌انداز و دمای سطح زمین در فونیکس آریزونا را بررسی کردند. ضرایب همبستگی پیرسون روابط معنادار بین مقیاس‌های مختلف پیکربندی فضایی و LST را

1 Surface Urban Heat Island

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.52.4.0]
[DOI: 10.29252/jgs.19.52.113]

نشان داد، اما این روابط برای کاربری زمین متفاوت بود. ارتباط سهم رطوبت سطح زمین شهری (ULSM) در تسکین SUHI با استفاده از تصاویر لندست ۸ توسط (Zhang et al, 2015) بررسی شد. نتایج آنها نشان داد که LST با افزایش ارزش ULSM کاهش می‌یابد. مناطق باارزش بالا ULSM یک اثر کاهش آشکار در دمای مناطق اطراف خود تا شعاع ۱۵۰ متر دارند. مدل‌سازی جزایر حرارتی شهری و ارتباط آن‌ها با سطوح نفوذناپذیر با استفاده از تصاویر ASTER توسط (Weng, 2011) انجام شد که رابطه مثبت بین درصد سطوح نفوذناپذیر و افزایش دمای سطح زمین را نشان می‌دهد. (Lazzarini et al, 2013) فعل‌وانفعالات پوشش زمین- دما را بررسی کردند که نتایج آنها گویای وارونگی پدیده جزیره حرارتی سطحی شهر SUHI (مناطق مرکز شهر سردتر از حومه بود) در مناطق شهرهای بیابانی بود. (Sobrino et al, 2013) اثر جزیره حرارتی سطح شهر در شهر مادرید را با سنجش از دور حرارتی بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که اثر SUHI بالاترین ارزش را در شب داشت اما در طول روز، این وضعیت معکوس شده و در شهر جزیره حرارتی منفی می‌شود. (Rasul et al, 2015) نیز تشکیل جزایر سرد شهری (UCI) در طول فصل خشک در اربیل، کردستان عراق، را مشاهده کردند که رطوبت سطح به عنوان عامل تعیین‌کننده اصلی در UCI معرفی شد.

علاوه بر این شاخص های بسیاری نیز به منظور اندازه گیری شدت SUHI توسعه داده شده اند. رویکرد کلاسیک تجزیه‌وتحلیل شدت SUHI، تفاوت درجه حرارت مناطق شهری و روستایی است (Kottmeier et al. 2007). بااین‌حال، تمایز بین مناطق "شهری" و "روستایی" متنوع و چالش برانگیز باقی مانده است (Stewart & Oke, 2009). (Lowry, 1977) در مدل مفهومی مناطق روستایی را به‌عنوان بخش‌هایی از یک منطقه شهرستان که توسط SUHI تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد، تعریف کرده است. درنتیجه تمایز بین مناطق شهری و روستایی نتیجه تجزیه‌وتحلیل SUHI است. بااین‌حال، مطالعات سنجش از راه دور اغلب شامل تعاریف پیشینی از مناطق "شهری" در مقابل "روستایی" با توجه به پوشش زمین می‌باشد. علاوه بر شاخص SUHI شهری-روستایی، شاخص‌های دیگری نیز برای بررسی وضعیت SUHI طراحی‌شده است که می توان از شاخص تفاوت دمای مناطق شهری-کشاورزی (Jin et al. 2005)، شاخص مرکز شهر-پیرامون (Zhang et al, 2010)، شاخص شهری-غیر شهری (Tomlinson et al, 2012) و شاخص شهری-آب (Chen et al, 2006)، نام برد.

مطالعات قبلی که به بررسی جزیره حرارتی شهر تهران با تصاویر حرارتی پرداخته اند بر اساس بررسی رابطه دمای سطح زمین با LULC (شکیبا و همکاران، ۱۳۸۸؛ ملک پور و همکاران، ۱۳۸۹) با استفاده از تصاویر ETM+ و یا تحلیل فضایی-زمانی جزیره حرارتی با استفاده از سری زمانی تصاویر لندست و شاخص های جزیره حرارتی (صادقی نیا و همکاران، ۱۳۹۱) بوده اند. این مطالعات توانسته اند توزیع دمای سطح زمین، رابطه آن با LULC، شناسایی خوشه های داغ و تغییرات شاخص جزیره حرارتی در روز در شهر تهران را به خوبی نمایش دهند. با این حال SUHI دارای نوسانات روزانه است و شدت آن در شب و روز متفاوت است. بنابراین با داشتن یک تصویر حرارتی در شب و یا در روز نمی توان تفسیر خوبی از SUHI بدست آورد. بنابراین در این مقاله از محصولات سنجنده چند زمانه مادیس (ترا[۱] و آکوا[۱]) برای بررسی SUHI در شب و روز کلانشهر تهران استفاده شده است.

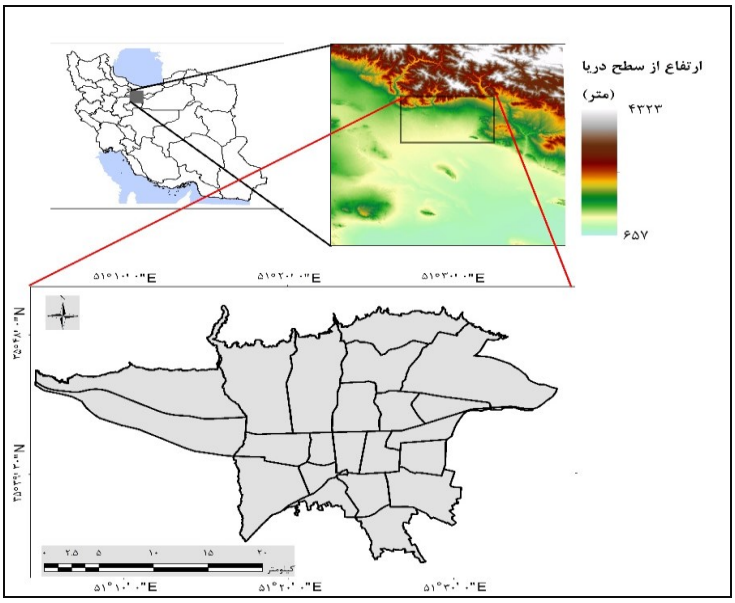
۱ Terra

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.52.4.0]
[DOI: 10.29252/jgs.19.52.113]

روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

آب‌وهوای تهران متأثر از کوهستان در شمال و دشت در جنوب است. غیر از شمال تهران که تحت تأثیر کوهستان، آب‌وهوای آن تا حدی معتدل و مرطوب است، آب‌وهوای بقیه شهر کلاً گرم و خشک و در زمستان‌ها اندکی سرد است. از نظر فصلی، هوای تهران در زمستان تحت تأثیر سیستم پرفشار شمالی (سیبری) قرار دارد. این تأثیر باعث شده است که در این فصل هوا در قسمت‌های مرکزی و جنوبی معتدل و در قسمت‌های شمالی شهر سرد باشد، به‌طوری‌که در این قسمت‌ها دمای هوا در زمستان بارها به زیر صفر می‌رسد. همچنین در این فصل به دلیل پدیده وارونگی هوا، میزان آلودگی جوی بالاست. در تابستان‌ها عامل مهم، سیستم کم‌فشار حرارتی کویر مرکزی است که سبب می‌شود هوا گرم و خشک باشد. شرایط اقلیمی ذکر شده به همراه تراکم بالای جمعیت و وسعت زیاد شهر تهران و همچنین تمرکز کارگاه‌ها و مناطق صنعتی در حاشیه شهر، شرایط را برای تولید جزیره حرارتی شهری و آلودگی هوای شهری به وجود آورده است. موقعیت محدوده مورد مطالعه به همراه کاربری/ پوشش اراضی (بروز شده نقشه کاربری اراضی تهران سال ۱۳۹۰) در شکل (۲) نمایش داده شده است.



شکل (۲). محدوده مورد مطالعه (منبع:نگارندگان)

۱ Aqua

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.52.4.0]
[DOI: 10.29252/jgs.19.52.113]

داده های مورد استفاده

MODIS[1] یا اسپکترورادیومتر تصویربرداری با قدرت تفکیک مکانی متوسط، ابزاری است که بر روی ماهواره ترا (EOS AM)، راه‌اندازی شده در ماه دسامبر سال ۱۹۹۹ و ماهواره آکوا (EOS PM) راه‌اندازی شده در ماه مه ۲۰۰۲، نصب شده است. MODIS داده‌ها را با ۳۶ باند طیفی با عبور زمانی بالاتر از خط استوا در حدود ۱۰,۳۰ و ۲۲,۳۰ برای ماهواره ترا و ۱۳,۳۰ و ۰۱,۳۰ برای ماهواره آکوا جمع‌آوری می‌کند.

MOD09GA، این محصول تخمینی از انعکاس طیفی سطح باندهای ۱ تا ۷ مادیس ترا، اصلاح‌شده برای شرایط جوی مانند گازها، ذرات معلق در هوا و پراکندگی ریلی را فراهم می‌کند. از لایه‌های بازتاب سطح MOD09GA به‌عنوان منبع داده برای بسیاری از محصولات زمین مادیس استفاده می‌شود. اعتبار سنجی در سطح ۳ برای تمام محصولات بازتابندگی سطح مادیس انجام‌شده است.

MOD11_A2 و MYD11_A2، دمای سطح زمین (LST) و توان تشعشعی ۸ روزه در سطح ۳، تشکیل شده از محصول LST روزانه ۱ کیلومتر مادیس (MOD11A1 و MYD11A1) می باشد و بر روی یک شبکه سینوسی ۱ کیلومتر به عنوان مقدار متوسط LSTs در آسمان صاف در طول ۸ روز در طول روز و شب (۱۰:۳۰ و ۲۲:۳۰ برای مادیس ترا و ۱۳:۳۰ و ۰۱:۳۰ برای مادیس آکوا)، ذخیره شده است(Lazzarini et al, 2013) . این داده از سازمان زمین شناسی آمریکا (USGS) و در دوره زمانی آوریل ۲۰۱۳ تا آوریل ۲۰۱۴ (فروردین ۱۳۹۲ تا فروردین ۱۳۹۳) تهیه شده است.

برای بررسی تغییرات شبانه روزی SUHI، از داده‌های MOD11_A2 و MYD11_A2 (LST ۸ روزه در تفکیک مکانی ۱ کیلومتر در روز و شب در ساعات (۱۰:۳۰، ۱:۳۰، ۲۲:۳۰، ۱:۳۰) در دوره زمانی آوریل ۲۰۱۳ تا آوریل ۲۰۱۴ (فروردین ۱۳۹۲ تا فروردین ۱۳۹۳) استفاده شد. برای بررسی شدت SUHI از شاخص تفاضل دمای مناطق شهری-روستایی پیشنهادی (Voogt and Oke, 2003) و از رابطه(۱) استفاده شد.

$$\mathrm{SHUI} = \mathrm{LST}_{\mathrm{urban}} - \mathrm{LST}_{\mathrm{rural}} \qquad \text{رابطه(۱)}$$

در اینجا LST_{urban} و LST_{rural} به ترتیب میانگین دمای سطح زمین برای مناطق شهری، و مناطق روستایی (غیر شهری) می باشد. برای تمایز مناطق شهری و مناطق روستایی (غیر شهری) از لایه مرز شهر تهران (مناطق ۲۲ گانه تهران) به عنوان مناطق شهری و بقیه محدوده مورد مطالعه به عنوان مناطق غیر شهری (روستایی)، استفاده شد. چهار ویژگی بیوفیزیکی سطحی، به منظور تفسیر تغییرات. LST و SUHI انتخاب شد. یکی از این متغیرها ارتفاع از سطح دریا می باشد. ویژگی بعدی آلبدو سطح زمین است که اثر افزایش آن در کاهش LST و SUHI مستند شده است و به‌عنوان یکی از راه‌های مقابله با SUHI شناخته‌شده است (Akbari and Matthews, 2012; Santamouris, 2014). چندین الگوریتم توسط (Liang et al, 2000) به منظور استخراج آلبدو در سنجنده‌های با پهنای باند وسیع با استفاده از ترکیب باندهای مختلف ارائه شده است. آلبدو برای تصاویر مادیس از رابطه (۲) بدست می آید.

