تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۷/۲۲
تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۶/۱۱/۰۸

غلامرضا حقیقت نائینی[۱]، ریما فیاض[۲]، بهروز بیغرض[۳]

دستیابی به آسایش حرارتی در فضاهای همگانی با بهره‌گیری از روش شبیه‌سازی گام‌به‌گام بررسی موردی: یک واحد همسایگی در شهرک امام خمینی لار[۴]

چکیده

حضور مردم در فضاهای شهری موجب سرزندگی محیط‌های شهری می‌شود و در بهبود سلامتی افراد اثرگذار است. آسایش حرارتی از نخستین بایسته‌های حضور شهروندان در فضاهای بیرونی است که در شهرهایی با اقلیم گرم و خشک اهمیتی دوچندان می‌یابد. هدف پژوهش حاضر یافتن اصول طراحی یک واحد همسایگی در شهرک امام خمینی لار برای تأمین آسایش حرارتی در فضاهای باز است. بدین منظور، در این پژوهش از یک فرایند شبیه‌سازی گام‌به‌گام استفاده شد. برای مدل‌سازی بافت‌های موجود و همچنین شبیه‌سازی سناریوهای طراحی، نرم‌افزار ENVI-met به‌کار برده شد. به‌منظور اعتبارسنجی مدل نرم‌افزاری نیز دمای هوا و رطوبت نسبی به مدت یک هفته در آذرماه سال ۱۳۹۵ از ساعت ۹ الی ۱۵ در بخشی از بافت شهر جدید لار اندازه‌گیری شد. جهت ارزیابی حرارتی سناریوهای طراحی فضا و همچنین طرح نهایی، از شاخص دمای معادل فیزیولوژیکی (PET) استفاده شده است. در فرایند شبیه‌سازی گام‌به‌گام، به‌منظور دست یافتن به الگویی بهینه، سه شاخص هندسه کالبدی، پوشش گیاهی و مصالح مد نظر قرار گرفت. الگوهای مزبور، در هر مرحله از فرایند، در دو روز (یکم تیرماه و یکم دی‌ماه)، بین ساعات ۹ الی ۱۷ شبیه‌سازی گردیدند. طرح بهینه محصول شبیه‌سازی ۳۷ سناریوی مختلف طراحی است. نتایج، اثر تعیین‌کننده عامل هندسه کالبدی را بر شرایط حرارتی معابر نشان می‌دهد و در اقلیم لار، خیابانی با نسبت ارتفاع به عرض دو و جهت‌گیری پنج درجه شرقی، بهترین شرایط حرارتی را موجب خواهد شد.

کلیدواژه‌ها: آسایش حرارتی در فضای باز، دمای معادل فیزیولوژیکی، شبیه‌سازی، شهرک امام خمینی لار.

[۱] دانشیار گروه شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر، استان تهران، شهر تهران (نویسنده مسئول مکاتبات)
E-mail: haghighaat@art.ac.ir

[۲] دانشیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر، استان تهران، شهر تهران
E-mail: fayaz@art.ac.ir

[۳] کارشناس ارشد طراحی شهری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر، استان تهران، شهر تهران
E-mail: behroozbiqaraz@gmail.com

[۴] این مقاله، برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد طراحی شهری بهروز بیغرض با عنوان «کاربست اصول طراحی اقلیمی در فضای همگانی شهرها با تأکید بر آسایش حرارتی به منظور طراحی یک واحد همسایگی در شهرک امام خمینی لار» با راهنمایی دکتر غلامرضا حقیقت نائینی و مشاوره دکتر ریما فیاض در دانشگاه هنر است.

مقدمه و بیان مسئله

ساکنان شهر، عمده وقت خود را در فضاهای داخلی می‌گذرانند، بی‌آنکه بهره‌ای از جریان طبیعی باد و آفتاب در فضاهای بیرونی ببرند، حال‌آنکه امروزه بررسی‌های آماری نشان‌دهندهٔ تأثیر فعالیت‌هایی نظیر پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری بر سلامت افراد است. از دیگر سو، حضور بیشتر افراد در فضاهای بیرونی، اثر چشمگیری بر کاهش مصرف انرژی بناها خواهد گذاشت (Niu *et al*., 2015, 263).

شهر زنده، شهری است که بهانه‌هایی بسیار را برای حضور در فضاهایِ عمومی خود به دست شهروندان می‌دهد. یان گل بر آن است که توفیق فضاهای شهری، به افزونی وقوع فعالیت‌های انتخابی و اجتماعی در این فضاهاست و فعالیت‌های اجباری، ملاکی برای سنجش توفیق فضاهای شهری نخواهند بود (گل، ۱۳۹۲). یکی از بایسته‌های حضور شهروندان و در پی آن ظهور فعالیت‌های انتخابی[۱] و اجتماعی[۲]، آسایش حرارتی در فضای بیرونی است. چراکه آسایش حرارتی یکی از نیازهای اساسی آدمی است و بنا بر هرم نیازهای انسانی مازلو، تحت عنوان نیازهای فیزیکی-بیولوژیکی، پایین‌ترین سطح را به خود اختصاص می‌دهد (سوکولای، ۱۳۹۵، ۳۷). امروزه آسایش حرارتی از سوی پژوهشگران، به‌عنوان یکی از عمده‌ترین عوامل محیطیِ اثرگذار بر فعالیت افراد در فضاهای بیرونی پذیرفته شده است (Liu *et al*., 2016, 185).

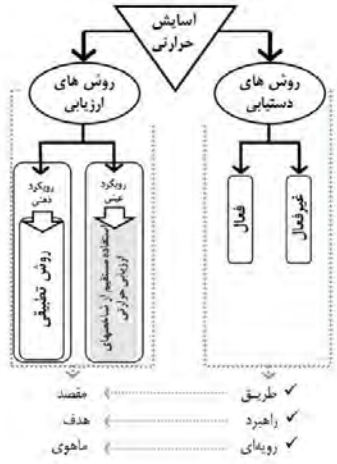
با نفوذِ دستور زبان طراحی مدرن در شهرهای جهان که نوعی خوش‌بینی به فناوری جدید را در دل خود مستتر داشت، دستاوردهای پیشینیان و شیوه‌های غیرفعالی که از آن طریق محیط مصنوع را به لحاظ حرارتی، تاحدودی مطبوع نگاه می‌داشتند مورد بی‌توجهی قرار گرفت. دستگاه‌های تهویه مطبوع که به‌عنوان نسخهٔ فناوری مدرن برای مطبوع نگاه‌داشتن شرایط حرارتی محیط‌های داخلی به کار گرفته شد، شرایط حرارتی فضاهای بیرونی را بدتر کرد و شهرها را گرفتار چرخهٔ باطلی ساخت. لکن با طرح مباحث پایداری در دهه ۶۰، بار دیگر به شیوه‌های غیرفعال در طراحی بناها توجه شد و در سال‌های اخیر، توجه به آسایش حرارتی در مقیاس شهر و در فضاهای باز بیرونی نیز مورد توجه قرارگرفته است (محمودی و دیگران، ۱۳۸۹).

مقاله حاضر در پی پیش نهادن فرایندی است که آسایش حرارتی را در فضاهای همگانی یک واحد همسایگی، به شیوه‌ای غیرفعال برآورد. چراکه به باور نویسندگان، آسایش حرارتی حضور عابران پیاده در بافت‌های مسکونی را افزایش داده و تداوم خواهد بخشید، شبکهٔ روابط اجتماعی را تقویت نموده و امنیت و هویت را برای محله‌های شهری، به ارمغان می‌آورد.

مبانی نظری و پیشینه تحقیق

آسایش حرارتی، شرایطی از ادراک است که در آن محیط پیرامون از لحاظ حرارتی، رضایت‌بخش باشد (ISO7730, 2004). اهمیت این عامل به‌قدری است که امروزه اثر آن بر پیشگیری از مرگ‌ومیرهای ناشی از بیماری‌های قلبی نیز به اثبات رسیده است (میوانه و دیگران، ۱۳۹۳). لذا نیل به شرایط آسایش بیش از آن‌که امری تفننی باشد از ضروریات است و هم ازاین‌روست که «بررسی نظام‌مند آسایش حرارتی یکی از نخستین حوزه‌های علم ساختمان است و رد پای آن را می‌توان در اوایل قرن بیستم پی گرفت» (Erell *et al*., 2012, 126).

می‌توان آسایش حرارتی را از دو بعد ماهوی و رویه‌ای مورد بررسی قرار داد (شکل ۱). بعد رویه‌ای، روش‌های دستیابی به آسایش حرارتی را مورد بحث قرار می‌دهد و بعد ماهوی، با تمرکز بر محصول طراحی، در پی ارزیابی حرارتی بافت و فضاهای موجود و یا پیشنهادی است.



شکل ۱. دو بعد آسایش حرارتی: روش‌های طراحی و دستیابی به طرح بهینه (بعد رویه‌ای) و ارزیابی میزان توفیق طرح و یا سنجش وضعیت (بعد ماهوی)

آسایش حرارتی؛ بعد رویه‌ای

آسایش گرمایی، می‌تواند بر اثر فعالیت سیستم‌های تهویه مطبوع[۳] (روش‌های فعال) و یا بر اثر جریان هوای طبیعی (روش‌های غیرفعال) روی دهد. طراحی اقلیمی اما با در نظر گرفتن دغدغه‌های پایداری، تأمین شرایط آسایش را با حداقل استفاده از انرژی‌های تجدیدناپذیر در نظر دارد. ضمن آنکه شرایط خاص فضاهای باز بیرونی یعنی ناهمگن بودن چنین محیط‌هایی[۴] از یک‌سو و وسعت و بی‌کرانگی آن‌ها از سوی دیگر، بهره‌گیری از روش‌های فعال را مگر در موارد خاص[۵] و به شکل محدود، توجیه‌پذیر نمی‌کند.

آسایش حرارتی؛ بعد ماهوی

پی بردن به این نکته که احساس آسایش از سوی انسان، معلول چندین عامل محیطی[۶] (علاوه بر دمای هوا) است و بررسی سهم این عوامل در احساس آسایش و یا عدم آسایش انسان، انگیزهٔ اصلی شاخص‌های ارزیابی حرارتی بود. این شاخص‌ها به‌عنوان ابزاری در دست طراح، کارآمدی حرارتی محیط‌های موجود و یا پیشنهادی را به لحاظ حرارتی می‌سنجند و میزان اثربخشی راهکارهای پیشنهاد شده را نیز نشان می‌دهند. دو روش کلی در ارزیابی حرارتی طرح‌های پیشنهادی را می‌توان از یکدیگر باز شناخت؛ نخست بهره‌گیری مستقیم از شاخص‌های ارزیابی حرارتی (رویکرد عینی) با انجام اندازه‌گیری میدانی و یا به کمک نرم‌افزارهای تحلیل اقلیم و دیگری منطبق ساختن بازهٔ آسایش شاخص‌ها با اقلیم و مردمان شهر مورد مطالعه (رویکرد ذهنی). نظریهٔ آسایش در قرن حاضر، گفتگوی غیرمسالمت‌آمیز میان دو رویکرد عینی و ذهنی در ارزیابی وضعیت گرمایی محیط‌های مصنوع است. مراد از رویکرد عینی استفاده مستقیم از شاخص‌های ارزیابی حرارتی و عدم مناسب‌سازی بازهٔ آسایش آنها برای اقلیم مورد مطالعه است و مراد از رویکرد ذهنی، بازتعریف بازه آسایش این شاخص‌ها، بر اساس مطالعات میدانی و برای مردمان شهرها و اقالیم مختلف.

