

# تاثیر طراحی در آسایش حرارتی فضای باز مجتمع‌های مسکونی

نمونه مورد مطالعه: فاز سه مجتمع مسکونی اکباتان\*

دکتر سید امیر سعید محمودی<sup>۱</sup>، سیده ندا قاضی زاده<sup>۲\*</sup>، علیرضا منعم<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> استادیار دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

<sup>۲</sup> دانشجوی دکتری معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

<sup>۳</sup> دانشجوی دکتری معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

(تاریخ دریافت مقاله: ۸۹/۱/۱۶، تاریخ پذیرش نهایی: ۸۹/۴/۲۳)

## چکیده:

فضای عمومی در زندگی امروزی در برگیرنده بخش عظیمی از فعالیت‌های روزمره است. یکی از مهمترین اصول طراحی آن، توجه به آسایش حرارتی به منظور ارتقای کیفیت فضا و جلب بیشتر رضایت کاربران است. به دلیل تفاوت‌های اقلیمی موجود در فضای باز و بسته، به روشی متفاوت جهت اندازه‌گیری آسایش حرارتی محیط‌های باز نیاز است؛ که از تلفیق شاخص "دمای متوسط تابشی" با ملاحظه تاثیر رطوبت، دما، تابش‌های مستقیم، غیر مستقیم و وزش باد و شاخص‌های مربوط به خصوصیات فردی کاربر نظیر جنسیت، سن، نوع فعالیت و پوشش، برای محاسبه "دمای معادل فیزیولوژیکی" به دست آمده است. تحقیق حاضر با هدف تبیین معیارهای طراحی موثر در آسایش حرارتی فضای باز عمومی در بخشی از مجتمع مسکونی اکباتان انجام گرفته است. در مرحله اول با روش شبیه‌سازی و برنامه‌های محاسباتی، میزان "دمای متوسط تابشی" نقاط منتخب سایت محاسبه و سپس آسایش حرارتی بر اساس "دمای معادل فیزیولوژیکی" برای گروه مشخص، در روزهای میانه فصول مختلف، برآورد شده است. در بخش نهایی با مقایسه "دمای معادل فیزیولوژیکی" و عوامل فیزیکی محیط شامل ضریب دید به آسمان، میزان سایه، فاصله تا ساختمان، معیارهای طراحی موثر در تحقق آسایش حرارتی شناسایی و پیشنهاداتی جهت ارتقای معماری فضاهای باز با رویکرد اقلیمی ارائه گردیده است.

## واژه‌های کلیدی:

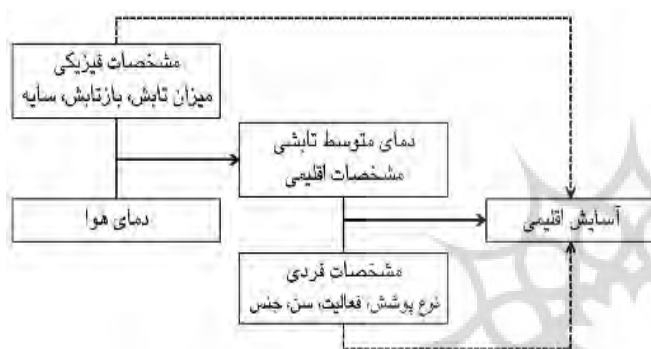
فضای باز مجتمع مسکونی، آسایش حرارتی، دمای متوسط انرژی تابشی، دمای معادل فیزیولوژیکی، انویمت.

\* مقاله حاضر برگرفته از رساله دکتری نگارنده دوم تحت عنوان "تاثیر طراحی فضای باز مسکونی در شکل‌گیری حس تعلق به فضا" می‌باشد که به راهنمایی دکتر امیر سعید محمودی و مشاوره دکتر علیرضا عینی فرو و دکتر مصطفی بهزاد فر انجام شده است. این بخش از رساله در قالب فرصت مطالعاتی در دانشگاه پلی تکنیک میلان صورت گرفته است. نگارندگان تشکر ویژه از پرفسور جانی اسکودو و دکتر والننتینا دسی از دانشگاه پلی تکنیک میلان به خاطر حمایت‌های علمی و از الطاف پرفسور مایکل بروس از دانشگاه ماینز آلمان به دلیل اهدای نسخه منتشر نشده برنامه "انویمت ۴" دارد.

\*\* نویسنده مسئول: تلفن: ۰۹۱۲۲۱۷۷۷۶۴، تلفکس: ۰۸۱۱-۸۲۶۶۸۹۲، E-mail: Ghazizadeh@ut.ac.ir

## مقدمه

آسایش حرارتی بپردازد. از این رو ابتدا آسایش حرارتی را در سایت منتخب برآورد و سپس به جستجوی عوامل تاثیر گذار بر آن می‌پردازد. مطابق تصویر ۱، ساختار فضا به دو صورت می‌تواند در تحقق آسایش حرارتی موثر باشد. مداخله طراح در میزان سایه، دید به آسمان، جنس مصالح و فاصله تا موانع طبیعی و دست‌ساز منجر به تغییر در میزان شاخصه‌های خرد اقلیم همچون دما، باد و تابش می‌گردد. از طرفی طراح با ساماندهی فعالیت‌ها در نقاط مختلف سایت به واسطه تاثیر در فعالیت کاربران بر درک آنان از آسایش حرارتی سایت موثر است.



تصویر ۱- چارچوب تحلیل مقاله.

امروزه با حذف حیات خصوصی از مجتمع‌های مسکونی استفاده از فضای باز عمومی رواج بیشتری یافته است. با افزایش جمعیت و تراکم شهری و همچنین افزایش گرمای زمین توجه به تاثیر طراحی در آسایش حرارتی فضای باز اهمیت یافته است، کنترل دما علاوه بر تاثیر مستقیم بر رضایت کاربران، موجب کاهش دمای فضاهای داخلی و همچنین کاهش تشکیل جزیره‌های گرمایی<sup>۱</sup> در مقیاس ناحیه‌ای و شهری می‌گردد.

به دلیل تفاوت‌های بین فضاهای داخلی و خارجی، دمای هوا، سنجه صحیحی جهت ارزیابی مشخصات خرد اقلیم نمی‌باشد، از این رو شاخص "دمای متوسط تابشی"<sup>۲</sup> با توجه به شرایط اقلیمی و مشخصات فیزیکی سایت تعریف و جایگزین دمای هوا در مطالعات اقلیمی فضای باز شده است. محاسبه آسایش حرارتی علاوه بر "دمای متوسط تابشی" و شاخص‌های اقلیمی دیگر شامل سرعت باد، رطوبت و دمای هوا، نیازمند مشخصات فردی همچون سن، جنسیت، نوع پوشاک و فعالیت و مشخصات موقعیت محیط نیز می‌باشد. با تلفیق شاخص‌های فوق و تبیین "دمای معادل فیزیولوژیکی"<sup>۳</sup> بر اساس جداول استاندارد، محدوده آسایش و تنش حرارتی تبیین می‌شود. این تحقیق در پی آن است که به تاثیر طراحی فضای باز در

## پیشینه تحقیق

تحقیقات سال ۱۸۳۳ لوک هوارد<sup>۴</sup> در لندن پیشگام تحقیقات بسیاری در حوزه تاثیر متقابل اقلیم و معماری شد. از دهه ۱۹۶۰ مطالعات بر روی تاثیر کالبد شهر بر روی تغییرات خرد اقلیم متمرکز گردید. از منظر طراحی و سیاست‌گذاری، یافته‌های این مطالعات نمی‌توانست به طور مستقیم تاثیر گذار باشد؛ به همین جهت توجه معماران و شهرسازان به آسایش حرارتی انسان و تاثیر معماری بر آن معطوف گردید (Emmanuel, 2005, 1591).

