تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۰۶/۱۶
تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۴/۱۰/۲۷

نرگس احمدپور کلهرودی[۱]، محمدرضا پورجعفر[۲]، محمدجواد مهدوی نژاد[۳]، سمیرا یوسفیان[۴]

نقش و تأثیر عناصر طراحی در کیفیت آسایش حرارتی فضاهای باز شهری بررسی موردی: طراحی پیاده‌راه طمقاچی‌ها در کاشان[۵]

چکیده

پیچیدگی مباحث مرتبط با آسایش حرارتی که از یک‌سو با اقلیم به‌عنوان پدیده‌ای ناپایدار و از سوی دیگر با انسان مرتبط است، در کنار کمبود مبانی مدون در این زمینه موجب دشواری تشخیص و تأمین نیازهای اقلیمی یک سایت مشخص برای طراحان شهری و عدم توجه کافی به این بخش از عوامل سازنده کیفیت در طرح‌های اجرایی شده است. پژوهش حاضر با هدف بررسی میزان تأثیرگذاری عناصر الحاقی نما، سایبان، پوشش و سطوح آب به‌عنوان پرکاربردترین ابزار طراحی مؤثر بر کیفیت آسایش حرارتی عابرین پیاده در نواحی گرم و خشک تهیه شده است. روش جمع‌آوری اطلاعات در این پژوهش، مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی بوده است. روش این پژوهش بر تحلیل مقایسه‌ای گزینه‌های پیشنهادی از طریق کاربرد تکنیک شبیه‌سازی رایانه‌ای (نرم‌افزار ENVI-met) کیفیت آسایش حرارتی در یک معبر نمونه در شهر کاشان استوار است. شاخص مورد استفاده در ارزیابی کیفیت آسایش حرارتی در این پژوهش شاخص PMV به‌عنوان یکی از جامع‌ترین روش‌های تخمین آسایش حرارتی است. در انتها پس از تحلیل وضع موجود معبر سه گزینه طراحی با استفاده از ابزارهای متداول طراحی اقلیمی طراحی شده و میزان تأثیرگذاری هریک از این عناصر با استفاده از مدل‌سازی مورد ارزیابی قرار گرفته است. درمجموع نتایج پژوهش تأثیرگذاری قابل توجه ایجاد سایه را نسبت به سایر روش‌ها در مقیاس اقلیم خرد شهری نشان داده است.

کلیدواژه‌ها: طراحی شهری، اقلیم شهری، آسایش حرارتی، شاخص PMV، شبیه‌سازی.

[۱] کارشناس ارشد طراحی شهری، دانشکده هنر و معماری دانشگاه تربیت مدرس، استان تهران، شهر تهران
E-mail: n.ahmadpour@modares.ac.ir
[۲] استاد دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، استان تهران، شهر تهران (نویسنده مسئول مکاتبات)
E-mail: pourja_m@modares.ac.ir
[۳] دانشیار دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، استان تهران، شهر تهران
E-mail: Mahdavinejad@modares.ac.ir
[۴] کارشناس ارشد طراحی شهری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، استان تهران، شهر تهران
E-mail: Samira.yousefian@modares.ac.ir

[۵] این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نرگس احمدپور کلهرودی با عنوان «طراحی فضاهای شهری در نواحی گرم و خشک با تأکید بر شبیه‌سازی رایانه‌ای کیفیت آسایش حرارتی، نمونه موردی: طراحی پیاده‌راه طمقاچی‌ها در کاشان» به راهنمایی دکتر محمدرضا پورجعفر و مشاوره دکتر محمدجواد مهدوی‌نژاد در دانشگاه تربیت مدرس است.

مقدمه

کیفیت استفاده از فضاهای عمومی شهری به جنبه‌های گوناگونی وابسته است که در میان آن‌ها، آسایش حرارتی به‌عنوان عاملی بااهمیت شناخته شده است. فضای عمومی که نتواند شرایط آسایش را فراهم آورد کمتر استفاده شده و حتی از آن اجتناب می‌شود (Lenzholzer, 2012, 39). کرمونا از آسایش به‌عنوان نیازی پایه‌ای در فضای عمومی یاد کرده، خاطرنشان می‌سازد بدون وجود آسایش، دریافتن اینکه چگونه نیازهای دیگر فضا قابل تأمین شدن هستند، مشکل است (Carmona, 2007, 39). مطالعات متعددی در خصوص تأثیر کیفیت آسایش حرارتی بر الگوی رفتاری عابرین پیاده در فضای باز شهری انجام شده است. از جمله می‌توان به مطالعات نیکولوپولو[۱] (۲۰۰۱) به‌عنوان یکی از نخستین مطالعات آسایش حرارتی فضای باز شهری که الگوهای رفتاری را مدنظر قرار می‌دهد، اشاره نمود. در این مطالعات، شرایط آسایش فضاهای باز شهری در کمبریج انگلستان مورد بررسی قرار گرفت. پس از آن نیز مطالعات بسیاری توسط افراد مختلف در این زمینه انجام شد؛ مانند مطالعات لینکویست[۲] (۲۰۰۴) که به تأثیرات فیزیکی، فیزیولوژیکی و روانی استفاده‌کنندگان از فضا بر اساس میزان تداوم حضور و استراحت افراد می‌پرداخت، کاچنر[۳] (۲۰۰۶) که جنبه‌های فیزیولوژیکی و توقعات دمایی را بررسی می‌نمود و تامسون[۴] و همکاران (۲۰۰۷) که جنبه‌های فیزیولوژیکی و اجتماعی را با توجه به دما و تابش خورشید در میدان‌های محلی آتن یونان بررسی نمودند (Chen and Ng, 2012, 120). این مطالعات نقش اقلیم در شکل‌گیری الگوهای فعالیتی جاری در فضاهای باز شهری را به دلیل تأثیرپذیری فیزیولوژیکی و روانی انسان از شرایط آب‌وهوایی به اثبات می‌رسانند.

بررسی کیفیت آسایش حرارتی فضاهای باز شهری از سوی دیگر بدان جهت حائز اهمیت است که مطالعات گوناگون وجود تفاوت در دمای نواحی شهری با حومه شهرها را به اثبات رسانیده است. در نواحی شهری، مقادیر قابل توجهی از تابش خورشیدی ذخیره شده و از طریق ساختمان‌های بزرگ و اثر معابر[۵] که عمدتاً در ارتباط با ساختمان‌های بلند مصداق دارد، بازتاب می‌گردد (Perini& Magliocco, 2014, 496). اثرات جانبی فعالیت‌های انسانی و افزایش سطوح آسفالته (با آلبدوی پایین) در مقایسه با نواحی سبز موجب بروز پدیده جزیره گرمایی شده و تفاوت دمایی ۲ تا ۵ درجه‌ای شهرها و نواحی حومه‌ای با این عنوان شناخته می‌شود (Taha, 1997, 99). آلبدوی اندازه‌گیری شده در شهرها نشان می‌دهد که سطوح کف‌سازی شده گرمای بسیار بیشتری را نسبت به زمین طبیعی ذخیره می‌نمایند (Gó-mez *et al*., 2013, 28). بالاتر بودن درجه حرارت در نواحی انسان‌ساخت به‌ویژه در نواحی گرم و خشک لزوم توجه به آسایش حرارتی فضاهای باز شهری را در این مناطق دوچندان می‌سازد.

طی سه دهه اخیر در پی حاد شدن مسائل شهری، جنبش گسترده‌ای در برابر حرکت موتوری و کاهش تحرکات پیاده در جهان پدید آمد و سبب گسترش فضاهای پیاده در کشورهای پیشرفته شد. به دنبال این امر جنبش مذکور مورد توجه جدی طراحان و برنامه‌ریزان شهری قرار گرفت (فلاح منشادی و همکاران، ۱۳۹۱، ۴۶). درنتیجه از دهه ۸۰ به بعد، مطالعات آسایش حرارتی در فضای خارجی به‌دلیل افزایش روزافزون حضور عابرین پیاده در معابر شهری، به لحاظ تعداد افزایش داشته‌اند و این امر منجر به انجام تحقیقات بسیاری درزمینه متغیرهای طراحی اقلیمی براساس آسایش عابرین پیاده شده است (Taleghani *et al*., 2014, 1). اما با وجود گسترش پژوهش‌های مطرح درزمینه طراحی اقلیمی فضای باز شهری و اهمیت آن در کیفیت استفاده از فضاهای شهری، همچنان مطالعات انجام شده در این حوزه نسبت به آسایش اقلیمی فضاهای داخلی بسیار ناچیز بوده است و برخلاف ادبیات قابل توجهی که درخصوص اقلیم و طراحی تک بنا وجود دارد، سهم ناچیزی از مطالعات در مقیاس شهر و یا محلات صورت گرفته است. متعاقباً کمبود منابع علمی در این زمینه منجر به طراحی‌های ناکارآمد اقلیمی در فضای باز شهری شده و اثراتی نامطلوب بر

سلامت انسان، آسایش فضای داخلی و حتی شرایط اجتماعی داشته است. امروزه شهرهایی با شرایط اقلیمی بسیار متفاوت به میزان قابل توجهی شبیه به یکدیگر ساخته می‌شوند (Chappells and Shove, 2004, 15). بنابراین با توجه به کمبود ادبیات در حوزه طراحی اقلیمی فضاهای باز شهری و اثرات اثبات شده آن، تدوین شیوه‌های طراحی کارآمد با هدف ارتقای کیفیت آسایش حرارتی فضای باز شهری ضروری به نظر می‌رسد. به دلیل قرارگیری بخش قابل توجهی از شهرهای ایران در پهنه اقلیمی گرم و خشک از یک‌سو و از میان رفتن انسجام بافت‌های کهن شهری در این اقلیم از سوی دیگر، بروز تنش حرارتی عابرین پیاده در فضاهای باز شهری از مسائل شهرهای بزرگ واقع در این پهنه اقلیمی به شمار می‌رود. بافت شهرهای سنتی ایران پیش از دوران معاصر در هماهنگی کامل با شرایط اقلیمی حاکم سامان یافته بود. با نگاهی به بافت سنتی شهرهای تاریخی ایران از جمله شهر کاشان، می‌توان به فشردگی سازمان کالبدی آن‌ها پی برد. گرمای شدید و وجود بادهای همراه گردوغبار سبب شکل‌گیری فرم‌های متراکم و بسته شده است. توده‌های متراکم ساختمانی، باعث جلوگیری از ورود نور خورشید و کاهش سطح آفتاب‌گیری بنا شده و از طرفی فرم شبکه‌های دسترسی و فضاهای باز نیز با شرایط محیطی انطباق یافته‌اند. معابر باریک و بعضاً سرپوشیده، سایه مطلوبی را برای رهگذران ایجاد کرده‌اند (حقیقت نائینی، ۱۳۸۹، ۵۰). اما در دوران معاصر به دلیل تخریب‌های صورت گرفته، تعریض معابر و همچنین استفاده از مصالحی چون آسفالت با ضریب جذب حرارت بسیار بالا، شرایط آسایش محیطی در بخش قابل توجهی از بافت‌های کهن از میان رفته و توسعه‌های جدید شهری نیز به‌کلی فاقد ملاحظات اقلیمی ضروری هستند. این امر ضرورت کاربست راه‌حل‌های تعدیل شرایط آسایش حرارتی را در توسعه‌های جدید و همچنین بافت‌های تاریخی که دستخوش تغییر شده‌اند، خاطرنشان می‌سازد.

