

نقش مؤلفه‌های جغرافیایی بر چگونگی پراکندگی دمایی در سطوح شهری با استفاده

از تکنیک‌های سنجش از دور. مطالعه موردی: شهر مشهد

کاظم علی‌آبادی^{۱*}، عباسعلی داداشی رودباری^۲

^۱عضو هیات‌علمی دانشگاه حکیم سبزواری، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، سبزواری، ایران
^۲دانشجوی دکتری آب و هواشناسی شهری، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین، تهران، ایران
تاریخ دریافت: ۹۴/۶/۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۲/۲

چکیده

دمای سطح زمین یکی از پارامترهای مهم برای تعیین بیلان انرژی زمین، مطالعات هواشناسی و محیطی است. از طرفی رشد سریع جمعیت، توسعه شهرها، پدیده آلودگی محیط‌زیست، تغییر شرایط آب و هوایی، پدیده وارونگی هوا از یک طرف و فعالیت‌های زیست‌محیطی مانند ایجاد فضای سبز از طرف دیگر جمله عواملی هستند که بر کیفیت محیط‌زیست انسان تأثیر می‌گذارند. دمای هوا و دمای سطحی زمین شاخص‌هایی هستند که اهمیت آن‌ها رو به افزایش است. پژوهش پیش رو باهدف نقش مؤلفه‌های جغرافیایی در جزایر حرارتی شهر مشهد انجام شد به این منظور تصاویر سنجنده ETM⁺ ماهواره LANDSAT 7 برای جولای ۲۰۱۲ میلادی بارگیری گردید و سپس شاخص‌های کسر پوشش گیاهی، شاخص تفاضل بهنجار شده پوشش گیاهی و دمای سطح زمین استخراج گردید. نتایج پژوهش نشان داد که رابطه دمای سطح زمین با درصد پوشش گیاهی اکثر مناطق با دمای بالا (از حدود ۳۶ تا ۴۳ درجه) یا جزایر حرارتی منطبق بر فضاهای باز حاشیه و داخل شهری می‌باشد که عمده دلیل ایجاد این جزایر حرارتی، فقر پوشش گیاهی و مناطق ساخته‌شده شهری است. همچنین یک رابطه مستقیم و مثبت قوی بین دمای سطح زمین (LST) با سطوح شهری و یک همبستگی معکوس قوی بین شاخص تفاضل بهنجار شده پوشش گیاهی (NDVI) و دمای سطح زمین در شهر مشهد مقدس وجود داشت.

واژه‌های کلیدی: دمای سطح زمین، جزایر حرارتی، ماهواره لندست، سنجش از دور، مشهد

مقدمه

یکم محسوب می‌گردند (سدیکی و همکاران^۳، ۲۰۱۶). در واقع، جزیره حرارتی اشاره به افزایش دمای هوا دارد، اما می‌تواند به گرمای نسبی سطح نیز تلقی گردد (دی لوسنا و همکاران^۴، ۲۰۱۳). در همین راستا پژوهشگران بسیاری، مطالعات خود را معطوف به شاخص‌های محیطی و ارزیابی پایداری شهرها (EIUS) نموده‌اند که در این رابطه کیفیت محیط‌زیست و میزان فشار بر آن، مورد توجه قرار گرفته است (سوساکی و همکاران^۵، ۲۰۰۵).

با استفاده از اطلاعات دور سنجی که کمک باند‌های دمایی مادون قرمز (TR) امکان دسترسی به

آگاهی از توزیع زمانی- مکانی دمای سطح زمین (LST) برای تعیین بیلان انرژی، پژوهش هواشناسی و تبخیر و تعرق ضروری است چراکه اهمیت دما در سطوح محلی و منطقه‌ای و در رابطه با آمایش سرزمین روزه‌روز در حال افزایش است (کولینس و همکاران^۲، ۱۹۹۶). افزایش دما بخصوص برای مناطق شهری قابل توجه‌تر است. یکی از مسائل شهری که در نتیجه رشد بدون برنامه در شهرها پدید آمده، جزیره حرارتی به خصوص در کلان‌شهرها است. جزایر حرارتی شهری (UHIs) محصول آب‌وهوای شهری هستند و یکی از معضلات زیست‌محیطی مهم در قرن بیست و

3. Sidiqi et al.
4. De Lucena et al.
5. Susaki et al.

*نویسنده مسئول: kazemaliabadi_msc@yahoo.com
2. Collins et al.

همکاران ۱ (۲۰۱۰) دگرگونی زمانی- مکانی دمای سطوح شهری و ژانگ و همکاران ۲ (۲۰۱۳) که تغییرات پوشش و کاربری زمین و همچنین تغییرات جمعیت را در ارتباط با جزایر حرارتی شهری شانگهای چین مورد بررسی قرار دادند به این نتیجه رسیدند که رشد شهری به همراه تغییرات الگوی سطوح شهری باعث رشد و ایجاد هسته‌های جدید جزایر شهری در شانگهای شده است.

در ایران نیز پژوهش‌های قابل توجهی جزایر حرارتی شهری را مورد بررسی قرار دادند از جمله می‌توان به پژوهش رحیمی خوب و همکاران (۱۳۸۴) اشاره کرد که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای NOAA در حوزه آبریز دریاچه ارومیه دمای سطح زمین را محاسبه نمودند و نتایج حاصل از آن را مورد ارزیابی منطقه‌ای قرار دادند. بررسی دمای سطح زمین و ارتباط آن با پوشش گیاهی و توسعه شهری در منطقه بیابانی اشکدز یزد پژوهشی است دشت کیان و دهقانی (۱۳۸۶) به آن پرداختند و به این نتیجه رسیدند که اراضی بایر و در رأس آن‌ها شن‌زارها دارای بیشترین دما و اراضی کشاورزی و باغی دارای کمترین دما هستند. صادق‌نیا و همکاران (۱۳۹۱) در تحلیل فضایی- زمانی جزایر حرارتی تهران به این نتیجه رسیدند که جزیره حرارتی تهران به سمت بخش‌هایی گسترش یافته است (غرب و جنوب غرب تهران) که با کاهش شدید پوشش گیاهی و بیشترین گسترش کاربری‌های صنعتی- کارگاهی و انبارداری مواجه شده‌اند. عقیلی نصب و همکاران (۱۳۹۲) به تحلیل جزایر حرارتی شهری با استفاده از سنجش از دور و رابطه آن با توسعه دوستدار محیط پرداختند و به این نتیجه رسیدند که با شناخت و کاربرد شاخص‌های گیاهی در بررسی جزایر حرارتی، می‌توان کاربری‌های تأثیرگذار را در ایجاد این پدیده شناسایی نمود و نتایج را در طراحی و برنامه‌ریزی شهری مورد استفاده قرار داد.