از دهه ۶۰ میلادی، به تعادل گرمایی بدن انسان با محیط توجه بیشتری مبدول شد. فانگر (Fanger, 1972) اولین و متداول ترین الگو جهت اندازه گیری آسایش اقلیم، تحت عنوان "متوسط نظرسنجی پیش بینی شده"<sup>۵</sup> و "درصد ناراضایتی پیش‌بینی شده"<sup>۶</sup> را وضع کرد. اکثر مطالعات موجود در ایران (پوردیهیمی، ۱۳۷۸؛ حیدری، ۱۳۸۸؛ سلیقه، ۱۳۸۳، Nasrollahi, Knight, 2008, 2002, Heidari and Sharples, 2008) معطوف به آسایش حرارتی در فضای درون ساختمان و به منظور کاهش مصرف انرژی بوده است؛ مطالعات معدودی به آسایش حرارتی (قیابکلو، ۱۳۸۲؛ طاهبان،

در فضای باز پرداخته‌اند. آسایش حرارتی در فضای خارجی علاوه بر شرایط اقلیمی، متاثر از محیط ساخته شده اطراف، پوشش سطح زمین، تبخیر و تعرق گیاهان و سایه ایجاد شده توسط عوامل طبیعی و دست‌ساز است. در دهه های گذشته مدل‌های متعددی جهت برآورد تعادل انرژی بدن انسان در محیط‌های مختلف به منظور ارزیابی آسایش حرارتی تعریف شده است. این مدل‌های دربرگیرنده مولفه های هواشناسی و بازتاب محیط اطراف هستند (Fanger, 1972, Gagge & Fobelets, 1986). اکثر مدل‌ها علاوه بر مولفه های هواشناسی شامل "دمای متوسط تابشی" نیز می‌باشند که در تابستان و در محیط‌های شهری، نقش مهمی در تعادل گرمایی بدن انسان دارد. این دما اثر انرژی تابشی از محیط روی مبادله تابشی میان یک شخص و محیط احاطه کننده را نشان می‌دهد (حیدری نژاد و دلفانی، ۱۳۸۸، ۳۳). مطابق استاندارد تاسیسات ساختمان اشرفی<sup>۷</sup>، "دمای متوسط تابشی" معادل دمای واحدی از سطوح اطراف است که به یک جسم سیاه بدون انعکاس داده

میزان انرژی حاصل از متابولیسم بدن تابعی از حرکت و فعالیت انسان است که به طور مستقیم در آسایش حرارتی بدن تأثیر می‌گذارد. به طور معمول کل انرژی حاصل از حرکت ماهیچه‌ها تبدیل به انرژی گرمایی می‌شود. چنانکه جدول ۲ نشان می‌دهد، کمترین میزان متابولیسم در زمان خواب با ۵۰ وات بر متر مربع و بیشترین آن در فعالیت‌های سنگین ورزشی است. فعالیت افراد در فضاهای باز شهری به طور متوسط راه رفتن آهسته با سرعت ۴ کیلومتر در ساعت است و ۱۸۰ وات بر متر مربع محاسبه می‌شود.

جدول ۲- میزان متابولیسم در فعالیت‌های مختلف.

میزان متابولیسم $M^*$ ( $W/m^2$ )	نوع فعالیت
۵۰	خوابیدن
۶۰	بیدار و در حال استراحت
۹۰	نشستن و ایستادن
۹۵	کار کردن پشت میز
۱۲۰	ایستادن و کارهای سبک
۱۸۰	راه رفتن آهسته با سرعت ۴ کیلومتر در ساعت
۲۵۰	راه رفتن متوسط با سرعت ۵.۵ کیلومتر در ساعت

ماخذ: (Angelotti & Dessi, 2007)

تلاش جهت تعریف آسایش حرارتی در فضای باز بسیار جدید و از دهه ۱۹۷۰ میلادی آغاز شده است. این مطالعات در ابتدا متوجه معیارهای آسایش حرارتی فضای بسته و ویرایش آن با توجه به شرایط فضای باز بود، اما به تدریج معیارهای جدیدی همچون "دمای معادل فیزیولوژیکی" اضافه گردید. "دمای معادل فیزیولوژیکی" برابر دمای هوایی است که در آن بیلان حرارتی بدن انسان در شرایط فضای داخلی مقروض با دمای پوست در شرایط بیرونی در تعادل باشد (Hoppe, 1999, 71). به عبارت دیگر به کمک "دمای معادل فیزیولوژیکی" فرد قادر به مقایسه تأثیر کامل مجموعه شرایط حرارتی محیط بیرون با تجربه شخصی خود از دما است (Lin, Matzarakis, 2010, 214).

از آنجایی که "دمای معادل فیزیولوژیکی" قابل فهم‌ترین و متداول‌ترین شاخص آسایش اقلیم و در بسیاری از تحقیقات مشابه استفاده شده است، در این تحقیق مبنای ارزیابی آسایش حرارتی قرار گرفته است.

جدول ۳، نشانگر "دمای معادل فیزیولوژیکی" برای مردم غرب و مرکز اروپا و آسیای جنوب شرقی است. در این تحقیق به دلیل مشابهت بیشتر منطقه آسیایی از نظر تابش آفتاب با اغماض، احساس

می‌شود و برابر انرژی است که بدن انسان از شارهای تابشی اطراف جذب می‌کند (Ashrae, 2001, 277).

به دلایل متعدد تعریف آسایش حرارتی در فضای باز پیچیدگی‌های بیشتری نسبت به فضای بسته دارد. این تفاوت‌ها باعث گردیده است برخی از محققین استانداردهای فضای بسته را قابل تعمیم به فضای باز ندانند (Emmanuel, 2005, 1592). هوپ این تفاوت را ناشی از ۳ دلیل عمده روانشناسی، فیزیولوژی و انرژی می‌داند. دلیل روانشناسی منبعت از تفاوت‌های فضای درونی و خارجی است که باعث شکل‌گیری انتظارات فردی می‌شود. تفاوت‌های فیزیولوژی متاثر از زمان قرار گیری در فضای باز بسته است (معمولاً زمان صرف شده در فضاهای بسته بیش از فضای باز است) و افتراق انرژی، ناشی از تفاوت بین "دمای متوسط تابشی" و "دمای هوا" در فضای باز است (Hoppe, 2002, 661)؛ در حالیکه این دو دما در فضای بسته یکسان در نظر گرفته می‌شوند، در فضای باز و به ویژه در شرایط آب و هوایی گرم تفاوت معناداری می‌یابند.