پیشینه تحقیق

تحقیقات سال ۱۸۳۳ لوک هوارد[۶] (۱۸۳۳) در لندن پیشگام تحقیقات در زمینه تأثیر متقابل معماری و اقلیم شد. او به‌عنوان نخستین شخصی شناخته می‌شود که تأثیر نواحی شهری را بر اقلیم محلی مورد توجه قرار داده است. از دهه ۱۹۶۰ مطالعات بر روی تأثیر کالبد شهر بر روی تغییرات خرداقلیم متمرکز گردید (Emmanuel, 2005). اولگی[۷] (۱۹۸۴) و اوکه[۸] (۱۹۸۷) نیز نخستین افرادی بودند که با تأکید بر تعامل میان ساختمان و خرداقلیم، ارتباط میان معماران و طراحان شهری را از دیدگاه اقلیم‌شناسی مورد بررسی قرار دادند. پس از آن مطالعات متعددی در خصوص ارتباط فرم شهری و مقوله آسایش حرارتی انجام شده است که در این میان تعدادی از پژوهش‌ها به‌ویژه بر دره‌های شهری[۹] و تأثیر فرم جداره و جهت‌گیری روی خرداقلیم معابر متمرکز بوده‌اند (Taleghani *et al.*, 2014, 2-3). علی تودرت و مایر (۲۰۰۷ و ۲۰۰۶) مدل ENVI-met را برای شبیه‌سازی آسایش حرارتی در فضای باز شهری به‌کار بردند و تأثیر جهت‌گیری‌های مختلف را مدنظر قرار دادند. بر اساس یافته‌های آنان عابر پیاده در معابر با جهت‌گیری شرقی- غربی بالاترین تنش حرارتی را نسبت به سایر جهت‌گیری‌ها متحمل می‌شود و با افزایش نسبت ارتفاع به عرض معابر، دمای هوا به‌تدریج کاهش می‌یابد؛ به‌علاوه آن‌ها تأثیر مقاطع مختلف معبر شهری را بر کیفیت آسایش معبر در جهت‌گیری‌های مختلف و با درجات محصوریت متفاوت مورد بررسی قرار دادند (Ali-Toudert and Mayer, 2007, 743). جانسون[۱۰] (۲۰۰۶) برداشت‌هایی را در مراکش انجام داد و نشان داد که طراحی فشرده شهرها با محصوریت بالا برای تابستان مناسب است اما در زمستان معابر عریض‌تر با هدف گرمایش غیرفعال خورشیدی ابنیه بیشتر سازگار هستند. فونس و همکاران نیز معابر با عرض‌های ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ متر را در جهت‌های شرقی غربی و شمالی جنوبی مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیدند

که معابر شرقی غربی در بیست‌ویکم دسامبر تابشی دریافت نمی‌کنند درحالی‌که در طول تابستان در صبح و بعدازظهر، تابش مستقیم وجود دارد. در کوتاه‌ترین روز، معبر شمالی جنوبی تابش محدودی را حتی در باریک‌ترین معابر برای مدت کوتاهی دریافت می‌کند و در هنگام صبح و عصر به‌شدت در مقابل تابش قرار دارد (van Esch *et al.*, 2012). طالقانی و همکاران (۲۰۱۴) معابر شرقی غربی و شمالی جنوبی را در هلند و در گرم‌ترین روز سال به کمک نرم‌افزار ENVI-met مدل‌سازی نموده و دمای هوا، دمای متوسط تشعشعی، سرعت باد و رطوبت نسبی را توسط این نرم‌افزار محاسبه کردند. نتیجه مطالعات نشان داد که دمای متوسط تشعشعی مهم‌ترین نقش را در کیفیت آسایش حرارتی ایفا می‌کند (Taleghani *et al.*, 2014, 10). مطالعات کروگر و همکاران (۲۰۱۱) که به‌صورت شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار ENVI-met و برداشت میدانی در برزیل صورت گرفت، تأثیر جهت‌گیری معابر نسبت به باد غالب و تأثیراتی که بر سرعت باد و آشفتگی‌های فضایی دارد را مورد بررسی قرار داد. نتایج تأثیرات هندسه معبر را بر آسایش حرارتی عابر پیاده نشان داد (Krüger *et al.*, 2011, 621-634). مطالعات انجام شده در خصوص هندسه معابر شهری در مجموع مؤید تأثیر قابل توجه جهت‌گیری، میزان محصوریت، میزان استفاده از پوشش گیاهی و فرم مقطع عرضی راه بر کیفیت آسایش حرارتی عابرین پیاده در معابر شهری است. پژوهش حاضر با تأکید بر تأثیر جداره معابر شهری سعی دارد با بهره‌گیری از شبیه‌سازی رایانه‌ای کیفیت آسایش حرارتی، نقش و تأثیر عناصر طراحی پرکاربرد در طراحی مقاطع پیاده‌راه‌های نواحی گرم و خشک شهری را مورد ارزیابی قرار دهد.

چارچوب نظری

آسایش حرارتی

آسایش حرارتی در تعریف اولیه آن، عکس‌العمل بدن به شرایط محیطی در فضاهای داخلی و خارجی است. تعریف دقیق‌تر این شرایط در سه گروه قابل خلاصه شدن است. تعریف روان‌شناختی به بیان مغز از رضایت نسبت به دمای محیط باز می‌گردد. تعریف حرارتی- فیزیولوژیکی که به عکس‌العمل بیولوژیکی بدن و سیستم عصبی به تأثیرات خارجی بر گیرنده‌های حرارتی پوست مرتبط است؛ و تعریف سوم که به تعادل میان جریان حرارت به داخل و خارج از بدن باز می‌گردد (Taleb and Taleb, 2014, 254). علاوه بر این سه تعریف عمومی از شرایط آسایش، تعاریف متعدد دیگری نیز که به‌خصوص با توجه به فضاهای سرد یا گرم فاقد آسایش تعریف شده‌اند، نیز وجود دارند (Hoppe, 2002, 662).

از حدود پنجاه سال پیش که به‌دلیل مشکلات ناشی از کمبود سوخت و آلودگی‌های محیطی بحث همسازی با شرایط اقلیمی و صرفه‌جویی در مصرف انرژی مطرح شد، دو دیدگاه کلی در رابطه با تهیه استانداردهای آسایش گرمایی برای انسان به‌وجود آمد که عبارت‌اند از دیدگاه ساده‌سازی علمی و دیدگاه سازش‌پذیری.[۱۱] در دیدگاه ساده‌سازی علمی‌روش نظری و مبتنی بر مطالعات آزمایشگاهی و دقیق علمی ملاک عمل است. سردمدار این دیدگاه فنگر[۱۲] است و مطالعات او مرجع تهیه بسیاری از استانداردهای مربوط به آسایش گرمایی انسان به‌شمار می‌رود. دیدگاه دوم بحث دیگری را مطرح کرده و به انسان به‌عنوان موجودی هوشمند و فعال در تنظیم آسایش گرمایی خود نگاه می‌کند. در این دیدگاه احساس آسایش گرمایی، متأثر از شرایط اقلیمی محیط خارج از ساختمان، عوامل فرهنگی، رفتاری و روانی، مزید بر عوامل فیزیولوژیکی بوده و می‌تواند این آستانه‌ها را تحت تأثیر قرار دهد. بر اساس این دو دیدگاه، دو مفهوم کلی آسایش گرمایی و احساس آسایش[۱۳] موضوع تحقیق قرارگرفته و برای اندازه‌گیری این مفاهیم مقیاس‌ها و ضرایبی به وجود آمده است (طاهباز، ۱۳۸۸، ۶۴). در ادامه شاخص‌های سنجش آسایش حرارتی پرکاربرد معرفی شده است.

ارزیابی آسایش حرارتی به‌خصوص در فضاهای باز شهری به‌عنوان یک چالش بزرگ مطرح است، زیرا عوامل محیطی و شخصی (فیزیولوژیکی و روان‌شناسی) بسیاری در آن دخیل هستند (Szűcs, 2013, 50). به‌علاوه به دلیل کم بودن زمان حضور در فضاهای خارجی نسبت به فضاهای داخلی، دستیابی به شرایط پایدار برای رسیدن به آسایش حرارتی دشوار است. از سوی دیگر فضاهای خارجی در معرض متغیرهای غیرقابل‌کنترل اقلیمی قرار دارند که اندازه‌گیری و دستیابی به سطح آسایش را بسیار دشوار می‌سازد. تعامل میان این متغیرهای اقلیمی‌متفاوت بسیار پیچیده بوده و درنتیجه پژوهش درخصوص فضای باز شهری نسبت به مطالعات فضای داخلی که شرایط قابل‌کنترل‌تری دارند، با موانع بیشتری مواجه است (Taleb and Taleb, 2014, 253)؛ بنابراین پژوهش در حوزه آسایش حرارتی فضای خارجی با شرایط و مسائلی مواجه است که در مطالعات فضای داخلی وجود ندارند (Givoni *et al*., 2003, 78). به‌طور کلی کیفیت آسایش حرارتی به هشت عامل به شرح زیر وابسته است که به ترتیب اهمیت عبارت‌اند از: دمای هوا، رطوبت، فشار بخار آب، سرعت جریان هوا، تابش از جداره‌های داخلی فضا (دمای متوسط تشعشعی)، انسان (سن، جنس)، نوع فعالیت انسان و نوع پوشش انسان.

از میان عوامل مؤثر در محدوده آسایش حرارتی، سه عامل انسان (سن و جنس)، نوع فعالیت و نوع پوشش به علت اینکه توسط طراحان قابل کنترل نیستند در محدوده‌های مختلف آسایش حرارتی، ثابت فرض شده‌اند. به این معنی که برای ۵ عامل اول مقادیر خاصی تعیین شده و دامنه تغییرات پیشنهاد شده، حال آنکه برای ۳ عامل آخر مقادیر ثابت ارائه گردیده است (قیابکلو، ۱۳۸۰، ۶۹). از میان عوامل فوق دمای متوسط تشعشعی بیشترین تأثیر را در کیفیت آسایش حرارتی داراست (Taleghani *et al*., 2014, 10). بنابراین پنج عامل دمای هوا، رطوبت، فشار بخار آب، سرعت جریان هوا، تابش از جداره‌های داخلی فضا (دمای متوسط تشعشعی) به‌عنوان متغیرهایی که تحت تأثیر فرم کالبدی قرار دارند، ابزار طراحان برای کنترل کیفیت آسایش حرارتی عابر پیاده در فضای شهری محسوب می‌شوند.