پژوهش پیش رو در پی کنکاش رابطه بین پوشش گیاهی، سطوح شهری و مشخصه‌های جغرافیایی بر دمای سطح زمین شهر مشهد و شکل‌گیری جزایر

دمای سطح زمین وجود دارد (بتیچریا و ددول^۱، ۲۰۰۳؛ کول و همکاران^۲، ۲۰۰۳). چراکه تمامی مواد در درجه حرارت بالاتر از صفر مطلق امواج الکترومغناطیسی ساطع می‌کنند. در مطالعات مربوط به دمای سطح زمین و جزایر حرارتی شهری هم سنجی شاخص تفاضل بهنجار شده پوشش گیاهی (NDVI) و دمای سطح زمین (LST) (ونگ و همکاران^۳، ۲۰۰۴) به همراه سایر پارامترهای بیوفیزیکی سطح به‌عنوان یک اصل پذیرفته‌شده قلمداد می‌گردد؛ چراکه نتایج حاصل از این هم سنجی می‌تواند منجر به کشف علل شکل‌گیری و رشد جزایر حرارتی شهری شود. به‌طور مثال پوشش گیاهی از طریق سایه مستقیم و تبخیر و تعرق، می‌تواند درجه حرارت را کاهش دهد و یک جزیره سرد محلی در منطقه شهری ایجاد می‌کند (چان و گلدمن^۴، ۲۰۱۴). رشد و توسعه جزایر حرارتی شهری باعث استرس حرارتی، تشکیل ازن و ردسپری و در نتیجه مشکلات بهداشتی خواهد شد؛ همچنین دماهای بالاتر منجر به افزایش تقاضای برق برای تهویه مطبوع می‌شود که باعث افزایش آلودگی نیروگاه‌ها و انتشار گازهای گلخانه‌ای خواهد شد؛ لذا مطالعه جزایر حرارتی شهری می‌تواند راهگشای مسائل بسیاری باشد.

پژوهش‌های بسیاری جزایر حرارتی شهری را مورد ارزیابی قرار داده‌اند که برخی از آن‌ها اشاره خواهد شد. ونگ و همکاران (۲۰۰۴) در مطالعه جزایر حرارتی شهر در شهر ایندیاناپولیس، ایالات متحده آمریکا که با استفاده از تصاویر (ETM+) انجام شده است مشخص گردید که LST دارای همبستگی منفی با NDVI است. سوپیرنو و همکاران^۵ (۲۰۰۴) در ارزیابی دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست 5 TM بر روی یک منطقه کشاورزی در اسپانیا به نتیجه‌ای مشابه با نتیجه ونگ و همکاران در ایالات متحده آمریکا دست یافتند. دای و

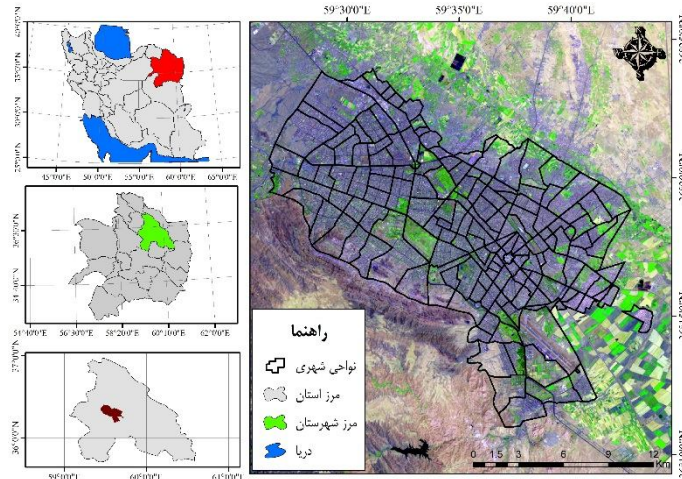
1. Bhattacharya and Dadhwal
2. Coll et al.
3. Weng et al.
4. Dai et al.
5. Sobrino et al.

مشهد مقدس در شمال شرق ایران و در استان پهناور خراسان رضوی واقع شده است. بر اساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ این شهر با ۳۰۰۱۱۸۴ تن جمعیت، دومین شهر پرجمعیت ایران پس از تهران است (شکل ۱).

حرارتی شهری است تا بتوان از نتایج حاصل از آن در برنامه‌ریزی‌های شهری و محیطی استفاده کرد.

روش تحقیق

محدوده و قلمرو پژوهش: محدوده مطالعاتی شهر



شکل ۱: محدوده مورد مطالعه.

مورد استفاده در این پژوهش نبوده است. لذا علاقه‌مندان می‌توانند به منابع اشاره‌شده مراجعه نمایند).

الف) تبدیل ارزش‌های رقومی تصویر به رادیانس طیفی (چندر و گورنولد^۳، ۲۰۰۹).

ب) تبدیل رادیانس طیفی به دمایی روشنایی.

ج) تبدیل دمایی روشنایی به دمایی جنبشی (بارسی و همکاران^۴، ۲۰۰۳؛ چندر و مارخان^۵، ۲۰۰۳؛ چندر و همکاران^۶، ۲۰۰۹).