1 Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.52.4.0]
[DOI: 10.29252/jgs.19.52.113]

رابطه (۲)
$$\alpha_{short} = 0.160\alpha_1 + 0.291\alpha_2 + 0.243\alpha_3 + 0.116\alpha_4 + 0.112\alpha_5 + 0.081\alpha_7 - 0.0015$$

که در اینجا α_{short} آلبدوی طول موج کوتاه سنجنده مادیس و α_1، α_2، α_3، α_4، α_5 و α_7 بـه ترتیـب بازتـاب سطح زمین در باندهای یک، دو، سه، چهار، پنج و هفت سنجنده مادیس می باشد. شاخص تفاضل نرمـال شـده پوشش گیاهی (NDVI) که نشان دهنده فراوانی پوشش گیاهی در واحد پیکسل، و شاخص تفاضل نرمال شـده ساخته شده (NDBI) که نشان دهنده میزان سطوح نفوذناپذیر در واحد پیکسل است و به طـور معمـول بـرای تفسیر LST و SUHI به کار می روند نیز در این تحقیق استفاده شده است. شـاخص NDVI بـر پایـه ارتبـاط جذب انرژی در محدوده طیفی قرمز توسط کلروفیل و افزایش انعکاس در انرژی مادون‌قرمز نزدیک برای پوشش گیاهی سالم استوار است (Leney et al, 1996) و از رابطه (۳) بدست می‌آیـد. NDBI نـه تنهـا مـی توانـد بـه عنوان شاخصی برای میزان فضای شهری و شدت توسعه اسـتفاده شـود، بلکـه بـه عنـوان شاخصـی از سـطوح نفوذناپذیر شهری که در آن تبادل حرارت محسوس صورت می گیرد نیز مورد استفاده بوده است (Li and Liu, 2008). این شاخص از رابطه (۴) بدست می آید.

رابطه(۳)
$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}$$

رابطه(۴)
$$NDBI = \frac{\rho_{SWIR} - \rho_{NIR}}{\rho_{SWIR} + \rho_{NIR}}$$

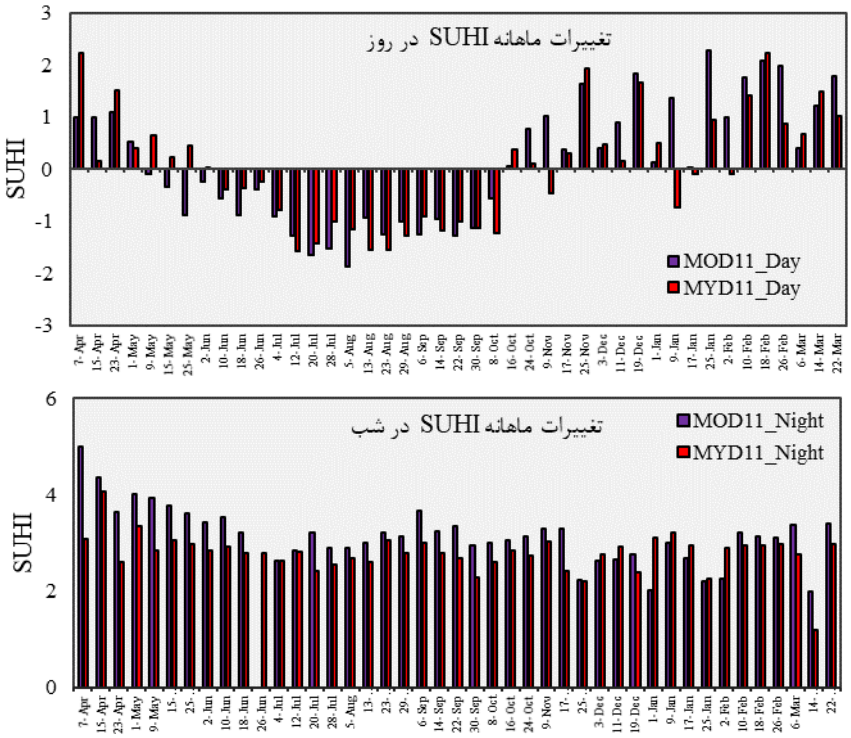
که در اینجا ρ_{RED}، ρ_{NIR} و ρ_{SWIR} به ترتیب بازتاب طیفی در باند یک، باند دو و باند شش در سنجنده مادیس می باشد.

نتایج

تغییرات روزانه و ماهانه شدت جزیره حرارتی سطحی

با توجه به اینکه محاسبه شاخص‌های جزیره حرارتی شهری با استفاده از تصاویر حرارتی با تفکیک مکانی پایین مانند MODIS (یک کیلومتر)، با توجه به تفاوت مناطق شهری بـا روسـتایی و یـا غیرشـهری انجـام می‌شـود، تفاوت در رفتار پوشش‌های مختلف زمین در تعامل با نور خورشید رسیده بـه زمـین (روزانـه و ماهانـه) موجـب تغییراتی در مقدار شاخص‌های جزیره حرارتی شهری (روزانه و ماهانه) می‌شود. در این تحقیق از روش معمـول محاسبه شاخص جزیره حرارتی، تفاوت دمای مناطق شهری با غیرشهری استفاده شد که نتایج این شـاخص‌هـا در ماه‌های مختلف سال در شکل (۳)نشان داده‌شده است. با توجه بـه شـکل در روش شـهری-غیـر شـهری در ماه‌های گرم سال، در روز شاهد جزیره حرارتی وارونه (جزیره سرمایی شهری) هستیم. علت این پدیـده اینسـت که بیشتر مساحت مناطق غیر شهری از خاک بایر است و در طـول روز دمـای سـطح خـاک بـه علـت ظرفیـت گرمایی پایین به‌سرعت بالا می‌رود. مناطق شهری به علت وجود مصالح با ظرفیت حرارتی بالا، در حـال ذخیـره کردن انرژی گرمایی خورشید می باشد و در این ساعت از روز (۱۰:۳۰ و ۱۳:۳۰) دمای مناطق ساخته شـده از خاک بایر پایین تر است. در شب مقدار شاخص جزیره حرارتی بین ۲ تا ۵ درجه سانتی‌گراد متفاوت اسـت کـه بیشترین مقدار مربوط به فصل بهار است. در هنگام شب دمای سطح خـاک به‌سـرعت کـاهش می‌یابـد ایـن در حالی است که مناطق ساخته‌شده هنوز دمای خود را حفظ کرده و دمای بالاتری نسبت به خاک بایر دارد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.52.4.0]
[DOI: 10.29252/jgs.19.52.113]



