

بررسی آسایش حرارتی در ساختار فضای باز شهری؛ نمونه موردی: کلارک کوای سنگاپور و نوه زین فلسطین

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۲۸

کد مقاله: ۴۰۵۸۶

فرزانه نادری^۱، آیدا ملکی^{۲*}، پرینا قبادی^۳

چکیده

با رشد جمعیت، افزایش ساختمان‌سازی و در نتیجه از بین رفتن فضاهای سبز و طبیعی، روند مخرب کاهش آسایش حرارتی سرعت گرفته است. در جوامع شهری که انسان بخش زیادی از زمان خود را در آن سپری می‌کند چگونگی طراحی فضای باز شهری اهمیت میابد. هدف پژوهش حاضر، بررسی مفهوم آسایش حرارتی در ساختار فضای باز شهری با واکاوی دو نمونه موفق است. نتایج پژوهش سه مولفه‌ی شاخص: هندسه، پوشش گیاهی و مصالح در اصلاح آسایش حرارتی را نشان داد که دو نمونه کلارک کوای سنگاپور و نوه زین فلسطین نیز بر مبنای این سه مولفه تحلیل شدند. در ارتباط با مولفه پوشش گیاهی و مصالح، در هر دو نمونه موردی، به کمک منظره‌سازی در بخش‌های عمومی محله، و در ارتباط با مولفه هندسه، در نوه زین به کمک: سیستم عبور و مرور - خوشه‌بندی ساختمان‌ها - خطوط عقب‌نشینی - پوشش خورشیدی و در کلارک کوای به کمک راهکارهای سایه‌اندازی، آسایش عابرین در فضای خارجی را بهبود بخشیدند. همچنین پارامترهای آسایش حرارتی در فضای باز را می‌توان به دما، تابش، سرعت باد و رطوبت تجزیه کرد. با الهام از راهکارهای به کاررفته در نمونه‌های بررسی شده و مدنظر قرار دادن شرایط اقلیمی و مورفولوژی شهرهای ایران می‌توان به بهبود آسایش حرارتی در ساختار فضاهای باز شهری کمک نمود تا شاهد حضور بیشتر افراد در این فضاها باشیم.

واژگان کلیدی: آسایش حرارتی، ساختار شهری، فضای باز

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد معماری انرژی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران

۲- استادیار، مهندسی معماری/انرژی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران (نویسنده مسئول).
a.maleki@tabriziau.ac.ir

۳- دکتری شهرسازی اسلامی و مدرس دانشگاه، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران

*- این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد با عنوان «بررسی چگونگی بهبود آسایش حرارتی و ارتقا کیفیت هوای فضاهای باز مجتمع‌های مسکونی، مورد مطالعه شهر تبریز» است که با راهنمایی دکتر آیدا ملکی در دانشگاه هنر اسلامی تبریز انجام گرفته است.

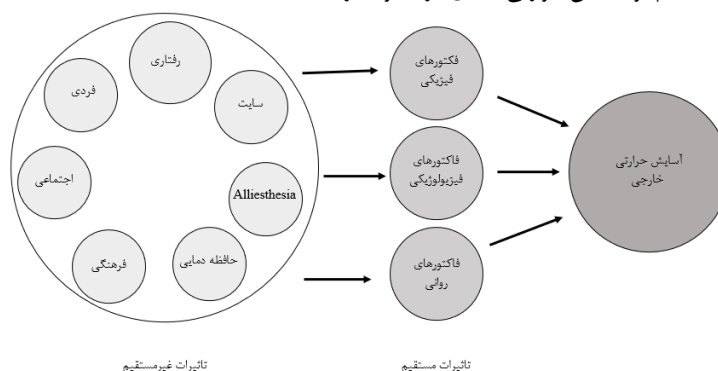
۱- مقدمه

طبق بررسی پژوهش‌های مختلف، تعداد فزاینده‌ای از مطالعات در مورد استراتژی‌هایی برای بهبود محیط حرارتی شهری و آسایش حرارتی عابر پیاده مانند تغییر هندسه شهری، کاشت پوشش گیاهی، استفاده از سطوح خنک و ترکیب توده‌های آبی انجام شده است (Lai et al, 2019). بسته به پیکربندی شهری، استفاده از مواد بازتابنده در سطح زمین و ساختمان می‌تواند به صورت مثبت یا منفی به آسایش عابران پیاده و تعادل انرژی ساختمان کمک کند (Chatzidimitriou, 2015). بسیاری از مطالعات رابطه واضحی بین فعالیت‌های خارج از منزل و درک حرارتی در فضاهای باز دارند. از آنجاکه ویژگی‌های فضاهای باز عمومی را می‌توان با طراحی تغییر داد، بنابراین محیط حرارتی تجربه شده در فضای باز را می‌توان دست‌کاری کرد (Lenzholzer, 2012). برای افزایش کیفیت اقامت و جذاب‌تر کردن فعالیت‌های بیرونی، فضاهای باز عمومی باید طراحی شود تا «آسایش حرارتی» ساکنان را بهبود بخشد (Mi et al, 2019). علاوه بر این بهبود آسایش حرارتی می‌تواند به دو روش فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی را ایجاد کند. اولاً، بار سرمایشی در ساختمان‌ها را می‌توان به دلیل دمای شهری خنک‌تر کاهش داد (Hirano and Fujita, 2012). دوم، با سپری کردن زمان بیشتری در فضاهای بیرونی، استفاده از تهویه مطبوع و سایر تجهیزات الکترونیکی کاهش می‌یابد (Lai et al, 2014). پژوهش حاضر با هدف بررسی مقوله آسایش حرارتی در ساختار فضای باز شهری است که در ادامه به معرفی برخی از مولفه‌های شاخص تاثیرگذار ساختار فضای باز شهری بر آسایش حرارتی پرداخته و ۲ نمونه موردی: کلارک کوای سنگاپور و نوه زین فلسطین مورد واکاوی قرار می‌گیرد.

۲- مبانی نظری

۲-۱- مفهوم آسایش حرارتی در فضای باز

در تعریف اصطلاح «آسایش حرارتی» تعابیر متفاوتی وجود دارد. نیلسن می‌گوید آسایش حرارتی عبارت است از احساس رضایت فرد از محیطی مشخص. آسایش گرمایی از فردی تا فرد دیگر متفاوت بوده و غیر از وجوه فیزیولوژیکی، جنبه‌های روان‌شناختی را هم در بر می‌گیرد (Koch-Nielsen, 2013). عقیده بسیاری از محققان فن بر این است که خنثی بودن حرارتی تعبیر دقیق‌تری از آسایش حرارتی است، چرا که در چنین محیطی بدن انسان نه احساس سرما و نه احساس گرما می‌کند. انجمن مهندسين گرمایش، تبريد و تهويه مطبوع آمريکا (ASHRAE) آسایش حرارتی فضای باز را به عنوان "شرایط ذهنی که رضایت از محیط حرارتی بیرون را بیان می‌کند" تعریف کرده است (ASHRAE, 2017). شکل شماره ۱ عواملی را نشان می‌دهد که به صورت مستقیم و یا غیر مستقیم بر آسایش حرارتی فضای باز تاثیر گذارند.



شکل ۱: عوامل موثر مستقیم و غیرمستقیم بر آسایش حرارتی فضای باز (Li et al, 2020).

