

واکاوی تغییرات فضایی- زمانی جزایر گرمایی شهری و کاربری اراضی با رویکرد زیست‌محیطی در شیراز

دکتر امیرحسین حلبیان^۱

زهراسلطانی^۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۲۳

چکیده

امروزه، افزایش دمای سطح زمین و استقرار جزایر گرمایی در کلان‌شهرها منجر به یکی از معضلات زیست‌محیطی شهری شده است. از این رو، هدف از پژوهش حاضر، واکاوی تغییرات مکانی- زمانی جزایر گرمایی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و شناسایی پهنه‌های بحرانی زیست‌محیطی جزایر حرارتی شهری در شیراز است. بدین منظور، ابتدا ۸ تصویر دوره‌ی گرم سال در بازه‌ی زمانی ۱۹۸۶-۲۰۱۵ از ماهواره‌ی لندست شامل سنجنده‌های (TM) لندست ۵، (ETM+) لندست ۷، (OLI/TIRS) لندست ۸ استخراج و پس از پیش‌پردازش‌های لازم، دمای سطح زمین (LST)، شاخص تفاضل بهنجار شده‌ی پوشش گیاهی (NDVI)، الگوهای کاربری اراضی برای پایش تغییرات کاربری اراضی شهری شیراز محاسبه شد. در ادامه، مناطق حساس شهری با استفاده از شاخص قیاسی وضع بحرانی زیست‌محیطی (ECI) شناسایی و تحلیل شد. نتایج نشان داد که اراضی بایر پیرامون شهر به‌صورت پیوسته و متراکم دارای بالاترین دما هستند و محدوده‌های دمایی بسیار گرم را تشکیل می‌دهند. این مراکز حرارتی در مناطق مسکونی شهری با محدوده‌های بافت فرسوده و متراکم شهری اطلاق دارد. در عین حال، واکاوی نقشه‌های دمای سطح زمین در شهر شیراز حکایت از هماهنگی بین پایین‌ترین طبقه‌ی دمایی با کاربری پوشش گیاهی دارد. نقشه‌های کاربری اراضی نیز نشان از کاهش مساحت اراضی بایر و پوشش گیاهی و افزایش کاربری شهری دارد. بدین ترتیب، حدود ۱۰/۰۱ کیلومتر مربع از اراضی بایر و ۱۹۷ کیلومتر مربع از پوشش گیاهی به کاربری شهری تبدیل شده است. این موضوع نشان می‌دهد که مهم‌ترین عامل در گسترش جزایر گرمایی کاهش پوشش گیاهی (به میزان ۳۶٪) بوده است. بیشترین حساسیت محیطی (پهنه‌ی بحرانی با مساحت ۲۹۷ کیلومتر مربع، ۱۴/۲ درصد از سطح منطقه مورد پژوهش) نیز غالباً در پیرامون شهر به‌سبب وجود اراضی بایر و در درون شهر نیز به‌صورت خرد در اطراف مراکز صنعتی، اطراف فرودگاه بین‌المللی، ترمینال مسافری (کاراندیش)، اطراف ایستگاه‌های مترو، بزرگراه‌ها و خیابان‌های پرتراфик و مکان‌های دارای بافت فرسوده مشاهده می‌شود. از این رو، گسترش بام سبز و استفاده از پوشش گیاهی سازگار با اقلیم بومی به‌عنوان راه‌حلی برای تعدیل جزیره‌ی گرمایی شهری و مقابله با وضع بحرانی زیست‌محیطی پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: جزیره‌ی حرارتی شهری، دمای سطح زمین (LST)، شاخص تفاضل بهنجار شده‌ی پوشش گیاهی (NDVI)، کاربری اراضی، حساسیت محیطی، شیراز.

halabian_a@yahoo.com

^۱ دانشیار، گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، تهران

نویسنده مسئول دارای آدرس آکادمیک نبوده و بناچار از آدرس ایمیل یاهو استفاده کرده است.

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد آب و هواشناسی، دانشگاه پیام نور، تهران

۱- مقدمه

جهان امروزه جریان بی‌سابقه‌ای از شهری شدن را تجربه می‌کند. رشد جمعیت و توسعه شهرنشینی یکی از عوامل مؤثر بر افزایش دمای هوا در نواحی شهری است که موجب ایجاد جزیره حرارتی بر روی این مناطق در مقایسه با محیط اطراف می‌شود و اثرات ناشی از آن می‌تواند نقشی اساسی و مهم در کیفیت هوا و به تبع آن سلامت عمومی ایفا نماید (علی‌طالشی و همکاران، ۱۳۹۳). در واقع، یکی از آثار ناخواسته و منفی توسعه شهری، افزایش دمای محیط زیست شهری است. شهرها نسبت به پیرامون خود دمای بیشتری دارند و این پدیده به‌عنوان جزیره حرارتی شهری (UHI)^۱ شناخته می‌شود. فرایندهای متعددی در بین اجزای ساختاری شهر حضور دارند که در عملکرد حرارتی شهر و تشکیل جزایر حرارتی مؤثرند که مهم‌ترین آنها عبارت است از (شیائو و همکاران، ۲۰۰۷): ۱) تغییر در ویژگی‌های فیزیکی سطوح (آلبیدو، ظرفیت حرارتی، هدایت حرارتی (به علت جایگزینی پوشش گیاهی با آسفالت و بتون)، کاهش رطوبت سطحی مورد نیاز برای تبخیر و تعرق،^۲ تغییرات در شار تابشی و جریان‌های نزدیک به سطح و^۳ انتشار گرمای انسان‌ساز. جزایر حرارتی شهری بر کیفیت هوای مناطق شهری تأثیر منفی دارد و آثار سوء بر اراضی پیرامونی، خرد اقلیم (میزان بارش، دما و جریان باد)، آلودگی‌ها و مصرف منابع آب می‌گذارد. افزایش دما در نتیجه پدیده جزیره حرارتی، باعث بروز فرایندهای شیمیایی می‌شود که تشکیل مولکول‌های ازن را تشدید می‌کند و تهدید جدی برای سلامت انسان است. ازن سطح زمین نیز ارتباط تنگاتنگی با جزیره حرارتی شهری دارد (U.S. EPA, 2007). علاوه بر این، تأثیر بر کیفیت آب شهری، ناهنجاری‌های دمایی و امواج گرم از آثار ناگوار پدیده جزایر حرارتی شهری محسوب می‌شود (تن و همکاران، ۲۰۱۰). بنابراین، آثار نامطلوب فوق به همراه تولید گازهای آلاینده ضمن فشارهای روانی بر شهروندان، منجر به افزایش هزینه تولید انرژی در سطح شهر می‌شود (دوانتان و دوانتان، ۲۰۱۱). از آن جا که دلیل اصلی پیدایش جزیره حرارتی شهری (UHI) نحوه استفاده از زمین و تغییر کاربری اراضی است، این تحول از طریق اقداماتی نظیر حذف پوشش گیاهی، تغییر کاربری اراضی کنار دریا و رودخانه، ساخت و سازهای جدید و همچنین سازه‌های بتونی در جهت افقی، آسفالت خیابان‌ها و کوچه‌ها، فعالیت‌های صنعتی و خانگی، باعث سرعت بخشیدن به گسترش و توسعه جزیره حرارتی شهری می‌شود (شیائو و کارن، ۲۰۰۶). عاری شدن شهرها از پوشش گیاهی سبب بالا رفتن دما خصوصاً در فصل تابستان در شهرهای بزرگی مانند شیراز خواهد شد. گسترش سازه‌های بتونی به‌صورت عمودی و افقی باعث عدم جابجایی جریان هوا درون شهرها می‌شود که این خود باعث افزایش دمای شهرها است. از عوامل دیگر افزایش جزیره حرارتی شهری افزایش سوخت‌های فسیلی و تولید گازهای تریوسفری مثل دی‌اکسیدکربن و ازن که خود از عوامل افزایش دما است خواهد بود. شدیدترین زمان وقوع جزیره حرارتی شهری در تابستان‌هایی با آسمان صاف و فاقد وزش باد پدید می‌آید. افزایش درجه حرارت و گسترش جزیره گرمایی موجب بالا رفتن خطر بیماری‌های ناشی از این گرما و حتی مرگ و میر می‌شود. بیشتر افرادی که در معرض خطر گرمای بیش از حد قرار می‌گیرند سالخوردگان، کودکان و ساکنان کم در آمد و اقشار ضعیف آن منطقه می‌باشند، که علاوه بر مشکلات بهداشت عمومی منطقه و شهر، تقاضای بیشتر مصرف انرژی

¹ Urban Heat Island

² Xiao et al

³ Tan et al

⁴ Devanathan & Devanathan

⁵ Xiao and Crane

و تحمیل هزینه‌های ناشی از افزایش این مصرف و همچنین آلودگی هوا نیز بر مشکلات موجود شهرهای دارای گرمای بیش حد افزوده می‌گردد (هاورتر^۱، ۲۰۱۲). تصاویر سنجنش از دور به سبب پوشش گسترده، بهنگام و دقت بالا ابزار سودمندی برای واکاوی ساختار جزایر حرارتی شهری هستند. در واقع، عدم دسترسی به داده‌های مکانی از یک سو و تنوع زیاد کاربری و پوشش اراضی در پهنه‌های شهری از دیگر سو موجب بهره‌گیری از فناوری سنجنش از دور در شناسایی و تحلیل جزایر حرارتی شهری شده است. در این زمینه، شیائو و همکاران^۲ (۲۰۰۵)، رابطه بین تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین با الگوی دمای سطح زمین در دلتای رود مروارید ایالت گوانگ دونگ^۳ در جنوب چین را با استفاده از تصاویر لندست (TM) و (ETM+) بررسی کردند. نتایج نشان داد که شدت جزیره حرارتی شهری در مناطقی که سرعت شهر نشینی بالایی داشته‌اند بسیار بیشتر بوده است. همچنین شدت جزیره حرارتی در مناطق بایر و نیمه بایر و مناطق توسعه یافته بیشتر از دیگر سطوح بود. پنا^۳ (۲۰۰۹) در مطالعه اثرات دمای سطح زمین و ارزیابی جزیره حرارتی شهری بر روی شهر سانتیاگو شیلی در فصل تابستان از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۵ با استفاده از تصاویر ماهواره به این نتیجه رسید که مناطق روستایی جنوب، که دارای پوشش گیاهی و رطوبت خاک بیشتری نسبت به سایر مناطق است، شدت حرارت سطح زمین پایین بوده اما در مناطق شمالی به علت ضعیف بودن پوشش گیاهی و رطوبت خاک اثرات حرارت دمای سطح زمین بالا است. مالولی^۴ (۲۰۱۰) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به بررسی اثرات جزیره گرمایی بر روی شهر تورنتو کانادا پرداخت. با توجه به مقایسه نقشه‌های (LST) با نقشه‌های پوشش گیاهی مشخص شد که رابطه مستقیمی بین توسعه شهری و افزایش چشم‌گیر دمای سطح زمین در شرایط وقوع گرمایی وجود دارد. مقایسه نتایج دمای سطح زمین در سراسر منطقه مورد مطالعه، تغییرات روزانه دمای سطح مکان‌های دارای پوشش گیاهی، آسفالت و سطوح سنگی را نشان داد. لئو و ژانگ^۵ (۲۰۱۱) در پژوهشی با عنوان تجزیه و تحلیل جزیره حرارتی شهری با استفاده از تصاویر ماهواره لندست TM بر روی هنگ‌کنگ به این نتیجه رسیدند که بیشتر تجمع جزیره حرارتی در شمال هنگ‌کنگ نزدیک فرودگاه بین‌المللی تشکیل شده است. همچنین در بررسی و مقایسه نتیجه شاخص (LST) با شاخص توسعه مناطق مسکونی و شاخص پوشش گیاهی متوجه شدند که پوشش گیاهی سبب تضعیف اثرات جزیره حرارتی و توسعه مناطق مسکونی سبب گسترش جزیره گرمایی می‌شود. آکواتج و داوانسا^۶ (۲۰۱۲) در پی مطالعه نقش انرژی در توسعه جزیره حرارتی شهر کلمبو مشخص کردند که یک رابطه احتمالی بین جزیره حرارتی و تقاضای انرژی مورد استفاده انسان وجود دارد، به نحوی که تغییرات قابل مشاهده در توزیع فضایی جزیره حرارتی دیده می‌شود و جزیره حرارتی که قبلاً تنها به شمال غرب محدود می‌شد، اکنون به قسمت جنوبی شهر کلمبو گسترش یافته است. سینانیک و همکاران^۷ (۲۰۱۳) ضمن تحلیل جزایر حرارتی شهری در شهر کلمبو سری‌لانکا به کمک سنجنش دمای سطح زمین و شاخص قیاسی بین LST و NDVI دریافتند که مناطق ساحلی و بندر کلمبو حساس‌ترین پهنه‌های جزایر حرارتی شهری هستند. در عین حال، یافته‌های این پژوهش‌گران در دو پژوهش دیگر که در سال ۲۰۱۳ به‌منظور تحلیل

