شبیه‌سازی شرایط میکروکلیمایی و آسایش حرارتی در معابر اصلی کلان‌شهر کرمانشاه *

کلثوم محمدی (فارغ التحصیل کارشناسی ارشد رشتهٔ آب وهواشناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه رازی)
حسن ذوالفقاری(دانشیار آب وهواشناسی گروه جغرافیا، دانشگاه رازی)**
طاهره کولیوند (فارغ التحصیل کارشناسی ارشد رشته معماری، دانشگاه ایلام)

تاریخ دریافت: ۱۲ بهمن ۱۳۹۶
تاریخ پذیرش: ۲۰ آبان ۱۳۹۷

کلید واژه ها:
شبیه‌سازی محیطی، آسایش حرارتی، Envi-met ، کلان‌شهر کرمانشاه.

چکیده

آسایش حرارتی در فضای باز یکی از مسائل مهم و تأثیرگذار بر جنبه‌های مختلف زندگی به‌شمار می‌رود. هدف از پژوهش حاضر کمک به درک بهتر عوامل تأثیرگذار بر آسایش حرارتی فضای باز مانند عرض پیاده‌روها، ابعاد تنگه‌های شهری و جهت‌گیری آن‌هاست. در این تحقیق شهر کرمانشاه به‌عنوان منطقهٔ مورد مطالعه انتخاب شده و چهار معبر اصلی آن به نام‌های مدرس، کسری، نوبهار و طاق‌بستان مورد بررسی قرار گرفته است. داده‌های هواشناسی موردنیاز برای دورهٔ زمانی ۵۹ ساله از ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰ از ادارهٔ هواشناسی کرمانشاه دریافت شد. عناصر محیطی برای هر کدام از معابر به‌صورت میدانی برداشت شد. داده‌های موجود در نهایت وارد نرم‌افزار Envi-met شد. نتایج شبیه‌سازی‌های مدل نشان داد که مقادیر شاخص PMV تابستان و زمستان تنها در معبر شمالی- جنوبی نوبهار در محدودهٔ آسایش حرارتی قرار دارد و معبر کسری با تغییر جهت از شرقی- غربی به شمالی- جنوبی صرفاً در زمستان به میزان ۰/۴۰ واحد PMV بهبودی نشان می‌دهد. افزایش عرض معابر به میزان ۵۰٪، موجب افزایش دما در تابستان و زمستان شد. همچنین افزایش ارتفاع ساختمان‌های اطراف معابر خیابان مدرس، کسری و طاق‌بستان موجب بهبود آسایش حرارتی تابستان و اثر معکوس در زمستان شد.

* (این مقاله مستخرج از یک پایان نامه کارشناسی ارشد است که در رشته آب وهواشناسی گروه جغرافیای دانشگاه رازی توسط خانم کلثوم محمدی و به راهنمایی اینجانب حسن ذوالفقاری(عضو هیات علمی دانشگاه رازی) و سرکار خانم مریم کولیوند کارشناس ارشد رشته معماری، تهیه شده است).

** نویسنده مسئول: حسن ذوالفقاری
پست الکترونیک: h.zolfaghari@razi.ac.ir

مقدمه

فضاهای شهری بخشی از فضاهای باز و عمومی شهرها هستند که به نوعی تبلور ماهیت زندگی جمعی می‌باشند؛ یعنی جایی که شهروندان در آن حضور دارند. فضاهای شهری صحنه‌ای است که داستان زندگی جمعی در آن گشوده می شود (پاکزاد، ۱۳۸۵: ۴۷). در فضاهای باز، عابر شرایط مختلفی را تجربه می کند و عوامل زیادی در درک او از شرایط حرارتی تأثیرگذار است؛ از ان رو معماران، طراحان و برنامه‌ریزان شهری همواره در تلاش هستند تا محیطی مناسب برای گذراندن اوقات مردم ایجاد کنند که در واقع آسایش حراراتی آن‌ها را فراهم کند. این مهم از طریق یک برنامه‌ریزی آگاهانه در زمینه طراحی درست خیابان‌ها، عرض پیاده‌روها، انتخاب و جایگذاری مناسب عوامل سایه‌انداز و سایر موارد امکان‌پذیر است. با توجه به اهمیت استفاده از عوامل طبیعی در معماری و شهرسازی امروز و نیاز به ایجاد پایداری اکولوژیک میان طبیعت و مصنوعات بشری، حداکثر استفاده از عوامل محیطی و طبیعی در شهرسازی جزو ارکان پایداری در این زمینه است. پژوهش حاضر به بررسی تأثیر عوامل میکروکلیمایی بر آسایش محیطی و حرارتی در فضاهای شهری پرداخته است که در واقع نتایج حاصل از آن به طراحان و برنامه‌ریزان شهری کمک کند تا بتوانند محیط‌هایی با آسایش حرارتی، طراحی و برنامه‌ریزی کنند و معضلات مصرف انرژی و مشکلات اجتماعی شهر را کاهش دهند.

با بررسی صورت گرفته مشخص شد در زمینهٔ تأثیر عوامل میکروکلیمایی بر شرایط آسایش حرارتی کاربران در محیط‌های بسته، تحقیقات گوناگونی انجام گرفته است؛ اما به‌دلیل پیچیدگی زیاد فضای باز از نظر تنوع، شرایط موقت فضایی و همچنین طیف وسیع فعالیت‌های مردم در این فضاها تا قبل از سال ۲۰۰۰، تلاش‌های اندکی برای فهم شرایط آسایش در فضای باز صورت گرفته بود و در مطالعاتی که در دو دههٔ اخیر انجام گرفته است دقیقاً مسألهٔ شرایط اقلیمی در آسایش حرارتی مورد بررسی قرار نگرفته است. نخستین افرادی که سعی در بررسی شرایط آسایش حرارتی در فضای باز داشتند، گلد[1] در دههٔ ۱۹۳۰ و پاسل[2] در دههٔ ۱۹۴۰ در قطب جنوب، مبتکران شاخص سرمایش باد بودند. در ادامه در شرایطی که هیچ مطالعات مشابهی انجام نشد، چهل سال بعد پن واردن[3] در سال ۱۹۷۳ با افزودن یک شرط برای تابش خورشید به یک مدل حالت پایدار، اقدام به یک رویکرد سیستماتیک‌تری برای شرایط آسایش حرارتی فضای باز کرد (نیکولوپولو و لیکودیس[4]، ۲۰۰۶: ۶۲۲). همچنین می‌توان به تحقیقات ریزک و هنز[5] (۲۰۱۰: ۱۷۱۱) وانیا و همکاران[6] (۲۰۱۲: ۹۱) و مطالعهٔ مورنو[7] و همکاران (۲۰۰۸: ۲) در این زمینه اشاره کرد که به ارتباط علّی و معلولی بین محیط بیوفیزیکی و حالت‌های ذهنی آسایش حرارتی تأکید داشته‌اند و در زمینهٔ مطالعات انجام‌گرفته با نرم‌افزار میکروکلیمایی Envi-met می‌توان پژوهش‌های تودرت و مایر[8] (۲۰۰۷: ۷۴۲)، کروگر[9] و همکاران (۲۰۱۱: ۶۲۱) و هوتنر[10] و همکاران (۲۰۰۹: ۲) را نام برد که با استفاده از این مدل، تأثیر شکل هندسی خیابان‌ها را بر آسایش حرارتی در معابر شهری ارزیابی کردند. در بسیاری از پژوهش‌های انجام گرفته، به الگوهای خُرداقلیم، عناصر اقلیمی مؤثر بر آسایش به شکل جداگانه یا در اثرپذیری از عناصر طبیعی شهری توجه شده است که

1. Gold
2. Passel
3. Pen Warden
4. Nikolopouloou & Lykoudis
5. Rizk & Henze
6. Wania & et al
7. Moreno
8. Toudert & Mayer
9. Kruger
10. Huttner

می‌توان از پژوهش دی مارشالک[1] و همکاران (۲۰۰۸: ۳۳۹)، کاتیا[2] و همکاران (۲۰۱۷: ۳۷۳)، باستین و کریستف[3] (۲۰۱۶: ۳۹۲)، فردیناندو[4] و همکاران (۲۰۱۶: ۳۱۸)، تانیا[5] و همکاران (۲۰۱۷: ۲۹۳)، استلا[6] و همکاران (۲۰۱۷: ۹۶) و کووتسنگ و یی جون[7] (۲۰۱۷: ۴۴۸) در این زمینه یاد کرد. همچنین در ایران، توسلی (۱۳۶۰: ۱۰) ساخت شهر و معماری همساز با اقلیم را برای اقلیم گرم و خشک بررسی کرد و در نتایج پژوهش منشی‌زاده و همکاران (۱۳۹۱: ۱۰۹)، 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 یا 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. با نرم‌افزار Envi-met نیز محققانی ازجمله شمسی‌پور و امینی (۱۳۹۲: ۸۵)، شمسی‌پور و همکاران (۱۳۹۲: ۷۹)، شمسی‌پور و همکاران (۱۳۹۴: ۸۵) پراکنش co، تحلیل آثار پوشش سطوح معابر و بررسی گسترش فضای سبز بر الگوی جزیرهٔ گرمایی را مطالعه کرده‌اند که در مواردی، نتایج مشابهی حاصل شده است؛ با این وجود پژوهش حاضر با شبیه‌سازی فضاهای باز شهری در مقیاس بزرگ، امکان مقایسهٔ چندین نمونه از فضای باز شهری را فراهم کرده است که در کارهای فوق در مقیاس کوچک‌تری صورت گرفته است. علاوه‌بر این، مطالعهٔ حاضر برای تمام سال با در نظر گرفتن دورهٔ گرم و سرد سال صورت گرفته است که در کارهای فوق فقط به‌صورت محدود طی یک بازهٔ زمانی اندک مورد توجه بوده است. انتخاب معابر اصلی از جهات جغرافیایی متفاوت کرمانشاه می‌تواند بیانگر شرایط حرارتی نسبتاً واقعی‌تری از کل شهر باشد. در این پژوهش سعی شده است با توجه به ویژگی‌های خرده‌اقلیمی معابر شهری و نیز توجه به چالش‌های انرژی در شرایط امروزی جهان و اهمیت حیاتی معماری اقلیمی و معماری سبز، قدمی در راستای بهینه‌سازی مصرف انرژی و حفظ منابع ارزشمند انرژی برداشته شود.