شاخص‌های آسایش حرارتی

برای ارزیابی تأثیر آب‌وهوا بر انسان و مطالعات اقلیم آسایشی در نیمه دوم قرن بیستم شاخص‌های زیادی ابداع شده و توسعه یافته‌اند. از این میان مدل‌هایی که از معادله بیلان انرژی بدن انسان مشتق شده‌اند، بیشتر مورد توجه هستند. اولین مدل موازنه گرمایی را فنگر در سال ۱۹۷۲ ابداع و تشریح کرد که هنوز هم مورد استفاده قرار می‌گیرد. وی شاخص‌های حرارتی میانگین آرای پیش‌بینی شده[۱۴] و پیش‌بینی درصد افراد ناراضی[۱۵] را برای کمک به مهندسان تهویه در شرایط آب‌وهوای داخل اتاق (محیط بسته) ارائه کرد. دو دهه بعد جندرتزکی[۱۶] و همکارانش (۱۹۹۰) موفق شدند روش پیچیده فنگر را با اختصاص متغیرهای مناسب برای شرایط بیرون تنظیم کنند که امروزه به‌عنوان مدل MEMI[۱۷] شناخته می‌شود (Thomson et al., 2008, 164). مدل MEMI مخفف مدل بیلان انرژی برای افراد است. این مدل برای تعیین مقدار واقعی شارهای حرارتی و دماهای بدن انسان در محیط معین، با فرض اینکه اتلاف حرارتی پوست برابر با حرارت تولید شده به‌وسیله خون و حرارت منتقل شده از مرکز بدن به سطح پوست باشد، مورد استفاده قرار گرفته است (Höppe, 1999, 72) و از پرکاربردترین مدل‌های ارزیابی آسایش حرارتی محسوب می‌شود.

مجموعه شاخص‌های حرارتی به دو گروه تجربی (WCI[۱۸]، OP[۱۹]، HOP[۲۰]، RT[۲۱]، ET[۲۲])و تحلیلی (PET[۲۳]، PT[۲۴]، PMV[۲۵]، OUT–SE[۲۶]، SET*[۲۷]، ET*[۲۸]، HSI[۲۹]، ITS[۳۰]) تقسیم‌بندی می‌شوند. از این میان مبنای شاخصه‌های تحلیلی بر اساس تعادل انرژی (انرژی اتلافی و تولیدی در انسان) است. بیشتر پژوهش‌ها در سال‌های اخیر از شاخصه‌های «میانگین آرای پیش‌بینی شده»[۳۱]، «دمای مؤثر استاندارد»[۳۲] و «دمای معادل فیزیولوژیکی»[۳۳] به

منظور پیش‌بینی دمای آسایش در فضای باز استفاده کرده‌اند (حیدری و منعام، ۱۳۹۲، ۱۹۸-۱۹۹).
با وجود اینکه شاخص PMV در اصل برای اندازه‌گیری شرایط آسایش حرارتی در فضای داخلی در نظر گرفته شده بود، هونجو[۳۴] (۲۰۰۹) نشان داد که با توجه به کمبود شاخص‌های مناسب برای فضای خارجی، در حال حاضر شاخص‌های PMV، PET و SET می‌توانند مناسب باشند. مقیاس PMV نوعی تقسیم‌بندی احساس حرارتی ۷ درجه‌ای است که دامنه آن از ۳- (بسیار سرد) تا ۳+ (بسیار گرم) تغییر می‌کند. صفر در این مقیاس نشانگر احساس حرارتی خنثی است. این هفت درجه توسط سازمان ASHRAE ارائه شده و به وسیله فنگر مورد استفاده قرار گرفته است. از آنجا که در این روش بسیاری از معیارهای آسایش از قبیل متغیرهای اقلیمی، نوع پوشاک و فعالیت باهم مورد استفاده قرار می‌گیرند، یکی از کامل‌ترین و دقیق‌ترین روش‌های تخمین محدوده آسایش شناخته شده است. در این معیار اعدادی که کمی بالاتر از (۱+) و یا اندکی پایین تر از (۱-) باشند، موجبات بروز نارضایتی را فراهم می‌نماید؛ بنابراین محدوده آسایش شامل ۱+ > PMV > ۱- خواهد بود (قیابکلو، ۱۳۸۰، ۷۳). در پژوهش حاضر شاخص PMV به دلیل اعتبار قابل قبول، جامعیت و سهولت استفاده جهت سنجش آسایش حرارتی محدوده نمونه مورد استفاده قرارگرفته است.

روش تحقیق

مکانیسم ارزیابی

پژوهش حاضر با هدف بررسی میزان تأثیرگذاری عناصر الحاقی نما، سایبان، پوشش و سطوح آب به‌عنوان پرکاربردترین ابزار طراحی مؤثر بر کیفیت آسایش حرارتی عابرین پیاده در نواحی گرم و خشک تهیه شده است. پس از بررسی پیشینه مطالعات آسایش حرارتی انسان در فضای باز شهری، به‌ویژه نقش و تأثیر شکل معابر شهری در کیفیت آسایش حرارتی عابرین پیاده، چارچوب نظری با هدف شناسایی متغیرهای تأثیرگذار و شاخص‌های معتبر آسایش حرارتی، تدوین شده است. سپس بررسی معبر نمونه جهت ارزیابی تأثیر عناصر طراحی در دو مرحله انجام گرفته است. در مرحله نخست کیفیت آسایش حرارتی عابر پیاده معبر در چهار فصل نمونه سال با استفاده از ابزار شبیه‌سازی رایانه‌ای بررسی و مسائل معبر در وضع موجود شناسایی شده است. در ادامه با شناسایی نقاط بحرانی معبر، با استفاده از پرکاربردترین راهکارهای ارتقای آسایش حرارتی معابر پیاده شهری، گزینه‌های طراحی معبر پیشنهاد شده و پس از مقایسه نتایج شبیه‌سازی گزینه‌ها تأثیر هریک از راهکارها در مسیر نمونه سنجیده شده است. روش جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی بوده و روش انجام پژوهش بر تحلیل مقایسه‌ای گزینه‌های پیشنهادی از طریق کاربرد تکنیک شبیه‌سازی رایانه‌ای کیفیت آسایش حرارتی استوار بوده است.
شبیه‌سازی رایانه‌ای با استفاده از نرم‌افزار اقلیمی ENVI-met در بخش‌های شناخت و تحلیل کیفیت آسایش حرارتی محدوده نمونه طراحی و همچنین انتخاب گزینه بهینه پیشنهادی و ارزیابی نقش عناصر طراحی در ارتقای آسایش حرارتی محدوده طراحی صورت گرفته است.

معرفی نرم‌افزار ENVI-met

با استفاده از مدل‌های اقلیم شهری می‌توان فاکتورهای اقلیمی متفاوت را در مقیاس‌های گوناگون مورد بررسی قرار داد و در جهت ارزیابی پیامدهای محتمل گزینه‌های طراحی استفاده نمود. مدل‌سازی پروژه‌های پیشنهادی، مجسم ساختن اثرات آتی تمامی اقدامات انجام شده و انجام نشده را در فضای شهری محقق می‌سازد.

در یک تقسیم‌بندی کلی مدل‌های مورد استفاده در بررسی اقلیم شهری را می‌توان به دو دسته مدل‌های فیزیکی[۳۵] و مدل‌های ریاضی[۳۶] تقسیم کرد. مدل‌های فیزیکی برای مطالعه یک متغیر خاص محیطی مانند تابش خورشید یا باد کاربرد دارند. مدل‌های ریاضی بر پایه تجزیه و تحلیل فرایندهای محیطی که به خرداقلیم یک مکان مشخص مربوط هستند، تولید شده‌اند. مدل‌های تحلیلی عموماً نیازمند ساده‌سازی معادلاتی پیچیده هستند و تحت یک برنامه کامپیوتری اجرا می‌شوند. مدل‌های ریاضی از مدل‌های مقیاس میانه تا مقیاس خرد شهری متفاوت هستند (Erell *et al.*, 2011, 214). نرم‌افزار ENVI-met (Bruse, 2013) مدلی سه‌بعدی و غیرهیدرواستاتیک است که بر پایه حل CFD معادله ناویه استوکس[۳۷] استوار بوده و از روش‌های عددی اختلاف محدود[۳۸] استفاده می‌نماید. این مدل برای اجرای حوزه‌ای با ابعاد ۶۰×۶۰ تا ۲۵۰×۲۵۰ واحد شامل شبکه‌ای از مربع‌هایی با ابعاد ۰/۵ متر تا ۱۰ متر طراحی شده است. ENVI-met مجموعه‌ای وسیع از متغیرهای مدل شده را در اختیار قرار می‌دهد که جریان‌های انرژی (طول موج بلند، طول موج کوتاه، دمای محسوس و نهان) را محاسبه می‌کند. این مدل شرایط آب و هوایی (دما، باد، رطوبت) را در سطوح متفاوت از حوزه و دامنه متنوعی از عوارض (ساختمان‌ها، انواع پوشش گیاهی، انواع سطوح قابل نفوذ و غیرقابل نفوذ) در محاسبه وارد می‌نماید. نرم‌افزار ENVI-met شامل پنج گروه نرم‌افزاری است:

- مدل جوی (Atmospheric model) که جریان هوا، اغتشاش سه‌بعدی، دما و رطوبت نسبی را محاسبه کرده و موانعی چون پوشش گیاهی و ساختمان‌ها را در مدل وارد می‌نماید.
- مدل سطح (Surface model) که امواج طول موج بلند جذب شده و امواج طول موج کوتاه بازتابش شده را از سطوح متفاوت محاسبه کرده و تشعشع طول موج بلند و کوتاه را در مدل محاسبه می‌کند.
- مدل پوشش گیاهی (vegetation model) که دمای شاخ و برگ و تعادل دمایی برگ‌ها را با محاسبه پارامترهای فیزیولوژیکی و هواشناسی محاسبه می‌کند. پوشش گیاهی به‌وسیله شاخص‌های نرمال شده LAD (Leaf Area Density) و RAD (Root Area Density) توصیف شده‌اند. نرخ تبخیر و محاسبه جریان بر اساس جریان هوای اطراف گیاهان و درختان انجام می‌گیرد.
- مدل خاک (Soil model) که فرایندهای حرارتی و ترمودینامیکی خاک را محاسبه کرده و ترکیب سطوح مصنوعی و طبیعی نواحی شهری را وارد مدل می‌کند.
- مدل زیستی-هواشناسی (Biometeorological model) که شاخص PMV را از داده‌های هواشناسی محاسبه می‌کند (Bruse and Fleer, 1998, P216-221).

داده‌ها و اطلاعات جوی مورد نیاز برای مدل‌سازی در نرم‌افزار شامل سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری سطح زمین، جهت باد، دمای اولیه جو[۳۹]، رطوبت ویژه[۴۰]، رطوبت نسبی[۴۱] که همگی از داده‌های هواشناسی قابل استخراج هستند (URL01).

نرم‌افزار ENVI-met تنها نرم‌افزاری است که تمامی فاکتورهای مؤثر در آسایش حرارتی مانند سرعت و جهت باد، دمای متوسط تابشی، دمای هوا و غیره را به‌صورت یکپارچه با شاخص‌های آسایش حرارتی شبیه‌سازی می‌نماید (Lenzholzer, 2012, 42). نرم‌افزار ENVI-met برای محاسبه شاخص PMV، از معادله جندریتزکی برای شبیه‌سازی استفاده می‌نماید؛ بنابراین با توجه به جامعیت ENVI-met و همچنین قابلیت شبیه‌سازی شاخص PMV به‌عنوان یکی از معتبرترین شاخص‌های سنجش آسایش حرارتی در فرایند شبیه‌سازی از این نرم‌افزار استفاده شد.