در گام دوم با تبدیل رادیانس طیفی به دمایی روشنایی، با فرض اینکه زمین جسم سیاه در نظر گرفته شود با رابطه پلانک قابل انجام خواهد بود: (چندر و همکاران، ۲۰۰۹).

در گام سوم دمایی روشنایی محاسبه‌شده برحسب جسم سیاه خواهد بود. نسبت بین گسیل مندی از یک جسم به گسیل مندی جسم سیاه، در دمایی ثابت

در این پژوهش به‌منظور ارزیابی دمایی سطح زمین (LST)، پوشش گیاهی و شاخص شهری از تصویر جولای ۲۰۱۲ میلادی (۲۰۱۲/۰۷/۱۶ میلادی مصادف با ۱۳۹۱/۰۴/۲۶ هجری خورشیدی) سنجنده ETM^+ ماهواره لندست ۷ استفاده شده است. بازنمونه‌گیری^۱ با فناوری تلفیق مکعبی^۲ و خطای کمتر از ۲۵ درصد پیکسل یا ۷/۵ متر انجام گرفت.

در تصحیح‌های هواسپهری بر روی تصویر اصلی، معمولاً فضای هواسپهری به شکل یکنواخت در نظر گرفته می‌شود (سونی و همکاران، ۲۰۰۴). بنابراین تصحیح هواسپهری، کارایی چندانی بر روی پردازش این مطالعه نخواهد داشت، با پیاده‌سازی تکنیک FLAASH بر روی تصویر پایه، خطای هواسپهری تا مقدار قابل توجهی کاهش یافته است. پردازش‌هایی که به‌منظور دستیابی به نتایج و اهداف این پژوهش دنبال گردید به شرح زیر می‌باشد (به توجه به محدودیت‌های نگارشی امکان ارائه یک‌به‌یک رابطه‌های

3. Chander and Groeneveld
4. Barsi et al.
5. Chander and Markhan
6. Chander et al.

1. Resampling
2. Cubic Convolution

مناطق فاقد پوشش گیاهی و با پوشش گیاهی کم در پیرامون شهر، فرودگاه شهید هاشمی نژاد و فضاهای باز خارج از شهر قرار گرفته‌اند مقایسه این مناطق با شاخص‌های مناطق ساخته شهری و تفاضل بهنجار شده پوشش گیاهی نشان داده است این مناطق پوشش گیاهی کمتر و مناطق ساخته‌شده بیشتری دارا می‌باشند. فرودگاه شهید هاشمی نژاد در منطقه هفت شهری مشهد کانون اصلی جزایر حرارتی شهری می‌باشد. بافت فرسوده و متراکم شهری در مرکز شهر بخصوص حوالی حرم مطهر نیز از کانون‌های اساسی جزایر حرارتی شهری هستند که می‌توان به محله وکیل‌آباد در منطقه دوازده شهری مشهد، محله خاتم‌الانبیاء در منطقه ده شهری مشهد و محله رباط در منطقه هفت شهری مشهد اشاره کرد.

در شکل ۴ که شاخص تفاضل بهنجار شده پوشش گیاهی (NDVI) شهر مشهد مقدس را نمایش می‌دهد مقدار عددی صفر بیانگر مناطقی بدون پوشش گیاهی و مناطقی با مقادیر عددی ۲۵۵ آن دسته از مناطق شهری با پوشش گیاهی متراکم را نمایش می‌دهد که غالباً پارک‌ها و فضای سبز شهری را شامل می‌گردد. شکل ۵ که نمایانگر سطوح شهری می‌باشد مقدار عددی صفر که غالباً فضای سبز و پارک‌ها و مناطق بایر را شامل می‌گردد و مناطقی با مقدار عددی ۲۱۲ مناطق متراکم ساخته‌شده شهری را نمایان می‌کند. با مقایسه شکل‌های ۴ و ۵ می‌توان به‌دقت مناطق استخراج شده پی برد.

دمای سطح زمین (LST) محاسبه‌شده در شکل (۶) و شاخص تفاضل شده بهنجار شده پوشش گیاهی (NDVI) منطقه مورد مطالعه در شکل (۷) ترسیم‌شده است. این شاخص همان‌طور که از نام آن پیداست دارای مقادیر نرمال می‌باشد، یعنی دارای قدر مطلق مساوی یا کمتر از یک می‌باشد. مقدار آن بین +۱ و -۱ است، از این‌رو تفسیر بصری تصاویر نمایانگر این شاخص با یک کشش^۳ در مقادیر آن به سهولت امکان‌پذیر است. از آنجاکه شاخص‌های گیاهی بر اساس خواص طیفی گیاهان طراحی شده‌اند، در نتیجه مقادیر

گسیل مندی یا تابندگی می‌نامند که مقدار گسیل مندی برای تبدیل دمای روشنایی به دمای جنبشی سطح ضروری است. لذا لازم است که مقدار گسیل مندی دمای سطح زمین تصحیح گردد (آرتیس و کارنهن^۱، ۱۹۸۲؛ سوپرنو و همکاران، ۱۹۹۰).

برای ارزیابی وضعیت پوشش گیاهی، یکسری شاخص‌ها ارائه گردیده است که متداول‌ترین و دقیق‌ترین آن‌ها می‌شخص NDVI است که در این پژوهش از شاخص NDVI استفاده شده است (آتزبرگر^۲، ۲۰۱۳). با توجه به ساختار پیچیده شهری و رابطه آن با دمای سطح زمین، نحوه استخراج عوارض شهری و بررسی رابطه آن با LST حائز اهمیت خواهد بود. جهت استخراج عوارض شهری از رابطه (۱) استفاده شده است (لی و همکاران، ۲۰۱۱).

$$\bar{R}_b = \sum_{i=1}^m \bar{f}_i \bar{R}_{i,b} + e_b \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه \bar{R}_b انعکاس نرمال شده برای باند b در یک یاخته است؛ R_b انعکاس اصلی برای باند b ؛ و N تعداد کل باندها است.

