محیط‌شناسی، دورهٔ ٤٥، شمارهٔ ٤، زمستان ١٣٩٨، صفحهٔ ٦٠٣-٥٨٩

ارزیابی آسایش حرارتی درخیابان شهری (نمونهٔ موردی:خیابان چمران کرمانشاه)

مریم جعفری[1]، محسن تابان[2]، محسن صفاری‌پور[3]*

۱. کارشناسی ارشد طراحی شهری، دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، دانشگاه صنعتی جندی‌شاپور، دزفول، ایران m.jafary6970@yahoo.com
۲. استادیار، دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، دانشگاه صنعتی جندی‌شاپور، دزفول، ایران Mntaban@jsu.ac.ir
۳. فوق دکترا ، دانشکدهٔ مکانیک، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۸/۰۶/۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۰۸

چکیده

این روزها تغییرات اقلیمی و گرم شدن زمین، توجه به مسائل حرارتی را در محیط شهری ایجاب کرده است. یکی از راهکارهای برخورد با این موضوع، توجه به آسایش حرارتی و شناخت مؤلفه‌های تأثیرگذار بر آسایش حرارتی در محیط بیرونی است. در این تحقیق سعی بر آن شده است تا آسایش حرارتی در خیابان چمران شهر کرمانشاه واقع در غرب ایران سنجیده شود. لذا در این مطالعه، برای ارزیابی آسایش حرارتی از برداشت میدانی استفاده شده است. پارامترهای اقلیمی به‌صورت میدانی اندازه‌گیری شده و نتایج برداشت‌های میدانی به همراه مدل‌سازی وضعیت حرارتی در نرم‌افزار ENVI MET مطالعه شده است. در مطالعهٔ موردی، برای ارزیابی و اندازه‌گیری میزان تغییر محصوریت فضا، چندین نقطه برای اندازه‌گیری محدوده‌های سنجش و بررسی پارامترهای حرارتی در فضای باز و رفتارهای انسانی انتخاب شده است. با توجه به مطالعهٔ انجام‌شده محدودهٔ آسایش حرارتی در محدودهٔ موردمطالعه در دمای بین ۱۶ تا ۱۹ درجه سانتی‌گراد قرار دارد که به دلیل نرخ فعالیت بالا رخ داده است. بررسی نتایج میدانی و مدل‌سازی وضعیت حرارتی با استفاده از نرم‌افزار ENVI MET نشان داد که برای طراحی یک فضای شهری پایدار و مناسب در این اقلیم با مداخله در فضا و تغییر محصوریت، می‌توان در منطقه آسایش تغییر ایجاد کرد.

کلیدواژه

آسایش حرارتی، کرمانشاه، فضای باز، ENVI-MET، PMV

۱. سرآغاز

امروزه با توجه به گرم شدن زمین، مصرف انرژی و عوامل اقلیمی در راستای رسیدن به پایداری اکولوژیک در همه زمینه‌ها به‌ویژه در حیطه معماری و شهرسازی بسیار پراهمیت شده است. یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های اقلیمی، تابش خورشید است که اهمیت بسیاری برای آسایش حرارتی انسان در داخل و خارج ساختمان دارد.

_Toudert و Mayer (۲۰۰۶) راجع به ترکیب طراحی خیابان، محصوریت و جهت آفتاب نسبت به توسعه قابلیت آسایش خرد اقلیم‌ها در سطح خیابان برای عابر پیاده بحث می‌کنند. در بررسی آن‌ها که با ۳ مدل عددی ENVI-MET انجام‌شده است تغییرات خرد اقلیم‌ها را در محیط شهری تخمین زده است و درنهایت پس از مقایسهٔ نمونه‌های موردی به این نتیجه می‌رسد که در دوره زمانی که گرمای شدید اتفاق می‌افتد آسایش، علاوه بر توزیع فضایی، دمای معادل فیزیولوژیک (PET) در سطح خیابان، به محصوریت و جهت‌گیری بستگی دارد؛ و این‌زمانی اهمیت بیشتری می‌یابد که مستقیماً بر انتخاب‌های طراحی در ارتباط با نوع استفاده از خیابان تأثیرگذار خواهد بود.

Johansson (۲۰۰۶) تأثیرات هندسه شهری را بر آسایش حرارتی فضای بیرونی با مقایسه توده‌های خیابان کم‌عمق و خیابان عمیق ارزیابی کرده است. اندازه‌گیری‌های

* نویسندهٔ مسئول: Email: mohsen.saffaripour@gmail.com

مستمر در طول فصول گرم و سرد نشان داد که توده‌های عمیق به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای نسبت به توده‌های کم‌عمق خنک‌تر بودند. در تابستان در گرم‌ترین روزها میانگین اختلاف دمای آن‌ها ۶-۱۰ کلوین بود. در توده‌های عمیق در روزهای گرم تابستان آسایش حرارتی بیشتری وجود داشت و مساعدتر بود و در طول زمستان توده کم‌عمق برای دسترسی خورشید مساعدتر بود. درنهایت به این نتیجه رسیدند که در اقلیم گرم و خشک طراحی متراکم با توده‌های عمیق مناسب‌تر است. اگر فصل سرد هم در چنین مناطقی وجود دارد باید طراحی شهری خیابان‌های عریض یا فضاهای باز یا هردو را برای دسترسی مناسب خورشید فراهم کرد.

شاهین حیدری (۱۳۹۱) در مقالهٔ «برهم‌کنش جریان هوا، دما و راحتی در فضاهای باز شهری مطالعه موردی اقلیم گرم و خشک ایران» به مطالعهٔ اقلیم گرم و خشک ایران پرداخته و در پی پاسخی مبتنی بر کار میدانی در سطح شش شهر کشور بوده است. نتایج به‌دست‌آمده قابل‌تعمیم به همهٔ مناطق گرم و خشک ایران خواهد بود. در اقلیم گرم و خشک، جریان هوا تابعِ دمای محیط، دو اثر کاملاً متفاوت بر افراد دارد. در یک حالت باعث آسایش و در حالتی دیگر باعث عدم آسایش است. در اقلیم سرد نیز تأثیر جریان هوا بر آسایش منفی است. در این مقاله به دنبال یافتن مرز قابل‌قبول دمایی برای مطلوبیت جریان هوا بوده و مشخص شد که نقطهٔ مرزی قابل‌قبول جریان هوا ۳۲/۵ درجهٔ سانتی‌گراد است. به کمک این عدد مرز استفاده از جریان هوا هم برای شهرساز و هم برای معمار و تطبیق آن با شیوه‌های طراحی و عناصر معماری و شهری میسر خواهد بود.

علیرضا منعام (۱۳۹۰) در پایان‌نامهٔ خود تحت عنوان «اثربخشی مؤلفه‌های آسایش حرارتی و صوتی در ارتقای کیفی فضای بوستان» در پی ارتقاء آسایش عمومی با تغییر در ویژگی‌های محیطی بوده که به افزایش کیفیت فضای بوستان‌های شهری می‌انجامد. یافته‌های پژوهش میدانی به تأثیر عوامل محیطی مؤثر بر آسایش حرارتی بر یکدیگر، نقش متغیرهای محیطی و فردی بر احساس آسایش حرارتی و نقش مؤلفه‌های آسایشی محیطی بر آسایش حرارتی و میزان تأثیر آن بر آسایش عمومی اشاره دارد. نتایج این پژوهش بر اهمیت نقش مؤلفهٔ آسایش حرارتی بر آسایش عمومی افراد در فضای بوستان تأکید و به رابطهٔ بالای آن با آسایش صوتی اشاره می‌کند. یکسان نبودن میزان احساس حرارتی با شاخصه‌های آسایش حرارتی در یافته‌های پژوهش بر تفاوت‌های روان‌شناختی شامل انتظارات، طبیعت‌گرایی، تجربیات، مدت‌زمان حضور، حق انتخاب و فضای حضور قبل از بوستان دلالت دارد. از مهم‌ترین عوامل محیطی مؤثر بر شاخصه‌ها و احساس آسایش حرارتی، می‌توان به «میانگین دمای تابشی» اشاره کرد که به میزان بالایی متأثر از ضریب دید به آسمان است.