## آسایش حرارتی

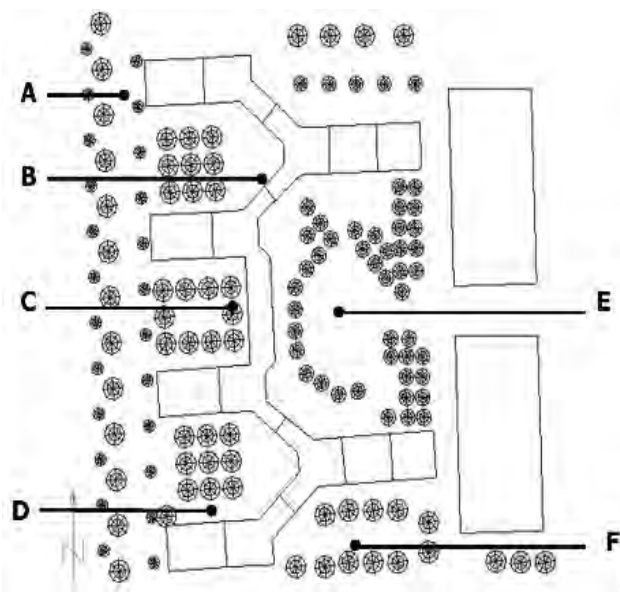
بدن انسان برای درک دمای محیط، گیرنده‌ای جدا ندارد و دمای هوا همراه با رطوبت نسبی، وزش باد، تابش خورشید تماماً تلقی انسان از شرایط محیطی را می‌سازد (Scudo, 2005, 259). علاوه بر مولفه‌های هواشناسی نوع فعالیت کاربر، نوع پوشش و همچنین ترجیحات فردی نیز در درک انسان از آسایش حرارتی موثر است (Nikolopoulou & Baker, 2001).

در تبادل حرارت بدن انسان با محیط اطراف، لباس عامل موثری بشمار می‌رود و از تماس سطح بدن با محیط اطراف می‌کاهد<sup>۱</sup>. (ذوالفقاری، ۱۳۸۶، ۱۳۲). نوع پوشش، عایقی است که انسان‌ها برای تطابق با محیط اطراف انتخاب می‌کنند. (جدول ۱)

جدول ۱- ارزش نارسانایی پوشاک مختلف.

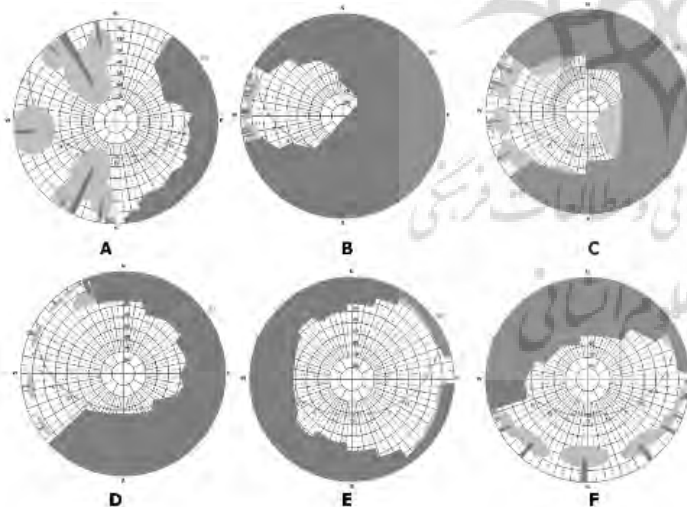
پوشاک	نارسانایی حرارتی
تی شرت، شلوار کوتاه، جوراب، کفش ورزشی	۰.۲۷
تی شرت، شلوار بلند، جوراب، کفش	۰.۴۱
تی شرت، شلوار بلند، جوراب، کفش، بادگیر	۰.۵۴
پیراهن، شلوار بلند، جوراب، کفش، بادگیر	۰.۶۷
پیراهن، شلوار بلند، جوراب، کفش، ژاکت	۰.۹۴

ماخذ: (Angelotti & Dessi, 2007)



تصویر ۲ - نقشه سایت و موقعیت نقاط مورد مطالعه.

جاینمایی نقاط به نحوی است که طیف متفاوتی از ضریب دید به آسمان، مطابق خروجی مدل نرم افزاری ریمن<sup>۱</sup> در تصویر ۳، وجود داشته باشد. بیشترین دید به آسمان متعلق به نقطه E با ۷۰٪ و کمترین میزان دید نقطه B با ۲۳٪ است. در فصل زمستان ضریب دید به آسمان با توجه به وجود درختان خزان دار، افزایش می یابد.



تصویر ۳- دید به آسمان نقاط شش گانه.

نقطه A با ۷۵٪ دید به آسمان، در مسیر سواره غربی سایت واقع شده است. کف مسیر آسفالت و در ساعاتی از روز در سایه درختان مجاور قرار می گیرد. واقع شدن نقطه B در مجاور ساختمان ۴۰ متری بتونی، دید به آسمان آن را تا ۲۳٪ کاهش داده است. آفتاب شرق بعد از ظهرها به کفپوش بتنی این نقطه می تابد. نقطه C در کف حاکی باغچه حیاط غربی سایت و در سایه درختان با ۴۲٪ دید به آسمان واقع شده است.

حرارتی مردم این منطقه ملاک قرار می گیرد. بدیهی است که با توجه به عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا احساس آسایش حرارتی برای ساکنان نقاط مختلف ایران متفاوت است و لازم است که در تحقیقات آینده به بومی سازی این جدول پرداخته شود.

جدول ۳- دمای معادل فیزیولوژیکی\* (PET).

احساس	غرب و مرکز اروپا	آسیای جنوب شرقی
انجماد	کمتر از ۴	کمتر از ۱۴
خیلی سرد	۸-۴	۱۸-۱۴
سرد	۱۳-۸	۲۲-۱۸
کمی سرد	۱۸-۱۳	۲۶-۲۲
آسایش	۲۳-۱۸	۳۰-۲۶
کمی گرم	۲۹-۲۳	۳۴-۳۰
گرم	۳۵-۲۹	۳۸-۳۴
داغ	۳۵-۴۱	۴۲-۳۸
خیلی داغ	بیشتر از ۱۴	بیشتر از ۴۲

ماخذ: (Lin & Matzarakis, 2010, 214)

## ۱. روش تحقیق

در مرحله اول تحقیق سه بخشی حاضر، "دمای متوسط تابشی" و در مرحله دوم میزان آسایش حرارتی محاسبه و در مرحله آخر به تاثیر معماری در تحقق آسایش حرارتی پرداخته می شود. در مرحله اول تحقیق به کمک محاسبه "دمای متوسط تابشی" در نقاط متفاوت سایت منتخب، به روش شبیه سازی وضعیت نقاط در طول روز و فصول مختلف سال تبیین می شود. در مرحله دوم آسایش حرارتی برای فرد مشخص در طول سال بر اساس "دمای معادل فیزیولوژیکی" برآورد و نقاط بهینه از نظر اقلیمی برای ساماندهی فعالیت ها تعریف می شود. مرحله نهایی رابطه خصوصیات کالبدی همچون سایه، دید به آسمان و فاصله نقاط تا ساختمان بر شکل گیری تفاوت های اقلیمی به روش همبستگی ارزیابی می کند.

### ۱-۱. مطالعه میدانی

مجتمع مسکونی اکباتان به دلیل نزدیکی با ایستگاه سینوپتیک مهرآباد انتخاب گردید و با توجه به تنوع فضایی فاز سه مجتمع، شامل حیاط های متنوع محاط در بلوک های مسکونی بلند مرتبه، شبیه سازی بر روی بخشی از آن انجام شد.