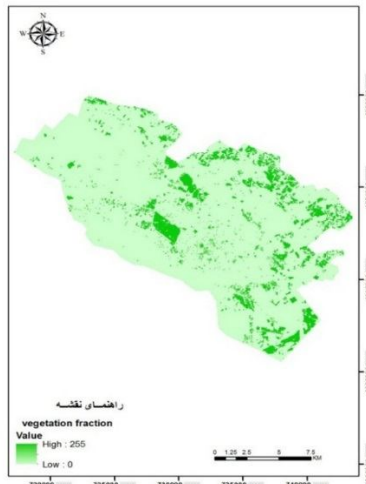
بحث اصلی

پوشش گیاهی استخراج شده را در شکل ۲ و پدیده‌های شهری و ناهمواری‌های حاشیه شهر را در شکل ۳ مشاهده می‌نمایید. با بررسی ۱۰۰ یاخته از سطح تصویر IKONOS منطقه مورد مطالعه با پوشش گیاهی استخراج شده، میزان RMSE، ۱۰/۱ محاسبه گردید. از عوامل مهم در ایجاد خطا، وجود تنوع در پوشش گیاهی و تفاوت‌های تاج پوشش درختان می‌باشد که بازتاب‌های متفاوتی را ایجاد خواهد نمود و در نهایت میزان دقت را کاهش خواهد داد در استخراج سایر پدیده‌های شهری و توپوگرافی حاشیه شهر که هر دو نقش بسزایی بر روی جزایر حرارتی دارند نیز میزان RMSE محاسبه‌شده با ۱۰۰ نقطه کنترل زمینی، ۱۲/۰۲ محاسبه گردید.

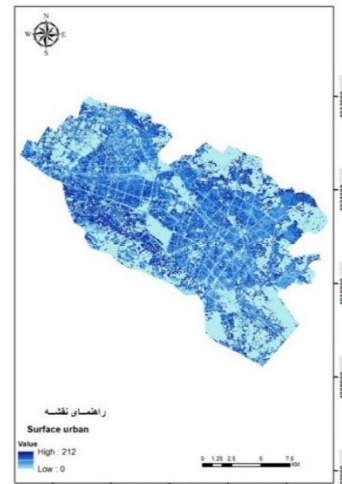
1. Artis and Carnahan
2. Atzberger

عوارض در طیف‌های مختلف نوری طراحی شده است؛ لذا پژوهش حاضر با توجه به اصلاحات انجام شده در مرحله پیش پردازش داده‌ها پوشش‌های گیاهی ضعیف، بیمار و همچنین پوشش‌هایی که تأثیر قابل توجهی در جزایر حرارتی نداشتند حذف گردیدند.

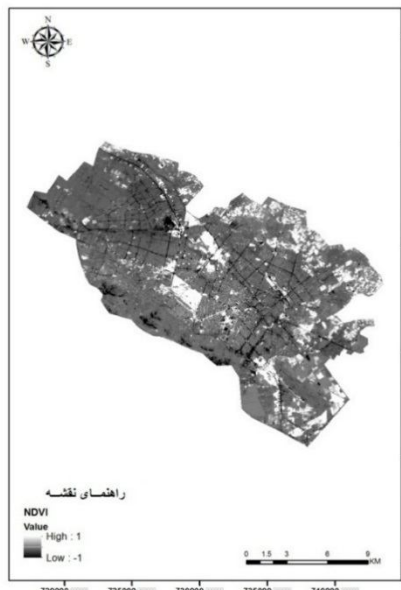
به دست آمده از آن‌ها منعکس کننده انبوهی پوشش گیاهی در محدوده آن پیکسل‌های مورد نظر است (فرج‌زاده و کریمی، ۱۳۹۲: ۷۵). تعریف مفهومی شاخص NDVI دربرگیرنده رفتار عوارض گوناگون مثل گیاهان زنده، مرده و خاک است و بر اساس رفتار این



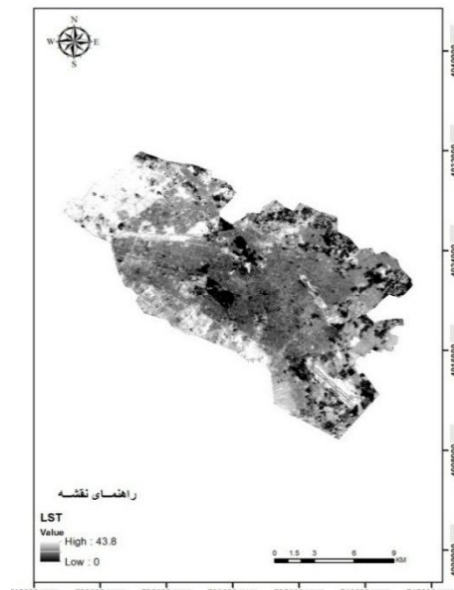
شکل ۳: سطوح شهری شهر مشهد



شکل ۲: کسر پوشش گیاهی شهر مشهد



شکل ۵: میزان NDVI محاسبه شده شهر مشهد



شکل ۴: میزان LST محاسبه شده شهر مشهد

NDVI از +۱ تا -۱ متغیر می‌باشد. اکثر مناطقی که میزان NDVI آن‌ها +۱ یا نزدیک به +۱ می‌باشد، مربوط به فضای سبز شهری متراکم و سالم است که تأثیر بسزایی در میزان LST دارد. با کاهش میزان

رابطه میان دمای سطح زمین (LST) (شکل ۴) و شاخص تفاضل بهنجار شده پوشش گیاهی (NDVI) (شکل ۵) مشاهده می‌نماید. وضعیت پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه به گونه‌ای است که میزان

محلی در این مناطق می‌باشد. تمام پدیده‌های جغرافیایی دارای مرز فازی یا قطعی می‌باشند، دمای هوا نیز از این قاعده مستثنا نیست و دارای مرز فازی می‌باشد. از خصوصیت مهم مرزهای فازی عدم تعیین دقیق مرز آن‌ها می‌باشد که این مطالعه از این قاعده مستثنا نمی‌باشد.

