

تحلیل اثر پیکربندی فضایی پوشش شهری و ویژگی‌های کالبدی ساختمان‌ها بر پدیده جزایر سطحی سرد شهری

ابوالقاسم اژدری^{۱*}، علی‌اکبر تقوایی^۲

۱. کارشناس ارشد برنامه‌ریزی شهری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۲. دانشیار گروه شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. taghvaea@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۳/۱۰

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۶/۰۸/۰۳

چکیده

گسترش کلان‌شهرها در دهه‌های اخیر پیامدهای متعدد کالبدی، اجتماعی-اقتصادی و محیط زیستی در پی داشته است. یکی از این پیامدها تشدید پدیده جزایر حرارتی شهری در نواحی با آب‌وهوای معتدل تر بوده است. اما در نواحی کلان‌شهری با آب و هوایی گرم و خشک تر افزایش شهرنشینی نه تنها موجب تشدید جزایر حرارتی نمی‌شود بلکه در فصول گرم سال دمای سطح زمین را کاهش نیز خواهد داد. کاهش دمایی که از آن با عنوان پدیده جزایر سطحی سرد شهری یاد می‌شود. پژوهش‌های پیشین از طریق استخراج نقشه‌های کاربری/پوشش زمین از تصاویر ماهواره‌ای و مقایسه نسبت هر کاربری زمین با دمای سطحی تأثیر این پدیده در روزهای مختلف سال را در یک شهر نشان داده‌اند. اما باین‌وجود تأثیر پیچیدگی شکل نواحی ساخته شده و همچنین ویژگی‌های کالبدی ساختمان‌ها همچون تراکم ساختمانی و ریزدانی بر تشدید پدیده جزایر سرد شهری مغفول مانده است. این پژوهش با مطالعه تأثیر ترکیب‌بندی و پیکربندی نواحی ساخته شده و ویژگی کالبدی آن‌ها بر دمای سطحی شهر شیراز با استفاده از سنج‌های سرزمین به این نتیجه دست یافت که هرچه پیچیدگی شکل نواحی ساخته شده کمتر باشد و همچنین تراکم ساختمانی و ریزدانی نواحی شهری افزایش یابد پدیده جزایر سرد شهری تشدید می‌شود.

کلیدواژه

تراکم ساختمانی، جزایر سطحی سرد شهری، دمای سطح زمین، ریزدانی، سنج‌های سیمای سرزمین.

۱. سرآغاز

(Rahman et al., 2011). یکی از آثار این تغییرات پوشش‌های زمین- برای مثال تغییر پوشش گیاهی به پوشش شهری- تغییر در انتقال گرمایش و تبخیر سطح زمین است (Dihkan et al., 2015) که در نتیجه مشخصات گرمایی پوشش‌های زمین را دگرگون کرده است (Sheng et al., 2017). این تغییرات گرمایی موجب شده تا دمای

طی دهه‌های اخیر شهرها شاهد تحولات جمعیتی، کالبدی و اجتماعی- اقتصادی بسیاری بوده‌اند. گسترش فیزیکی نواحی شهری که عمدتاً با نام پراکنده‌رویی شهری از آن یاد می‌شود تأثیر غیرقابل‌انکاری بر الگوهای کاربری/پوشش زمین شهرها داشته است (Ewing, 1997, Ji et al., 2006).

مطالعات بسیاری عوامل تأثیرگذار بر این پدیده را بررسی کرده‌اند. یکی از عوامل تشدید کننده این پدیده این است که هرچه میزان پوشش‌های خاکی و کشاورزی در یک ناحیه شهری بیشتر باشد دمای سطحی افزایش پیدا می‌کند (Carnahan & Larson, 1990, Rasul et al., 2017). علاوه بر عامل پوشش زمین، زمان و روزی که تصویر ماهواره‌ای گرفته شده است نیز نقش تعیین‌کننده‌ای در تعیین و ارزیابی پدیده جزایر سرد شهری دارد (Rasul et al., 2015). در واقع هرچه زمان ثبت تصویر ماهواره‌ای به روزهای گرم تابستان و حوالی ظهر نزدیک‌تر باشد پدیده جزایر سرد شهری را بهتر می‌توان به تصویر کشید (Imhoff et al., 2010, Rasul et al., 2016).

اگرچه تعداد مطالعات پیرامون جزایر سرد شهری نسبت به جزایر حرارتی شهری بسیار کمتر است، اما همین تعداد نیز عمدتاً تلاش خود را به مطالعه تأثیر کاربری/پوشش زمین و همچنین زمان و روز ثبت تصاویر ماهواره‌ای معطوف کرده‌اند (هاشمی و دیگران، ۱۳۹۲، Fan et al., 2017, Taheri Shahraini et al., 2016, Haashemi et al., 2016, Nassar et al., 2017).

اما مطالعات پیرامون پدیده جزایر حرارتی شهری نشان داده است که علاوه بر تأثیر فراوانی پوشش‌های مختلف و نحوه ترکیب آن‌ها در سطح یک ناحیه شهری بر دمای سطحی، نحوه پیچیدگی شکل پوشش‌های زمین که تحت عنوان پیکربندی فضایی از آن یاد می‌شود نیز بر این پدیده تأثیرگذار است (Connors et al., 2013). این مطالعات با شاخص‌های متعددی از جمله «سنجه‌های سیمای سرزمین» اثر پیکربندی فضایی پوشش‌های زمین بر دمای سطحی را بررسی کرده‌اند و نشان داده‌اند که هرچه پیچیدگی شکل لکه‌های شهری افزایش یافته است یا به عبارت دیگر شکل لکه‌های شهری از اشکال هندسی فاصله بیشتری گرفته است دمای سطحی کاهش پیدا کرده است (Zhou et al., 2011). دلیل آن نیز این است که افزایش پیچیدگی شکل لکه‌های شهری به معنی افزایش همسایگی لکه‌های شهری

نواحی شهری با دمای مناطق اطراف آن تفاوت‌های چشم‌گیری داشته باشد. این پدیده که با نام پدیده جزایر حرارتی شهری شناخته می‌شود علاوه بر تأثیرات کالبدی و محیطی همچون کاهش کیفیت آب‌وهوا و افزایش تقاضای انرژی در شهر (Grimm et al., 2008, Santamouris et al., 2015)، تأثیرات اجتماعی نیز همچون بالا رفتن احتمال مرگ‌ومیر (Dugord et al., 2014) در بر دارد که در گذشته توسط مطالعات بسیاری کانون توجه قرار گرفته است (Lauwaet et al., 2016).

پدیده جزایر حرارتی شهری به‌طور کلی از دو طریق مطالعه می‌شود: یا دمای اتمسفر نقاط مختلف مقایسه می‌شود یا اینکه دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تحلیل می‌شود (Chen et al., 2017, Li et al., 2013). هر دوی این روش‌ها مزایا و معایب خود را دارند. اما اندازه‌گیری جزایر حرارتی شهری با استفاده از دمای اتمسفر در بررسی فضایی این پدیده در مقیاس ناحیه کلان‌شهری کارایی ندارد. زیرا معمولاً تنها یک یا دو ایستگاه هواشناسی برای کل یک ناحیه کلان‌شهری وجود دارد که در نهایت تنها یک یا دو دما برای کل آن ناحیه در اختیار قرار می‌دهد (آبادی و دیگران، ۱۳۸۵). اما در مقابل اندازه‌گیری جزایر حرارتی شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای این فرصت را به پژوهشگران می‌دهد تا تفاوت دمای نواحی شهری را با نواحی اطراف آن با دقتی بسیار بالا اندازه‌گیری کنند (Weng, 2009).

مطالعات گذشته در رابطه با پدیده جزایر حرارتی شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد که در نواحی کلان‌شهری با آب‌وهوای معتدل‌تر، نواحی پیرامون شهر همواره دمای کمتری نسبت به نواحی شهری دارند. اما در مقابل، نواحی شهری مناطقی که آب و هوایی گرم و خشک‌تری دارند دمای سطحی کمتری نسبت به محیط اطراف نشان می‌دهند؛ پدیده‌ای که از آن با نام جزایر سطحی سرد شهری یا حفره‌های گرمایی شهری یاد می‌شود (Frey et al., 2005, Lazzarini et al., 2013).