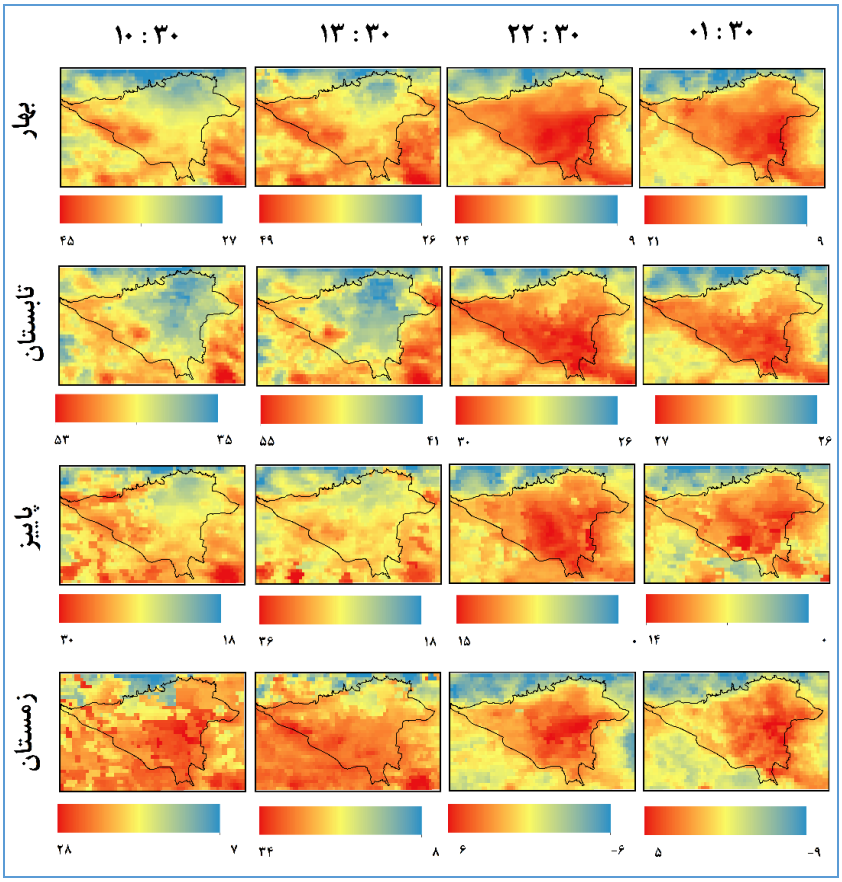
شکل(۳). مقدار شاخص SUHI در شب و روز برای ماه‌های مختلف سال

تغییرات مکانی روزانه دمای سطح زمین در فصول مختلف

داده‌های دمای سطح زمین (MOD11 و MYD11) برای هر فصل، میانگین‌گیری شد تا تغییرات مکانی روز و شب دمای سطح زمین در هر فصل مشخص شود. در فصل بهار، شکل(۴) در ساعت ۱۰:۳۰ دو جزیره گرمایی سطحی قابل مشاهده است، یکی در جنوب شرق تهران در کوه‌های مسگرآباد و دیگری در منطقه فرودگاه مهرآباد و مناطق صنعتی شرق که در ساعت ۱۳:۳۰ وسعت آنها افزایش می یابد . مناطق ذکرشده در ساعت ۱۳:۳۰ توسعه می‌یابند. در ساعت ۲۲:۳۰ حومه تهران و مناطق غیرشهری به‌سرعت دمای خود را از دست می‌دهند اما مناطق شهری به‌خصوص بخش مرکزی شهر هنوز دمای خود را از دست نداده به‌طوری‌که دو جزیره گرمایی سطحی در بخش مرکزی شهر قابل‌مشاهده است. در ساعت ۱:۳۰ شب از شدت تفاوت دمای سطح مناطق شهری و غیرشهری کاسته می‌شود ولی همچنان جزایر گرمایی سطحی در مرکز شهر قابل‌مشاهده هستند. در فصل تابستان در طول روز جزایر سرمایی سطحی در مناطق شهری (به‌جز در منطقه فرودگاه مهرآباد و مناطق صنعتی شرق تهران) مشاهده شد که این ناشی از گرم شدن سریع خاک است (در این فصل تقریباً بدون پوشش است) که موجب گرم شدن مناطق شرقی و جنوبی تهران نسبت به مناطق شهری در طول روز می‌شود. در شب مانند فصل بهار در این فصل نیز مناطق مرکزی شهر دمای سطح بالاتری دارند و جزایر گرمایی سطحی در مرکز شهر تشکیل می‌شود. در فصل پاییز از شدت تفاوت دما بین مناطق شهری و غیر شهری در شب و روز کاسته می شود. در فصل زمستان در مجموع مناطق شهری هم در روز و هم در شب

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.52.4.0]
[DOI: 10.29252/jgs.19.52.113]

دمای سطح بالاتری نسبت به مناطق غیر شهری تجربه می کنند. این به علت افزایش رطوبت موجود در خاک در این فصل است. رطوبت خاک موجب بالا رفتن ظرفیت گرمایی خاک و همچنین افزایش تبخیر و کاهش دمای سطح خاک می شود.



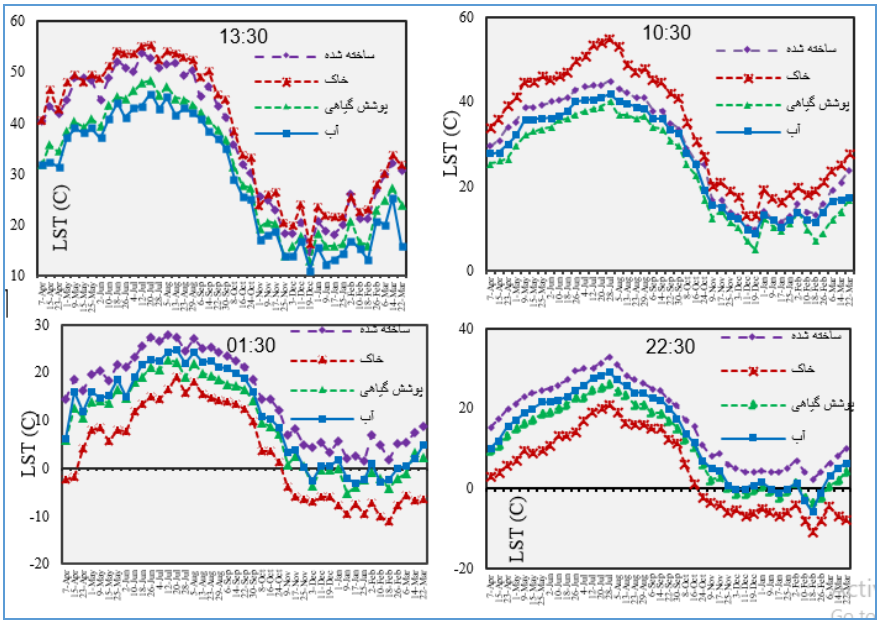
شکل (۴). توزیع مکانی LST در ساعات مختلف شبانه روز و در فصول مختلف