۲-۲- تفاوت آسایش حرارتی در فضای باز و بسته

به عنوان اولین گام برای مبارزه با تنش‌های حرارتی شدید در مناطق شهری، پرداختن به "آسایش حرارتی" یعنی احساس انسان از محیط حرارتی در فضاهای شهری داخلی و خارجی در زمینه زیست‌پذیری شهر بسیار مهم است. برای انجام این کار، تلاش‌هایی برای بهبود آسایش حرارتی فضاهای بسته با افزایش تهویه طبیعی به حداقل رساندن تابش خورشیدی منتقل شده با تغییر در طراحی و ویژگی‌های پنجره یا با استفاده از سیستم‌های تهویه مانند پنکه و تهویه مطبوع انجام گرفته است. با این حال، برای فضاهای بیرونی، فقدان مرز حرارتی و قرارگرفتن در معرض تابش مستقیم نیاز به استراتژی‌های جایگزین برای حفظ سطح آسایش حرارتی مطلوب دارد (Nazarian, 2018). شاخص‌های مختلفی برای تعیین کمیت آسایش انسان و استرس گرمایی در فضاهای داخلی و خارجی ایجاد شده است. شاخص‌های آسایش حرارتی در فضاهای داخلی به دلیل پایداری نسبی محیط داخلی (از نظر دمای هوا، رطوبت، تابش و جریان هوا) و توانایی کنترل مکانیکی آن، به راحتی ایجاد می‌شوند (Coccolo et al, 2016). بحث آسایش حرارتی در فضای باز موضوع جدیدی است که در ابتدا معیارهای فضای بسته را به باز تعمیم می‌دادند؛ اما بعدها پارامترهای

دیگری مانند دمای معادل فیزیولوژیکی اضافه شد که فرد به کمک آن قادر به مقایسه تأثیر آسایش حرارتی باتجربه شخصی خود از دما است.

۲-۳- متغیرهای اصلی و شاخصه‌های ارزیابی آسایش حرارتی در فضای باز

ترجیحات حرارتی را می‌توان مجموعه‌ای از عوامل فیزیکی مؤثر در احساس حرارتی (دمای هوا، رطوبت، حرکت هوا، تابش، لباس و فعالیت) دانست که فرد در یک محیط فیزیکی خاص و هنگام قرارگرفتن در معرض آب‌وهوا و تأثیرات فیزیکی، اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی آن انتخاب می‌کند. این تعریف تمام شش متغیری که در مدل‌های احساس حرارتی به کاررفته را در بر می‌گیرد و علاوه بر این اثرات واقعی مانند رسوم اجتماعی یا هزینه‌ها را نیز شامل می‌شود و به همین دلیل بیش از شاخص احساس حرارتی در مورد محیط‌های ساخته شده کاربرد دارد (Erell et al, 2012). از بین ۶ متغیر مذکور، عامل لباس و فعالیت به دلیل مرتبط نبودن با عوامل فیزیکی، مدنظر پژوهش حاضر قرار نگرفته و به ۴ عامل مرتبط دیگر می‌پردازیم. در جدول شماره ۱، به نتایج پژوهش‌هایی که به ۴ عامل: دمای هوا، تابش حرارتی، باد و رطوبت نسبی بر آسایش حرارتی فضای باز پرداخته شده است اشاره گردید. از جمله سه شاخص اصلی آسایش حرارتی، یعنی دمای معادل فیزیولوژیکی (PET)، شاخص جهانی آب‌وهوای حرارتی (UTCI) و دمای مؤثر استاندارد فضای باز (OUT_SET) به طور خاص برای شرایط فضای باز طراحی شده‌اند و معمولاً در مطالعات آسایش حرارتی در فضای باز استفاده می‌شوند. در مطالعات اخیر بیشتر از PET به عنوان شاخص آسایش حرارتی در فضای باز استفاده می‌کنند (Shooshtarian et al, 2016).

جدول ۱: خلاصه‌ای از تأثیر عوامل فیزیکی بر آسایش حرارتی در فضای باز (Lai et al, 2020: 32).

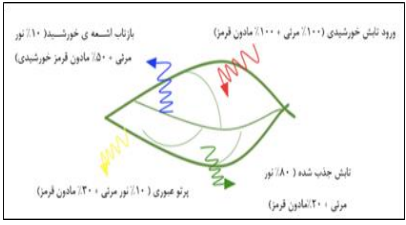
منابع	خلاصه	متغیرها	فاکتور
(Chen et al, 2018; Lai et al, 2014; Liu et al, 2016; Tsitoura et al, 2014)	دمای هوا بیش‌ترین تأثیر را بر آسایش حرارتی فضای بازبین چهار پارامتر اقلیمی دارد.	دمای هوا	عوامل فیزیکی
(Hwang and Lin, 2007; Lin et al., 2011; Liu et al, 2016; Shih et al, 2017; Tseliou et al, 2016; Xu et al, 2018; Yang et al, 2013b; Yin et al, 2012)	تشعشع تأثیر بیشتری نسبت به باد دارد.	تابش و سرعت باد	
(Krüger and Rossi, 2011; Metje et al, 2008; Walton et al, 2007)	باد تأثیر بیشتری نسبت به تابش دارد.		
(Lai et al, 2017; Lau al, 2019; Nakayoshi et al, 2015; Vasilikou andNikolopoulou, 2019)	باد و تابش به‌صورت پویا در فضای بیرون تغییر می‌کند.		
(Hadianpour et al, 2019; Kubaha et al, 2004)	جهت قرارگیری و موقعیت انسان نسبت به باد و تشعشعات در ادراک آن تأثیرگذار است.		
(Chen et al, 2018; Cheng et al, 2012; Lai et al., 2014a)	در بین متغیرها رطوبت تأثیر ناچیزی دارد.	رطوبت	
(Chow et al, 2016)	رطوبت به‌عنوان ناخوشایندترین پارامتر در دمای بالا در نظر گرفته شد		

۲-۴- عوامل مؤثر در بهبود آسایش حرارتی در فضای باز

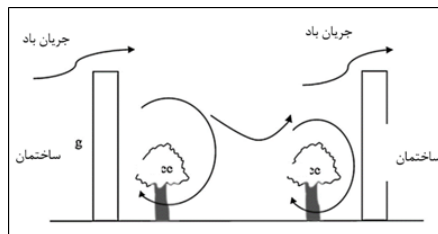
الف - هندسه: برخی مطالعات نشان داده‌اند که ویژگی‌های خرد اقلیمی تحت تأثیر بافت شهری قرار دارند و تنوع در هندسه می‌تواند تغییرات قابل توجهی در شرایط ایجاد کنند (Sharmin et al, 2017). فضاهای باز شهری با هندسه‌های مختلفی مشخص می‌شوند. اثر اولیه هندسه بر محیط حرارتی، اصلاح تبادل حرارت تابشی و همرفتی در فضاهای باز است. مورفولوژی بالا و متراکم اغلب تابش خورشید را مسدود می‌کند و سرعت باد را کاهش می‌دهد (Lai et al, 2019). در مطالعات محیط حرارتی، هندسه شهری معمولاً با پارامترهای زیر تعیین می‌شود: -ضرب دید به آسمان (SVF) برای فضاهای نامنظم و پیچیده، مانند فضاهای میدان‌ها، پارک‌ها و جوامع مسکونی. - نسبت ارتفاع به عرض (H/W) و جهت‌گیری دره‌های خیابانی (Lai et al, 2017) - نحوه چینش و ساماندهی معابر. سطوح تابش، سرعت باد و دمای هوا در فضاهای فشرده معمولاً کمتر از فضاهای باز است. فرم‌های شهری فشرده در طول تابستان شرایط حرارتی بهتری را نشان می‌دهند؛ اما در زمستان نامطلوب هستند (Jamei et al, 2016). جوهانسون در پژوهش خود نشان داد اگرچه یک دره کم عمق تأثیر منفی بر آسایش حرارتی در تابستان دارد؛ اما می‌تواند در طول زمستان دسترسی بهتری به خورشید داشته و به لحاظ آسایش حرارتی موفق‌تر عمل کند (Johansson, 2006).

