

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۰۹/۱۰

تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۵/۰۳/۳۱

ارمغان احمدی ونهری<sup>۱</sup>، علی غفاری<sup>۲</sup>، منصوره طاهباز<sup>۳</sup>

## تحولات کالبد شهر و بازتاب حرارتی آن بررسی موردی: اصفهان<sup>۴</sup>

### چکیده

گسترش شهرها و افزایش شهرنشینی تبعات بسیاری به همراه دارد. از آن جمله افزایش دمای بسیاری شهرها نسبت به حوزه‌های پیرامونی آنها است. این افزایش دما تبعاتی از تهدید سلامت شهروندان به دلیل افزایش تنش حرارتی و آلودگی گرفته تا بازتاب اقتصادی به دلیل افزایش نیاز به انرژی را دربر می‌گیرد و ضرورت تحقیق را پررنگ می‌نماید. طراحی شهری می‌تواند با ابزارهای متعدد از جمله کالبد شهری در تعدیل حرارتی غیرفعال تأثیرگذار باشد. این پژوهش با تأکید بر شاخص‌های طبیعی و کالبدی به ریشه‌یابی ارتباط آنها و حرارت پرداخته و به مقایسه سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۴ اصفهان می‌پردازد. هدف اصلی پژوهش نشان دادن ارتباط تحولات شهری و افزایش دمای سطح و دمای هوا است. مقایسه‌ها بر تنش حرارتی بازتاب شده از دمای سطح مبتنی است و شناسایی حوزه‌هایی با بیشترین تغییر دمای سطح و ریشه‌یابی علل آن در این پژوهش صورت گرفته است. به‌علاوه در مقایسه گرم‌ترین و خنک‌ترین حوزه‌ها از داده‌های برداشت شده میدانی نیز استفاده گردید. این تحقیقات تأثیر خشکسالی و کاهش سبزی‌نگی را هم بر دمای سطح و هم بر دمای هوا نشان می‌دهد و یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر دمای هوا را سایه‌اندازی‌ها و ضریب آسمان قابل رؤیت بر پایه محصوریت کالبدی و فضای سبز معرفی می‌نماید.

**کلیدواژه‌ها:** گرمایش شهری، جزیره حرارتی، تحولات کالبدی، طراحی شهری.

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری طراحی شهری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، استان تهران، شهر تهران (نویسنده مسئول مکاتبات)

E-mail: ar\_ahmadi@sbu.ac.ir

<sup>۲</sup> استاد گروه شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، استان تهران، شهر تهران

E-mail: a-ghaffari@sbu.ac.ir

<sup>۳</sup> دانشیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، استان تهران، شهر تهران

E-mail: m-tahbaz@sbu.ac.ir

<sup>۴</sup> این مقاله مستخرج از رساله دکتری ارمغان احمدی ونهری با عنوان «طراحی شهری کارا بر پایه ساختارهای سبز شهری» به راهنمایی دکتر علی غفاری و دکتر منصوره طاهباز و مشاوره دکتر بهرام صالح صدق‌پور و دکتر حسن تقوایی در دانشگاه شهید بهشتی است.

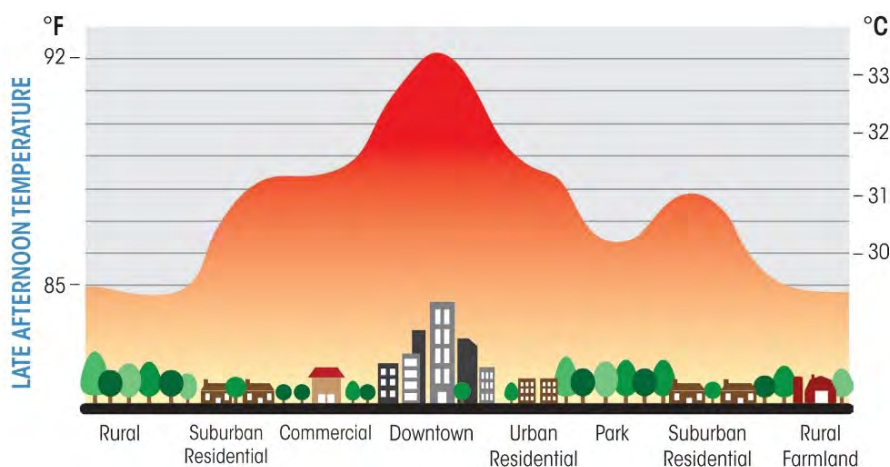
## مقدمه

شهرها همانند موجودات زنده در تغییر هستند و تحت تأثیر عوامل متعدد شکل جدیدی به خود می‌گیرند. این تغییرات تبعات بسیاری را نیز در پی دارد که از جمله آنها افزایش دمای شهرها است. در فرآیند شهرنشینی شاهد تبدیل پوشش‌های طبیعی به بافت شهری و افزایش دمای شهرها نسبت به محیط پیرامون هستیم، پدیده‌ای که به گرمایش شهری<sup>۱</sup> مشهور است. دمای بالا در محیط‌های شهری می‌تواند بر سلامت، اقتصاد، تفریح و در کل کیفیت زندگی تأثیرگذار باشد و با افزایش استرس حرارتی در شهرها افراد آسیب‌پذیر را دچار مشکلاتی نماید. فویلت در سال ۲۰۰۶ در فرانسه و شکور در ۲۰۰۷ در انگلستان رابطه افزایش دما و میزان مرگ و میر را به اثبات رساندند (Fouillet et al., 2006, 17; Hajat, Kovats & Lachowycz, 2007, 97). از سایر اثرات نامطلوب گرمایش شهرها افزایش مصرف انرژی است. مطالعات شن و همکارانش در سال ۲۰۱۳ نشان‌دهنده نیاز به مصرف انرژی در تابستان در واحدهای اداری در شهر هانژوا چین برابر با ۱۰/۸٪ به ازاء هر نیم درجه افزایش دما بوده است (Shen, Chow & Darkwa, 2013, 50). در تحقیق مشابهی اکبری و همکارانش مصرف انرژی الکتریکی در لس‌آنجلس آمریکا را ۲-۴٪ به ازای هر درجه افزایش دما در تابستان به‌دست آورده است (Akbari, Pomerantz & Taha, 2001, 300-304). افزایش مصرف انرژی به منظور خنک کردن فضاها خود پیامدهای نامطلوب دیگری مانند افزایش انتشار کربن و گازهای گلخانه‌ای (McKibben, 2007, 44) و آلودگی هوا را در پی دارد (Jacob & Winner, 2009, 61; Weaver et al., 2009, 1843, 1861). در نهایت افزایش دما در شهرها مسئله مهمی است که تمامی جنبه‌های زندگی شهرنشینی را تحت تأثیر قرار داده است و بی‌توجهی به آن تأثیرات جبران‌ناپذیری را به دنبال دارد. علل افزایش دما را می‌توان در شاخه‌های گوناگونی دنبال نمود. طراحی شهری به‌عنوان یکی از رشته‌های پاسخگو می‌تواند از زاویه دید خود و با تکیه بر ابزارهای مختلف مانند کالبد شهری به بررسی تأثیر تحولات شهر و بازتاب حرارتی آن بپردازد. به این منظور اصفهان (شهری که در سال‌های اخیر با خشکسالی روبه‌رو شده) به‌عنوان نمونه موردی انتخاب شده است. این تحقیق به دنبال تغییرات حرارتی بین سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۴، میزان تغییر دما و علل آن در مقیاس شهری است. بنابراین ابتدا مقایسه‌ای میان دمای سطح زمین LST کل شهر در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۴ انجام شد و پس از شناسایی نقاطی که تغییرات دمایی قابل توجهی در آنها مشاهده گردید به شناسایی میدانی علل پرداخته شد. در مرحله بعد گرم‌ترین و خنک‌ترین حوزه‌ها با برداشت داده‌های اقلیمی - حرارتی مقایسه می‌گردد.

## پیشینه تحقیق

عموم محققان بر این عقیده‌اند که مهم‌ترین تأثیر شکل شهرها و توسعه شهرنشینی در اقلیم، افزایش دمای شهرها یا به عبارتی تشکیل جزیره حرارتی است. جزیره حرارتی به زبان ساده عبارت است از اختلاف درجه حرارت مرکز شهرها نسبت به حومه آن‌ها که این دما به ازای نزدیک شدن به مراکز شهرها افزایش قابل ملاحظه‌ای می‌یابد (Santamouris, 2013, 48). شدت جزایر حرارتی به‌خصوص در ساعات شبانگاهی که محیط‌های باز اطراف شهرها به‌سرعت حرارت خود را از دست می‌دهند و خنک می‌شوند افزایش می‌یابد (Givoni, 1998, 91). قطعاً اختلاف میان محیط شهری و پیرامون آن به‌دلیل تغییراتی است که به‌سبب وجود شهرها و محیط‌های مصنوع در طبیعت و نوع استفاده از آن توسط انسان پدید آمده است. جزیره حرارتی شهری برای اولین بار در سال ۱۸۲۰ میلادی توسط اوک هوارد<sup>۲</sup> در شهر لندن مشاهده شد که در شب ۲/۱ درجه سانتی‌گراد گرم‌تر و در روز ۱۹/۰ درجه سانتی‌گراد خنک‌تر از حومه شهر بود.