¹ Haverter

² Xiao et al

³ Pena

⁴ Maloley

⁵ Liu & Zhang

⁶ Ukwattage & Dayawansa

⁷ Senanayake et al

فضاهای سبز شهری برای برنامه‌ریزی توسعه در کلمبو صورت گرفت، نشان داد که این بندر کمترین پوشش گیاهی را دارد. اومر و کومر^۱ (۲۰۱۴) با بررسی تغییرات زمانی و مکانی جزایر حرارتی شهری در شهر کاتو نیجریه به این نتیجه رسیدند که شدت جزایر حرارتی شهری با پوشش گیاهی رابطه منفی دارد. بر اساس این پژوهش، بزرگ‌ترین جزایر گرمایی شهری در محدوده فرودگاه بین‌المللی این شهر رخنمون دارد. پژوهش‌های گائو و همکاران^۲ (۲۰۱۵) نیز در گرمایی شهری نشان داد که فقر پوشش گیاهی و تراکم ساختمان‌های شهری بیشترین نقش را در خوشه‌های شدن جزایر گرمایی شهری داشته است. در ایران امیری و همکاران (۱۳۸۶) طی مطالعه تغییر پذیری فضایی-زمانی حرارت شهر تبریز در ارتباط با کاربری پوشش زمین با استفاده از داده‌های حرارتی و انعکاسی (TM) و (ETM+) لندست، نشان دادند که می‌توان تغییرات زمانی و مکانی جزیره حرارتی شهری را پایش نمود. رضانی و دخت محمد (۱۳۸۹) در مقاله شناخت محدوده مکانی جزیره حرارتی شهر رشت، با استفاده از سنجش از دور نشان دادند که رشد دمایی از حداقل به حداکثر در سطح شهر به کندی انجام می‌گیرد ولی در حومه با شدت بیشتری افزایش یافته و فاصله حداقل و حداکثر در حومه بیشتر از شهر است. نتایج تحقیقی که توسط احمدی و عاشورلو (۱۳۹۱) برای پایش تغییرات کاربری شهر شیراز انجام گرفت نشان داد که بیشترین مناطق دارای جزیره حرارتی، بافت فرسوده شهر و اراضی با کاربری بدون پوشش گیاهی و خاک‌های بایر است که در پیدایش این وضعیت کارخانه‌های صنعتی در داخل و حومه شهر نقش داشته‌اند. موسوی بایگی و همکاران (۱۳۹۱) در بررسی جزیره حرارتی شهر مشهد با استفاده از تصویر ماهواره‌ای دریافتند با توجه به نقشه کاربری اراضی زمین، مناطق مسکونی در سال ۲۰۰۰ نسبت به سال ۱۹۹۲ توسعه یافته و بسیاری از پوشش‌های گیاهی از بین رفته است. نتایج نشان داد دمای تابشی سطح مشهد در طی دهه ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۲ افزایش داشته است و این افزایش در مناطق مسکونی چشم‌گیرتر است. صادق‌نیا و همکاران (۱۳۹۲) ضمن مطالعه علل گسترش جزیره حرارتی شهر تهران نشان دادند که جزیره حرارتی تهران به سمت بخش‌هایی گسترش یافته است (غرب و جنوب غرب تهران) که با کاهش شدید پوشش گیاهی روبه‌رو بوده است، بیشترین گسترش جزیره حرارتی نیز در مکان‌هایی که دارای کاربری‌های صنعتی-کارگاهی و انبارداری بوده است مشاهده می‌شود. ساسان‌پور و همکاران (۱۳۹۲) با به‌کارگیری شاخص‌های گیاهی جهت بررسی رابطه کاربری و پوشش اراضی و جزیره حرارتی شهر تهران دریافتند بین تشکیل این جزیره با پوشش گیاهی رابطه معکوس و مناطق بایر رابطه گسترده وجود دارد. پژوهش متکان و همکاران (۱۳۹۳) بر روی شهر بندرعباس نشان داد مناطق صنعتی، زمین‌های بایر دارای حرارت زیاد و مناطق ساحلی به‌دلیل مجاورت با آب و مناطق دارای پوشش گیاهی و فضای سبز به‌دلیل تبخیر و تعرق از سطح برگ درختان و ایجاد سایه، دارای دمای کمتری نسبت به سایر کاربری‌ها است. نتایج مطالعه اثرات گسترش فضای سبز بر طبقه جزیره حرارتی شهری، در منطقه بوستان ولایت تهران که توسط مهدیان ماهفروزی و همکاران (۱۳۹۳) انجام شده، نشان داد که محدوده مرکزی بوستان ولایت که پوشش خاک دارد، در اغلب اوقات یک هسته سرمایی در این منطقه ایجاد می‌کند؛ همچنین، ساختمان‌های نسبتاً مرتفع در اطراف بوستان ولایت مانع از نفوذ زبانه هوای خنک پهنه بوستان به اطراف می‌شود و اثر افزایش فضای سبز بر الگوی جزیره گرمایی در بوستان ولایت با افزایش تفاوت‌های دمایی بین سطوح مختلف

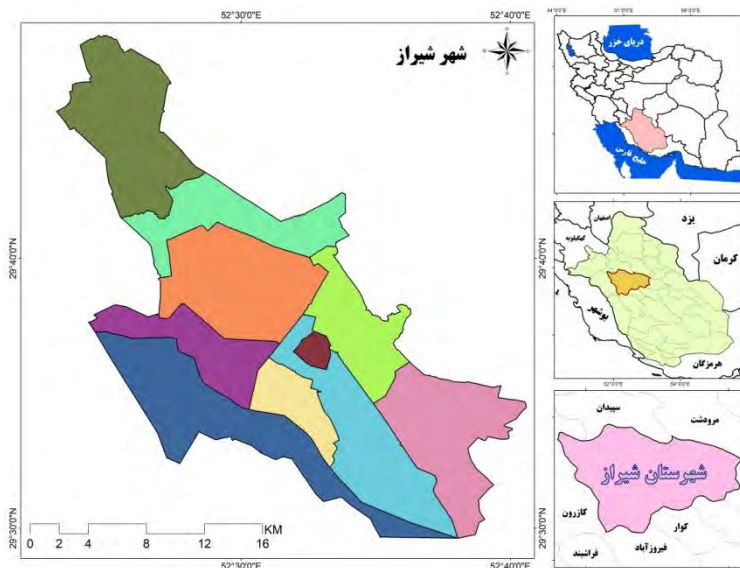
¹ Umar & Kumar

² Guo et al

در فصل گرم و کاهش تفاوت‌های دمایی روزانه بین سطوح در دوره سرد دیده می‌شود. مزیدی و حسینی (۱۳۹۳) در پژوهش تأثیر تغییر کاربری و پوشش زمین بر جزیره گرمایی در منطقه شهری یزد با استفاده از داده‌های سنجش از دور علت افزایش وسعت جزیره حرارتی مستقر روی مرکز شهر یزد را افزایش مساحت نواحی ساختمانی و کاهش پوشش گیاهی می‌دانند. هاشمی درمبادلی و همکاران (۱۳۹۴) تغییرات زمانی و مکانی جزیره حرارتی شهر رشت را در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۵ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که میانگین کسر پوشش گیاهی در دوره مورد مطالعه کاهش پیدا کرده و چولگی دمای سطح زمین را به سمت بالا تغییر داده است؛ همچنین در مناطقی که تغییرات کاربری اراضی از کشاورزی و باغ‌ها به سوی کاربری‌های ساخته‌شده بوده است؛ شدت افزایش دما روند بیشتری را نشان می‌دهد. با توجه به موارد فوق، پایه و اساس پژوهش حاضر، بررسی تغییرات دمایی شهر شیراز و شناخت بیشتر مکان‌های دارای جزیره حرارتی به منظور برنامه‌ریزی جهت کاهش احتمالی اثرات مخرب این پدیده است. به عبارت دیگر، هدف از این پژوهش شناسایی و توزیع مکانی - زمانی الگوهای دمای سطح زمین (LST) در شهر شیراز با بهره‌گیری از داده‌های عددی ماهواره‌ای لندست در بازه زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۵ و تعیین مناطق بحرانی محیطی و رابطه بین پوشش گیاهی و توزیع LST است.

۲- منطقه مورد مطالعه

شهر شیراز، مرکز استان فارس، در طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۳۲ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی واقع شده و ارتفاع آن از سطح دریا بین ۱۴۸۰ تا ۱۶۷۰ متر در نقاط مختلف شهر متغیر است. این شهر به لحاظ جغرافیایی در جنوب غربی ایران و در بخش مرکزی استان فارس قرار دارد. شهر شیراز از سمت غرب به کوه دراک و از سوی شمال به ارتفاعات بمو، سبزپوشان، چهل‌مقام و باباکوهی محدود می‌شود. رودخانه خشک (نهر اعظم) رودخانه‌ای است فصلی که از میانه شهر می‌گذرد و به دریاچه مهارلو در جنوب شرقی شیراز می‌ریزد. این رود تنها در فصول زمستان و بهار آب دارد. موقعیت قلمرو پژوهش در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱) موقعیت شهر شیراز در استان و کشور

۳- روش تحقیق

۳-۱- داده‌ها

به‌منظور شناسایی جزایر حرارتی شهر شیراز و استخراج الگوهای حرارتی و درعین حال پایش تغییرات کاربری شهری در بازه‌ی زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۵ از تصاویر ماهواره‌ی لندست شامل سنجنده‌های (TM) لندست ۵، (ETM+) لندست ۷، (OLI/TIRS) لندست ۸ استفاده شد که شامل دو مجموعه‌ی باندهای طیفی انعکاسی و باندهای حرارتی است (جدول ۱). از باندهای حرارتی برای شناسایی دمای سطح زمینی و جزیره‌ی حرارتی استفاده شد. باندهای انعکاسی نیز جهت اعمال شاخص‌ها برای پردازش تصویر به‌کار گرفته شدند. داده‌های TM این ماهواره در ۶ باند و داده‌های ETM+ در ۸ باند و داده‌های OLI/TIRS در ۱۱ باند ارائه شده‌اند. از داده‌های باند ۶ حرارتی لندست ۵ و ۷ با طول موج ۱۰/۴۰ تا ۱۲/۵۰ میکرومتر و باند ۱۰ لندست ۸ با طول موج ۱۰/۶۰ تا ۱۱/۱۹ میکرومتر برای محاسبه‌ی الگوهای توزیع دمای سطحی شهر استفاده شد. باندهای ۳ و ۴ لندست ۵ و ۷ و باندهای ۴ و ۵ لندست ۸ نیز برای محاسبه‌ی شاخص NDVI به‌کار گرفته شدند (NASA, 2014). این تصاویر از تارنمای علوم و زمین ایالات متحده آمریکا^۱ دریافت شد. جدول (۲) تصاویر استفاده‌شده در این پژوهش را نشان می‌دهد. تصاویر پهنه‌ی شیراز با شماره‌ی ردیف و گذر ۳۹-۱۶۳ در سیستم جهانی WRS^۲ قرار دارند.