شاخص‌های تعیین نسبت پوشش گیاهی و نواحی ساخته شده و همچنین سنجه‌های سیمای سرزمین، تأثیر ترکیب‌بندی حوزه‌های آماری و پیکربندی نواحی ساخته شده بر دمای سطحی تحلیل شد و در پایان تأثیر تراکم ساختمانی و ریزدانی نواحی ساخته شده ناحیه کلان‌شهری شیراز در هر حوزه آماری بر پدیده جزایر سرد در این کلان‌شهر بررسی شد. رابطه میان متغیرهای ذکر شده با دمای سطحی و جزایر سرد شهری از طریق تحلیل رگرسیون خطی میان هر کدام از متغیرهای مستقل به طور جداگانه با متغیر وابسته یعنی دمای سطحی صورت گرفت.

۱.۲. ناحیه مورد مطالعه

طبق آخرین سرشماری مرکز آمار ایران، شیراز، پنجمین شهر بزرگ ایران از نظر جمعیت به همراه شهر صدرا و روستای اطراف خود یک میلیون و ۸۶۰ هزار نفر را در خود جای می‌دهد. نرخ رشد سالانه جمعیت این ناحیه کلان‌شهری طی ۳۰ سال اخیر ۲/۰۴ درصد بوده است. درحالی‌که ۹۳ درصد از این جمعیت در مناطق شهری زندگی می‌کنند.

شهر شیراز، مهم‌ترین مرکز اقتصادی، جمعیتی و سیاسی جنوب کشور بر سر راه‌های ترانزیتی کشور قرار گرفته و رشد بیش‌ازپیش آن طی سال‌های آینده امری حتمی است. آب‌وهوای این شهر طبق طبقه‌بندی آب و هوایی کوپن به‌طور کلی به‌عنوان آب‌وهوای نیمه گرم و خشک شناخته می‌شود (Peel et al., 2007). میانگین دمای آن در فصل تابستان ۳۸/۸ درجه سانتی‌گراد است. اگرچه به دلیل ویژگی خاص اکولوژیکی این شهر همچون کوه‌های رشته‌کوه زاگرس و دریاچه مهارلو، زمستان این شهر معمولاً سرد است. ارتفاع این شهر نیز در شرقی‌ترین نقطه آن ۱۴۸۸ متر بالاتر از سطح دریا و در شمال غربی این شهر به ۱۷۰۰ متر نیز می‌رسد (شکل ۱).

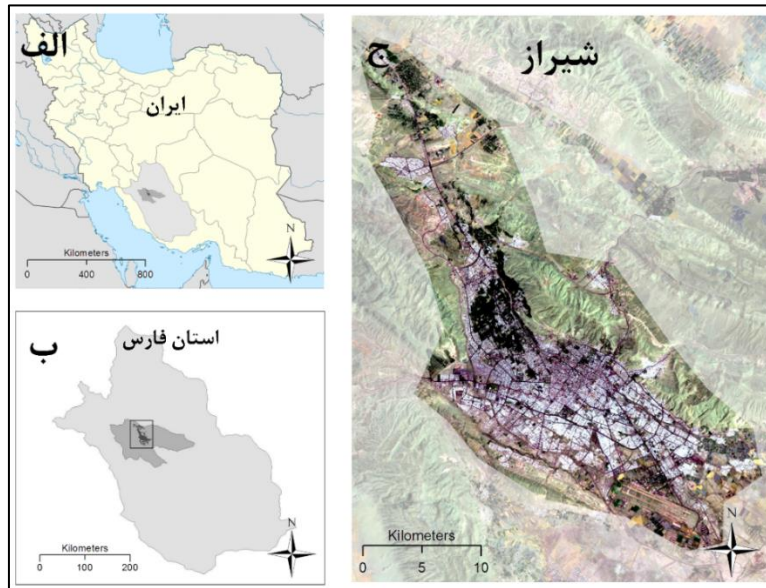
با دیگر لکه‌ها از جمله پوشش گیاهی است؛ پوشش‌هایی که در کاهش دمای سطحی نواحی معتدل تأثیر به‌سزایی دارند.

اما در مقابل با این‌که درباره تأثیر قابل توجه گسترش شهرها بر کاهش دمای سطحی مناطق گرم و خشک‌تر تأکید شده است، با این حال درباره تأثیر شکل «لکه‌های شهری» و پیچیدگی شکل آن‌ها بر پدیده جزایر سرد شهری غفلت شده است. به‌علاوه مسئله دیگری که حتی در مطالعات جزایر حرارتی نیز تا حدودی نادیده گرفته شده است مسئله تراکم ساختمانی و همچنین ریزدانی ساختمان‌ها و تأثیر آن‌ها بر دمای سطحی است. مطالعات گذشته تأثیر مثبت افزایش تراکم ساختمانی یا ضریب سطح اشغال ساختمان‌ها بر دمای سطحی را تا حدودی ثبت کرده‌اند (Dugord et al., 2014) اما تأثیر اندازه زمین‌های تفکیکی ساختمان‌ها بر پدیده جزایر حرارتی و سرد شهری تاکنون توجه پژوهشی را به خود جلب نکرده است. به‌ویژه در شهرهای همچون شیراز که بافت‌های شهری مربوط به دوره‌های مختلف تاریخی هستند و هر دوره ضوابط خاص خود را در تفکیک زمین‌های شهری برای ساخت‌وساز داشته است، پدیده تأثیر اندازه واحدهای ساختمانی بر دمای سطحی را می‌توان اندازه‌گیری کرد.

بنابراین این پژوهش دو هدف کلی دارد. نخست با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین تأثیر پیچیدگی شکل لکه‌های شهری را بر دمای سطحی ناحیه کلان‌شهری شیراز ارزیابی کرده و سپس اثر افزایش تراکم ساختمانی و ریزدانی را بر تشدید پدیده جزایر سرد شهری این ناحیه کلان‌شهری مطالعه می‌کند.

۲. مواد و روش بررسی

فرایند این پژوهش سه مرحله کلی داشته است. نخست پس از تعیین دمای سطحی شهر شیراز در سال ۱۳۹۰، وضعیت تشدید جزایر سرد این ناحیه کلان‌شهری که بیش از ۵۰۰ حوزه آماری دارد بررسی شد. سپس با استفاده از



شکل ۱. الف. استان فارس در کشور ایران؛ ب. شهرستان شیراز در استان فارس؛ ج. شهر شیراز.

۲.۲. داده‌ها و فرایند پردازش تصاویر

به منظور بررسی پدیده جزایر سرد در شهر شیراز از ۴ تصویر ماهواره‌ای مختلف در سال ۱۳۹۰ که هر کدام مربوط به یک فصل از سال است استفاده شد. تصاویر ماهواره‌ای در تاریخ‌های ۸ فروردین، ۲۷ تیر، ۳۰ مهر و ۱۷ دی ۱۳۹۰ توسط سنجنده Landsat 5 TM به ثبت رسیده‌اند. تصاویر سنجنده‌های لندست در وبسایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS) قابل دریافت است. تصاویر ماهواره‌ای همچنین به دو طبقه کلی کاربری شهری و کاربری غیرشهری طبقه‌بندی شدند. اگرچه برای بررسی تأثیر سازمان شهری بر دمای سطحی شهر شیراز تنها از تصویر مربوط به تابستان سال ۱۳۹۰ استفاده شد. دلیل آن نیز به حداکثر رسیدن پدیده جزایر سرد شهری در فصل تابستان است (Imhoff et al., 2010, Rasul et al., 2016). این تصاویر بعد از تصحیح‌های هندسی و رادیومتری با نقشه حوزه‌های آماری ناحیه کلان‌شهری شیراز که از مرکز آمار تهیه شده است ترکیب شد تا بتوان عوامل اثرگذار بر میانگین دمای سطحی هر حوزه آماری کلان‌شهر شیراز را مطالعه کرد. انتخاب سال ۱۳۹۰ نیز از آن جهت بوده است که آخرین اطلاعات دریافت‌شده از

مرکز آمار ایران مربوط به سرشماری سال ۱۳۹۰ است. سرشماری ناحیه کلان‌شهری شیراز در سال ۱۳۹۰ بیش از ۵۰۰ حوزه آماری را در بر می‌گرفت. بنابراین متغیرهای مستقل در این مطالعه سنج‌های سیمای سرزمین، تراکم ساختمانی و ریزدانی برای بیش از ۵۰۰ حوزه آماری است. در مقابل متغیر وابسته نیز میانگین دمای سطحی این حوزه‌ها در سال ۱۳۹۰ است.