وی از اولین کسانی است که ایده جزیره حرارتی شهری را مطرح کرده و ارتباط عوامل مختلف محیطی را بر تشکیل آن بررسی نموده است. شکل‌گیری این پدیده را می‌توان چنین توضیح داد؛ انرژی حرارتی که از طرق مختلف به درون محیط شهری تزریق می‌شود باید میان دو انرژی حرارتی محسوس و نامحسوس متعادل گردد که این انرژی‌ها باید به جو باز گردند یا در نظام درونی ساختار شهر ذخیره شوند. مطالعات انجام شده بر روی بودجه انرژی شهرها، انرژی نامحسوس کمتر و جریان انرژی محسوس بیشتری را که متأثر از نظام شهرسازی است به اثبات رسانیده‌اند (Grimmond & Oke, 1999, 936). در تحقیقی که میان ۵۱ شهر در ایالات متحده انجام شد مشخص گردید که با توسعه شهرنشینی میزان انرژی محسوس نیز افزایش قابل توجهی می‌یابد (Dow & DeWalle, 2000, 1835). در این میان بخشی از انرژی حرارتی به دلیل وجود پوشش گیاهی و آب به انرژی نامحسوس تبدیل می‌شود و از این رو در کاهش جزایر حرارتی اهمیت بسیار دارد (Yuan & Bauer, 2007, 379).



شکل ۱. مقطع جزیره حرارتی شهری

متغیرهای بسیاری بر شکل‌گیری، تشدید و یا کاهش جزیره حرارتی در شهرها مؤثرند. صاحب‌نظران متفاوت در این زمینه نظراتی داشته‌اند. اوکه شش دلیل را در این خصوص مورد اشاره قرار می‌دهد.

- هندسه دره‌های شهری و به شکل معمول آن هندسه معابر که باعث کاهش خروج طول موج بلند تابشی می‌گردد.
- ویژگی حرارتی مصالح که ذخیره حرارتی در بافت شهری را سبب می‌شود.
- حرارت آنتروپوژنیک (مردم‌زاد) آزاد شده از سوخت‌ها و متابولیسم‌ها
- گازهای گلخانه‌ای که باعث افزایش گسترش تابش طول موج بلند ورودی از اتمسفر گرم‌تر و آلوده‌تر شهری می‌شود.
- هندسه تابشی دره که بازتاب مؤثر سیستم را کاهش می‌دهد و دلیل آن انعکاس تابش طول موج کوتاه از سطوح دره است.
- کاهش تبخیر سطوح که به معنی افزایش انرژی محسوس حرارتی و کاهش انرژی پنهان است (Oke, 1987, 75).

در پژوهش دیگری عوامل سازنده شرایط حرارتی محیط در چهار گروه خلاصه شده است:

۱. پارامترهای آب و هوایی منطقه چون تابش خورشید، دما، رطوبت و باد

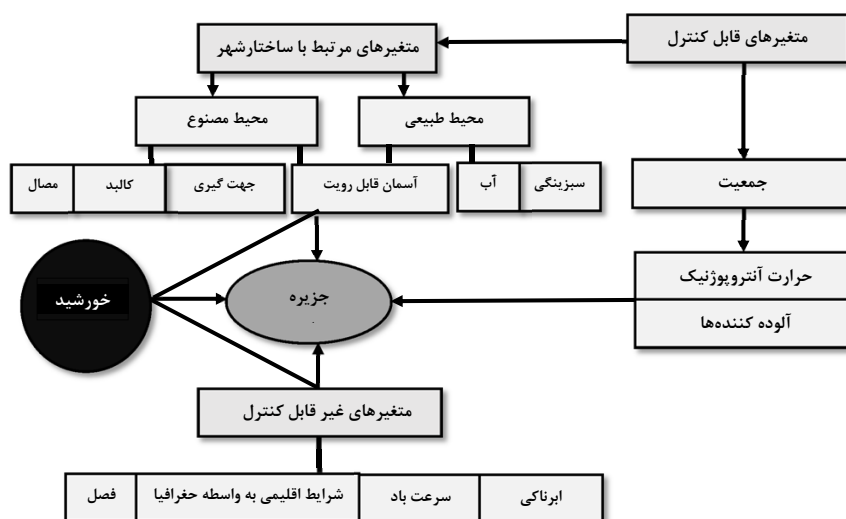
۲. ویژگی‌های گرمایی زمین به لحاظ جذب انرژی‌های تابشی خورشید و انتشار انرژی گرمایی شامل سطح پوشش گیاهی، خاک و آب

۳. ارتباط حرارتی توده‌های ساختمانی با محیط از نظر تولید، جذب و انتشار حرارت.

۴. عوامل انسانی شهری به‌عنوان منابع تولید گرما به همراه تولید انرژی توسط اتومبیل و صنایع.

(Kolokotroni, Giannitsaris & Watkins, 2006, 388)

به‌علاوه عوامل مؤثر بر افزایش دمای هوای محیط، درخت و فضای سبز، ساختمان‌های بلند و خیابان‌های باریک، رشد و تغییرات جمعیت، سطوح سخت جذب حرارت و طول سفر از حومه معرفی شده است (Takebayashi & Moriyama, 2007, 2975). سازمان ملل نیز در سال ۲۰۱۵ دو عامل جمعیت و طراحی شهرها را به‌عنوان دو فاکتور اصلی پخشایش جزایر حرارتی و افزایش مصرف انرژی نامید (Nations, 2015, 6). در کل می‌توان این عوامل را در دو دسته متغیرهای قابل کنترل و غیرقابل کنترل دسته‌بندی نمود. در بخش متغیرهای غیرقابل کنترل که اکثراً فاکتورهای اقلیمی هستند و در برخی طبقه‌بندی‌ها به متغیرهای دائمی معروف‌اند، می‌توان به متغیرهایی چون سرعت باد و یا ابرناکی اشاره نمود. در فاکتورهای قابل کنترل؛ فضای سبز، شاخص دید به آسمان قابل رؤیت (که با محصوریت کالبدی در رابطه تنگاتنگی است) و مصالح ساختمانی دیده می‌شود. به‌علاوه متغیرهای قابل کنترل یا متغیرهای اثر چرخه‌ای با جمعیت رابطه نزدیکی دارد و منابع حرارت آنتروپوژنیک (حرارت تولید شده بر پایه تابش و سوخت‌وسازهای گیاهی و جانوری، اتومبیل، خنک‌کننده‌های مکانیکی، کاربری‌های تولیدکننده حرارت و سایر منابع مشابه) را شامل می‌شوند و در زمره متغیرهای قابل کنترل به‌شمار می‌روند. دو تفاوت عمده در بین دو منبع اصلی تولید انرژی وجود دارد، حرارت آزاد شده از منابع آنتروپوژنیک به‌صورت مستقیم و به‌سرعت بر افزایش دما تأثیرگذارند، درحالی‌که بخشی از تابش خورشیدی مستقیماً بر دما تأثیرگذار بوده و بخش دیگر جذب می‌شود و غیرمستقیم در افزایش دما نقش دارد. در حقیقت راه‌های انتقال حرارت چه به‌صورت تابش، همرفت یا رسانایی در این بخش اهمیت می‌یابند. بنابراین سطح زمین، دیوارها، بام‌ها و گیاهان به شکل‌های گوناگون در افزایش دمای وابسته به تابش خورشیدی نقش دارند. یعنی با جذب و ذخیره انرژی از طلوع تا غروب خورشید و بازپس دادن آن در شب در جزایر حرارتی شبانه‌نگام نقش کلیدی بازی می‌کنند. در شکل ۲ متغیرها و روابطشان نشان داده شده است.



شکل ۲. متغیرهای مؤثر بر افزایش دمای شهرها (جزیره حرارتی)

منبع: Rizwan, Dennis, & Chunho, 2008, p. 121

این تحقیق سعی کرده است با مقایسه تفاوت دمای سطح دو سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۴ به دنبال ریشه‌یابی علل افزایش دما باشد. به این منظور متغیرهای قابل کنترل در حوزه‌هایی که در آنها بیشترین تغییرات دیده شده است بررسی می‌گردد. به علاوه با مقایسه گرم‌ترین و خنک‌ترین حوزه‌ها در سال ۲۰۱۴ عوامل به صورت تدقیق شده‌تر بررسی می‌گردند.