^۱ <http://glovis.usgs.gov>

^۲ The Worldwide Reference System (WRS)

جدول ۱- مشخصات توان تفکیک مکانی و رادیومتریک سنجنده‌های (TM)، (ETM+) و (OLI/TIRS)

| ماهواره / سنجنده | تفکیک رادیومتریک | باند | تفکیک مکانی باندها (متر) |
|------------------|------------------|--|--------------------------|
| لندست ۵ / TM | ۸ بیت | باندهای ۱ تا ۵ و ۷ باند ۶ | ۳۰ ۱۲۰ (۳۰) |
| ETM+ لندست ۷ / | ۸ بیت | باندهای ۱ تا ۵ و ۷ باند ۶ باند ۸ (پانکروماتیک) | ۳۰ ۶۰ (۳۰) ۱۵ |
| لندست ۸ / OLI | ۱۶ بیت | باندهای ۱ تا ۷ و ۹ باند ۸ (پانکروماتیک) | ۳۰ ۱۵ |
| لندست ۸ / TIRS | ۱۶ بیت | باندهای ۱۰ و ۱۱ | ۱۰۰ |

جدول ۲- تصاویر ماهواره‌ای لندست استفاده‌شده در این پژوهش

| ماهواره | تاریخ برداشت خورشیدی | تاریخ برداشت میلادی | روز | ردیف و گذر | سنجنده |
|---------|----------------------|---------------------|---------|------------|----------|
| لندست ۸ | ۱۳۹۴/۰۴/۰۶ | ۲۰۱۵/۰۶/۲۷ | روز ۱۷۸ | ۳۹-۱۶۳ | OLI/TIRS |
| لندست ۸ | ۱۳۹۲/۰۴/۱۶ | ۲۰۱۳/۰۷/۰۷ | روز ۱۸۸ | ۳۹-۱۶۳ | OLI/TIRS |
| لندست ۵ | ۱۳۹۰/۰۴/۱۷ | ۲۰۱۱/۰۸/۰۷ | روز ۱۹۹ | ۳۹-۱۶۳ | TM |
| لندست ۵ | ۱۳۸۸/۰۴/۲۱ | ۲۰۰۹/۰۷/۱۲ | روز ۱۹۳ | ۳۹-۱۶۳ | TM |
| لندست ۷ | ۱۳۸۱/۰۳/۲۵ | ۲۰۰۲/۰۶/۱۵ | روز ۱۶۶ | ۳۹-۱۶۳ | ETM+ |
| لندست ۵ | ۱۳۷۹/۰۴/۲۹ | ۲۰۰۰/۰۷/۱۹ | روز ۲۰۱ | ۳۹-۱۶۳ | TM |
| لندست ۵ | ۱۳۷۱/۰۵/۰۷ | ۱۹۹۲/۰۷/۲۹ | روز ۲۱۱ | ۳۹-۱۶۳ | TM |
| لندست ۵ | ۱۳۶۵/۰۳/۲۱ | ۱۹۸۶/۰۶/۱۱ | روز ۱۶۲ | ۳۹-۱۶۳ | TM |

۲-۳- روش‌شناسی پژوهش

مراحل انجام این پژوهش مشتمل بر تهیه و آماده‌سازی داده‌های مورد نیاز، اجرای تکنیک‌های پردازش تصاویر، استخراج تصاویر و الگوهای حرارتی شهر شیراز و طبقه‌بندی آن، محاسبه شاخص NDVI برای تصاویر انتخابی و تعیین رابطه پوشش گیاهی و دمای سطح زمین، تهیه نقشه کاربری اراضی و سرانجام تحلیل حساسیت محیطی پهنه مورد بحث است.

۱-۲-۳- تهیه نقشه (تصاویر) دمایی شهر شیراز

۱-۱-۲-۳- محاسبه رادیانس طیفی در سنجنده

برای استخراج تصاویر دمایی از باند ۱-۶ با توان تفکیک ۶۰ متر در سنجنده ETM+، باند ۶ سنجنده TM با توان تفکیک ۱۲۰ متر و باند ۱۰ سنجنده OLI/TIRS با توان تفکیک ۱۰۰ متر بهره

گرفته شد. سنجندهٔ ETM+ اخذ داده‌های تصویری را از محدودهٔ طیفی مرئی تا مادون قرمز حرارتی در ۸ باند امکان‌پذیر می‌سازد که باند ۶ از این سنجنده مقادیر شار تابشی فروسرخ گسیلش‌شده از سطوح را اندازه‌گیری می‌نماید (شکیبا و همکاران، ۱۳۸۸). به سبب این که ابعاد تصویر دریافتی از حد شهر شیراز بزرگ‌تر است، لازم است در ابتدا این تصویر به اندازهٔ محدودهٔ مورد پژوهش برش داده شود. در ادامه، به منظور تبدیل ارزش‌های رقومی تصاویر حرارتی به رادیانس طیفی برای تصاویر لندست (TM) و (ETM+) از رابطهٔ ۱ استفاده شد (علوی‌پناه و همکاران، ۱۳۹۴):

$$L_{\lambda} = (L_{\max} - L_{\min}) / (QCal_{\max} - QCal_{\min}) \times (QCal - QCal_{\min}) + L_{\min} \quad (1) \text{ رابطه } 1$$

$$QCal = DN$$

که در این رابطه، L_{λ} رادیانس طیفی در سنجنده برحسب $\mu M^{-1} SR^{-2} W M^{-2}$ ، QCAL عدد رقومی در محل پیکسل مورد نظر،

ارزش تابش طیفی باند ۶ در مقدار LMAX، $\mu M^{-1} SR^{-2} W M^{-2}$ (صفر DN ارزش تابش طیفی باند ۶ در مقدار LMIN

DN ۲۵۵) $\mu M^{-1} SR^{-2} W M^{-2}$ ، QCALMAX بیشینهٔ ارزش و QCALMIN کمینهٔ ارزش پیکسل است.

برای محاسبهٔ رادیانس طیفی در سنجندهٔ OLI/TIRS از رابطهٔ ۲ استفاده شد (Rajeshwari & Mani):

$$L_{\lambda} = ML \times Qcal + AL \quad (2) \text{ رابطه } 2$$

در این رابطه، L_{λ} رادیانس در بالای اتمسفر ($\mu m * srad * watts/m2$)، ML ضریب تبدیل ضریبی، Qcal ارزش پیکسل باند مورد نظر، AL ضریب تبدیل تجمیع‌کننده است (Rajeshwari & Mani). ضرایب ML و AL در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳- فاکتور تغییر مقیاس برای باندهای ۱۰، ۴ و ۵ سنجندهٔ OLI/TIRS

| ضریب کالیبراسیون | ML باند ۱۰ | AL باند ۱۰ | ML باند ۴ | AL باند ۴ | ML باند ۵ | AL باند ۵ |
|------------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| مقدار ضریب | ۰/۰۰۰۳۴۲ | ۰/۱ | ۱/۰۳ | -۵۱/۶۵۹ | ۶/۳ | -۳۱/۶۱۲ |

۲-۱-۲-۳- محاسبهٔ دمای درخشندگی

در این پژوهش از رابطهٔ پلانک برای تبدیل مقادیر تابش طیفی به دمای جسم سیاه (BT) استفاده شد:

$$BT = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \quad (3) \text{ رابطه } 3$$

K_1 و K_2 ضرایبی هستند که توسط طول موج مؤثر دریافت‌شده از حس‌گر ماهواره محاسبه می‌شوند و L_{λ} رادیانس طیفی است (ویلیامز، ۲۰۰۲، ۱۱).

جدول ۴- ثابت کالیبراسیون باند حرارتی سنجنده TM، ETM+ و TIRS

| سنجنده | $K_1(Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1})$ | $K_2(Kelvin)$ |
|-------------------|---------------------------------|---------------|
| Landsat5 TM | ۷۶/۶۰۷ | ۱۲۶۰/۵۶ |
| Landsat7 ETM+ | ۰۹/۶۶۶ | ۱۲۸۲/۷۱ |
| TIRS/Landsat8 OLI | ۷۷۷/۸۹ | ۱۳۲۱/۰۸ |

۳-۱-۲-۳- محاسبه گسیل مندی سطح و دمای سطح زمین

نسبت بین گسیلش از یک شیء به گسیلش از جسمی سیاه در دمای ثابت، گسیل مندی (تابندگی) نامیده می شود. مقدار گسیل مندی برای تبدیل دمای روشنایی به دمای جنبش سطح ضروری است؛ زیرا دمای روشنایی حاصل از رابطه ۳ دمایی است که جسم سیاه برای تولید رادیانس معلوم در طول موج معلوم (11.5 μm) دارد. از روش های مؤثر برای برآورد دمای سطح مدل ترکیبی درصد پوشش زمین است. با این فرض که خاک و پوشش گیاهی مقدار گسیل مندی معینی دارند و با توجه به درصد پوشش گیاهی خود ترکیب می شوند (شکیبا و همکاران، ۱۳۸۸). مقدار درصد پوشش گیاهی با استفاده از NDVI محاسبه می شود. در این روش، آستانه گذاری NDVI مورد استفاده قرار می گیرد:

- ۱- $0.2 > NDVI$: در این مورد، پیکسل مربوط به خاک خشک و مقدار گسیل مندی آن بر اساس آنلیز کتابخانه ای نمونه های خاک برای باند حرارتی لندست ۰/۹۷۸ است.
- ۲- $0.5 < NDVI$: پیکسل های با ارزش NDVI بزرگ تر از ۰/۵ مناطق با پوشش گیاهی کامل و مقدار ارزش ثابت برای گسیل مندی ۰/۹۸۵ تخمین زده شده است.
- ۳- $0.2 \leq NDVI \leq 0.5$: در این مورد پیکسل ترکیبی است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۱).

۳-۱-۲-۴- محاسبه NDVI

شاخص NDVI بر پایه ارتباط جذب انرژی در محدوده طیفی قرمز توسط کلروفیل و افزایش انعکاس در انرژی مادون نزدیک برای پوشش گیاهی سالم استوار است (Lenney et al., 1996). الگوریتم مربوط به برآورد شاخص بهنجار شده پوشش گیاهی در محیط نرم افزار ArcGIS به شرح زیر است:

$$\text{رابطه (۴)} \quad NDVI_{TM \& ETM+} = (B4 - B3) / (B4 + B3)$$

B4: باند مادون قرمز نزدیک و B3: باند قرمز در این سنجنده هاست.

$$\text{رابطه (۵)} \quad NDVI_{OLI/TIRST} = (B5 - B4) / (B5 + B4)$$

B5: باند مادون قرمز نزدیک و B4: باند قرمز در این سنجنده هاست.