داده ها و روش‌ها

شهر کرمانشاه به‌عنوان مرکز استان کرمانشاه که یکی از کانون‌های مهم جمعیتی در غرب کشور بوده و جمعیتی بالغبر یک میلیون نفر را در خود جای داده است، به‌عنوان منطقهٔ مورد مطالعه انتخاب شده و چهار معبر اصلی به‌عنوان نمونه در چهار حالت واقعی، تغییر جهت، افزایش عرض و افزایش ارتفاع مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۱).

* انتخاب تغییر جهت ۹۰ درجه‌ای در حالی که معابر جهت‌های‌مختلفی‌دارند، دلایل‌مختلفی‌به شرح زیر دارد:

۱- هدف از انتخاب، تغییر جهت ۹۰ درجه‌ای عوض‌کردن جهت اصلی به مقدار قابل‌توجهی است تا بتوان حداکثر تغییرات در معبر را دید و اینکه جهت‌گیری‌ها چه تأثیری بر شرایط آسایش حرارتی معبر دارد.

۲- بین این چهار معبر مقایسه صورت نمی‌گیرد، زیرا این معابر شرایط فیزیکی متفاوتی از هم دارند و قابل‌مقایسه با هم نیستند. انتخاب این چهار معبر به‌عنوان چهار معبر اصلی شهر است که اوج ترافیک شهر را در خود دارد و از چهار نقطهٔ اصلی شهر انتخاب شده است؛ پس هر کدام نمایندهٔ یک گروه معبر مختلف است و با تغییر جهت‌گیری در هر کدام ار این معابر انتخابی سعی در درک تأثیر آن بر آسایش

1. De Maerschalck
2. Katia
3. Bastian & Christoph
4. Ferdinando
5. Tania
6. Stella
7. Kuo-Tsang & Yi-Jhen

حرارتی در گروه‌های این معابر است و هدف مقایسهٔ آن‌ها با هم نیست.

۳- همگی این تغییرات به‌عنوان معرفی شرایط شهری و پیشنهادهایی برای تغییرات بلندمدت یا به‌کارگیری هر کدام در ساخت شهرک‌های جدید احداث در شهر است. پس این میزان تغییر در جهت‌گیری به این صورت، توجیه منطقی دارد.

* افزایش عرض معبر به میزان ۵۰ درصد

تغییرات دوم تحقیق در جهت جوابگویی به فرضیات تحقیق تغییرات عرض معابر به میزان ۵۰ درصد عرض ابتدایی است. انتخاب این میزان افزایش عرض دو دلیل دربر داشته است:

۱- تغییرات کمتر از ۵۰ درصد نمی‌توانست تأثیرات حداکثری افزایش عرض معابر را نشان دهد و نتایج گرفته‌شده‌بسیار نزدیک‌به نتایج شرایط واقعی معبر بود.

۲- تغییرات بیشتر از ۵۰ درصد روند تأثیرات را برعکس می‌کرد و تأثیرات باد و سایه‌اندازی ساختمان در معابر را از بین می‌برد. از طرفی معابر اصلی شهر خود معابر بزرگی هستند که عرض زیادی دارند. از این افزایش عرض معابر بیشتر از ۵۰ درصد حالت این معابر را از معابر درون‌شهری و تنگهٔ شهری تغییر می‌دهد.

* افزایش دو برابری ارتفاع ساختمان‌ها

تغییرات سوم افزایش ارتفاع ساختمان‌ها تا دو برابر حالت اولیه است. انتخاب این میزان افزایش ارتفاع ساختمان‌ها برای دیدن حداکثر تأثیر سایه‌اندازی ساختمان و حالت تنگه‌های شهری در معابر کرمانشاه است. براساس مطالعات میدانی خود نگارنده در شهر کرمانشاه، افزایش این میزان ارتفاع (دوبرابر شدن) در محدوده نسبت H/W سایر معابر و تنگه‌های کرمانشاه قرار می‌گیرد و به صورت کلی می‌توان حالت بهینه برای جهت‌گیری، عرض و ارتفاع را با کمک نرم‌افزار به‌دست آورد؛ اما به‌دلیل مفصل‌بودن نتایج و طولانی‌بودن زمان انجام، در این مقاله نمی‌گنجد و هر کدام از حالت‌های بهینه برای تک‌تک موارد ذکرشده می‌تواند مقاله‌ای جداگانه باشد که برای محدوده‌های انتخابی انجام پذیرد و این مقاله می‌تواند مقدمه‌ای برای مقالات آینده باشد.

شکل ۱. نمای کلی معابر مورد مطالعه در تصویر هوایی شهر کرمانشاه.

۱- بلوار طاق‌بستان، ۲- بلوار نوبهار، ۳- خیابان مدرس، ۴- خیابان کسری.

(منبع: گوگل ارث پرو، ۲۰۱۸)

داده‌های مورد نیاز در این تحقیق به چهار دسته تقسیم می‌شوند که به شیوه‌های مختلف تهیه و مورد استفاده قرار گرفته است:

۱- داده‌های مربوط به متغیّرهای موقعیتی شامل طول و عرض جغرافیایی معابر مورد مطالعه که بعد از محاسبه مورد استفاده قرار گرفتند.

۲- متغیّرهای هواشناسی ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه برای یک دورهٔ ۵۹ ساله از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰ که از طریق ادارهٔ هواشناسی استان کرمانشاه مطابق با جدول ۱ محاسبه و در مدل، مورد استفاده قرار گرفته است.

جدول ۱. متغیّرهای اقلیمی مورد استفاده در مدل Envi-met.

جهت باد (درجه)	سرعت باد m/s	رطوبت حداکثر%	رطوبت حداقل%	رطوبت نسبی متوسط%	دما حداکثر(K)	دما حداقل(K)	دما متوسط(K)	دورهٔ زمانی
۲۷۰°	۲/۱۶	۸۹	۵۲	۷۳	۲۸۰/۴	۲۶۹/۴	۲۷۴/۹	زمستان (دی ماه)
۲۴۰°	۲/۶۷	۳۷	۱۳	۲۳	۳۱۱	۲۸۹/۶	۳۰۰/۳	تابستان (تیر ماه)

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۵)

۳- متغیّرهای میدانی شامل برخی از مهم‌ترین و مؤثرترین ویژگی‌های هندسی، معماری و محیطی ازجمله پوشش گیاهی، عرض معابر، تعداد کوچه‌ها و خیابان‌های فرعی، تعداد طبقات ساختمان‌ها، تعداد خطوط پیاده‌روها، جهت‌گیری معبر و... برای معابر مورد مطالعه به شرح زیر برداشت و وارد Envi-met شده است.

* بلوار طاق‌بستان از میدان امام علی(ع) تا لبآب (به طول تقریباً ۳/۳۲ کیلومتر)
* بلوار نوبهار از میدان مرکزی نوبهار تا سی‌متری اول نوبهار (به طول تقریباً ۱ کیلومتر)
* خیابان مدرس از میدان آزادی تا میدان انقلاب (به طول تقریباً ۱/۸۶ کیلومتر)
* خیابان کسری از میدان فردوسی تا میدان آزادگان (به طول تقریباً ۱/۷۱ کیلومتر)

۴- اطلاعات مربوط به نقشه و تصویر پایه با استفاده از امکانات گوگل ارث.