## روش تحقیق

روش تحقیق در این پژوهش شامل دو بخش کلی است. بخش اول که بر اساس تهیه نقشه دمای سطح<sup>۳</sup> برآمده از تصاویر ماهواره‌ای بوده و بخش دوم که بر پایه تحقیقات میدانی استوار است. در بخش اول تحقیق به منظور تهیه نقشه دمای سطح مراحل زیر انجام شد. پس از انجام مراحل ابتدایی از جمله تصحیح هندسی، دمای روشنایی حاصل گردید و سپس با استفاده از کاربری، شاخص فضای سبز، ضریب گسیل و در انتها دمای سطح برآورد گردید. در این بخش از تصاویر ماهواره‌ای تهیه شده از Landsat 7, ETM استفاده شد. در هر دو سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۴ روز ۱۴ جولای مقایسه گردید. علت انتخاب این تاریخ دمای حداکثری گزارش شده سالانه هواشناسی در این محدوده زمانی طی ۲۰ سال اخیر است. نرم‌افزار مورد استفاده ENVI 4.7 بوده است. در طبقه‌بندی کاربری‌ها، فضای سبز، آب، زمین بایر (خاک)، راه‌ها (آسفالت) و ساختمان‌ها طبقه‌بندی گردیدند. در ضریب گسیل مندی آن‌ها در نظر گرفته شد. باند ۶ به عنوان باند مادون قرمز حرارتی در لندست ۷، تابش با محدوده طیفی بین  $10.4 - 12.5 \mu m$  از سطح زمین را ذخیره می‌کند. ابتدا ارزش درخشندگی از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$1) R = C_1(DN) + C_2$$

در فرمول (۱) R ارزش درخشندگی<sup>۴</sup>، DN ارزش پیکسل ماند مادون قرمز حرارتی،  $C_1$  مقدار ثابت که لندست ۷ برابر  $0.03705882$  و  $C_2$  مقدار جابه‌جایی<sup>۵</sup> است که برابر با  $0.3200$  در نظر گرفته می‌شود. در کالیبراسیون از تصویر حرارتی به دمای روشنایی از فرمول زیر استفاده گردید: (Buyadi, Mohd & Misni, 2013)

$$2) Ts = \frac{K2}{(\ln \left[ \frac{K1}{R} \right] + 1)}$$

در فرمول (۲) R ارزش درخشندگی است و K1 ثابت کالیبراسیون ۱ برابر با  $666/0.9$  و K2 ثابت کالیبراسیون ۲ برابر با  $1282/71$  در لندست ۷ در نظر گرفته می‌شود.

بیشترین تفاوت‌ها در شش حوزه به‌دست آمد و سپس به بررسی تدقیق حوزه‌ها بر اساس متغیرهای مرتبط با ساختار شهر (نمودار ۱) پرداخته شد. این متغیرها در دو گروه محیط طبیعی و مصنوع مورد بررسی قرار گرفت. در محیط طبیعی، سبزینگی و آب مورد بررسی قرار گرفت. در تعیین شاخص سبزینگی<sup>۶</sup> در این تحقیق نیز از فرمول (۳) استفاده شد:

$$3) NDVI = \frac{(NIR - VIS)}{(NIR + VIS)}$$

در این فرمول شدت نور از زمین در طول موج‌های مرئی و مادون قرمز در تعیین کمیت ظرفیت فتوسنتزی پوشش گیاهی استفاده می‌گردد.

در محیط مصنوع ویژگی‌های کالبدی مانند محصوریت، مصالح، ضریب آسمان قابل رؤیت مورد بررسی قرار گرفت. پس از بررسی تدقیقی این حوزه‌ها با هدف شناسایی علل افزایش دمای سطح در این حوزه‌ها،

گرم‌ترین و خنک‌ترین حوزه‌ها با یکدیگر مقایسه شدند تا میزان تفاوت حرارتی این دو حوزه به‌دست آید که شاهدهی دیگر بر تأثیر تفاوت‌های کالبدی در تغییرات حرارتی است و به این ترتیب میزان این تفاوت شناسایی می‌شود. به این منظور در تیرماه ۱۳۹۳ داده‌های اقلیمی برداشت گردید. در برداشت‌ها از داده‌های ایستگاه هواشناسی شهید بهشتی اصفهان استفاده شد و در هر حوزه یک ساختمان یک‌طبقه، به‌عنوان نقطه مبنا در حوزه در نظر گرفته شد. تفاوت دمای داده‌های ثبت شده با ایستگاه هواشناسی معرف تفاوت دمایی حوزه بوده و تفاوت در مقیاس میانی اقلیمی را پاسخگو است. به‌علاوه در هر حوزه از ۲۵ نقطه داده جمع‌آوری گردید و مقایسه تفاوت دمای این نقاط با نقطه مبنا معرف تأثیرات محیط کالبدی و اکولوژیک در مقیاس خرد بوده است (Limor Shashua-Bar, Pearlmutter & Erell, 2009, 179-186).

جدول ۱. دستگاه‌های مورد استفاده در برداشت داده‌های حرارتی میدانی

متغیر	واحد	دستگاه	میزان خطا	روش ذخیره	شرکت کالیبره‌کننده
دمای هوا	°C	Kestrel 4500	±0.1°C	اتوماتیک	Kestrel Meters
		Kimo-VT100-1	±0.3°C	دستی	KIMO instrument
		Heat index WBGT meter 8758	±0.6°C	دستی	UMTC
دمای کروی	°C	Heat index WBGT meter 8758	±1.5°C	دستی	UMTC
دمای سطح	°C	Infrared Camera FLIR E4	-	اتوماتیک	FLIR instrument

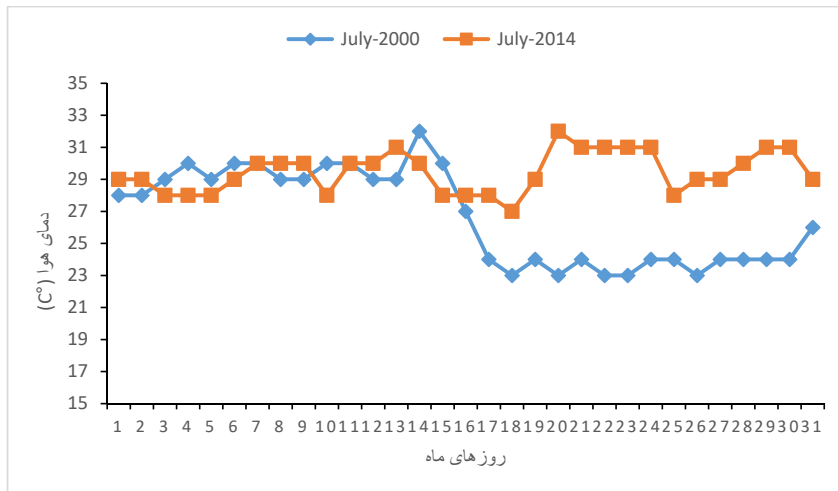
منبع: نگارندگان

## تحولات فضایی اصفهان و تأثیرات حرارتی آن

در سال‌های اخیر اصفهان شاهد تغییرات بسیاری بوده است که اثرات اقلیمی و اکولوژیکی در پی داشته است. بررسی تدقیقی آثار حرارتی آن با تأکید بر دمای سطح در این بخش تحقیق بررسی می‌گردد. در این زمینه اصفهان سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۴ تحلیل گردیده است تا با شناسایی نقاطی که متفاوت بوده‌اند علل تغییرات شناسایی شود. این مقایسه در دو مرحله انجام یافت، در مرحله اول آمار ایستگاه هواشناسی شهید بهشتی در اصفهان در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۲ مقایسه گردید و در مرحله بعد بر مبنای کاربری‌ها دمای سطح این دو سال مقایسه گردید.