ب- پوشش گیاهی: برای پوشش گیاهی شهری مزایای متعددی برشمرده‌اند، از جمله کاهش شدت جزیره گرمایی شهری، کاهش هزینه‌های مربوط به تهویه هوای ساختمان‌ها، بهبود کیفیت هوا و تأمین محیطی با ویژگی‌های برتر روان‌شناختی برای فعالیت‌های انسان. منظره‌سازی خصوصاً الحاق مناطق درختکاری شده به بافت شهری می‌تواند میکروکلیمای آن منطقه و مناطق اطراف را تعدیل نماید (Maleki and Mahdavi, 2016). به طور معمول، در دسترس بودن آب و در نتیجه افزایش تبخیر موجب کاهش دمای سطح می‌شود. در نتیجه چمنی که به‌تازگی آبیاری شده است خنک‌تر از (در طول روز) چمنی با ویژگی‌های مشابه ولی دچار کمبود آب است. باین‌حال تأثیر پوشش گیاهی یک‌ساله کاملاً پیچیده است و بسته به نوع گیاهان شرایط هواشناختی و زمان روز متفاوت خواهد بود (Erell et al, 2012). به‌طور کلی پوشش گیاهی در فضاهای باز شهری می‌تواند کمک‌های مختلفی به زندگی شهری باکیفیت بالا داشته باشد. اثرات اولیه پوشش گیاهی بر محیط حرارتی شهری جلوگیری از تشعشعات، کاهش سرعت باد و کاهش دمای هوا است (Lai et al, 2019). درواقع یکی از راه‌های کاهش جزایر گرمایی در نتیجه کاهش استرس گرمایی انسان، افزایش پوشش گیاهی در مناطق شهری است، زیرا پوشش گیاهی می‌تواند مزایای خنک‌کننده و سایه‌اندازی، تبخیر و همچنین سایر خدمات اکوسیستم را فراهم کند (Salmond et al, 2016). درختان می‌توانند عملکردهای تنظیمی را به‌صورت مثبت و منفی در کنترل شرایط خرد اقلیمی و تأثیر بر آسایش حرارتی انسان به ۳ شکل (جدول شماره ۲) ارائه دهند: ۱- اثر سایه زنی دمای تابشی را کاهش می‌دهد. ۲- به کمک تعرق هوای محیط را خنک می‌کند؛ بنابراین دمای هوا کاهش می‌یابد. ۳- با مقاومت در برابر باد سرعت آن را کاهش می‌دهد (Kong, 2017).

جدول ۲- عملکرد درختان در تنظیم شرایط خرد اقلیم.

سایه‌اندازی	سایه‌اندازی توسط درختان می‌تواند مقدار زیادی از تشعشعات موج کوتاه ورودی را با بازتاب و انتقال از طریق برگ‌های آن‌ها حذف کند (Brown and Gillespie, 1995). درختان به طور مؤثر تشعشعات حرارتی را در فضاهای باز شهری کاهش می‌دهند. درختان با انعکاس و جذب می‌توانند مقدار زیادی از تابش خورشیدی موج کوتاه ورودی را حذف کنند (Lai et al, 2019). همان‌طور که در شکل ۲ مشخص است سایه درخت می‌تواند به طور قابل توجهی دمای تابشی را کاهش دهد. بنابراین، دمای سطح و هوا می‌تواند در سایه درختان کمتر از مناطق بدون سایه اطراف باشد (Lee et al, 2016). در نتیجه افزایش پوشش درخت شهری می‌تواند عابران پیاده را از نور مستقیم خورشید محافظت کند (Wang and Akbari, 2016). چندین لایه برگ می‌تواند انتقال را به میزان بیشتری کاهش دهد همان‌طور که بری و همکارانش نشان داده‌اند: یک تاج درخت متراکم و بلند می‌تواند منجر به کاهش قابل توجه دمای سطح از طریق سایه زدن در طول دوره گرم تابستان شود. به طور خاص گونه‌های مختلف درختی به دلیل ویژگی‌های ساختاری متنوع خود، مانند میانگین ارتفاع، تغییرپذیری ارتفاع درخت و حجم درخت نرمال شده، مقادیر متفاوتی از جذب تشعشع را فراهم می‌کنند (Berry et al, 2013). 
تبخیر و تعریق	شکل ۲: عملکرد برگ درخت در برخورد با تابش خورشیدی (Brown and Gillespie, 1995). درختان بخار آب را از روزنه‌های برگ در طول فتوسنتز به هوا آزاد می‌کنند که به آن تعرق می‌گویند. تعرق می‌تواند واسطه از دست دادن گرمای نهان در طی تبدیل آب مایع به بخار شود و در نتیجه منجر به خنک شدن برگ و محیط اطراف شود. میزان تعرق درختان به عوامل محیطی مانند: CO₂، دمای هوا و آب موجود در خاک و ویژگی‌های درختان مانند ارتفاع و زاویه برگ‌ها، ضخامت، رنگ شاخه‌ها و معماری آن‌ها بستگی دارد (Kong, 2017). پوشش گیاهی علاوه بر جلوگیری از تابش موج کوتاه، به دلیل کاهش دمای سطح ناشی از تعرق، تابش موج بلند را کاهش می‌دهد (Chatzidimitriou and Yannas, 2015). همچنین مشخص شد که درختان به‌صورت منفرد می‌توانند دمای هوا را بین ۱٫۱ تا ۲٫۸ درجه سانتیگراد در طول تابستان کاهش دهند. باید توجه داشت که کاهش دما در زیر تاج درخت هم به دلیل سایه و هم تعرق ایجاد می‌شود و تعرق می‌تواند به طور گسترده‌تری بر روی دمای محیط تأثیر بگذارد (De Abreu-Harbach et al, 2015). همراه با کاهش دمای هوا که توسط تعرق و رهگیری تشعشع درختان حاصل می‌شود، آبیاری می‌تواند خنک‌کننده اضافی را فراهم کند (Lai et al, 2019).

درختان در دره خیابان مانع از جریان هوا و کاهش سرعت باد و در نتیجه اختلال در کیفیت هوای محلی می‌شوند (Park et al, 2012). درواقع درختان ناهمواری سطح شهری را افزایش داده و بر جریان هوا فشار وارد می‌کنند (Lai et al, 2019). درختان با چیدمان متراکم ممکن است میانگین سرعت باد را تا ۹۰ درصد کمتر از بالای تاج درخت در مقایسه با مناطق باز گزارش شده کاهش دهند که در دره‌های خیابانی وجود چهار درخت پیاده‌رو می‌تواند سرعت باد در زیر تاج را تا ۵۱ درصد کاهش دهد. برای کاهش این اثر منفی بر آسایش حرارتی، انتخاب اشکال مناسب و اندازه گونه‌های درختی در طراحی منظر ضروری است. باد به طور قابل توجهی در اطراف لبه‌ها و سقف ساختمان‌ها تسریع می‌یابد، درحالی‌که درختان تغییرات ملایمی در سرعت باد ایجاد می‌کنند (Oke et al., 2017).