بررسی آسایش حرارتی در تنگه‌های شهری نیازمند مدل‌سازی (عناصر محیط و هندسهٔ تنگه‌های شهری و...) و حل معادلات تعادل انرژی و انتقال جرم و حرارت است. به این منظور از نرم‌افزار شبیه‌سازی محیط شهری به‌نام Envi-met استفاده شده است که یک نرم‌افزار برای محاسبهٔ دینامیک سیالات است و درحال حاضر یکی ازجامع‌ترین مدل‌ها برای محاسبهٔ آسایش حرارتی انسان است (هوتنر[1] و همکاران، ۲۰۰۹: ۲) که مایکل بروس[2] خالق نرم‌افزار هر سال آن را بهبود می‌بخشد. در این مطالعه از جدیدترین نسخهٔ نرم‌افزار Envi-met (نسخهٔ چهار) استفاده شده است. مراحل مختلف مدل‌سازی، پیکربندی و درنهایت شبیه‌سازی شرایط آسایش حرارتی معابر انتخاب شده و دریافت خروجی‌های موردنیاز براساس مدل مذکور انجام گرفته است. داده‌های خروجی شاملِ نقشه‌های حرارتی و داده‌های اکسلی آسایش حرارتی شاخص دمای متوسط پیش‌بینی‌شده[3] (PMV) است که امروزه از مهم‌ترین شاخص‌های فیزیولوژی- دما محسوب می‌شود و علاوه‌بر مطالعات مربوط به برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، در تعیین مؤلفه‌های حرارتی میکروکلیماهای شهری نیز کاربرد وسیعی پیدا کرده

1. Huttner
2. Michael Bruse
3. Predicted Mean Vote

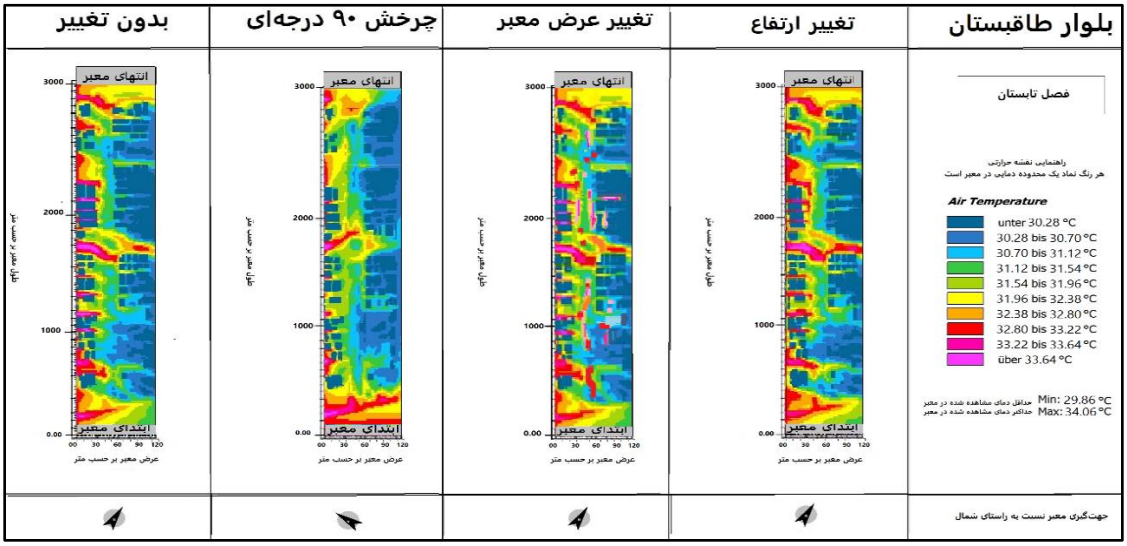
است. مقیاس PMV نوعی تقسیم‌بندی احساس حرارتی ۷ درجه‌ای است که دامنهٔ آن از ۳- (سرد) تا ۳+ (گرم) تغییر می‌کند (ذوالفقاری، ۱۳۹۴: ۶۶).

نتایج و بحث

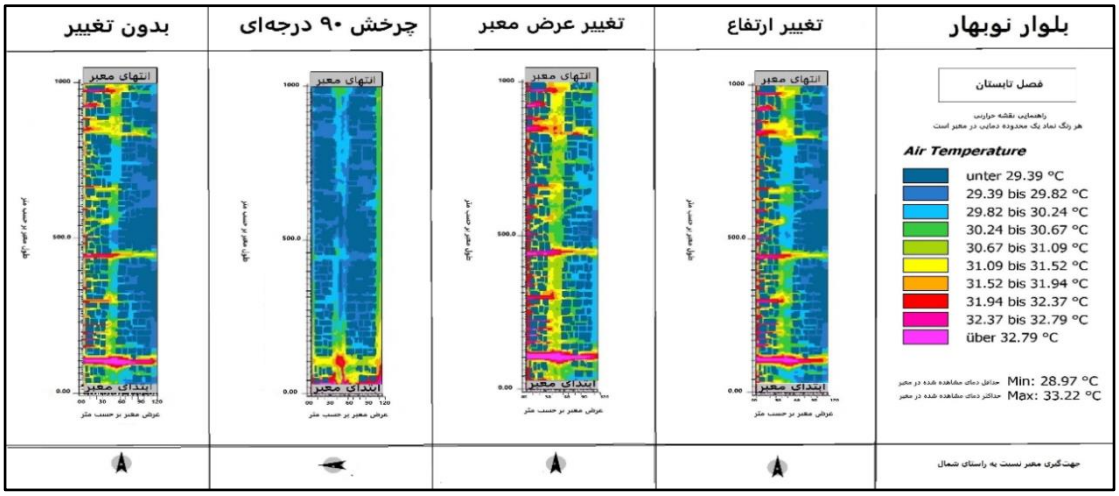
براساس قابلیت‌های نرم‌افزار Envi-met، عملیات شبیه‌سازی خرده‌اقلیمی و شرایط آسایش حرارتی هر کدام از معابر منتخب شهر کرمانشاه به‌طور جداگانه طی تیر و دی ماه به‌عنوان نمایندگان فصول تابستان و زمستان به‌ترتیب اجرا شد که در ادامه ویژگی‌های هر معبر برای فصول مورد مطالعه ارائه و نتایج به‌دست‌آمده مورد بحث قرار می‌گیرد.

شرایط حرارتی تابستان در معابر انتخابی

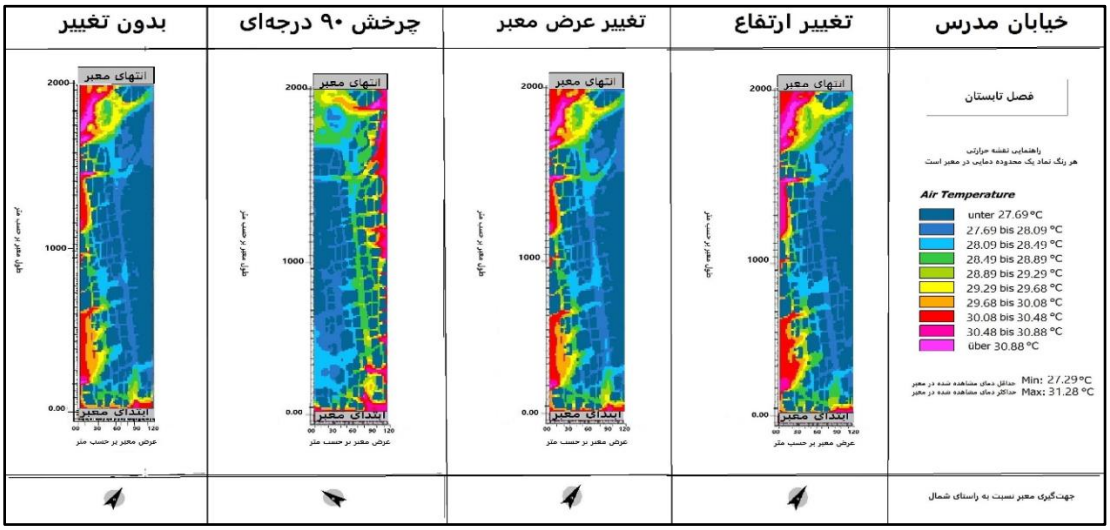
شکل۲، ۳، ۴ و ۵ شرایط حرارتی چهار معبر انتخابی را در حالت‌های واقعی، تغییر جهت، افزایش ۵۰ درصدی عرض معابر و افزایش ارتفاع ساختمان‌های اطراف معابر تا دو برابر برای فصل تابستان نشان می‌دهند. در بلوار طاق‌بستان با جهت‌گیری شمال شرقی- جنوب غربی، هم‌راستای جهت وزش باد در فصل تابستان ۲۴۰ درجه است. در مجموع در فصل تابستان بدترین شرایط حرارتی (بیش‌ترین دما) در کنار گشودگی‌های متعدد در معبر صورت گرفته است؛ به‌طوری که بیشترین دمای مشاهده‌شده در معبر حدود ۳۴/۰۶ درجهٔ سانتی‌گراد است (شکل ۲). در بلوار نوبهار با جهت شمالی- جنوبی با باد تابستانی هم‌راستا نیست. در ابتدای معبر و در اواسط معبر به‌دلیل سطح کمتر سایه‌اندازی توسط عوامل سایه‌انداز مانند ساختمان‌های بلندمرتبه یا درختان معابر دما افزایش یافته است. حداکثر دمای مشاهده‌شده در معبر ۳۳/۲۲ درجهٔ سانتی‌گراد است (شکل ۳). در خیابان مدرس با جهت‌گیری شمال شرقی- جنوب غربی باد به‌صورت مایل به ساختمان‌های اطراف معبر برخورد کرده و از سرعت آن کاسته می‌شود. به‌همین‌دلیل میزان نفوذ باد گرم تابستانی به درون معبر به‌شدت کاهش می‌یابد. شرایط حرارتی در کناره‌های معبر که در معرض نفوذ باد گرم هستند، بسیار بحرانی‌تر از سایر مناطق است. همچنین به‌دلیل وجود معابر فرعی زیاد میزان نفوذ جریان باد گرم تابستانی به معبر افزایش یافته و تنش حرارتی در قسمت میانی معبر بیشتر دیده می‌شود (شکل ۴). در خیابان کسری با جهت‌گیری شرقی- غربی نوع رفتار حرارتی آن با سایر معابر بسیار متفاوت است. با توجه به شکل ۵ می‌توان گفت که در اثر نفوذ جریان گرم به ابتدای معبر، شرایط حرارتی در آن نقاط حاد و بسیار گرم است و رفته‌رفته در طول معبر دمای هوا تعدیل می‌شود. واضح است که نقاط بحرانی در این معبر در ابتدای معبر عموماً بیشتر دیده می‌شوند. هرچند در فصل تابستان عموماً در تمام نقاط گرمای بیشتری محسوس است؛ ولی نفوذ جریان هوای گرم موجب تشدید شرایط حرارتی می‌شود.