بر اساس ضریب دید به آسمان، جنس کفپوش، فاصله و موقعیت نقاط تا ساختمان، جبهه قرار گیری و فاصله تا درختان، شش نقطه به نحوی که محدوده های مختلف سایت را مطابق تصویر ۲ پوشش دهند، انتخاب شد و مطالعات بر روی این نقاط متمرکز شده است.

جدول ۴- مشخصات نقاط مورد مطالعه.

نقطه	مشخصات	پوشش زمین	دید به آسمان
A	خیابان غربی	آسفالت	۷۴٪
B	حیاط شمال غربی	بلوک سیمانی	۲۳٪
C	حیاط غربی	زمین خاکی	۴۲٪
D	حیاط جنوب غربی	بلوک سیمانی	۵۷٪
E	حیاط مرکزی	زمین خاکی	۷۰٪
F	پارکینگ	آسفالت	۵۷٪

### ۱-۲. شبیه‌سازی

در سال‌های اخیر نرم افزارهای متعددی برای شبیه سازی و محاسبه‌ی "دمای متوسط تابشی" در محیط شهری طراحی شده است. نرم افزار "تاون اسکوپ"<sup>۱۱</sup>، طراحی شده بر مبنای "اتوکد"<sup>۱۱</sup> "دمای متوسط تابشی" و دسترسی آفتاب را علاوه بر سایر مولفه‌ها محاسبه می‌نماید (Teller and Azar, 2001, 190). مدل نرم‌افزاری دیگر، مدل ریمن است که اخیراً در موسسه اقلیم‌شناسی دانشگاه فریبرگ<sup>۱۲</sup> توسط دکتر ماتزاراکیس<sup>۱۲</sup> طراحی شده است. این نرم افزار با استفاده از عرض جغرافیایی و تابش کلی<sup>۱۴</sup> "دمای متوسط تابشی" و پس از آن "دمای معادل فیزیولوژیکی" را برآورد می‌کند. مدل مزبور بر اساس استانداردهای کشور آلمان توسعه یافته است. (Matzarakis, Rutz, 2007, 323).

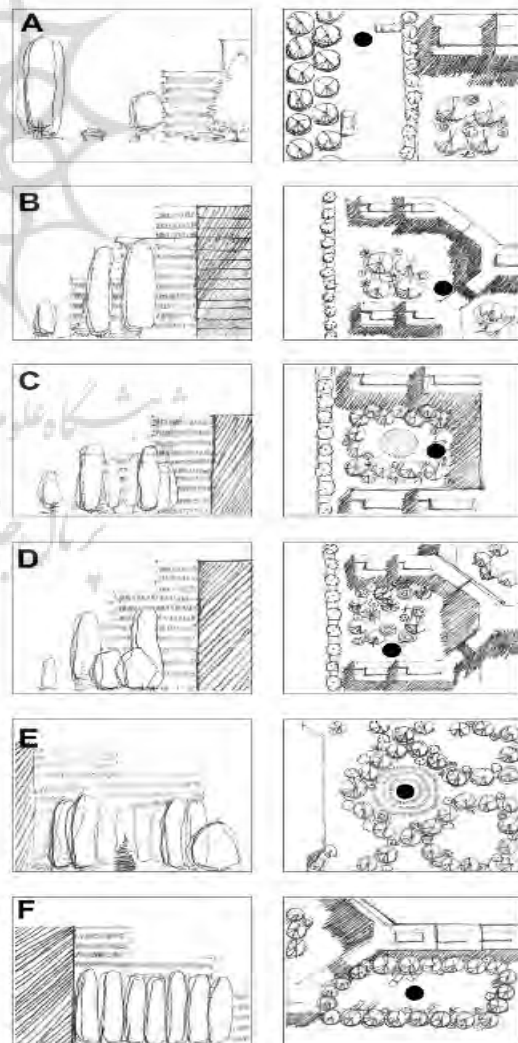
برنامه سه بعدی "انوی مت"<sup>۱۵</sup>، طراحی شده توسط پرفسور مایکل بروس<sup>۱۶</sup> در دانشگاه ماینز<sup>۱۷</sup> در تحقیقات بسیاری (Yu and Hien, 2006, and Bruse, 2003, Ozkeresteci, Crewe, 2003, Ali-Toudert, 2005, Emmanuel, Rosenlund, 2007, Fahmy and Sharples, 2009, Lahme) به منظور ارزیابی شرایط محیطی در فضای باز و آسایش حرارتی ارائه شده است. اعتبار و دقت برنامه در این مطالعات با مقایسه نتایج شبیه سازی و داده‌های اندازه‌گیری شده واقعی مورد تایید قرار گرفته است. تحقیق حاضر از برنامه محاسباتی "انوی مت" نگارش ۴ جهت شبیه‌سازی استفاده نموده است.

نرم افزار فرایند فیزیکی بین اتمسفر، زمین، ساختمان‌ها و گیاهان را در محاسبه شرایط اقلیمی بافت شهری دخیل می‌نماید. داده‌های ورودی مشخصات فیزیکی سایت مورد نظر و اطلاعات جغرافیایی و هواشناسی را در برمی‌گیرد. داده‌های مورد نیاز مشخصات فیزیکی سایت شامل دمای داخلی ساختمان‌های اطراف، جنس و میزان بازتابش مصالح، موقعیت، ابعاد و نوع درختان موجود و همچنین حجم سه بعدی سایت و داده‌های جغرافیایی و هواشناسی شامل طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا، دمای اولیه<sup>۱۸</sup> و رطوبت ویژه<sup>۱۹</sup> در ارتفاع ۲۵۰۰ متری (بالای محدوده مدل)، رطوبت نسبی در ارتفاع ۲ متری، سرعت و جهت باد در ارتفاع ۱۰ متری و میزان ابرناکی است.

### ۱-۳. داده‌های ورودی

جهت حصول نتیجه قابل تعمیم چهار روز میانی در چهار فصل سال شبیه‌سازی شده‌اند. نتایج مستخرجه مربوط به ساعات ۶ صبح تا ۲۲ شب می‌باشد. به منظور دستیابی به نتایج دقیق‌تر و ملاحظه فاکتورهای مزاحم شبیه‌سازی از نیمه شب آغاز شده است. اطلاعات هواشناسی ایستگاه مهرآباد در ارتفاع ۲ متری سطح زمین از سایت سازمان هواشناسی ایران<sup>۲۰</sup> در دوره ۴۰ ساله ۱۹۶۶ تا ۲۰۰۵ و اطلاعات ارتفاع ۲۵۰۰ متری ایستگاه مهرآباد از سایت دانشگاه ویومینگ<sup>۲۱</sup> در دوره ده ساله مطابق جدول ۴ برداشت شد. بدیهی است تدقیق نتایج ملزم برداشت میدانی اطلاعات هواشناسی است.