نرم‌افزار ENVI-met پیش‌تر در شرایط آب‌وهوایی مختلف و کشورهای گوناگون از جمله آلمان، چین، سنگاپور، ژاپن، مراکش، آمریکا و امارات متحده عربی اعتبارسنجی شده است. حداکثر تفاوت ۲- ۴ درجه سانتی‌گرادی در نتایج حاصل از شبیه‌سازی و برداشت‌های میدانی به دلیل عدم محاسبه امواج طول

موج بلند عمودی در این نرم‌افزار است. یکی از مطالعات انجام شده در این زمینه توسط محمد طالقانی و همکاران که در شهر دلفت هلند صورت گرفته و برداشت‌های میدانی در دو روز نمونه با خروجی‌های نرم‌افزار مورد مقایسه قرار گرفته است. بر اساس نتایج به‌دست آمده الگوی افزایش دمای برداشت شده و نتایج حاصل از شبیه‌سازی تقریباً یکسان بوده‌اند و تنها اختلاف ۱/۲ درجه سانتی‌گراد در پیک دمایی محاسبه شده وجود داشته که به‌دلیل عدم محاسبه کاهش تابش دریافتی در روزهای ابری توسط نرم‌افزار روی داده است. در مجموع ضریب همبستگی داده‌های برداشت شده و شبیه‌سازی شده ۰/۸۰ برآورد و نرم‌افزار به‌عنوان ابزاری مناسب برای مطالعات پژوهشی شناخته شده است (Taleghani *et al*., 2014, P6–8). بنابراین نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی در روزهای آفتابی از دقت کافی برخوردار است و می‌توان به نتایج حاصل از نرم‌افزار اعتماد نمود.

معرفی محدوده

شهرستان کاشان در ۵۱ درجه و ۲۷ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۵۹ دقیقه عرض شمالی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد. کاشان به لحاظ اقلیمی در پهنه اقلیمی گرم و خشک قرار دارد. محدوده طراحی در بخش قدیمی و هسته تاریخی شهر کاشان در مجاورت ضلع شمالی بازار و در محله بازار واقع شده است. این معبر ارتباطات تعریف شده متعددی با بازار کاشان دارد و به لحاظ ساختاری و تاریخی معبری ارزشمند محسوب می‌شود؛ اما تعریض‌های صورت گرفته موجب شده است تا این معبر ارزشمند به لحاظ آسایش حرارتی با مسئله مواجه باشد. جهت‌گیری معبر به صورت شمال شرقی–جنوب شرقی است.

شبیه‌سازی

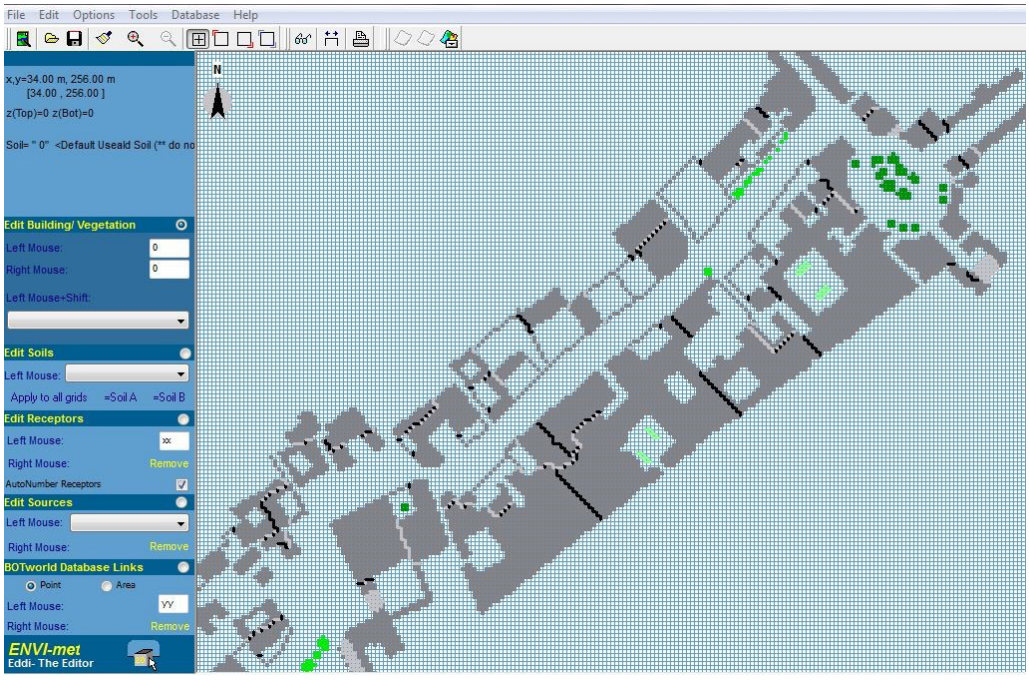
روش انجام شبیه‌سازی

بررسی شرایط آسایش حرارتی در محدوده مورد مطالعه در چهارفصل یک سال نمونه خورشیدی انجام شده است. دمای هوا بر حسب درجه کلوین، سرعت و جهت وزش باد در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین، رطوبت نسبی و رطوبت مخصوص، داده‌های اقلیمی هستند که در نرم‌افزار وارد شده‌اند. برای محاسبه ارقام مورد نظر از داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک شهر کاشان در سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ استفاده شده است. در ادامه جداول مرتبط با داده‌های مورد استفاده ارائه شده است.

جدول ۱. میانگین رطوبت مخصوص، رطوبت نسبی، دمای هوا، جهت و سرعت باد در فصول سال ۱۳۸۸

فصل	رطوبت مخصوص (g Water/kg air)	رطوبت نسبی (%)	دمای هوا (K)	جهت وزش باد (گلباد فصلی)	سرعت وزش باد (m/s)
بهار	۴/۶۶	۲۷	۲۹۶/۱	۹۰ درجه (شرق)	۲/۴
تابستان	۲	۲۲	۳۰۳/۶	۰ درجه (شمال)	۲
پاییز	۲	۵۰/۳	۲۸۶/۳	۲۷۰ درجه (غرب)	۲/۴
زمستان	۳	۴۳	۲۸۵/۲	۲۹۰ درجه	۲/۲

منبع: ایستگاه سینوپتیک شهر کاشان (سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰)



شکل ۱. مدل‌سازی محدوده طراحی (گذر طمقاچی‌ها) در نرم‌افزار ENVImet

منبع: نگارندگان

پس از مدل‌سازی محدوده طراحی در نرم‌افزار ENVImet خروجی‌های مورد نیاز برای تحلیل آسایش حرارتی به دو صورت POT Tempereture و شاخص PMV مورد استفاده قرار گرفت. مدل‌سازی در این نرم‌افزار از ساعت ۶ صبح تا ۹ شبکه که در طی این مدت شاهد بیشترین حضور پیاده در فضای شهری هستیم، صورت گرفته است و به‌دلیل زمان‌بر بودن مدل‌سازی (حدود ۳۶ ساعت برای شبیه‌سازی ۱۵ ساعت از شبانه‌روز)، از شبیه‌سازی ۲۴ ساعته محدوده طراحی خودداری شده است. خروجی‌های مدل در فواصل ۳۰ دقیقه‌ای تهیه شده است.

شبیه‌سازی اقلیمی گذر طمقاچی‌ها

در این مرحله شرایط آسایش حرارتی عابرین پیاده معبر در وضع موجود در چهار روز نمونه از چهار فصل سال انجام شده و مرز زمانی وجود و فقدان آسایش حرارتی در معبر به‌عنوان مبنایی برای مقایسه فصول ارائه شده است. شکل ۲ نمایش‌دهنده کیفیت آسایش حرارتی در محدوده معبر در چهارفصل سال است. شرایط آسایش بخش‌های مختلف معبر با توجه به عرض معبر، ارتفاع ابنیه مجاور، مصالح کف‌سازی، وجود و فقدان پوشش گیاهی به‌صورت قابل توجهی در طول روز و در فصول مختلف متفاوت است.

فصل بهار: در تحلیل آسایش حرارتی صورت گرفته در گذر طمقاچی‌ها، در فصل بهار این گذر تنها در ساعات ابتدایی صبح تا ساعت ۹:۳۰ در تمامی بخش‌ها از آسایش حرارتی برخوردار است. از این ساعت به بعد تنها در محدوده سایه که در طول روز به ترتیب در محدوده کمی سرد، معتدل و کمی گرم قرار دارد، شرایط آسایش وجود دارد. افزایش دما در محدوده‌های پوشیده از آسفالت با سرعت بیشتری

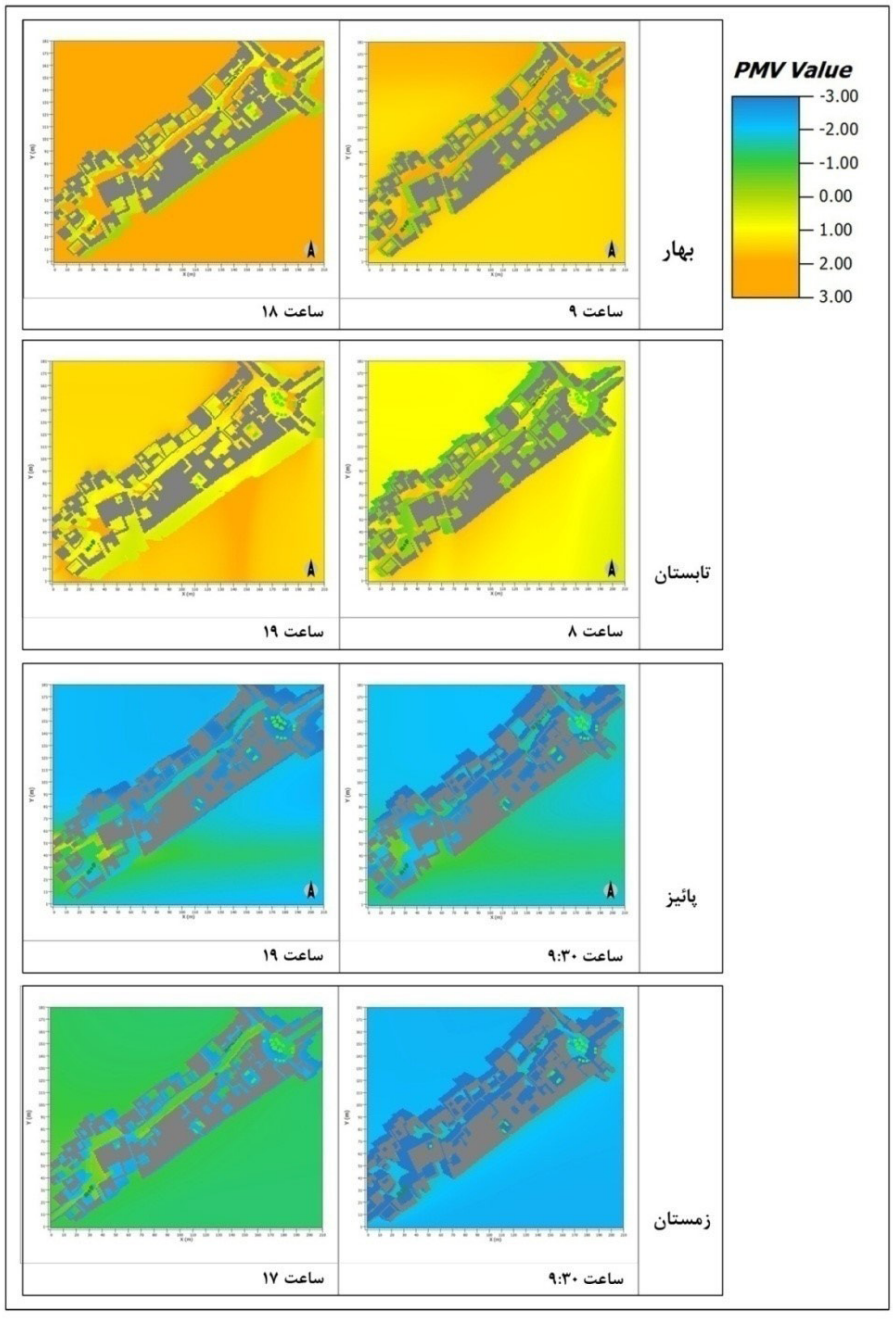
به چشم می‌خورد. از ساعت ۱ تا ۳ بعدازظهر، هیچ محافظتی در مقابل تابش در معبر وجود ندارد. در ساعات پایانی روز نیز از ساعت ۶ به بعد با تغییر زاویه تابش خورشید، شرایط آسایش حرارتی به‌تدریج تعدیل می‌گردد.