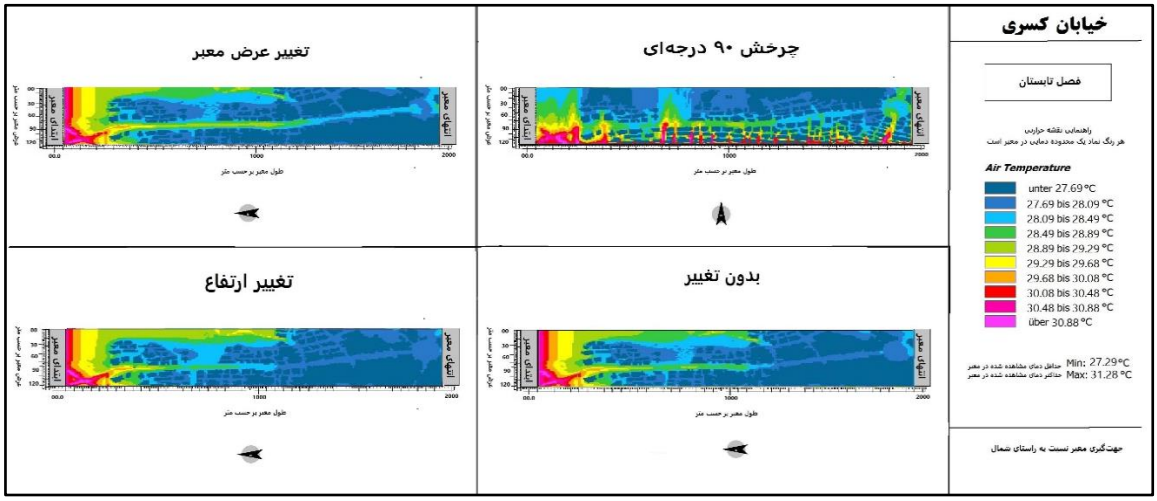
شکل ۲. مقایسهٔ شرایط حرارتی بلوار طاق‌بستان در حالت‌های مختلف در تابستان (منبع: نگارندگان، ۱۳۹۵)



شکل ۳. مقایسهٔ شرایط حرارتی بلوار نوبهار در حالت‌های مختلف در تابستان (منبع: نگارندگان، ۱۳۹۵)



شکل ۴. مقایسهٔ شرایط حرارتی خیابان مدرس در حالت‌های مختلف در تابستان (منبع: نگارندگان، ۱۳۹۵)



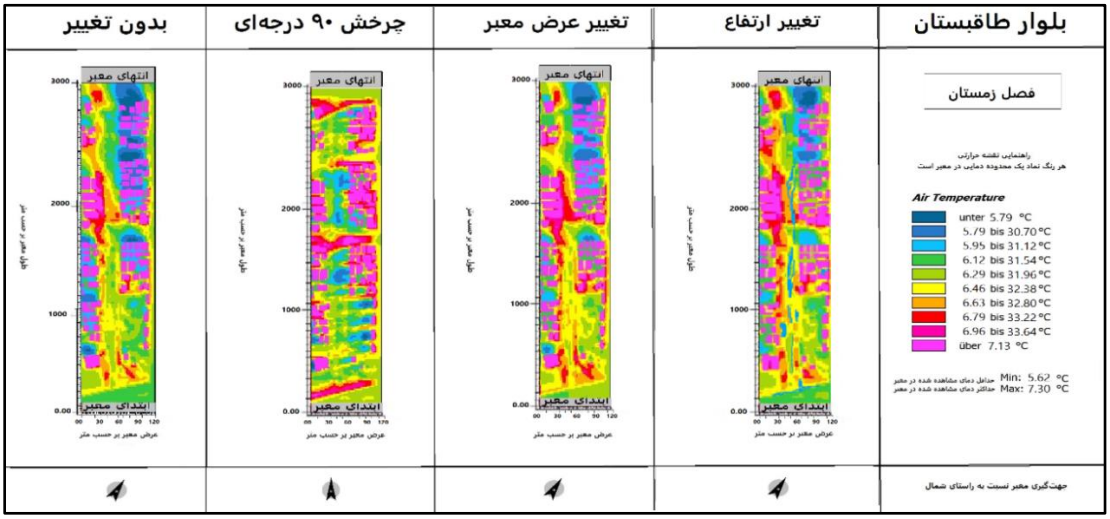
شکل ۵. مقایسهٔ شرایط حرارتی خیابان کسری در حالت‌های مختلف در تابستان

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۵)

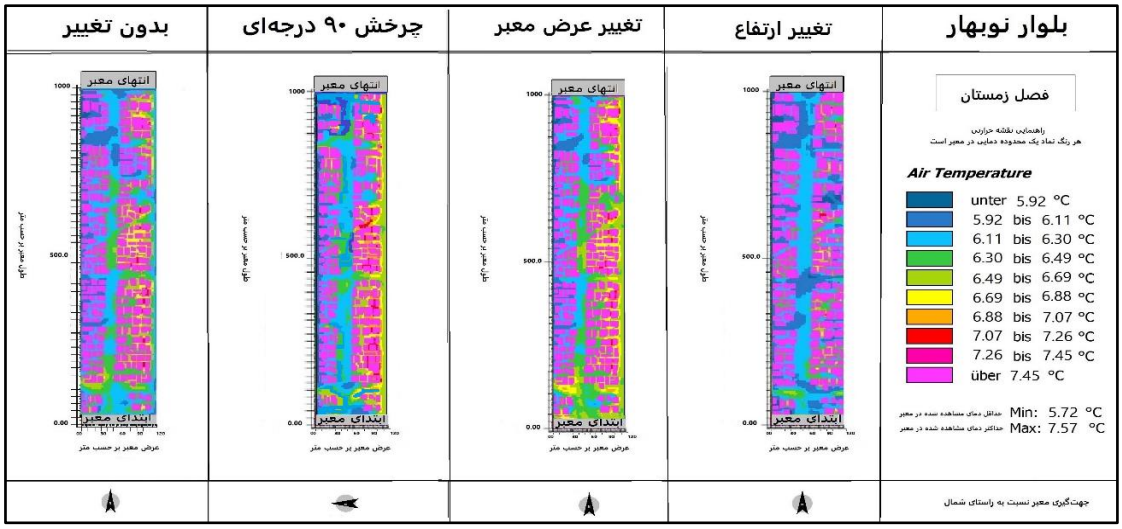
شرایط حرارتی زمستان در معابر انتخابی

شکل‌های۶، ۷، ۸ و ۹ شرایط حرارتی چهار معبر انتخابی را در حالت‌های مختلف برای فصل زمستان نشان می‌دهند. در بلوار طاق‌بستان نفوذ باد غالب به درون معبر بسیار اندک است؛ زیرا جهت‌گیری معبر و جهت باد در زمستان به‌صورتی است که نفوذ باد بسیارکم دیده می‌شود. شرایط حرارتی در فصل زمستان در این معبر بسیار جالب توجه است. در طول معبر دمای هوا بیشتر می‌شود. دلیل عمدهٔ این موضوع تأثیر دریافت تابش خورشید و حفظ آن توسط مصالح معبر است (شکل ۶). در بلوار نوبهار در ابتدا و اواسط معبر به‌علت ورود جریان باد سرد زمستانی اندکی بدتر (دما پایین‌تر) است و نقاط بحرانی در این معبر در زمستان با فصل تابستان در همین معبر تطابق دارد (شکل ۷).