۳.۲. بازیابی دمای سطحی

باند شماره ۶ تصویر لندست ۵ که به نام باند گرمایی شناخته می‌شود برای استخراج دمای سطحی استفاده شد. نخست برای استخراج دمای سطحی، ارزش‌های رقومی (DN) به مقادیر تابشی تبدیل شد (رابطه ۱) تا تابش بالای اتمسفر به دست آید (Chander & Markham, 2003):

(۱)

$$L_{\lambda} = \frac{L_{Max,\lambda} - L_{Min,\lambda}}{Q_{Cal,Max} - Q_{Cal,Min}} \cdot (Q_{Cal} - Q_{Cal,Min}) + L_{Min,\lambda}$$

که در آن L_{λ} تابش طیفی دهانه حس گر یا تابش بالای اتمسفر برحسب $(W/m^2.sr.\mu m)$ ؛ Q_{Cal} مقدار پیکسل کالیبره شده در شماره‌های دیجیتال؛ $Q_{Cal,Min}$ و $Q_{Cal,Max}$ به ترتیب حداقل و حداکثر مقدار پیکسل‌های کالیبره شده در

کالیبره شده که به ترتیب با مقادیر $۶۰۷/۷۶$ و $۱۲۶۰/۵۶$ هستند (Sheng et al., 2017) و L_T رادیانس جسمی سیاه در دمای جنبشی است. نقشه نهایی از دمای سطحی به کلون در نهایت تبدیل به سلسیوس شد.

۴.۲. شدت جزایر سرد شهری

به منظور نشان دادن تشدید پدیده جزایر سرد سطحی معمولاً دمای نواحی شهری با دمای مناطق اطراف شهر مقایسه می‌شود (Yao et al., 2017)، اگرچه روش مشخص و ثابتی برای این منظور وجود ندارد (Rasul et al., 2015). برای نمایش شدت جزایر سرد شهری، با استفاده از رابطه (۶) تفاوت دمای نواحی ساخته شده با دمای یک حائل ۱۰ کیلومتری از مناطق اطراف شهر که نواحی ساخته شده را در بر نمی‌گیرد محاسبه می‌شود (Clinton & Gong, 2013):

$$SUCH = \Delta LST_{rural} - \Delta LST_{urban} \quad (6)$$

جایی که $SUCH$ شدت جزایر سرد سطحی شهری، ΔLST_{rural} متوسط دمای سطحی حائل ۱۰ کیلومتری و ΔLST_{urban} متوسط دمای سطحی نواحی ساخته شده است.

۵.۲. شاخص‌های تحلیل اثر سازمان شهری بر دمای

سطحی

سازمان شهری در حقیقت چگونگی ترکیب کاربری‌های مختلف از جمله پوشش گیاهی و نواحی ساخته شده و همچنین نحوه پیکربندی و شکل این نواحی ساخته شده است. اثر ترکیب بندی کاربری‌ها با استفاده از دو شاخص $NDVI$ و $NDBI$ که به ترتیب نسبت کاربری پوشش گیاهی و نواحی ساخته شده از یک ناحیه را محاسبه می‌کنند بررسی شد. از این طریق می‌توان اثر دو کاربری شاخصی که در مطالعات گذشته در تعیین دمای سطحی بیشترین اثر را داشته‌اند بررسی کرد (Chen et al., 2006). از طرف دیگر اثر پیکربندی نواحی شهری بر تشدید جزایر سرد شهری از طریق سنج‌های سیمای سرزمین محاسبه شد. تعداد

تصویر و $L_{Min\lambda}$ و $L_{Max\lambda}$ مقادیر حداقل و حداکثر رادیانس تابشی است.

سپس تابش خروجی سطح از رادیانس طیفی محاسبه شده در مرحله قبل با استفاده از رابطه (۲) استخراج شد (Sobrin et al., 2004):

$$L_{TOA} = \tau \varepsilon L_T + L_U + (1 - \varepsilon) L_d \quad (2)$$

که در آن L_{TOA} رادیانس بالای اتمسفر؛ τ مجموع انتقال میان سطح و حس گر؛ ε ، گسیل سطحی؛ L_T رادیانس یک جسم سیاه در دمای جنبشی T و L_U و L_d به ترتیب رادیانس جوی صعودی و نزولی است. انتقال اتمسفری و رادیانس جوی صعودی و نزولی با استفاده از ابزار آنالین «محاسبه گر پارامتر تصحیح جوی» به دست آمد (Barsi et al., 2005, Barsi et al., 2003). گسیل سطحی نیز با استفاده از روش آستانه شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی ($NDVI$) محاسبه شد. مطابق با این روش، آستانه‌های مشخصی از $NDVI$ استفاده شد تا پیکسل‌های خاک ($NDVI < NDVI_S$)، پیکسل‌های پوشش گیاهی ($NDVI > NDVI_V$) و پیکسل‌های مشترک ($NDVI_S \leq NDVI \leq NDVI_V$) از یکدیگر تشخیص داده شوند ($NDVI_S = 0/2$ و $NDVI_V = 0/5$) (Keramitsoglou et al., 2011). در مجموع گسیل سطحی با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می‌شود (Sobrin et al., 2008):

$$\varepsilon = \varepsilon_v P_v + \varepsilon_s (1 - P_v) + d\varepsilon \quad (3)$$

که در آن ε_v گسیل پوشش گیاهی، ε_s گسیل خاک و P_v نسبت پوشش گیاهی است که با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$P_v = \left[\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right]^2 \quad (4)$$

که در آن $NDVI_{min} = 0/2$ و $NDVI_{max} = 0/5$ است.

در نهایت تابش خروجی سطح با فرض اینکه سطح کره زمین همچون جسمی سیاه است با استفاده از رابطه (۵) تبدیل به دمای سطحی شد (Tran et al., 2017):

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{T} + 1\right)} \quad (5)$$

که در آن T ، دمای روشنایی به کلون؛ K_1 و K_2 ثابت‌های

را از طریق محاسبه نسبت محیط به مساحت تکه‌ها یا لکه‌های شهری بررسی می‌کنند و DIVISION درجه تقسیم شدن این لکه‌های شهری را به تکه‌های جدا از هم محاسبه می‌کند. تأثیر وضعیت کالبدی ساختمان‌های نواحی شهری نیز از طریق بررسی دو ویژگی تراکم ساختمانی (Floor area ratio) و ریزدانی حوزه‌های آماری مطالعه شد (جدول ۱).

فراوانی از سنجه‌های سیمای سرزمین برای محاسبه پیکربندی وجود دارد، اما بسیاری از آن‌ها به دلایل مختلف نتایج مشابهی در اختیار پژوهشگران قرار می‌دهند. بنابراین انتخاب سه سنجه «شاخص شکل سیمای سرزمین» (LSI)، «شاخص بعد فرکتال» (FRAC) و «شاخص تقسیم سیمای سرزمین» (DIVISION) بر مبنای اهمیت نظری و عملی آن‌ها بوده است (Li et al., 2013, McGarigal et al., 2012). LSI و FRAC پیچیدگی شکل نواحی ساخته شده

جدول ۱. سنجه‌های سیمای سرزمین و شاخص‌های تحلیل تراکم ساختمانی و ریزدانی (عزیزی، ۱۳۸۸، Chen et al., 2006, McGarigal et al., 2012)