مروری بر متون موجود

چنانکه پیشتر گفته شد، در سالیان اخیر، بحث آسایش حرارتی، علاوه بر فضاهای داخلی، در فضاهای باز و

در مقیاس فضای شهری نیز مطرح شده است. در یک دسته‌بندی کلی می‌توان تمرکز موضوعی پژوهش‌های انجام شده در حوزه آسایش حرارتی فضاهای بیرونی را در چند محور کلی خلاصه کرد (جدول ۱). بررسی پژوهش‌های انجام شده، حاکی از وجود سه عامل طراحی اثرگذار بر آسایش حرارتی در فضاهای شهری است؛ هندسه کالبدی، پوشش گیاهی و نوع مصالح به‌کار رفته در جداره و کف فضای شهری.

جدول ۱. موضوعات مورد توجه در مطالعات آسایش حرارتی

موضوع	پژوهشگران	هدف و موضوع پژوهش
قیاس میزان کارآمدی بافت‌های شهری(مدرن و تاریخی) از نظر حرارتی	Taleghani *et al*., 2015; Taleb & Abu-Hijleh, 2013; Middel *et al*., 2014; …	هدف از این پژوهش‌ها، مقایسه بافت‌های اندام‌واره قدیمی با بافت‌های مدرن و امروزی است، شدت شکل‌گیری جزایر حرارتی متأثر از این بافت‌ها نیز مورد بررسی و مقایسه قرار می‌گیرد.
بررسی اثر هندسهٔ کالبدی فضاهای شهری (میدان و به‌ویژه خیابان) بر آسایش عابران پیاده	Achour-Younsi & Kharrat, 2016; Martinelli *et al*., 2015; Ali-Toudert & Mayer, 2006, 2007; …	هندسه کالبدی یکی از اهم عوامل مؤثر بر آسایش حرارتی است. نسبت ارتفاع به عرض معابر و جهت‌گیری آنها نسبت به خورشید و تأثیر آن بر شرایط حرارتی خیابان‌های مختلف، موضوع این پژوهش‌هاست.
بررسی اثر یک عامل خاص محیطی (پوشش گیاهی و سبزینگی، نوع مصالح و رنگ) بر آسایش حرارتی عابران پیاده	Klemm *et al*., 2015; de Abreu-Harbich *et al*., 2015; …	هدف این پژوهش‌ها، بررسی اثر گونه‌های مختلف گیاهی بر بهبود شرایط حرارتی است. همچنین اثر نوع مصالح به‌کار رفته در جداره و کف فضاهای شهری بر شرایط حرارتی نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد.
بازتعریف بازهٔ آسایش شاخص‌های مختلف ارزیابی حرارتی، در شهرهایی با اقلیم‌های مختلف	Salata *et al*., 2016; Lin, 2009; da Silveira Hirashima, de Assis, & Nikolopoulou, 2016; …	پیش‌فرض این پژوهش‌ها، خو گرفتن اهالی یک منطقه به اقلیم آن و از آن طریق، افزایش سازگاری و سطح تحمل ایشان در برابر شرایط نامساعد اقلیمی است. در این‌گونه پژوهش‌ها، بازه آسایش به کمک مطالعات میدانی برای شهرهای مختلف، بازتعریف می‌شود.

یکی از عمده‌ترین ضعف‌های مطالعاتی که در پی بازطراحی و یا طراحی فضاهای شهری، به منظور دستیابی به آسایش حرارتی بوده‌اند، عدم توجه به کارایی انرژی ساختمان‌ها بوده است. مرور پژوهش‌های انجام شده، حاکی از وجود نوعی انشقاق، میان مطالعات آسایش حرارتی در فضای باز و معماری پایداراست. تاکنون، آن دسته از پژوهشگران حوزه آسایش حرارتی که قصد ارائه راهکارها و سناریوهای بهینه طراحی در مقیاس فضاهای شهری را داشته‌اند، غافل از منویات و دغدغه‌های معماران انرژی، شبیه‌سازی معابر و فضاهای شهری را در جهات چهارگانهٔ اصلی و با نسبت‌های ارتفاع به عرض مختلف انجام داده و یکی از حالات را به‌عنوان گزینه بهینه، جهت طراحی تجویز نموده‌اند (Achour-Younsi & Kharrat, 2016; Ali-Toudert & Mayer, 2007; Andreou, 2013; Taleghani *et al*., 2015). حال‌آنکه ممکن است جهت بهینهٔ یک خیابان به‌گونه‌ای که آسایش حرارتی برای عابران پیاده در آن تأمین شود با اهداف معماری پایدار یعنی مصرف بهینه انرژی بناها در تضاد قرار گیرد. برای مثال، در عمدهٔ پژوهش‌های انجام شده در اقلیم گرم، نتایج شبیه‌سازی حاکی از آن است که جهت‌گیری مناسب برای خیابان‌های اقلیم گرم و خشک، شمالی-جنوبی است، حال‌آنکه عموماً، کشیدگی شرقی-غربی بناها، مصرف انرژی را در آنها افزایش داده و این مسئله با اهداف پایداری در تضاد است. به نظر می‌رسد، چالش طراحی اقلیمی برآوردن منویات بعضاً متضاد متخصصان معماری و شهرسازی، به‌صورت همزمان است.

چنانکه گفته شد، پژوهش حاضر در پی پیش نهادن فرایندی است که طرح حاصل از آن، شرایط بهینه حرارتی را برای فضاهای بیرونی واحدهای همسایگی فراهم کند. بدین منظور، معیارهای طراحی مؤثر بر شرایط حرارتی فضاهای همگانی، از مطالعات پیشین استخراج شده‌اند (جدول ۲). مطالعات مختلف

(جدول ۱)، بنا بر اهداف خود، هریک از عوامل سه‌گانه و یا همه عوامل مزبور را با بررسی متغیرهای متناظر، مورد بررسی قرار داده‌اند. برای مثال، شاشوا بار در پژوهشی چهار متغیر پوشش گیاهی، بار ترافیکی، آلبدوی مصالح جداره و همین‌طور نسبت ارتفاع به عرض معابر را در بررسی وضعیت آسایش مورد بررسی قرار می‌دهد. به‌غیر از بار ترافیکی خیابان (که نمی‌توان آن را به‌عنوان یک متغیر مستقیم طراحی کالبدی به شمار آورد) متغیرهای مزبور هر یک در تناظر با معیارهای طراحی مندرج در جدول ۲ جای می‌گیرند (Shashua-Bar, 2012).

جدول ۲. معیارهای طراحی مؤثر بر آسایش حرارتی در فضاهای بیرونی

ردیف	شاخص	سنجه (متغیر)
۱	هندسه کالبدی	نسبت ارتفاع به عرض معابر، جهت‌گیری خیابان، ضریب دید به آسمان (در خیابان‌هایی با ارتفاع جداره متنوع)
۲	سبزینگی و پوشش گیاهی	نوع درخت (شاخص سطح برگ، میزان پوشش، ارتفاع تاج و...)، محل کاشت
۳	مصالح (جنس سطوح)	نوع مصالح کف و جداره (آلبدو، میزان تخلخل و...)

اگر مواردی نظیر هندسه کالبدی شهر، مصالح ساختمانی، سبزینگی و پوشش گیاهی را ابزارهای طراح شهر به‌منظور اثرگذاری بر متغیرهای اقلیمی و دستیابی به آسایش حرارتی بدانیم، طراح شهر با داشتن شاخص‌ها و سنجه‌هایی به ترتیب ذکر شده در جدول ۲، باید به اصول طراحی مطلوب در اقلیم مورد مطالعه خود دست یابد. چنانکه در ادامه گفته خواهد شد، شبیه‌سازی مبتنی بر هر یک از عوامل فوق، گام‌های مختلف فرایند طراحی را شکل خواهند داد. در ادامه، هریک از عوامل مزبور به تفصیل مورد بررسی قرار خواهد گرفت:

هندسه کالبدی[۷]

مراد از هندسه کالبدی، جهت‌گیری[۸] معابر و توده‌های ساختمانی، ضریب دید به آسمان[۹] و نسبت ارتفاع به عرض[۱۰] در معابر شهری است (Achour-Younsi & Kharrat, 2016). بسیاری از پژوهش‌های انجام‌شده در اقلیم گرم و خشک، عامل مذکور را اثرگذارترین عامل بر آسایش قلمداد نموده‌اند. آندرو بر آن است که آسایش حرارتی در اقلیم گرم، بیش از دیگر عوامل، ناشی از میزان تابش دریافتی است و جهت‌گیری معابر و نسبت ارتفاع به عرض آنها، بیشترین اثر را بر میزان آفتاب دریافت شده دارند. وی اثر عاملی نظیر مصالح به‌کار رفته در جداره و کف خیابان‌ها را در برابر این عامل ناچیز می‌داند (Andreou, 2013) و هم از این رو است که حجم عمده‌ای از مقالات حوزه آسایش حرارتی به شبیه‌سازی فرم‌های مختلف خیابان با جهت‌گیری‌ها و نسبت‌های ارتفاع به عرض مختلف پرداخته‌اند (Achour-Younsi & Kharrat, 2016; Ali-Toudert & Mayer, 2006, 2007; Andreou, 2013; Lamarca *et al.*, 2016). بنا بر موارد گفته شده و اهمیت عامل مورد بحث، هندسه کالبدی، نخستین عامل در نظر گرفته شده در بررسی اصول طراحی واحد همسایگی، جهت‌گیری و نسبت عرض به ارتفاع بناهاست. پژوهش‌های انجام‌شده در اقالیم گرم، راهبردهایی را جهت طراحی خیابان‌های شهری ارائه داده‌اند. نتایج برخی از این مطالعات، در جدول ۳ به اختصار بیان شده است.