شکل ۳: جریان باد با وجود درختان در یک کانیون (Heisler, 1990).

ج- مصالح و روسازی: در ارتباط با مصالح، پارامترهایی نظیر: ضریب جذب، انعکاس، نفوذ پذیری، ظرفیت حرارتی و ضریب گسیلندگی تاثیرگذارند. بیشترین افزایش گرما در محیط‌های شهری در فضاهایی اتفاق می‌افتد که سطوح با مواد غیرقابل نفوذ، نور بیشتری جذب می‌کنند، جایی که میزان پوشش گیاهی و سطح سایه کلی کمتر است (Hertel and Schlink, 2019). جذب بیش از حد حرارت خورشیدی توسط ساختارهای شهری به توسعه جزایر گرمایی کمک می‌کند. استفاده گسترده از مواد غیرقابل نفوذ و کاهش متداول پوشش گیاهی در مناطق شهری بر رژیم آب‌وهواشناسی و رسوب آلاینده‌ها تاثیر می‌گذارد (Baklanov et al, 2018). سطح زیرین فضای باز شهری از روسازی‌هایی از مواد مختلف تشکیل شده است. برخی از موادی که در معرض نور خورشید قرار می‌گیرند می‌توانند داغ‌تر از مواد دیگر شوند. استراتژی‌های روسازی خنک می‌توانند شرایط حرارتی شهری را کاهش دهند (Qin, 2015). خاک، آجر، آسفالت، ماسه‌سنگ، مرمر، بتن، بتن با سنگ‌ریزه، گرانیت، آجر سیمانی درهم‌تنیده، بتن آسفالتی و کاشی و سرامیک پیکربندی‌های معمولی روسازی هستند و پتانسیل‌های آلودگی متفاوت همراه با اثرات حرارتی مختلف دارند (زمان جذب گرما در طول روز و ساطع کردن آن در طول شب) (Fukuda et al, 2019). مواد طبیعی یا مصنوعی با انعکاس تابش خورشیدی بالا برای متعادل کردن اثرات یک جزیره گرمایی شهری در نماها و سقف‌های ساختمان‌ها و پیاده‌روهای فضاهای باز اعمال می‌شوند (Lai et al, 2019). بسته به پیکربندی شهری، استفاده از مواد بازتابنده در سطح زمین و ساختمان می‌تواند به‌صورت مثبت یا منفی در راحتی عابران پیاده و تعادل انرژی ساختمان نقش داشته باشد (Erell et al, 2013).

آلودگی سطوح: مصالح با انعکاس زیاد، بام‌های خنک و سبز، فضای سبز شهری از جمله راهکارهای معماری هستند که برای بهبود آسایش حرارتی توجه بیشتری را به خود جلب کرده‌اند. چندین مطالعه اثربخشی آنها را در کاهش دماهای بالای شهری نشان داده است (Morini et al, 2018). رشد شهرها فضاهای سبز را محدود کرده و سطوح گیاهی جای خود را به سطوح سخت شهری مانند بتن داده است که نتیجه آن کاهش آلودگی و جذب بیشتر نور خورشید و نهایتاً گرم شدن هوا است (Daemei et al, 2018). ازاین‌رو استفاده از سطوح و موادی که آلودگی بالاتری دارند می‌تواند به‌عنوان راه‌حلی برای کاهش گرمای محیط مورد استفاده قرار گیرد (Crank et al, 2018). اما به‌منظور کاهش جزیره گرمایی شهری، افزایش فضای سبز شهری نسبت به سایر سطوح با آلودگی بالا مؤثرتر است، اما سبزی بیش از حد خود با کاهش تهویه، تأثیر منفی بر ریز اقلیم شهر خواهد داشت (Yuan et al, 2017). افزایش آلودگی سقف به ۰.۵ و ۰.۷، اثربخشی مشابه ۲۵٪ و ۵۰٪ پوشش بام سبز را دارد (Ambrosini et al, 2014). هم چنین مواد با آلودگی بالا برای کاهش PET در طول روز تابستان توصیه می‌شود (Fukuda et al, 2019). در برخی از شرایط و انواع شهرها، با استفاده ترکیبی از پوشش گیاهی و مواد آلودگی بالا می‌توان به بهبود آسایش حرارتی هم در اقلیم کلان‌شهری و هم در خرد اقلیم کمک کرد (Salata et al, 2015).

۳- محدوده مطالعه

۳-۱- نوه زین

محله نوه زین در مجاورت سد بوکر در بیابان نگو فلسطین اشغالی مجموعاً ۷۹ خانه شخصی که خانه‌ها جدا از هم و به صورت تک خانواده‌ای را در خود جای داده است. سد بوکر در ارتفاعات خشک بیابان نگو در جنوب فلسطین اشغالی (عرض جغرافیایی ۳۰°۸ درجه شمالی و ارتفاع ۴۷۵ متری) واقع شده است. این منطقه تابستانهای گرم و خشک و زمستانهای سرد ولی آفتابی با نوسانات دمایی زیاد بین شب و روز را تجربه می‌کند. طراحی منطقه در سال ۱۹۸۴ آغاز شد و اولین ساکنان در سال ۱۹۹۰ وارد منطقه شدند در ادامه صرفاً به عناصر مرتبط با آسایش حرارتی پرداخته می‌شود.

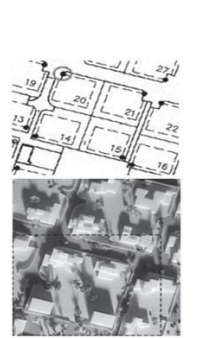
۳-۱-۱- اهداف طراحی

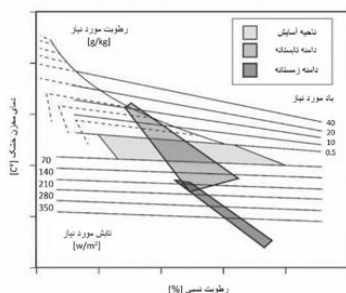
هدف کلی این طرح «خلق یک محله بیابانی مدرن بود که در عین پاسخگویی به شرایط سخت محیط، تمام تسهیلات امروزی را برای ساکنان خود فراهم سازد.» برای تحقق این هدف به مسائلی از جمله عملکرد حرارتی ساختمان و آسایش عابرین در فضای خارجی پرداخته می‌شود.

- اهداف مربوط به عملکرد حرارتی ساختمان: روزهای گرم تابستان این منطقه با شبه‌های نسبتاً خنک همراه است، در نتیجه ساختمانها ممکن است از تهویه موثر هوا در طول شب و حذف انرژی جذب شده اضافه در طول روز بهره مند شوند. بر این اساس طراحی مطلوب برای ایجاد جریان، نسیم جهت افزایش جریان هوا در محله ایجاد شده است.