فصل تابستان: در تابستان شرایط عدم آسایش از ساعت ۸ صبح در بخش‌های فاقد سایه مشاهده می‌شود. اختلاف دما در سایه و آفتاب در این فصل نسبت به بهار با شدت بیشتری وجود دارد. از ساعت ۸ شرایط آسایش در محدوده سایه در مجاورت جداره جنوبی وجود دارد و از ساعت ۱۱ به بعد، شرایط آسایش در سایه نیز به کمی گرم تغییر می‌کند. از ساعت ۱۲ ظهر تا ۱۷ هیچ محافظتی در برابر آفتاب در معبر وجود ندارد. از این ساعت به بعد، شرایط آسایش به‌تدریج تعدیل می‌شود و از ساعت ۱۹ به بعد محیط سایه در شرایط کمی گرم قرار می‌گیرد و با غروب خورشید، شرایط آسایش کامل ایجاد می‌شود.

فصل پاییز: در فصل پاییز، با عدم آسایش عابرین پیاده معبر به‌صورت سرما در ساعات ابتدایی و پایانی روز مواجه هستیم. تا ساعت ۹:۳۰ صبح، محدوده طراحی در شرایط سرد قرار دارد. از ساعت ۹:۳۰ صبح تا ساعت ۱۷، آسایش حرارتی در محدوده بدون سایه و از آن پس در محدوده شرایط کمی سرد و به‌تدریج با غروب آفتاب در شرایط بسیار سرد قرار دارد. در ساعات آغازین طلوع خورشید شرایط آسایش در مجاورت جداره شمالی معبر و در هنگام عصر در مجاورت جبهه جنوبی شرایط آسایش حرارتی وجود دارد؛ بنابراین به‌طورکلی محدوده طراحی به‌جز ساعات ابتدایی و انتهایی روز، از آسایش حرارتی برخوردار است.

فصل زمستان: در فصل زمستان آسایش حرارتی عابرین پیاده معبر در شرایط سرد، کمی سرد و بسیار سرد قرار دارد. تا ساعت ۱۰ صبح کلیه بخش‌های معبر در شرایط بسیار سرد و سپس در شرایط سرد قرار دارد و از ساعت ۱۰ صبح مناطقی که در معرض تابش هستند کمی سرد هستند و به‌تدریج تا ساعت ۱۷ به حالت متعادل حرارتی نزدیک می‌شوند. مناطقی که در سایه قرار دارند، به‌ویژه در مجاورت جداره جنوبی معبر نیز شرایط بسیار سرد دارند. از ساعت ۱۶ به بعد نیز مجدداً محدوده‌هایی که در سایه قرار دارند، سرد و در سایر بخش‌ها کمی سرد هستند که به‌تدریج با غروب خورشید در محدوده شرایط بسیار سرد قرار می‌گیرند.

بنابراین در محور طمقاچی‌ها بروز تنش حرارتی برای عابر پیاده در فصل پاییز و زمستان مربوط به ساعات ابتدایی و انتهایی روز است و با ساعات اوج استفاده از معبر تداخل ندارد. در نتیجه اگر طراحی معبر به نحوی صورت گیرد که دسترسی معبر به تابش آفتاب را در فصل زمستان مختل ننماید، با توجه به ویژگی‌های سازگاری و انطباق‌پذیری انسان می‌توان گفت عابر پیاده به لحاظ حرارتی در این فصول، دچار مشکل نخواهد بود.

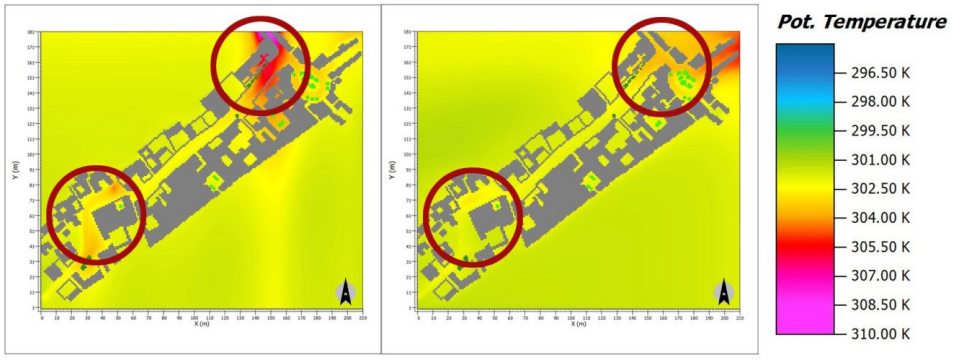


شکل ۲. شروع و پایان شرایط بحرانی آسایش در معبر در چهارفصل سال

منبع: نگارندگان

در یک جمع‌بندی کلی می‌توان گفت محدوده به لحاظ آسایش حرارتی عابرین پیاده در فصل تابستان و تا حدودی در فصل بهار، به‌خصوص در ساعات میانی روز با مسئله مواجه است؛ اما محور در بخش‌های مختلف به دلیل تنوع در درجه محصوریت، جهت‌گیری و جنس مصالح، شرایط کاملاً یکسانی ندارد. برای شناسایی مناطقی که عابرین پیاده در آن به‌طور خاص در فصل تابستان دچار تنش حرارتی هستند، دمای بخش‌های مختلف معبر از طریق محاسبه POT–Tempereture بررسی شده است. POT–Tempereture

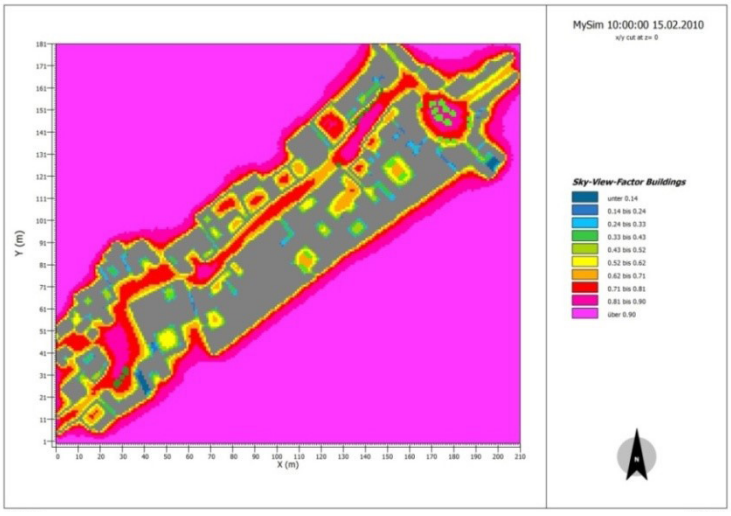
شامل مجموع دمای متوسط تشعشعی و دمای هوا در محیط است. در این تحلیل‌ها دو بخش از معبر قابل تشخیص هستند که به دلیل پایین بودن درجه محصوریت در بیشتر ساعات روز در معرض تابش قرار دارند و عابر پیاده در آنها تنش حرارتی بیشتری را متحمل می‌شود.



شکل ۳. تحلیل POT–Tempereture از معبر در فصل بهار و تابستان در ساعت ۱۱ صبح

منبع: نگارندگان

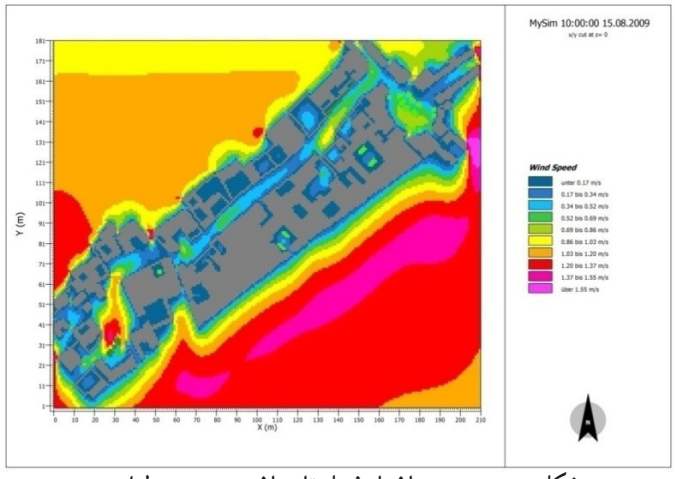
در ادامه بررسی محدوده‌های مشخص شده با استفاده از شاخص دید آسمان (شکل ۴) در مقایسه با تحلیل POT–Tempereture معبر انجام شد. شاخص دید آسمان نشان‌دهنده میزان قرارگیری یک مکان خاص در برابر آسمان باز است و در واقع میزان سایه‌اندازی عناصر مجاور یک مکان خاص را با اعداد ۰ تا ۱ نشان می‌دهد، پایین بودن این شاخص در مکان‌های فوق‌الذکر مؤید درصد پایین سایه‌اندازی و میزان بالای قرارگیری این نقاط در برابر آسمان باز است (بیش از ۰/۹). این امر در نتیجه افزایش تابش دریافتی را در پی خواهد داشت. لازم به ذکر است که ویژگی مذکور در فصل تابستان و بهار سبب افزایش تنش حرارتی است، ولی در فصل پاییز و زمستان به‌عنوان عاملی مثبت در ارتقای آسایش حرارتی تلقی می‌شود. به دلیل گرم و خشک بودن محدوده مورد مطالعه که تابستان‌هایی گرم و زمستان‌هایی نسبتاً معتدل دارد، این نقاط به‌عنوان بخش‌هایی که با مشکل مواجه هستند باید با استفاده از تدابیر مناسب تجهیز شوند.



شکل ۴. بررسی شاخص دید آسمان در محدوده طراحی

منبع: نگارندگان

جریان باد نیز به‌عنوان یکی از عوامل تأثیرگذار در کیفیت آسایش حرارتی مطرح است. باد غالب شهر از سمت شرق، شمال شرقی و شمال غربی و عمدتاً از سمت کویر می‌وزد. درنتیجه باد غالب کاشان باد مطلوبی محسوب نمی‌شود و دارای سرعت قابل توجهی نیز نیست. با توجه به سرعت پایین وزش باد در محدوده طراحی جریان باد نقش قابل توجهی در تغییر شرایط آسایش ایجاد نمی‌کند. در محدوده معبر، حتی در مناطق وسیع و دارای محصوریت بسیار پایین که در شکل زیر مشخص هستند نیز سرعت باد به هیچ عنوان قابل توجه نیست (حداکثر ۱ متر بر ثانیه). با این حال از ترکیب جریان بسیار ضعیف باد با پوشش گیاهی و سطوح آب می‌توان در جهت تقویت تأثیر این عناصر و تعدیل درجه حرارت محیط بهره برد.