مقایسه دمای هوا (Ta) ایستگاه هواشناسی در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۴ با مقایسه میانگین دمای هوا در ماه جولای برابر با ۱۵ تیر تا ۱۵ مرداد به‌عنوان گرم‌ترین ماه گزارش شده در هواشناسی در ۱۵ سال اخیر انجام گردید. مقایسات نشان دهنده افزایش متوسط دمای هوا از ۲۶/۷ به ۲۹/۵ درجه سانتی‌گراد است. به‌علاوه تعداد روزهایی در ماه که نیاز به استفاده از خنک‌کننده‌ها<sup>۷</sup> و در نتیجه نیاز به مصرف انرژی است از ۱۱ روز در سال به ۲۰ روز در سال افزایش یافته است. این روزها بر اساس آستانه حرارتی محاسبه می‌گردند. آستانه حرارتی به زمانی گفته می‌شود که بر اساس دمای ادراکی هوا، اکثریت مردم آغاز به استفاده از دستگاه‌های مکانیکی جهت ایجاد آسایش حرارتی می‌نمایند. آستانه گرمایی به‌صورت کلی ۲۶ درجه در نظر گرفته می‌شود (Ai & Mak, 2015; Wong, Wan, Li & Lam, 2010; Zhang, Lv & Pan, 2013). اگرچه می‌تواند بومی‌سازی نیز گردد که نیازمند تحقیقات مجزایی است. در این تحقیق نیز آستانه گرمایی

۲۶ درجه در نظر گرفته شد. در شکل ۳ دمای هوا بر اساس ایستگاه هواشناسی در جولای ۲۰۰۰ و ۲۰۱۴ مقایسه گردیده است.



شکل ۳. مقایسه متوسط دمای هوا در بازه ۱۵ تیر تا ۱۵ مرداد در سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۱۴  
منبع: نگارندگان

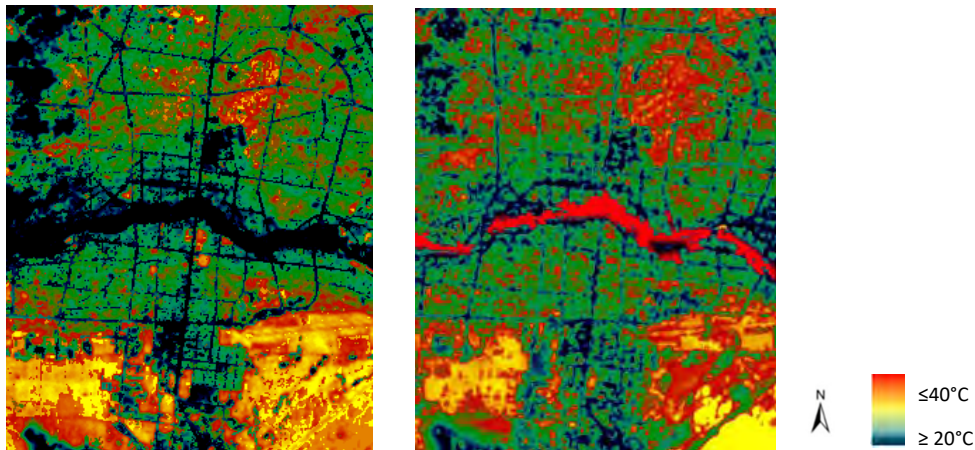
در مرحله بعدی، دمای سطح زمین (LST) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۱۴ بر اساس کاربری مقایسه گردید. در شکل ۴، نقشه‌های تهیه شده ارائه گردیده است. همان‌گونه که در طیف‌های رنگی مشخص است، مناطق آبی خنک‌ترین و رنگ‌های سبز، زرد، نارنجی و قرمز به ترتیب طیف به سمت بالاترین دمای سطح است.

مقایسه دو نقشه مندرج در شکل ۴ نشان‌دهنده افزایش قابل توجه مساحت با دمای بالا در شهر است. بر اساس نقشه‌ها مساحت نقاط هم‌دما محاسبه گردید. برای مثال مساحت نقاطی با دمای بالای ۴۰ درجه از ۶۹۸۷ هکتار در سال ۲۰۰۰ به ۷۵۴۹ هکتار در طی ۱۴ سال افزایش داشته است. به عبارت دیگر ۵۶۲ هکتار به مساحت نقاط با بیشترین دمای سطح افزوده شده است.

جدول ۲. رابطه مساحت و دمای سطح سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۴

دمای سطح	مساحت (هکتار)		تغییر مساحت در ۱۴ سال اخیر
	2014	2000	
>40	7549	6987	562
20-40	9541	9740	-199
<20	3111	3474	-363

منبع: نگارندگان



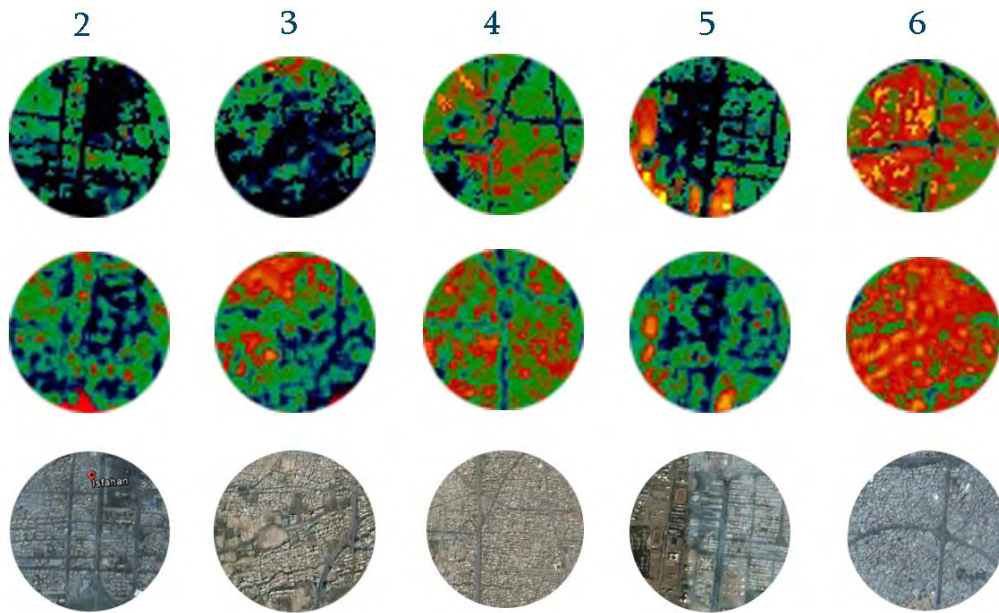
شکل ۴. نقشه دمای سطح شهر اصفهان (سمت راست ۲۰۱۴ و سمت چپ ۲۰۰۰)  
منبع: نگارندگان

بر اساس مقایسه دو نقشه فوق ۶ حوزه شناسایی گردید که بیشترین تغییرات دمای سطح را در عرض ۱۴ سال در آنها مشهود است (شکل ۵). مطابق شکل ۵، حوزه شماره ۱ مربوط به رودخانه است که با خشکسالی روبه‌رو گردید. حوزه شماره ۲ که خنک‌ترین حوزه در طی این ۱۴ سال است با این وجود دمای سطح این حوزه در سال ۲۰۱۴ به نسبت گرم‌تر سال ۲۰۰۰ است. حوزه شماره ۳ محدوده تازه توسعه یافته است که به شکل واضحی گرم‌تر شده است. حوزه‌های ۴ و ۵ با وجود آنکه در حوزه‌های دمایی داغ یا سردی نبوده‌اند، اما در طی این ۱۴ سال این دو حوزه نیز دستخوش تغییرات حرارتی گردیده‌اند. حوزه ۶ گرم‌ترین حوزه در این ۱۴ سال بوده و مرکزی از داغ‌ترین نقاط شهر است. مساحت این نقاط داغ در طی ۱۴ سال افزایش قابل توجهی داشته است. این حوزه‌ها در شکل ۶ نشان داده شده‌اند. میزان تغییرات هر حوزه در جدول ۲ دیده می‌شود.



شکل ۵. نقشه دمای سطح حوزه‌های با بیشترین تغییرات  
منبع: نگارندگان





شکل ۶. حوزه‌های انتخابی و تفاوت دمای سطح در سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۰۰  
 ردیف اول نقشه دمای سطح سال ۲۰۰۰ و ردیف دوم نقشه دمای سطح ۲۰۱۴ و ردیف سوم نقشه هوایی سال ۲۰۱۴ است.  
 منبع: نگارندگان

جدول ۳. مقایسه درصد اختصاص مساحت دمای در سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۰۰

حوزه ۶		حوزه ۵		حوزه ۴		حوزه ۳		حوزه ۲		دمای سطح
2014	2000	2014	2000	2014	2000	2014	2000	2014	2000	
%۷۱	%۲۸	%۹	%۱۷	%۱۲	%۵	%۱۱	%۳	%۶	%۱	$40^{\circ}\text{C} \leq$
%۲۷	%۶۴	%۶۵	%۳۰	%۸۱	%۷۶	%۵۳	%۳۱	%۶۸	%۵۶	40-20
%۲	%۸	%۲۶	%۵۳	%۷	%۱۹	%۳۰	%۶۶	%۲۶	%۴۳	$20^{\circ}\text{C} \geq$

منبع: نگارندگان

در ادامه براساس مدل ارائه شده (Rizwan et al., 2008) تحولات شهری مرتبط با ساختار شهر که بر دمای هوای شهر تأثیرگذار است در دو بخش محیط طبیعی و محیط مصنوع مورد بررسی قرار داد. در این راستا تحولات اصلی حوزه‌ها از لحاظ ساختار شهری بررسی می‌گردد تا علل محتمل افزایش دما شناسایی گردد.