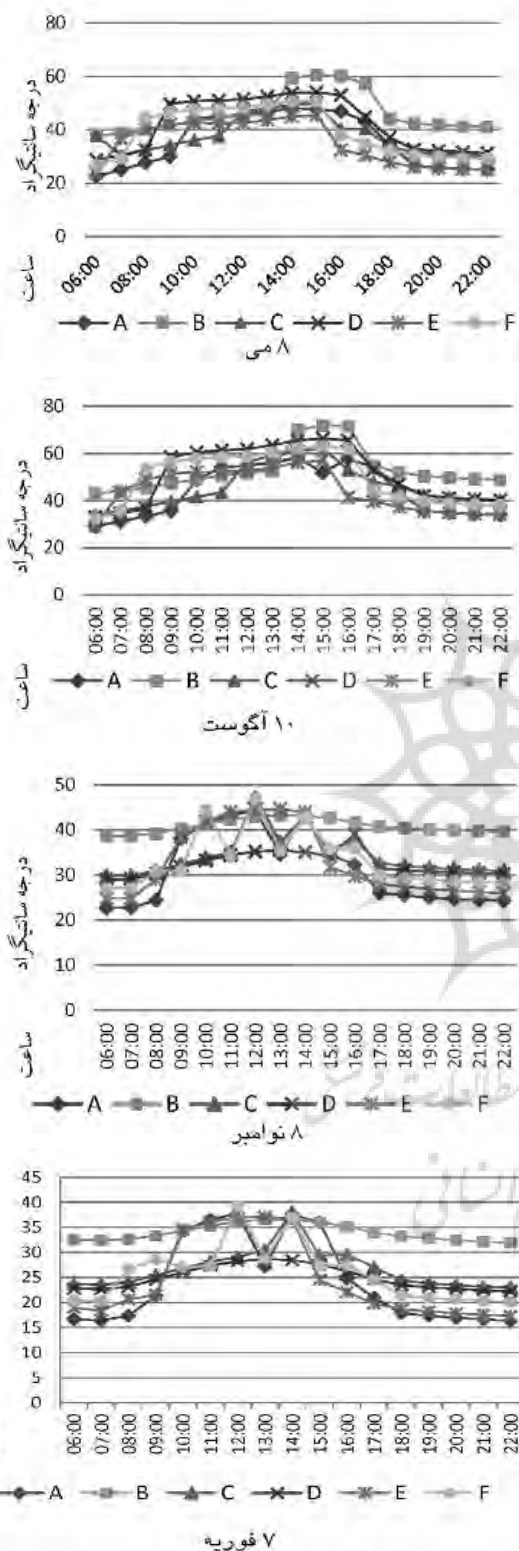
نقطه D در ضلع شمالی بنای ۳۰ متری و با ۵۷٪ دید به آسمان قرار دارد. کف این قسمت کفپوش بتونی و در سایه صبحگاهی است. نقطه E در مرکز حیاط اصلی و بین پوشش سبز با ۷۰٪ دید به آسمان قرار گرفته است. نقطه F در قسمت پارکینگ با کفپوش آسفالت و پایین‌تر از سطح سایر حیاط‌ها است؛ ساختمان‌ها و درختان اطراف حدود نیمی از دید این نقطه به آسمان را گرفته‌اند و تنها ۵۷٪ آسمان قابل رویت است. مشخصات شش نقطه منتخب سایت به تفکیک در جدول ۴ و تصویر ۴ ذکر گردیده است.



تصویر ۴-دیگرام نقاط شش گانه.

جدول ۵ - اطلاعات ورودی هواشناسی .

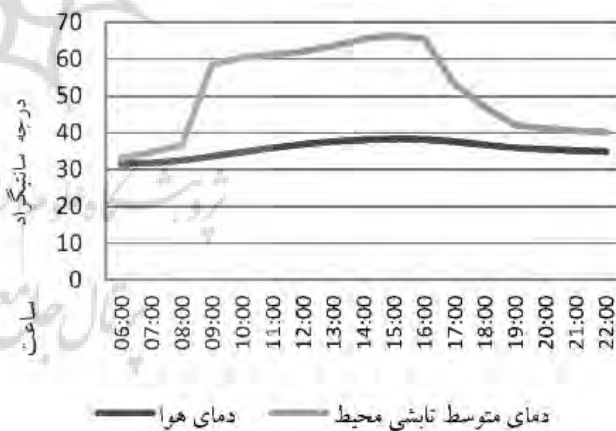
اطلاعات هواشناسی	۷ قوریه	۸ می	۱۰ آگوست	۸ نوامبر
متوسط سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متر (متر/ثانیه)	۲.۵۷	۳.۶۴	۲.۴۶	۱.۸۸
رطوبت نسبی در ارتفاع ۲ متر (درصد)	۵۴.۴۳	۳۲.۰۸	۲۸.۹۵	۴۸.۲۶
جهت باد غالب (درجه)	۲۷۲	۲۶۹	۱۸۶	۲۷۳
دما در ارتفاع ۲۵۰۰ متر (کلوین)	۲۹۵.۹	۳۰۶.۱	۳۱۸.۹	۳۰۶.۸
رطوبت در ارتفاع ۲۵۰۰ متر (گرم آب/کیلوگرم هوا)	۳.۳۶	۳.۷۲	۳.۵۹	۲.۳۹



نمودار ۲ - دمای تابشی محیط نقاط ۶ گانه منتخب سایت در ۴ روز میانه ۴ فصل سال.

## ۲. یافته‌های تحقیق

در طول روز با افزایش انرژی تابشی دمای هوا و دمای متوسط تابشی " تفاوت قابل توجهی حاصل می‌شود. در نمودار ۱ تفاوت دمای هوا و دمای متوسط تابشی " را در نقطه C در روز میانه تابستان تصویر شده است.

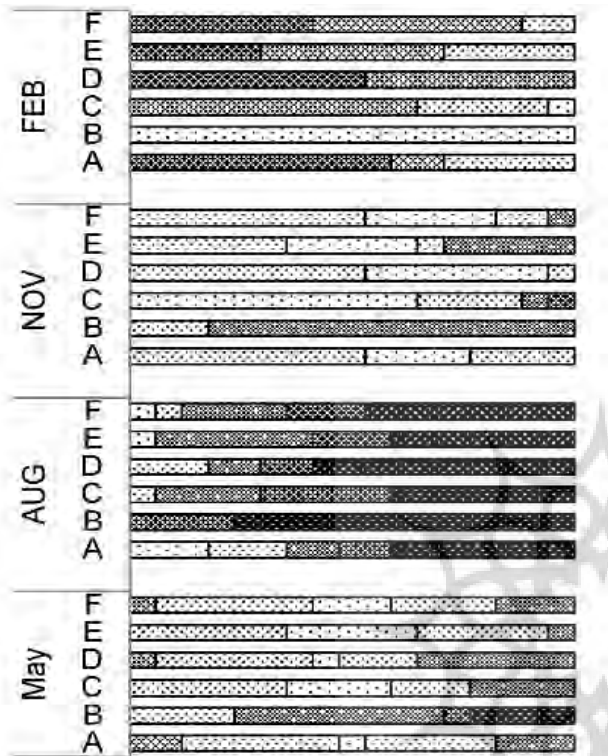


نمودار ۱ - مقایسه دمای هوا و دمای متوسط تابشی محیط در نقطه C در ماه آگوست.

### ۱-۲. "دمای متوسط تابشی"

مطابق نمودار ۲، تابش خورشید و میزان سایه تاثیر محسوسی در محاسبه آسایش حرارتی دارد. این تفاوتها باعث شکل گیری طیف متنوعی از "دمای متوسط تابشی" در نقاط مختلف سایت گردیده است.