شکل ۵. بررسی جریان باد فصل تابستان در محدوده طراحی

منبع: نگارندگان

در مجموع از بررسی شرایط اقلیمی معبر در وضع موجود، می‌توان به نتایج زیر دست یافت:

- درجه محصوریت پایین معبر به همراه فقدان پوشش گیاهی قابل توجه و کف‌سازی بخش وسیعی از معبر به‌وسیله آسفالت موجب شده است تا معبر به‌ویژه در فصل تابستان و تا حدودی فصل بهار، در بخش عمده‌ای از ساعات روز وضعیت نامطلوبی به لحاظ آسایش حرارتی عابرین پیاده داشته باشد.
- میزان تابش دریافتی نسبت به سایر فاکتورهای مؤثر در کیفیت آسایش حرارتی تأثیرگذارتر است، به نحوی‌که الگوی کیفیت آسایش حرارتی معبر از الگوی سایه‌اندازی معبر تبعیت می‌کند.
- تأثیر شاخص دید به آسمان پایین در بخش‌هایی از معبر که دارای گشودگی است، مشهود است.
- بیشترین تنش حرارتی در مجاورت جداره‌های رو به جنوب معبر به‌ویژه در ساعات آغازین روز مشاهده می‌شود.
- عابر پیاده در جداره جنوبی معبر متحمل تنش حرارتی قابل توجهی نمی‌گردد.

ارائه طرح پیشنهادی

ارائه گزینه‌های طراحی

روش‌های کاهش حرارت دریافتی در فضاهای باز شهری در سه دسته کلی قابل تقسیم‌بندی هستند: کاهش تشعشع خورشیدی، کاهش یا بازتابش تشعشعات طول موج بلند و کاهش یا معکوس نمودن جریان همرفت (جدول ۲).

جدول ۲. استراتژی‌های خنک‌سازی در فضاهای باز

کاهش حرارت دریافتی (W)	معیارها	اقدام عمومی	تکنیک‌های خاص
۷۰-۴۰ ۵۰-۲۵	کاهش تشعشع خورشیدی	ایجاد مانع در مقابل تشعشع مستقیم و پراکنده ایجاد مانع در مقابل تشعشع بازتابشی	ایجاد سایه بالا بردن درجه محصوریت تصحیح سطوح مجاور
۵۰-۲۰	کاهش یا بازتابش تشعشعات طول موج بلند	کاهش دمای سطوح مجاور	کف‌سازی سطوح با مصالح دارای ضریب جذب پایین پیش‌بینی آب در محیط مانند آبشار یا پرده آب
۵۰-۱۵	کاهش یا معکوس کردن جریان همرفت	کاهش دمای هوا تسهیل جریان هوای سرد	ایجاد محصوریت خنک‌سازی محسوس خنک‌سازی نهان ایجاد کانال هوای خنک استفاده از افشانه‌های آب

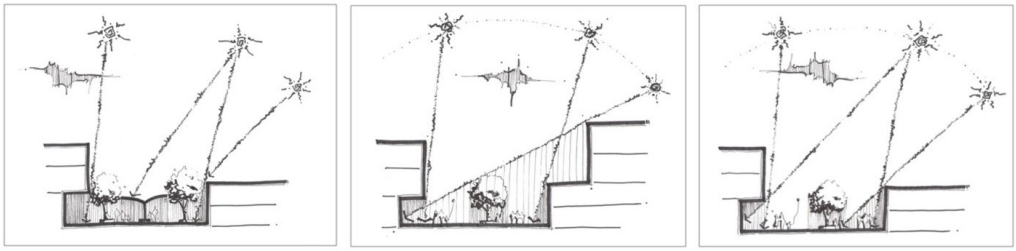
منبع: Gómez *et al.*, 2013, 29

با بهره‌گیری از روش‌های پرکاربردی که با هدف ارتقای آسایش حرارتی در فضای باز شهری به‌کار می‌روند و با در نظر گرفتن شرایط خاص گذر به‌عنوان یک محور تاریخی، سه گزینه طراحی متفاوت پیشنهاد شده است. بناهای تاریخی گذر در مجاورت جداره جنوبی محور که شامل بخشی از بافت تاریخی بازار است، واقع شده‌اند. در طرح پیشنهادی بناهای ارزشمند حفظ شده و ارتفاع پلاک‌های تخریبی مجاور این بناها در تناسب با بناهای تاریخی در نظر گرفته شده است. در ادامه گزینه‌های پیشنهادی ارائه شده است.

گزینه ۱ طراحی: حداقل دخالت در جداره تاریخی جنوبی معبر با تعیین حداکثر ارتفاع ۴ متر، افزایش ارتفاع جداره شمالی نسبت به وضع موجود تا ۱۰ متر، ایجاد رواق در جداره شمالی جهت سایه‌اندازی بر نوار مجاور کاربری‌های تجاری، سایه‌اندازی به‌وسیله درختان برگ‌ریز که ضمن سایه‌اندازی در فصل تابستان دسترسی معبر به تابش را در فصل سرد حفظ می‌نمایند، کف‌سازی معبر به‌وسیله آجر (رنگ روشن)، ایجاد سطوح آب برای بهره‌گیری از سرمایش تبخیری.

گزینه ۲ طراحی: دخالت در جداره جنوبی به صورت ایجاد عقب‌نشینی پلکانی در محل ابنیه فاقد ارزش، به شکلی که تناسب نما با نمای ابنیه ارزشمند حفظ گردد. این راهکار با هدف افزایش محصوریت معبر و بهبود وضعیت سایه‌اندازی توسط جداره جنوبی صورت گرفته است. ایجاد رواق در جداره شمالی، سایه‌اندازی به‌وسیله درختان برگ‌ریز، کف‌سازی معبر به وسیله آجر (رنگ روشن) و ایجاد سطوح آب.

گزینه ۳ طراحی: عدم افزایش ارتفاع در جداره جنوبی (به‌دلیل وجود بناهای تاریخی)، ایجاد رواق در جداره شمالی، سایه‌اندازی به‌وسیله درختان برگ‌ریز، ایجاد سطوح آب، کف‌سازی معبر به وسیله آجر (رنگ روشن) و استفاده از سایبان‌های افقی قابل جمع شدن در فصل زمستان، در ترکیب با پوشش گیاهی که ضمن حفاظت معبر در فصل تابستان در زمستان قابل جمع شدن بوده، خللی در آسایش حرارتی عابر پیاده در معبر ایجاد نمی‌نماید.



شکل ۶. مقاطع راه در گزینه‌های پیشنهادی

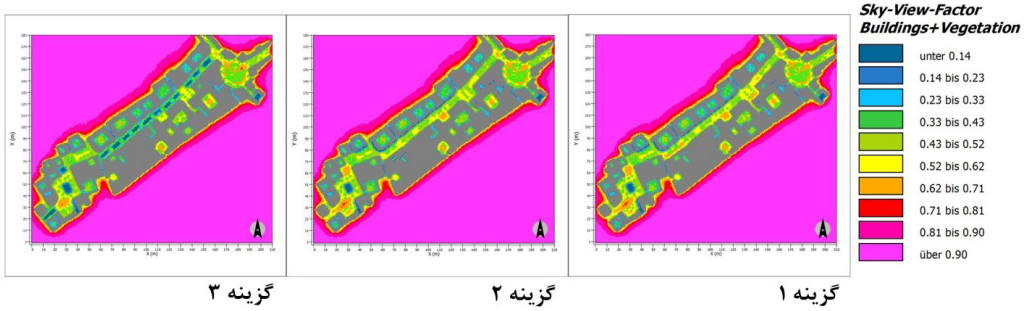
منبع: نگارندگان

شبیه‌سازی کیفیت آسایش حرارتی در گزینه‌های پیشنهادی

در ادامه به شبیه‌سازی کیفیت آسایش حرارتی گزینه‌های پیشنهادی با استفاده از نرم‌افزار ENVI-met پرداخته شده، بر اساس میزان تأثیرگذاری راهکارهای پیشنهادی در ارتقای کیفیت آسایش حرارتی محدوده، مناسب‌ترین گزینه انتخاب می‌شود. مدل‌سازی براساس تحلیل‌های وضع موجود صورت گرفته است که از ساعت ۶ تا ۹ صبح در شبکه بیشترین حضور پیاده در فضای شهری را شاهد هستیم. همان‌گونه که در تحلیل وضع موجود معبر مشخص شد، محدوده طراحی در فصل تابستان از نظر حرارتی با مسئله مواجه است؛ بنابراین شبیه‌سازی گزینه‌های طراحی در فصل تابستان و بر اساس میانگین حداکثر دما انجام شده است.

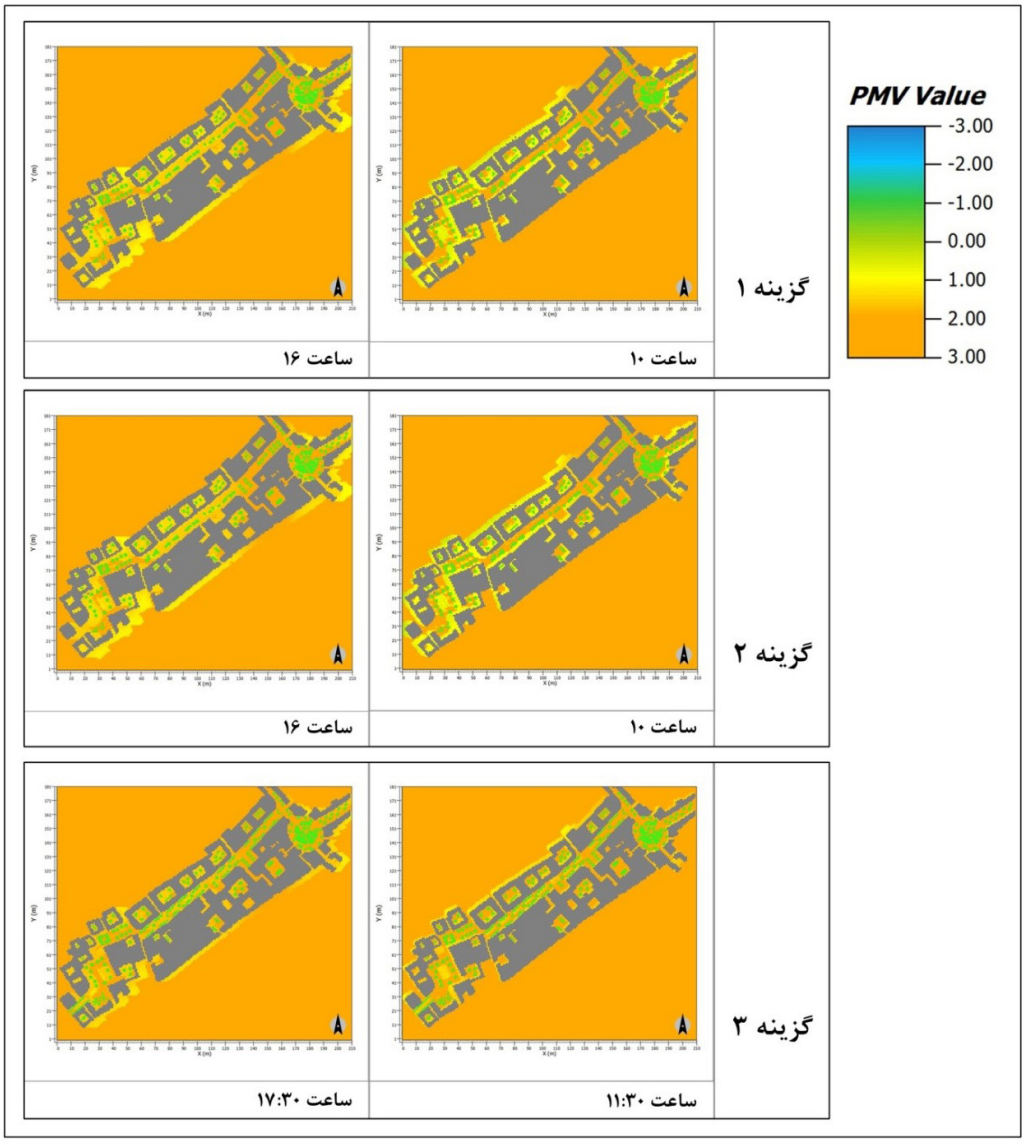
در تحلیل گزینه‌ها، بر اساس تحلیل‌های صورت گرفته از وضعیت آسایش حرارتی، نخست ساعاتی که مرز میان وجود آسایش و عدم آسایش در محدوده طراحی هستند، مد نظر قرار گرفته‌اند و درواقع طول مدتی که شرایط آسایش در محدوده وجود ندارد محاسبه می‌شود که مبنایی برای مقایسه گزینه‌ها محسوب می‌گردد.