شکل ۷. زاینده رود سال ۲۰۱۴ و ۲۰۰۰

منبع: نگارندگان

### تحولات بستر اکولوژیک (محیط طبیعی) شهر و آثار حرارتی آن

در مطالعه بستر اکولوژیک، تحولات مربوط به مسیرهای آب شامل رودخانه زاینده رود و مادی‌ها مورد تأکید قرار گرفته‌اند که در نقشه‌های مقایسه دمای سطح نیز تفاوت آنها دیده می‌شود. به علاوه تغییر شاخص سبزی‌نگی در شهر از عوامل تأثیرگذار به‌شمار آمده است.

رودخانه: بررسی حوزه شماره ۱ اطلاعاتی از تحول دمایی حوزه رودخانه به‌دست می‌دهد. مسیر زاینده رود که به واسطه آب در سال ۲۰۰۰ دمای سطح پایینی داشته است در سال ۲۰۱۴ با تبدیل شدن به بستر خاکی و جذب حرارت به محور داغ درون شهری تبدیل گردیده است. از آنجا که دمای ادراکی و در نتیجه آسایش حرارتی با دمای سطح در رابطه مستقیم قرار دارد (Schwarz, Schlink, Franck & Großmann, 2012, 695) بنابراین این افزایش دما بر احساس گرما توسط شهروندان تأثیرگذار بوده است. در گذشته محور اکولوژیک زاینده رود با دمای سطحی پایین‌تر از پیرامون خود نه تنها در خرداقلیم و تعدیل حرارت کل شهر به‌عنوان محور خنک درون‌بافتی تأثیرگذار بوده است بلکه به دلیل تفاوت دمایی عاملی بر وزش باد در مقیاس میانی و خرد گردیده و بر کاهش دمای ادراکی بیش از پیش تأثیرگذار بوده است. با خشک شدن زاینده رود و تبدیل آن به محور داغ شهری علاوه بر افزایش دما، این بادها نیز حذف گردیده‌اند. از طرف دیگر در اقلیم گرم و خشک اصفهان، آب عامل افزایش رطوبت است و شرایط آسایش را برای شهروندان به همراه دارد که با خشک شدن زاینده رود بر خشکی هوا نیز به میزان قابل توجهی افزوده شد. مادی‌ها: تحول بعدی قابل مشاهده در بستر اکولوژیک مادی‌ها هستند (شکل ۸) که به‌عنوان مسیرهای آب منشعب از رودخانه، رگ‌های حیاتی شهر در گذشته به حساب می‌آمدند و به‌عنوان محورهای ارگانیک سبز نقش بازی نموده‌اند. مقایسه خنک‌ترین حوزه‌ها چه در سال ۲۰۰۰ و چه در سال ۲۰۱۴ نشان‌دهنده این مطلب است که در هر دو سال مسیر مادی‌ها و محورهای خنک شهری در ارتباط با یکدیگر قرار دارند. در حوزه‌هایی مانند حوزه ۲، عباس‌آباد با وجودی که مادی‌ها نیاصرم به دلیل خشکی رودخانه، خشک شده است اما به دلیل حفظ پوشش گیاهی همچنان خنک‌ترین حوزه به‌شمار می‌رود. گرچه مقایسه دمای سطح این حوزه نیز با ۱۴ سال پیش مؤید افزایش دما است. کاهش پوشش گیاهی و خشک شدن درختان به دلیل کم‌آبی از یک طرف و افزایش ساخت‌وساز در حریم مادی از طرف دیگر شاخص فضای سبز را در این محورها کاهش داده است. این مسئله تا جایی پیش رفته که این مسیرهای سبز را یا کاملاً از بین برده و یا در حد جوی آب و حتی مسیر جمع‌آوری آب سطحی تنزل داده است. این شبکه که می‌تواند به مثابه یک شبکه سبز شهری عمل کند و در کاهش دما نقش مهمی بر عهده گیرد امروزه با بی‌توجهی رو به نابودی است. در تحقیقاتی که بر میزان خنک‌کنندگی محورهای سبز در بافت‌های شهری

انجام یافته این تعدیل در ۲/۲ درجه در اقلیم مدیترانه‌ای (L Shashua-Bar & Hoffman, 2000, 228) و ۲/۲۴ درجه در اقلیم نیمه‌گرمسیری (Srivani & Kazunori, 2011, 34-46) به دست آمده است. پوشش گیاهی: وجه مشترک تفاوت حوزه‌های ۳، ۴ و ۵ تفاوت در شاخص پوشش گیاهی است. یکی از روش‌های بررسی شاخص پوشش گیاهی استفاده از نقشه‌های NDVI است. این میزان با استفاده از فرمول و روش معرفی شده در بخش روش تحقیق برای سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۴ برای اصفهان محاسبه گردید. این نقشه‌ها تفاوت ۱۴ درصدی شاخص NDVI را در کل شهر نشان می‌دهد که در مناطقی از شهر مانند حوزه‌های ۳ و ۴ با کاهش و در حوزه‌هایی مانند حوزه ۵ با افزایش همراه بوده است. حوزه ۳، محدوده نازوان است که به دلیل خشکسالی با کاهش اراضی سبز همراه بوده است. به علاوه افزایش ساخت‌وساز به این حوزه نیز نفوذ کرده و عامل دیگری بر کاهش سبزیگی گردیده است. حوزه ۴، ضلع غربی اتوبان خیام-خرم است که حلقه حرکتی غرب اصفهان است و در طرح تفصیلی عدم توسعه شهر و سبز بودن آن پیشنهاد شده بود که متأسفانه این مهم حاصل نشد و رشد شهر اراضی کشاورزی را تحت تأثیر قرارداد و شاخص سبزیگی در این حوزه نیز کاهش یافته است. حوزه ۵، حوزه دانشگاه اصفهان است که در اصفهان صفوی باغات هزار جریب بوده است و در دوره پهلوی دانشگاه در آن ساخته شد. در این دانشگاه با وجود سبز بودن آن، به دلیل توسعه و افزایش تعداد دانشکده‌ها، شاخص سبزیگی در سال ۲۰۱۴ کاهش یافته است. در حوزه ۵ با افزایش سبزیگی و ساخت‌وساز همراه بوده است. با وجود آنکه چنین تغییراتی در دامنه کوه اتفاق افتاده است، اما در مجموع دمای سطح در این حوزه کاهش و شاخص سبزیگی افزایش یافته است.

در مجموع شاخص سبزیگی در شمال اصفهان کاهش و در جنوب افزایش یافته است، اگرچه در مقیاس کلان در ۱۴ سال اخیر این شاخص کاهش داشته است.



شکل ۸. مادی نیاصرم سال ۲۰۰۰ (سمت راست) و سال ۲۰۱۴ (سمت چپ)

منبع: نگارندگان

### تحولات کالبد شهری (محیط مصنوعی) و آثار حرارتی آن

تحولات کالبد شهری به شکل واضحی در بافت تاریخی (حوزه ۶) دیده می‌شود، اگرچه توسعه‌های جدید و خیابان‌کشی‌هایی که در بافت‌های میانی اتفاق افتاده‌اند نیز تبعات حرارتی به دنبال داشته‌اند. در این خصوص در بخش تحولات کالبد شهر ابتدا به بافت تاریخی که به مثابه تله حرارت داغ‌ترین نقاط شهری را شامل می‌شود بررسی شده است و در ادامه به بررسی بازتاب حرارتی معابر شهری که در سال‌های اخیر شکل گرفته‌اند، پرداخته می‌شود.

بافت تاریخی اصفهان که در حوزه ۶ قرار گرفته، طی این ۱۴ سال بیشترین تغییرات کالبدی و به تبع آن

حرارتی را پشت سر گذاشته است. مقایسه دمای سطح در بافت تاریخی نشان‌دهنده افزایش دمای قابل توجهی است. مساحت نقاطی که بیشترین دما را دارا هستند از ۵۷٪ به ۷۳٪ افزایش یافته است. یکی از نقاط اصلی میدان امام علی است که طی سال‌های اخیر بر اساس تخریب گسترده بافت تاریخی شکل گرفته و افزایش دمای آن به دلیل سطح گسترده آسفالت شده است.