جدول ۳. نتایج به‌دست آمده از بررسی عامل هندسه کالبدی در پژوهش‌های انجام شده در حوزه آسایش حرارتی فضاهای بیرونی

ردیف	پژوهش	شهر و اقلیم مورد مطالعه	نتایج
۱	Andreou, 2013	Tinos, Greece گرم و معتدل (کوپن : Csa)	نتایج حاصل از شبیه‌سازی گواه آن است که در اقالیم گرم، خیابان‌های با نسبت ارتفاع به عرض بیشتر (چهار) از منظر آسایش حرارتی در قیاس با دیگر خیابان‌ها بهتر عمل می‌کند و از نظر جهت‌گیری نیز، خیابان‌های شمالی جنوبی، به دلیل سایه‌اندازی، بهترین شرایط حرارتی را در فصل تابستان موجب می‌شوند.
۲	Sharmin *et al*., 2015	Dhaka, Bangladesh اقلیم گرمسیری (کوپن : Aw)	تنوع در ارتفاع بناها، طرح خیابان‌ها و ترکیب‌بندی کلی معابر می‌تواند شبکه‌ای از فضاهای سایه گیر را به‌وجود آورد که تهویهٔ مطبوعی را در بافت‌های شهری ایجاد نماید و کاهش میانگین دما را در طول روز سبب می‌شوند. بافت‌های مسکونی برنامه‌ریزی‌شده به دلیل ماهیت هندسی و منظمشان، میانگین دمایی بالاتری را (تا ۴درجه سانتی‌گراد) موجب می‌شوند. همچنین شواهدی از پدیدهٔ جزایر حرارتی شهری نیز در این بافت‌ها به چشم می‌خورد.
۳	Taleghani *et al*., 2015	De Bilt, Netherlands معتدل (کوپن : Cfb)	چینش خطی و پیو ستهٔ بلوک‌های ساختمانی در جهت شرقی-غربی، موجبات تابش مستقیم خورشید به مدت ۱۲ ساعت در روز را فراهم می‌آورد که چندان مطلوب نیست. در مقابل، چینش خطی و پیوستهٔ بلوک‌های ساختمانی در جهت شمالی-جنوبی، تنها ۴ ساعت تابش مستقیم خورشید را برای فضای میانی در پی خواهد داشت.
۴	Ali-Toudert & Mayer, 2006	Ghardaia, Algerian Sahara اقلیم گرم و خشک (کوپن: BWh)	در نواحی نیمه گرمسیری، محیط حرارتی خیابان‌های عریض (H/W=0.5) بسیار تنش‌زا است و جهت‌گیری خیابان‌ها، تأثیری بر بهبود آن ندارد (گرچه خیابان‌هایی با جهت‌گیری شرقی-غربی شرایط بسیار بدتری دارند). بهبود شرایط حرارتی خیابان‌های شرقی-غربی بسیار دشوار است. در مقابل، خیابان‌های شمالی-جنوبی با نسبت ارتفاع به عرض بیشتر (برابر و یا بیشتر از دو)، محیط حرارتی بسیار مطلوب‌تری را فراهم می‌آورند.

چنانکه از جدول ۳ بر می‌آید، نتایج حاصل از پژوهش‌های انجام شده در اقلیم گرم، بر عملکرد بهتر حرارتی خیابان‌هایی با جهت‌گیری شمالی-جنوبی صحه گذاشته‌اند (Andreou, 2013 Taleghani *et al*., 2015; Ali-Toudert & Mayer, 2006). از دیگر سو، عمق بیشتر خیابان‌ها، افزایش سایه اندازی و بهبود شرایط حرارتی فضای خیابان را در پی خواهد داشت (Andreou, 2013 Taleghani *et al*., 2015; Ali-Toudert & Mayer, 2006).

پوشش گیاهی (سبزینگی)

برخی پژوهشگران، اثر عامل پوشش گیاهی را بیش از آنکه بر کاهش دما بدانند، در کاهش میانگین دمای تابشی (Tmrt) جستجو می‌کنند. کلِم بر آن است که وجود درخت بر کاهش دمای خیابان‌های شهری اثری ندارد و در عوض، به ازای هر ۱۰درصد، پوشش گیاهی در خیابان‌ها، به میزان یک درجه کلوین از میانگین دمای تابشی کاسته می‌شود (Klemm *et al*., 2015). موراکینو و همکاران، در پژوهشی، اثر کاهشی درختان بر دمای معادل فیزیولوژیکی را در ساعات اوج تابش مستقیم آفتاب (۱۲ الی ۱۵) یادآور می‌شوند، گرچه میزان این اثرگذاری به نوع درخت بستگی دارد. انتخاب گونه درخت جهت کاشت باید بر اساس هندسه کالبدی شهر انجام گیرد. برای معابر شهری عمیق، درختانی بلند با شاخص سطح برگ[۱۱] پایین مناسب‌اند. ایشان بر این باورند که اگرچه وجود درخت در معابر عمیق اثر چندانی بر بهبود شرایط آسایش ندارد، دلایل زیبایی‌شناختی، کاهش آلاینده‌هایی نظیر دی‌اکسید کربن و غیره نباید ما را از کاشت درخت در این معابر منصرف کند (Morakinyo *et al*., 2017).

مصالح کف و جداره

رفتار حرارتی مصالح به‌کار رفته در کف و جداره فضا، به لحاظ جذب و یا انعکاس انرژی خورشید، تأثیر بسزایی بر شرایط حرارتی محیط دارد. طاهباز و جلیلیان، برآنند که «سطوح روشن اعم از بلوک سیمانی، بتنی و سنگی، با افزایش دمای محیط در روز زمستان و کاهش آن در تابستان، شرایط نسبتاً مناسبی را ایجاد کرده‌اند. این سطوح که دارای ضریب بازتابش بالایی هستند، در شب‌های تابستان به‌خوبی خنک شده و گرمای روز را به آسمان سرد شب، تخلیه می‌کنند» (طاهباز، جلیلیان، ۱۳۹۴، ۲۹). آندرو برآن است که خصوصیات مصالح، در مقایسه با عاملی چون هندسه کالبدی، اثر کمتری بر آسایش حرارتی دارد، بااین‌همه آلبدوی مصالح در معابر شهری فراخ و کم عمق اثر تعیین‌کننده‌ای بر شرایط حرارتی خواهد گذاشت (Andreou, 2013).

روش انجام پژوهش

چنانکه پیشتر گفته شد، دستیابی به اصول طراحی اقلیمی، مستلزم بررسی عوامل محیطی است که بر شرایط حرارتی اثرگذارند. لذا عوامل سه گانهٔ اثرگذار بر آسایش حرارتی که از مطالعات پیشین استخراج و اولویت‌بندی شده‌اند. به منظور دست یافتن به اثر عوامل مذکور بر شرایط حرارتی، طراح باید شبیه‌سازی نرم‌افزاری را در هر مرحله، مبتنی بر هریک از عوامل فوق، انجام دهد.

نرم‌افزار مورد استفاده جهت شبیه‌سازی

به منظور شبیه‌سازی گزینه‌های طراحی، از نرم‌افزار شبیه‌سازی اقلیمی ENVI-met ویرایش چهار استفاده شده است. به دلیل همبستگی بالای مقادیر حاصل از اندازه‌گیری میدانی با نتایج حاصل از شبیه‌سازی در محیط نرم‌افزاری، مدل نرم‌افزاری انویمت واجد صفات روایی و پایایی بوده و اطلاعات حاصل از شبیه‌سازی در مدل ENVI-met توسط بسیاری پژوهشگران مورد تأیید و استفاده قرار گرفته است (Achour-Younsi & Kharrat, 2016; Ali-Toudert & Mayer, 2006, 2007; Krüger, Minella, & Rasia, 2011; Middel *et al.*, 2014; Morakinyo *et al.*, 2017; Taleb & Abu-Hijleh, 2013; Taleghani *et al.*, 2015).

خروجی نرم‌افزار ENVI-met، چهار عامل اصلی آسایش یعنی دمای هوا، میانگین دمای تابشی، سرعت باد و رطوبت نسبی و همچنین شاخص‌های ارزیابی میانگین تخمین آراء و دمای معادل فیزیولوژیکی است. مدل‌های دینامیک سیالات محاسباتی دیگری نظیر ANSYS Fluent نیز وجود دارند که به‌منظور پیش‌بینی جریان هوا و میزان آشفتگی توسعه‌یافته‌اند، اما مشکل اینجاست که مدل‌هایی نظیر Fluent بسیار دقیق بوده و به‌منظور آزمایش‌های آئرودینامیکی نظیر وسایل نقلیه و یا جریان هوا در فضاهای داخلی کاربرد دارند؛ مدل‌سازی با نرم‌افزارهای این‌چنینی، نیازمند زمانی بسیار بیشتر از مدل‌سازی با نرم‌افزار ENVI-met است و دقت بالای محاسباتی این نرم‌افزارها نیز برای مدل‌سازی فضاهای شهری مورد نیاز نیست(Taleghani *et al.*, 2015).

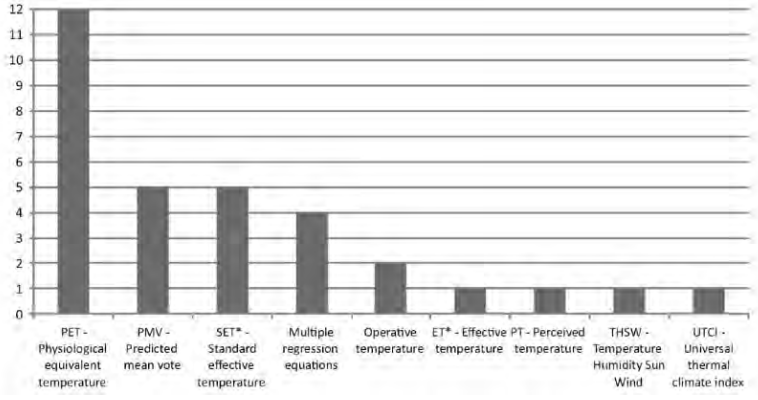
جدول ۴ اطلاعات مربوط به شبیه‌سازی را جهت ورود به نرم‌افزار نمایش می‌دهد. گفتنی است اطلاعات پایه در روز نخست تیرماه (نظیر سرعت و جهت وزش باد)، از ایستگاه هواشناسی لار، در نزدیکی محدوده طراحی (فاصلهٔ یک کیلومتری جنوب شرقی محدوده) اخذ شده است.

جدول ۴. مشخصات اعمال شده بر مدل نرم‌افزاری ENVI-met نگارش ۴

روز شبیه‌سازی (سال، ماه، روز)	21.06.2016 21.12.2016
زمان آغاز شبیه‌سازی(ساعت)	09:00:00
مدت زمان شبیه‌سازی(ساعت)	8 h
سرعت باد(متر بر ثانیه)	1.1
جهت وزش باد (شمال ۰ ، شرق ۹۰ و...)	315
ابعاد مدل	x-Grids=100 y-Grids=100 z-Grids=30
ابعاد سلول‌های شبکه	dx=2 dy=3 dz=2

شاخص ارزیابی حرارتی مورد استفاده

پژوهش‌های مختلف با توجه به هدف و موضوع ویژه خود، یا مستقیماً از شاخص‌های ارزیابی حرارتی بهره جسته‌اند و یا به کمک روش‌های تطبیقی، بازه آسایش شاخص‌های ارزیابی حرارتی را برای اقلیم و شهر مورد مطالعه، بازتعریف نموده‌اند. در این پژوهش از شاخص دمای معادل فیزیولوژیکی استفاده شده است. مطالعات بسیاری بر کارآمدی شاخص دمای معادل فیزیولوژیکی در ارزیابی حرارتی فضاهای باز بیرونی صحه نهاده‌اند. جانسون و دیگران پس از بررسی ۲۶ مطالعهٔ انجام شده در حوزه آسایش حرارتی فضاهای بیرونی، شاخص دمای معادل فیزیولوژیکی را پرکاربردترین شاخص ارزیابی حرارتی معرفی نموده‌اند (Johansson *et al.*, 2014). انجمن مهندسان آلمان در کتابچه راهنمای طراحی خود این شاخص را جهت ارزیابی حرارتی محیط‌های بیرونی توصیه می‌کند (Honjo, 2009). حیدری و دیگران نیز در پژوهشی به‌منظور اعتبارسنجی و ارزیابی شاخص‌های آسایش حرارتی در فضاهای بیرونی شهر تهران، از دقت بیشتر این شاخص در پیش‌بینی آسایش حرارتی فضاهای بیرونی در قیاس با دو شاخص دمای مؤثر استاندارد نوین (SET^*) و تخمین میانگین آراء (PMV) سخن به میان آورده‌اند (حیدری و منعام، ۱۳۹۲).