معادله	توضیح	شاخص	
$\frac{(\rho_{NIR} - \rho_R)}{(\rho_{NIR} + \rho_R)}$	شاخصی برای اندازه‌گیری فراوانی پوشش گیاهی در یک ناحیه. هرچه این شاخص به یک نزدیک شود میزان پوشش گیاهی بیشتر است. $-1 \leq NDVI \leq 1$	شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI)	ترکیب‌بندی کاربری‌ها
$\frac{(\rho_{SWIR1} - \rho_{NIR})}{(\rho_{SWIR1} + \rho_{NIR})}$	شاخصی برای اندازه‌گیری فراوانی نواحی ساخته شده در یک ناحیه. هرچه این شاخص به یک نزدیک شود میزان نواحی ساخته شده بیشتر است. $-1 \leq NDBI \leq 1$	شاخص نرمال شده تفاوت نواحی ساخته شده (NDBI)	
$\frac{0.25 \cdot \sum_{k=1}^m e_{jk}^*}{\sqrt{A}}$	کل طول لبه‌های یک لکه شهری بر مساحت آن. هرچه LSI افزایش پیدا کند شکل لکه شهری بی‌قاعده‌تر می‌شود. $1 \leq LSI \leq$	شاخص شکل سیمای سرزمین (LSI)	پیکربندی فضایی
$\frac{2 \ln(0.25 p_{ij})}{\ln a_{ij}}$	شاخصی برای اندازه‌گیری وضعیت تبعیت لکه‌های شهری از اشکال هندسی. هرچه شکل لکه‌های شهری پیچیده‌تر شود FRAC افزایش پیدا می‌کند. $2 \leq FRAC \leq 1$	شاخص بعد فرکتال (FRAC)	
$\left[1 - \sum_{j=1}^n \left(\frac{a_{ij}}{A} \right)^2 \right]$	شاخصی برای اندازه‌گیری تکه‌تکه شدن لکه‌های شهری. DIVISION چگونگی تقسیم شدن کاربری شهری را به تکه‌ها و لکه‌های جدا از هم بررسی می‌کند. $1 \leq DIVISION \leq 0$	شاخص تقسیم سیمای سرزمین (DIVISION)	
$\frac{n_i}{A} (10000)$	تعداد عرصه‌ها در هر هکتار. اگر LD افزایش پیدا کند به این معنی است که ریزدانی در حوزه آماری افزایش پیدا کرده است. $0 \leq LD \leq$	تراکم تعداد عرصه‌های جدا از هم در حوزه‌های آماری (LD)	ریزدانی
$\frac{\sum_{i=1}^m u a_i}{BA}$	مجموع زیربنای همه واحدهای یک ساختمان بر عرصه آن. افزایش FAR نشان‌دهنده افزایش تراکم ساختمانی است. $0 \leq FAR \leq$	ضریب سطح اشغال (FAR)	تراکم ساختمانی

ρ_{NIR} باند ۴ (نزدیک مادون قرمز)؛ ρ_R باند ۳ (قرمز)؛ ρ_{SWIR1} باند مادون قرمز رمز موج کوتاه)؛ a_i مساحت لکه شهری؛ A مساحت حوزه آماری؛ p_i نسبت مساحت کاربری شهری به کل حوزه آماری؛ e_{jk} محیط لکه‌های شهری در حوزه آماری؛ n_i تعداد عرصه‌ها در حوزه آماری؛ $u a_i$ مساحت زیربنای واحد ساختمانی؛ BA مساحت عرصه واحد ساختمانی

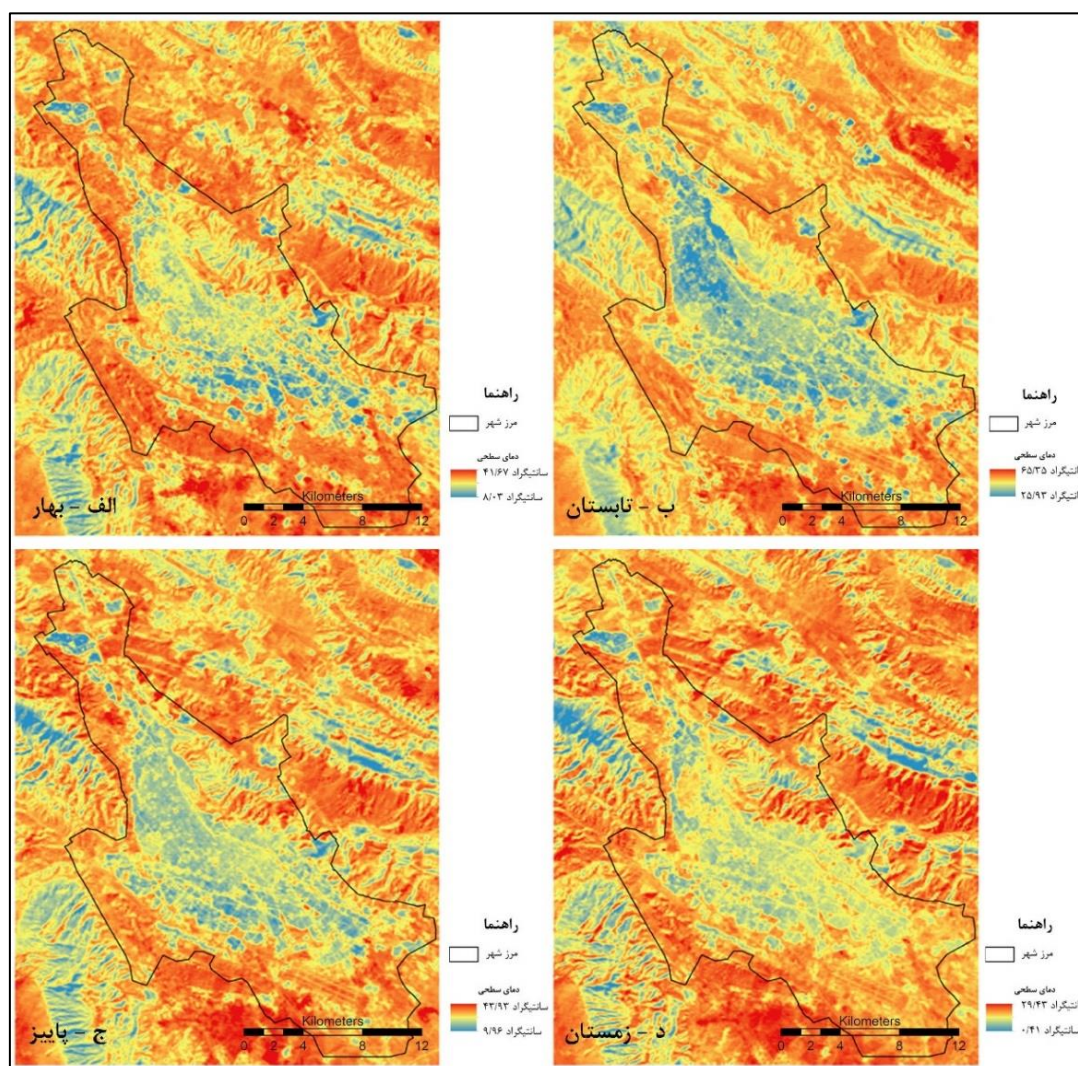
حالت به ۴۰/۴۹ درجه سانتی‌گراد در تابستان می‌رسد (شکل ۲).

بررسی شدت جزایر سرد شهری نیز نشان می‌دهد که این پدیده در تابستان بیش از دیگر فصول خود را نشان می‌دهد. درحالی‌که کمترین تفاوت دمایی را بین نواحی ساخته شده شهری و محیط پیرامون در فصل زمستان می‌توان دید (جدول ۲).

۳. نتایج و بحث

۱.۳. پدیده جزایر سطحی سرد شهری در فصول مختلف سال

بررسی دمای سطحی ناحیه کلان‌شهری شیراز در فصول مختلف سال نشان می‌دهد که دمای نواحی ساخته شده به مراتب پایین‌تر از اطراف شهر بوده است. میانگین دمای حائل ۱۰ کیلومتری پیرامون شیراز در بیشترین حالت به دمای ۴۷/۱۱ درجه سانتی‌گراد در تابستان رسیده است. درحالی‌که میانگین دمای نواحی ساخته شده در بیشترین



شکل ۲. الف. دمای سطحی شهر شیراز و اطراف آن در بهار سال ۱۳۹۰؛ ب. دمای سطحی شهر شیراز و اطراف آن در تابستان سال ۱۳۹۰؛ ج. دمای سطحی شهر شیراز و اطراف آن در پاییز سال ۱۳۹۰؛ د. دمای سطحی شهر شیراز و اطراف آن در زمستان سال ۱۳۹۰

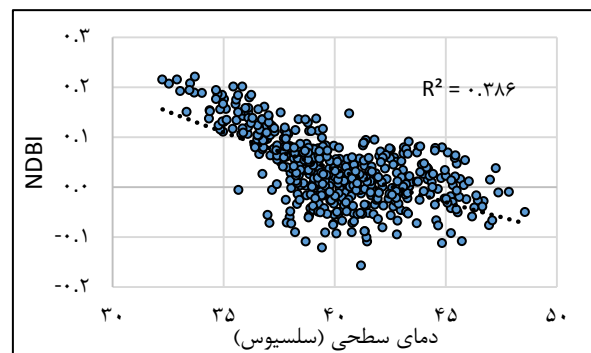
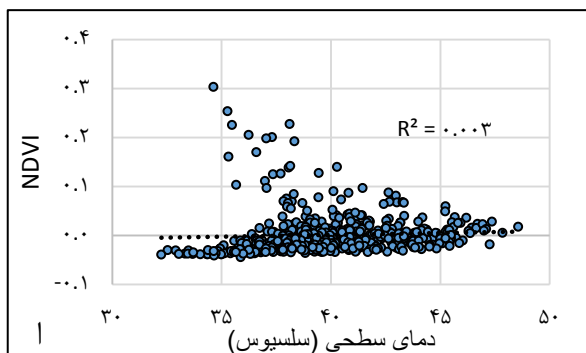
جدول ۲. دمای سطحی شهر شیراز و حائل ۱۰ کیلومتری پیرامون آن