پس از محاسبه گسیل مندی، دمای سطح زمین از طریق رابطه زیر برآورد می شود:

$$\text{رابطه ۶)} T_s = \frac{T_b}{[1 + (\frac{A_b \tau}{a}) L n \epsilon]}$$

در این رابطه λ طول موج رادیانس ساطع شده ($11/5 \mu\text{m}$)، $a = \frac{h \epsilon}{k}$ ثابت پلانک (j.sec)

$10^{-34} * 6.62$ ، c سرعت نور

(m.sec) $10^{-8} * 2.998$ ، k ثابت استفان بولتزمن (j/k) $10^{-23} * 1.38$ و ϵ گسیل‌مندی است. به‌منظور

تبدیل واحد کلون به سلسیوس نیز از رابطه زیر استفاده شد:

$$\text{رابطه ۷)} \text{Celsius} = \text{Kelvin} - 273.15$$

در این مرحله، پس از طبقه‌بندی دمای سطح زمین و تعیین کمینه، بیشینه و میانگین دما در هریک از تصاویر، مساحت هر طبقه دمایی محاسبه شد. هدف اصلی از محاسبه مساحت دمای سطح زمین آن است که میزان تغییرات مساحت نواحی گرم و بسیار گرم (در این پژوهش به‌ویژه طبقه چهارم دما که نشان‌گر محدوده‌های دمایی بسیار گرم است) تشخیص داده شود (صادقی‌نیا، ۱۳۹۲). پس از محاسبه مساحت طبقات دمایی، اقدام به محاسبه تراکم محدوده‌های دمایی بسیار گرم (طبقه چهارم دمایی) به‌منظور بررسی تغییرات آنها در بازه زمانی مطالعاتی از طریق رابطه زیر شد:

رابطه ۸) مساحت منطقه / تعداد پیکسل‌های حلقه‌های گرمایی شهری = تراکم محدوده‌های دمایی بسیار گرم

در این رابطه، هر پیکسل برابر ۹۰۰ مترمربع است.

در ادامه، لایه‌های تهیه‌شده LST و NDVI با تابع برابری هیستوگرام بازسازی و با رابطه زیر شاخص وضع بحرانی محیطی بر مبنای دمای سطحی و وجود پوشش گیاهی محاسبه شد.

$$\text{رابطه ۶)} ECI_{(LST-VEG)} = \frac{LST_{(Stretch\ 1-255)}}{NDVI_{(Stretch\ 1-255)}}$$

در این رابطه، ECI شاخص وضع بحرانی محیطی، LST و NDVI مقادیر بازسازی‌شده با تابع برابری هیستوگرام است که دارای مقادیر ۱ تا ۲۵۵ است (سنانیاک و همکاران، ۲۰۱۳).

۴- نتایج و بحث

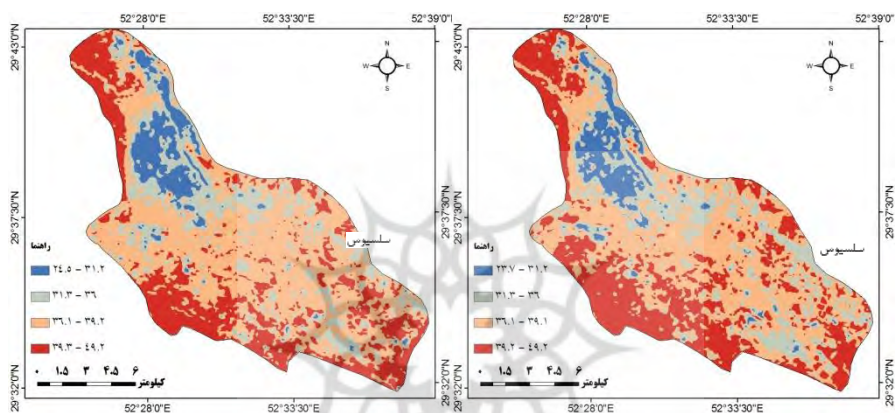
۴-۱- ارزیابی الگوها و تغییرات دمای سطح زمین

با توجه به نقشه‌های دمای سطح زمین شهر شیراز در بازه زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۵ آشکار شد که محدوده‌های دمایی بسیار گرم که به رنگ قرمز نمایش داده شده است، ارتباط نزدیکی با پوشش سطح زمین دارند؛ به‌گونه‌ای که جزایر حرارتی در این پهنه جغرافیایی عمدتاً منطبق بر اراضی بایر پیرامون شهر هستند که غالباً دارای کاربری غیرمسکونی‌اند و به‌صورت گستره‌های بهم‌پیوسته و متراکم‌تر در شمال‌غرب، جنوب و جنوب‌غربی، مشرق و جنوب‌شرقی شهر شیراز به‌وضوح در تمامی نقشه‌های (LST) مشاهده می‌شود. این مراکز حرارتی در مناطق مسکونی شهری با محدوده‌های

بافت فرسوده و متراکم شهری انطباق دارد. در عین حال، واکاوی نقشه‌های دمای سطح زمین در شهر شیراز حکایت از هماهنگی بین پایین‌ترین طبقه دمایی با کاربری پوشش گیاهی دارد. بررسی نقشه دمای سطح زمین در ۱۹۸۶/۶/۱۱ نشان از استقرار پهنه‌های دمایی بسیار گرم در اراضی بایر حاشیه شهر دارد. در این زمان کمینه، بیشینه و میانگین دما به ترتیب ۲۳/۷، ۴۹/۲ و ۳۷/۱ درجه سانتی‌گراد و مساحت طبقه چهارم دما که حاکی از جزایر حرارتی سطحی است، ۵۶/۱ کیلومتر مربع بوده است. مهم‌ترین این مناطق، در بخش‌های شمال و شمال‌غربی شهر اراضی منتهی به ارتفاعات دراک، اراضی بایر جنوب، جنوب‌شرقی و جنوب‌غربی و نیز اطراف شهرک سعدی است. چندین لکه دمایی بسیار گرم نیز مربوط به اراضی بایر شرق بلوار رحمت شرقی است که در محل پادگان ارتش تشکیل شده است. مناطق مسکونی بلوار مدرس تا میدان ولی‌عصر نیز از مکان‌های تشکیل مناطق بسیار گرم است. جزیره حرارتی در بخش مرکزی شهر (در محل ساخت‌وسازهای عمده شهری) به صورت حلقه‌های گرمایی مجزا و با اندازه‌های متفاوت مشاهده می‌شود (شکل ۲ و جداول ۵ و ۶). مقایسه الگوی حرارتی شهر شیراز در ۱۹۹۲/۰۷/۲۹ با ۱۹۸۶/۶/۱۱ نشان از تشابه نسبی این دو الگو دارد؛ با این تفاوت که از قلمرو محدوده‌های بسیار گرم (با مساحت ۵۲/۵ کیلومتر مربع) در پیرامون شهر به جهت توسعه اراضی شهری (مناطق انسان‌ساخت) و افزایش پوشش گیاهی مرتبط کاسته شده است. در بخش مرکزی شهر نیز علاوه بر محدوده‌های پیشین، حلقه‌های گرمایی دیگری منطبق بر امامزاده سید علاءالدین تا مرکز تجاری فرهنگی بین‌الحرمین، بلوار زینبیه و مناطق اطراف آن، تقاطع بلوار سیبویه و روی مناطق مسکونی بین خیابان دستغیب و بلوار صلح تشکیل شده است. در این زمان کمینه، بیشینه و میانگین دمای شهر شیراز به ترتیب ۲۴/۵، ۴۹/۲ و ۳۶/۹ درجه سانتی‌گراد بوده است (شکل ۳ و جداول ۵ و ۶). تحلیل الگوی دمایی ۲۰۰۰/۰۷/۱۹ نیز کماکان نشان‌دهنده استقرار پهنه‌های دمایی بسیار گرم بر اراضی بایر پیرامون شهر و در محدوده مرکزی شهر بر قبرستان قدیم و نزدیک پادگان ارتش و در بخش شمال و شمال‌غربی شهر منطبق بر کارخانه صنایع الکترونیک و اراضی بایر معالی‌آباد تا نزدیکی ارتفاعات دراک است. وسعت این طبقه دمایی ۴۴/۹ کیلومتر مربع بوده است. در این تاریخ کمینه، بیشینه و میانگین دمای شهر شیراز به ترتیب ۲۵، ۵۱ و ۳۹/۵ درجه سانتی‌گراد بوده است (شکل ۴ و جداول ۵ و ۶). بررسی الگوی دمایی سطح زمین در ۲۰۰۲/۰۶/۱۵ نشان می‌دهد، همانند سال‌های قبل محدوده‌هایی دمایی بسیار گرم با مساحت ۵۰/۳ کیلومتر مربع همچنان اراضی بایر حومه شهر، خصوصاً بخش‌های غرب، جنوب‌غرب، جنوب‌شرق، اطراف شهرک سعدی و در بخش شمال‌غربی اطراف معالی‌آباد را دربر گرفته است. علاوه بر این، چندین حلقه گرمایی نیز در داخل شهر منطبق بر پادگان ارتش، قبرستان قدیم، نواحی بافت فرسوده و متراکم مرکز شهر در منطقه بازار و حرم شاه‌چراغ (ع)، حواشی رودخانه خشک و مناطق مسکونی اطراف بلوار ابونصر خودنمایی می‌کند. در این زمان کمینه، بیشینه و میانگین دمای شهر شیراز به ترتیب ۱۷/۶، ۶۴/۵ و ۴۱/۷ درجه سانتی‌گراد بوده است (شکل ۵ و