شکل ۲. فراوانی شاخص‌های ارزیابی حرارتی مورد استفاده در مطالعات آسایش حرارتی فضاهای بیرونی

منبع: Johansson *et al.*, 2014, 18

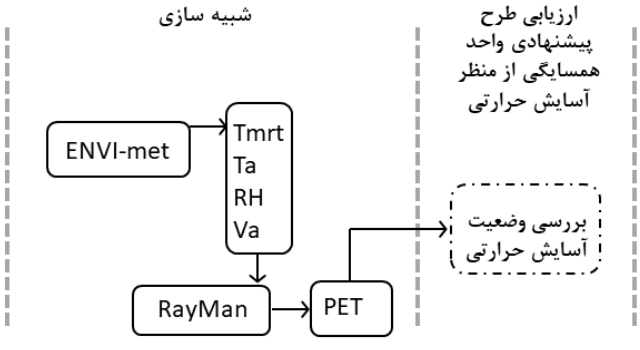
شاخص دمای معادل فیزیولوژیکی (PET) را می‌توان دمایی در نظر گرفت که طی آن بیلان حرارتی انسان در محیط بسته و در حالت نشسته (بدون باد و تابش خورشیدی) با نرخ سوخت‌وساز کاری سبک (۸۰ وات) و مقاومت حرارتی لباس حدود ۰/۹ کلو با دمای پوست و دمای مرکز بدن در تعادل باشد (Matzarakis & Amelung, 2008). جدول ۵ بازه‌های آسایش و عدم آسایش دمای معادل فیزیولوژیکی را نشان می‌دهد. فقدان تجهیزات لازم و همچنین نیروی انسانی جهت انجام مطالعات میدانی، همزمان با برداشت داده‌های هواشناسی نگارندگان را بر آن داشت تا بازه آسایش این شاخص ارزیابی حرارتی را ملاک عمل قرار دهند.

جدول ۵. بازه‌های آسایش و عدم آسایش دمای معادل فیزیولوژیکی

PET	میزان تنش فیزیولوژیکی	ادراک حرارتی
4◦C	سرمای بسیار شدید	بسیار سرد
8◦C	سرمای شدید	سرد
13◦C	سرمای متوسط	خنک
18◦C	سرمای اندک	کمی خنک
23◦C	بدون تنش حرارتی و برودتی	آسایش
29◦C	گرمای اندک	کمی گرم
35◦C	گرمای متوسط	گرم
41◦C	گرمای شدید	داغ
	گرمای بسیار شدید	بسیار داغ

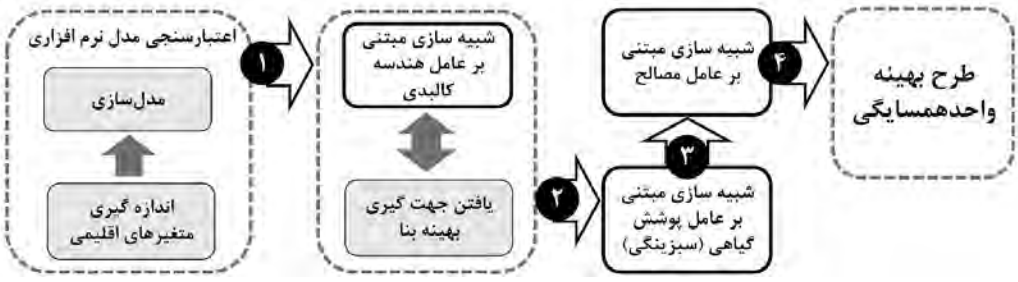
منبع: Matzarakis & Mayer, 1996, 9

نسخه رایگان نرم‌افزار ENVI-met، امکان محاسبه شاخص دمای معادل فیزیولوژیکی را به‌دست نمی‌دهد؛ لذا با وارد نمودن اطلاعات به‌دست آمده از شبیه‌سازی در نرم‌افزار Rayman نگارش ۱/۲ شاخص دمای معادل فیزیولوژیکی به‌دست آمد (شکل ۳).



شکل ۳. فرایند شبیه‌سازی نرم‌افزاری

شکل ۴ فرایند شبیه‌سازی گام‌به‌گام را نشان می‌دهد. پس از اعتبارسنجی مدل نرم‌افزاری، سناریوهای پیشنهادی بر مبنای عوامل سه گانهٔ محیطی شبیه‌سازی می‌شوند به‌گونه‌ای که خروجی نهایی، به لحاظ هریک از عوامل مزبور، بهترین حالت را دربر گیرد.



شکل ۴. فرایند شبیه‌سازی گام‌به‌گام

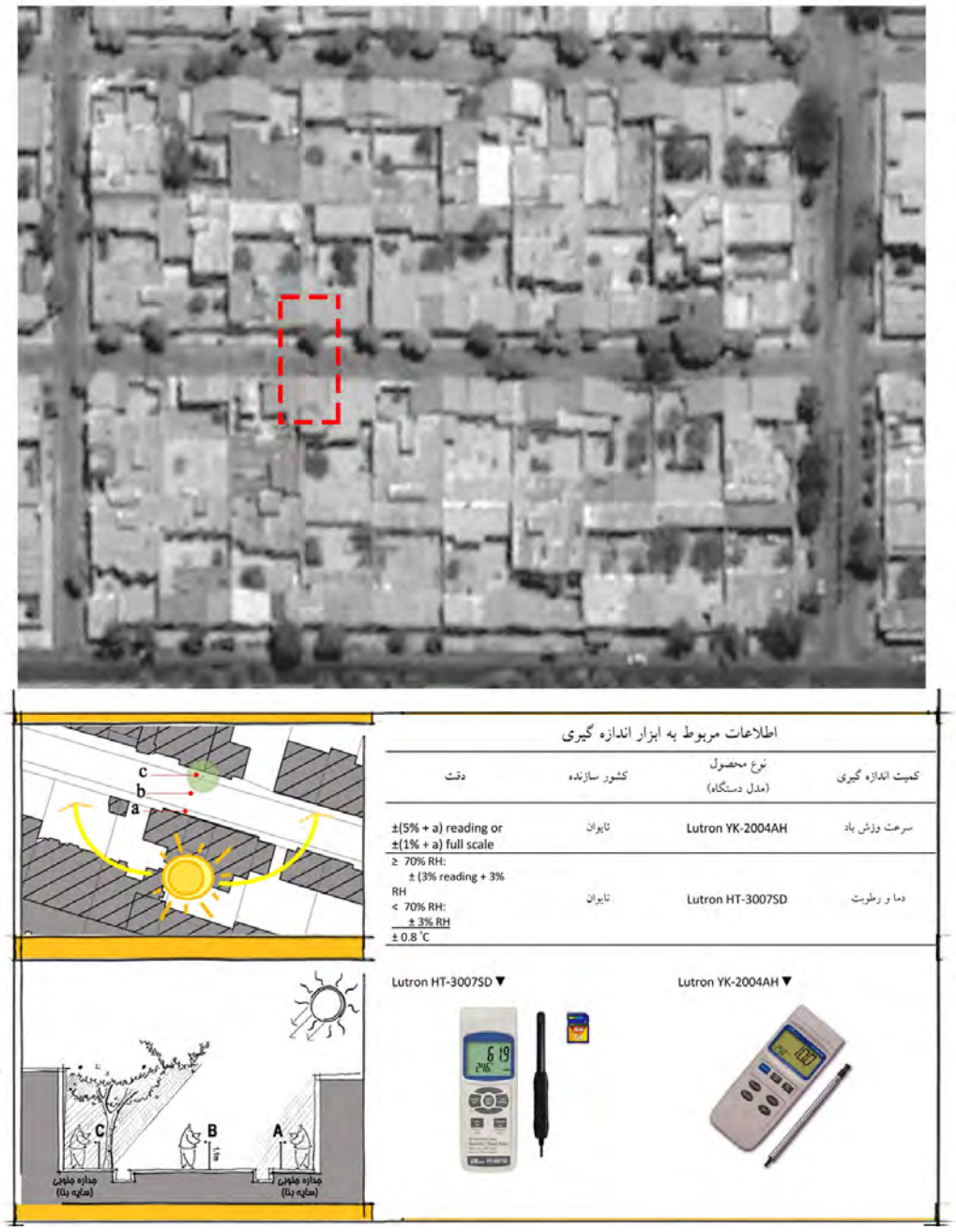
بررسی محدوده مورد مطالعه

لار[۱۲] واقع در عرض جغرافیایی ۲۷/۶۸° شمالی، طول جغرافیایی ۵۴/۲۸° شرقی، شهری است باستانی و با اقلیمی گرم و خشک در جنوب استان فارس که وقوع زلزله‌ای مهیب در سال ۱۳۳۹، موجب ساخت شهری جدید در چهار کیلومتری جنوب آن گردید. شهرک امام خمینی لار نیز در دههٔ هفتاد و بر زمین‌های اوقافی بنا شد. شهرک مذکور در امتداد شرقی شهر قدیم لار توسعه یافته است و از شرق به کمربندی شهر لار (بولوار سرداران) محدود می‌شود. طرح این شهرک مشابه با عمدهٔ طرح‌های تهیه شده از سوی اداره اوقاف در آن زمان، از الگوهای موسوم به تفکیک ثبتی پیروی می‌کند. الگوی شطرنجی معابر، تقسیم مساوی زمین به قطعات ۱۰در ۲۰ و ۱۲در ۳۰متر، معابری به عرض ۱۲، ۲۰ و ۳۰متر از جمله ویژگی‌های عمدهٔ بافت این شهرک است. محدودهٔ مورد بررسی، در انتهای شرقی این شهرک واقع شده است (شکل۵).

شکل ۵. تصویر هوایی محدوده مورد بررسی واقع در شهرک امام خمینی لار

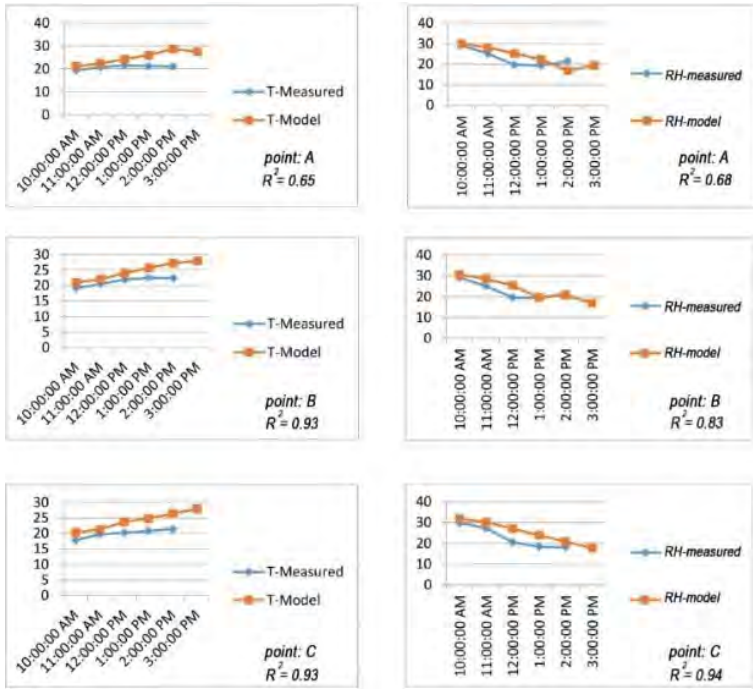
اعتبارسنجی مدل نرم‌افزاری

همان‌طور که پیش از این اشاره شد اندازه‌گیری داده‌های هواشناسی شامل دمای هوا و رطوبت نسبی، در بازهٔ یک هفته‌ای (۲۰ام الی ۲۶ام آذرماه سال ۱۳۹۵) و در سه نقطه از بافت شهر جدید لار (از ساعت ده الی پانزده، به‌صورت هر ساعت یک بار، در ارتفاع ۱/۱متری از سطح زمین[۱۳]) انجام شده است. نقاط مزبور به منظور دست یافتن به درکی صحیح از شرایط حرارتی بافت، در پیاده‌رو جنوبی(در سایهٔ بنا)، وسط خیابان و پیاده‌رو شمالی (زیر سایه درخت) مکان‌یابی شده‌اند (شکل۶).