در ایران مطالعه زیادی در زمینه مطالعات اقلیمی به‌ویژه در اقلیم سرد صورت نگرفته است. در این اقلیم تنها چند مطالعه دربارهٔ ادراک ذهنی مردم در فضاهای باز شهری استفاده شد. بنابراین در این مقاله سعی شده است با بررسی شاخص آسایش حرارتی (PMV) و ارائه راه‌هایی برای رسیدن به تعادل در آسایش با مداخله فیزیکی، تأثیر هوای سرد بر میزان PMV در خیابان‌های شهری بررسی شود.

۲. آسایش حرارتی

در قرن بیستم، تعامل آسایش راحتی با طراحی شهری یکی از زمینه‌های جالب مطالعهٔ اقلیمی است. تعاریف زیادی دربارهٔ آسایش حرارتی وجود دارد که در ذیل به تعدادی از آن‌ها اشاره خواهد شد. آسایش حرارتی وضعیتی از ذهن است که بیانگر تعریف رضایت از محیط حرارتی است (Taleghani, Kleerekoper, Tenpierik & van den Dobbelsteen, 2015) سطوح فعالیت، پوشاک و خرد اقلیم (درجهٔ حرارت هوا، رطوبت هوا و باد) از عوامل اصلی تأثیرگذار در آسایش حرارتی هستند. معمولاً عدم آسایش ناشی از احساس گرما یا سرمای بیش‌ازحد است که می‌تواند ناشی از یک کوران ناخواسته یا تفاوت دمای

محیط با بدن باشد (منشی‌زاده و دیگران، ۱۳۹۱). قضاوت درباره آسایش حرارتی، فرایند پیچیده‌ای است که تحت تأثیر عوامل فیزیولوژیک، فیزیکی، روان‌شناختی و دیگر شاخص‌ها قرار دارد. معمولاً احساس حرارتی در افراد مستقر در محیط‌های یکسان ممکن است متفاوت باشد. آسایش حرارتی از مکانی به مکان دیگر و از فردی به فرد دیگر متفاوت است. در حالت کلی، معیار کاملی برای برآورد شرایط آسایش حرارتی وجود ندارد. در سال 1962 م، مک فرسن شش شاخص اساسی که آسایش حرارتی را تحت تأثیر قرار می‌دهند بدین‌صورت تعریف کرد: چهار پارامتر فیزیکی شامل دما و سرعت هوا و متوسط دمای تابش و رطوبت نسبی؛ و دو پارامتر شخصی میزان عایق لباس و میزان فعالیت شخص (معلمی خیاوی و معرفت، ۱۳۹۳). درک و ارزیابی شرایط آسایش حرارتی در فضاهای شهری ضروری است، بنابراین این می‌تواند مفهوم مهمی برای توسعهٔ شهرها باشد. بعضی از پارامترهای آسایش حرارتی برای کیفیت فضا اصلی هستند و بقیه شخصی‌تر هستند (Nikolopoulou & Steemers, 2003)

مطالعات متعددی با هدف بررسی آسایش حرارتی فضای باز و رسیدن به سطح متعادل انجام شده است. این مطالعات در دو گروه انجام می‌شوند: الف. تحقیقات مقایسه‌ای بر اساس تجزیه‌وتحلیل جزایر گرمای شهری در مراکز بزرگ شهری و شهرهای تاریخی و توریستی که بافت متراکم وجود دارد؛ ب. مطالعات آسایش حرارتی بر اساس تجزیه‌وتحلیل روابط بین ساختمان‌ها و خرد اقلیم و فضای عمومی (Allegrini, Dorer & Carmeliet, 2012).

۲-۱. مدل‌های آسایش حرارتی

زمینهٔ مطالعات آسایش حرارتی فضای بیرونی اخیراً باعلاقه محققان آغاز شده است. در حقیقت، اکثر تحقیقات راجع به آسایش حرارتی، اساساً در فضاهای داخلی اهمیت داشته‌اند. سختی درک و فهم آسایش حرارتی فضای بیرونی در عوامل چندگانه قرارگرفته‌اند. مطالعه آسایش حرارتی با در نظر گرفتن جنبه‌های مختلف فیزیکی، فیزیولوژیکی و روانی، در نظر گرفتن ارتباط بین شرایط آسایش محیط، پاسخ روانی و پدیدهٔ فیزیولوژیک انجام شده است. روش فیزیکی آسایش حرارتی انسان را ماشین حرارتی در نظر می‌گیرد و ارتباط متقابل او را با محیط برحسب تغییرات گرمایشی لحاظ می‌کند. روش فیزیولوژیک به مکانیسم خودگردان که از محیط حرارتی برمی‌آید توجه دارد؛ همچون تعرق و لرزش. درنهایت، روش روانی قصد دارد تا ارتباط بین متغیرهای فیزیکی و فیزیولوژیک و نتایج حسی افراد را تعیین کند (Achour-Younsi & Kharrat, 2016). مطالعات فضای بیرونی تأثیر نسبی باد و دما را بر آسایش استفاده‌کنندگان بررسی کرده‌اند، اما این مطالعات خطای مجاز پارامترها را بیشتر از اندازه میزان آسایش بررسی کرده است. یک مشکل در اندازه‌گیری آسایش استفاده‌کننده در فضای بیرونی این است که اندازه‌گیری آسایش چون آن‌هایی که در مسائل اقلیمی داخلی محیط‌های کنترل‌شده استفاده شدند ممکن است مفید نباشند (Walton et al, 2007) اگر بپذیریم که اقلیم نقش محوری در تعریف فعالیت‌ها و اختصاص کاربری در فضای باز دارد، آنگاه باید به شناخت چگونگی تأثیر عوامل محیطی برای افزایش آسایش بپردازیم که از اهداف برنامه‌ریزی با رویکرد اقلیمی است. سنجش میزان آسایش، نیازمند شاخصه‌هایی برای مقایسه با مجموع شرایط اقلیمی حادث بر فرد است. درواقع تنها یک خصوصیت اقلیم، بیان‌کنندهٔ میزان آسایش حرارتی محیط نیست، مانند بدن که برای درک دمای محیط، گیرنده‌ای جدا ندارد و همهٔ متغیرهای اقلیمی با یکدیگر، تلقی آدمی از شرایط محیطی را می‌سازند (Scudo, 2005). ازاین‌رو به‌منظور سنجش آسایش حرارتی، تعیین شاخصه‌های حرارتی ضروری است (حیدری و منعام، ۱۳۹۲). چند روش برای برآورد احساس حرارتی و راحتی استفاده می‌شود. ازجمله: مدل ژانگ که در آن احساس کلی حرارتی و راحتی به‌عنوان یک تابع از دمای پوست موضعی و دمای هسته‌ای و تغییر آن‌ها در طول زمان محاسبه

می‌شود، مدل گگ که مجموع تبادل حرارتی مربوط به فعالیت متابولیک، انرژی بدن، تبخیر، تابش و انتقال را که صفر هستند فراهم می‌کند. شاخص‌های زیادی وجود دارند که به‌منظور ارزیابی آسایش حرارتی انسان در فضای بیرونی به کار گرفته شده‌اند. حدوداً ۴۰ شاخص آسایش حرارتی وجود دارد که برخی از آن‌ها عبارت‌اند از: دمای معادل فیزیولوژیکی(PET) شاخص ناراحتی(DI)، شاخص میانگین آرای پیش‌بینی‌شده (PMV) (Honjo, 2009)

در استانداردهای بین‌المللی مانند ایزو (2005) 7730 و اشری55 (2004) از روش میانگین آرای پیش‌بینی‌شده فانگر استفاده می‌شود. روش فانگر، در سال 1970 ایجاد شده است که بر مبنای یک مدل تعادل گرمایی انتخاب شده است. درحالی‌که این فرض بر آثار محیط اطراف فقط توسط فیزیک حرارت و جرم مبادلات بین بدن و محیط توضیح داده شده است، در مدل تعادل گرمایی، انسان به‌عنوان یک گیرنده منفعل از محرک‌های حرارتی مشاهده می‌شود. روش پیش‌بینی میانگین آرا ترکیب چهار متغیر فیزیکی (درجه حرارت هوا، سرعت هوا، میانگین دمای تابشی و رطوبت نسبی) و دو متغیر شخصی (عایق لباس و سطح فعالیت) در یک شاخص است که این شاخص پیش‌بینی میانگین پاسخ گروه بزرگی از مردم با توجه به مقیاس احساس حرارتی اشری (اشری 1993) است (Holopainen, 2012)). این تقسیم‌بندی 7 نقطه‌ای از 3- (سرد) تا 3+ (داغ) تغییر می‌کند؛ و محدودهٔ صفر بیانگر احساس راحتی است. برای محاسبهٔ این شاخص نرم‌افزارهای متعددی همچون ریمن، انویمت (ENVI-MET) و... استفاده می‌شود.