شکل ۷ نمایشگر شاخص دید به آسمان در گزینه‌های پیشنهادی و مقایسه این سه است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، گزینه سه پایین‌ترین میزان شاخص دید به آسمان را ارائه می‌کند.



شکل ۷. شاخص دید آسمان در گزینه‌های پیشنهادی

منبع: نگارندگان



شکل ۸. شاخص PMV در گزینه پیشنهادی

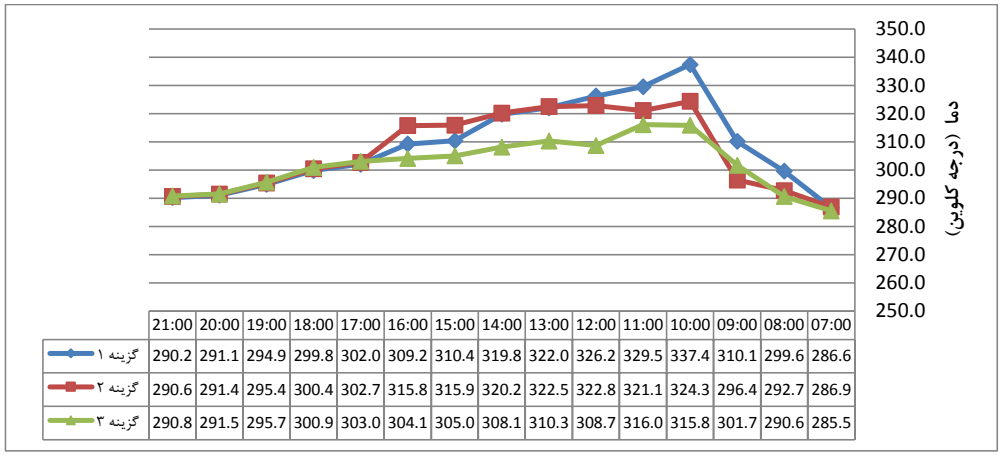
منبع: نگارندگان

گزینه ۱ طراحی: در گزینه ۱ طراحی شرایط آسایش در ساعات آغازین روز تا ساعت ۱۰ صبح و از ساعت ۱۸ به بعد وجود دارد که نسبت به وضع موجود محدوده در فصل تابستان (۸ و ۱۹)، ۳ ساعت بهبود یافته است. محسوس‌ترین بهبود کیفیت آسایش حرارتی درخصوص سایه‌اندازی ابنیه و سایبان‌های افقی مشاهده می‌شود و در مرحله بعد، پوشش گیاهی بیشترین تعدیل را در شرایط آسایش ایجاد می‌نماید.

گزینه ۲ طراحی: شبیه‌سازی گزینه ۲ طراحی نیز مانند گزینه ۱ بهبودی ۳ ساعته را نسبت به وضعیت آسایش حرارتی نشان می‌دهد. بهبود قابل توجهی از طریق افزایش ارتفاع جداره جنوبی در کیفیت آسایش حرارتی مجموعه مشاهده نشد.

گزینه ۳ طراحی: در گزینه ۳ طراحی، شرایط آسایش برای عابرین پیاده در ساعات آغازین روز تا ساعت ۱۱:۳۰ صبح و از ساعت ۱۷:۳۰ به بعد وجود دارد که نسبت به وضع موجود محدوده در فصل تابستان (۸ و ۱۹) ۵ ساعت بهبود یافته است؛ بنابراین گزینه ۳ طراحی بیشترین تأثیرگذاری را در ارتقای کیفیت آسایش حرارتی

محدوده داشته است. بیشترین کاهش تنش حرارتی در محدوده ترکیب سایبان با سطوح آب مشاهده می‌شود. همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، دمای متوسط تشعشعی بالاترین تأثیر را از میان عوامل مؤثر بر کیفیت آسایش حرارتی عابرین پیاده در فضای شهری دارد. شکل ۹ نمایشگر میانگین تغییرات دمای متوسط تشعشعی در هر یک از مقاطع گزینه‌های پیشنهادی از ساعت ۷ تا ۲۱ است. بر اساس شکل ۹ گزینه سوم پیشنهادی پایین‌ترین دریافت دمای متوسط تشعشعی را در طول ساعات میانی روز دارد. دمای متوسط تابشی در گزینه اول تا ساعت ۱۰ صبح با سرعت بیشتری نسبت به سایر گزینه‌ها بالا می‌رود و پس از آن نیز با شدت بیشتری نسبت به گزینه دو کاهش می‌یابد.

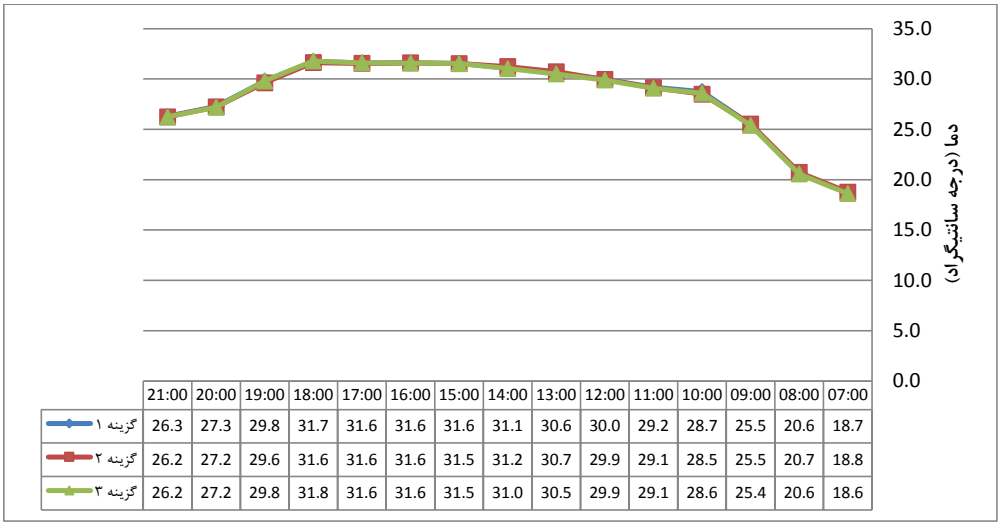


	21:00	20:00	19:00	18:00	17:00	16:00	15:00	14:00	13:00	12:00	11:00	10:00	09:00	08:00	07:00
گزینه ۱	290.2	291.1	294.9	299.8	302.0	309.2	310.4	319.8	322.0	326.2	329.5	337.4	310.1	299.6	286.6
گزینه ۲	290.6	291.4	295.4	300.4	302.7	315.8	315.9	320.2	322.5	322.8	321.1	324.3	296.4	292.7	286.9
گزینه ۳	290.8	291.5	295.7	300.9	303.0	304.1	305.0	308.1	310.3	308.7	316.0	315.8	301.7	290.6	285.5

شکل ۹. میانگین دمای متوسط تابشی عرض معبر در گزینه‌های پیشنهادی (ساعت ۷ تا ۲۱)

منبع: نگارندگان

شکل ۱۰ نمایشگر میانگین دمای هوا در مقطع عرضی هریک از گزینه‌های پیشنهادی در طول روز است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود افزایش و کاهش دما در گزینه‌های پیشنهادی از الگوی یکسانی تبعیت می‌کند. الگوی کلی افزایش دمای هوا از الگوی دمای متوسط تشعشعی تبعیت می‌کند، اما دامنه تغییرات کمتری دارد و به‌خصوص هنگام تابش دریافتی با سرعت پایین‌تری کاهش می‌یابد. میانگین کلی روزانه دما در گزینه اول ۲۸/۲۸ °C، در گزینه دوم ۲۸/۲۶ °C و در گزینه سوم ۲۸/۲۳ °C است.



	21:00	20:00	19:00	18:00	17:00	16:00	15:00	14:00	13:00	12:00	11:00	10:00	09:00	08:00	07:00
گزینه ۱	26.3	27.3	29.8	31.7	31.6	31.6	31.6	31.1	30.6	30.0	29.2	28.7	25.5	20.6	18.7
گزینه ۲	26.2	27.2	29.6	31.6	31.6	31.6	31.5	31.2	30.7	29.9	29.1	28.5	25.5	20.7	18.8
گزینه ۳	26.2	27.2	29.8	31.8	31.6	31.6	31.5	31.0	30.5	29.9	29.1	28.6	25.4	20.6	18.6

شکل ۱۰. میانگین دمای هوای عرض معبر در گزینه‌های پیشنهادی (ساعت ۷ تا ۲۱)

منبع: نگارندگان

برای مقایسه دقیق‌تر گزینه‌های پیشنهادی مقادیر دمای متوسط تابشی، دمای هوا، رطوبت نسبی و سرعت باد در گزینه‌های پیشنهادی استخراج و با میانگین این مقادیر در محدوده آسایش حرارتی مقایسه شده است. جدول ۳ نمایشگر مقادیر دمای متوسط تابشی، دمای هوا، رطوبت نسبی و سرعت باد در محدوده آسایش حرارتی است. لازم به ذکر است با وجودی که این متغیرها تنها متغیرهای مؤثر در کیفیت آسایش حرارتی نیستند و تأثیر متقابل آن‌ها تعیین‌کننده کیفیت آسایش حرارتی است، مهم‌ترین متغیرها را شامل می‌شوند و می‌توانند به‌عنوان معیاری برای مقایسه گزینه‌ها به‌کار روند.