شکل ۶. مشخصات وسایل اندازه‌گیری و محل اندازه‌گیری داده‌های هواشناسی به منظور اعتبارسنجی مدل نرم‌افزاری

از نرم‌افزار Excel2013 به‌منظور محاسبه ضرایب همبستگی مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر به‌دست آمده از مدل نرم‌افزاری، استفاده شد. وجود ضرایب همبستگی بالا، میان متغیرهای اندازه‌گیری شده (رطوبت نسبی و دمای هوا) و مقادیر به دست آمده از مدل‌سازی نرم‌افزاری در نقاط متناظر (شکل ۷)، نشان‌دهندهٔ معتبر و قابل استناد بودن مدل نرم‌افزاری ساخته‌شده و شبیه‌سازی‌های آتی پژوهش است.



شکل ۷. اعتبارسنجی مدل نرم‌افزاری، همبستگی میان مقادیر به‌دست آمده از اندازه‌گیری میدانیِ دما و رطوبت در سه نقطه و مدل ساخته‌شده در نرم‌افزار

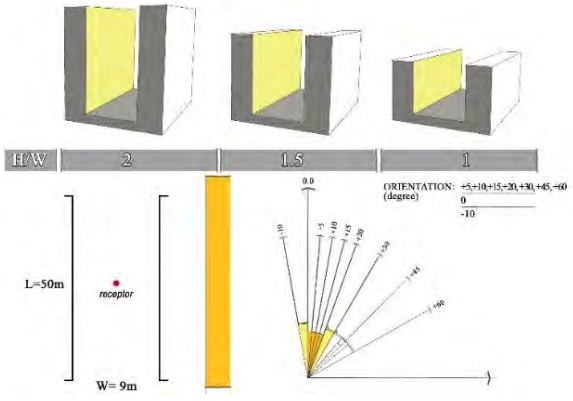
فرایند شبیه‌سازی گام‌به‌گام

طراحی واحد همسایگی از آن جهت که محدوده‌ای وسیع را در برمی‌گیرد، به خلق فضاهایی منجر می‌شود که به لحاظ ویژگی‌های کالبدی از یکدیگر متمایزند. خیابان‌ها نمی‌توانند یکسره در جهتی خاص قرار گیرند و شکل‌گیری مفهوم شبکه مستلزم آن است که حداقل یک خیابان، عمود بر دیگر خیابان‌ها قرار بگیرد و یا در زاویه‌ای مشخص آنها را قطع کند. چنانکه در ادامه گفته خواهد شد، هندسه کالبدی مهم‌ترین و اثرگذارترین ابزاری است که طراح شهر به وسیله آن، آسایش حرارتی فضاهای شهری را تأمین می‌کند و از آنجا که مفهوم شبکه معابر، خیابان‌ها را از نظر عرض و همچنین جهت‌گیری (که هردو از سنجه‌های شاخص هندسه کالبدی به حساب می‌آیند) متنوع می‌سازد، طراح شهر ناگزیر باید به فضایی که به‌منظور فراهم آوردن آسایش حرارتی مهم‌تر تلقی می‌کند، اولویت ببخشد.

در صورت تمرکز تمامی دلایل حضور شهروندان در مراکز واحد همسایگی، عدم تأمین آسایش حرارتی در دیگر فضاهای واحد همسایگی توجیه‌پذیر است. از دیگر سو، مدت زمان قرارگیری شخص در معرض شرایط نامساعد[۱۴]، اگر با آگاهی فرد پیش از حضور در فضا همراه شود، به افزایش تحمل فرد در برابر آن شرایط خواهد انجامید. شخصی که از کوتاه بودن مدت حضورش در یک محیط نامساعد آگاه است، تحمل بیشتری در برابر آن شرایط از خود نشان می‌دهد (Nikolopoulou & Steemers, 2003). لذا شهروندان برای رسیدن به مراکز واحد همسایگی، حضور کوتاه‌مدت خود را در دیگر فضاهای واحد همسایگی تحمل خواهند کرد. از دیگر سو، تجارب پژوهشیِ شبیه‌سازی فضاهای شهری به‌منظور دستیابی به آسایش حرارتی، تمرکز بیشتری بر خیابان داشته‌اند و بهره‌گیری از تجارب مزبور دستیابی به طرح مطلوب جهت واحدهای همسایگی را تسریع می‌کند. لذا پژوهش حاضر بر آن است تا به طراحی مرکزی خطی (پیاده‌راه) برای واحد همسایگی روی آورده و تأمین آسایش حرارتی در آن مرکز را در اولویت طراحی قرار دهد. بدیهی است، تأمین آسایش حرارتی در دیگر فضاها و معابر واحد همسایگی، رها نشده و فرع بر مرکز واحد همسایگی است.

گام نخست؛ شبیه‌سازی الگوهای طراحی خیابان، مبتنی بر هندسهٔ کالبدی

بنا بر موارد گفته شده و اهمیت عامل مورد بحث یعنی هندسه کالبدی، نخستین عامل در نظر گرفته شده در بررسی اصول طراحی واحد همسایگی، جهت‌گیری و نسبت عرض به ارتفاع بناهاست. نظر به وفاق پژوهش‌های مورد بررسی بر سر کارایی بهتر حرارتی خیابان‌هایی با جهت‌گیری شمالی-جنوبی و همچنین اثر مثبت افزایش نسبت ارتفاع به عرض معابر شهری بر بهبود شرایط حرارتی، ۲۷ سناریوی مختلف جهت تحلیل انتخاب گردید. به باور جیکوبز، پیاده‌روهای با عرض نه متر و بیشتر، توانایی پذیرش فعالیت‌های گوناگونی از قبیل بازی کودکان و عبور عابران پیاده را، در کنار امکان تعبیهٔ مبلمان و درخت به خیابان می‌دهد (Jacobs, 1982, 87)؛ لذا عرض پیاده‌راه مرکزی نیز، برابر با ۹ متر در نظر گرفته شد. از دیگر سو، عدد مزبور با محدودیت‌های موجود بر سر راه طراحی نظیر ضوابط طرح فرادست و همین‌طور هندسهٔ زمین نیز همخوانی دارد. با توجه به مطالب فوق، خیابان‌هایی (پیاده‌راه) به طول ۵۰ متر و عرض ۹ متر و در نه جهت (۶۰+، ۴۵+، ۳۰+، ۲۰+، ۱۵+، ۱۰+، ۵+، ۰، ۱۰) و سه نسبت ارتفاع به عرض مختلف (۱، ۱/۵ و ۲) به کمک نرم‌افزار ENVI-met شبیه‌سازی گردید. در این بررسی جهت شمالی-جنوبی، صفر فرض شد. نقطه مرکزی این خیابان‌ها نیز به‌عنوان مرجع، جهت محاسبهٔ شاخص دمای معادل فیزیولوژیکی و ارزیابی حرارتی در نظر گرفته شد (شکل ۸).



شکل ۸. سناریوهای ۲۷گانه طراحی خیابان به‌منظور شبیه‌سازی در گام نخست

سناریوهای فوق، ابتدا برای روز یکم تیرماه (انقلاب تابستانی)، بین ساعات ۹صبح، الی ۵ بعدازظهر، شبیه‌سازی گردیدند. بعضی از نتایج شبیه‌سازی را این‌گونه می‌توان برشمرد:

- دمای معادل فیزیولوژیکی مرکز هیچ‌یک از خیابان‌ها در این روز، در بازه آسایش دمای معادل فیزیولوژیکی (۱۸ الی ۲۳درجه سانتی‌گراد) قرار نمی‌گیرد.
- میانگین دمای معادل فیزیولوژیکی مرکز خیابان‌ها در ساعات مذکور، بین ۴۳/۸ الی ۵۸/۹ درجه سانتی‌گراد در نوسان است.
- خیابان‌هایی که نسبت ارتفاع به عرض آن‌ها بیشتر است، (H/W=2)، شرایط حرارتی بهتری را در فصل تابستان موجب می‌شوند.
- خیابان‌هایی با درجه گردش (۱۵+، ۱۰+، ۵+)، با نسبت ارتفاع به عرض ۲، بهترین شرایط حرارتی را موجب می‌شوند. تفاوت میانگین دمای معادل فیزیولوژیکی مرکز این خیابان‌ها، چشمگیر نیست (۰/۲۵ درجه سانتی‌گراد).

در مرحله بعد، شبیه‌سازی سناریوهای ۲۷گانه در روز یکم دی‌ماه (انقلاب زمستانی) برای ساعات ۹ الی

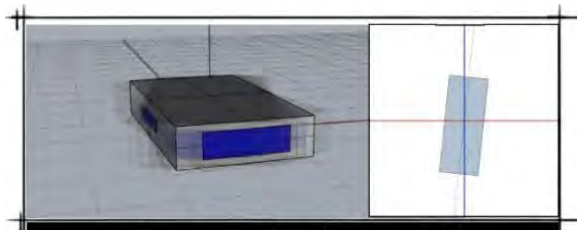
۱۷ انجام گرفت. در این روز، میانگین دمای معادل فیزیولوژیکی نقطه مرکزی خیابان‌ها به بازه آسایش نزدیک بوده و یا در بازه آسایش قرار می‌گیرد. برخی نتایج حاصل از شبیه‌سازی در این مرحله، از این قرار است:

- در این روز، دمای معادل فیزیولوژیکی خیابان‌ها در ساعات شبیه‌سازی، بین ۱۹/۳ الی ۲۶/۰۶ در نوسان است. میانگین دمای معادل فیزیولوژیکی، تنها در ده خیابان از بازه آسایش فراتر رفته است.
- کمترین میانگین دمای معادل فیزیولوژیکی متعلق به خیابانی با ضریب ارتفاع به عرض ۲ و جهت‌گیری ۴۵+ درجه است و بیشترین میزان مربوط به خیابانی با زاویه ۵+درجه، با نسبت ارتفاع به عرض یک.
- تمامی خیابان‌های برگزیده در مرحله قبل، (زاویه جهت‌گیری ۱۵+، ۱۰+، ۵+)، در انقلاب زمستانی نیز در بازه آسایش قرارگرفته‌اند.