شدت جزایر سرد شهری	متوسط	حداکثر	حداقل		
(سانتی‌گراد)	(سانتی‌گراد)	(سانتی‌گراد)	(سانتی‌گراد)		
۳/۴۹	۲۳	۴۱/۶۷	۸/۰۳	ناحیه شهری	بهار
	۲۶/۴۹	۴۱/۰۷	۹/۰۸	حائل ۱۰ کیلومتری	
۶/۶۲	۴۰/۴۹	۵۵/۵۸	۲۹/۱۰	ناحیه شهری	تابستان
	۴۷/۱۱	۶۵/۳۵	۲۵/۹۳	حائل ۱۰ کیلومتری	
۴/۵۹	۲۳/۹۹	۳۷/۶۵	۱۲/۵۵	ناحیه شهری	پاییز
	۲۸/۵۸	۴۳/۹۳	۹/۹۶	حائل ۱۰ کیلومتری	
۳/۴۲	۱۴/۱۹	۲۸/۹۱	۳/۲۶	ناحیه شهری	زمستان
	۱۷/۶۱	۲۹/۴۳	۰/۴۱	حائل ۱۰ کیلومتری	

NDVI آن‌ها بالاتر از ۰/۱ است. اگرچه در همین ۱۸ حوزه که عمدتاً حول باغات قصرالدشت شکل گرفته‌اند می‌توان مشاهده کرد که با کاهش شاخص NDVI دمای سطحی نیز افزایش پیدا کرده است. بنابراین می‌توان از مقدار $r=0/05$ شاخص NDVI این نتیجه را گرفت که عدم تأثیرگذاری پوشش گیاهی بر کاهش دمای سطحی در شهر شیراز ناشی از تجمع پوشش گیاهی این شهر در یک نقطه از شهر یعنی باغات قصرالدشت است.

۲.۳. تأثیر ترکیب‌بندی کاربری‌ها بر دمای سطحی

آنچه از نمودار (۱- الف) می‌توان دریافت این است که برخلاف مطالعات درباره جزایر حرارتی که در آن‌ها پوشش گیاهی تأثیر مثبتی بر کاهش دما می‌گذارد (Tran et al., 2006, Weng et al., 2004) در اینجا این تأثیر را نمی‌توان دید. اگرچه با دقت در نمودار مشخص است که بسیاری از حوزه‌های آماری شهر که دمای آن‌ها در شکل ۳ نمایش داده شده است پوشش گیاهی بسیار اندکی دارند. تنها تعداد معدودی حوزه آماری (۱۸ حوزه) مقدار شاخص



نمودار ۱. الف. نمودار نقطه‌ای رابطه دمای سطحی و شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی؛ ب. نمودار نقطه‌ای رابطه دمای سطحی و شاخص نرمال‌شده تفاوت نواحی ساخته شده

لکه شهری نیز به این معناست که این لکه در لبه‌های خود همسایگی بیشتری با دیگر لکه‌ها همچون پوشش‌های خاکی یا گیاهی داشته است. بنابراین این فرض که افزایش شهرنشینی در نواحی گرم و خشک موجب تشدید پدیده جزایر سطحی سرد شهری می‌شود به خوبی در شهر شیراز به نمایش درمی‌آید.

سنجه «شاخص تقسیم سیمای سرزمین» (DIVISION) درجه‌ای را که پوشش شهری به لکه‌های جدا از هم تقسیم شده است نشان می‌دهد. مقدار ضریب همبستگی این سنجه با میانگین دمای سطحی حوزه‌های آماری که برابر با $r=0/702$ است نشان می‌دهد که هرچه حوزه‌های آماری از پوشش‌های متنوع‌تری از پوشش‌های شهری و خاکی و غیره تشکیل شده باشد دمای سطحی آن نیز افزایش پیدا می‌کند (نمودار ۲-ج). بنابراین در مجموع سنجه‌های سیمای سرزمین نشان می‌دهند که هرچه حوزه‌های آماری به‌طور یکپارچه از نواحی ساخته شده شهری تشکیل شده باشند دمای سطحی آن‌ها کاهش پیدا خواهد کرد.

۴.۳. تأثیر کالبد واحدهای ساختمانی بر تشدید

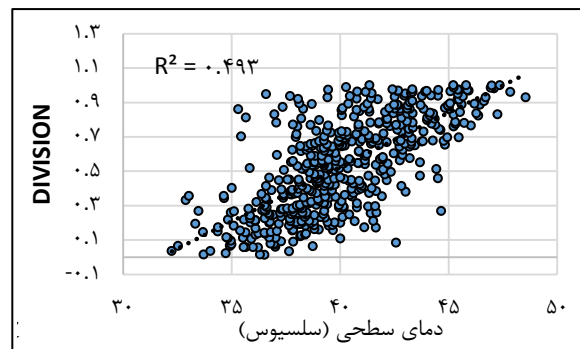
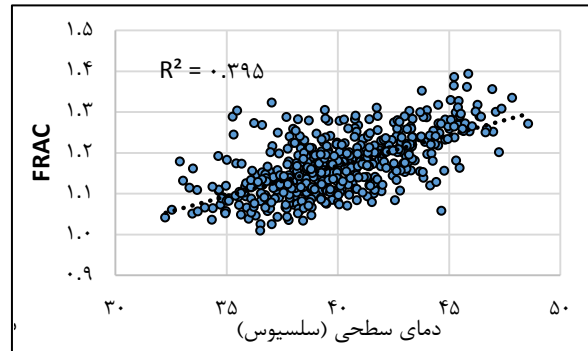
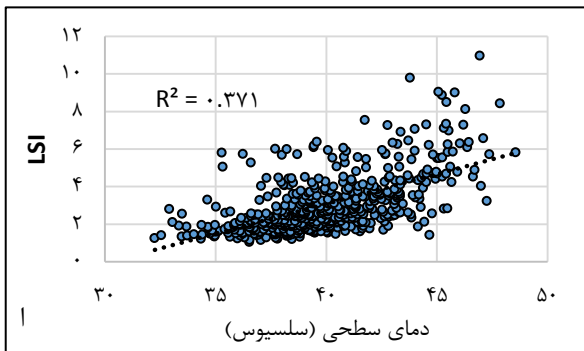
جزایر سطحی سرد شهری

مطالعات بسیاری نشان داده است مناطقی که آب‌وهوای معتدل‌تری دارند افزایش ارتفاع یا به‌عبارت‌دیگر افزایش تراکم ساختمانی موجب تشدید پدیده جزایر حرارتی سطحی شده است. اما این مسئله برای شهرهایی که در نواحی گرم و خشک‌تر قرار دارند به اندازه کافی مطالعه نشده است. بنابراین در این پژوهش از شاخص FAR استفاده شد تا بتوان تأثیر میزان استفاده از زمین را بر دمای سطحی نشان داد. همان‌طور که از نمودار (۳-الف) مشخص است رابطه‌ای منفی میان افزایش تراکم ساختمانی و دمای سطحی وجود دارد. در واقع مقدار ضریب همبستگی $r=-0/336$ نشان می‌دهد که هرچه استفاده از زمین افزایش پیدا کرده است پدیده جزایر سطحی سرد شهری نیز تشدید شده است.

اما در مقابل شاخص NDBI با مقدار $r=-0/605$ نشان می‌دهد که هرچه سطح ساخته شده در حوزه‌های آماری بالاتر رفته است دمای سطحی پایین‌تر آمده است. این مدار به خوبی بیان‌کننده نقش تأثیرگذار نواحی ساخته شده یا همان ساختمان‌های شهری بر کاهش دمای سطحی است. بنابراین بررسی چگونگی این تأثیر می‌تواند علت این پدیده را بیشتر توضیح دهد. از این جهت این مقاله به دنبال بررسی نقش پیکربندی نواحی ساخته شده و همچنین تراکم ساختمانی و ابعاد ساختمان‌ها در به وجود آمدن پدیده جزایر سرد شهری بوده است.