- اهداف مربوط به آسایش حرارتی عابرین در فضاهای خارجی: طراحی فضاهای مربوط به عابرین در مسیرها و میادین عمومی محله نوه زین با این هدف انجام شد که عابرین در تمام طول سال از آسایش حرارتی برخوردار باشند. برای تحقق این هدف، شرایط محیط طبیعی با استفاده از ابزارهای مکانیکی تعدیل شد. علاوه بر مسئله آسایش حرارتی افراد در مناطق بیابانی در بیرون از فضای ساختمان ها با گرد و غبار موجود در هوا هم رو به رو هستند که یکی از دلایل اصلی ایجاد عدم آسایش برای آنها به شمار می‌آید. در نتیجه، طراحی محله طوری انجام شد که افراد کمترین تماس را با گرد و غبار داشته باشند (ارل و همکاران، ۱۴۰۰). در جدول شماره ۳ به بررسی و تحلیل راهکارهای طراحی در نوه زین بر مبنای سه مولفه هندسه، پوشش گیاهی و مصالح پرداخته شده است.

جدول ۳- بررسی و تحلیل مولفه‌های مورد نظر در نوه زین فلسطین

 شکل ۴- دوسیستم جداگانه برای عبور و مرور	نوه زین دو شبکه جداگانه برای عبور و مرور دارد. یکی برای مسیرهای مخصوص عابرین و دیگری خیابانهای وونرف که همزمان عابرین و وسایط نقلیه از آن استفاده میکنند. طراحی این شبکه ها با توجه به ملاحظات اقلیمی مربوط به میکروکلیمای فضاهای باز اطراف و بهره گیری ساختمانهای محل از نور خورشید و باد انجام شد. عرض وونرف ها در حدود ۸ متر است، یعنی درست به اندازه ای که مطمئن شویم در طول فصل زمستان زمانی که برای سامانه گرمایش غیر فعال ساختمان به حداکثر تماس با نور خورشید نیاز است، خانه های دو طبقه سمت جنوب خیابان برخانه های سمت شمال سایه نمی اندازند.	سیستم عبور و مرور
 شکل ۵- گروه‌های چهارخوشه‌ای ساختمان‌ها	مکان دقیق ساختمانها در هر نقشه محدودیتهایی دارد. به جای استفاده از رویکرد معمول و قرار دادن ساختمانها در وسط هر نقشه خلق یک حیاط پشتی و یک حیاط جلویی برای هر ساختمان و در نظر گرفتن فضای نسبتاً کم بین ساختمانهای مجاور، در طرح نوه زین ساختمانها خوشه بندی شدند. این مسئله مزایای متعددی دارد: - ساختمانهای مجاور که در جهت شمال به جنوب قرار دارند در همان خوشه تا جای ممکن از یکدیگر مجزا می شوند و در نتیجه مانع تابش نور خورشید نخواهند شد و در نتیجه راهبرد حمایت از حق دسترسی به نور خورشید برای تمام ساختمانها حفظ خواهد شد. - دیوارهای شرقی یا غربی ساختمانهای نزدیک به مرز هر خوشه طوری طراحی شده است که نزدیک به کوچه های باریک شمال به جنوب و در بین ساختمانها قرار گرفته باشند و به این ترتیب روی فضای کوچه سایه انداخته و از وزش باد محافظت میشوند. - دیوارهای شمالی مجاور قسمتهای بیرونی هر خوشه نزدیک به جاده های شرقی غربی اصلی قرار گرفته اند و به سایه اندازی روی جاده کمک میکنند.	خوشه بندی ساختمانها
خطوط عقب نشینی با در نظر داشتن دو هدف در ذهن مشخص شدند: - برای تعیین محیط قسمتی از هر مکان که حتماً به نور خورشید دسترسی خواهد داشت. - کمک به خلق فضاهای خارجی، خصوصاً کوچه های باریک مخصوص عبور و مرور عابرین با حد و مرز مشخص و تعریف شده و با سایه کافی.		

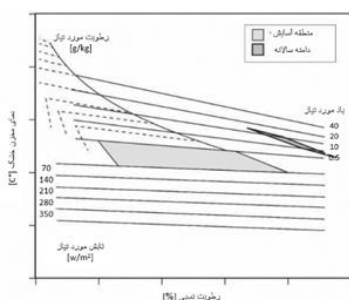


نمودار ۱- آسایش حرارتی در سد بوکر

پوشش خورشیدی	پوشش خورشیدی	برای دسترسی ساختمانها به نور خورشید یک پوشش اجباری خورشیدی برای هر یک از آنها تعیین و حداکثر ارتفاع تک تک بخشهای ساختمان بر اساس مکان قرارگیری در سایت مورد نظر تعیین شد. پوشش خورشیدی به شکل یک صفحه فرضی است که با زاویه ۵/۲۶ درجه نسبت به افق از جنوبی ترین نقطه خط عقب نشینی می گذرد و ارتفاع ساختمانهای جنوبی مجاور را محدود می کند. زاویه محدود کننده طوری محاسبه شد که در هنگام انقلاب زمستانه نمای جنوبی تمام ساختمان ها از ساعت ۸:۳۰ صبح تا ۱۴:۳۰ بعد از ظهر وقت محلی کاملاً در معرض نور خورشید قرار داشته باشد و به این ترتیب دسترسی کافی به نور خورشید در تمام طول زمستان در ساعات آفتابی تضمین شود.
پوشش گیاهی و مصالح	منظره سازی در بخش های عمومی محله	در نواحی بیابانی، خاک بدون پوشش گیاهی منبع ایجاد گرد و غبار می شود و حتی یک نسیم آرام هم میتواند این گرد و غبار را با خود حمل کند و موجب ناراحتی افراد در فضاهای خارجی شود. در اقلیم خشک منطقه سد بوکر هر نوع منظره سازی با پوشش گیاهی به آبیاری نیاز دارد و به همین علت استفاده از پوشش های گیاهی بویژه بشکل چمن برای زمین منطقه راهکاری گران قیمت و کاملاً ناپایدار است. در نتیجه اغلب فضای باز عمومی محله با سنگفرشهای آجری پوشانده شده در حالی که فضاهایی که با پوشش گیاهی محصور شده اند به مناطق کوچک محدود شده و بوسیله سایه درختان و ساختمانهای مجاور محافظت میشوند. به دلیل ماهیت فشرده فضاهای عمومی در این طرح، فضای سبز صرفاً در مناطقی ایجاد شده که بتوان بیشترین بهره برداری را از آن داشت.

۲-۳- کلاک کوای

کلاک کوای به عنوان مرکز تجاری که در نزدیکی مصب رودخانه سنگاپور قرار دارد. در سال ۱۹۹۳ دولت سنگاپور پروژه بزرگی برای حفاظت از محیط زیست آغاز کرد که تمرکز اصلی آن روی منطقه روستای فستیوال کلاک کوای بود. سنگاپور در شمال خط استوا واقع شده (عرض جغرافیایی ۵/۱ درجه شمالی) است. از نظر آب و هوایی در اقلیم استوایی قرار دارد. به دلیل موقعیت جغرافیایی و قرار داشتن در نزدیکی دریا اقلیم این کشور به وسیله یکنواختی در دمای هوا، رطوبت آتمسفری بالا و بارش فراوان در تمام طول سال مشخص میشود. در سنگاپور به دلیل رطوبت بالا و هوای گرم عابرین در تمام سال تا حدی احساس ناراحتی میکنند. در این شرایط تنها با کمک افزایش جریان هوا میتوان آسایش حرارتی در فضاهای بیرونی را به طور قابل توجهی بهبود بخشید البته به به شرط آنکه در طی ساعات روز بتوان میزان بارهای انرژی تابشی را هم کاهش داد.