یافتن جهت‌گیری بهینه بنا

در این بخش، با بهره‌گیری از داده‌های هواشناسی نرم‌افزار انرژی پلاس که برای شهر لار تهیه شده است، جهت‌گیری بهینه بنایی با ابعاد متداول در شهرک امام خمینی محاسبه شده است. ابتدا مدل حرارتی یک ساختمان نمونه از بناهای مسکونی شهرک امام خمینی لار شبیه‌سازی شد. به این صورت که با توجه به ابعاد قطعات زمین و درصد اشغال بنا در شهرک امام (ضریب اشغال ۶۰ درصد و ابعاد قطعه، ۱۲*۳۰متر)، هندسه مورد نظر در نرم‌افزار راینو مدل‌سازی شده و سپس با اضافه نمودن خصوصیات رفتار حرارتی ساختمان (جدول ۶) در نرم‌افزار گرس هاپر–هانی‌بی، شبیه‌سازی انرژی در جهت‌های مختلف (در یک یک درجات بازهٔ ۱۰– تا ۲۰+ درجه) انجام گرفت. در نهایت مصرف انرژی بنا در روزهای مختلف سال و در جهات گوناگون با یکدیگر مقایسه شد و جهت ۶ درجه شمال شرقی به‌عنوان جهتی که کمترین مصرف انرژی را جهت باقی نگاه داشتن شرایط داخلی بنا در بازه آسایش با خود در پی داشت، برگزیده شد.

جدول ۶. مشخصات شبیه‌سازی به‌منظور دست یافتن به جهت‌گیری بهینه بنا

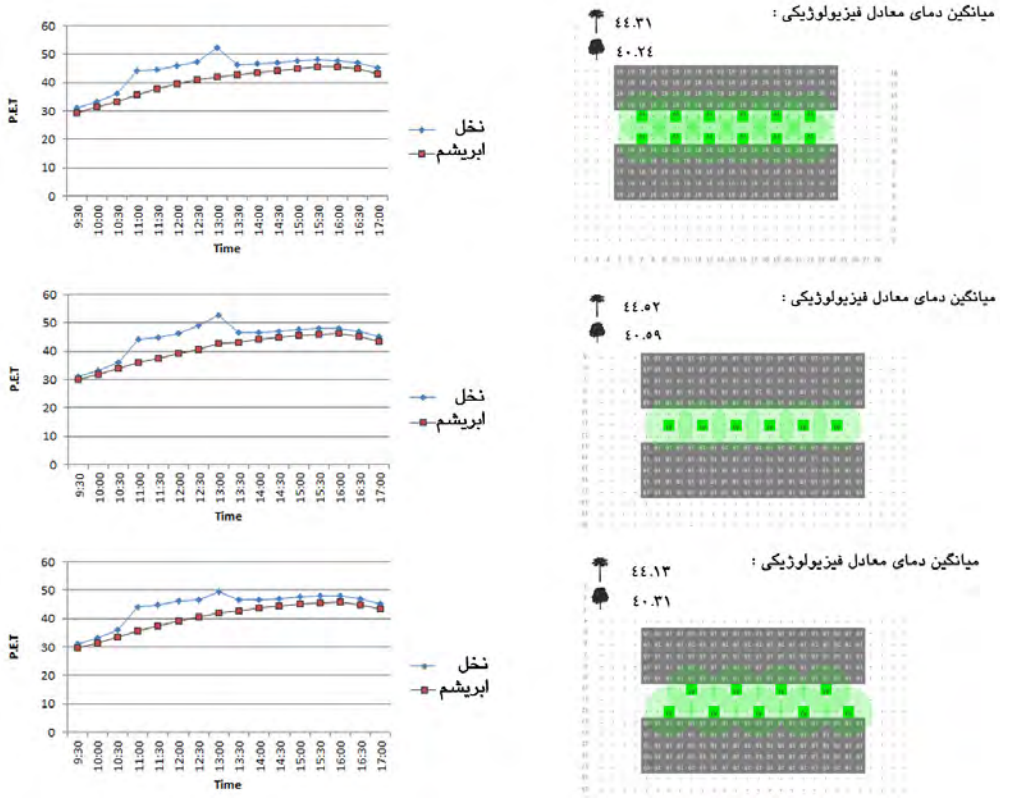


پارامتر	مقدار	واحد
بار تجهیزات مورد استفاده	2.5	w/m^2
بار سیستم روشنایی	6	w/m^2
میزان نفوذ هوا	0.0003	m^3/s per m^2 facade
میزان اشغال فضا ساکنین	0.25	ppl/m^2
میزان تهویه هوا	0.0008	m^3/s per m2 floor
ترموستات گرمایش	19	C°
ترموستات سرمایش	28	C°
دوره زمانی آنالیز	1	year
جهت‌هایی که مورد تحلیل قرار گرفته‌اند	-10° to +15°	Degree Clockwise

به دلیل فقدان اختلاف چشمگیر میان دمای معادل فیزیولوژیکی سناریوهای طراحی مرکز خطی واحد همسایگی در فصل تابستان و همچنین، قرارگیری سناریوهای مذکور در بازه آسایش فصل زمستان، جهت‌گیری ۵درجه شرقی (ساعت‌گرد) به‌منظور طراحی انتخاب می‌شود. این جهت‌گیری به دلیل نزدیکی به زاویه بهینه جهت‌گیری بنا، ۶ درجه شرقی، منویات معماران انرژی را نیز برآورده ساخته، کمترین میزان مصرف انرژی ساختمان‌ها را موجب می‌شود.

گام دوم؛ شبیه‌سازی سناریوی برتر منتج از تحلیل شاخص هندسه کالبدی، مبتنی بر عامل پوشش گیاهی

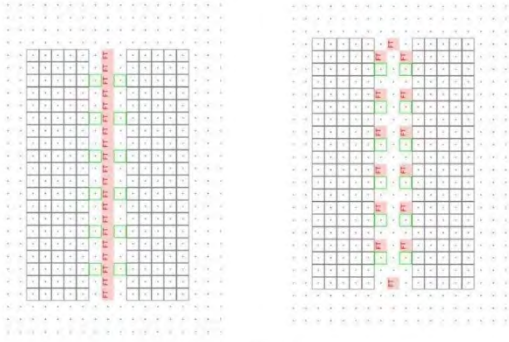
در این بخش، دو نوع درخت رایج منطقه (ابریشم و نخل)، به سه شیوه کاشت، به الگوی خیابان به‌دست آمده از شبیه‌سازی مبتنی بر عامل هندسه کالبدی (نسبت ارتفاع به عرض ۲، زاویه ۵ درجه شرقی)، افزوده شده و در روز یکم تیرماه، شبیه‌سازی گردیده‌اند. نتایج حاکی از آن است که درخت ابریشم در مقایسه با درخت نخل، شرایط بهتری را موجب می‌شود. به‌طور میانگین، فضایی که درخت ابریشم در آن به هریک از سه شیوه مورد اشاره کاشته شود، دمای معادل فیزیولوژیکی را ۳/۹۴ درجه سانتی‌گراد پایین‌تر از فضایی که نخل در آن کاشته شده باشد، نگاه می‌دارد. با این‌همه، تفاوت محسوسی میان انواع شیوه‌های کاشت درخت ابریشم مشاهده نمی‌شود. در این مرحله، درخت ابریشم با الگوی کاشت زیگزاگ، به‌عنوان الگویی برتر انتخاب می‌شود. این شیوه کاشت از القای احساس محصوریت بالا و خفگی در فضا می‌کاهد و در عین حال، شرایط حرارتی را نیز مطلوب نگاه می‌دارد.



شکل ۹. شبیه‌سازی الگوی برتر منتج از عامل هندسه کالبدی مبنی بر عامل پوشش گیاهی

گام سوم؛ شبیه‌سازی سناریوی برتر منتج از تحلیل شاخص پوشش‌گیاهی، مبتنی بر عامل مصالح

در این مرحله، حضور آب به دو شیوه در فضا شبیه‌سازی شده است، ابتدا به‌صورت محوری در مرکز فضا و سپس به‌صورت فواره‌هایی در دو سوی فضا و به فاصله ۷/۵ متر از یکدیگر (شکل ۱۰). نتایج حاکی از اثر منفی حضور آب در فضاست (افزایش میانگین دمای معادل فیزیولوژیک در ساعات شبیه‌سازی به میزان ۰/۳۲). به نظر می‌رسد دلیل این اتفاق، به دام افتادن رطوبت در میان درختان ابریشم است. تراکم برگ درختان ابریشم رطوبت را در سطح فضا به دام انداخته و عمق زیاد معبر نیز خود دلیل دیگری است که جریان هوا را در آن کاهش می‌دهد. البته، اثر ناچیز آب در افزایش دمای معادل فیزیولوژیک را می‌توان به دلیل کیفیت‌هایی که این عامل برای فضای شهری به ارمغان می‌آورد (نظیر زیبایی و سرزندگی) نادیده گرفت. دو نوع مصالح برای جداره‌های خیابان، شبیه‌سازی گردید که مشخصات آن در شکل ۸ قابل مشاهده است. در همه حالات، میانگین دمای معادل فیزیولوژیکی ۴۰/۵۶ درجه سانتی‌گراد است.



Material	type.1	type.2
Default Thickness	0.1	0.1
Emissivity	0.9	0.9
Specific Heat	830	830
Thermal Conductivity	0.5	0.5
Density	1500	1500
Absorption	0.7	0.3
Reflection	0.3	0.7

شکل ۱۰. حالات مختلف آب جهت شبیه‌سازی (نقاط قرمز رنگ، محل قرار گیری آب را نشان می‌دهند) و دو نوع مصالح جهت جداره خیابان

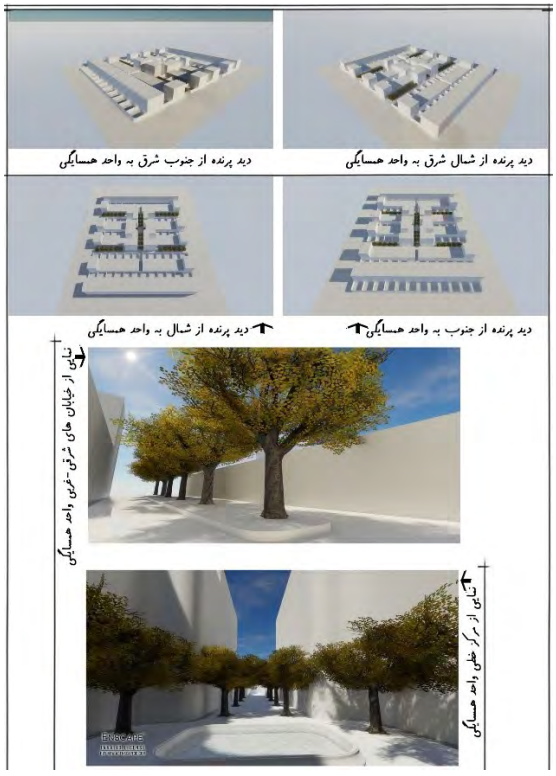
طرح بهینه واحد همسایگی

طرح بهینه واحد همسایگی پس از شبیه‌سازی سناریوهای مختلف مرکز خطی واحد همسایگی ارائه گردید. مواردی که در این طرح رعایت گردیده‌اند به اختصار از این قرارند (شکل ۱۱):

- ارتفاع بناهای مجاور مرکز خطی واحد همسایگی ۱۸ متر است. دلیل این امر، رعایت نسبت ارتفاع به عرض دو است که الگوی به‌دست آمده از شبیه‌سازی سناریوهای طراحی خیابان، مبتنی بر شاخص هندسه کالبدی است. عرض پیاده‌راه مرکزی ۹ متر است.
- در خیابان‌های شرقی-غربی، برخلاف الگوی رایج شهرک امام که قرارگیری بنا در قطعات زمین به‌صورت پشت‌به‌پشت است، در طرح حاضر بناها در قسمت شمالی قطعات زمین استقرار یافته‌اند. چینش این‌چنینی توده‌های ساختمانی، سایهٔ پیاده‌رو جنوبی خیابان‌های شرقی-غربی را تأمین می‌کند.