تغییرات LST در پوشش های مختلف زمین در شبانه روز

یکی از عوامل مؤثر در تغییرات مکانی روزانه دمای سطح زمین، تفاوت در واکنش پوشش‌های مختلف زمین در برابر نور خورشید رسیده به سطح می باشد. در شکل (۵) تغییرات دمای سطح زمین در پوشش‌های مختلف زمین در محدوده مورد مطالعه در ساعات مختلف شبانه‌روز و در ماههای مختلف سال را نشان می‌دهد. با توجه به شکل، در ساعت ۱۰:۳۰، دمای سطح خاک به علت ظرفیت گرمایی پایین به‌سرعت بالا می‌رود. این در حالی است که مناطق ساخته‌شده، آب و پوشش گیاهی دماهای بعدی را به ترتیب به خود اختصاص می‌دهند. در ساعت ۱۳:۳۰، دمای سطح خاک همچنان بالاست و دمای مناطق ساخته‌شده نیز در حدود دمای خاک بالا می‌رود. در این ساعت دمای پوشش گیاهی از آب بالاتر است. در هنگام شب دمای سطح خاک به‌سرعت کاهش می‌یابد و از بقیه پوشش‌ها سردتر می‌شود. این در حالی است که دمای مناطق ساخته‌شده هنوز دمای خود را

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.52.4.0]
[DOI: 10.29252/jgs.19.52.113]

حفظ کرده و دمای بالاتری نسبت به آب و پوشش گیاهی دارد. پوشش آب نیز به علت ظرفیت حرارتی بالا و حفظ دمای ذخیره‌شده روز، در شب دمای بالاتری از پوشش گیاهی دارد. این تغییرات دمای سطح در پوشش‌های مختلف در ماه‌های مختلف سال متفاوت است به‌طوری‌که در ایام تابستان تفاوت دمای سطح بین پوشش‌های مختلف، بیشتر است.



شکل (۵). تغییرات روزانه و ماهانه دمای سطح انواع پوشش زمین

رابطه خصوصیات فیزیکی و بیوفیزیکی سطح زمین با LST

به منظور بررسی رابطه خصوصیات فیزیکی و بیوفیزیکی سطح زمین با تغییرات LST، ۲۰۰ نمونه تصادفی در تفکیک مکانی مشابه داده‌های حرارتی MODIS از سطح منطقه انتخاب شد. سپس داده‌های متناظر با این نمونه‌ها از هر یک از تصاویر LST در ساعات مختلف شب و روز و ویژگی‌های سطحی استخراج شد و ضریب همبستگی پیرسون از داده‌های دمای سطح با سایر ویژگی‌های سطح در ماه‌های مختلف محاسبه شد و نتایج آن در جدول (۱) خلاصه شد. با توجه به جدول، دمای سطح زمین در روز بیشترین همبستگی را با ارتفاع دارد و در شب دمای سطح زمین تحت تأثیر سطوح نفوذناپذیر و آلبدو قرار دارد. با افزایش ارتفاع دمای سطح زمین در روز و شب و در همه فصل‌ها کاهش می‌یابد این همبستگی در شب کمتر از روز است. مکان‌هایی که آلبدوی بالایی دارند در شب دمای سطح پایین‌تری دارند که این نشان‌دهنده این است که هرچقدر آلبدوی جسمی بالا باشد جذب و ذخیره سازی نور خورشید کمتر صورت می‌گیرد و در شب به‌سرعت دمای آن جسم کاهش می‌یابد.

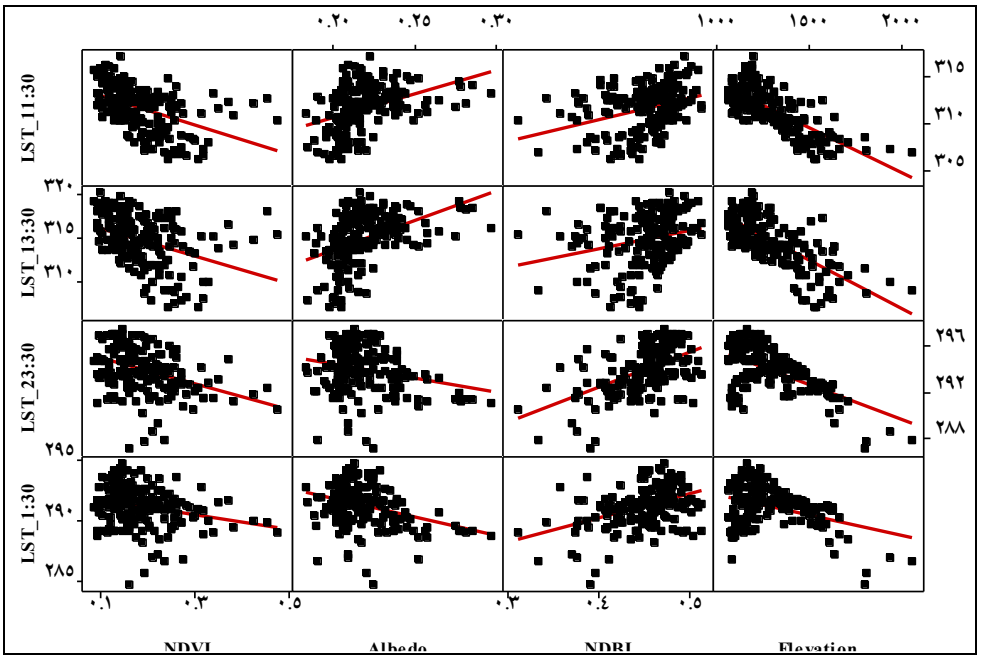
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.52.4.0]
[DOI: 10.29252/jgs.19.52.113]

جدول(۱). ضریب همبستگی پیرسون بین داده‌های LST در ساعات مختلف روز و شب و فصل‌های سال با خصوصیات فیزیکی و بیوفیزیکی سطح زمین.