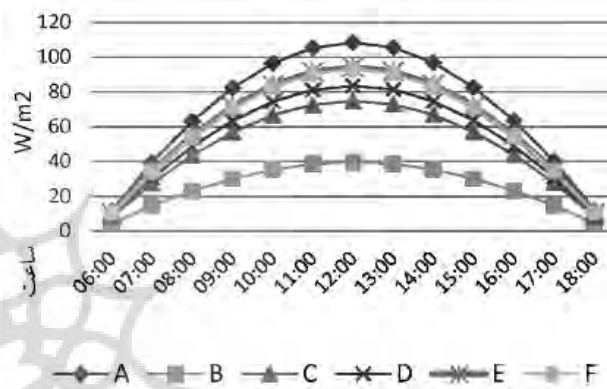
کاربران نیز است. جمعیت مورد مطالعه این تحقیق افراد مذکر در حدود ۳۵ ساله با سرعت حرکت پیاده ۰/۵ متر در ثانیه است. ضریب رسانایی لباس افراد مطابق جدول ۱ در زمستان ۰/۹، در تابستان ۰/۴ و در بهار و پاییز ۰/۶ در نظر گرفته شده است.



نمودار ۴ "دمای معادل فیزیولوژیکی" نقاط شش‌گانه را در فصول مختلف سال تصویر می‌کند. واحد محور افقی نمودار نشانگر زمان در بازه ۶ صبح تا ۲۲ شب به درصد است. از آنجاییکه کل بازه زمانی ۱۶ ساعت است، هر ۲۰٪ حدوداً معادل ۳ ساعت است. با افزایش تنش حرارتی رنگ نمودار تیره‌تر می‌گردد. ماه آگوست با تنش حرارتی گرم و ماه فوریه با تنش حرارتی سرد پر تنش‌ترین ماه‌های سال می‌باشند.

در روز میانه بهار، مطابق نمودار ۵، به غیر از نقطه B سایر نقاط تفاوت محسوسی با یکدیگر ندارند و قبل از ساعت ۸ و بعد از ۱۸ در محدوده تنش سرد، بین ساعات ۱۰ تا ۱۶ در محدوده تنش گرم و در سایر ساعات در محدوده آسایش حرارتی واقع می‌شوند.

سردترین نقاط سایت پیش و پس از غروب خورشید در نقاط E و A به دلیل فاصله از ساختمان‌های اطراف می‌باشد. "دمای متوسط تابشی" نقطه A در طول روز با افزایش تابش خورشید بالا می‌رود، اما همچنان نسبت به نقاط دیگر به دلیل وجود درختان خنک‌تر است. نقطه B به علت نزدیکی به ساختمان و جذب گرمای فضای داخلی گرم‌ترین نقطه در تمام فصول قبل از طلوع و بعد از غروب خورشید است. مطابق نمودار ۳ نقطه B در طول روز کمترین بازتابش و در نتیجه بیشترین جذب را داراست. بازتابش آفتاب از ساختمان مجاور در ساعت ۱۴ منجر به افزایش دمای این نقطه به بالاترین حد در بین نقاط انتخابی می‌رسد.

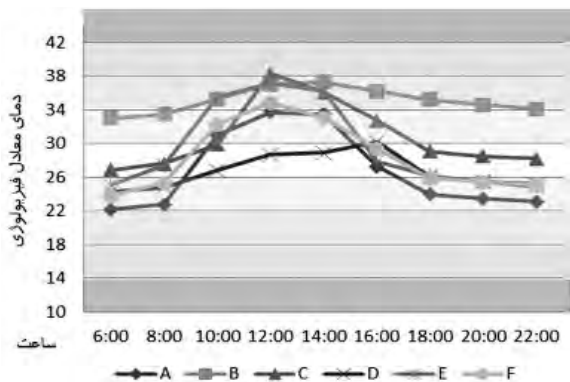


نمودار ۳- بازتابش آفتاب نقاط ۶ گانه در ۸ می.

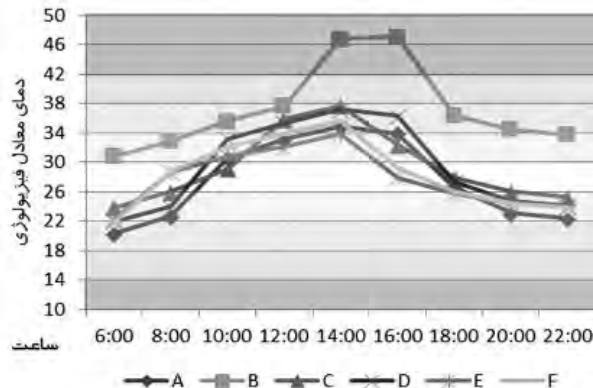
در صبحگاه به دلیل واقع شدن نقطه مزبور در سایه ساختمان مجاور دمای نسبتاً پایینی دارد، اما بعد از ظهر با تابش مستقیم خورشید به طور فزاینده‌ای "دمای متوسط تابشی" افزایش می‌یابد. در سردترین روز زمستان این نقطه در ساعات میانی روز در منطقه آسایش حرارتی است، اما در بهار، تابستان و به ویژه ظهر بیشترین تنش حرارتی را دارد. نقطه C گرچه در کنار درختان واقع شده است، اما در طول روز در سایه قرار نمی‌گیرد. به همین دلیل در ساعات میانی روز دمای آن بالا می‌رود. نقطه D در طول روز پاییزی و زمستانی در سایه ساختمان جنوبی واقع شده است، بنابراین دمای آن در کل روز سردتر از نقاط دیگر است، اما در میانه روز بهاری و تابستانی در معرض تابش خورشید واقع شده و دمای آن افزایش قابل ملاحظه‌ای می‌یابد. از آنجا که نقطه E در مرکز حیاط اصلی و در میان درختان واقع شده و بیشترین دید به آسمان را دارد، دمای آن از سایر نقاط کمتر است. نقطه F با بازتابش کم و جذب آفتاب زیاد توسط آسفالت کف، در طول روز تابستانی و بهاری دمای آن بالا و در زمستان به دلیل واقع شدن در سایه ساختمان مجاور دمای آن پایین‌تر از سایر نقاط است.

## ۲-۲. آسایش حرارتی

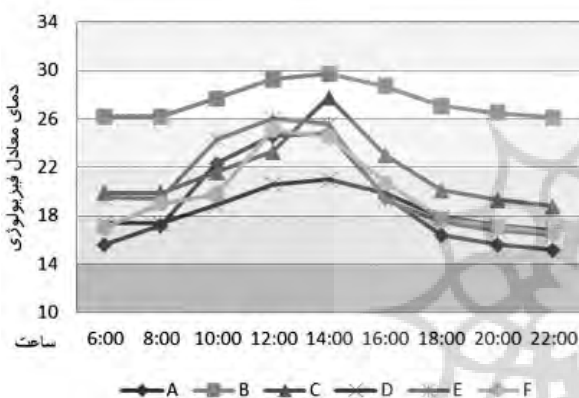
محاسبه آسایش حرارتی علاوه بر مولفه‌های هواشناسی و موقعیت مکانی تابع سن، جنسیت، میزان پوشش و سطح فعالیت



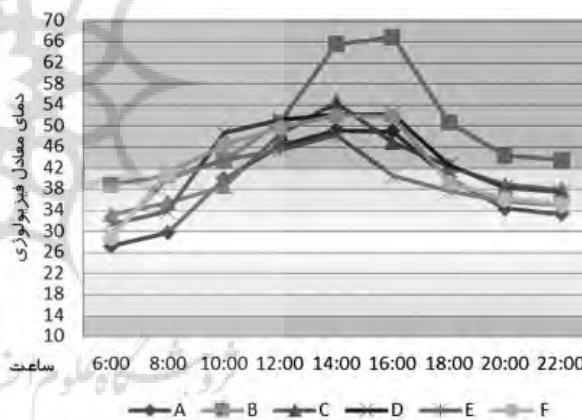
نمودار ۷- دمای معادل فیزیولوژیکی نقاط در روز میانه پاییز.