۳.۳. تأثیر پیچیدگی شکل نواحی ساخته شده شهری بر دمای سطحی

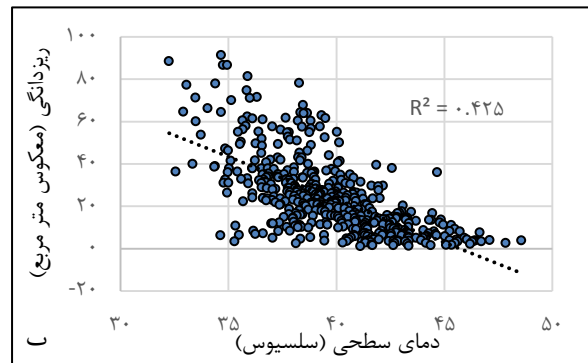
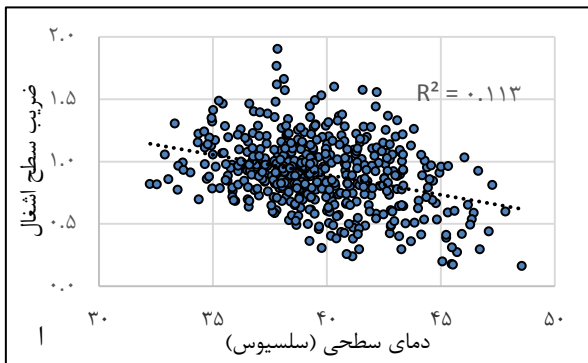
سه سنجه سیمای سرزمینی که در این مطالعه برای بررسی پیکربندی فضایی نواحی ساخته شده استفاده شد به‌طورکلی پیچیدگی و تکه‌تکه شدن لکه‌های شهری و غیرشهری را بررسی می‌کنند. سنجه «شاخص شکل سیمای سرزمین» (LSI) با اندازه $r=0/609$ نشان می‌دهد که هرچه نسبت محیط به مساحت لکه‌های شهری بیشتر شده است یا به‌عبارت‌دیگر هرچه پیچیدگی شکل این لکه‌ها بیشتر شده است میانگین دمای سطحی حوزه‌های آماری نیز افزایش یافته است (نمودار ۲-الف). اگرچه این سنجه به اندازه لکه‌های شهری حساس است. یعنی هرچه اندازه لکه یکپارچه شهری بزرگ‌تر شود سنجه LSI نیز افزایش پیدا می‌کند. اما در مقابل سنجه «شاخص بعد فرکتال» (FRAC) بی‌قاعدگی و پیچیدگی شکل لکه‌های شهری را فارغ از اندازه آن‌ها بررسی می‌کند. مقدار ضریب همبستگی بین FRAC و میانگین دمای سطحی حوزه‌های آماری $0/628$ شد و این نشان می‌دهد که مشابه با LSI هرچه پیچیدگی شکل لکه‌های شهری افزایش می‌یابد یا به‌عبارت‌دیگر هرچه شکل لکه‌های شهری از اشکال هندسی فاصله می‌گیرد دمای سطحی حوزه‌های آماری افزایش پیدا می‌کند (نمودار ۲-ب). افزایش پیچیدگی یک



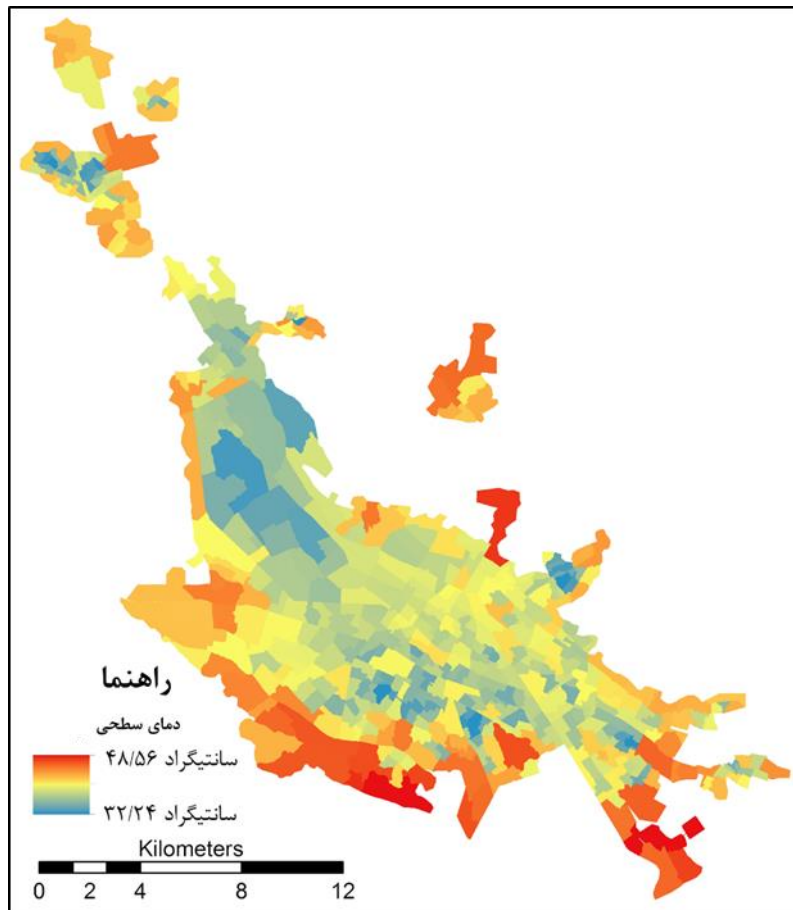
نمودار ۲. الف. نمودار نقطه‌ای رابطه دمای سطحی و سنجه شاخص شکل سیمای سرزمین؛ ب. نمودار نقطه‌ای رابطه دمای سطحی و شاخص بعد فرکتال؛ ج. نمودار نقطه‌ای رابطه دمای سطحی و شاخص تقسیم سیمای سرزمین

همسایگی بر دمای سطحی بوده است. مقدار شاخصی که در این پژوهش برای مطالعه ریزدانگی ناحیه کلان‌شهری شیراز انتخاب شده است با اندازه $r = -0/651$ نشان می‌دهد که هرچه اندازه عرصه‌ها در یک حوزه آماری کاهش پیدا کرده است دمای سطحی نیز کاهش پیدا کرده است یا به عبارت دیگر پدیده جزایر سرد شهری تشدید شده است (نمودار ۳-ب). این مسئله را به خوبی می‌توان در بافت‌های فرسوده‌تر شیراز که اندازه زمین‌های تفکیک‌شده آن‌ها به مراتب کوچک‌تر از بافت‌های میانی شهر است مشاهده کرد. در حقیقت افزایش ریزدانگی به معنی فشردگی بیشتر واحدهای ساختمانی در یک حوزه آماری است و فشردگی بیشتر به معنی تنوع کمتر پوشش‌های زمین و پیچیدگی کمتر شکل ناحیه ساخته شده یک حوزه آماری است. به گونه‌ای که در نهایت موجب پایین آمدن دمای سطحی حوزه آماری می‌شود.

اگرچه از آنجایی که بسیاری از ساختمان‌های بلندمرتبه شهر در مجتمع‌های آپارتمانی قرار دارند و در مجتمع‌های آپارتمانی نیز ساختمان‌ها فاصله قابل توجهی از هم دارند تأثیر شاخص تراکم ساختمانی بر دمای سطحی کمتر شده است. به عبارت دیگر همان‌طور که از سنجه DIVISION مشخص شد افزایش تنوع کاربری‌ها یا به عبارت دیگر پوشش‌های زمین در یک حوزه آماری موجب افزایش دمای سطحی می‌شود. بنابراین هرچه یک حوزه آماری فشرده‌تر و مرتفع‌تر باشد دما نیز کاهش خواهد داشت و تأثیر تراکم ساختمانی بر تشدید پدیده جزایر سرد شهری بیشتر خواهد شد. اما برخلاف تراکم ساختمانی، تاکنون مطالعه‌ای در رابطه با تأثیر اندازه زمین ساختمان‌ها یا همان عرصه بر دمای سطحی در سطح یک ناحیه کلان‌شهری صورت نگرفته است. در واقع مطالعات در این رابطه عمدتاً پیرامون بررسی تأثیر اندازه ساختمان‌های یک محله یا واحد