	LST	NDVI	آلبدو	NDBI	ارتفاع
بهار	۱۱:۰۰	-۰/۴۶۸	۰/۴۱۲	۰/۳۳۹	-۰/۷۴۶
	۱۳:۰۰	-۰/۳۹۱	۰/۴۵۱	۰/۲۵۵	-۰/۷۱۱
	۲۳:۰۰	-۰/۳۸۶	-۰/۲۳۲	۰/۵۴۰	-۰/۵۵۴
	۱:۰۰	-۰/۲۶۸	-۰/۳۴۷	۰/۴۲۳	-۰/۳۷۵
تابستان	۱۱:۰۰	-۰/۳۱۱	۰/۵۷۷	۰/۰۶۲	-۰/۴۹۳
	۱۳:۰۰	-۰/۳۰۷	۰/۵۷۱	۰/۰۳۶	-۰/۴۵۸
	۲۳:۰۰	-۰/۳۴۵	-۰/۱۷۳	۰/۴۵۶	-۰/۶۶۴
	۱:۰۰	-۰/۲۹۷	-۰/۳۸۹	۰/۵۰۰	-۰/۴۵۰
پاییز	۱۱:۰۰	-۰/۱۶۶	۰/۴۹۰	۰/۱۴۷	-۰/۵۴۷
	۱۳:۰۰	-۰/۲۷۳	۰/۴۵۴	۰/۱۹۵	-۰/۵۰۶
	۲۳:۰۰	-۰/۱۸۹	-۰/۵۴۷	۰/۴۰۵	-۰/۳۹۰
	۱:۰۰	-۰/۱۷۰	-۰/۵۶۵	۰/۳۴۷	-۰/۲۱۹
زمستان	۱۱:۰۰	۰/۰۸۹	-۰/۳۵۰	۰/۲۹۰	-۰/۵۶۱
	۱۳:۰۰	۰/۲۶۲	-۰/۱۷۱	۰/۳۴۴	-۰/۸۷۰
	۲۳:۰۰	-۰/۰۸۸	-۰/۷۸۱	۰/۵۰۱	-۰/۳۸۸
	۱:۰۰	-۰/۱۵۶	-۰/۶۶۷	۰/۳۵۹	-۰/۱۱۶

اما همبستگی مثبتی که آلبدو با دمای سطح در روز دارد به علت وجود خاک در نمونه‌های تصادفی است. خاک بایر معمولاً دارای آلبدوی بالایی است ولی با توجه به اینکه ظرفیت گرمایی پایینی دارد به‌سرعت گرم شده و دمای سطح آن بالا می‌رود به‌این‌ترتیب خاک در روز هم آلبدوی بالایی دارد و هم دمای سطح بالا. همبستگی مثبت بالا بین شاخص NDBI و دمای سطح زمین در ادبیات تحقیق مستند شده است. در این تحقیق این رابطه وجود دارد اما چون تحت تأثیر ارتفاع قرار دارد این رابطه کمتر از مطالعات قبلی، بدست آمد. رابطه بین پوشش گیاهی و دمای سطح زمین نیز همبستگی منفی پایینی را نشان می‌دهد که علت آن وسعت کم فضای سبز داخل شهر است که تحت تأثیر تراکم بالای مناطق ساخته‌شده، اثر پوشش گیاهی در کاهش دمای سطح و جزیره گرمایی کمرنگ شده است. شکل (۶) نمودار پراکندگی ماتریسی از داده‌های LST در ساعات ۳۰:۱۱، ۱۳:۳۰، ۲۲:۳۰ و ۱:۳۰ با خصوصیات سطح زمین ترسیم شده است. تغییرات رابطه LST با خصوصیات سطح در ساعات مختلف روز و شب از روی شکل(۶) قابل‌مشاهده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.52.4.0]
[DOI: 10.29252/jgs.19.52.113]



شکل (۶). نمودار پراکندگی ماتریسی از داده‌های LST در ساعات ۱۱:۳۰، ۱۳:۳۰، ۲۲:۳۰ و ۱:۳۰ با خصوصیات سطح زمین

نتیجه گیری

در این تحقیق سعی بر آن بود که با استفاده از داده‌های چندزمانه مادیس تغییرات روزانه جزیره حرارتی سطوح شهری (SUHI) بررسی شده و رابطه آن با خصوصیات فیزیکی و بیوفیزیکی سطح زمین مشخص شود. نتایج نشان داد که با توجه به تغییرات و تنوع فنولوژیکی در پوشش گیاهی شهر تهران و همچنین تعامل متفاوت پوشش‌های زمین با نور خورشیدِ ورودی در شبانه‌روز و ماه‌های مختلف سال و دیگر خصوصیات تأثیرگذار سطحی (آلبدو، ارتفاع، سطوح نفوذناپذیر و کاربری/ زمین) SUHI در ماه‌های مختلف ازلحاظ مکانی و شدت، دارای نوسان است. همچنین نتایج این تحقیق از بررسی SUHI نشان داد که علاوه بر تغییرات مقدار شاخص جزیره حرارتی در شبانه‌روز و ماه‌های مختلف سال، ازلحاظ مکانی نیز این پدیده تغییرات روزانه و ماهانه دارد. تغییرات روزانه ناشی از خصوصیات حرارتی پوشش‌های مختلف زمین است با طلوع خورشید پوشش خاک با توجه به ظرفیت حرارتی پایین به‌سرعت گرم می‌شود و دمای آن از سایر پوشش‌ها بالاتر می‌رود. در اواسط روز دمای مناطق ساخته‌شده نیز بالاتر رفته و به نزدیکی دمای خاک می‌رسد. با غروب خورشید پوشش خاک گرمای خود را به‌سرعت ازدست‌داده و دمای آن از سایر پوشش‌ها کمتر می‌شود. این در حالی است که مناطق ساخته‌شده با توجه به ظرفیت حرارتی بالا، گرمای ذخیره‌شده در طول روز را به‌آرامی به اتمسفر تابش می‌کنند و تا اواسط شب دمای سطح بالایی دارند. پوشش گیاهی و آب نیز ظرفیت حرارتی بالایی دارند اما با توجه به تبخیر و تعرقی که دارند در روز و شب دمای سطح متوسطی دارند. استفاده از داده‌های حرارتی MODIS با تفکیک زمانی بالا (۴ بار در شبانه‌روز) امکان بررسی تغییرات روزانه دمای سطح و جزیره حرارتی را فراهم می‌کند. در تغییرات سالانه جزیره حرارتی نتایج نشان داد که رابطه متفاوت بین متغیرهای سطحی و LST

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.52.4.0]
[DOI: 10.29252/jgs.19.52.113]

موجب تغییرات مقداری و مکانی ماهانه جزیره حرارتی می‌شود به‌طوری‌که در فصل تابستان در طول روز جزیره حرارتی منفی (جزیره سرد شهری) مشاهده شد. در بین خصوصیات فیزیکی و بیوفیزیکی سطح زمین، ارتفاع از سطح دریا در طول روز و سطوح نفوذناپذیر در شب، کنترل توزیع دمای سطح را بر عهده‌دارند. همچنین در مکان‌هایی که در طول روز آلبدوی سطح بالایی دارند در شب دمای آن‌ها کمتر از سایر مناطق است.