نمودار ۵- دمای معادل فیزیولوژیکی نقاط در روز میانه بهار.



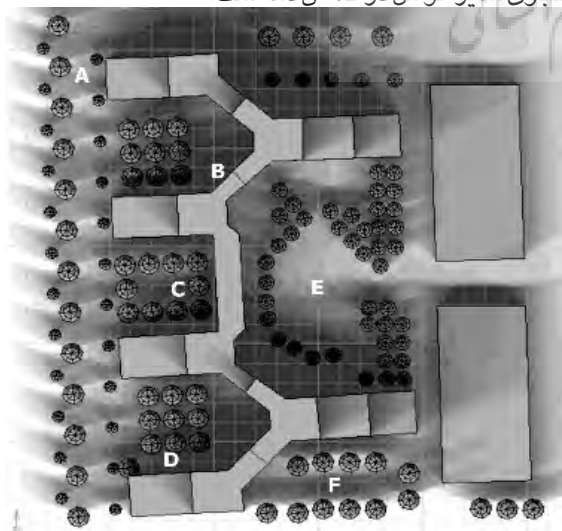
نمودار ۸- دمای معادل فیزیولوژیکی در روز میانه زمستان.



نمودار ۶- دمای معادل فیزیولوژیکی در روز میانه تابستان.

### ۲-۳. تاثیر سایه

حدود ۲۰٪ از آفتاب تابیده شده بر درختان از طریق منافذ بین شاخ و برگ و بسیار کمتر از این میزان از مصالح بنایی منتقل می‌شود. تحقیق حاضر با مقایسه دمای نقاط با مقدار سایه در جستجوی سایر عوامل در کاهش دما است.



تصویر ۵- طیف سایه در ۷ فوریه.

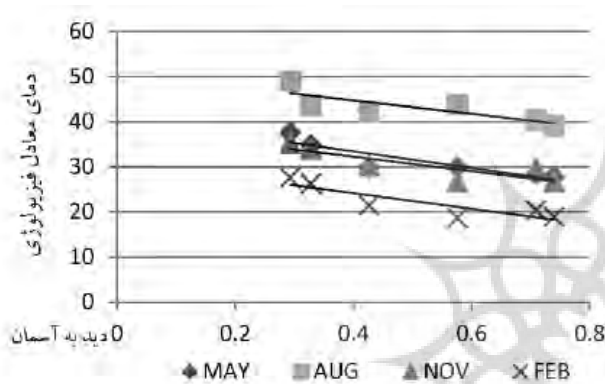
روز پاییزی، مطابق نمودار ۷، کمترین تنش حرارتی را در روزهای مورد مطالعه دارا می‌باشد. نقطه C با ۶۵٪ زمان قرارگیری در آسایش حرارتی در طول ساعات محاسبه شده، مناسب‌ترین نقطه مورد مطالعه است. نقطه D بیش از ۴۰٪ و نقاط A و E و F بیش از ۳۰٪ از ساعات بین ۶ تا ۲۲ در محدوده آسایش حرارتی قرار می‌گیرند. تنها نقطه B در تنش حرارتی گرم است (نمودار ۷). در سردترین روز سال در ماه فوریه، مطابق نمودار ۸، تمام نقاط به غیر از نقطه B سردتر از حد آسایش هستند. نقطه C تنها در ساعات میانی روز در محدوده آسایش قرار می‌گیرد. در بیشتر از نیمی از ساعات محاسبه شده نقاط A و D در محدوده خیلی سرد هستند. نقطه D سردترین نقطه سایه، در کل روز در سایه واقع شده و حتی در ساعات میانی روز نیز "دمای معادل فیزیولوژیکی" آن در محدوده سرد قرار دارد.



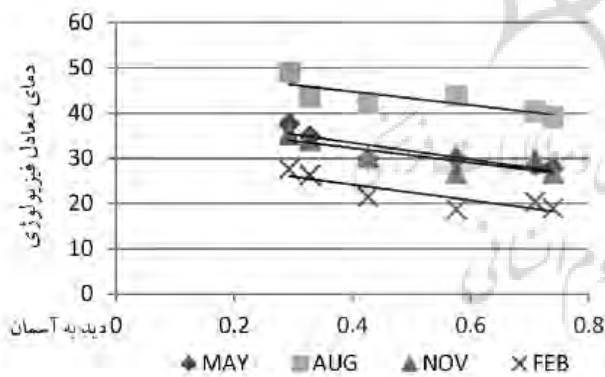
### ۲-۴. تأثیر دید به آسمان

مطابق نمودار همبستگی ۹ رابطه معناداری بین ضریب دید به آسمان و "دمای معادل فیزیولوژیکی" در چهار فصل سال وجود دارد. با افزایش دید به آسمان میزان بازتابش افزایش و "دمای معادل فیزیولوژیکی" نیز به تبع آن کاهش می‌یابد.

مطابق نمودار ۱۰ ضریب همبستگی انرژی تابشی محیط و "دمای معادل فیزیولوژیکی" ۸۵٪ است. با توجه به اینکه در فصل تابستان راهکار اصلی برای رسیدن به حد آسایش کاهش دما است، تمهیدات منجر به افزایش بازتابش همچون تغییر در مصالح و افزایش دید به آسمان می‌بایست مورد توجه قرار گیرد.



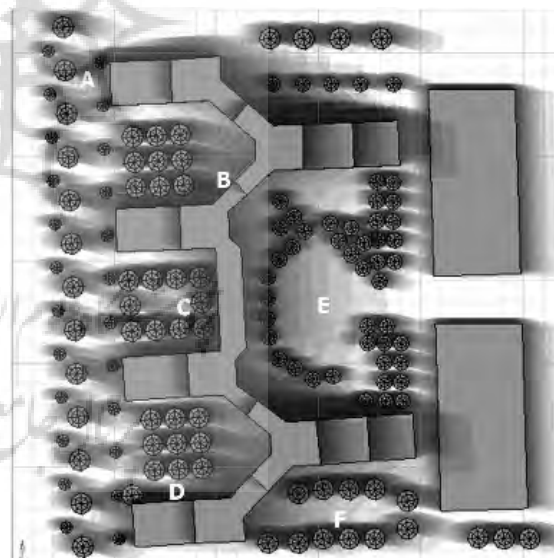
نمودار ۹- رابطه "دمای معادل فیزیولوژیکی" و دید به آسمان.



نمودار ۱۰- رابطه انرژی تابشی محیط و "دمای معادل فیزیولوژیکی" در ماه آگوست.