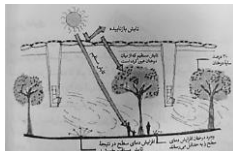
نمودار ۲- آسایش حرارتی در سنگاپور

۳-۲-۱- اهداف طراحی

توسعه مجدد منطقه کلاک کوای و تبدیل آن به تنها روستای ساحلی مخصوص برقراری جشنواره ها در سنگاپور که به طور همزمان گزینه های مختلفی برای غذاخوری، خرید و تفریح در اختیار مردم قرار میداد با چالشهای متعددی رو به رو بود. این مجموعه برای حفظ ساختمانهای قدیمی ایجاد آسایش برای ساکنین و مصرف کم انرژی بود. اولین گزینه پوشاندن و تامین تهویه مطبوع خیابانها و به این ترتیب ایجاد یک ساختمان بزرگ بود با این حال این گزینه چالش بهره وری در مصرف انرژی را برآورده نمیکند.

در نتیجه تیم طراحی تصمیم گرفتند میکروکلیمای خیابانها و میدانی روستا را تغییر دهند تا آسایش حرارتی افراد بهبود یابد و به فعالیت در این فضا بدون متوسل شدن به سیستم مرسوم تهویه هوا در فضای مورد نظر تشویق شوند. مفهوم کلی طراحی که ترکیبی از سایه و تهویه هوا است. تاج پوش مصنوعی مانند یک جنگل شهری عمل می کند و روشنایی روز، سایه اندازی، منظره و نسیم را متعادل میکند با استفاده بهینه از این عناصر، آسایش تحت شرایط گرم و مرطوب استوایی بیشتر فراهم می شود (ارل و همکاران، ۱۴۰۰). در جدول شماره ۴ به بررسی و تحلیل راهکارهای طراحی در کلاک کوای بر مبنای سه مولفه هندسه، پوشش گیاهی و مصالح پرداخته شده است.

جدول ۴- بررسی و تحلیل مولفه‌های مورد نظر در کلارک کوای سنگاپور

هندسه	سایه اندازی	طراحی خیابان موجود فرصت‌های بهینه سازی پاسخ به جهت گیری را محدود کرده بود و این مساله یکی از اساسی ترین مشکلات پیش روی تیم طراحی بود. پاسخ اصلی آن ها معرفی عناصر مصنوعی مصنوعی سایه اندازی بود. این عناصر به شکل سایه بان های جداگانه تقریباً تمام مقطع عرضی خیابانهای اصلی را پوشش میدهند. این سایه بان شامل دو لایه اتیلن تترا فلورو اتیلن و ضریب سایه کلی این سایه بان ۰.۵۱ و ۶۵٪ سطح خارجی بخش طرح دار نیز طراحی شده بود. در مناطق حاره مزایای نسیمهای خنک بایستی به حداکثر برسد. به همین دلیل پروژه ساخت تاج پوش سایه بان در ارتفاع پشت بام ساختمانها انجام شد تا نسیم رودخانه به خیابانهای شهری نفوذ کند. چارچوب تاج پوشهای مصنوعی علاوه بر سایه اندازی شامل پنکه هایی است که با روشهای مصرف کم انرژی، سرعت جریان هوا را در خیابان افزایش میدهند. هر یک از این پنکه ها جریانی با سرعت ۴,۱۲ متر مکعب بر ثانیه ایجاد و به طور متوسط سرعت جریان در طول خیابان به ۱,۲ متر بر ثانیه میرسد. وجود سایه بان و پنکه ها موجب افزایش بازه زمانی ساعتی میشود که عابرین بیشترین میزان آسودگی یعنی از ۴۱ درصد تا ۸۰ درصد را احساس می کنند.
پوشش گیاهی و مصالح	منظره سازی در بخش های عمومی محله	درختان برای تکمیل سایه اندازی تاج پوشهای مصنوعی مورد استفاده قرار گرفتند، تا از طریق فرآیند تبخیر و تعرق، موجب خنک کنندگی محیط شوند. درختان بیش از ۳۰ درصد از پوشش منطقه را به خود اختصاص میدهند و ضمن ایجاد سایه بر زیبایی محیط هم می افزایند. عبور نور از تاج پوش طوری تعیین شد که درختان نور کافی برای رشد خود دریافت کنند ولی در عین حال از ورود گرمای اضافی به محیط اجتناب شود. مکان قرارگیری و اندازه درخت ها هم طوری طراحی و مدل سازی شد که ضمن ایجاد حداکثر سایه مسیر جریان هوای تولید شده توسط پنکه ها را سد نکنند. آب نمای طراحی شده سبب سرمایش تبخیری میشود. آب در آب نما به وسیله تبخیر خنک شده و دمای آن بین ۱۵ تا ۲۰ درجه سانتیگراد حفظ می گردد. گرچه فواره ها به طور مداوم کار نمیکند ولی آب از لبه حوض سرریز کرده و قبل از داخل شدن به جوی آبی که دور آب نما وجود دارد، روی تخته سنگ فرش جاری میشود. این مساله باعث دوام اثر سرمایش میشود، زیرا جرم حرارتی سرد شده سنگ فرش، گرمای اضافی را حتی وقتی آب در جریان نیست جذب میکند. در زمان باز بودن فواره، دمای متوسط تابشی به میزان ۱,۵ الی ۲ کلوین کاهش یافت.
		شکل ۶- تاج پوش های مصنوعی سایه دار 
		شکل ۷- ایجاد سایه طبیعی توسط درختان 

نتیجه گیری

فضاهای باز شهری با آسایش حرارتی مناسب می تواند شهروندان را به خود جذب کرده و سرزندگی شهری را افزایش دهد. پارامترهای آسایش حرارتی در فضای باز را می توان به دما، تابش، سرعت باد و رطوبت تجزیه کرد. در این مطالعه، میزان تاثیرگذاری سه مولفه ی شاخص: هندسه، پوشش گیاهی و مصالح در اصلاح آسایش حرارتی فضاهای مسکونی شهری بررسی شده است. نتایج زیر با بررسی پژوهش های پیشین و واکاوی دو نمونه موردی در فلسطین و سنگاپور به دست آمد:

- هندسه ی شهری انتقال حرارت تابشی و همرفتی را در فضا تغییر می دهد و به طور کلی می توان گفت فضاهای باز نسبت به فضاهای فشرده جریان هوای بهتری را فراهم می آورد، اما باید توجه داشت این استراتژی وابسته به اقلیم مورد نظر می تواند نتیجه ی مثبت یا منفی داشته باشد. اگرچه باد در فضای فشرده ضعیف تر از فضای باز است، تاثیر تابش خورشیدی مسدود شده بر آسایش حرارتی نسبت به باد بیشتر است.
- مانند ساختمان ها، پوشش گیاهی پرتوهای موج کوتاه را مسدود کرده و مانند مانع جریان باد عمل می کند. اما بدلیل تخلخل و صلب نبودن آن، در ممانعت از جریان باد مثل ساختمان عمل نمی کند. همچنین پوشش گیاهی می تواند دمای هوا را با تبخیر و تعرق کاهش دهد. تابش امواج بلند در فضاهای بیرونی نیز می تواند با استفاده از چمن کاهش و در نتیجه دمای سطح کاسته شود.
- سطوح انعکاسی پرتو خورشیدی کمتری جذب می کند و در نتیجه دمای سطح کمتری نسبت به سطوح سستی دارد؛ بنابراین سطح خنک پرتو موج بلند کمتری ساطع می کند و دمای هوای اطراف کمتر است. اما باید توجه داشت در

بعضی مناطق و اقلیم ها این مولفه می تواند با بازتاب پرتو آسایش حرارتی را برای عابر کاهش دهد. در این راستا استفاده از مصالح متخلخل و نفوذپذیر پیشنهاد می شود.