- بناهای واقع در اضلاع پیرامونی، ارتفاع بیشتری دارند(۵ طبقه)، دلیل این امر، تأمین سایه در خیابان‌های مجاور محدوده است.
- عامل آب جهت ایجاد سرزندگی علاوه بر درخت به مرکز خطی واحد همسایگی افزوده شده است.

در این بخش به‌منظور مشاهده اثربخشی طرح پیشنهادی، وضع موجود واحدهای همسایگی واقع در شهرک امام خمینی لار به کمک نرم‌افزار و در بازهٔ زمانی مشابه شبیه‌سازی شده است. پیشتر گفته شد که طرح واحدهای همسایگی در این شهرک از سه بلوک با کشیدگی شرقی-غربی تشکیل شده و طرح قطعات و بناها به‌صورت همسان و با مساحتی برابر است و شصت درصد از قطعات را اشغال می‌نماید. قطعات ساختمانی پشت‌به‌پشت یکدیگر قرار گرفته و در این حالت، برخی بناها از نور مطلوب جنوب بی‌بهره می‌مانند. از دیگر سو، چنین طرحی، سایه‌اندازی خیابان‌های شرقی-غربی را نیز تأمین نمی‌کند، چرا که هیچ یک از بناهای عموماً دوطبقهٔ این محدوده در کنارهٔ خیابان استقرار نیافته‌اند. در طرح پیشنهادی، توده‌های ساختمانی در بر شمالی قطعات استقرار یافتند.

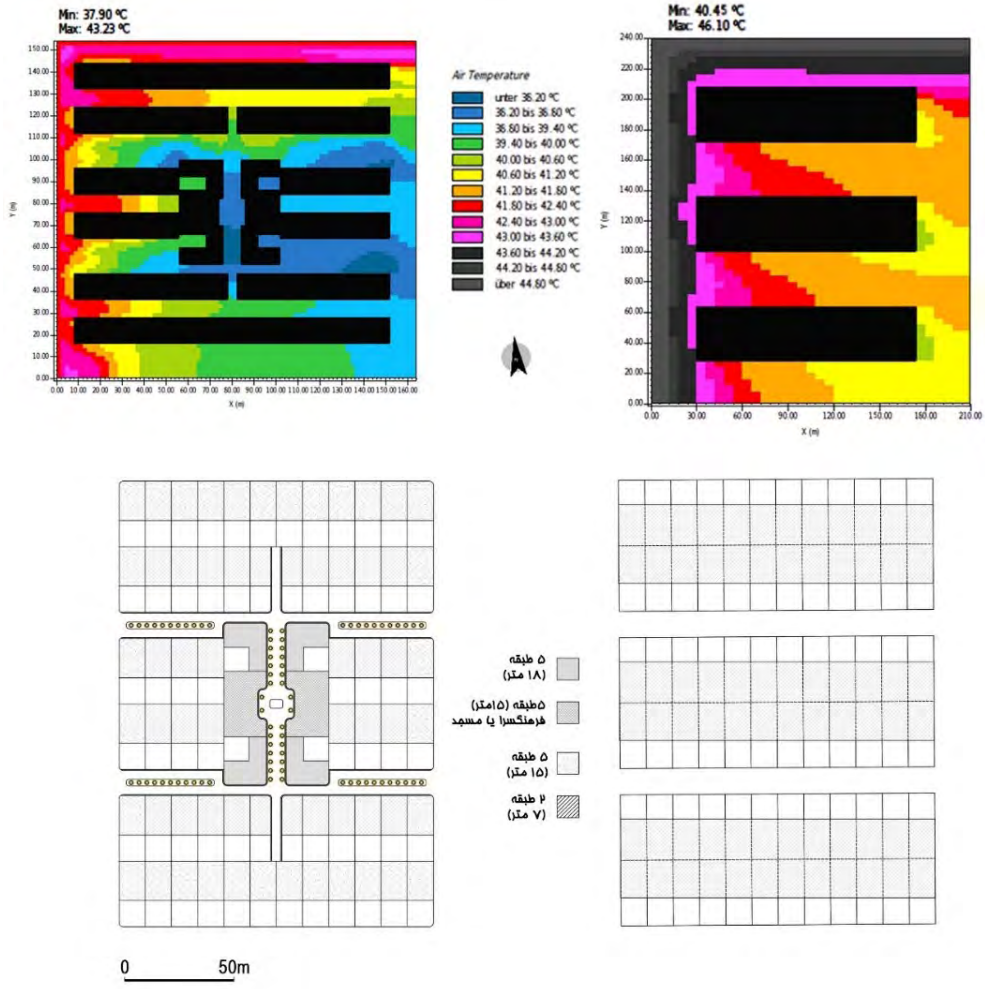


شکل ۱۱. شبیه‌سازی سه‌بعدی طرح بهینه واحد همسایگی

چنانکه از شبیه‌سازی برمی‌آید، کمینه دمای مرکز واحد همسایگی در وضع موجود و در ساعت ۱۵بعدازظهر یکم تیرماه، ۴۰/۴۵ درجه سانتی‌گراد است. حال‌آنکه کمینه دما در طرح پیشنهادی ۳۷/۹ درجه است. از دیگر سو، بیشینه دما نیز، در طرح پیشنهادی ۴۳/۲۳درجه است، حال‌آنکه در وضع موجود، با سه درجه افزایش، ۴۶/۱۰ درجه تخمین زده می‌شود.

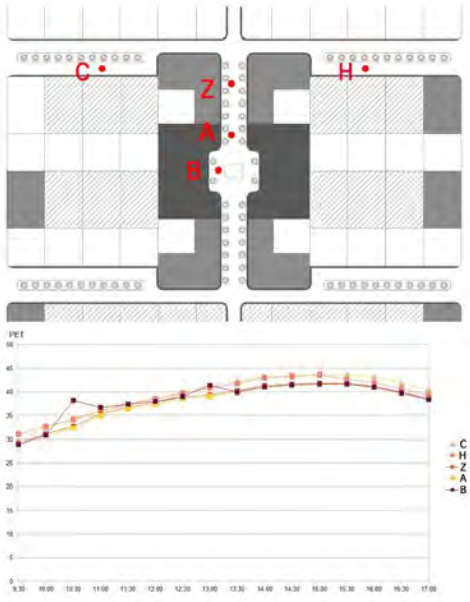
از دیگر نتایج شبیه‌سازی که با مشاهده شکل ۱۲ می‌توان بدان دست یافت، اثر افزایش ارتفاع ساختمان‌های واقع در ضلع شمالی واحدهای همسایگی بر دمای پیاده‌رو مجاورشان است. افزایش ارتفاع این بناها در

طرح پیشنهادی (۱۵ متر) نسبت به وضع موجود (۷ متر) شرایط حرارتی پیاده‌رو خیابان واقع در شمال واحد همسایگی را بهبود بخشیده است. این بهبود به صورت کاهش دما به میزان ۲ الی ۴درجه سانتی‌گراد از دمای هوای محیط در گرم‌ترین ساعت روز (۳ بعد از ظهر) مشاهده می‌شود.



شکل ۱۲. مقایسه طرح پیشنهادی(سمت چپ) و طرح وضع موجود (راست) واحدهای همسایگی در شهرک امام خمینی لار و شبیه‌سازی نرم‌افزاری در ساعت ۱۵ یکم تیرماه سال ۱۳۹۵. چنانکه در قسمت فوقانی نقشه حرارتی مشاهده می‌شود، کمینه دمای هوا در وضع موجود واحدهای همسایگی، ۴۰/۴۵درجه سانتی‌گراد و بیشینهٔ دما ۴۶/۱ درجه سانتی‌گراد است. حال‌آنکه مقادیر متناظر در طرح پیشنهادی به ترتیب، ۳۷/۹ و ۴۳/۲۳درجه سانتی‌گراد است.

شکل ۱۳ اطلاعات حاصل از شبیه‌سازی نقاطی را در طرح پیشنهادی مرکز واحد همسایگی نمایش می‌دهد. بررسی میانگین دمای معادل فیزیولوژیکی بیانگر آن است که نقطهٔ z واقع در مرکز واحد همسایگی به لحاظ حرارتی با میانگین ۳۷/۴ درجه سانتی‌گراد از دیگر نقاط، شرایط بهتری را دارد و از دیگر سو، نقطهٔ c واقع در یکی از خیابان‌های عمود بر مرکز واحد همسایگی، با میانگین دمای معادل فیزیولوژیکی ۳۹/۴ بدترین شرایط حرارتی را داراست.



شکل ۱۳. دمای معادل فیزیولوژیکی در نقاط مختلف واحد همسایگی

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر در پی یافتن روش‌های طراحی غیرفعال فضاهای شهری، به‌منظور طراحی یک واحد همسایگی در شهر لار بود، به‌گونه‌ای که آسایش حرارتی عابران پیاده در فضاهای همگانی آن فراهم آید. اتخاذ فرایندی گام‌به‌گام در شبیه‌سازی الگوهای مختلف طراحی مبنی بر معیارهای مختلف، طراح را در دستیابی به الگویی بهینه یاری کرد. فرایند مذکور به ترتیب اهمیت عوامل، ابتدا با تحلیل گزینه‌های مختلف طراحی یک خیابان با جهت‌گیری‌های مختلف و نسبت‌های ارتفاع به عرض گوناگون (که هر دو مورد، ذیل معیار هندسه کالبدی تعریف می‌شوند)، الگوهای برتر را با افزودن عامل پوشش گیاهی یعنی دو نوع درخت (نخل و ابریشم) و سه شیوه کاشت (یک محور وسط، دو محور کناری و زیگزاگ) شبیه‌سازی نمود. الگوهای برتر بار دیگر و با افزودن آب و تغییر مصالح شبیه‌سازی گردیدند و بدین ترتیب طرح نهایی، ماحصل شبیه‌سازی ۳۷ سناریوی مختلف ارائه گردید. خلاصه‌ای از نتایج این بخش حاکی از آن است که خیابان‌هایی با جهت‌گیری ۱۵، ۱۰، ۵ درجه شرقی، بهترین شرایط حرارتی را فراهم می‌آورند. عمق معابر اثر چشمگیری بر بهبود شرایط حرارتی در فصل تابستان ایفا می‌کند. معابری با نسبت ارتفاع به عرض دو، از دو نسبت ۱/۵ و یک بهتر عمل می‌کنند. درخت ابریشم به دلیل سایه‌اندازی و تراکم بیشتر برگ، شرایط حرارتی بهتری را نسبت به نخل موجب می‌شود (۳/۹۴ درجه سانتی‌گراد). لیکن میان شیوه‌های مختلف کاشت این درخت، تفاوت چندانی مشاهده نمی‌شود (تفاوت میانگین دمای معادل فیزیولوژیکی برای انواع شیوه‌های کاشت این درخت، کمتر از یک درجه است). تغییر مصالح ساختمانی، به دلیل عمق معبر، تغییر چندانی در شرایط حرارتی آن ایجاد ننمود و عامل آب، برخلاف انتظار رایج که سرمایش تبخیری است، به دلیل عمق معبر و تراکم درختان ابریشم، شرایط حرارتی را قدری بدتر می‌نمود (کمتر از یک درجه سانتی‌گراد). می‌توان از این میزان اندک چشم‌پوشی نمود چرا که وجود آب در فضای شهری، کیفیتی نظیر سرزندگی را برای فضای شهری به ارمغان می‌آورد.

پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آتی

لزوم جهانی اندیشیدن و محلی عمل کردن در مطالعات آسایش حرارتی باید درک شود و پژوهش‌های آتی باید اهتمام خود را بر مناسب‌سازی شاخص‌های آسایش حرارتی متمرکز نمایند و با اتخاذ رویکردی ذهنی و با بهره‌گیری از روش‌های تطبیقی، بازهٔ آسایش مردمان هر شهر اقلیم را به دست آورند. در این پژوهش، به دلیل فقدان امکاناتی نظیر نیروی انسانی و همچنین وسایل اندازه‌گیری نظیر ایستگاه‌های قابل حمل هواشناسی، این مهم، مقدور نگردید.

از دیگر سو، اگر بر آنیم که شهر پدیده‌ای است پیچیده و رفع مسائل آن، جز از طریق شکل‌گیری گفتمانی میان متخصصان حوزه‌های گوناگون ممکن نخواهد بود و اگر برآنیم که پایداری، آرمان مشترک متخصصان معماری و شهرسازی است باید دغدغه‌ها و منویات معماران را نیز در تحلیل‌ها و طرح‌های خود دخیل سازیم. پژوهش‌های آتی باید در رفع انشقاقی که میان مطالعات آسایش حرارتی در دو مقیاس معماری و شهرسازی رخنمون گردیده بکوشند. یافتن جهت‌گیری بهینه برای خیابان‌های شهری بدون توجه به جهت‌گیری بناها کاری باطل و بیهوده است. همچنین، جستجوی جهت‌گیری بهینه خیابان در میان جهات اربعه کاری بیهوده است. جهت‌گیری بهینه خیابان‌های هر شهر و اقلیم باید با توجه هندسه کالبدی هر شهر و با نگاه به اقلیم و نظم غالب بر شبکه خیابان‌های آن صورت گیرد.

سخن آخر اینکه مشخصات موردنیاز مصالح بوم‌آوردی چون خشت جهت شبیه‌سازی در نرم‌افزارهای رایج مدل‌سازی اقلیمی نظیر ENVI-met باید به‌دست متخصصان و سازمان‌های مربوطه (سازمان بهره‌وری انرژی و مرکز تحقیقات معماری و شهرسازی و یا وزارت راه و شهرسازی و غیره) مورد تحقیق قرارگرفته، در قالب گزارش‌هایی منتشر گردد. پژوهش حاضر به دلیل نبود اطلاعات موردنیاز مصالح بوم‌آورد نظیر خشت، از شبیه‌سازی سناریوهای پیشنهادی، مبتنی بر مصالح بوم‌آورد بازماند. تهیهٔ جداول مشخصات مصالح بوم آورد مطابق با داده‌های ورودی مورد نیاز نرم‌افزارهای رایج تحلیل اقلیم، روند مطالعات این حوزه را تسهیل کرده و نتایج آن را تدقیق می‌نماید.

پی‌نوشت‌ها

1. optional
2. social

۳. برای مثال سیستم‌های HVAC

۴. بررسی آسایش حرارتی در فضاهای باز بیرونی، از آن جهت که عواملی همچون باد و تابش خورشید، همگن بودن محیط را به لحاظ حرارتی تهدید می‌کنند، پیچیدگی بیشتری نسبت به فضاهای داخلی دارد. بدیهی است که هم طراحان و هم کاربران فضا کنترل بیشتری بر فضاهای محصور داخلی داشته و تنظیم شرایط محیطی در فضاهای محصور و بستهٔ داخلی را بسیار آسان‌تر از فضاهای باز بیرونی می‌یابند. اغراق‌آمیز نخواهد بود اگر گفته شود که «در ساختمان‌های مدرن، انسان به ابعاد حرارتی بهشت نزدیک شده است» (لنکر، ۱۳۸۵، ۶۹).

۵. مواردی همچون اسکله کلارک در سنگاپور که با ایجاد فضایی سرپوشیده و دمیدن هوا بر فواره‌های آب (به کمک پره‌هایی که با انرژی الکتریکی به حرکت در می‌آیند)، شرایط آسایش را فراهم آورده‌اند.

۶. آسایش حرارتی، علاوه بر عوامل محیطی، متأثر از عوامل فردی (فیزیولوژیکی) و شخصی (ذهنی) نیز هستند.

7. geometery
8. orientation
9. Sky View Factor (SVF)
10. aspect ratio (H/W)

11. Leaf Index Area (LIA)

۱۲. این شهر، بنا بر طبقه‌بندی اقلیمی کوپن در ردهٔ بیابانی (Bwh) قرار می‌گیرد.

۱۳. بنا بر استانداردها، این ارتفاع معادل ارتفاع مرکز ثقل بدن یک انسان به‌صورت ایستاده است.

14. Time of exposure (Exposure to discomfort)

فهرست منابع

- حیدری، شاهین؛ منعام، علیرضا (۱۳۹۲). «ارزیابی شاخصه‌های آسایش حرارتی در فضای باز». *مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای*، ۲۰، ۱۹۷-۲۱۶.
- سوکولای، استیون (۱۳۹۵). *مقدمه‌ای بر علم معماری: مبانی معماری پایدار*، ترجمهٔ ریما فیاض، مجتبی مهدوی‌نیا و سینا معماریان، انتشارات دانشگاه هنر، تهران.
- طاهباز، منصوره؛ جلیلیان، شهربانو (۱۳۹۴). «نقش پیاده را بر خرداقلیم فضای باز-تحقیق میدانی در محوطه دانشگاهی»، *نشریه هنرهای زیبا-معماری و شهرسازی*، ۲۰(۴)، ۲۱-۳۲.
- گل، یان (۱۳۹۲). *شهر انسانی*، ترجمهٔ علی غفاری و لیلا غفاری. علم معمار، تهران.
- لنکر، نربرت (۱۳۸۵). *گرمایش، سرمایش، روشنایی: رویکردهای طراحی برای معماران*، ترجمهٔ محمدعلی کی‌نژاد، رحمان آذری، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز.
- محمودی، امیرسعید و دیگران (۱۳۸۹). «تأثیر طراحی در آسایش حرارتی فضای باز مجتمع‌های مسکونی نمونه مورد مطالعه: فاز سه مجتمع مسکونی اکباتان»، *نشریه هنرهای زیبا-معماری و شهرسازی*، ۲(۴۲)، ۵۹-۷۰.
- میوانه، فاطمه و دیگران (۱۳۹۳). «ارتباط بین شاخص‌های آسایش حرارتی و مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی»، *مجله دانشکده پزشکی دانشگاه علوم پزشکی مشهد*، ۵۷(۸)، ۹۳۲-۹۴۲.

- Achour-Younsi, S., 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.
- Ali-Toudert, F., Mayer, H. (2007). "Effects of asymmetry, galleries, overhanging facades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons", Solar Energy, 81(6), 742-754.
- Andreou, E. (2013). "Thermal comfort in outdoor spaces and urban canyon microclimate", *Renewable energy,* 55, 182-188.
- da Silveira Hirashima, S. Q., et al. (2016). "Daytime thermal comfort in urban spaces: A field study in Brazil", *Building and environment,* 107, 245-253.
- de Abreu-Harbich, L. V., *et al.* (2015). "Effect of tree planting design and tree species on human thermal comfort in the tropics", *Landscape and Urban Planning,* 138, 99-109.
- Erell, E., *et al.* (2012). *Urban microclimate: designing the spaces between buildings,* Routledge.
- Honjo, T. (2009). "Thermal comfort in outdoor environment", Global environmental research, 13, 43-47.
- ISO7730. (2004). *Standard 55-2004.* Thermal environmental conditions for human occupancy.
- Jacobs, J. (1982). *The Death and Life of Great American Cities,* Random House, Inc: New York.
- Johansson, E., *et al.* (2014). "Instruments and methods in outdoor thermal comfort studies–The need for standardization", *Urban Climate,* 10, 346-366.

- Klemm, W., *et al.* (2015). "Street greenery and its physical and psychological impact on thermal comfort", *Landscape and Urban Planning,* 138, 87–98.
- Krüger, E., Minella, F., & Rasia, F. (2011). "Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil", *Building and environment,* 46(3), 621–634.
- Lamarca, C., *et al.* (2016). "Thermal comfort and urban canyons morphology in coastal temperate climate, Concepción, Chile", *Urban Climate,* 23, 159–172
- Lin, T.–P. (2009). "Thermal perception, adaptation and attendance in a public square in hot and humid regions", *Building and environment,* 44(10), 2017–2026.
- Liu, J., Niu, J., & Xia, Q. (2016). "Combining measured thermal parameters and simulated wind velocity to predict outdoor thermal comfort", *Building and Environment,* 105, 185–197.
- Martinelli, L., *et al.* (2015). "Assessment of the influence of daily shadings pattern on human thermal comfort and attendance in Rome during summer period", *Building and environment,* 92, 30–38.
- Matzarakis, Mayer. (1996). "Another kind of environmental stress: thermal stress", *WHO newsletter,* 18, 7–10.
- Matzarakis A., Amelung B. (2008) "Physiological Equivalent Temperature as Indicator for Impacts of Climate Change on Thermal Comfort of Humans". In: Thomson M.C., Garcia–Herrera R., Beniston M. (eds) *Seasonal Forecasts, Climatic Change and Human Health* (161–172). Advances in Global Change Research, vol 30. Springer, Dordrecht.
- Middel, A., Häb, K., Brazel, A. J., Martin, C. A., & Guhathakurta, S. (2014). "Impact of urban form and design on mid–afternoon microclimate in Phoenix Local Climate Zones", *Landscape and Urban Planning,* 122, 16–28.
- Morakinyo, T. E., Kong, L., Lau, K. K. L., Yuan, C., & Ng, E. (2017). "A study on the impact of shadow–cast and tree species on in–canyon and neighborhood's thermal comfort", *Building and Environment,* 115, 1–17.
- Nikolopoulou, M., Steemers, K. (2003). "Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces", *Energy and buildings,* 35(1), 95–101.
- 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.
- Salata, F., *et al.* (2016). "Outdoor thermal comfort in the Mediterranean area. A transversal study in Rome, Italy", *Building and environment,* 96, 46–61.
- Sharmin, T., *et al.* (2015). "Analysis of microclimatic diversity and outdoor thermal comfort perceptions in the tropical megacity Dhaka, Bangladesh", *Building and environment,* 94, 734–750.
- Shashua–Bar, L., Tsiros, I. X., & Hoffman, M. (2012). "Passive cooling design options to ameliorate thermal comfort in urban streets of a Mediterranean climate (Athens) under hot summer conditions", *Building and Environment,* 57, 110–119.
- Taleb, D., Abu–Hijleh, B. (2013). "Urban heat islands: Potential effect of organic and structured urban configurations on temperature variations in Dubai, UAE", *Renewable energy,* 50, 747–762.
- Taleghani, M., *et al.* (2015). "Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands", *Building and environment,* 83, 65–78.