نمودار ۳. الف. نمودار نقطه‌ای رابطه‌ی دمای سطحی و افزایش تراکم ساختمانی؛ ب. نمودار نقطه‌ای رابطه‌ی دمای سطحی و افزایش ریزدانی



شکل ۳. میانگین دمای سطحی حوزه‌های آماری شیراز

است. از طرف دیگر یکپارچگی شکل این نواحی ساخته شده که در حقیقت به معنی عدم پیچیدگی شکل آن‌ها است عامل تأثیرگذار دیگری بر این پدیده است. از همین رو است که محلات متراکم و بعضاً مسئله‌دار شهر که مملو از واحدهای ساختمانی فشرده و با متراژ پایین هستند

آنچه که از نتایج پژوهش به خوبی مشخص می‌شود این است که نقش ناحیه ساخته شده بر تشدید پدیده جزایر سرد شهری شیراز کتمان‌ناپذیر است. در چنین وضعیتی هرچه این نواحی ساخته شده فشرده‌تر و مرتفع‌تر شکل گرفتند دمای سطح کلان‌شهر شیراز نیز پایین‌تر آمده

نوع پوشش زمین و همچنین سنجه‌های سیمای سرزمین تأثیر ترکیب‌بندی کاربری‌ها و پیچیدگی شکل لکه‌های شهری و تقسیم شدن آن‌ها به تکه‌های جدا از هم بر دمای سطحی تحلیل شد. در ادامه پس از مشخص شدن تأثیر غیرقابل‌انکار سطح ساخته شده بر کاهش دمای سطحی، با استفاده از محاسبه تراکم ساختمانی و ریزدانگی حوزه‌های آماری چگونگی تأثیر آن سطح ساخته بر تشدید پدیده جزایر سرد شهری بررسی شد.

نتایج پژوهش نشان داد که جزایر سطحی سرد شهری در ناحیه کلان‌شهری شیراز به‌طور چشمگیری متأثر از نحوه گسترش نواحی ساخته شده شهری است. محاسبه شاخص‌های NDBI نشان داد که در حوزه‌های آماری هرچه سطح ساخته شده افزایش یافته است دمای سطحی کاهش پیدا کرده است. مقدار شاخص NDVI هم اگرچه نشان‌گر عدم تأثیر پوشش گیاهی بر کاهش دمای سطحی بود اما دلیل آن تجمع پوشش گیاهی شهر شیراز در یک ناحیه به نام باغات قصرالدشت است. تحلیل سنجه‌های سیمای سرزمین نیز نشان می‌دهد که هرچه گسترش نواحی شهری به‌طور بی‌قاعده‌تری افزایش یافته دمای سطحی نیز افزایش یافته است. به‌عبارت‌دیگر پیچیدگی گسترش نواحی شهری و فاصله گرفتن شکل آن‌ها از اشکال هندسی موجب افزایش دمای سطحی شده است. پیچیدگی شکل نواحی شهری به معنی همسایگی بیشتر نواحی شهری با دیگر پوشش‌ها همچون پوشش خاکی است. به‌علاوه سنجه DIVISION نیز نشان داد که هرچه نواحی شهری به تکه‌های جدا از هم تقسیم شدند دمای سطحی نیز افزایش یافت. این شاخص نشان می‌دهد که هرچه حوزه‌های آماری از پوشش‌های غیرشهری بیشتری تشکیل شده تأثیر پدیده جزایر سرد شهری نیز کاهش پیدا کرده است. در مجموع بررسی این سنجه‌ها نشان داد که اگر درصد بیشتری از حوزه‌های آماری شیراز از پوشش‌های شهری تشکیل شود، دمای سطح زمین در نواحی نیمه‌گرم و خشکی مثل ناحیه کلان‌شهری شیراز افزایش خواهد یافت.

کمترین دمای سطحی ممکن را از خود نشان می‌دهد. مثال بارز چنین محلاتی محله سعیدی است. از طرف دیگر محلات با تراکم ساختمانی بالا که عمدتاً جزو محلات جدید و بعضاً گران‌قیمت شهر دسته‌بندی می‌شوند هم در تشدید پدیده جزایر سرد شهری شریک بوده‌اند. محله معالی‌آباد و شهرک گلستان مثال روشنی از این وضعیت است.

اما بالاترین دماهای سطحی کلان‌شهر مربوط به حوزه‌های آماری حاشیه‌ای شهر است. جایی که بیشترین پیچیدگی شکل نواحی ساخته شده و بیشترین کاربری غیرشهری همچون زمین‌های بایر را می‌توان دید. به‌عبارت‌دیگر در این حوزه‌ها لبه‌های نواحی ساخته شده بیش از هر جای دیگری شکلی بی‌قاعده دارند و همچنین تنوع پوشش زمین آن‌ها نیز به مراتب بیشتر است. بنابراین مطابق با آنچه که با سنجه‌های سیمای سرزمین به اثبات رسید، این افزایش پیچیدگی و تنوع ترکیب‌بندی زمین در نهایت موجب شده تا دمای سطحی این حوزه‌ها حداکثر شود.

بنابراین در نهایت به نظر می‌رسد در یک حوزه آماری یا محله شهر شیراز با حذف زمین‌های بایر و افزایش پوشش گیاهی و همچنین ساختن واحدهای ساختمانی با مترای پایین‌تر و ارتفاع بیش‌تر می‌توان پدیده جزایر سطحی سرد شهری را به حداکثر رساند.

۴. نتیجه‌گیری

در این پژوهش تأثیر ترکیب‌بندی کاربری ناحیه ساخته شده و پوشش گیاهی و همچنین پیکربندی، ریزدانگی و تراکم ساختمانی نواحی ساخته شده در هر حوزه آماری که نماینده یک محله شهر شیراز است بر تشدید پدیده جزایر سطحی سرد شهری در شهر شیراز بررسی شد. بدین منظور نخست با استفاده از باندهای تصاویر ماهواره‌ای سنجنده لندست دمای سطحی ناحیه شهری شیراز در سال ۱۳۹۰ استخراج شد. سپس با استفاده از شاخص‌های تعیین

تفکیک شده کوچک‌تر شده است دمای سطحی نیز افزایش پیدا کرده است.

در نهایت می‌توان گفت هرچه زمین‌های تفکیکی برای ساختمان‌سازی کوچک‌تر شود و تراکم ساختمانی آن‌ها افزایش پیدا کند و همچنین بیشتر مساحت حوزه‌ها یا محله‌های شهری از کاربری شهری تشکیل شود تا دیگر پوشش‌ها، دمای سطحی کاهش پیدا می‌کند و در نتیجه پدیده جزایر سرد شهری تشدید خواهد شد. به بیان دیگر با این‌که افزایش شهرنشینی تأثیر به‌سزایی در پایین آمدن دمای سطحی دارد اما هرچه این شهرنشینی با تراکم بیشتری و در سطح کمتری صورت پذیرد پدیده جزایر سرد شهری نیز تشدید می‌شود.

بررسی وضعیت ریزدانگی و تراکم ساختمانی حوزه‌های آماری نشان می‌دهد که ارتفاع ساختمان‌ها و ابعاد زمین آن‌ها نیز بر دمای سطحی تأثیرگذار است. شاخص FAR که درجه اشغال یا استفاده از یک زمین توسط یک ساختمان را نشان می‌دهد شاخص خوبی برای تحلیل تأثیر ارتفاع بر دمای سطحی است. این شاخص نشان داد که هرچه ارتفاع ساختمان‌ها یا میزان استفاده از زمین توسط آن‌ها افزایش پیدا کرده است بر تشدید پدیده جزایر سرد شهری به مقداری نه‌چندان زیاد اثر گذاشته است. یا به عبارت دیگر افزایش تراکم ساختمانی موجب کاهش دمای سطحی در نواحی نیمه‌گرم و خشک همچون کلان‌شهر شیراز می‌شود. همچنین بررسی ریزدانگی حوزه‌های آماری نشان داد که هرچه اندازه زمین‌های