این بررسی به اثربخشی مولفه های شاخص شهری در بهبود آسایش حرارتی فضای باز پرداخته است. هنگام انتخاب یک استراتژی و تمرکز کردن بر هریک از مولفه ها باید اقلیم محلی، امکان سنجی استراتژی های مختلف و رفتار و ادراک ساکنان و کاربران را در نظر گرفت.

منابع

۱. ارل، اویترو؛ پیرل ماتر، دیوید؛ ویلیامسن، تری. میکروکلیمای شهری - طراحی فضاهای بین ساختمان ها. مترجمان: مهدی مدیری و مهدی خزائی. (۱۴۰۰). انتشارات نقد فرهنگ.
2. Ambrosini, D., Galli, G., Mancini, B., Nardi, I., & Sfarra, S. (2014). Evaluating mitigation effects of urban heat islands in a historical small center with the ENVI-Met® climate model. *Sustainability*, 6(10), 7013-7029.
3. Armson, D., Rahman, M. A., & Ennos, A. R. (2013). A comparison of the shading effectiveness of five different street tree species in Manchester, UK. *Arboriculture & Urban Forestry*, 39(4), 157-164.
4. ASHRAE. ANSI/ASHRAE Standard 55 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, 2017.
5. Baklanov, A., Grimmond, C. S. B., Carlson, D., Terblanche, D., Tang, X., Bouchet, V., ... & Hovsepian, A. (2018). From urban meteorology, climate and environment research to integrated city services. *Urban Climate*, 23, 330-341.
6. Berry, R., Livesley, S. J., & Aye, L. (2013). Tree canopy shade impacts on solar irradiance received by building walls and their surface temperature. *Building and environment*, 69, 91-100.
7. Brown, R. D., & Gillespie, T. J. (1995). *Microclimatic landscape design: creating thermal comfort and energy efficiency* (Vol. 1). New York: Wiley.
8. Chatzidimitriou, A., & Yannas, S. (2015). Microclimate development in open urban spaces: The influence of form and materials. *Energy and Buildings*, 108, 156-174.
9. Chen, X., Xue, P., Liu, L., Gao, L., & Liu, J. (2018). Outdoor thermal comfort and adaptation in severe cold area: A longitudinal survey in Harbin, China. *Building and Environment*, 143, 548-560.
10. Chow, W. T., Akbar, S. N. A. B. A., Heng, S. L., & Roth, M. (2016). Assessment of measured and perceived microclimates within a tropical urban forest. *Urban Forestry & Urban Greening*, 16, 62-75.
11. Coccolo, S., Kämpf, J., Scartezzini, J. L., & Pearlmutter, D. (2016). Outdoor human comfort and thermal stress: A comprehensive review on models and standards. *Urban Climate*, 18, 33-57.
12. Crank, P. J., Sailor, D. J., Ban-Weiss, G., & Taleghani, M. (2018). Evaluating the ENVI-met microscale model for suitability in analysis of targeted urban heat mitigation strategies. *Urban climate*, 26, 188-197.
13. Daemei, A. B., Azmoodeh, M., Zamani, Z., & Khotbehsara, E. M. (2018). Experimental and simulation studies on the thermal behavior of vertical greenery system for temperature mitigation in urban spaces. *Journal of Building Engineering*, 20, 277-284.
14. De Abreu-Harbich, L. V., Labaki, L. C., & Matzarakis, A. (2015). Effect of tree planting design and tree species on human thermal comfort in the tropics. *Landscape and Urban Planning*, 138, 99-109.
15. Erell, E., Pearlmutter, D., & Williamson, T. (2012). *Urban microclimate: designing the spaces between buildings*. Routledge.
16. Fukuda, H., Ma, X., Zhou, D., & Wang, M. (2019). The Evaluation of Outdoor Thermal Sensation and Outdoor Energy Efficiency of a Commercial Pedestrianized Zone. *Energies* (19961073), 12(7).
17. Hadianpour, M., Mahdavinejad, M., Bemanian, M., Haghshenas, M., & Kordjamshidi, M. (2019). Effects of windward and leeward wind directions on outdoor thermal and wind sensation in Tehran. *Building and Environment*, 150, 164-180.
18. Heisler, G. M. (1990). Mean wind speed below building height in residential neighborhoods with different tree densities. *ASHRAE transactions*, 96(1), 1389-1396.
19. Hertel, D., & Schlink, U. (2019). Decomposition of urban temperatures for targeted climate change adaptation. *Environmental Modelling & Software*, 113, 20-28.