جدول ۴. متغیرهای مؤثر در کیفیت آسایش حرارتی و اختلاف آن‌ها در گزینه‌های پیشنهادی با میانگین مقادیر استاندارد شرایط آسایش

متغیرهای آسایش حرارتی	محدوده آسایش حرارتی	گزینه ۱	فاصله گزینه ۱ از حد استاندارد	گزینه ۲	فاصله گزینه ۲ از حد استاندارد	گزینه ۳	فاصله گزینه ۳ از حد استاندارد
دمای متوسط تابشی	۳۰۲/۵- ۲۹۱/۹ K	۳۰۶/۲۶	۳/۸	۳۰۵/۱۹	۲/۷	۳۰۴/۶۰	۲/۱
دمای هوا	۳۰۲/۵- ۲۹۱/۹ K	۳۰۱/۴۶	۰/۰	۳۰۱/۴۴	۰/۰	۳۰۱/۳۹	۰/۰
رطوبت نسبی	۳۰-۵۰%	۵۷/۷۹	۷/۸	۵۷/۵۰	۷/۵	۵۷/۱۸	۷/۲
سرعت باد	۱/۶-۳/۳ m/s	۰/۳۶	-۱/۲	۰/۱۹	-۱/۴	۰/۳۲	-۱/۳

منبع: نگارندگان

از مقایسه داده‌ها با مقادیر متغیرها درمحدوده آسایش شکل ۱۱ رسم شده است. در این نمودار متغیرها در محدوده آسایش صفر در نظر گرفته شده‌اند و هرچه اختلاف نتایج با این محور کمتر باشد، نشانگر نزدیک‌تر بودن گزینه مذکور به محدوده آسایش حرارتی عابر پیاده است.

شکل ۱۱. نمودار اختلاف متغیرهای دمای متوسط تابشی، دمای هوا، رطوبت نسبی و سرعت باد در گزینه‌های پیشنهادی با حالت استاندارد

منبع: نگارندگان

همان‌گونه که مشاهده می‌شود گزینه سوم کمترین میزان دمای متوسط تابشی، دمای هوا، رطوبت نسبی و بیشترین سرعت جریان باد را در میان سه گزینه داشته، در نتیجه مناسب‌ترین شرایط را نسبت به سایر گزینه‌ها در تأمین آسایش حرارتی عابرین پیاده معبر دارد.

نتیجه‌گیری

پس از بررسی شبیه‌سازی شاخص PMV در کنار شاخص دید آسمان برداشت می‌شود، گزینه سوم طراحی که با بهره‌گیری از ترکیب پوشش گیاهی، رواق و سطوح آب در کنار استفاده گسترده از سایبان‌های سبک و باز و بسته شونده پیشنهاد شده است، مناسب‌ترین گزینه از نظر ارتقای شرایط آسایش حرارتی عابرین پیاده در سطح معبر و جداره‌ها تشخیص داده شد.

بر اساس یافته‌های پژوهش، تأثیرگذاری قابل توجه هندسه معبر، به‌ویژه عناصر الحاقی بر نمای ابنیه و سایبان به اثبات می‌رسد. به‌طور کلی می‌توان گفت تأثیرگذاری سایه‌اندازی و کاهش میزان تابش دریافتی بیشتر از سایر ابزارهای کاهش تنش حرارتی چون کاربرد سطوح با آلبدوی پایین و استفاده از حضور آب در فضا است. بیشترین کاهش تنش حرارتی در ترکیب سایبان و سطوح آب مشاهده شد که در ارائه طرح پیشنهادی به اشکال متنوع قابل اجرا است. به‌عنوان مثال اسپری آب به شکل قطرات بسیار ریز در هوا که به دلیل افزایش سطح تماس آب با هوا تأثیر آب از طریق سرمایش تبخیری را به حداکثر می‌رساند.

استفاده از روش‌های پیشنهادی در پژوهش حاضر به معماران و طراحان شهری کمک می‌کند تا با کاربرد شاخص PMV به‌صورت ابزاری مؤثر، تأثیر عناصر طراحی را بر ارتقای کیفیت آسایش حرارتی عابرین پیاده در معابر شهری خاص مدنظر قرار دهند و ابزار طراحی موجود را به شکل مؤثرتری به‌کارگیرند.

پی‌نوشت‌ها

1. Nikolopoulou
2. Lindqvist
3. Katzschner
4. Thorsson
5. canyon effect
6. Luke Howard
7. Olgyay
8. Oke
9. Urban canyons
10. Johansson
11. Reduction approach and adaptation approach

۱۲. فنگر ۱۹۳۴-۲۰۰۶ (Povi Ole Fanger) از محققان دانمارکی بنام در زمینه آسایش گرمایی بوده و مطالعات پایه‌ای که از سال ۱۹۷۰ انجام داده است، همواره مأخذ تهیه معیارها و استانداردهای آسایش گرمایی برای معماران و مهندسان تأسیسات و مؤسسات استاندارد جهانی مثل اشری در آمریکا و ایزو در اروپا (ژنو سوئیس) بوده است.

13. Thermal comfort and thermal sensation
14. Predict Mean Vote
15. Predict Precentage Dissatisfied
16. Jendritzky
17. Munich Energy-balance Model for Individuals
18. Wind Chill Index
19. Operative Temp
20. Humid Operative Temp
21. Resultant Temp
22. Effective Temp

23. Physiol. Equiv.Temp
24. Perceived Temp
25. Predicted Mean Vote
26. Out.Stand.Eff.Temp
27. Stand.Eff.Temp
28. New Effective Temp
29. Heat Stress Index
30. Index of Thermal Stress
31. PMV
32. SET
33. PET
34. Honjo
35. Phisical Models
36. Mathematical
37. Navier–Stokes equations

۳۸. در ریاضیات، روش‌های عددی اختلاف محدود، روش‌های محاسباتی برای تخمین راه‌حل‌هایی برای معادلات دیفرانسیلی با استفاده از معادلات اختلاف محدود برای تخمین مشتقات هستند.

39. Initial Temperature Atmosphere
40. Specific Humidity
41. Relative Humidity

فهرست منابع

- حیدری، شاهین و منعام، علیرضا (۱۳۹۲) «ارزیابی شاخصه‌های آسایش حرارتی در فضای باز»، *مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای*، شماره ۲۰، ۱۹۷-۲۱۶.
- حقیقت نائینی، علیرضا (۱۳۸۹) «انگاره طراحی «فرم شهری پایدار» و شهر تاریخی مطالعه موردی: بررسی سکونتگاه‌های حوزه بیابانی استان اصفهان»، *نامه معماری و شهرسازی*، شماره ۳، ۴۱-۶۵.
- رضازاده، راضیه و آقاجان بیگلو، عماد (۱۳۹۰) «الگوی پیشنهادی برای توده گذاری در قطعات مسکونی ردیفی بررسی تطبیقی دو الگوی توده گذار در بلوک‌های مسکونی با معیار آسایش حرارتی»، *نشریه نامه معماری و شهرسازی*، ۱۶۵-۱۸۴.
- طاهباز، منصوره (۱۳۸۸) «روش تحلیل آمار هواشناسی برای طراحی معماری همساز با اقلیم»، *نشریه هنرهای زیبا*، دانشکده هنرهای زیبا دانشگاه تهران، شماره ۳۸، ۶۱-۷۲.
- فلاح منشادی، الهام؛ حبیبی، سارا و روحی امیر (۱۳۹۱) «پیاده‌راه‌های شهری، از ایده تا عمل؛ ارزیابی پیاده‌راه بازار شهر تهران»، *نامه معماری و شهرسازی*، شماره ۹، ۶۳-۴۵.
- قیابکلو، زهرا (۱۳۸۰) «روش‌های تخمین محدوده آسایش حرارتی»، *نشریه هنرهای زیبا*، شماره ۱۰، ۶۸- ۷۴.

- Ali–Toudert, Fazia & Mayer, Helmut (2007) "Effects of asymmetry, galleries, overhanging facades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons," *Solar Energy*, 81, 742–754.
- Bruse, M. & Fleer, H. (1998) "Simulating surface–plant–air interactions inside urban environments with a three– simentional numerical model," *Environmental Modelling and software*, 13, 373–384.
- Bruse, M. (2013) *ENVI–met 3.1: model overview,* Available online at: www.envi–met.com.
- Carmona, Matthew & Tiesdell, Steve (2007) *Urban Design Reader,* Architectural press, Oxford.
- Chappells, H. & Shove, E. (2004) *COMFORT: A review of philosophies and paradigms,* Lancaster University, available at: http://www.lancaster.ac.uk/fass/projects/futcom/fc_litfinal1.pdf.

- Chen, Liang & Ng, Edward (2012) "Outdoor thermal comfort and outdoor activities: A review of research in the past decade," Cities, 29, 118–125.
- Emmanuel, R. (2005) "Thermal comfort implications of urbanization in warm–humid city: the Colombo Metropolitan Region (CMR), Sri Lanka," Building and Environment, 40, 1591–1601.
- Erell, Evyatar; Pearlmutter, David & Williamson, Terry (2011) URBAN MICROCLIMATE Designing the Spaces Between Buildings, Earthscan, London.
- Givoni, B.; Noguchi, M.; Saaroni, H.; Pochter O.; Yaacov, Y.; Feller, N. & Becker S. (2003) "Outdoor comfort research issues," Energy and Buildings, 35, 77–86.
- Gómez, F.; Pérez Cueva, A.; Valcuende, M. & Matzarakis, A. (2013) "Research on ecological design to enhance comfort in open spaces of a city (Valencia, Spain). Utility of the physiological equivalent temperature (PET)," Ecological Engineering, 27, 27–39.
- Höppe P. (1999) "The Physiological Equivalent Tempreture–a Universal Index for the Biometeorological Assessment of the Thermal Environment," Int. Biometeorology.
- Höppe, P. (2002) "Different aspects of assessing indoor and outdoor thermalcomfort," Energy and Buildings, 34, 661–665.
- Howard L. (2007) *The Climate of London,* IAUC edition available at www.lulu.com in two volumes.
- Jendritzky, G.; Menz, G.; Schirmer, H. & Schmidt–Kessen, W. (1990) "Method of a regionoriented assessment of the thermal component of human bioclimate (UpdatedKlima–Michel model)," 114. Hannover: Beiträge Akad RaumforschungLandesplanung, 7–69.
- 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, 1326–1338.
- Kruger E.L.; Minella F.O. & Rasia F. (2011) "Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil," *Building and Environment,* 46, 621–634.
- Lenzholzer, Sanda (2012) "Research and design for thermal comfort in Dutch urban squares," *Resources, Conservation and Recycling,* 64, 39–48.
- Perini, Katia & Magliocco, Adriano (2014) "Effects of vegetation, urban density, building height, and atmospheric conditions on local temperatures and thermal comfort," *Urban Forestry & Urban Greening,* 13, 495–506.
- Szűcs, Á. (2013) "Wind comfort in public urban space– case study within Dublin Docklands," *Frontiers of Architectural Reasearch,* 50–66.
- Taha, H. (1997) "Urban Climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat," *Energy Build*, 25, 99–103.
- Taleb, H. & Taleb D. (2014) "Enhancing the thermal comfort on urban level in a desert area: Case study of Dubai, United Arab Emirates," *Urban Foresty & Urban Greening,* 13, 253–260.
- Taleghani, Mohammad; Kleerekoper, Laura; Tenpierik, van den & Dobbelsteen Andy (2014) "Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands," *Building and Environment,* 1–14.
- Thomson, Madeleine C.; Garcia–Herrera, Ricardo & Beniston, Martin (2008) "Seasonal Forecasts, Climatic Change and Human Health: Health and Claimate," *Springer Science+ Business Media B.V.*
- Van Esch, MME.; Looman, RHJ.; & de Bruin–Hordijk, G. J. (2012) "The effects of urban and building design parameters on solar access to the urban canyon and the potential for direct passive solar heating strategies," *Energy and Buildings*, 47, 189–200.
- URL 01 : http://www.model.envi–met.com/hg2e/doku.php?id=root:start (2016).