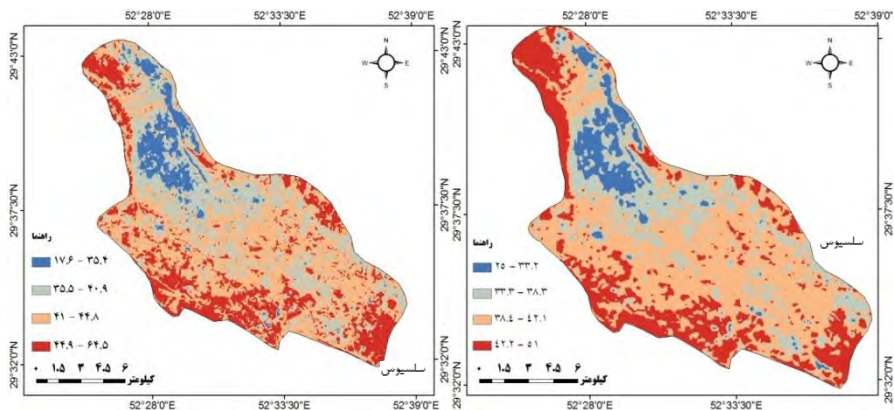
جداول ۵ و ۶). جزایر حرارتی شهر شیراز در ۲۰۰۹/۰۷/۱۲ بر اراضی خاکی و بایر پیرامون شهر و در محدوده شهریه بر محل دانشگاه پردیس شیراز، مجاور بلوار امام خمینی (ره)، میدان ارتش منتهی به پادگان و خیابان‌های اطراف آن، ایستگاه مترو و فرودگاه بین‌المللی شیراز، فلکه شازده قاسم، قبرستان قدیم (به علت پوشش خاکی)، اطراف چهارراه بنفشه، اراضی مربوط به تیپ ۵۵ هواپرد، اراضی جنوب میدان کوزه‌گری، مناطق مسکونی مجتمع مدرس، دانشگاه صنعتی شیراز، کارخانه روغن نباتی، میدان گلستان و بلوار سلمان فارسی، پایانه مسافربری کاراندیش (به جهت حجم ترافیک بالا و آلودگی بیشتر) منطبق است. مساحت این محدوده دمایی بسیار گرم ۴۲/۸ کیلومتر مربع بوده است. کمینه، بیشینه و میانگین دمای شهر شیراز در این زمان به ترتیب ۲۷/۵، ۵۱/۴ و ۳۹/۲ درجه سانتی‌گراد بوده است (شکل ۶ و جداول ۵ و ۶). واکاوی الگوی حرارتی شهر شیراز در تاریخ‌های ۲۰۱۱/۰۸/۰۷، ۲۰۱۳/۰۷/۰۷ و ۲۰۱۵/۰۶/۲۷ نشان از حاکمیت محدوده‌های دمایی بسیار گرم بر مناطق پیرامونی و بخش‌هایی از شهر با کاربری‌های صنعتی یا خطوط ارتباطی دارای ترافیک سنگین دارد. مساحت این محدوده‌های بسیار گرم در این زمان‌ها به ترتیب ۵۳/۷، ۴۲/۱ و ۳۶/۹ کیلومترمربع بوده است. در این زمینه می‌توان به اراضی بایر در پهنه‌های شمالی، شمال‌غربی، شرقی، جنوب، جنوب‌شرقی، غربی و جنوب‌غربی (که در مقایسه با سال‌های پیشین به سبب تغییر کاربری و گسترش شهر از وسعت آن کاسته شده است) و در محدوده شهر به اطراف شهرک سعدی، امتداد بلوار سیبویه، خیابان‌های اطراف مجموعه ورزشی دستغیب، محدوده فرودگاه، حوالی ایستگاه مترو منتهی به فرودگاه، چهارراه بنفشه به طرف بلوار استقلال در امتداد بلوار شهید مطهری، بزرگراه رحمت شرقی و خیابان ابوالفضل (ع) اشاره نمود. نکته قابل توجه این است که در این سال‌ها از وسعت پهنه‌های دمایی بسیار گرم در حاشیه غرب و جنوب غربی شهرکاسته شده است. این در حالی است که در بخش‌های شرقی و جنوب شرقی شهر همچنان کانون‌های حرارتی به صورت گسترده نمایان است. در این زمان‌ها کمینه دمای شهر شیراز به ترتیب ۲۳/۳، ۲۵/۸ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد، بیشینه دما به ترتیب ۴۸/۸، ۵۵ و ۴۶ درجه سانتی‌گراد و میانگین دما به ترتیب ۳۶، ۴۱/۴ و ۳۵/۳ درجه سانتی‌گراد بوده است (اشکال ۷، ۸ و ۹ و جداول ۵ و ۶). بررسی تراکم جزایر حرارتی در بازه زمانی مورد بررسی نیز نشان داد که بیشترین درصد تراکم جزایر گرمایی مربوط به سال ۱۹۸۶ نزدیک به ۲۳/۳۵ درصد، و کمترین آن مربوط به سال ۲۰۱۵ در حدود ۱۵/۳۸ درصد بوده است (جدول ۷). به طور کلی، تحلیل الگوهای دمای سطح زمین در بازه زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۵ نشان داد که توزیع مکانی جزایر حرارتی عمدتاً منطبق بر اراضی بایر پیرامونی شهر به صورت پیوسته و متراکم با کاربری غالباً غیرمسکونی و در مناطق شهری (مسکونی) منطبق بر پهنه‌های بافت فرسوده و متراکم شهری مرکز شهر و الگوهای خطوط ارتباطی است. تحلیل زمانی مراکز حرارتی نیز نشان می‌دهد که با گذشت زمان از وسعت طبقات دمایی بسیار گرم بر پیرامون شهر به سبب تبدیل اراضی بایر به مناطق شهری جدید کاسته شده است. اما همزمان با این کاستی بر مساحت طبقه

سوم دمایی افزوده شده است. از عوامل مهم تشدید حلقه‌های گرمایی در بعضی از مناطق شهری با توجه به موقعیت منطقه، می‌توان به آلاینده‌های دودزا مانند کارخانه‌های صنعتی، خیابان‌های پرتراфик، مکان‌های دارای بافت فرسوده، حاشیه مناطق منتهی به اراضی بایر، محدوده‌های اطراف مراکز تجاری و فرهنگی اشاره نمود. همچنین شکل‌گیری هسته‌های دمایی پایین در شهر شیراز رابطه بسیار نزدیکی با استقرار پوشش گیاهی، به‌ویژه تمرکز باغ‌های قصرالدشت، باغ‌های قصر قمشه، باغ‌های دلگشا و ملی، باغ جنت، باغ ارم، باغ جهان‌نما، باغ عقیق‌آباد، باغ ناری، باغ خلیلی، باغ تخت، پارک‌ها و فضاهای سبز درون شهری مانند پارک‌های آزادی، ولیعصر، انقلاب، مروارید، شادی، ارغوان، منطقه صاحب‌الدیوان و ... به سبب نقش تعدیل‌کنندگی دما دارد.



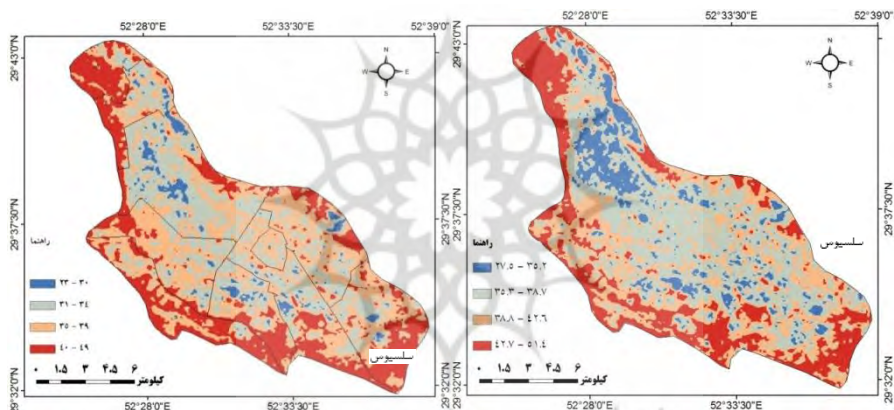
شکل ۳- نقشه طبقات دمایی سطح زمین (LST) شیراز در ۱۹۹۲/۰۷/۲۹

شکل ۲- نقشه طبقات دمایی سطح زمین (LST) شیراز در ۱۹۸۶/۰۶/۱۱



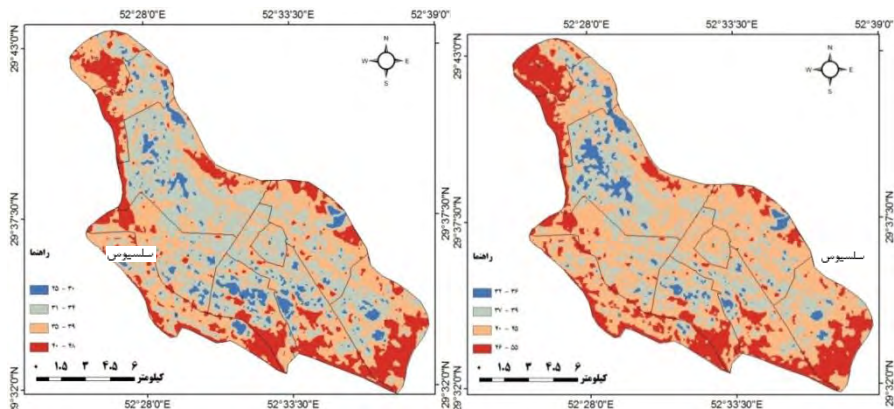
شکل ۴- نقشه طبقات دمایی سطح زمین (LST) شیراز در ۲۰۰۷/۰۷/۱۹

شکل ۵- نقشه طبقات دمایی سطح زمین (LST) شیراز در ۲۰۰۲/۰۶/۱۵



شکل ۶- نقشه طبقات دمایی سطح زمین (LST) شیراز در ۲۰۰۹/۰۷/۱۲

شکل ۷- نقشه طبقات دمایی سطح زمین (LST) شیراز در ۲۰۱۱/۰۸/۰۷

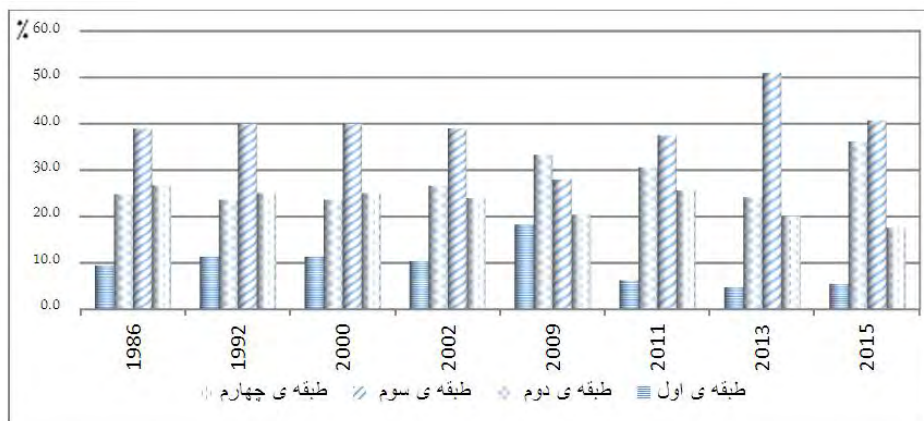


شکل ۹- نقشه طبقات دمایی سطح زمین (LST) شیراز در ۲۰۱۵/۰۶/۲۷

شکل ۸- نقشه طبقات دمایی سطح زمین (LST) شیراز در ۲۰۱۳/۰۷/۰۷

جدول ۵- مساحت طبقات دمایی شهر شیراز در بازه زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۵ به کیلومتر مربع

| روز و سال میلادی | روز و سال خورشیدی | طبقه اول | طبقه دوم | طبقه سوم | طبقه چهارم |
|------------------|-------------------|----------|----------|----------|------------|
| ۱۹۸۶/۰۶/۱۱ | ۱۳۶۵/۰۳/۲۱ | ۱۹/۸ | ۵۲/۰ | ۸۱/۷ | ۵۶/۱ |
| ۱۹۹۲/۰۷/۲۹ | ۱۳۷۱/۰۵/۰۷ | ۲۳/۷ | ۴۹/۶ | ۸۳/۹ | ۵۲/۵ |
| ۲۰۰۰/۰۷/۱۹ | ۱۳۷۹/۰۴/۲۹ | ۲۱/۲ | ۵۴/۴ | ۸۹/۱ | ۴۴/۹ |
| ۲۰۰۲/۰۶/۱۵ | ۱۳۸۱/۰۳/۲۵ | ۲۱/۷ | ۵۵/۸ | ۸۱/۸ | ۵۰/۳ |
| ۲۰۰۹/۰۷/۱۲ | ۱۳۸۸/۰۴/۲۱ | ۳۸/۴ | ۶۹/۸ | ۵۸/۶ | ۴۲/۸ |
| ۲۰۱۱/۰۸/۰۷ | ۱۳۹۰/۰۴/۱۷ | ۱۳/۱ | ۶۴/۲ | ۷۸/۵ | ۵۳/۷ |
| ۲۰۱۳/۰۷/۰۷ | ۱۳۹۲/۰۴/۱۶ | ۹/۹ | ۵۰/۷ | ۱۰۶/۹ | ۴۲/۱ |
| ۲۰۱۵/۰۶/۲۷ | 1394/04/06 | ۱۱/۵ | ۷۵/۹ | ۸۵/۳ | ۳۶/۹ |