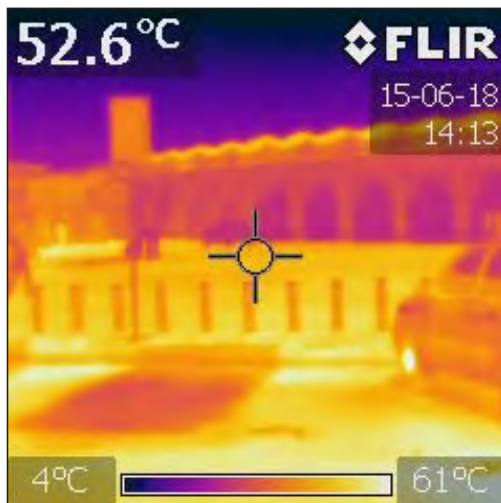
به‌علاوه بسیاری از طرح‌های اجرا شده در بافت‌های قدیمی بدون توجه به تاب بافت موجود هستند و فضاهای بدون مصرف و رهاشده‌ای را موجب می‌گردند که در نقشه دمای سطح به دست آمده بالاترین دماها را دارا هستند. از آن جمله تأکید بر بازگرداندن فرم سلجوقی به طرح میدان امام علی سبب ایجاد فضاهای رهاشده‌ای گردیده است. نمونه آن در شکل ۹ قابل مشاهده است که در آن با استفاده از دوربین مادون قرمز دمای سطح نیز برداشت شده است.



شکل ۹. میدان امام علی اصفهان سال ۲۰۱۴

منبع: نگارندگان

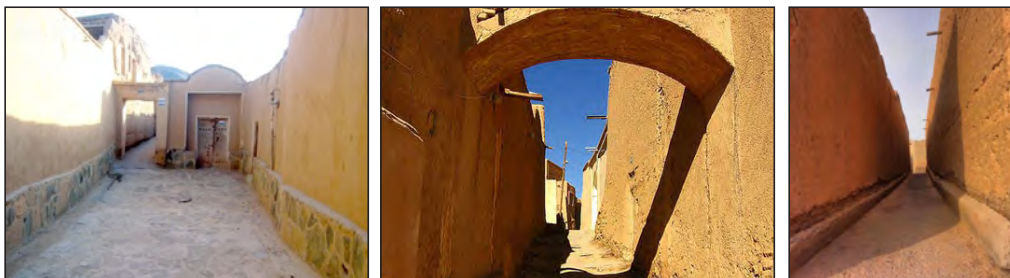
سطوح رها شده که تخریب آنها به بهانه طرح تجمیع انجام شده اما ساخت و سازی صورت نگرفته است و به صورت زمین‌های خالی باقی مانده‌اند خود از جمله نقاطی بودند که در نقشه دمای سطح سال ۲۰۱۴ بالاترین دماها را داشتند و در تصاویر مادون قرمز شماره ۱۰ نیز دیده می‌شوند. بی‌توجهی به توسعه درونی شهر و اراضی قهوه‌ای و تأکید بر گسترش شهری تغییرات دمایی را برای کل شهر در پی داشته است.



شکل ۱۰. دمای سطح بالای فضاهای رها شده پیرامون میدان امام علی

منبع: نگارندگان

به علاوه بافت تاریخی در گذشته در اقلیم گرم و خشک تعدیلات حرارت در معابر فرعی تر را نه بر پایه گیاه که با تکیه بر ایجاد محصوریت در معابر، کاهش ضریب آسمان قابل رؤیت<sup>۸</sup> و استفاده از سایه - آفتاب‌های مکرر در بافت به وجود می آورده است (شکل ۱۱). شاخص آسمان قابل رؤیت به عنوان شاخصی کمی در محاسبه ساختمان‌ها و گیاهانی که دید به آسمان را محدود کرده اند مطرح می شود. بنا به تعریف دقیق تر، آسمان قابل رؤیت نسبت میزان آسمان قابل رؤیت از نقطه مشخص را بیان می کند. این نسبت از بازتاب افقی متناظر با کره آسمان به دست می آید (Correa et al., 2012).



شکل ۱۱. نمونه تعدیلات حرارتی با استفاده از محصوریت

منبع: نگارندگان

تفاوت دمای میان این سایه - آفتاب‌ها، جریان باد در مقیاس خرد اقلیم را سبب می گردید و بر آسایش حرارتی تأثیرگذار بود. در این میان ساباط‌ها و رواق‌ها نیز نقش ویژه‌ای برعهده داشتند. گیاه در بافت تاریخی یا به صورت کریدورهای سبز و یا باغات در مقیاس کلان و یا به صورت درختان و حوض آب در مقیاس خرد نقش تعدیل حرارتی داشته است. متأسفانه افزایش عرض معابر به دلیل اولویت دادن به سواره که در دستور کار برخورد با بافت‌های قدیمی در کشور قرار گرفته است، تبعات خرد اقلیمی در پی داشته است و از آن جمله می توان به افزایش سطوح در معرض آفتاب معابر و افزایش دمای سطح در آنها اشاره کرد. باغات با ساخت و ساز جایگزین شده‌اند و با حداقل کردن نسبت پر و خالی در واحدهای ساخته شده، فضای تعدیل حرارت در مقیاس خرد بر پایه محیط اکولوژیک به حداقل رسیده است.

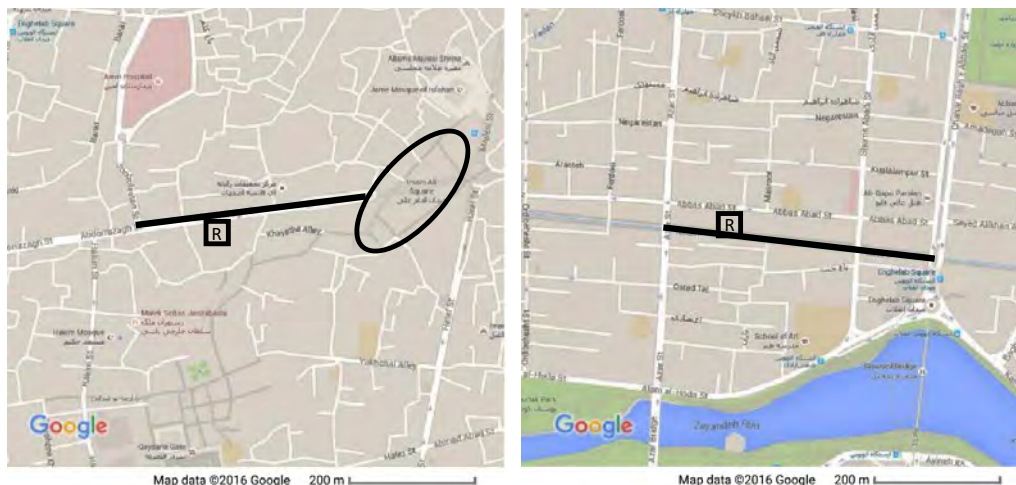
علاوه بر این در پی شناسایی نقاط با دمای سطح بالا در بافت تاریخی، عنصر دیگری نیز خودنمایی کرد و آن تغییرات مصالح بوده است. این مصالح به شکل واضحی در نقشه دمای سطح به دست آمده است. در تصاویر ماهواره‌ای بام‌هایی با دمای ۴۰ درجه که به رنگ قرمز در نقشه دمای سطح مشخص شده‌اند مساحت زیادی را اشغال کرده‌اند. در بافت تاریخی در گذشته با استفاده از مصالح بوم آورد و حداقل جذب حرارت و استفاده از فرم‌های گنبدی شکل و جان‌پناه‌های بلند سایه بیشتری بر روی بام بوده است. مقایسه دو دمای سطح از بام‌ها در بافت تاریخی تفاوت ۲۰ درجه‌ای دمای سطح را نشان می دهد که به نوبه خود میزان قابل توجهی است. امروزه نه تنها این مصالح تغییر کرده‌اند، بلکه به دلیل اسکان طبقه ضعیف جامعه در این بافت‌ها مصالح نامرغوب و عمدتاً با ضریب بازتاب و جذب بالا در عایق کاری بام استفاده می شود که دمای سطح را در این حوزه بیش از سایر حوزه‌ها افزایش داده است. این در حالی است که دمای سطح در بدنه‌های شهری در قسمت مرفه‌نشین افزایش یافته است و انتخاب مصالحی که بازتاب و یا جذب انرژی تابشی را به دنبال دارند، سبب افزایش دمای هوای حوزه و افزایش دمای ادراکی شهروندان گردیده است. معابر: معابر عریض با حداقل سایه در معابر جدید امری متداول گردیده است و این بی توجهی علاوه بر محصوریت سخت (ساختمانی)، محصوریت نرم (گیاهی) را نیز تحت تأثیر قرار داده است و با ضریب آسمان قابل رؤیت ارزیابی می شود. در تحلیل نقشه دمای سطح تمامی معابر عریض بدون درخت با دمای

سطح بالا ثبت شدند این در حالی است که معابر داراری پوشش گیاهی فشرده مسیرهای خنک در شهر هستند و می توانند شبکه تعدیل حرارت باشند. محصوریت کم، کمبود گیاه، ضریب آسمان قابل رؤیت بالا و بدنه‌های صاف با کمترین سایه‌اندازی در معابر و مصالح نامناسب بسیاری از معابر تازه تأسیس اصفهان را به محورهای داغ عاری از آسایش حرارتی خصوصاً در تابستان‌ها تبدیل کرده است.