در چند سال گذشته، از مدل‌های خرد اقلیم شهری برای پیش‌بینی خرد اقلیم و آسایش حرارتی استفاده شد. ENVI-met یکی از معمول‌ترین مدل‌ها برای شبیه‌سازی آسایش حرارتی در سطح خیابان است. در اکثر این مطالعات، تأثیرات پارامترهای هندسی شهری بر خرد اقلیم و آسایش حرارتی در فضای بیرونی با شرایط مختلف بررسی شد(Sözen & Oral, 2019)

نرخ لباس و سطح فعالیت از متغیرهای اصلی محاسبه شاخصه «پیش‌بینی میانگین آرا» است که سازگاری رفتاری در آن لحاظ شده است (Toudert, 2006) روش پیش‌بینی میانگین آرا برای فضاهایی که در آن افراد فعالیت‌های مختلفی دارند که در نتیجهٔ نرخ متابولیسم (metabolic rate) بین 1-3.1 مت(met) است و جایی که نرخ پوشش (clothing/ensemble) بین 0.5– 1 کلو (clo)است به کار گرفته می‌شود. این بر اساس 10 درصد نارضایتی برای آسایش حرارتی کل افراد بر اساس شاخص میانگین آرای پیش‌بینی شده، درصد نارضایتی پیش‌بینی‌شده است. ممکن است بیشتر از 10 درصد نارضایتی در میانگین عدم آسایش حرارتی افراد محلی رخ دهد (ASHRAE,2004). در اصل، روش میانگین آرای پیش‌بینی‌شده به‌عنوان شاخص آسایش حرارتی داخل ساختمان توسعه یافته، اما، معمولاً در مطالعات آسایش حرارتی در فضای باز اتخاذ شده است که در آن گروه‌های زیادی از مردم هدف مطالعه هستند (Ng, Cheng, 2012).

۲-۲. محدوده موردمطالعه

این پژوهش در خیابان چمران در شهر کرمانشاه صورت گرفته است (شکل ۱). شهر کرمانشاه در ۳۴ درجه و ۱۹ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۷ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرارگرفته است. ارتفاع شهر کرمانشاه از سطح دریای آزاد ۱۳۲۲ متر است. اقلیم این شهر سرد و کوهستانی است. طبق مطالعات ایستگاه هواشناسی میانگین دمای سالانه ۱۶ درجهٔ سانتی‌گراد است که در ماه‌های بهمن و دی حداقل دمای مطلق به ۷- درجهٔ سانتی‌گراد نیز می‌رسد. جهت باد غالب در ۶ ماه اول سال به سمت غرب و شش ماه دوم سال به سمت شرق و با میانگین سالانه ۳/۹ متر بر ثانیه است. براساس مطالعات ایستگاه هواشناسی تعداد روزهای یخبندان در ۵ سال گذشته ۷۴روز بوده که ماه بهمن با میانگین ۲۲/۴ روز و ماه دی با میانگین ۱۸/۴

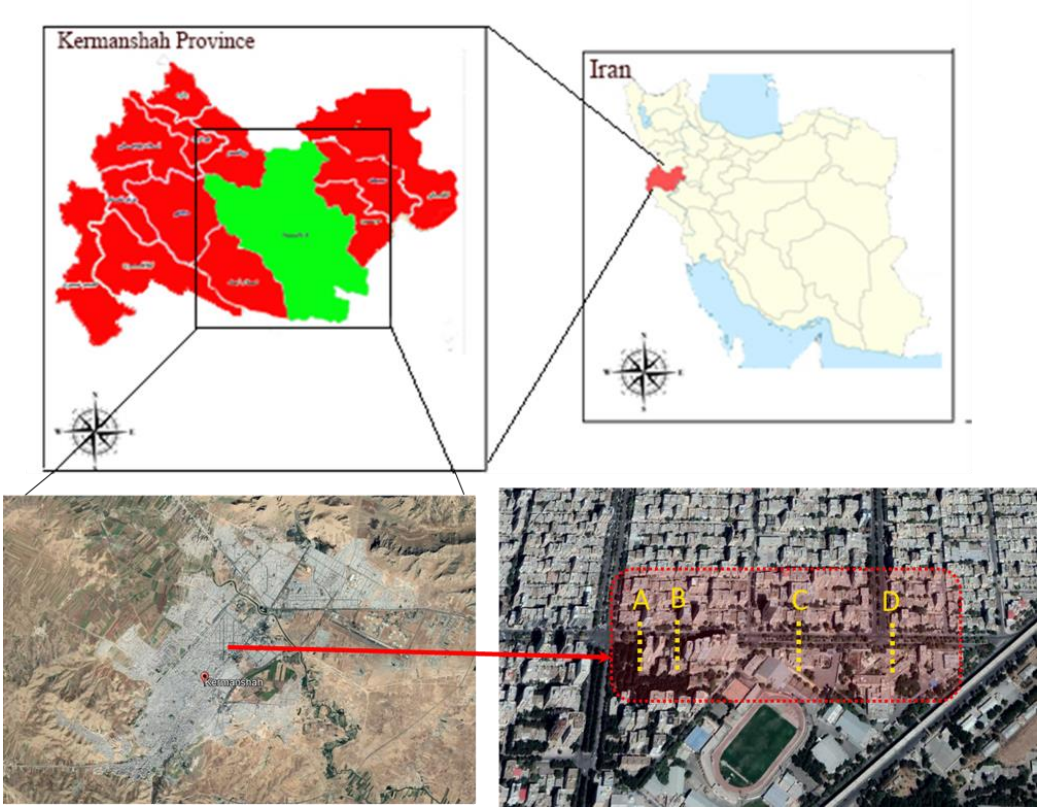
روز بالاترین تعداد روزهای یخبندان را در ۵ سال گذشته داشته‌اند. لذا می‌توان گفت که ماه بهمن و سپس دی بحرانی‌ترین ماه‌های سال هستند، بنابراین برای ایجاد آسایش حرارتی، بایستی این ماه‌ها با دقت بیشتری بررسی شوند. در این مقاله روز ۱۱ بهمن به‌عنوان یکی از سردترین روزهای سال (یکی از بحرانی‌ترین روزهای سال) برای بررسی مطالعه شده است.

خیابان مورد مطالعه دارای عرض ۴۰ متر با جهت‌گیری شمالی–جنوبی است. ارتفاع ساختمان‌های این محدوده بین ۳تا ۳۹متر است. کاربری طبقه همکف این خیابان عمدتاً تجاری- مسکونی بوده و مصالح عمده به کار گرفته شده در نمای ساختمان‌های محدوده، سنگ و در کفپوش خیابان موزاییک و بتن و در رفیوژ میانی خیابان نیز سنگ است.

۲-۳. تقویم نیاز اقلیمی

برای جمع‌آوری اطلاعات مربوط به درجهٔ حرارت و رطوبت، از تقویم نیازاقلیمی استفاده می‌شود. منظور از تهیه این تقویم، نمایش پراکندگی نقاط گرمایی همسان در عرض سال یا تشخیص مواقعی است که ازلحاظ گرمایی احساسی مشابه در انسان ایجاد می‌شود. با تشخیص این مواقع، نیاز آب و هوایی انسان برای رسیدن به شرایط آسایش در منطقهٔ مورد مطالعه نیز معلوم می‌شود. به همین دلیل، این بررسی را تهیهٔ تقویم نیاز آب و هوایی می‌نامند (رازجویان، ۱۳۸۸).