شکل ۱۰- مساحت نسبی طبقات دمایی شیراز در بازه زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۵

جدول ۶- کمینه، بیشینه و میانگین دمای سطح زمین شهر شیراز به سلسیوس

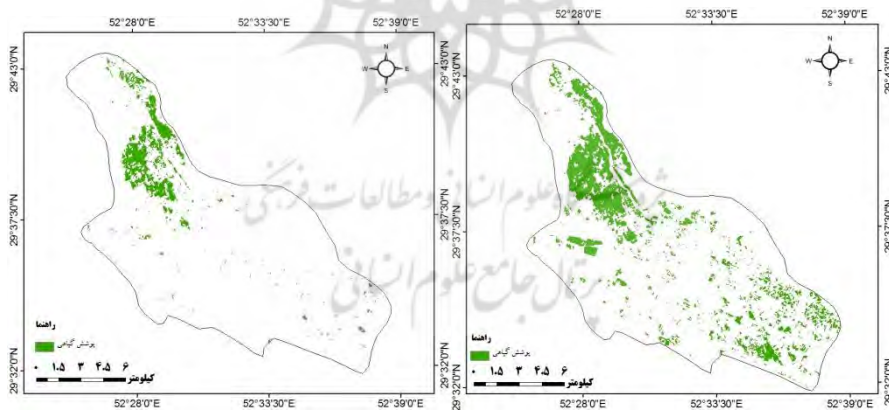
| روز و سال میلادی | روز و سال خورشیدی | کمینه دما (سلسیوس) | میانگین دما (سلسیوس) | بیشینه دما (سلسیوس) |
|------------------|-------------------|--------------------|----------------------|---------------------|
| ۱۹۸۶/۰۶/۱۱ | ۱۳۶۵/۰۳/۲۱ | ۲۳/۷ | ۳۷/۱ | ۴۹/۲ |
| ۱۹۹۲/۰۷/۲۹ | ۱۳۷۱/۰۵/۰۷ | ۲۴/۵ | ۳۶/۹ | ۴۹/۲ |
| ۲۰۰۰/۰۷/۱۹ | ۱۳۷۹/۰۴/۲۹ | ۲۵ | ۳۹/۵ | ۵۱ |
| ۲۰۰۲/۰۶/۱۵ | ۱۳۸۱/۰۳/۲۵ | ۱۷/۶ | ۴۱/۷ | ۶۴/۵ |
| ۲۰۰۹/۰۷/۱۲ | ۱۳۸۸/۰۴/۲۱ | ۲۷/۵ | ۳۹/۲ | ۵۱/۴ |
| ۲۰۱۱/۰۸/۰۷ | ۱۳۹۰/۰۴/۱۷ | ۲۳/۳ | ۳۶ | ۴۸/۸ |
| ۲۰۱۳/۰۷/۰۷ | ۱۳۹۲/۰۴/۱۶ | ۲۵/۸ | ۴۱/۴ | ۵۵ |
| ۲۰۱۵/۰۶/۲۷ | ۱۳۹۴/۰۴/۰۶ | ۲۵ | ۳۵/۳ | ۴۶ |

جدول ۷- درصد تراکم جزایر حرارتی شهر شیراز

| روز و سال میلادی | روز و سال خورشیدی | تعداد پیکسل‌های نقاط گرم | تراکم | درصد تراکم |
|------------------|-------------------|--------------------------|--------|------------|
| ۱۹۸۶/۰۶/۱۱ | ۱۳۶۵/۰۳/۲۱ | ۶۲۲۷۸ | ۰/۲۳۳۵ | ۲۳/۳۵ |
| ۱۹۹۲/۰۷/۲۹ | ۱۳۷۱/۰۵/۰۷ | ۵۸۳۱۰ | ۰/۲۱۸۷ | ۲۱/۸۷ |
| ۲۰۰۰/۰۷/۱۹ | ۱۳۷۹/۰۴/۲۹ | ۴۹۹۱۰ | ۰/۱۸۷۲ | ۱۸/۷۲ |
| ۲۰۰۲/۰۶/۱۵ | ۱۳۸۱/۰۳/۲۵ | ۵۵۸۵۴ | ۰/۲۰۹۵ | ۲۰/۹۵ |
| ۲۰۰۹/۰۷/۱۲ | ۱۳۸۸/۰۴/۲۱ | ۴۷۵۱۳ | ۰/۱۷۸۲ | ۱۷/۸۲ |
| ۲۰۱۱/۰۸/۰۷ | ۱۳۹۰/۰۴/۱۷ | ۵۹۷۱۳ | ۰/۲۲۳۹ | ۲۲/۳۹ |
| ۲۰۱۳/۰۷/۰۷ | ۱۳۹۲/۰۴/۱۶ | ۴۱۱۷۰ | ۰/۱۵۴۴ | ۱۵/۴۴ |
| ۲۰۱۵/۰۶/۲۷ | ۱۳۹۴/۰۴/۰۶ | ۴۱۰۲۹ | ۰/۱۵۳۸ | ۱۵/۳۸ |

۴-۲- تحلیل تغییرات پوشش گیاهی

تحلیل شاخص تفاضل بهنجار شده پوشش گیاهی در بازه زمانی مورد بررسی آشکار نمود که پهنه شمالی و شمال شرقی شهر به سبب وجود باغ‌های قصرالدشت که در نوع خود منحصربه‌فرد است، از خنک‌ترین مکان‌های شهری است. از دیگر نواحی خنک شهر می‌توان به اطراف باغ عفیف، باغ‌های قصر قمشه، باغ‌های دلگشا و ملی، باغ جنت، پارک‌ها و فضاهای سبز درون شهری مانند پارک آزادی، منطقه صاحب‌الدیوان و باغ ارم، محله دشت چنار و... اشاره نمود. همچنین، در بخش‌های مرکزی، جنوب و جنوب شرقی شهر نیز پوشش گیاهی به صورت پراکنده و خرد مشاهده می‌شود. آنچه از نقشه‌های پوشش گیاهی در دوره زمانی مورد بررسی برداشت می‌شود، تمرکز هسته‌های خنک شهری (طبقات اول دمایی) در نقشه‌های دمای سطح زمین و در انطباق با گستره‌های پوشش گیاهی است. در عین حال، در دوره مورد بررسی تغییرات محسوس و کاهشی پوشش گیاهی، به‌ویژه در پهنه‌های مرکزی، جنوبی و جنوب شرقی شهر کاملاً آشکار است. نتایج بررسی شاخص پوشش گیاهی نشان می‌دهد که بیشترین میزان تغییر پوشش گیاهی در شهر شیراز در ۲۰۱۵/۰۶/۲۷ در مقایسه با ۱۹۹۲/۰۷/۲۹ رخ داده است؛ به‌گونه‌ای که در طی این مدت حدود ۲۱/۳۲ کیلومتر مربع از وسعت پوشش گیاهی این گستره جغرافیایی کاسته شده است. در مجموع، پوشش گیاهی شهر شیراز در بازه زمانی مورد بررسی کاهش چشم‌گیری داشته است (جدول ۸ و نقشه‌های ۱۰ و ۱۱). به نظر می‌رسد تغییرات کاربری اراضی کشاورزی به مناطق شهری و مسکونی عاملی اساسی در تخریب پوشش گیاهی منطقه باشد.



شکل ۱۱- نقشه پوشش گیاهی شیراز در

۲۰۱۵/۰۶/۲۷

شکل ۱۰- نقشه پوشش گیاهی شیراز در

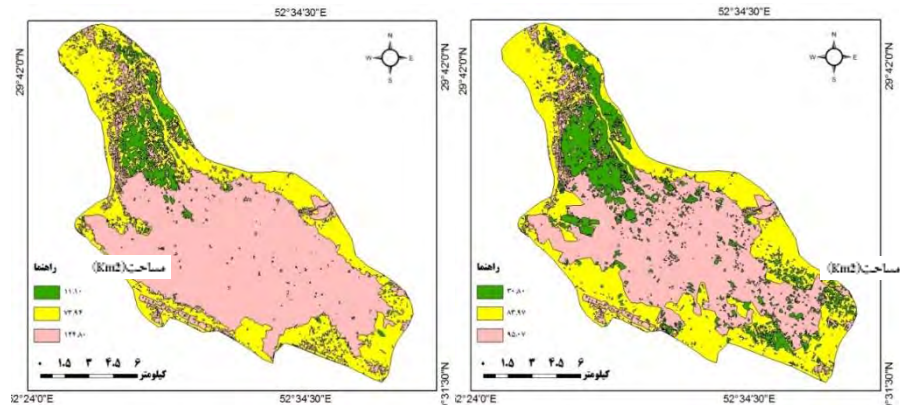
۱۹۹۲/۰۶/۱۱

جدول ۸) مساحت پوشش گیاهی شیراز در بازه زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۵ به کیلومتر مربع

| روز و سال میلادی | روز و سال خورشیدی | مساحت پوشش گیاهی به کیلومتر مربع |
|------------------|-------------------|----------------------------------|
| ۱۹۸۶/۰۶/۱۱ | ۱۳۶۵/۰۳/۲۱ | ۳۰/۸ |
| ۱۹۹۲/۰۷/۲۹ | ۱۳۷۱/۰۵/۰۷ | ۳۲/۴۲ |
| ۲۰۰۰/۰۷/۱۹ | ۱۳۷۹/۰۴/۲۹ | ۲۶/۳۹ |
| ۲۰۰۲/۰۶/۱۵ | ۱۳۸۱/۰۳/۲۵ | ۲۲/۱۳ |
| ۲۰۰۹/۰۷/۱۲ | ۱۳۸۸/۰۴/۲۱ | ۱۹/۸۸ |
| ۲۰۱۱/۰۸/۰۷ | ۱۳۹۰/۰۴/۱۷ | ۱۸/۱۹ |
| ۲۰۱۳/۰۷/۰۷ | ۱۳۹۲/۰۴/۱۶ | ۱۷/۶۷ |
| ۲۰۱۵/۰۶/۲۷ | ۱۳۹۴/۰۴/۰۶ | ۱۱/۱ |

۴-۳-واکاوی تغییرات کاربری اراضی

نقشه‌های کاربری اراضی شهر شیراز در بازه زمانی مورد بررسی به روش طبقه‌بندی حداکثر همانندی در اشکال ۱۲ و ۱۳ ارائه شده است. بر این اساس، شهر شیراز به ۳ کاربری بایر (رنگ زرد)، شهری (رنگ صورتی) و پوشش گیاهی (رنگ سبز) طبقه‌بندی و تغییرات آنها در دوره زمانی مورد نظر تحلیل شد. بر اساس جدول شماره ۹ بیشترین شدت تغییرات در کاربری شهری ۱۹۸۶ در مقایسه با سال ۱۹۹۲ رخ داده، به طوری که در طی این دوره حدود ۱۰/۴۸ کیلومتر مربع بر وسعت اراضی شهری افزوده شده است. این در حالی است که در این دوره، اراضی بایر حدود ۱۲/۱ کیلومتر مربع به جهت ایجاد مناطق شهری و شهرک‌های جدید کاهش داشته است. در عین حال، وسعت پوشش گیاهی در همین دوره ۶ ساله حدود ۱/۶۲ کیلومتر مربع افزایش نشان می‌دهد. در سال ۲۰۱۵، نسبت به سال ۲۰۱۳ بیشترین شدت تغییرات در پوشش گیاهی رخ داده؛ به گونه‌ای که حدود ۶/۵۷ کیلومتر مربع از مساحت پوشش گیاهی شیراز کاسته شده است. در عین حال، کاربری‌های شهری نیز در این مدت حدود ۵/۸۴ کیلومتر مربع افزایش وسعت داشته است. در دوره مطالعاتی (۱۹۸۶-۲۰۱۵) بیشترین تغییرات در محدوده شهری مشاهده می‌شود که حدود ۲۹/۷۳ کیلومتر مربع (به طور متوسط تقریباً ۱ کیلومتر مربع در هر سال) افزایش یافته است؛ این میزان افزایش می‌تواند با کاهش ۱۰/۰۱ کیلومتر مربعی اراضی بایر و کاهش ۱۹/۷ کیلومتر مربعی وسعت پوشش گیاهی مرتبط باشد. بدین ترتیب، مساحت پوشش گیاهی در طول بازه زمانی ۱۹۸۶-۲۰۱۵ کاهش چشم‌گیر و در مقابل، وسعت اراضی شهری رشد فزاینده‌ای داشته است. این تغییرات غالباً در اراضی کشاورزی حومه شهر رخ داده است. در این مدت، مساحت اراضی بایر از سال ۱۹۸۶ تا سال ۲۰۱۵ حدود ۱۲٪ کاهش داشته است (جدول شماره ۹ و ۱۰).