### مقایسه میدانی گرم‌ترین و خنک‌ترین حوزه‌ها در سال ۲۰۱۴

در بخش دوم تحقیق دو حوزه شماره ۶ و ۲ (D02, D06)، به‌عنوان گرم‌ترین و خنک‌ترین حوزه‌ها در شهر انتخاب گردید. همان‌گونه که در روش تحقیق بیان گردید، در گرم‌ترین و خنک‌ترین مناطق حوزه (طبق نقشه دمای سطح LST) برداشت داده‌های اقلیمی و محیطی انجام گردید. گرم‌ترین و خنک‌ترین حوزه‌ها با یکدیگر مقایسه شدند تا میزان تفاوت حرارتی این دو حوزه با تأکید بر دمای هوا علاوه بر دمای سطح به‌دست آید که شاهدهی دیگر بر تأثیر تفاوت‌های کالبدی در تغییرات حرارتی باشد و میزان این تفاوت شناسایی شود. در هر حوزه نقطه‌ای به‌عنوان مبنا در نظر گرفته شده که در نقشه‌ها مشخص گردیده است. نقطه مبنا به‌دلیل تعیین شناسایی عوامل مؤثر بر خرداقلیم انتخاب می‌گردد تا در هر حوزه ویژگی‌های محیطی - اقلیمی با یک نقطه ثابت در همان حوزه مقایسه شود.

تفاوت نقطه مبنا در حوزه ۲ و ایستگاه هواشناسی معرف خنک بودن این حوزه است. اگرچه این میزان زیاد نیست و در روزهای ۲۷ و ۲۸ تیر ماه و به‌طور متوسط برابر ۰/۲۴ - بوده که خود نشان‌دهنده این مطلب است که در این حوزه جزیره حرارتی شکل نگرفته است و قابلیت تعدیل حرارت در حوزه وجود دارد. این درحالی است که در همین روزها نقطه مبنا در حوزه ۶ و ایستگاه هواشناسی تفاوت ۲/۳۳+ را نشان می‌دهد که گرم‌تر بودن این حوزه که از دمای سطح به‌دست آمد را تأیید می‌نماید.



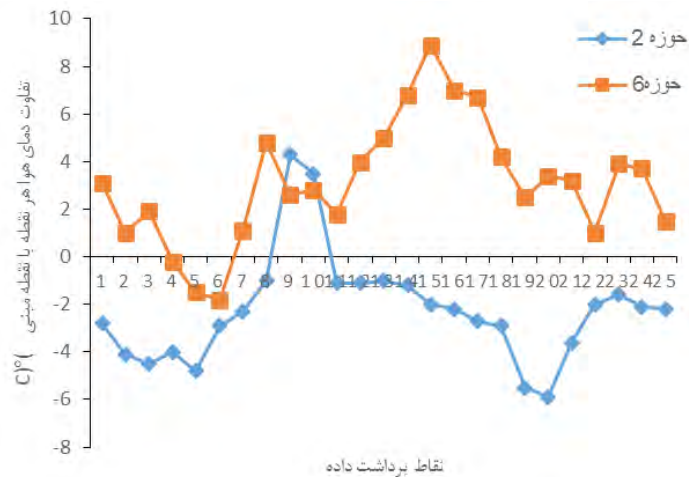
شکل ۱۲. مسیرهای برداشت داده و نقطه مبنا در هر سایت

شکل سمت راست؛ حوزه ۲، شکل سمت چپ

منبع: نگارندگان

در بخش دوم بررسی‌های میدانی، مقایسه میان دمای هوا در گرم‌ترین نقاط در حوزه ۶ (خیابان عبدالرزاق و میدان امام علی) و خنک‌ترین معبر در حوزه ۲ (خیابان عباس آباد و مادی نیاصرم) و نقطه مبنا در همان حوزه انجام گردید. این مقایسات نیز در روزهای ۲۷ و ۲۸ تیرماه انجام گردید. همان‌گونه که در شکل ۱۳ دیده می‌شود، نقاط برداشت شده از حوزه ۶ به‌شکل واضحی از نقطه مبنا گرم‌تر هستند و این میزان به‌طور

متوسط در طول شبانه روز ۱/۶۷ درجه گرم‌تر از نقطه مبنا بوده است. شدت افزایش دما در ساعت ۱۴ بیشتر است و متوسط دمای برداشتی ۴۰/۹ درجه و متوسط دمای تابشی ۵۴/۹ درجه را نشان می‌دهد، در حالی که در همین زمان در نقطه مبنا متوسط دمای ۳۸/۳ درجه دما به ثبت رسیده است. داغ‌ترین دمای سطح و دمای هوا در میدان امام علی دیده شد. این میدان با مساحتی در حدود ۲۲۵۳۰ متر مربع که بیشتر آن کف فرش شده است و میزان محدودی فضای سبز به صورت چمن و درختان در گلدان‌هایی با حداقل سایه‌اندازی قرار گرفته‌اند. این داده‌ها حاکی از آن است که این نقطه به‌عنوان تله حرارتی مطرح بوده و با سطح زیاد جذب و بازتاب، نقطه داغی را در دل بافت تاریخی پدید آورده است.



شکل ۱۳. مقایسه اختلاف دمای داخل فضای شهری و نقطه مبنا در دو حوزه ۶ و ۲  
منبع: نگارندگان

در حوزه شماره ۲ خیابان عباس‌آباد و مادی نیاصرم پایین‌ترین دمای سطح (LST) را دارا بوده است. مقایسه دمای هوای برداشت شده از خیابان عباس‌آباد و نیاصرم معرف متوسط ۱/۸ درجه کاهش دما نسبت به نقطه مبنا در کل ۲۴ ساعت است. این در حالی است که در گرم‌ترین زمان در ساعت ۱۴ میزان خنک‌کنندگی بیشتر بوده است. به عبارتی در زمانی که متوسط دمای هوا پیرامون مادی ۳۳/۶ درجه بوده، متوسط دما در نقطه مبنا ۳۷/۹ به‌دست آمده است. مهم‌ترین مشخصه این حوزه ضریب آسمان قابل رؤیت کم آن محسوب می‌شود که با محصوریت کالبدی و استفاده از درختان سایه‌انداز تأمین گردیده است.

## نتیجه‌گیری

افزایش دمای هوای شهرها از جمله چالش‌های پیش روی بسیاری از شهرهای جهان است که نه تنها اثرات زیان‌باری بر سلامت شهروندان دارد که با افزایش مصرف انرژی، مشکلات اقتصادی و زیست‌محیطی نیز همراه است. در ایران با وجود شهرهایی که در منطقه گرم و خشک قرار دارند، در گذشته با استفاده از روش‌های غیرفعال در زمینه تعدیلات حرارتی کوشش می‌شده است. این روش‌ها با احترام به محیط اکولوژیک و به‌صورت تطبیقی صورت گرفته است. نحوه توسعه تاریخی اصفهان با توجه به رودخانه زاینده‌رود و ایده استفاده از شبکه مادی‌ها به‌صورت رگ‌های حیاتی شهر که آب و سبزی‌نگی را در شهر پخش می‌کردند از جمله این تمهیدات بوده‌اند.

بررسی‌های انجام شده بر تغییرات دمای سطح در ۱۴ سال اخیر نکاتی را نشان می‌دهد که بی‌توجهی به آنها باعث وخیم‌تر شدن مشکلات در آینده می‌گردد.

- محیط طبیعی (بسترهای اکولوژیک) به شکل سبزی‌نگی یا آب، به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین فاکتورهای تأثیرگذار هم بر دمای سطح و هم بر دمای هوا مطرح است.
  - زمین‌های خالی، مساحت‌های بزرگ آسفالت شده و پوشش‌های نامرغوب عایق‌کاری به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین عوامل مؤثر بر دمای سطح LST مطرح است.
  - سایه از عوامل مهم مؤثر بر آسایش حرارتی خصوصاً در اقلیم گرم و خشک با دمای تابشی بالاست. بنابراین محصوریت پایین و گیاهان سایه‌انداز کم و در کل ضریب آسمان قابل رؤیت بالا، از عوامل مهم افزایش دهنده دمای هوا به‌شمار می‌روند.
  - ایجاد فضاهای شهری بزرگ‌مقیاس در شهرها باید بر اساس محاسبات اقلیمی و با توجه به سایه‌اندازی‌ها صورت گیرد در غیر این صورت به تله حرارتی تبدیل می‌شوند و می‌توانند بر خرداقلیم شهر تأثیرگذار باشند.
- بر این اساس امید است طراحان و برنامه‌ریزان شهری با تأکید به استفاده بهینه از محیط اکولوژیک در ترکیب با محیط مصنوع به تعدیل حرارت شهرها بیندیشند. در ادامه تحقیقاتی که به‌صورت کمی و به شکل بومی به بررسی تک‌تک عوامل مؤثر بر تعدیل حرارت شهرها پردازد در ایران احساس می‌شود.