در بازه صفر تا ۰/۵ از NDVI، میزان دما از دمای حدود ۲۸ تا ۴۰ درجه متغیر است که بیشتر عوارضی که در دمای ۲۸ تا ۳۶ درجه قرار دارند، عبارت‌اند از حاشیه فضای سبز شهری و حاشیه زمین‌های کشاورزی که داری کشت سالم می‌باشند، همچنین سکونتگاه‌های ویلایی دارای پوشش گیاهی سالم و متراکم نیز در این بازه قرار دارند. بازه بین ۰/۵ تا ۱ از NDVI، دما از ۲۷ درجه تا ۳۷ درجه با تکیه بر یک رابطه غیرخطی نزولی، به صورت کاهش متغیر است. عوارض دربرگیرنده این بازه دمایی، از فضای سبز متراکم و بزرگ داخل و حاشیه شهر تا کناره‌های این عوارض متغیر می‌باشد.

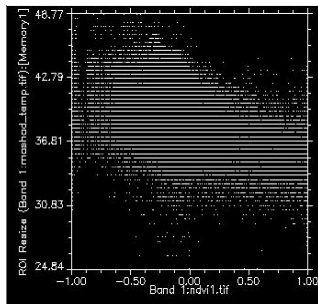
در شکل ۶ رابطه دمای سطح زمین با کسر پوشش گیاهی قابل مشاهده می‌باشد. تغییرات دمایی از حدود ۲۸ تا ۴۳ درجه متغیر است که با بررسی وضعیت دمای سطح زمین با کسر پوشش گیاهی رابطه این دو باهم، اکثر دماهای پایین (از حدود ۲۸ تا ۳۵ درجه) منطبق بر فضاهای سبز متراکم و سالم داخل و حاشیه شهری می‌باشد. در رابطه دمای سطح زمین با شاخص تفاضل بهنجار شده پوشش گیاهی که اکثر دماهای پایین منطبق بر این مکان‌ها بوده اما یک تفاوت اساسی بین رابطه دمای سطح زمین با شاخص تفاضل بهنجار شده پوشش گیاهی با رابطه دمای سطح زمین با شاخص کسر پوشش گیاهی وجود دارد، یاخته‌های با دمای پایین که در رابطه دمای سطح زمین با شاخص کسر پوشش گیاهی قابل رؤیت هستند ولی در رابطه دمای سطح زمین با شاخص تفاضل بهنجار شده پوشش گیاهی قابل مشاهده نیستند که این نکته اشاره به توانمندی نرم‌افزار MATLAB در پردازش تصویر نسبت به سایر نرم‌افزارهای پردازش تصویر در حد یاخته دارد. در بررسی رابطه دمای سطح

NDVI به سمت صفر، پوشش گیاهی ضعیف‌تر خواهد شد. با توجه به رابطه نشان داده شده از LST و NDVI در شکل ۸، این رابطه از یک تابع نرمال که دارای چولگی شدید است پیروی می‌نماید. به‌طور محسوس واضح است که این رابطه غیرخطی بین NDVI و LST با افزایش NDVI، کاهش شدید دما یا LST را در پی خواهد داشت، از این شکل کاملاً واضح است که بیشینه دما مربوط به مناطقی است که پوشش گیاهی ضعیف یا میزان NDVI، صفر یا در همسایگی صفر می‌باشد.

اگر محور NDVI از شکل ۴ به چهار بازه ۱- تا ۰/۵، ۰/۵- تا ۰، ۰ تا ۰/۵ و ۰/۵ تا ۱ تقسیم‌بندی نمایم در هر بازه، از لحاظ دمایی مناطق خاصی قرار دارند. در بازه ۰/۵- تا ۱- وضعیت دمایی از ۳۵ درجه تا ۴۳ درجه متغیر می‌باشد که این بازه بیشتر دربرگیرنده معابر درون شهری منطقه مورد مطالعه می‌باشد. این معابر شامل بزرگراه و یا آزادراه نیست.

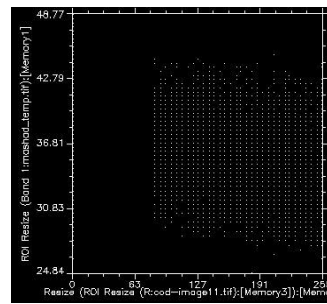
در بازه ۰ تا ۰/۵- از محور NDVI، میانگین دما از بازه ۲۸ تا ۴۷ متغیر می‌باشد. با بررسی وضعیت دمایی و تقسیم بازه دمایی ۲۸ تا ۴۷ به سه بازه پایین، متوسط و بالا اکثر دماهای پائین (حدوداً از ۲۸ تا ۳۵ درجه) در این بازه از NDVI، در برگیرنده مناطق مسکونی داخل منطقه مورد مطالعه به دور از نواحی پرتراфик، خصوصاً نواحی که به فضاهای سبز بزرگ داخل منطقه مورد مطالعه نزدیک می‌باشند. از دلایل مهم این اتفاق، جابجایی دمایی هوای سرد بیرون با هوای گرم داخل منطقه مطالعاتی می‌باشد. برخی از زمین‌های حاشیه زمین‌های کشاورزی نیز جزو این محدوده دمایی می‌باشند که علت آن دمای سرد زمین‌های کشاورزی می‌باشد. در بازه دمای متوسط (حدوداً از ۳۵ تا ۴۰) از این محدوده از NDVI، نواحی نزدیک به محدوده پرتراфик و بافاصله از نواحی سبز شهری قرار دارند. در بازه دمای بالا (حدوداً از ۴۰ به بالا)، نواحی پایکوهی منطقه، برخی نواحی صنعتی و زمین‌های بایر شمال شرق منطقه در این محدوده قرار دارند که از دلایل مهم بالا بودن دما در این مناطق، تولید دمای زیاد در نواحی صنعتی و جریان‌ات هوایی

حرارتی ایجاد گردیده‌اند که در رابطه دمای سطح زمین با شاخص تفاضل بهنجار شده پوشش گیاهی قابل مشاهده نبودند. این یاخته‌ها نزدیک به یاخته‌های پوشش گیاهی هستند که اکثراً از لحاظ تراکم ضعیف می‌باشند.