مردم غالباً تمایل دارند با تعقیب جریان حرکت خورشید در یک فضا برحسب شرایط اقلیمی از آن بهره گرفته یا دوری جویند. موقعیت و میزان و نحوه تابش خورشید در هر فضا به عرض جغرافیایی مکان ارتباط مستقیم دارد (بنتلی، ۱۳۸۹).



شکل ۱. محدودهٔ مورد مطالعه براساس داده‌های استخراج شده از نقشه گوگل [16]

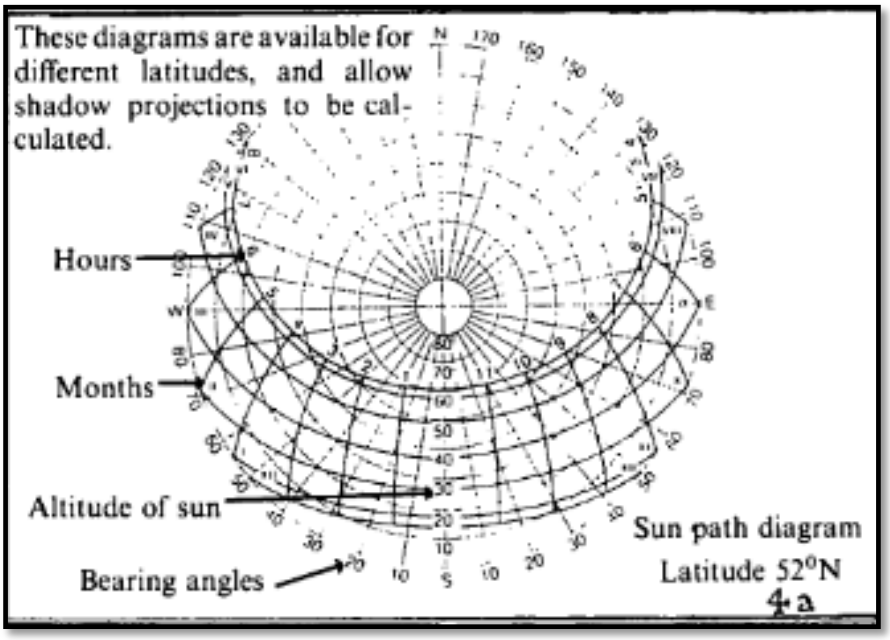
تقویم نیاز اقلیمی و نقاب سایه(شکل ۳) نشان می‌دهد که در سردترین ایام سال (از اواسط مهر تا اسفند) نیاز به تابش خورشید وجود دارد. ازاین‌رو تأمین تابش آفتاب بسیار ضروری است در ماه فروردین نیاز هم به تابش و هم به سایه مشاهده می‌شود. در ماه‌های اردیبهشت تا شهریور نیاز به سایه ضروری است. لذا باید فضاهای شهری به‌گونه‌ای طراحی گردند که پاسخگوی نیاز افراد در تمامی فصول سال باشند.

۲-۴. برداشت میدانی

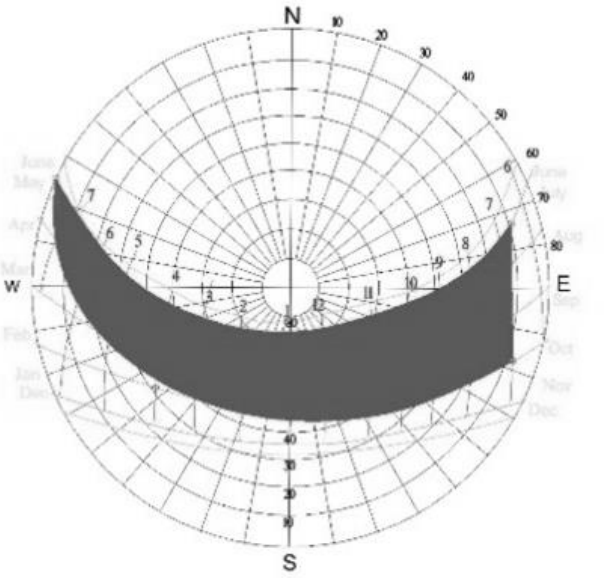
در این تحقیق از روش میدانی برای ارزیابی آسایش حرارتی استفاده شده است. لذا براساس مشاهدات صورت گرفته افراد حاضر در محل، میانگین سن افراد ۳۷ سال، قد ۱/۷۰، وزن ۷۶ نرخ پوشش ۰/۶۵ و نرخ فعالیت ۸۰ در نظر گرفته شده است.

برای جمع‌آوری پارامترهای اقلیمی از ابزارهای متعددی استفاده شد. در این مطالعه برای اندازه‌گیری دمای خشک، دمای مرطوب، رطوبت و دمای کروی از دستگاه دیتالاگر چندمنظوره (WBGT) برای اندازه‌گیری باد از دستگاه انمومتر استفاده شده است(جدول ۱)

به‌منظور اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی، ابزارها در ارتفاع ۱/۵متر بالاتر از سطح زمین روی یک سه‌پایه در مکان‌های موردمطالعه قرار داده شده‌اند. در محدودهٔ موردمطالعه متناسب با میزان تغییرات محصوریت چندین نقطه برای بررسی و اندازه‌گیری پارامترهای اقلیمی انتخاب شده است (جدول ۲). همه نقاط با فاصله زمانی ۵ دقیقه‌ای در روز ۲۵ بهمن بررسی شده است. اندازه‌گیری‌های دیتالاگر چندمنظوره با فاصله ۳۰ ثانیه‌ای به‌طور اتوماتیک از ساعت ۹-۱۷ ثبت شده‌اند. سایر اندازه‌گیری‌ها به علت فقدان دیتالاگر ابزارها به‌صورت دستی انجام شد. این بازهٔ زمانی به این دلیل انتخاب شده است که، بیشترین میزان حضور افراد در فضای شهری در این بازه رخ می‌دهد.



شکل ۲. نقاب سایه (بنتلی، ۱۳۸۹)

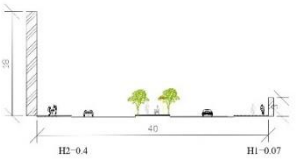
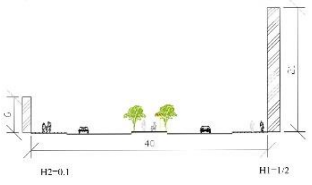
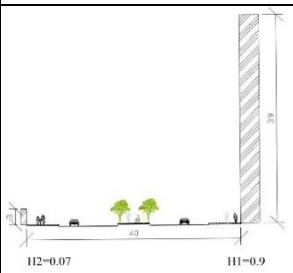
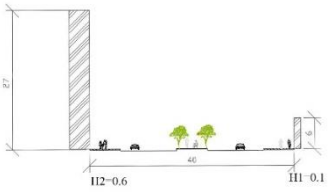


شکل۳. نقاب سایه شهر کرمانشاه

جدول ۱. مشخصات دستگاه‌های اندازه‌گیری

پارامتر	واحد	دستگاه	شرکت تولید کننده	خطای اندازه‌گیری	تصویر دستگاه
دمای هوا رطوبت نسبی دمای کروی	ºC ٪ ºC	دیتالاگر چندمنظوره	LUTRON	۱	
سرعت باد جهت باد	m/s Deg	انمومتر	استاندارد	۰/۱	

جدول ۲. مقاطع موردمطالعه

موقعیت سایت	محصوریت‌های خیابان	تصویر کروی	میانگین ضریب دید آسمان	
			تابستان	زمستان
	 A		۰/۲۵	۰/۴۶
	 B		۰/۲۷	۰/۵۳
	 C		۰/۲۸	۰/۵۷
	 D		۰/۱۲	۰/۵۱

۲-۵. ضریب دید به آسمان

به‌منظور تعیین اثر تابش خورشید بر آسایش حرارتی سالیانه، ارتباط بین آسایش حرارتی و ضریب دید به آسمان در مکان‌های مختلف محاسبه شد. «ضریب دید به آسمان» با تحلیل تصاویر دوربینی با قابلیت عکس‌برداری کروی، محاسبه شده است. شایان ذکراست، به‌منظور داشتن عکس‌های با کیفیت، عکس‌برداری xHD با دوربین Pixpro 4k 360 برای تصویربرداری کروی با وضوح ۸۰۰ پیکسل مدنظر قرار گرفته‌است. (شکل۴) بر این اساس دوربین در ارتفاع ۱۰ سانتیمتری از سطح زمین با تأخیر۱۰ ثانیه بر روی سه‌پایه مستقر شده است.