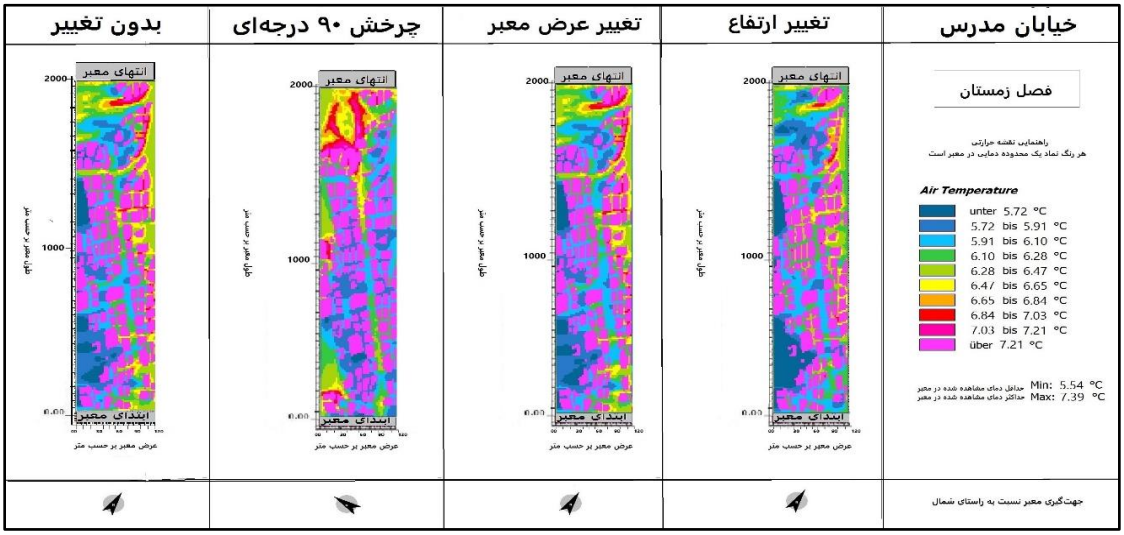
شکل ۸ نشان می‌دهد که شرایط حرارتی خیابان مدرس در فصل زمستان خیلی نامطلوب نیست، چراکه به‌دلیل جهت‌گیری معبر، نفوذ باد سرد زمستانی به داخل معبر کم است. شرایط حرارتی در معبر در مواقعی بالاست؛ زیرا مصالح مورد استفاده عموماً ظرفیت حرارتی بالایی دارند. در خیابان کسری به‌دلیل جهت‌گیری موازی با جهت باد غالب در زمستان، باد از ابتدای تنگهٔ شهری نام‌برده وارد معبر شده و کاهش دما را موجب می‌شود. همچنین به‌دلیل تراکم ساختمانی زیاد، در برخی مناطق شرایط حرارتی حادتری (سردتر) دیده می‌شود. در مرکز معبر که زمین‌های بایر وجود دارد، جذب بیشتر تابش خورشید و گرم‌شدن سطح باعث بهبود شرایط حرارتی اطراف معبر شده است (شکل ۹).



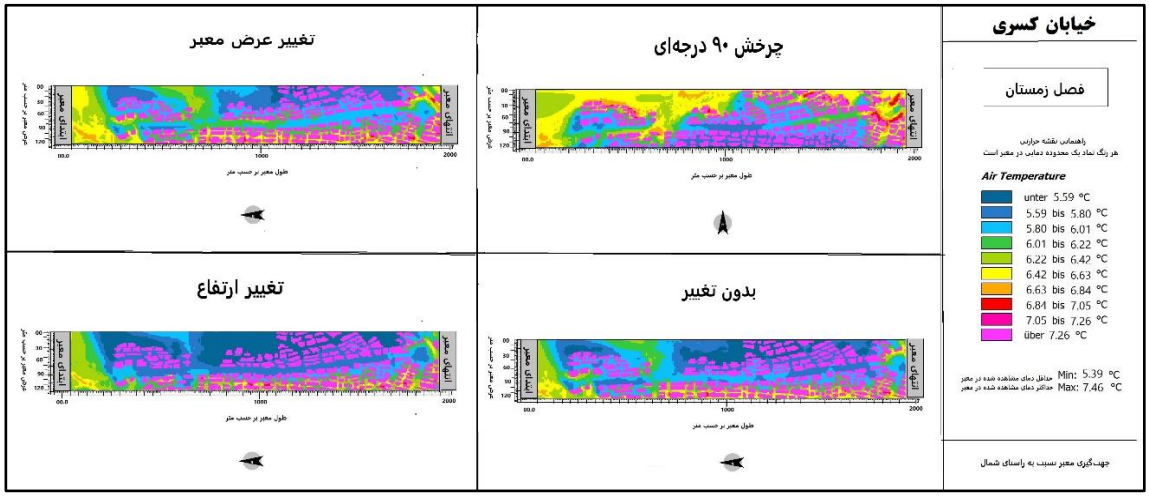
شکل ۶. مقایسهٔ شرایط حرارتی بلوار طاق‌بستان در حالت‌های مختلف در زمستان (منبع: نگارندگان، ۱۳۹۵)



شکل ۷. مقایسهٔ شرایط حرارتی بلوار نوبهار در حالت‌های مختلف در زمستان (منبع: نگارندگان، ۱۳۹۵)



شکل ۸. مقایسهٔ شرایط حرارتی خیابان مدرس در حالت‌های مختلف در زمستان (منبع: نگارندگان، ۱۳۹۵)



شکل ۹. مقایسهٔ شرایط حرارتی خیابان کسری در حالت‌های مختلف در زمستان

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۵)

نتیجهٔ اعمال فرض‌های شبیه‌سازی برای معابر انتخابی در تابستان و زمستان

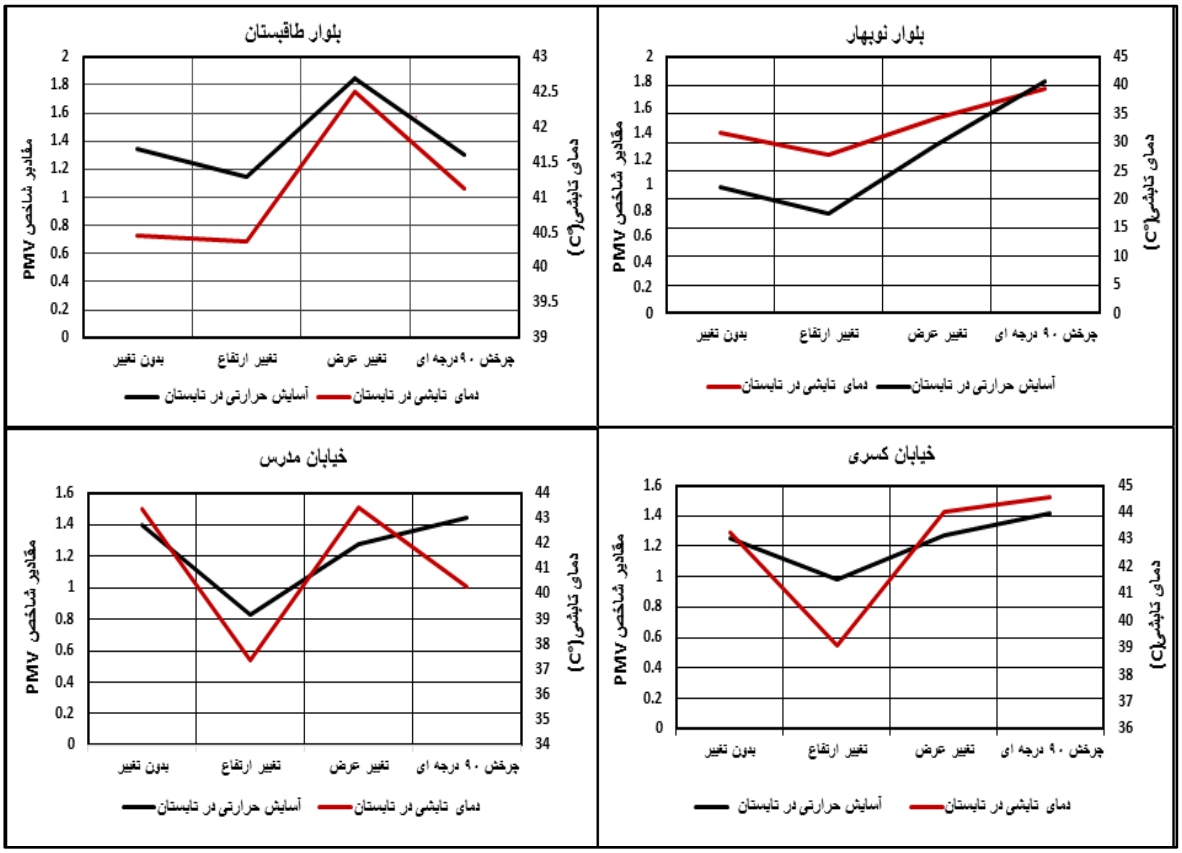
در جدول ۲، میانگین روزانهٔ دو مؤلفهٔ اقلیمی دمای تابشی و آسایش حرارتی در فصل تابستان و زمستان نشان داده شده است. حداکثر میانگین مشاهده‌شده در ستون ۴ (با رنگ قرمز) و حداقل میانگین در ستون ۵ (با رنگ زرد) در جدول مشخص شده است. با توجه به جدول ۲، چهار معبر انتخابی در تابستان کمترین مقادیر دمای تابشی و بیش‌ترین مقادیر PMV (بیش‌ترین سطح آسایش) را در حالت افزایش ارتفاع ساختمان‌ها در دو طرف معبر دارند. با افزایش ارتفاع، سطح سایه‌اندازی و همپوشانی ساختمان‌ها با هم زیاد می‌شود؛ ازاین‌رو با افزایش سرعت باد میزان دریافت تابش خورشید کاهش می‌یابد. این تغییرات براساس دمای تابشی این دو معبر قابل‌توجیه است؛ زیرا آسایش حرارتی در فضای باز (فضاهای شهری) بیشتر تابع تغییرات دمای تابشی است. در طاق‌بستان و مدرس بیشترین مقادیر مشاهده‌شده دمای تابشی و آسایش حرارتی در حالت افزایش عرض معبر دیده می‌شود که دلیل آن پهنای بیشتر خیابان و کاهش سطح سایه‌اندازی و دریافت بیشتر تابش خورشید در کل سطح معبر است، اما در خیابان نوبهار و کسری بیشترین مقادیر آسایش حرارتی در تغییر جهت معبر مشاهده می‌شود؛ زیرا در این حالت به‌دلیل تغییر جهت، جذب تابش خورشید بیشتر شده است. در زمستان همهٔ معابر کمترین سطح آسایش حرارتی را با فرض افزایش ارتفاع ساختمان‌ها نشان می‌دهند. بیش‌ترین سطح آسایش حرارتی در نوبهار و مدرس در با فرض افزایش عرض و در طاق‌بستان و کسری در فرض چرخش ۹۰ درجه‌ای معبر دیده می‌شود.