شکل ۷- رابطه LST با کسر پوشش گیاهی

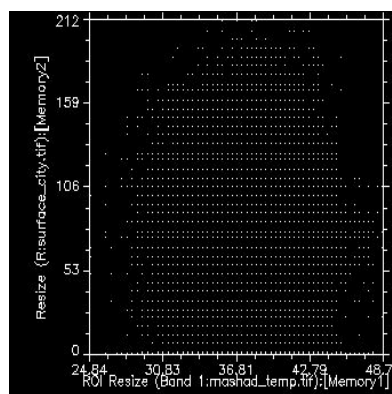
زمین با شاخص کسر پوشش گیاهی اکثر مناطق با دمای بالا (از حدود ۳۶ تا ۴۳ درجه) یا جزایر حرارتی منطبق بر فضاهای باز حاشیه و داخل شهری می‌باشد که عمده دلیل ایجاد این جزایر، جابجایی جریان‌ات هوایی از مناطق سرد به مناطق گرم است. در این بررسی نیز یاخته‌هایی به شکل پراکنده به شکل جزایر



شکل ۶- رابطه NDVI با LST

قسمت دارد. از دیگر مناطق شهری که میزان دما در آن‌ها پایین می‌باشد، مناطق نزدیک به باغ‌ها و فضای سبز شهری در داخل شهر مشهد می‌باشد. علاوه بر این، این مناطق به لحاظ دور بودن از مناطق صنعتی و معابر پرترافیک شهری در موقعیت مناسبی قرار دارند، حتی پارامترهای آب و هوایی به‌ویژه بادهای سرد جنوب غرب منطقه مورد مطالعه، سبب کاهش دما را در این مناطق سبب گردیده است.

رابطه دمای سطح زمین (LST) با سطوح شهری (Surface Urban) در شکل ۸، قابل رؤیت می‌باشد. با تفکیک محور دمایی به سه بخش دمای پایین، متوسط و بالا، دمای پایین در سطوح شهری بیشتر مربوط به مناطق نزدیک به نواحی کوهپایه (جنوب غرب منطقه مورد مطالعه) می‌باشد که پارامترهای آب و هوایی نظیر باد یا جابجایی هوای گرم این مناطق با هوای سرد کوهپایه، تأثیر بسزایی در کاهش میزان دما در این



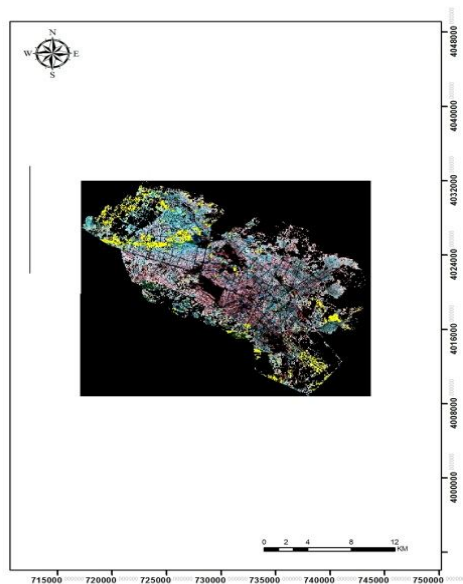
شکل ۸- رابطه LST با سطوح شهری استخراج شده

جنوبی شهر مشهد واقع شده‌اند و مناطق با دمای بالا شهری در مناطق شمالی، شمال غرب و غرب شهر واقع شده‌اند. بعد از عواملی از قبیل پوشش گیاهی،

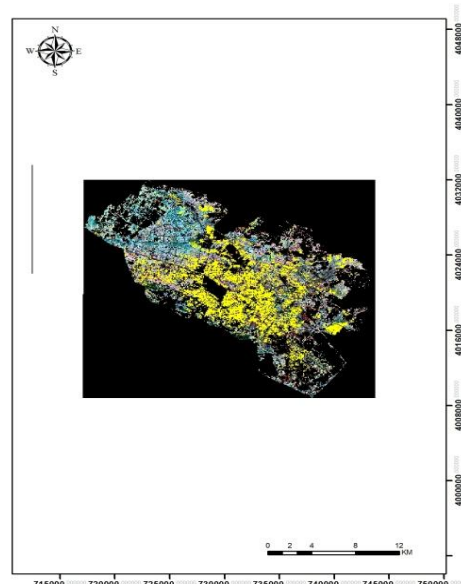
همان‌طور که از شکل (۴) بر می‌آید آن دسته از مناطق شهری که دارای دمای سطح زمین پایینی می‌باشند اغلب در نواحی شرقی، جنوبی شرقی و

کرانه‌های غربی شهر مشهد مناطق کوهستانی می‌باشد و شهر در سمت شرق، در دشت مشهد قرار دارد. این شرایط، بادهای کوه به دشت را ایجاد کرده این بادهای در منشأ خود از کوهستان، معمولاً دمای پایانی دارند ولی در مسیر عبوری خود با گذر از مناطق مختلف به تدریج شرایط دمایی آن‌ها افزایش یافته و برخی از نقاط شهری از قبیل مناطق صنعتی که خود دمای بالایی دارند و دمای باد نیز که تاکنون تا حدی افزایش یافته موجب ایجاد یکسری جزایر حرارتی در سطح شهر مشهد می‌شوند.