20. Hirano, Y., & Fujita, T. (2012). Evaluation of the impact of the urban heat island on residential and commercial energy consumption in Tokyo. *Energy*, 37(1), 371-383.
21. Hwang, R. L., & Lin, T. P. (2007). Thermal comfort requirements for occupants of semi-outdoor and outdoor environments in hot-humid regions. *Architectural Science Review*, 50(4), 357-364.
22. Jamei, E., Rajagopalan, P., Seyedmahmoudian, M., & Jamei, Y. (2016). Review on the impact of urban geometry and pedestrian level greening on outdoor thermal comfort. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1002-1017.
23. Johansson, E. (2006). Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco. *Building and environment*, 41(10), 1326-1338.
24. Kántor, N., Chen, L., & Gál, C. V. (2018). Human-biometeorological significance of shading in urban public spaces—Summertime measurements in Pécs, Hungary. *Landscape and urban planning*, 170, 241-255.
25. Koch-Nielsen, H. (2013). *Stay cool: a design guide for the built environment in hot climates*. Routledge.
26. Kong, L., Lau, K. K. L., Yuan, C., Chen, Y., Xu, Y., Ren, C., & Ng, E. (2017). Regulation of outdoor thermal comfort by trees in Hong Kong. *Sustainable Cities and Society*, 31, 12-25.
27. Krüger, E. L., & Rossi, F. A. (2011). Effect of personal and microclimatic variables on observed thermal sensation from a field study in southern Brazil. *Building and environment*, 46(3), 690-697.
28. Kubaha, K., Fiala, D., Toftum, J., & Taki, A. H. (2004). Human projected area factors for detailed direct and diffuse solar radiation analysis. *International Journal of Biometeorology*, 49, 113-129.
29. Lai, A., Maing, M., & Ng, E. (2017). Observational studies of mean radiant temperature across different outdoor spaces under shaded conditions in densely built environment. *Building and Environment*, 114, 397-409.
30. Lai, D., Guo, D., Hou, Y., Lin, C., & Chen, Q. (2014). Studies of outdoor thermal comfort in northern China. *Building and Environment*, 77, 110-118.
31. Lai, D., Liu, W., Gan, T., Liu, K., & Chen, Q. (2019). A review of mitigating strategies to improve the thermal environment and thermal comfort in urban outdoor spaces. *Science of the Total Environment*, 661, 337-353.
32. Lai, D., Lian, Z., Liu, W., Guo, C., Liu, W., Liu, K., & Chen, Q. (2020). A comprehensive review of thermal comfort studies in urban open spaces. *Science of the Total Environment*, 742, 140092.
33. Lau, K. K. L., Shi, Y., & Ng, E. Y. Y. (2019). Dynamic response of pedestrian thermal comfort under outdoor transient conditions. *International journal of biometeorology*, 63, 979-989.
34. Lenzholzer, S. (2012). Research and design for thermal comfort in Dutch urban squares. *Resources, conservation and recycling*, 64, 39-48.
35. Lee, H., Mayer, H., & Chen, L. (2016). Contribution of trees and grasslands to the mitigation of human heat stress in a residential district of Freiburg, Southwest Germany. *Landscape and Urban Planning*, 148, 37-50.
36. Li, J., Wang, Y., Ni, Z., Chen, S., & Xia, B. (2020). An integrated strategy to improve the microclimate regulation of green-blue-grey infrastructures in specific urban forms. *Journal of Cleaner Production*, 271, 122555.
37. Lin, T. P., De Dear, R., & Hwang, R. L. (2011). Effect of thermal adaptation on seasonal outdoor thermal comfort. *International Journal of Climatology*, 31(2), 302-312.
38. Liu, W., Zhang, Y., & Deng, Q. (2016). The effects of urban microclimate on outdoor thermal sensation and neutral temperature in hot-summer and cold-winter climate. *Energy and Buildings*, 128, 190-197.
39. Maleki, A., & Mahdavi, A. (2016). Evaluation of urban heat islands mitigation strategies using 3dimensional urban micro-climate model ENVI-met.
40. Metje, N., Sterling, M., & Baker, C. J. (2008). Pedestrian comfort using clothing values and body temperatures. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 96(4), 412-435.
41. Mi, J., Hong, B., Zhang, T., Huang, B., & Niu, J. (2020). Outdoor thermal benchmarks and their application to climate-responsive designs of residential open spaces in a cold region of China. *Building and Environment*, 169, 106592.
42. Morini, E., Touchaei, A. G., Rossi, F., Cotana, F., & Akbari, H. (2018). Evaluation of albedo enhancement to mitigate impacts of urban heat island in Rome (Italy) using WRF meteorological model. *Urban Climate*, 24, 551-566.

43. Nakayoshi, M., Kanda, M., Shi, R., & de Dear, R. (2015). Outdoor thermal physiology along human pathways: a study using a wearable measurement system. *International journal of biometeorology*, 59, 503-515.
44. Nazarian, N., Sin, T., & Norford, L. (2018). Numerical modeling of outdoor thermal comfort in 3D. *Urban climate*, 26, 212-230.
45. Ng, E., Chen, L., Wang, Y., & Yuan, C. (2012). A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong. *Building and environment*, 47, 256-271.
46. Nikolopoulou, M., Baker, N., & Steemers, K. (2001). Thermal comfort in outdoor urban spaces: understanding the human parameter. *Solar energy*, 70(3), 227-235.
47. Niu, J., Liu, J., Lee, T. C., Lin, Z. J., Mak, C., Tse, K. T., ... & Kwok, K. C. (2015). A new method to assess spatial variations of outdoor thermal comfort: Onsite monitoring results and implications for precinct planning. *Building and Environment*, 91, 263-270.
48. Oke, T. R., Mills, G., Christen, A., & Voogt, J. A. (2017). *Urban climates*. Cambridge University Press.
49. Park, M., Hagishima, A., Tanimoto, J., & Narita, K. I. (2012). Effect of urban vegetation on outdoor thermal environment: field measurement at a scale model site. *Building and Environment*, 56, 38-46.
50. Potchter, O., Cohen, P., Lin, T. P., & Matzarakis, A. (2018). Outdoor human thermal perception in various climates: A comprehensive review of approaches, methods and quantification. *Science of the Total Environment*, 631, 390-406.
51. Qin, Y. (2015). A review on the development of cool pavements to mitigate urban heat island effect. *Renewable and sustainable energy reviews*, 52, 445-459.
52. Salata, F., Golasi, I., de Lieto Vollaro, A., & de Lieto Vollaro, R. (2015). How high albedo and traditional buildings' materials and vegetation affect the quality of urban microclimate. A case study. *Energy and Buildings*, 99, 32-49.
53. Salmond, J. A., Tadaki, M., Vardoulakis, S., Arbuthnott, K., Coutts, A., Demuzere, M., ... & Wheeler, B. W. (2016). Health and climate related ecosystem services provided by street trees in the urban environment. *Environmental Health*, 15(1), 95-111.
54. Sharmin, T., Steemers, K., & Matzarakis, A. (2017). Microclimatic modelling in assessing the impact of urban geometry on urban thermal environment. *Sustainable Cities and Society*, 34, 293-308.
55. Shih, W. M., Lin, T. P., Tan, N. X., & Liu, M. H. (2017). Long-term perceptions of outdoor thermal environments in an elementary school in a hot-humid climate. *International journal of biometeorology*, 61, 1657-1666.
56. Shoosharian, S., & Ridley, I. (2016). Determination of acceptable thermal range in outdoor built environments by various methods. *Smart and Sustainable Built Environment*, 5(4), 352-371.
57. Tseliou, A., Tsiros, I. X., Nikolopoulou, M., & Papadopoulos, G. (2016). Outdoor thermal sensation in a Mediterranean climate (Athens): The effect of selected microclimatic parameters. *Architectural Science Review*, 59(3), 190-202.
58. Tsitoura, M., Tsoutsos, T., & Daras, T. (2014). Evaluation of comfort conditions in urban open spaces. Application in the island of Crete. *Energy conversion and management*, 86, 250-258.
59. Vasilikou, C., & Nikolopoulou, M. (2020). Outdoor thermal comfort for pedestrians in movement: thermal walks in complex urban morphology. *International journal of biometeorology*, 64, 277-291.
60. Walton, D., Dravitzki, V., & Donn, M. (2007). The relative influence of wind, sunlight and temperature on user comfort in urban outdoor spaces. *Building and environment*, 42(9), 3166-3175.
61. Wang, Y., & Akbari, H. (2016). The effects of street tree planting on Urban Heat Island mitigation in Montreal. *Sustainable Cities and Society*, 27, 122-128.
62. Xu, M., Hong, B., Mi, J., & Yan, S. (2018). Outdoor thermal comfort in an urban park during winter in cold regions of China. *Sustainable cities and society*, 43, 208-220.
63. Yang, W., Wong, N. H., & Zhang, G. (2013). A comparative analysis of human thermal conditions in outdoor urban spaces in the summer season in Singapore and Changsha, China. *International journal of biometeorology*, 57, 895-907.
64. Yin, J., Zheng, Y., Wu, R., Tan, J., Ye, D., & Wang, W. (2012). An analysis of influential factors on outdoor thermal comfort in summer. *International journal of biometeorology*, 56, 941-948.
65. Yuan, J., Emura, K., & Farnham, C. (2017). Is urban albedo or urban green covering more effective for urban microclimate improvement?: A simulation for Osaka. *Sustain. Cities Soc.*, 32, 78-86.