در مقایسه با تحقیقاتی که دیگر پژوهشگران بروی ارزیابی جزیره حرارتی شهر تهران با استفاده از سنجش از دور حرارتی انجام داده اند، تحقیق حاضر به دلیل بررسی تغییرات فصلی و تفاوت های جزیره حرارتی در شب و روز، نتایج جامع تری را ارائه می دهد. به عنوان مثال صادقی نیا و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از تصاویر چند زمانه TM تغییرات جزیره حرارتی بین سالهای ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰ را بررسی کردند. تصاویر مربوط به ماه‌های ژوئن تا آگوست برای سالهای مورد نظر متغیر بودند. هر چند که آنها با استفاده از نرمال سازی دمای سطح زمین و طبقه بندی حرارتی تغییرات مساحت طبقات دمایی را توانستند بررسی کنند با این حال این تصاویر مربوط به ساعت ۱۰ صبح بودند که در این ساعت دمای سطح خاک بالاتر از سایر پوشش ها است و توزیع مناسبی از جزیره حرارتی را نمی تواند ارائه دهد. همچنین در شهرهای نیمه خشک و خشک، جزیره حرارتی در شب قابل اندازه گیری است. علاوه بر این جزیره حرارتی دارای تغییرات فصلی نیز می باشد که باید بررسی شود. شکیبا و همکاران (۱۳۸۸) رابطه دمای سطح زمین را با کاربری/پوشش زمین در تهران بررسی کردند که نتایج آنها همانند نتایج این تحقیق همبستگی مثبت دمای سطح با سطوح نفوذناپذیر و همبستگی منفی دمای سطح با پوشش گیاهی را معرفی می‌نمایند. با این حال نتایج این تحقیق نشان داد که همبستگی دمای سطح زمین با کاربری/پوشش زمین دارای تغییرات فصلی و شبانه روزی است که باید در مطالعات جزیره حرارتی در نظر گرفته شود. در تحقیقات مشابهی که بروی جزیره حرارتی در مناطق خشک و نیمه خشک انجام شده است (Lazzarini et al, 2013; Rasul et al, 2015) حاکی از آن است که جزیره حرارتی سطحی در این مناطق در روز روند معکوسی را نمایش می دهد به این معنی که مناطق اطراف شهر در روز دمای سطح بالاتری از مناطق مرکزی شهر دارند و به نوعی در طول روز در این مناطق جزیره سرمایی سطحی شهری (SUCI) ایجاد می شود که علت آن وجود خاک بایری است که در اطراف شهر وجود دارد و در طول روز به سرعت گرم می شود.

در دهه‌های اخیر تکنیک‌های زیادی برای مقابله با اثر جزیره حرارتی شهری توسعه‌یافته است که هدف آن‌ها به تعادل رساندن بودجه حرارتی شهرها توسط افزایش تلفات حرارتی و کاهش جذب و ماندگاری حرارت می باشد. ازجمله مهم‌ترین این استراتژی‌ها افزایش فضای سبز شهری و استفاده از بام‌های سبز و افزایش آلبدو و استفاده از کف‌سازی‌های سرد است. افزایش فضای سبز شهری و استفاده از بام‌های سبز علاوه بر کاهش اثر جزیره حرارتی، می‌تواند آسایش حرارتی را بهبود دهد، آلودگی هوا را کاهش دهد و درنهایت موجب بهبود کیفیت زندگی شهرنشینان شود؛ اما در شهرهای درحال‌توسعه با تراکم بالای ساختمانی، فضای خالی برای ایجاد فضای سبز نایاب و پرهزینه است همچنین هزینه نصب بام سبز می‌تواند دو برابر سقف‌های معمولی باشد و جرم اضافی بستر خاک و آب ذخیره‌شده در آن می‌تواند فشار زیادی به بدنه ساختمان وارد کند و هزینه‌های مقاوم‌سازی ساختمان نیز به هزینه‌های نصب بام سبز اضافه می‌شود. یکی از راه‌های کاهش جزیره حرارتی و مصرف انرژی استفاده از مواد با بازتاب بالا در پیاده‌روها، دیوارها و پشت‌بام‌های ساختمان‌ها است که عملی به

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.52.4.0]
[DOI: 10.29252/jgs.19.52.113]

نظر می‌رسد. با توجه به اینکه در بیشتر مناطق شهری پیاده‌روها و پشت‌بام‌ها حدود ۶۰ در صد از مساحت شهری را به خود اختصاص می‌دهند، (سقف ۲۰ تا ۲۵ درصد و پیاده‌رو ۴۰ درصد) افزایش آلبدوی در حدود ۰/۲۵ و ۰/۱۰ به ترتیب، منجر به افزایش آلبدوی خالص در مناطق شهری در حدود ۰/۱ می‌شود. افزایش آلبدو در حدود ۰/۰۵ تا ۰/۱ منجر به کاهش دما در حدود ۱ تا ۲ درجه کلوین در حدود ۲۰ سال می‌شود (Akbari et al, 2008).

به علت پیچیدگی بالای عوارض شهری در پردازش‌های مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای، طیف یک پیکسل به‌خصوص برای تصاویر با تفکیک مکانی متوسط و پایین، ممکن است ترکیبی از چند نوع کاربری/پوشش زمین باشد. بنابراین استخراج زیر پیکسل توان تشعشعی و دمای سطح زمین می‌تواند دقت مطالعات درباره جزیره حرارتی شهری را بالا ببرد. بنابراین در پژوهش‌های آتی سعی بر آن خواهد بود که خصوصیات فیزیکی و بیوفیزیکی سطوح شهری ازجمله: آلبدو، ظرفیت گرمایی، هدایت گرمایی، رطوبت خاک، پوشش گیاهی، توان تشعشعی و پوشش‌های مختلف شهری به‌صورت زیر پیکسل با استفاده از عضوهای پایانی چندگانه تخمین زده شود. با توجه به در دسترس بودن داده‌های LST شبانه سنجنده MODIS و استخراج LST روزانه از تصاویر لندست، ترکیب این تصاویر برای بدست آوردن اینرسی حرارتی ظاهری در تفکیک مکانی بالا، برای بدست آوردن توان تشعشعی مواد شهری و همچنین بررسی تعادل انرژی سطحی در مناطق شهری به نظر جالب می‌رسد.

منابع

شکیبا، علیرضا؛ ضیائیان فیروز آبادی، پرویز؛ عاشورلو، داوود و سودابه نامداری. (۱۳۸۸)، **تحلیل رابطه کاربری و پوشش اراضی و جزایر حرارتی شهر تهران با استفاده از داده های + ETM**. نشریه سنجش از دور و GIS ایران، **۱(۱)**: ۳۹-۵۶.