جدول ۲. نتایج شبیه‌سازی‌های مدل Envi-met برای معابر انتخابی در زمستان و تابستان

معابر	مؤلفه‌های اقلیمی	شرایط واقعی	افزایش عرض معبر	افزایش ارتفاع معبر	چرخش ۹۰ درجه‌ای کل معبر
تابستان					
طالقیستان	میانگین روزانهٔ دمای تابشی (درجهٔ سانتی‌گراد)	۴۰/۴۶	۴۲/۴۹	۴۰/۳۷	۴۱/۱۲
	میانگین روزانهٔ آسایش حرارتی (PMV)	۱/۳۴	۱/۸۴	۱/۱۴	۱/۳۰
نوبهار	میانگین روزانهٔ دمای تابشی (درجهٔ سانتی‌گراد)	۳۱/۷۴	۳۴/۴۱	۲۷/۸۷	۳۹/۳۳
	میانگین روزانهٔ آسایش حرارتی (PMV)	۰/۹۸	۱/۳۱	۰/۷۷	۱/۸۱
مدرس	میانگین روزانهٔ دمای تابشی (درجهٔ سانتی‌گراد)	۴۳/۳۶	۴۳/۴۳	۳۷/۳۵	۴۰/۲۸
	میانگین روزانهٔ آسایش حرارتی (PMV)	۱/۴۰	۱/۲۸	۰/۸۲	۱/۴۴
کسری	میانگین روزانهٔ دمای تابشی (درجهٔ سانتی‌گراد)	۴۳/۲۷	۴۴/۰۴	۳۹/۰۷	۴۵/۵۸
	میانگین روزانهٔ آسایش حرارتی (PMV)	۱/۳۱	۱/۲۷	۰/۹۱	۱/۴۳
زمستان					
طالقیستان	میانگین روزانهٔ دمای تابشی (درجهٔ سانتی‌گراد)	۱۲/۷۰	۱۲/۷۳	۱۰/۳۱	۱۳/۱۹
	میانگین روزانهٔ آسایش حرارتی (PMV)	-۱/۷۱	-۱/۷۰	-۱/۷۶	-۱/۶۹
نوبهار	میانگین روزانهٔ دمای تابشی (درجهٔ سانتی‌گراد)	۵/۵۶	۸/۹۲	۷/۸۶	۷/۷۳
	میانگین روزانهٔ آسایش حرارتی (PMV)	-۱/۶۴	-۱/۵۹	-۱/۸۱	-۱/۷۹
مدرس	میانگین روزانهٔ دمای تابشی (درجهٔ سانتی‌گراد)	۱۴/۴۳	۱۲/۹۴	۹/۱۶	۱۲/۰۰
	میانگین روزانهٔ آسایش حرارتی (PMV)	-۱/۶۵	-۱/۶۲	-۱/۷۳	-۱/۷۱
کسری	میانگین روزانهٔ دمای تابشی (درجهٔ سانتی‌گراد)	۹/۴۹	۹/۷۶	۸/۰۰	۱۰/۷۲
	میانگین روزانهٔ آسایش حرارتی (PMV)	-۱/۷۷	-۱/۷۵	-۱/۸۵	-۱/۳۷

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۵)

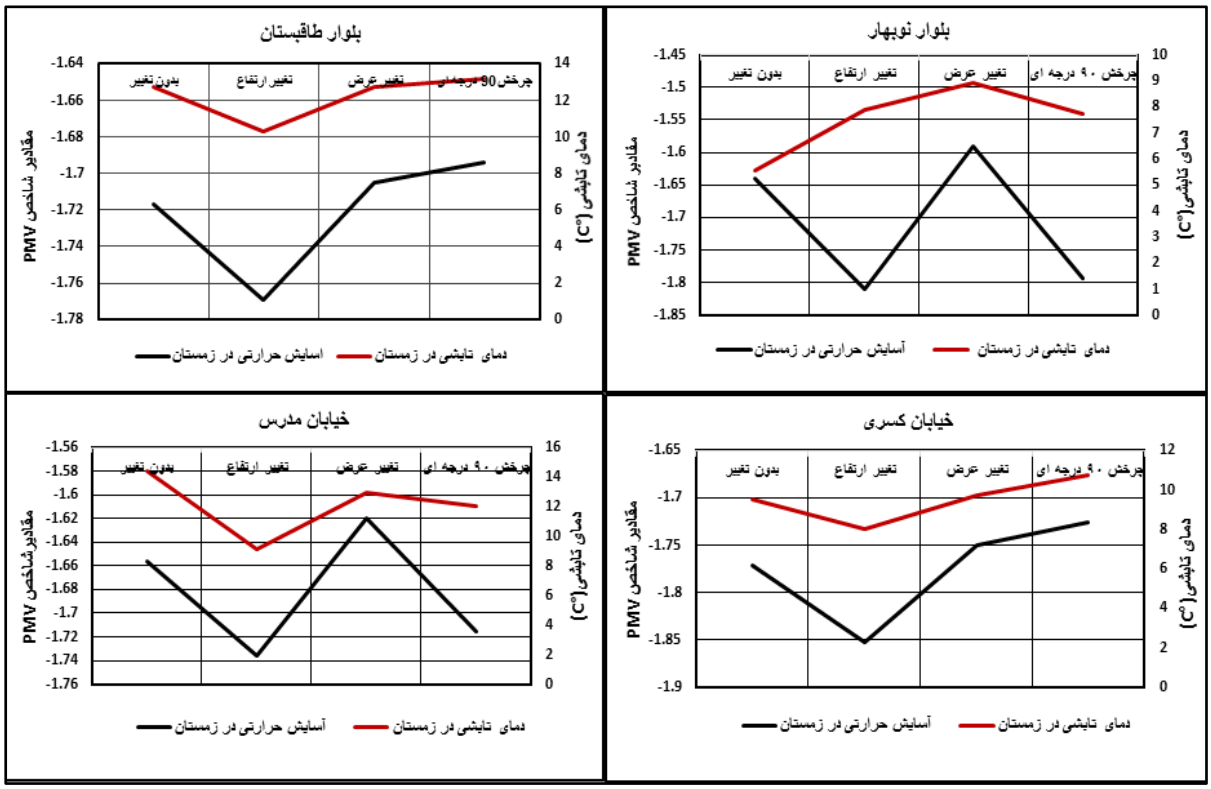
با توجه به شکل ۱۰، آسایش حرارتی و دمای تابشی در تابستان رفتار معکوس دارند. با کاهش دمای تابشی، آسایش حرارتی افزایش و با افزایش آن آسایش حرارتی کاهش می‌یابد. هر دو کم‌ترین مقدار خود را در بخش افزایش ارتفاع معبر تجربه می‌کنند و بیش‌ترین میزان آن در حالت ۹۰ درجه‌ای معبر اتفاق افتاده است؛ اما شدت تغییرات و شیب نمودار دمای تابشی بسیار بیشتر از آسایش حرارتی است، زیرا دمای تابشی بسیار تحت‌تأثیر سایه‌اندازی و تغییر زاویه خورشید قرار می‌گیرد. با تغییر در حالات معبر تغییرات ناگهانی در آن دیده می‌شود، اما آسایش حرارتی علاوه‌بر دمای تابشی از سایر موارد مانند دمای هوا و سرعت باد و... نیز تأثیر می‌پذیرد؛ ازاین‌رو تغییرات آرام‌تری در حالات مختلف از خود نشان می‌دهد.