شکل ۱۳- نقشه مساحت کاربری اراضی شیراز در ۲۰۱۵/۰۶/۲۷

شکل ۱۲- نقشه مساحت کاربری اراضی شیراز در ۱۹۸۶/۰۶/۱۱

جدول ۹: مساحت کاربری اراضی شیراز در بازه زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۵ به کیلومتر مربع

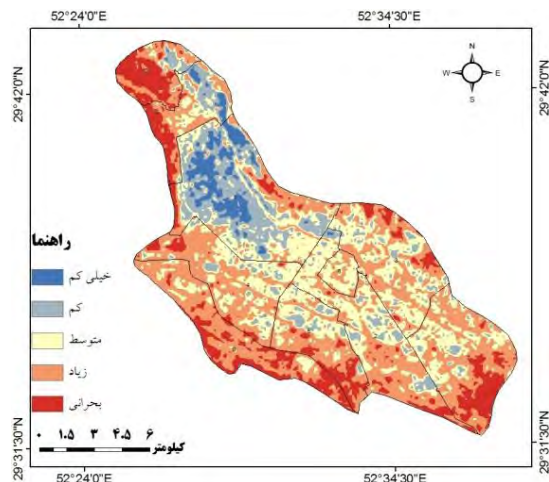
| پوشش گیاهی | شهری | بایر | روز و سال خورشیدی | روز و سال میلادی |
|------------|--------|-------|-------------------|------------------|
| ۳۰/۸ | ۹۵/۰۷ | ۸۳/۹۷ | ۱۳۶۵/۰۳/۲۱ | ۱۹۸۶/۰۶/۱۱ |
| ۳۲/۴۲ | ۱۰۵/۵۵ | ۷۱/۸۷ | ۱۳۷۱/۰۵/۰۷ | ۱۹۹۲/۰۷/۲۹ |
| ۲۶/۳۹ | ۱۰۸/۳۸ | ۷۵/۰۸ | ۱۳۷۹/۰۴/۲۹ | ۲۰۰۰/۰۷/۱۹ |
| ۲۲/۱۳ | ۱۱۳/۸۲ | ۷۳/۹ | ۱۳۸۱/۰۳/۲۵ | ۲۰۰۲/۰۶/۱۵ |
| ۱۹/۸۸ | ۱۱۵/۱۱ | ۷۴/۸۴ | ۱۳۸۸/۰۴/۲۱ | ۲۰۰۹/۰۷/۱۲ |
| ۱۸/۱۹ | ۱۱۷/۵۶ | ۷۴/۰۸ | ۱۳۹۰/۰۴/۱۷ | ۲۰۱۱/۰۸/۰۷ |
| ۱۷/۶۷ | ۱۱۸/۹۶ | ۷۳/۲۱ | ۱۳۹۲/۰۴/۱۶ | ۲۰۱۳/۰۷/۰۷ |
| ۱۱/۱ | ۱۲۴/۸ | ۷۳/۹۶ | 1394/04/06 | ۲۰۱۵/۰۶/۲۷ |

جدول ۱۰: مساحت نسبی (درصد) تغییرات کاربری اراضی شیراز در بازه زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۵

| کاربری اراضی | ۱۹۸۶ | ۱۹۹۲ | ۲۰۰۰ | ۲۰۰۲ | ۲۰۰۹ | ۲۰۱۱ | ۲۰۱۳ | ۲۰۱۵ |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| پوشش گیاهی | ۱۴/۶۸ | ۱۵/۴۵ | ۱۲/۵۸ | ۱۰/۵۵ | ۹/۴۷ | ۸/۶۷ | ۸/۴۲ | ۵/۲۹ |
| بایر | ۴۰/۰۲ | ۳۴/۲۵ | ۳۵/۷۸ | ۳۵/۲۲ | ۳۵/۶۶ | ۳۵/۳۰ | ۳۴/۸۹ | ۳۵/۲۴ |
| شهری | ۴۵/۳۱ | ۵۰/۳۰ | ۵۱/۶۵ | ۵۴/۲۴ | ۵۴/۸۵ | ۵۶/۰۲ | ۵۶/۶۹ | ۵۹/۴۷ |

۴-۴- ارزیابی شاخص حساسیت محیطی در شهر شیراز

از آن‌جا که نبود یا کمبود پوشش گیاهی و افزایش دمای سطح زمین تأثیرات و پیامدهای ناگواری بر گستره شهری دارد، شناسایی و تحلیل پهنه‌های حساس محیطی ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. از این رو، شناسایی وضعیت بحرانی زیست‌محیطی در شهر شیراز با بهره‌گیری از مقادیر دمای سطح زمین (LST) و شاخص تفاضل به‌هنجارشده پوشش گیاهی (NDVI)، شاخص ECI در این گستره جغرافیایی تعریف و ارزیابی شد. بر اساس این شاخص، پهنه‌هایی وضعیت بحرانی خواهند داشت که مقدار LST زیاد و NDVI اندک داشته باشند. بدین ترتیب، مقادیر LST و NDVI به‌طور مستقیم و معکوس وضعیت بحرانی زیست‌محیطی شهری را آشکار می‌کند. شکل ۱۴ و جدول ۱۱ ارزیابی حاصل از کاربرد این شاخص را در شهر شیراز آشکار می‌کند. بر اساس شکل حاصل، بیشترین حساسیت زیست‌محیطی در حومه‌های شمال‌شرقی، شمال‌غربی، غربی، جنوبی، جنوب‌شرقی و شرقی شهر شیراز مشاهده می‌شود. به عبارت دیگر، محدوده بحرانی زیست‌محیطی به‌طور گسترده، غالباً در اطراف شهر به‌سبب وجود اراضی بایر که به شکل جزایر حرارتی پیرامونی خودنمایی می‌کند و نیز به‌صورت خرد در اطراف مراکز صنعتی نظیر کارخانه صنایع الکترونیک، کارخانه روغن نباتی (نرگس)، کارخانه سیمان فارس و اطراف فرودگاه بین‌المللی، ترمینال مسافری (کاراندیش)، اطراف ایستگاه‌های مترو، بزرگراه‌ها و خیابان‌های پرتراфик و مکان‌های دارای بافت فرسوده به چشم می‌خورد. فقدان و یا کمبود شدید پوشش گیاهی و وجود جزایر گرمایی شدید موجب افزایش وضعیت بحرانی زیست‌محیطی در این پهنه‌ها شده است. بر اساس طبقه‌بندی انجام‌گرفته، محدوده‌های با حساسیت محیطی زیاد عمدتاً در پیرامون بخش‌های مرکزی شهر، به‌ویژه در شمال شرق، شمال غرب و غرب و همچنین در غرب، جنوب و جنوب‌شرقی شهر به‌خوبی نمایان است. در عین حال، اغلب خیابان‌ها و میادین شهری نیز چنین وضعیتی دارند. این محدوده عمدتاً منطبق بر مناطق مسکونی و تجاری شهری است. محدوده‌های با حساسیت محیطی بسیار کم و کم نیز عمدتاً در پهنه شمالی به‌صورت متراکم و درون شهر به شکل پراکنده به‌سبب وجود پوشش گیاهی باغی نظیر باغ عفیف، باغ‌های قصرقمشه، باغ ارم، باغ‌های دلگشا و ملی، باغ جنت، باغ تخت، باغ ناری، باغ جهان‌نما، محله دشت چنار و فضاهای سبز شهری مانند پارک‌های ولیعصر، شادی، مروارید، ارغوان، آزادی، نارون، منطقه صاحب‌الدیوان و فضاهای سبز شهرکی جدید مانند شهرک سعدی، شهرک الهیه و کوی طلاب، شهرک فتحیه، شهرک شهید مفتاح، شهرک شهید باهنر و فضای سبز بسیار کم‌وسعت نظیر میدان امام حسین (ع) و فخرآباد و ... است.



شکل ۱۴) نقشه شعاسیت محیطی شهر شیراز

جدول ۱۱) مساحت و درصد پهنه‌های حاصل از شاخص شعاسیت محیطی

| شعاسیت محیطی | مساحت به کیلومتر مربع | مساحت نسبی (درصد) |
|--------------|-----------------------|-------------------|
| خیلی کم | ۸/۴ | ۳/۹۸ |
| کم | ۲۸/۵ | ۱۳/۶ |
| متوسط | ۵۸/۷ | ۲۸/۰ |
| زیاد | ۸۴/۵ | ۴۰/۳ |
| بحرانی | ۲۹/۷ | ۱۴/۲ |

۵- نتیجه گیری

اساساً توسعه پایدار شهری با شناخت لازم و کافی از ویژگی‌های پویای شهری و پیکربندی آنها به منظور کاهش پیامدهای ناگوار جزایر گرمایی شهری امکان پذیر است. از این رو، هدف از پژوهش حاضر واکاوی تغییرات فضایی- زمانی الگوهای گرمایی با بهره‌گیری از داده‌های رقومی ماهواره‌ای و تعیین محدوده‌های دمایی بسیار گرم و در عین حال، تحلیل کاربری اراضی شهری و شناسایی پهنه‌های بحرانی زیست محیطی در شهر شیراز است. به بیان دیگر، در این پژوهش پایش چندزمانه جزیره حرارتی در شهر شیراز به منظور مدل‌سازی روابط بین پوشش گیاهی، کاربری و عوامل محیطی با دما با شاخص‌های مختلف مورد توجه قرار گرفت. نتایج حاصله نشان داد که پهنه‌های دمایی بسیار گرم شهری عمدتاً در اراضی بایر پیرامون شهر و بزرگراه‌های اطراف دیده می‌شود. در درون شهر نیز این محدوده‌ها منطبق بر مکان‌های اطراف مراکز تجاری و فرهنگی، اطراف بلوارها و خیابان‌های درون شهری دارای ترافیک سنگین که با آسفالت پوشیده شده‌اند، مراکز صنعتی با آلودگی بالا و مناطق مسکونی دارای بافت فرسوده و فشرده به‌عنوان عامل تشدیدکننده گرمایش