شکل ۳. تصویر دوربین Pixpro 360 4k

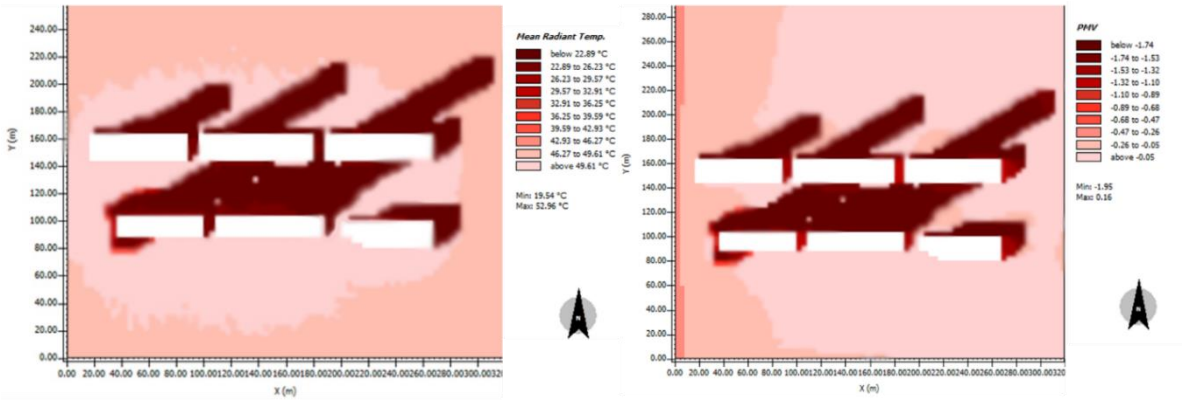
برای محاسبهٔ « ضریب دید به آسمان » از برنامهٔ رایانه و نرم‌افزار ریمن(Rayman) نسخه ۱/۲ بهره گرفته شد. مبنای سنجش «ضریب دید به آسمان» بر پایهٔ محاسبهٔ وزن وابسته به فاصلهٔ زاویه از مرکز تصویر کروی است. به‌منظور محاسبه مرکز، نخست تصویر کروی پالایش اولیه شده و سپس با برنامه ریمن حواشی و شعاع تصویر کروی و تعیین مرز میان آسمان و غیر آسمان و کسب ارزش عددی هر بخش منتقل شده است. به دلیل موقعیت مقطع‌های مطالعاتی، مهم‌ترین بخش تفکیک مرز میان تاج درختان و آسمان بود که نیازمند دقت در عکس‌برداری و ورود اطلاعات به برنامهٔ محاسباتی است.

۲-۶. اندازه‌گیری با ENVI-MET ۴/۰

در این پژوهش از مدل انویمت و استاندارد اشری ۵۵ استفاده شده است. کار با نرم‌افزار انویمت در سه سطح انجام می‌شود: ۱. وارد کردن فایل محدوده مورد مطالعه به نرم‌افزار (حجم ساختمان‌ها، پوشش گیاهی، مصالح مورد استفاده در محدوده و ...) ۲. فایل پیکربندی (فایل اقلیمی محدوده مانند سرعت باد، جهت باد، دما و رطوبت، زمان‌بندی و...) و در نهایت، شروع شبیه‌سازی براساس دو فایل ورودی فوق‌الذکر و سپس تفسیر داده‌های شبیه‌سازی با استفاده از برنامه لئوناردو در نرم‌افزار انویمت.

در این الگوی شبیه‌سازی، الگوی پوشش گیاهی درختان به سبب از دست دادن کارایی فیزیولوژی در فصل زمستان حذف شده است. برای به دست آوردن شاخص آسایش حرارتی PMV داده‌های شبیه‌سازی شده را وارد برنامه BIOMET کرده و این شاخص در ساعات مختلف محاسبه شده است.

متوسط دمای تابشی از عوامل تأثیرگذار بر آسایش حرارتی است؛ که می‌تواند هم توسط اندازه‌گیری و هم شبیه‌سازی تعیین شود. نزدیکی متوسط دمای تابشی مدل و اندازه‌گیری به‌عنوان ملاک برای معتبر سازی مدل استفاده می‌شود. اثر تنوع پوشش ابر بر نتایج دسترسی خورشید در طول روز می‌تواند موجب تخمین نادرست متوسط دمای تابشی شود. اگرچه مدل انویمت برای اقلیم محلی و پیش‌بینی دورهٔ طولانی‌مدت آسایش حرارتی قابل‌اطمینان، مناسب است، مدل باید توسط مقایسه نتایج اندازه‌گیری و مدل تأیید اعتبار شود. متوسط دمای تابشی اندازه‌گیری شده با استفاده از نرم‌افزار محاسبه شد. بررسی شرایط خرد اقلیم در بلوار نوبهار در یک روز آفتابی و آسمان صاف انجام شد.



شکل ۵. وضع موجود-شبیه‌سازی محدوده در بازهٔ زمانی ۹ الی ۱۷-(a) متوسط دمای تابشی در ارتفاع ۱/۵متر،(b) میانگین شاخص PMVدر ارتفاع ۱/۵متر(ساعت ۱۵)

در این مطالعه، ضریب دید آسمان در خیابان در زمستان و تابستان محاسبه شده است. ضرایب به‌دست‌آمده نشان می‌دهند که در فصل زمستان در قسمت‌هایی از خیابان که درختان خزان‌پذیر قرار دارد، هنگام پاییز و

زمستان عاری از برگ می‌شوند لذا دید به آسمان را در محل ناظر محدود نمی‌کنند و موجب جذب تابش مستقیم خورشید به سطح زمین می‌شود که این امر باعث خنک‌تر شدن هوا می‌شود درحالی‌که در قسمت‌هایی از خیابان که درخت همیشه‌سبز کاج وجود دارد چون مانع تابش خورشید می‌شود در زمستان باعث عدم آسایش شده و افراد احساس سرمای شدیدتری می‌کنند ولی در فصل تابستان به دلیل اینکه در محدوده دید ناظر، شاخ و برگ درختان در محدوده آسمان قرار می‌گیرند، دید به آسمان را محدود می‌کنند، این امر سبب می‌شود که در تابستان تابش خورشید با مانع به سطح زمین برسد و سایه‌اندازی ایجاد کنند که برای افراد آسایش را فراهم می‌کند. در زمستان تابش خورشید به‌طور مستقیم به فضای خیابان می‌رسد. هرچه خیابان وسیع‌تر باشد و ساختمان‌ها کوتاه‌تر، ضریب دید آسمان بالاتر، میزان تابش بیشتری به زمین می‌رسد و میزان PMV بالاتر می‌رود. در محدودهٔ مورد مطالعه مقاطعی که دارای بازشوی بیشتری رو به آسمان هستند (SVF بالاتر) پتانسیل بیشتری برای دسترسی خورشیدی در زمستان دارند و این امر باعث ارتقاء آسایش افراد می‌شود.