شکل ۱۰. نمودار میانگین روزانهٔ متغیّرهای اقلیمی معابر انتخابی

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۵)

براساس شکل ۱۱، در زمستان آسایش حرارتی و دمای تابشی در همهٔ معابر به غیر از بلوار نوبهار رفتار مشابهی دارند؛ زیرا در فصل زمستان تابش آفتاب به صورت مایل است، ازاین‌رو تابش‌های مایل پس از برخورد به جداره‌های معبر در درون معبر نوبهار به دام افتاده و مدت طولانی‌تری در درون تنگهٔ مورد نظر باقی می‌مانند. در سایر معابر کم‌ترین میزان آسایش حرارتی با فرض افزایش ارتفاع رخ می‌دهد که به‌دلیل کاهش دمای هوا در این حالت است و بیش‌ترین میزان آسایش حرارتی در حالت افزایش عرض معبر اتفاق افتاده است.

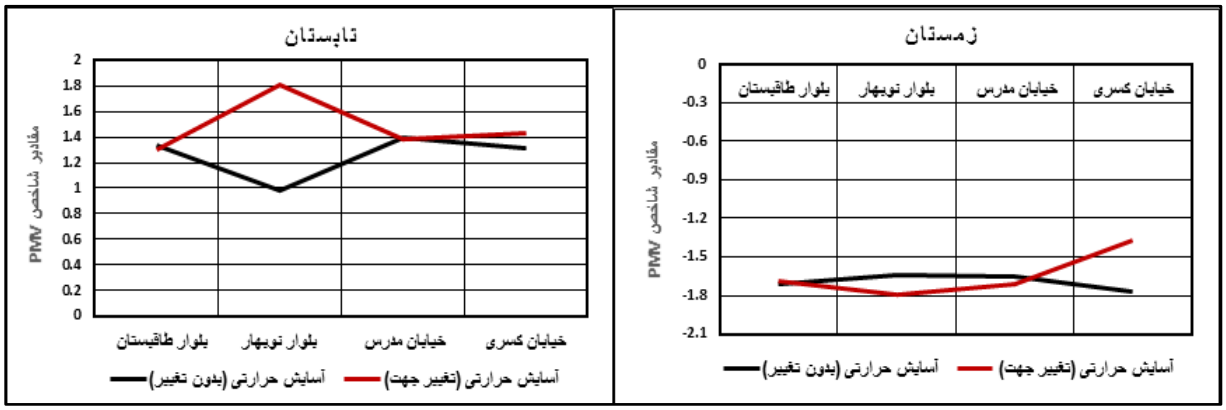


شکل ۱۱. نمودار میانگین روزانهٔ متغیّرهای اقلیمی معابر انتخابی

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۵)

شرایط آسایش حرارتی در حالت واقعی و با فرض تغییر جهت معابر

با توجه به شکل ۱۲، می‌توان اظهار کرد که در حالت واقعی در فصل تابستان و زمستان معبر نوبهار شرایط آسایش حرارتی بهتری نسبت‌به سایر معابر دارد. با بررسی شرایط تغییر جهت معابر انتخابی در تابستان می‌توان بیان کرد که چرخش ۹۰ درجه‌ای، در بلوار نوبهار و کسری به‌ترتیب اثر منفی برابر با ۰/۸۳ و ۰/۱۲ واحد از شاخص PMV را در پی داشته است و همچنین تغییر جهت از حالت شمال شرقی- جنوب غربی به شمال غربی- جنوب شرقی در بلوار طاق‌بستان ۰/۰۴ و خیابان مدرس ۰/۰۲ واحد اثر مثبت داشته است. با توجه به این اعداد می‌توان نتیجه گرفت، درمجموع چهار معبر تغییر جهت در فصل تابستان تأثیر مثبت ایجاد نکرده است و در زمستان تنها در خیابان کسری، تغییر جهت گزینهٔ مناسبی جهت دستیابی به سطح قابل‌قبولی از آسایش حرارتی به میزان ۰/۴۰ واحد بوده است.

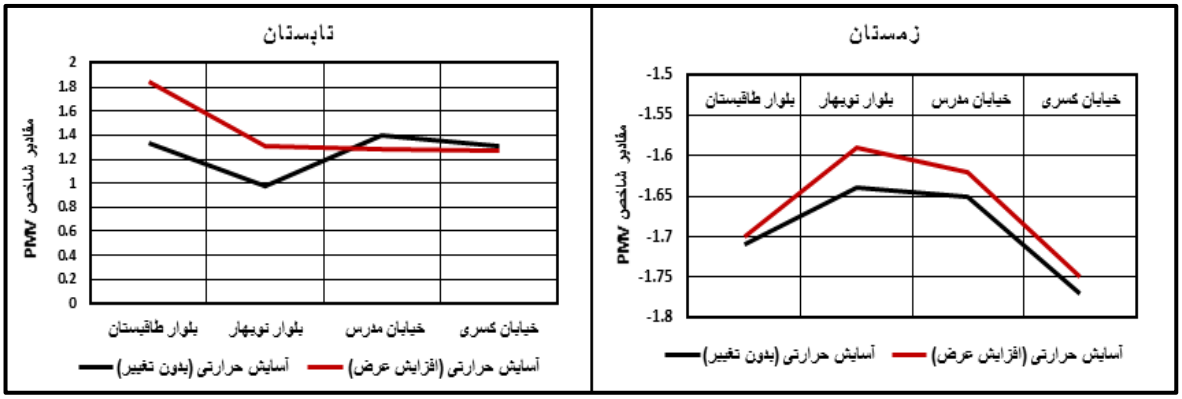


شکل ۱۲. آسایش حرارتی در معابر انتخابی در حالت بدون تغییر و با تغییر جهت

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۵)

شرایط آسایش حرارتی در حالت واقعی و با فرض افزایش عرض معابر

با توجه به شکل ۱۳، میزان افزایش عرض معبر در بلوار طاق‌بستان و بلوار نوبهار در فصل تابستان تأثیر منفی داشته و شاخص PMV را به‌ترتیب ۰/۵۰ و ۰/۳۳ واحد افزایش داده است؛ اما در خیابان مدرس و کسری تأثیر مثبت داشته و شاخص PMV را به‌ترتیب ۰/۱۲ و ۰/۰۴ واحد بهبود بخشیده است. میزان کاهش در خیابان کسری قابل چشم‌پوشی است؛ اما در خیابان مدرس مؤثر و تأثیر مثبتی را در پی داشته است. در زمستان با افزایش عرض معبر، بلوار نوبهار بیش‌ترین میزان تأثیر مثبت حدود ۰/۰۵ و پس از آن در خیابان مدرس، خیابان کسری و طاق‌بستان به‌ترتیب ۰/۰۳، ۰/۰۲، ۰/۰۱، واحد افزایش در شاخص PMV بهبود شرایط دیده می‌شود. اثر مثبت اندک در زمستان در بلوار طاق‌بستان و بلوار نوبهار در برابر اثر منفی افزایش عرض معبر در تابستان قابل چشم‌پوشی است.

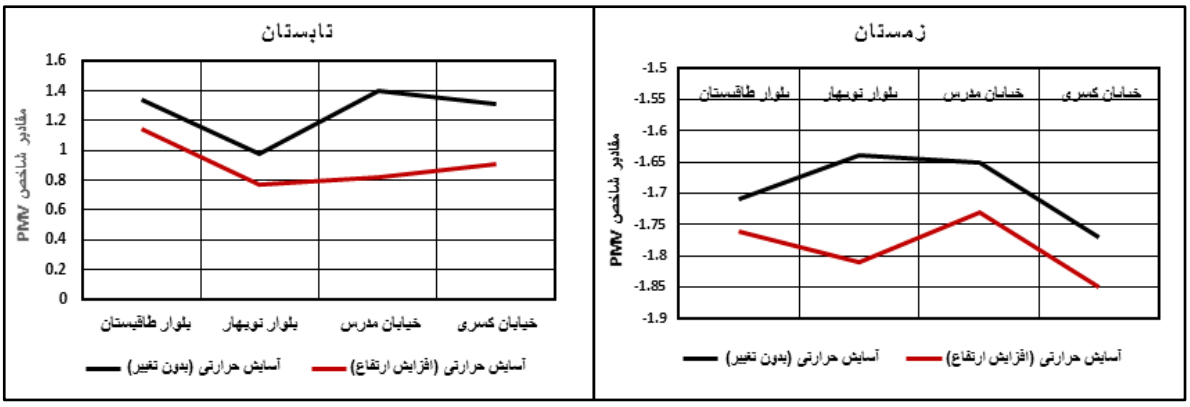


شکل ۱۳. آسایش حرارتی در معابر انتخابی در حالت بدون تغییر و با افزایش عرض

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۵)

شرایط آسایش حرارتی در حالت واقعی و با فرض افزایش ارتفاع ساختمان‌های اطراف معابر

با توجه به شکل ۱۴ می‌توان بیان کرد، در تابستان راهکار افزایش ارتفاع در تمام خیابان‌ها مؤثر واقع شده است و میزان اثرات مثبت آن از ۰/۲ الی ۰/۶ است که مقادیر قابل‌توجهی در میانگین روزانهٔ شاخص PMV است؛ ولی در زمستان تأثیر مثبت مشاهده نمی‌شود و باعث کاهش شاخص PMV از ۰/۰۵ الی ۰/۱۷ واحد شده است. با مقایسهٔ تأثیرگذاری این راهکار در تابستان نسبت‌به زمستان می‌توان بیان کرد که در تابستان میزان تأثیرات مثبت، بزرگ‌تر است. می‌توان گفت این راهکار مثبت واقع شده و به شرایط آسایش حرارتی کمک می‌کند.