صادقی نیا، علیرضا ؛ علیجانی، بهلول و ضیائیان فیروزآبادی، پرویز .(۱۳۹۲). **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.

ملک پور، پیمان. طالعی، محمد. رضایی، یوسف. خوش گفتار، مهدی.(۱۳۸۹). **بررسی درجه حرارت سطح زمین و ارتباط آن با کلاس های پوشش- کاربری زمین شهری با استفاده از داده‌ی سنجنده +ETM**، مطالعه موردی شهر تهران. همایش ملی ژئوماتیک ۸۹ – اردیبهشت ۱۳۸۹.

Akbari, H. (2005). **Energy Saving Potentials and Air Quality Benefits of Urban Heat Island Mitigation.** Lawrence Berkeley. National Laboratory. 2005 Aug 23.

Akbari, H., & Matthews, H. D. (2012). **Global cooling updates: Reflective roofs and pavements.** Energy and Buildings, **55**, 2-6.

Akbari, H., Menon, S., & Rosenfeld, A. (2008). **Global cooling: effect of urban albedo on global temperature.** Lawrence Berkeley National Laboratory.

Almusaed, A. (2011). **The Urban Heat Island Phenomenon upon Urban Components. In Biophilic and Bioclimatic Architecture** (pp. 139-150). Springer London

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

[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.52.4.0]

[DOI: 10.29252/jgs.19.52.113]

Arnfield, A. J. (2003). **Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island.** International journal of climatology, **23(1),** 1-26

Black, A. L. (2013). **Temperature Trends and Urban Heat Island Intensity Mapping of the Las Vegas Valley.**

Camilloni, I., & Barros, V. (1997). **On the urban heat island effect dependence on temperature trends.** Climatic Change, **37(4),** 665-681.

Connors, J. P., Galletti, C. S., & Chow, W. T. (2013**). Landscape configuration and urban heat island effects: assessing the relationship between landscape characteristics and land surface temperature in Phoenix, Arizona.** Landscape ecology, **28(2**), 271-283.

Deng, C., & Wu, C. (2013). **Examining the impacts of urban biophysical compositions on surface urban heat island: A spectral unmixing and thermal mixing approach.** Remote Sensing of Environment, **131**, 262-274.

Guhathakurta, S. &Gober, P. (2007). **The Impact of the Phoenix Urban Heat Island on Residential Water Use.** Journal of the American Planning Association, **73**, 317-329.

Jin, M., Dickinson, R. E., & Zhang, D. A. (2005). **The footprint of urban areas on global climate as characterized by MODIS.** Journal of Climate, **18(10),** 1551-1565.

Kleerekoper, L., van Esch, M., & Salcedo, T. B. (2012). **How to make a city climate-proof, addressing the urban heat island effect. Resources,** Conservation and Recycling, 64, 30-38.

Kottmeier, C., Biegert, C., & Corsmeier, U. (2007). **Effects of urban land use on surface temperature in Berlin: Case study.** Journal of urban planning and development, 133(2), 128-137.

Lazzarini, M., Marpu, P. R., & Ghedira, H. (2013). **Temperature-land cover interactions: the inversion of urban heat island phenomenon in desert city areas.** Remote Sensing of Environment, 130, 136-152.

Lenney, M. P., Woodcock, C. E., Collins, J. B., & Hamdi, H. (1996). **The status of agricultural lands in Egypt: the use of multitemporal NDVI features derived from Landsat TM.** Remote Sensing of Environment, **56(1),** 8-20.

Li, H., & Liu, Q. (2008, December). **Comparison of NDBI and NDVI as indicators of surface urban heat island effect in MODIS imagery.** In International Conference on Earth Observation Data Processing and Analysis (pp. 728503-728503). International Society for Optics and Photonics.

Liang, S. (2001). **Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I: Algorithms.** Remote Sensing of Environment, **76(2),** 213-238.

Lowry, W. P. (1977). **Empirical estimation of urban effects on climate: a problem analysis.** Journal of Applied Meteorology, **16(2),** 129-135.

Oke, T.R., 1987. **Boundary Layer Climates. Methen, London**, second ed. 435pp.

Rasul, A., Balzter, H., & Smith, C. (2015). **Spatial variation of the daytime surface urban cool island during the dry season in Erbil, Iraqi Kurdistan, from Landsat 8.** Urban Climate, **14**, 176-186.

Rose, A. L., & Devadas, M. D. (2009, June). **Analysis of land surface temperature and land use/land cover types using remote sensing imagary a case inchennal city, India.** In The seventh International Conference on Urban Climate (Vol. 29).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.52.4.0]
[DOI: 10.29252/jgs.19.52.113]

Rosenfeld, A. H., Akbari, H., Romm, J. J., &Pomerantz, M. (1998). **Cool communities: strategies for heat island mitigation and smog reduction.** Energy and Buildings, **28(1),** 51-62.

Santamouris, M. (2014). **Cooling the cities–a review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments.** Solar Energy, **103**, 682-703.

Sobrino, J. A., Oltra-Carrió, R., Sòria, G., Jiménez-Muñoz, J. C., Franch, B., Hidalgo, V., & Paganini, M. (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.

Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2009). **A new classification system for urban climate sites.** Bulletin of the American Meteorological Society, **90(7),** 922-923.

Tomlinson, C. J., Chapman, L., Thornes, J. E., & Baker, C. J. (2012). **Derivation of Birmingham's summer surface urban heat island from MODIS satellite images.** International Journal of Climatology, **32(2),** 214-224.

Voogt, J. A., & Oke, T. R. (2003). **Thermal remote sensing of urban climates.** Remote sensing of environment, **86(3),** 370-384.

Weng, Q. (2009). **Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends.** ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, **64(4),** 335-344.

Weng, Q., Rajasekar, U., & Hu, X. (2011). **Modeling urban heat islands and their relationship with impervious surface and vegetation abundance by using ASTER images.** Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, **49(10),** 4080-4089.

Zhang, Y., Chen, L., Wang, Y., Chen, L., Yao, F., Wu, P. & Zhang, T. (2015**). Research on the Contribution of Urban Land Surface Moisture to the Alleviation Effect of Urban Land Surface Heat Based on Landsat 8 Data.** Remote Sensing, **7(8),** 10737-10762.

Zhou, W., Qian, Y., Li, X., Li, W., & Han, L. (2014). **Relationships between land cover and the surface urban heat island: seasonal variability and effects of spatial and thematic resolution of land cover data on predicting land surface temperatures.** Landscape ecology**, 29(1),** 153-167.

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

[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.52.4.0]

[DOI: 10.29252/jgs.19.52.113]