۲-۷. مداخله پیشنهادی

با توجه به مطالعات صورت گرفته مداخله در بافت خیابان چمران می‌تواند باعث تغییر شرایط آسایش حرارتی محدوده شود. این مداخله می‌تواند به اشکال مختلفی همچون تعریض خیابان، ایجاد گشودگی فضایی، عقب‌نشینی در ارتفاع ساختمان‌ها باشد که قسمت بیشتری از سایت را تحت پوشش خورشید قرار دهد که در این صورت بناها ارتباط قوی‌تری با خیابان خواهند داشت و احساس آسایش خوشایندتری به وجود می‌آید و همچنین خیابان‌ها و فضاهای عمومی فعال‌تری ایجاد خواهد شد. در خیابان چمران با جهت‌گیری شرقی–غربی، بیشترین نور دریافتی اندازه‌گیری شده مربوط به مقطع C است. در این خیابان ساختمان‌های بلندمرتبه در جبههٔ جنوبی خیابان قرارگرفته‌اند درحالی‌که در جبهه شمالی در امتداد خیابان اکثر ساختمان‌ها ۱ و ۲ طبقه و به‌ندرت سه‌طبقه هستند و یک ساختمان ۱۳ طبقه نیز واقع‌شده است. لذا این امر به سایه‌اندازی ساختمان‌های جنوبی بر ساختمان شمالی منجر شده و مانع دریافت نور کافی در خیابان می‌شوند. مقطع مذکور در محل ساختمان ۱۳ طبقه موردمطالعه قرارگرفته که در جبهه مقابل آن ساختمان یک طبقه واقع است. با توجه به داده‌های برداشت‌شده می‌توان دریافت که این مقطع بیشترین نور را در بین سایر مقاطع (با ساختمان‌های بلندمرتبه در جبهه جنوبی) دارد. لذا می‌توان به این نتیجه رسید که در خیابان شرقی –غربی بهتر است برای افزایش دسترسی نور خورشید به‌ویژه برای فصول سرد و یخبندان، ساختمان‌های شمالی بلندتر از ساختمان‌های جنوبی باشند.

کمبود فاصلهٔ مناسب بین ساختمان‌ها در جبههٔ شمالی و جنوبی موجب سایه‌اندازی آن‌ها بر یکدیگر، (به‌ویژه در روزهای سرد زمستان) می‌شود. به‌این‌ترتیب طبقات پایینی ساختمان‌هایی که نسبت به جبههٔ جنوبی در پشت یکدیگر واقع‌شده‌اند، به‌طورکلی از آفتاب زمستان محروم می‌شوند. در چنین شرایطی تنها طبقات انتهایی ساختمان‌های پشتی آفتاب مناسب زمستان را دریافت خواهند کرد. در احداث ساختمان‌های بلند باید به وضعیت تراکم بافت و نحوهٔ قرارگیری ساختمان‌هایی توجه کرد که تحت تأثیر سایهٔ این ساختمان‌های بلند قرار خواهند گرفت. در بافت‌های متراکم و کم ارتفاع، احداث ساختمان‌های بلند، موجب سایه‌اندازی بر ساختمان‌های کم‌ارتفاع پشت آن‌ها می‌شود و به‌این‌ترتیب این ساختمان‌های پست از دریافت آفتاب زمستان محروم می‌شوند.

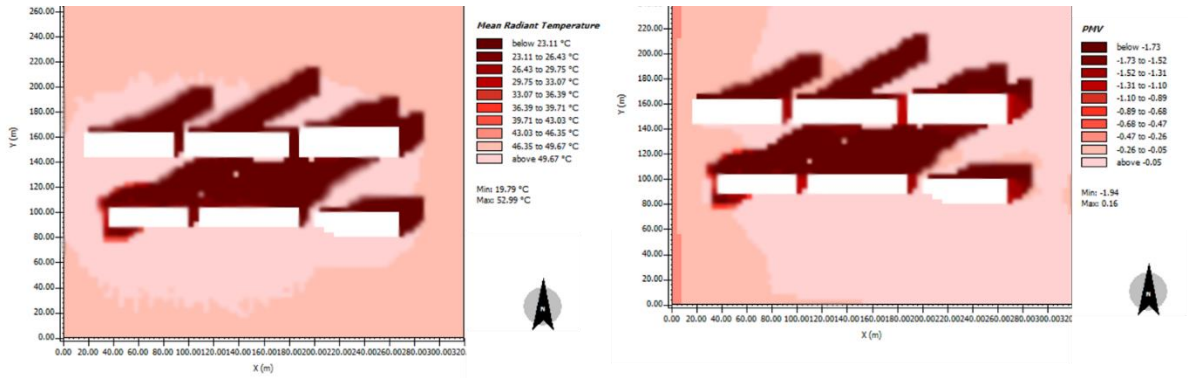
۳. بحث

نتایج شبیه‌سازی وضعیت موجود نشان می‌دهد که شاخص PMV در فضای مورد مطالعه از ۱+ (نسبتاً گرم) تا ۳– (بسیار سرد) تغییر کرده است. شبیه‌سازی بر اساس استاندارد ASHRAE است، که PMV فضای باز از ۴– (بسیار سرد) تا ۴+ (خیلی گرم) در نظر گرفته شده است.

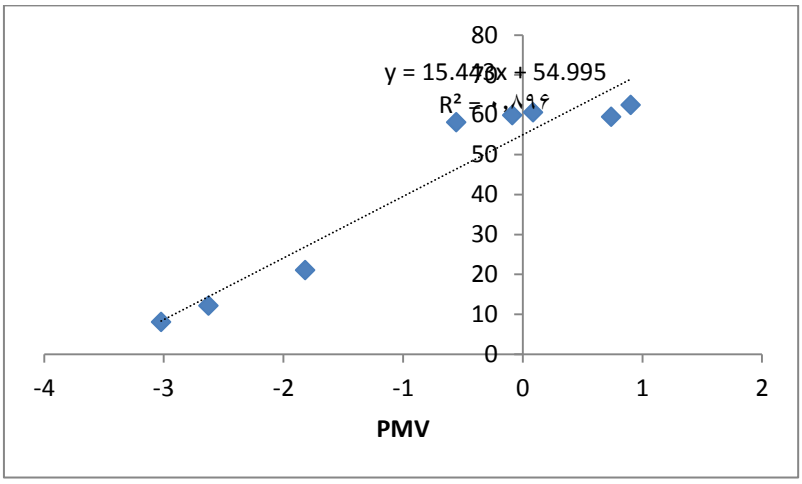
در این مقاله به دلیل تعدد نقشه‌ها در ساعات

اندازه‌گیری از لحاظ کردن تمامی آن‌ها صرف‌نظر شده و تنها نقشه‌های مربوط به ساعت۱۵ به‌عنوان نمونه آورده شده است. با بررسی متوسط دمای تابشی در ساعات مختلف می‌توان به این نتیجه رسید که متوسط دمای تابشی محیط بین ساعت ۱۱ تا ۱۲ بیشترین مقدار را دارد که میزان آن به ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد می‌رسد بعد از ساعت ۱۲ سیر نزولی داشته و در ساعت ۱۶ به کمترین میزان با ۹ درجهٔ سانتی‌گراد می‌رسد از ساعت ۹ تا ۱۱ صبح که متوسط دمای تابشی به ۵۵ تا ۵۸ درجهٔ سانتی‌گراد می‌رسد در این خیابان در ساعات ابتدایی روز در ماه بهمن جبههٔ شمالی در سایه است و هنگامی‌که به ساعات میانی روز می‌رسد، جبههٔ جنوبی در سایه قرار می‌گیرد و با نزدیک شدن به غروب آفتاب این سایه‌اندازی بیشتر شده و ساختمان‌های بلند واقع در جبههٔ جنوبی سایهٔ زیادی بر جبههٔ مقابل می‌افکنند. شمال خیابان در ساعات ابتدایی در محدودهٔ آسایش و مابقی خیابان به‌ویژه در مقاطع C و D در محدودهٔ خیلی سرد قرار دارد که به‌تدریج تا ساعت ۱۱ تمام فضای خیابان در محدودهٔ آسایش قرار می‌گیرد. شایان ذکر است که در این ساعات جبهه جنوبی خیابان کمترین دمای تابشی را دارد از ساعت ۱۱ به بعد کمترین دمای تابشی در مقاطع C و D مشاهده می‌شود و PMV نیز در این ساعت در این مقاطع کمترین مقدار را دارد و می‌توان گفت که این قسمت از خیابان در محدودهٔ خیلی سرد واقع است و دیگر قسمت‌های خیابان تقریباً در محدودهٔ آسایش قرار دارند. در مقطع مذکور میزان دمای تابشی تا حوالی ظهر در سطح پیاده‌رو نسبت به مرکز خیابان کم است از ساعت۱۲ ظهر به بعد به‌تدریج دمای تابشی در سطح پیاده‌رو افزایش و در مرکز خیابان کاهش می‌یابد. در این ساعات از میزان دمای تابشی جبهه جنوبی مقطع C کاسته شده و این مقطع در محدوده خیلی سرد (۲-) قرار می‌گیرند و جبههٔ شمالی مقاطع A و B در محدودهٔ آسایش (۰/۵-) واقع می‌شوند. در ساعات پایانی (ساعت ۱۵ و ۱۶) بیشتر فضای خیابان در محدودهٔ سرد و مقاطع C و D در محدودهٔ خیلی سرد قرار می‌گیرند. از این رو می‌توان گفت مقاطعی که در معرض آفتاب بیشتری قرار دارند یعنی SVF بالاتری دارند میزان دمای تابشی بیشتری را در اکثر اوقات روز دریافت می‌کنند و همین امر تأثیر بیشتری در بالا آمدن میزان PMV دارد.