شهری است. این جزایر گرمایی شهری در شیراز به صورت پیوسته، متراکم و نواری و یا به شکل کانونی در جای جای شهر پراکنده شده‌اند. به طور کلی در سطح شهر شیراز چهار طبقه دمایی عمده در بازه زمانی مورد مطالعه شناسایی شد که دامنه دمایی آن در نقاط مختلف به حداقل ۲۱ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. در بازه زمانی مورد بررسی بیشترین مساحت مربوط به طبقه دمایی سوم (محدوده‌های گرم) و کمترین وسعت از آن طبقه دمایی نخست (هسته‌های سرد) است. بر اساس یافته‌های این پژوهش، حلقه‌های گرمایی بر گره‌های ترافیکی و پهنه‌های آلوده شهری منطبق‌اند. همچنین، استقرار صنایع در محیط شهری نیز منجر به شکل‌گیری پهنه‌های دمایی با گرمایش مضاعف در مقایسه با نقاط پیرامونی شده است. این موضوع مؤید یافته‌های احمدی و همکاران (۱۳۹۱) است. در عین حال، استقرار هسته‌های سرد در شهر شیراز با الگوی پوشش گیاهی که اثرات قابل توجهی در کاهش جزایر حرارتی شهری دارد و به سبب نقش تعدیل‌کنندگی دما هماهنگی کامل دارد. این یافته با پژوهش Xingping et al(2011) مطابقت دارد. تحلیل زمانی جزایر گرمایی در بازه زمانی مورد بررسی نیز نشان داد که با گذشت زمان از وسعت محدوده‌های بسیار گرم بر پیرامون شهر به سبب تبدیل اراضی بایر به مناطق شهری جدید و احداث شهرک‌های نوساز و ساخت‌وسازهای نوین کاسته شده است. اما هم‌زمان با این کاستی بر مساحت طبقه سوم دمایی افزوده شده است. ارزیابی کاربری اراضی در شیراز در بازه زمانی مورد بررسی نیز نشان داد که توسعه مناطق شهری منجر به کاهش اراضی بایر شده است. پوشش گیاهی شهر شیراز نیز در بازه زمانی مورد بررسی نیز به سبب تغییرات کاربری اراضی کشاورزی پیرامونی به مناطق شهری و مسکونی جدید کاهش درخور توجهی داشته است. در مجموع، گسترش شهر در اراضی بایر و بعضاً کشاورزی و کاهش فضای سبز درون شهری و در عین حال، افزایش ترافیک شهری حاصل از توسعه شهر عاملی اساسی در افزایش دمای سطح زمین و گسترش جزایر حرارتی شهری در شیراز بوده است. یافته‌های حاصل از شاخص قیاسی حساسیت محیطی (ECI) نیز آشکار کرد که بیشترین حساسیت زیست‌محیطی به طور گسترده، غالباً پیرامون شهر به سبب وجود اراضی بایر و در درون شهر نیز به صورت خرد در اطراف مراکز صنعتی، اطراف فرودگاه بین‌المللی، ترمینال مسافری (کاراندیش)، اطراف ایستگاه‌های مترو، بزرگراه‌ها و خیابان‌های پرتراфик و مکان‌های دارای بافت فرسوده خودنمایی می‌کند. فقدان و یا کمبود شدید پوشش گیاهی و وجود جزایر گرمایی شدید موجب افزایش وضعیت بحرانی زیست‌محیطی در این پهنه‌ها شده است.

منابع

- ۱- احمدی، محمود، عاشورلو، داوود، و نارنگی فرد، مهدی (۱۳۹۱). تغییرات زمانی- مکانی الگوهای حرارتی شهر شیراز با استفاده از داده‌های سنجنده TM, ETM+، سنجش از دور GIS ایران، تهران. ۴، ۵۵-۶۸.
- ۲- امیری، رضا، علی محمدی، عباس، و علوی پناه، سید کاظم (۱۳۸۶). مطالعه تغییرپذیری فضایی- زمانی حرارت در ارتباط با کاربری/ پوشش زمین در منطقه شهری تبریز با استفاده از داده‌های حرارتی و انعکاسی TM و ETM+ لندست. محیط‌شناسی، تهران. ۴۳، ۱۰۸-۱۱۹.
- ۳- رضانی، بهمن، و دخت محمد، سیده مریم (۱۳۸۹). شناخت محدوده مکانی تشکیل جزیره گرمایی در شهر رشت. مجله پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، ۱، ۱۱۲-۱۲۵.
- ۴- ساسان پور، فرزانه، ضیائی، پرویز، و بهادری، مریم (۱۳۹۲). بررسی رابطه کاربری و پوشش اراضی و جزیره حرارتی شهر تهران. انجمن جغرافیای ایران، ۳۹، ۲۵۷-۲۷۰.
- ۵- شکیب، علیرضا، ضیائی، فیروزآبادی، پرویز، عاشورلو، داوود، نامداری، سودابه، ۱۳۸۸، تحلیل رابطه کاربری و پوشش اراضی جزایر حرارتی شهر تهران با استفاده از داده‌های ETM+، سنجش از دور و GIS ایران، ۱، ۳۹-۵۶.
- ۶- صادقی‌نیا، علیرضا، علیجانی، بهلول، و ضیادیان، پرویز. (۱۳۹۲). تحلیل فضایی- زمانی جزیره حرارتی کلان‌شهر تهران با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی. جغرافیا و مخاطرات محیطی، تهران. ۴، ۱-۱۷.
- ۷- علوی پناه، سید کاظم، هاشمی‌دره بادامی، سیروس، کاظم‌زاده، علی (۱۳۹۴). تحلیل زمانی مکانی جزیره حرارتی شهر مشهد با توجه به گسترش شهر و تغییرات کاربری پوشش زمین، پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری، ۱۷-۱.
- ۸- علی‌طالشی، محمد صالح، ستوده، احد، صبوحی مرتضی، و نیازی یعقوب (۱۳۹۳). ارزیابی اثرات پوشش زمین بر دمای سطح زمین با کاربرد سنجش از دور حرارتی: مطالعه موردی در تهران، پژوهش‌های محیط‌زیست، ۶۹-۷۸.
- ۹- متکان، علی‌اکبر، نوحه‌گر، احمد، میرباقری، بابک، و ترک‌چین، ناهید (۱۳۹۳). تحلیل نقش کاربری اراضی در شکل‌گیری جزایر حرارتی با استفاده از داده‌های چندزمانه سنجنده ASTER (مطالعه موردی: شهر بندرعباس). سنجش از دور سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی. ۱۴، ۱-۱۴.
- ۱۰- مزیدی، احمد، و حسینی، فاطمه‌السادات (۱۳۹۳). تأثیر تغییر کاربری و پوشش زمین بر جزیره گرمایی در منطقه شهری یزد با استفاده از داده‌های سنجش از دور. جغرافیا و توسعه، ۳۸، ۱-۱۲.
- ۱۱- موسوی‌بایگی، محمد، اشرف، بتول، فریدحسینی، علیرضا، و میان‌آبادی، آمنه (۱۳۹۱). بررسی جزیره حرارتی شهر مشهد با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نظریه فرکتال. مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱، ۳۶-۴۹.

۱۲- مهدیان‌ماهفروزی، مجتبی، شمسی‌پور، علی‌اکبر، و عزیزی، قاسم (۱۳۹۴). اثرات گسترش فضای سبز بر الگوی جزیره گرمایی شهری (مطالعه موردی: بوستان ولایت). *مجله پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری*. ۱، ۸۶-۹۹.

۱۳- هاشمی‌دره‌بادامی، سیروس، نورائی‌صفت، ایثار، کریمی، سعید، و 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 سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*. ۱۵، ۳-۲۸.

14-Devanathan, P., Devanathan, K., (2011). **Heat island effects**. In: Sabnis, Gajanan M. (Ed.), *Green Building with Concrete: Sustainable Design and Construction*. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 175–226.

15-Guo, G., Wu, Z., Xiao, R., Chen, Y., Liu, X., Zhang, X. (2015). Impacts of urban biophysical composition on land surface temperature in urban heat island clusters. *Landscape and Urban Planning*, 135, 1-10.

16-Haverter, s. (2012). **Adapting to Urban Heat: A Tool kit for local governments**, Harrison Institute for NP 81Public Law Georgetown Climate Center. p 2.

17-Liu,L., Zhang,Y. (2011). Urban heat island analysis using the landsat TM data and ASTER data: A case study in Hong Kong. *Remotesensing*, NO3. P1535-1552.

18-Maloley, M. J. (2010). Thermal remote sensing of urban heat island effects: greater Toronto area. *Geological Survey Commission Geologique*. P 257-270..

19-Pena, M. (2009). Examination of the land surface temperature response for Santiago, Chile. *Remote Sensing*. No 10.P 4385-4404.

20- Rajeshwari, A., Mani, N. D. (2014). Estimation of land surface temperature of dindigul district using landsat 8 data. *International Journal of Research in Engineering and Technology*. 5, 122-126.

21-Senanayake, I. P., Welivitiya, W. D. D. P., Nadeeka, P. M. (2013). Remote sensing based analysis of urban heat islands with vegetation cover in Colombo city, Sri Lanka using Landsat-7 ETM+ data. *Urban Climate*, 5, 19-35.

22-Senanayake, I. P., Welivitiya, W. D. D. P., Nadeeka, P. M. (2013a). Urban green spaces analysis for development planning in Colombo, Sri Lanka, utilizing THEO's satellite imagery—A remote sensing and GIS approach. *Urban forestry & urban greening*, 12(3), 307-314.

23-Senanayake, I. P., Welivitiya, W. D. D. P., Nadeeka, P. M. (2013b). Urban green spaces analysis for development planning in Colombo, Sri Lanka, utilizing THEO's satellite imagery—A remote sensing and GIS approach. *Urban forestry & urban greening*, 12(3), 307-314.

24-Tan, J., Kalkstein, A., Yuan, D., Zhen, X., Song, G., Li, L., Guo, C., Tang, C., Zheng, C., Li, F., (2010). The urban heat island and its impact on heat waves and human health in Shanghai. *International Journal of Biometeorology*, 54 (1), 75–84. <http://dx.doi.org/10.1007/s00484-009-0256-x>.

25-U.S.EPA. (2007). **Basic Information about Heat Island**. Available online from following website: <http://www.epa.gov/heatisland/about/index.html>.

26- Ukwattage, N. L., Dayawansa, N. D. K (2012). Urban heat islands and the energy demand: An analysis for Colombo city of Sri Lanka using thermal remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing and GIS*. NO 1. P 124-131.

27-Umar, U. M., Kumar, J. S. (2014). Spatial and temporal changes of urban heat island in Kano metropolis, Nigeria. **International Journal of Research in Engineering Science and Technology**, 1(2).

28-Xiao, G., Chen, L., Hong, M. Z., Ping, X. L., YongYin, Z. (2005). Remotesensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. **Remote Sensing of Environment**. NO104. P 1-7.

29-Xian, G., M., Crane. 2006. An analysis of urban thermal characteristics and associated land cover in Tampa Bay and Las Vegas using Landsat satellite data. **Remote Sensing of Environment**, 104(2):147-156.

30- Xiao, R., et al. 2007. Spatial Pattern of impervious surfaces and their impacts on land surface temperature in Beijing, China. **Journal of Environ. Science**, 19: 250- 256.

31-Xingping, Wen., Xiaofeng, Yang., Guangdao, Hu., 2011, Relationship between land cover ratio and urban heat island from remote sensing and automatic weather stations data, **J. Indian Soc Remote Sens**, 39 (2): 193-201.