شکل ۱۴. آسایش حرارتی در معابر انتخابی در حالت بدون تغییر و با افزایش ارتفاع

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۵)

نتیجه‌گیری

این تحقیق با هدف بهبود بخشیدن به استانداردهای طراحی شهری و تأکید بر عوامل تأثیرگذار در شرایط حرارتی تنگه‌های شهری و در راستای تحقق احترام به آسایش حرارتی عابران پیاده صورت گرفته است. در راستای تأمین این هدف و با استفاده از مدل سه بُعدی Envi-met، که یکی از مهم‌ترین مدل‌های خرده‌اقلیمی در شناسایی و شبیه‌سازی شرایط آسایش حرارتی موجود است، عوامل مؤثر بر آسایش حرارتی معابر اصلی کرمانشاه و ویژگی‌های آن در حالت واقعی مورد مطالعه قرار گرفته و با فرض‌های مختلف شبیه‌سازی شد. نتایج بدست آمده از وضع موجود و شبیه‌سازی‌ها در مدل سه بعدی Envi-met نشان داد که در شرایط واقعی در فصل تابستان تنها معبر نوبهار با ۰/۹۸ شاخص PMV در محدودهٔ آسایش حرارتی قرار دارد؛ ولی سایر معابر به‌ترتیب خیابان کسری با ۱/۳۱، بلوار طاق‌بستان با ۱/۳۴ و خیابان مدرس با ۱/۴۰ واحد در خارج از محدودهٔ آسایش حرارتی براساس شاخص PMV قرار می‌گیرند. بررسی وضعیت آسایش حرارتی معابر در فصل زمستان نشان می‌دهد که تمام معابر انتخابی خارج از محدودهٔ آسایش حرارتی قرار دارند؛ اما معبر نوبهار با مقدار ۱/۶۴- از شاخص PMV بهترین شرایط و خیابان کسری بدترین شرایط آسایش حرارتی را تجربه می‌کنند. معبر نوبهار با جهت‌گیری شمالی- جنوبی شرایط حرارتی بهتری در تابستان و زمستان نسبت‌به سایر معابر دارد و معبر کسری با تغییر جهت از شرقی- غربی به شمالی- جنوبی، شرایط آسایش حرارتی تنها در زمستان به میزان ۰/۴۰ واحد از PMV بهبود داشته است و در تابستان نتایج مثبتی

دیده نمی‌شود. نتایج به‌کارگیری راهکار افزایش عرض معابر به میزان ۵۰ درصد بیان می‌کند که در معابر نوبهار، مدرس، کسری و طاق‌بستان در فصل تابستان و زمستان موجب افزایش دما شده است؛ ولی میزان آن به‌قدری نیست که در زمستان تأثیر مهمی تلقی شود. همچنین در راهکار افزایش ارتفاع ساختمان‌ها در دو طرف معبر، به‌ترتیب در خیابان مدرس، کسری و طاق‌بستان میزان تأثیرگذاری مثبت در آسایش حرارتی در تابستان در مقایسهٔ با اثر منفی در زمستان قابل‌توجه است؛ اما در معبر نوبهار تأثیر مثبت آن در برابر اثر منفی آن قابل‌چشم‌پوشی است. به‌طور کلی نتایج بیان می‌کنند که در فصل تابستان و زمستان به‌کارگیری راهکار افزایش ارتفاع ساختمان‌ها در خیابان مدرس، کسری و طاق‌بستان نتایج مثبت در پی خواهد داشت.

منابع

پاکزاد، جهانشاه. (۱۳۸۵). راهنمای طراحی فضاهای شهری. تهران: انتشارات شهیدی.

توسلی، محمود. (۱۳۶۰). ساخت شهر و معماری در اقلیم گرم و خشک ایران. تهران: انتشارات دانشکدهٔ هنرهای زیبا.

ذوالفقاری، حسن. (۱۳۹۴). آب وهواشناسی معماری و مدیریت انرژی ساختمان. تهران: انتشارات سمت.

شمسی پور، علی‌اکبر؛ امینی، ژوان. (۱۳۹۲). شبیه‌سازی الگوی پراکنش co با مدل خرداقلیمی Envi-met در مسیر آزادی- تهران پارس. فصل‌نامهٔ جغرافیا و مخاطرات محیطی، دانشگاه فردوسی، مشهد شمارهٔ ۷، صص ۱۰۳-۸۵.

شمسی پور، علی‌اکبر؛ عزیزی، قاسم؛ مهدیان‌ماه‌فروزی، مجتبی. (۱۳۹۴). اثرات گسترش فضای سبز بر الگوی جزیرهٔ گرمایی شهری بوستان ولایت تهران. پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تهران، دورهٔ ۳، شمارهٔ ۱، صص ۹۹-۸۵.

شمسی پور، علی‌اکبر؛ سلمانیان، فرزاد؛ عزیزی، قاسم. (۱۳۹۲). مدل‌سازی و تحلیل آثار پوشش سطوح معابر فضاهای و دمای باز شهری تفهیم طراحی و نتایج از پروژهٔ سهیل. فصل‌نامهٔ پژوهش‌های جغرافیایی برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تهران، دورهٔ ۱، شمارهٔ ۱، صص ۹۶-۷۹.

منشی‌زاده، رحمت‌اله؛ حسینی، سید ابراهیم؛ اجاق، عقیل؛ شعبانی، سیده حمیده. (۱۳۹۱). آسایش حرارتی و تأثیر ارتفاع ساختمان‌ها بر خُرداقلیم فضاهای شهری: نمونهٔ موردی خیابان شهرداری تهران. فصل‌نامهٔ آمایش محیط، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ملایر، شمارهٔ ۲۰، صص ۱۲۶-۱۰۹.

Bruse, M. (2007) Particle filtering capacity of urban vegetation: A microscale numerical approach. Berliner Geographische Arbeiten, Vol. 109, PP. 61-70.

Bastian, P., Christoph, S. (2016) A comparison of model performance between ENVI-met and Austal2000 for particulate matter, Atmospheric Environment,Volume 145, PP. 392-404.

De Maerschalck, B., Janssen, S., Vankerkom, J., Mensink, C., van den Burg, A. and Fortuin, P.(2008) CFD simulations of the impact of a line vegetation element along a motorway on local air quality, Hrvatski Meteoroloski Casopis, No. 43, PP. 339-344.

Ferdinando, S., Iacopo, G., Robertode, L., Vollaro, A., Lieto, Vollaro . (2016) Urban microclimate and outdoor thermal comfort. A proper procedure to fit ENVI-met simulation outputs to experimental data, Sustainable Cities and Society, Volume 26, PP. 318-343.

Huttner, S., Bruse, M., Paul, D. (2009) Numerical modeling of the urban climate, a preview on Envi-met 4.0. The seventh International Conference on Urban Climate. 29 June – 3 July 2009, Yokohama, Japan.

Krüger, 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. Journal of Building and Environment, No. 46, PP. 621-634.

Katia, P., Ata, C., Sen, D., Thomas, A. (2017) Modeling and simulating urban outdoor comfort: Coupling ENVI-Met and TRNSYS by grasshopper, Energy and Buildings, Volume 152, PP. 373-384.

Moreno, M., Lucia, C., Noguchi, E. (2008) Thermal comfort zone for outdoor areas in subtropical climate. Dublin: passive and low energy architecture, Dublin, 22 to 24 October.

climates, International Journal of Energy and Buildings, No. 42, PP. 1711-1718.

Toudert, F.A., Mayer, H. (2007) Effects of asymmetry, galleries, overhanging fac¸ades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons. International Journal of Solar Energy, No. 81, PP. 742-754.

Tania, S., Koen, S., Andreas, M. (2017) Microclimatic modelling in assessing the impact of urban geometry on urban thermal environment, Sustainable Cities and Society, Volume 34, PP. 293-308.

Wania, A., Bruse, M., Blond, N., and Weber, C. (2012) Analysing the influence of different street egetation on traffic-induced particle dispersion using microscale simulations, Journal of Environmental Management, No. 94, PP. 91-101.

Kuo-Tsang, H., Yi-Jhen, Li. (2017) Impact of street canyon typology on building's peak cooling energy demand: A parametric analysis using orthogonal experiment, Energy and Buildings, Volume 154, PP 448-464.

Nikolopouloou, M., Lykoudis, S. (2006) Thermal comfort in outdoor urban space: analysis across diffrent European countris. Building and enviroment, Vol. 41, PP. 1455-1470.

Stella, T., Katerina, T., Theodoros, T. (2017) Urban space's morphology and microclimatic analysis: A study for a typical urban district in the Mediterranean city of Thessaloniki, Greece, Energy and Buildings, Volume 156, , PP. 96-108.

Rizk, A.A., Henze, G.P. (2010) Improved airflow around multiple rows of buildings in hot arid