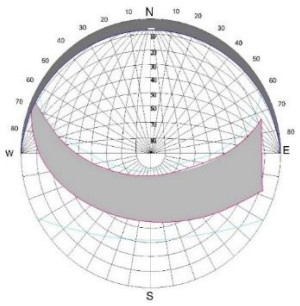
بنابراین می‌توان گفت که افزایش متوسط دمای تابشی باعث ارتقاء آسایش حرارتی افراد می‌شود. شکل ۵ برازش خطی شاخص آسایش حرارتی (PMV)و متوسط دمای تابشی را نشان می‌دهد، بر این اساس می‌توان گفت بین این دو پارامتر ۸۹/۶ درصد ارتباط و همبستگی وجود دارد.



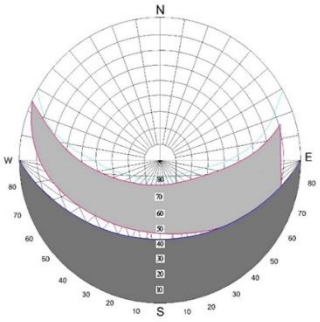
شکل ۱۰. وضع پیشنهادی-شبیه‌سازی محدوده در بازهٔ زمانی ۹ الی ۱۷-(a) متوسط دمای تابشی در ارتفاع ۱/۵متر،(b) میانگین شاخص PMVدر ارتفاع ۱/۵متر(ساعت ۱۵)



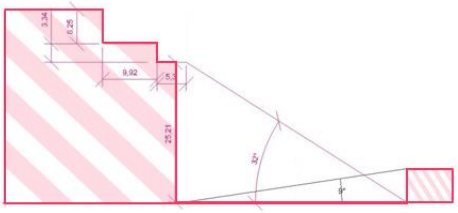
شکل ۶. برازش خطی شاخص آسایش حرارتی و متوسط دمای تابشی



شکل ۴. نقاب سایه وضع موجود جبهه شمالی



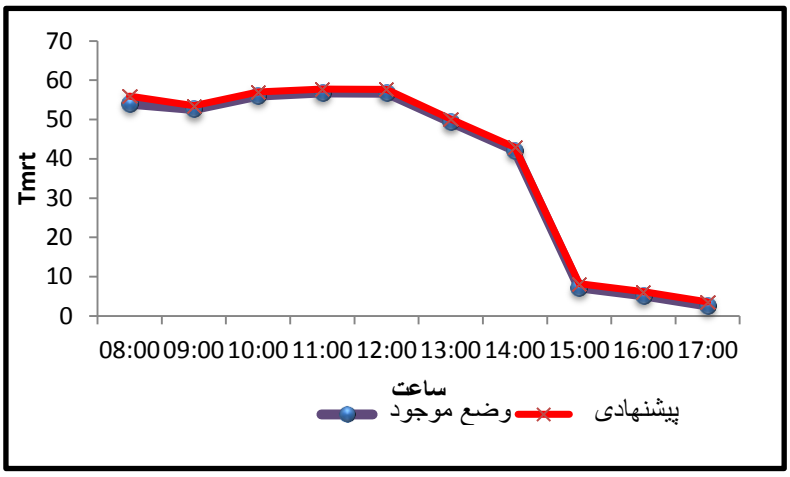
شکل ۸. نقاب سایه وضع موجود جبهه جنوبی



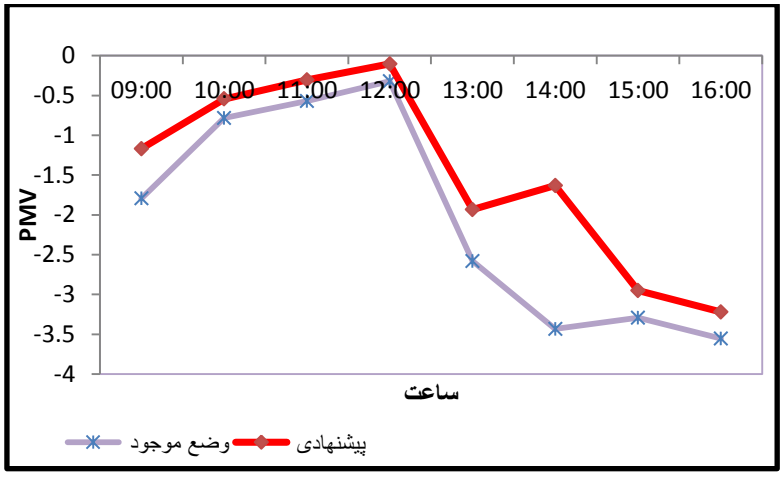
شکل۹. مقطع پیشنهادی

فضای مورد مطالعه براساس مداخلات پیشنهادی، در نرم‌افزار انویمت شبیه‌سازی شد، همان شرایط و محدودیت وضع موجود، برای مداخله پیشنهادی تعریف شده تا نتایج مقایسه‌ای به دست آید. مشاهدات نشان می‌دهد که PMVدر مقایسه با وضع موجود تغییر بسیار فاحشی داشته و محدوده‌های آسایش در ساعات مختلف تغییر کرده ولی Tmrt تغییر چندانی نداشته است.

مطالعات نشان می‌دهد، در مداخلهٔ مورد نظر متوسط دمای تابشی تغییر چندانی اتفاق نیفتاده اما شاخص آسایش حرارتی تغییر چشم‌گیری داشته است. به‌طوری‌که با کاهش یک بنا به‌صورت دو عقب‌نشینی ۵متر و ۱۰ متر در ارتفاع، PMV در ساعت ۹ صبح از محدوده سرد به محدودهٔ نسبتاً سرد و ساعات ۱۰ تا ۱۲ به آسایش رسیده است. بین ساعت ۱۳ تا ۱۵ بیشترین تغییر مشاهده می‌شود که محدوده PMV از خیلی سرد به سرد و نسبتاً سرد تغییر پیدا کرده است.