سطوح شهری و جنس مصالح بکار رفته در سطح شهر مهم‌ترین عاملی که در تعدیل دمای شهر نقش دارد عامل باد می‌باشد. باد پدیده‌ای است پویا، پویایی که از حرکت و جابجایی هوا حاصل می‌شود و معلول فرایندهایی است که به تبع تابش خورشید پدید می‌آید. با بررسی‌های انجام‌شده بر روی سمت و سرعت بادهای غالب مشهد مشخص شده است که باد غالب مشهد شرقی است. پس از آن باد جنوب شرقی و جنوبی بیشترین فراوانی را دارا می‌باشند. یکی از مهم‌ترین دلایل دمای کم‌تر مناطق شرق، جنوب شرق و جنوب شهر مشهد اثر تعدیل‌کننده باد می‌باشد



شکل ۱۰: سطوح شهری با دمای پایین



شکل ۹: سطوح شهری با دمای بالا

رو در شهر مشهد مقدس، نشان داد که مؤلفه‌های جغرافیایی ارتفاع از سطح دریا، باد، جهت شیب و پوشش گیاهی تأثیر بسزایی در رشد و شکل‌گیری جزایر حرارتی شهری دارند. از آنجایی که شیب‌های جنوبی و رو به آفتاب در تمامی گستره‌ها دمای بالاتری دارند و در شیب‌های شمالی و پشت به آفتاب عکس این حالت اتفاق می‌افتد، تأثیر جهت شیب را می‌توان در شکل‌گیری جزایر حرارتی شهری مشهد توجیه کرد. رابطه دمای سطح زمین (LST) با شاخص تفاضل شده بهنجار پوشش گیاهی (NDVI)، شاخص کسر پوشش گیاهی و نهایتاً سطوح شهری بیان‌کننده یک رابطه نزدیک این سه پارامتر با دمای سطح زمین

مناطق زرد رنگ در شکل ۱۰ نشان‌دهنده سطوح شهری با دمای پایین می‌باشد. سطوح شهری با دمای بالا، اکثراً متوجه به نواحی صنعتی و زمین‌های بایر دارای فضای باز، در شمال غرب منطقه مورد مطالعه، فرودگاه، پمپ‌بنزین و گاز و بزرگراه‌های دارای ترافیک بالا است. نواحی زرد رنگ در شکل ۹ برخی از این مناطق را نشان می‌دهد. سایر سطوح شهری دمایی در حد متوسط دارند.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

برآورد دمای سطح زمین (LST) به صورت پیوسته در مطالعات متعددی مورد نیاز می‌باشد. پژوهش پیش

زمین شهری ارائه کرد. این پژوهش نشان داد که تغییرات جزیره حرارتی مشهد ارتباط نزدیکی با تغییرات کاربری‌های پوشش گیاهی، حمل و نقل و صنعتی - کارگاهی داشته است. در حقیقت، جزیره حرارتی شهر مشهد به سمت بخش‌هایی گسترش یافته است که با کاهش شدید پوشش گیاهی و بیشترین گسترش کاربری‌های صنعتی - کارگاهی، پایانه‌های حمل و نقل و انبارداری مواجه شده‌اند.

منابع

۱. دشتکیان، کاظم، محمدعلی دهقانی تفتی. ۱۳۸۶. بررسی دمایی سطح زمین در ارتباط با پوشش گیاهی و توسعه شهری با استفاده از سنجش از دور و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی در مناطق بیابانی، مطالعه موردی: منطقه یزد-اشکدز، پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۷۷، صص ۱۶۹-۱۷۹.
۲. رحیمی خوب، علی، کوچک‌زاده، مهدی، جمال محمدولی سامانی و فرود شریفی. ۱۳۸۴. ارزیابی چند روش برآورد دمایی سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره NOAA در حوزه آبریز دریاچه ارومیه، پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی، شماره ۶۸، صص ۸۳-۹۰.
۳. صادقی نیا، علیرضا، بهلول علیجانی و پرویز ضیائیان فیروزآبادی. ۱۳۹۱. تحلیل فضایی - زمانی جزیره حرارتی کلان شهر تهران با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۴، صص ۱-۱۷.
۴. عقیلی نسب، سیده زهرا، محمد زاده، مرجان، عبدالرسول سلمان ماهینی و حسین زارعی. ۱۳۹۲. تحلیل جزایر حرارتی شهری با استفاده از سنجش از دور و رابطه آن با توسعه دوست دار محیط‌زیست، محیط‌زیست و توسعه، شماره ۸، صص ۷۹-۸۸.
۵. علوی پناه، سید کاظم. ۱۳۸۲. کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (علوم خاک)، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۴۷۸ صفحه.
۶. فرج زاده، منوچهر و نعمت‌اله کریمی. ۱۳۹۲. مبانی هواشناسی ماهواره‌ای، انتشارات سمت، تهران، ۲۲۴ صفحه.
7. Artis, D.A., and Carnahan, W.H. 1982. Survey of emissivity variability in