## پی‌نوشت‌ها

1. Urban warming
2. Oak Howard
3. Land Surface Temperature (LST)
4. radiance value
5. offset value
6. The normalized difference vegetation index
7. Cooling degree days
8. Sky View Factor

## فهرست منابع

- Ai, Z. & Mak, C. (2015) "From street canyon microclimate to indoor environmental quality in naturally ventilated urban buildings: issues and possibilities for improvement," *Building and environment*, 94, 489–503.
- Akbari, H.; Pomerantz, M. & Taha, H. (2001) "Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas," *Solar energy*, 70(3), 295–310.
- Buyadi, S. N. A.; Mohd, W. M. N. W. & Misni, A. (2013) "Green Spaces Growth Impact on the Urban Microclimate," *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 105, 547–557.
- Correa, E.; Ruiz, M. A.; Canton, A. & Lesino, G. (2012) "Thermal comfort in forested urban canyons of low building density. An assessment for the city of Mendoza, Argentina," *Building and environment*, 58, 219–230.
- Dow, C. L. & DeWalle, D. R. (2000) "Trends in evaporation and Bowen ratio on urbanizing watersheds in eastern United States," *Water Resources Research*, 36(7), 1835–1843.
- Fouillet, A.; Rey, G.; Laurent, F.; Pavillon, G.; Bellec, S.; Guihenneuc-Jouyau, C.; ... & Hémond, D. (2006) "Excess mortality related to the August 2003 heat wave in France," *International archives of occupational and environmental health*, 80(1), 16–24.



- Givoni, B. (1998) *Climate considerations in building and urban design*, John Wiley & Sons.
- Grimmond, C. & Oke, T. R. (1999) "Heat storage in urban areas: Local-scale observations and evaluation of a simple model," *Journal of Applied Meteorology*, 38(7), 922-940.
- Hajat, S.; Kovats, R. S. & Lachowycz, K. (2007) "Heat-related and cold-related deaths in England and Wales: who is at risk?" *Occupational and environmental medicine*, 64(2), 93-100.
- Jacob, D. J. & Winner, D. A. (2009) "Effect of climate change on air quality," *Atmospheric Environment*, 43(1), 51-63.
- Kolokotroni, M.; Giannitsaris, I. & Watkins, R. (2006) "The effect of the London urban heat island on building summer cooling demand and night ventilation strategies," *Solar energy*, 80(4), 383-392.
- McKibben, B. (2007) "Climate Change 2007: The Physical Science Basis: Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change," *New York Review of Books*, 54(4), 44.
- Nations, U. (2015) *Adoption of Paris agreement, Framework convention on climate change* (FCCC 12-12). Paris.
- Oke, T. R. (1987) *Boundary layer climates*, Vol. 5, Psychology Press.
- Rizwan, A. M.; Dennis, L. Y. & Chunho, L. (2008) "A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island," *Journal of Environmental Sciences*, 20(1), 120-128.
- Santamouris, M. (2013) *Energy and climate in the urban built environment*, Routledge.
- Schwarz, N.; Schlink, U.; Franck, U. & Großmann, K. (2012) "Relationship of land surface and air temperatures and its implications for quantifying urban heat island indicators—an application for the city of Leipzig (Germany)," *Ecological Indicators*, 18, 693-704.
- Shashua-Bar, L. & Hoffman, M. (2000) "Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees," *Energy and buildings*, 31(3), 221-235.
- Shashua-Bar, L.; Pearlmuter, D. & Erell, E. (2009) "The cooling efficiency of urban landscape strategies in a hot dry climate," *Landscape and Urban Planning*, 92(3), 179-186.
- Shen, T.; Chow, D. & Darkwa, J. (2013) "Simulating the influence of microclimatic design on mitigating the Urban Heat Island effect in the Hangzhou Metropolitan Area of China," *International Journal of Low-Carbon Technologies*, ctt050.
- Srivani, M. & Kazunori, H. (2011) "The Influence of Urban Morphology Indicators on Summer Diurnal Range of Urban Climate in Bangkok Metropolitan Area, Thailand," *International Journal of Civil & Environmental Engineering*, 11(5), 34-46.
- Takebayashi, H. & Moriyama, M. (2007) "Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island," *Building and environment*, 42(8), 2971-2979.
- Weaver, C.; Cooter, E.; Gilliam, R.; Gilliland, A.; Grambsch, A.; Grano, D.; ... & Winner, D. (2009) "A preliminary synthesis of modeled climate change impacts on US regional ozone concentrations," *Bulletin of the American Meteorological Society*, 90(12), 1843-1863.
- Wong, S. L.; Wan, K. K.; Li, D. H. & Lam, J. C. (2010) "Impact of climate change on residential building envelope cooling loads in subtropical climates," *Energy and buildings*, 42(11), 2098-2103.
- Yuan, F. & Bauer, M. E. (2007) "Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery," *Remote Sensing of Environment*, 106(3), 375-386.
- Zhang, Z.; Lv, Y. & Pan, H. (2013) "Cooling and humidifying effect of plant communities in subtropical urban parks," *Urban forestry & urban greening*, 12(3), 323-329.

Received: 01 December, 2015

Accepted: 21 June, 2016

## Urban Change and Its Thermal Impacts

### Case Study: Isfahan

**Armaghan Ahmadi Venhari**, PhD Candidate of Urban Design, School of Architecture and Urban Studies, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

**Ali Ghafari**, Professor of Urban Design, School of Architecture and Urban Studies, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

**Mansureh Tahbaz**, Associate Professor, School of Architecture and Urban Studies, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

#### Abstract

Increased speed of life has changed the cities in different ways and has caused many consequences. One of them is heating intensity in the cities compared with their surroundings. Heating stress has some different impacts on residents, from residents' health to economic consequences. Their health is in danger because of thermal stress, greenhouse gasses, and pollution, and there would be economic consequences upon people's life, due to increasing energy consumption. Thus, controlling urban temperature is an important factor in the design process. Urban design with its tools including urban morphology can play an imperative role in the passive cooling design. Isfahan has been selected with regard to its climate and hot summers, its urban changes in recent years and droughts. The thermal impact of changing urban morphology is an object of this study. Two phases have been designed in this study. In the first phase, comparison of land surface temperature, LST, were conducted in years 2000 and 2014 in Isfahan. In this regard, satellite images of Landsat 7, ETM in Envi 4.7 were used. Six districts were selected with maximum differences in LST between the years of 2000 and 2014. The changes in the natural environment have been studied by urban greenery and water, and built environment including sky view factor, closeness and materials. In the second phase of the study, a field measurement was conducted in the coolest and the hottest districts. Selecting a base point in each area and comparing the measurement points with this reference point illustrated the morphological impact in each point. The increasing of 562 ha of the hot spaces of the city (>40°C) in 14 years of study illustrated that the city had clearly become warmer. Furthermore, the maximum alterations were seen in urban greenery (NDVI) and water, which emphasizes their impact on heating of the city. Due to drying up the main river of the city, i.e. Zayandeh Rood, and its branches, i.e. Madies, the thermal surface has increased dramatically. Besides, decreased water has affected different parameters in thermal comfort. Moreover, 14% decrease of urban greenery has an important role in increase of surface and air temperature. The consequence of changing urban greenery and its thermal impact in some districts with more vegetation in 2014 than 2000 and some districts with less greenery have been approved in this study. In-built environment parameters, the vacant land or a large areas of asphalt like large squares were two important factors, especially in surface temperature. These impacts in the historical district of Isfahan, created very hot points in this areas. Inferior materials for insulations were another factor which has affected the LST. Sky view factor as an undeniable factor in thermal comfort has been changed between 2000 and 2014. Although in some districts the SVF has decreased, mainly by increasing the height of buildings, in other districts the SVF have increased due to cutting the shading trees. Decreasing SVF especially by shading trees is recommended in this study. The most important result of this study is showing the impact of urban designer's role in heat mitigation in the cities by controlling urban morphology.

**Keywords:** Urban warming, urban heat island, morphological change, urban design.