منابع

- آبادی، ع. ر. س.، بیدختی، ع. ع. ا. و حسینی، س. ع. ص. ۱۳۸۵. آثار جزیره گرمایی و شهرنشینی روی وضع هوا و اقلیم محلی در کلان شهر تهران. محیط شناسی، ۳۲ (۳۹): ۶۸-۵۹.
- عزیزی، م. م. ۱۳۸۸. تراکم در شهرسازی: اصول و معیارهای تعیین تراکم شهری، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- هاشمی، س. م.، علوی پناه، س. ک. و دیناروندی، م. ۱۳۹۲. ارزیابی توزیع مکانی دمای سطح زمین در محیط زیست شهری با کاربرد سنجش از دور حرارتی. محیط شناسی، ۳۹ (۱): ۸۱-۹۲.
- Barsi, J.A., Barker, J.L. and Schott J.R. 2003. An atmospheric correction parameter calculator for a single thermal band earth-sensing instrument. Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2003. IGARSS'03. Proceedings. 2003 IEEE International.
- Barsi, J.A., Schott, J.R. Palluconi, F.D. and Hook S.J. 2005. Validation of a web-based atmospheric correction tool for single thermal band instruments. Proc. SPIE.
- Carnahan, W.H. and Larson, R.C. 1990. An analysis of an urban heat sink. Remote sensing of Environment 33 (1): 65-71.
- Chander, G. and Markham, B. 2003. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. IEEE Transactions on geoscience and remote sensing 41 (11): 2674-2677.
- Chen, Y.C., Chiu, H.W., Su, Y.F., Wu, Y.C. and Cheng, K.S. 2017. Does urbanization increase diurnal land surface temperature variation? Evidence and implications. Landscape and Urban Planning 157: 247-258.
- Chen, X.L., Zhao, H.M., Li, P.X. and Yin Z.Y. 2006. Remote Sensing Image-Based Analysis of the Relationship between Urban Heat Island and Land Use/covers Changes. Remote Sensing of Environment 104 (2): 133-46.
- Clinton, N. and Gong P. 2013. MODIS detected surface urban heat islands and sinks: Global locations and controls. Remote Sensing of Environment 134: 294-304.

- Connors, J.P., Galletti, C.S. and Chow, W.T.L. 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.
- Dihkan, M., Karsli, F., Guneroglu, A. and Guneroglu, N. 2015. Evaluation of surface urban heat island (SUHI) effect on coastal zone: The case of Istanbul Megacity. *Ocean & Coastal Management* 118: 309-316.
- Dugord, P.A., Lauf, S., Schuster C. and Kleinschmit, B. 2014. Land use patterns, temperature distribution, and potential heat stress risk—the case study Berlin, Germany. *Computers, Environment and Urban Systems* 48: 86-98.
- Ewing, R. 1997. Is Los Angeles-style sprawl desirable? *Journal of the American planning association* 63 (1): 107-126.
- Fan, C., Myint, S.W., Kaplan, S., Middel, A., Zheng, B., Rahman, A., Huang, H.P., Brazel, A. and Blumberg, D.G. 2017. Understanding the Impact of Urbanization on Surface Urban Heat Islands—A Longitudinal Analysis of the Oasis Effect in Subtropical Desert Cities. *Remote Sensing* 9 (7): 672.
- Frey, C.M, Rigo, G. and Parlow, E. 2005. Investigation of the daily Urban Cooling Island (UCI) in two coastal cities in an arid environment: Dubai and Abu Dhabi (UAE). *City* 81 (2):21-26.
- Grimm, N.B., Faeth, S.H., Golubiewski, N.E., Redman, C.L., Wu, J., Bai, X. and Briggs, J.M. 2008. Global change and the ecology of cities. *science* 319 (5864): 756-760.
- Haashemi, S., Weng, Q., Darvishi, A. and Alavipanah, S.K. 2016. Seasonal variations of the surface urban heat island in a semi-arid city. *Remote Sensing* 8 (4): 352.
- Imhoff, M.L., Zhang P., Wolfe R.E. and Bounoua, L. 2010. Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA. *Remote sensing of environment* 114 (3): 504-513.
- Ji, W., Ma, J., Twibell, R.W. and Underhill, K. 2006. Characterizing urban sprawl using multi-stage remote sensing images and landscape metrics. *Computers, Environment and Urban Systems* 30 (6): 861-879.
- Keramitsoglou, I., Kiranoudis, C.T., Ceriola, G., Weng, Q. and Rajasekar, U. 2011. Identification and analysis of urban surface temperature patterns in Greater Athens, Greece, using MODIS imagery. *Remote Sensing of Environment* 115 (12): 3080-3090.
- Kikon, N., Singh, P., Singh, S.K. and Vyas, A. 2016. Assessment of Urban Heat Islands (UHI) of Noida City, India Using Multi-Temporal Satellite Data. *Sustainable Cities and Society* 22: 19–28.
- Lauwaet, D., De Ridder, K., Saeed, S., Brisson, E., Chatterjee, F., van Lipzig, NPM., Maiheu, B. and Hooyberghs, H. 2016. Assessing the current and future urban heat island of Brussels. *Urban Climate* 15 (1): 1-15.
- Lazzarini, M., Marpu, P.R. and 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.
- Li, X., Zhou, W. and Ouyang Z. 2013. Relationship between land surface temperature and spatial pattern of greenspace: What are the effects of spatial resolution? *Landscape and Urban Planning* 114: 1-8.
- McGarigal, K., Cushman, SA. and Ene, E. 2012. Spatial pattern analysis program for categorical and continuous maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. FRAGSTATS v4. See <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>.
- Nassar, A.K., Blackburn, G.A. and Whyatt, J.D. 2017. What controls the magnitude of the daytime heat sink in a desert city? *Applied Geography* 80: 1-14.

- Peel, M.C., Finlayson, B.L. and McMahon, T.A. 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and earth system sciences discussions* 4 (2): 439-473.
- Rahman, A., Aggarwal, S.P., Netzband, M. and Fazal, Sh. 2011. Monitoring urban sprawl using remote sensing and GIS techniques of a fast growing urban centre, India. *IEEE Journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing* 4 (1): 56-64.
- Rasul, A., Balzter, H. and Smith, C. 2015. Spatial variation of the daytime surface urban cool island during the dry season in Erbil, Iraq. *Urban Climate* 14:176-186.
- Rasul, A., Balzter, H. and Smith, C. 2016. Diurnal and seasonal variation of surface urban cool and heat islands in the semi-arid city of Erbil, Iraq. *Climate* 4 (3): 42.
- Rasul, A., Balzter, H., Smith, C., Remedios, J., Adamu, B., Sobrino, J.A., Srivani, M. and Weng, Q. 2017. A Review on Remote Sensing of Urban Heat and Cool Islands. *Land* 6 (2): 38.
- Santamouris, M., Cartalis, C., Synnefa, A. and Kolokotsa, D. 2015. On the impact of urban heat island and global warming on the power demand and electricity consumption of buildings—A review. *Energy and Buildings* 98: 119-124.
- Sheng, L., Tang, X., You, H., Gu, Q. and Hu, H. 2017. Comparison of the urban heat island intensity quantified by using air temperature and Landsat land surface temperature in Hangzhou, China. *Ecological Indicators* 72: 738-746.
- Sobrino, A.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.
- Sobrino, J.A., Jiménez-Muñoz, J.C., Soria, G., Romaguera, M., Guanter, L., Moreno, J., Plaza, A. and Martínez, P. 2008. Land surface emissivity retrieval from different VNIR and TIR sensors. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 46 (2): 316-327.
- Taheri Shahraiyini, H., Sodoudi, S., El-Zafarany, A., Abou El Seoud, T., Ashraf, H. and Krone, K. 2016. A Comprehensive statistical study on daytime surface urban heat island during summer in urban areas, Case Study: Cairo and Its New Towns. *Remote Sensing* 8 (8): 643.
- Tran, H., Uchihama, D., Ochi, Sh. and Yasuoka, Y. 2006. Assessment with satellite data of the urban heat island effects in asian mega cities. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 8 (1):34-48.
- Tran, D.X., Pla, F., Latorre-Carmona, P., Myint, S.W., Caetano, M. and Kieu, H.V. 2017. Characterizing the relationship between land use land cover change and land surface temperature. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 124: 119-132.
- 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., Lu, D. and Schubring, J. 2004. Estimation of Land Surface Temperature-vegetation Abundance Relationship for Urban Heat Island Studies. *Remote Sensing of Environment* 89 (4):467-83.
- Yao, R., Wang, L., Huang, X., Niu, Z., Liu, F. and Wang, Q. 2017. Temporal trends of surface urban heat islands and associated determinants in major Chinese cities. *Science of The Total Environment* 609: 742-754.
- Zhou, W., Huang, G. and Cadenasso, M.L. 2011. Does spatial configuration matter? Understanding the effects of land cover pattern on land surface temperature in urban landscapes. *Landscape and Urban Planning* 102 (1):54-63.