می‌باشد که در بسیاری از مواقع، برای برآورد دمایی تقریبی زمین می‌توان از سه پارامتر شاخص تفاضل شده بهنجار پوشش گیاهی (NDVI)، شاخص کسر پوشش گیاهی (Vegetation Fraction) و شاخص سطوح شهری (Surface Urban) استخراج شده استفاده نمود. علی‌رغم تراکم و سرسبزی کم پوشش‌های گیاهی شهر مشهد یک رابطه معکوس معنی‌دار بین میزان سرسبزی پوشش گیاهی با دمایی سطح زمین در روزهای گرم وجود دارد. در مناطقی که با گسترش شهر همراه است پوشش گیاهی کاهش یافته ولی در محدوده مناطق بایر و بیابانی مانند اطراف شهر با گسترش شهر پوشش گیاهی افزایش می‌یابد و این امر باعث کاهش دمایی سطح شهر می‌گردد. افزایش آلودگی هوا نیز باعث کاهش دمایی سطح شهر گردیده است؛ دمایی پایین برخی از مناطق مرکزی شهری و پرترافیک با عامل وجود لایه آلوده ارتباط می‌یابد، به طوری که لایه آلوده هوا سپهری، باعث افت عبور هوا سپهری و کاهش تابش خورشید به زمین را به دنبال خواهد داشت؛ بنابراین کاهش تابش خورشیدی سبب گرمای سطح زمین می‌شود و در نتیجه تشعشع سطح زمین کاهش یافته و مقادیر عددی باند حرارتی نیز کاهش می‌یابد. دمایی سطح زمین شهر مشهد در ارتباط با توان تشعشعی اجسام تفاوت فاحشی نداشته است. تنها دو منطقه (نواحی صنعتی و زمین‌های بایر دارای فضای باز) با بقیه مناطق تفاوت دارند و چون سطح تأسیسات شهری بسیار متغیر و شاید هر مترمربع از آن دارای یک توان تشعشعی می‌باشد؛ لذا لحاظ کردن توان تشعشعی مربوط به هر سطح عملاً کاری غیرممکن است و همچنین با توجه به اینکه سطوح مورد نظر اغلب شامل پشت‌بام، اراضی بایر، پوشش گیاهی، آسفالت و مخلوطی از آن‌هاست و از آنجایی که سطوح پشت‌بام‌ها کاه‌گلی (در بافت قدیمی شهر)، آسفالت و ایزوگام است و سطوح کاه‌گلی به اراضی بایر و سطوح آسفالت به بقیه اراضی از نظر توان تشعشعی شباهت دارد لذا نمی‌توان به درستی عوامل را از یکدیگر تفکیک نمود و تنها می‌توان یک تعریف کلی از ساختار دمایی سطح

- analysis of urban surface temperature field in Shanghai, China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 24(2): 247-257.
17. De Lucena, A.J., Rotunno Filho, O.C., de Almeida França, J.R., de Faria Peres, L., and Xavier, L.N.R. 2013. Urban climate and clues of heat island events in the metropolitan area of Rio de Janeiro. *Theoretical and applied climatology*, 111(3-4): 497-511.
 18. Junxiang Li, Conghe Song, Lu Cao, Feige Zhu, Xianlei Meng, Jianguo Wu. 2011. Impacts of landscape structure on surface urban heat islands: A case study of Shanghai, China. *Remote Sensing of Environment* 115 (2011): 3249–3263
 19. Sidiqi, P., Huete, A., and Devadas, R. 2016. Spatio-temporal mapping and monitoring of Urban Heat Island patterns over Sydney, Australia using MODIS and Landsat-8. In *Earth Observation and Remote Sensing Applications (EORSA)*, 2016 4th International Workshop on (pp. 217-221). IEEE.
 20. Sobrino, J.A., Caselles, V., and Becker, F. 1990. Significance of the remotely sensed thermal infrared measurements obtained over a citrus orchard. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 44(6): 343–354.
 21. Sobrino, J.A., Jiménez-Muñoz, J.C., and Paolini, L. 2004. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of environment*, 90(4): 434-440.
 22. Sobrino, J. A., Jiménez-Muñoz, J. C., & Paolini, L. 2004. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of Environment*, 90(4): 434–440.
 23. Susaki, J., Pothitthep, S., Ooka, R., Yasuoka, Y., Endo, T., Kawamoto, Y.I., and Funahashi, M. 2005. Extraction of parameters from remote sensing data for environmental indices for urban sustainability. *Trimble Geospatial*, 1-10.
 24. Weng, Q., Lu, D., and Schubring, J. 2004. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 89: 467-483.
 - thermography of urban areas. *Remote Sensing of Environment*, 12(4): 313–329.
 8. Atzberger, C. 2013. Advances in remote sensing of agriculture: Context description, existing operational monitoring systems and major information needs. *Remote Sensing*, 5(2): 949-981.
 9. Barsi, J.A., Schott, J.R., Palluconi, F.D., Helder, D.L., Hook, S.J., Markham, B.L., et al. 2003. Landsat TM and ETM+ thermal band calibration. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 29(2): 141–153.
 10. Bhattacharya, B.K., and Dadhwal, V.K. 2003. Retrieval and validation of land surface temperature (LST) from NOAA AVHRR thermal images of Gujarat, India. *International Journal of Remote Sensing*, 24(6): 1197-1206.
 11. Chander, G., and Groeneveld, D.P. 2009. Intra-annual NDVI validation of the Landsat 5 TM radiometric calibration. *International Journal of Remote Sensing*, 30(6), 1621–1628.
 12. Chander, G., and Markham, B. 2003. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and post calibration dynamic ranges. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(11): 2674–2677.
 13. Chun, B., and Guldmann, J.M. 2014. Spatial statistical analysis and simulation of the urban heat island in high-density central cities. *Landscape and urban planning*, 125, 76-88.
 14. Coll, C., Caselles, V., Valor, E., and Rubio, E. 2003. Validation of temperature-emissivity separation and split-window methods from TIM's data and ground measurements. *Remote Sensing of Environment*, 85(2): 232-242.
 15. Collins D.C., and Bolstad, P.V. 1996. A Comparison of spatial interpolation techniques in temperature estimation, proceeding of the third international conference on integrating GIS and environmental modeling, Santa Fe, New Mexico, California: National center for Geographic information.
 16. Dai, X., Guo, Z., Zhang, L., and Li, D. 2010. Spatio-temporal exploratory

spatiotemporal patterns of urban heat islands in metropolitan Shanghai, China. *Applied Geography*, 44: 121-133.

25. Zhang, H., Qi, Z.F., Ye, X.Y., Cai, Y.B., Ma, W.C., and Chen, M.N. 2013. Analysis of land use/land cover change, population shift, and their effects on