شکل ۵. مقایسه Tmrt وضع موجود و پیشنهادی



شکل ۱۲. مقایسه PMV وضع موجود و پیشنهادی

لذا بر اساس مطالعات صورت گرفته در دمای ۴۵ تا ۵۶ درجهٔ خیابان موردمطالعه در محدودهٔ آسایش قرار می‌گیرد، لذا طراحی فضاها بایستی به‌گونه‌ای صورت گیرد که بیشترین میزان تابش خورشید را دریافت کند تا از این طریق آسایش حرارتی در فضاها ارتقاء یابد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که در طرح توسعهٔ آتی شهر بایستی برای ساختمان‌های جبهه جنوبی، ارتفاع بالاتر از ۲۴متر پیشنهاد عقب‌نشینی داده شود زیرا بهترین حالت برای ارتقاء آسایش خیابان چمران در فصل زمستان داشتن زاویه سایه ۳۰-۳۲ درجه در این جبهه است که PMVبهترین حالت را نسبت به وضع موجود خواهد داشت. در جبههٔ شمالی نیز می‌توان زوایا را به ۲۸ درجهٔ سانتی‌گراد افزایش داد و در طرح‌های توسعه آتی ارتفاع ساختمان‌ها را تا ۲۱ متر افزایش داد که در این شرایط نسبت ارتفاع به عرض خیابان، با توجه به نمودار مسیر خورشید دارای ارتفاع مطلوب است و برای خیابان مدنظر مشکلی برای دریافت تابش ایجاد نمی‌کند اما در مقایسه با لایه پشتی، به دلیل سایه‌اندازی بر ساختمان‌های لایه دوم، بایستی با دقت بیشتری طراحی شود.

۴. نتیجه‌گیری

مطالعات اخیر نشان داده است که محصوریت توده‌های شهری بر خرد اقلیم خیابان تأثیر می‌گذارد. در نتایج پژوهشی منشی‌زاده و همکاران با نرم‌افزار ECOTECT

آمده است که با اعمال تغییر در ارتفاع ساختمان‌ها می‌توان به ایجاد مناطق آفتاب‌گیر و سایه‌دار در محدوده‌های واقع در سایه کمک کرد و نیز می‌توان با کاهش ارتفاع ساختمان‌ها با ایجاد گشودگی‌های فضایی در محدوده‌های همیشه در آفتاب و همچنین با افزایش ارتفاع ساختمان‌ها و ایجاد سایه، موجبات آسایش حرارتی در فضای مورد مطالعه را فراهم کرد (منشی‌زاده و دیگران، ۱۳۹۱). لذا می‌توان دریافت که با مداخلات فیزیکی در بافت می‌توان آسایش حرارتی را تغییر داد و طراح شهری برای طراحی فضا بسته به اقلیم می‌بایست از راهکارهای مربوط به تأمین نیاز سایه و آفتاب و ریان باد بهره جست. در این مطالعه، آسایش حرارتی در یک منطقه سردسیر شهری با استفاده از پارامترهای فیزیکی و متغیرهای شخصی ارزیابی می شود. همچنین، این مقاله برای سنجش آسایش حرارتی در خیابان شهری اقلیم سرد با استفاده از نرم‌افزار، آسایش حرارتی درک شده در فضای باز را ارزیابی کرده است. یکی از داده‌های خروجی ENVI-MET، میانگین آرای پیش‌بینی شده (PMV)، یک شاخص آسایش حرارتی بر اساس مقیاس ۷ نقطه‌ای از ۳-تا ۳+ است. این مطالعه تکنیک‌ها را در پاسخ به ویژگی‌های هندسه شهری، مانند محصوریت و ضریب دید آسمان، بررسی کرده است. بنابراین، با تجزیه‌وتحلیل مطالعات میدانی و شبیه‌سازی وضع موجود و پیشنهادی، نتایج زیر به دست آمد:

- برای تعیین اثر تابش خورشیدی بر میزان آسایش حرارتی، رابطه بین SVF و PMV در نقاط مختلف بررسی شده است. در محدودهٔ مورد مطالعه، محدوده‌های وسیع تر (SVF های بالاتر) دارای پتانسیل بیشتری برای دسترسی به خورشید در زمستان هستند، و این باعث آسایش افراد می‌شود.
- براساس شبیه‌سازی انجام شده روی مدل، مداخلات مورد نظر تأثیر بسیاری بر تغییرات اقلیمی و آسایش حرارتی در فضای باز گذاشته است. میانگین دمای تابشی تحت تأثیر برخی مؤلفه‌ها تغییر قابل توجهی می‌یابد از جمله پوشش گیاهی افزوده شده به سایت، دمای تابشی را کاهش می‌دهد، که این امر باعث عدم آسایش افراد در هوای سرد می‌شود. همچنین، کاهش ارتفاع ساختمان‌های بلند در جبههٔ جنوبی خیابان شرقی-غربی نیز می‌تواند بر بهبود آسایش خیابان تأثیر بگذارد.
- براساس محاسبات نقاب سایه شهر کرمانشاه، توصیه می‌شود که به‌منظور تابش بیشتر خورشید در زمستان، خیابان‌های با جهت‌گیری شرقی-غربی، باید زاویه ساختمان جنوبی تا ۲۴ درجه کاهش یابد. در ساختمان‌های بلند، این زاویه را می‌توان با عقب‌نشینی در ارتفاع ایجاد کرد که از سایه‌اندازی بر جبهه مقابل جلوگیری می‌کند.

منابع

ای ین بتلی (ترجمه مصطفی بهزادفر)، (۱۳۸۹)، «محیط‌های پاسخده»، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۵.

حیدری، ش. ۱۳۹۱. برهم‌کنش جریان هوا، دما و راحتی در فضاهای باز شهری مطالعه موردی اقلیم گرم و خشک ایران، نشریهٔ هنرهای زیبا -معماری و شهرسازی، ۱۷(۲): ۳۷-۴۲.

حیدری، ش. و منعام، ع. ۱۳۹۲. ارزیابی شاخصه‌های آسایش حرارتی در فضای باز ، جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، ۲۰.

حیدری، ش. ۱۳۹۱. برهم کنش جریان هوا، دما و راحتی در فضاهای باز شهری مطالعه موردی اقلیم گرم و خشک ایران، هنرهای زیبا - معماری و شهرسازی، ۱۷ (۲): ۳۷-۴۲.

رازجویان، م. ۱۳۸۸. آسایش در پناه معماری همساز با اقلیم، تهران، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی.

معلمی خیاوی، ن. و معرفت، م. ۱۳۹۳. مقدمه‌ای بر آسایش حرارتی، مهندسی مکانیک، ۹۶.

منشی‌زاده، ر.، حسینی، ا. و شعبانی، ح. ۱۳۹۱. آسایش حرارتی و تأثیر ارتفاع ساختمان‌ها بر خرد اقلیم فضاهای شهری، آمایش محیط، ۲۰،۱۰۹.

منعام، ع. ۱۳۹۰. آسایش محیطی در فضاهای باز شهری – ارزیابی آسایش حرارتی در بوستان‌های منتخب شهر تهران، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه علم و صنعت تهران.

Achour-Younsi, S. and Kharrat, F. 2016. Outdoor thermal comfort: Impact of the geometry of an urban street canyon in a mediterranean subtropical climate–case study tunis, Tunisia. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 216, 689-700.

Ali-Toudert, F. Mayer, H. 2006. Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. Building and environment, 41(2): 94-108.

Ashrae, A. 2004. Standard 55-2004, Thermal environmental conditions for human occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineering, Atlanta, GA.

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

Honjo, T. 2009. Thermal comfort in outdoor environment. Global environmental research, 13: 43-47.

Holopainen, R. 2012. A human thermal model for improved thermal comfort: VTT Technical Research Centre of Finland.

Ng, E. and Cheng, V. 2012. Urban human thermal comfort in hot and humid Hong Kong. Energy and Buildings, 55: 51-65.

Nikolopoulou, M. and Steemers, K. 2003. Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. Energy and Buildings, 35(1): 95-101.

Scudo, Giovanni. 2005. Environmental comfort in green urban spaces: an introduction to design tools; In: Werquin, Ann Caroll , Duhem, BERNARD, Lindholm, Gunilla,Oppermann, Bettina , Pauleit, Stephan & Tjallingii, Sybrand (Eds.) Green Structure And Urban Planning. Belgium: COST Office.

Sözen, İ. and Oral, G. K. 2019. Outdoor thermal comfort in urban canyon and courtyard in hot arid climate: A parametric study based on the vernacular settlement of Mardin. Sustainable Cities and Society, 48

Taleghani, M., Tenpierik, M., Kurvers, S. and van den Dobbelsteen, A. 2013. A review into thermal comfort in buildings. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 26: 201-215.

URL: www.google Erath

Walton, D. Dravitzki, V. and 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.