نقطه A قبل از ساعت ۸ و بعد از ساعت ۱۸ در تمام فصول، سردترین نقطه سایت است. در میانه روز دمای این نقطه افزایش یافته و از سایر نقاط گرم تر می‌شود. تغییر محسوسی در دمای نقطه مزبور در ساعات ابتدایی صبح که در سایه ساختمان مجاور و در ساعات انتهایی روز که سایه درختان غربی قرار می‌گیرد، یافت نمی‌شود. نقطه B علی‌رغم اینکه تا حدود ساعت ۱۱ صبح در بهار و تابستان در سایه ساختمان شرقی خود واقع است، اما بالاترین دمای سایت را دارد و از ساعت ۱۰ صبح به طرز فزاینده‌ای دمای آن افزایش می‌یابد. نقطه C دومین نقطه گرم سایت در ساعات میانه روز است، اما با قرارگیری در سایه بعد از ظهر سیر نزولی کاهش دمای آن بیش از نقاط دیگر است. در پاییز و زمستان نقطه D در تمام ساعات روز در سایه ساختمان جنوبی خود واقع می‌شود، لذا سردترین نقطه در سایت است. نقطه E تنها در ساعات انتهایی روز در سایه واقع شده، اما در ساعات میانی روز بهاری و تابستانی خنک‌ترین نقطه سایت است (تصویر ۵ و ۶).

گرچه سایه در کاهش دمای هوا موثر است، اما نزدیکی به ساختمان‌های اطراف و قرارگیری در معرض تابش بعد از ظهر تأثیر بیشتری در افزایش دما دارد.



تصویر ۶- طیف سایه در ۱۰ آگوست.

### نتیجه

تحقیق حاضر با مطالعه متمرکز بر بخشی از فضای باز فاز سه مجتمع مسکونی اکباتان عوامل تأثیرگذار در آسایش حرارتی را مورد ارزیابی قرار داده است. در مرحله اول "دمای معادل فیزیولوژیکی" نقاط منتخب سایت در روزهای میانه فصول مختلف از طریق شبیه‌سازی محاسبه و سپس آسایش حرارتی

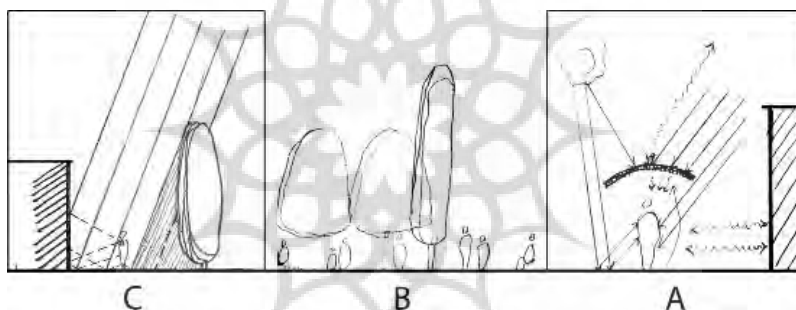
محاسبه "دمای معادل فیزیولوژیکی" موثر در آسایش حرارتی فضای باز، نیازمند سنجش شاخص‌های اقلیمی شامل "دمای متوسط تابشی"، باد، رطوبت و فشار و شاخص خصوصیات فردی کاربران از قبیل جنسیت، سن، نوع فعالیت و پوشش کاربر به صورت توأمان است.

- گرمایی را منتقل و از محفوظ کردن گرما جلوگیری نماید.
- جنس و رنگ سطوح و شکل قرار گیری موانع اطراف به نحوی باشد که حداقل جذب آفتاب در فصول گرم سال فراهم گردد و از افزایش دمای متوسط تابشی ناشی از بازتابش مصالح اطراف جلوگیری نمود.
- فعالیت‌های عصرگاهی و صبحگاهی در فصل سرد در مجاور ساختمان‌ها ساماندهی شود، به این وسیله از گرمای منتقل شده از فضای داخلی به فضای خارجی استفاده بهینه می‌گردد.
- از آنجایی که گاهی نقاط بدون سرپناه، مناسب‌ترین شرایط اقلیمی را در روزهای مختلف سال دارند، جهت و میزان سایه متنوعی پیشنهاد می‌گردد. بر این اساس کاربران با توجه به ترجیحات و نیاز خود سطوح مختلف سایه را انتخاب می‌نمایند (تصویر b7)

برای فردی مشخص در طول سال برآورد شده است. در مرحله پایانی عوامل فیزیکی تاثیر گذار و میزان تاثیر آنها در آسایش حرارتی مورد بررسی قرار گرفته است. یافته‌های تحقیق حاکی وجود رابطه معنادار بین سایه، دید به آسمان و فاصله نقاط تا موانع سخت با آسایش حرارتی است.

با توجه به نتایج حاصله از هر یک از عوامل تاثیرگذار، راهکارهای اساسی زیر جهت افزایش آسایش حرارتی در فضای باز پیشنهاد می‌گردد:

- اگرچه سایه در کاهش دمای هوا موثر است، اما می‌بایست با گشودن دید به آسمان امکان بازتابش آفتاب را فراهم نمود. بازتابش آفتاب از طریق انعکاس از سطوح موانع اطراف باعث افزایش دما و در نتیجه تنش حرارتی به ویژه در فصول گرم است. مطابق تصویر a7 بازتابش از موانع اطراف موجب افزایش محسوس دما است، حتی در صورتیکه تابش مستقیم خورشید مسدود گردد. طراحی سایه‌بان باید به نحوی باشد که انرژی



تصویر ۷- a) کاهش بازتابش آفتاب از جداره‌های اطراف (B) طراحی سطوح مختلف سایه، (C) مسدود نمودن بازتابش پراکنده اطراف.

## پی‌نوشت‌ها:

۱. Urban heat island (UHI)
۲. Mean radiant temperature (T<sub>mr</sub>t)
۳. Physiological equivalent temperature (PET)
۴. Luke Howard
۵. Predicted Mean Vote (PMV)
۶. Predicted Percentage Dissatisfied" (PPD)
۷. ASHRAE
۸. واحد نارسانایی لباس را کلو می‌گویند. مقاومت گرمایی یک کلو معادل ۰.۱۵۵ وات بر درجه سانتی‌گراد در مترمربع است.
۹. RayMan
۱۰. Townscope
۱۱. Auto CAD
۱۲. Meteorological Institute, University of Freiburg

- .Matzarakis ۱۳  
 .Global radiation ۱۴  
 .ENVI-met program ۱۵  
 .Michael Bruse ۱۶  
 .Mainz University ۱۷  
 .initial temperature ۱۸  
 .specific humidity ۱۹  
 .www.weather.ir ۲۰  
 .www.weather.uwoyo.edu ۲۱

### فهرست منابع:

- پوردیهیمی، شهرام (۱۳۷۸)، ساخت و ساز همساز با اقلیم. صغه، ۲۸، ۶۲-۷۱.  
 حیدری، شاهین (۱۳۸۸)، دمای آسایش حرارتی مردم شهر تهران، هنرهای زیبا - معماری و شهرسازی، ۳۸، ۱۴۰-۵.  
 حیدری نژاد، قاسم، دلفانی، شهرام، زنگنه، محمد امین و حیدری نژاد، محمد (۱۳۸۸)، آسایش حرارتی، تهران، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.  
 ذوالفقاری، حسن (۱۳۸۶)، تعیین تقویم زمانی مناسب برای گردش در تبریز با استفاده از شاخص‌های دمای معادل فیزیولوژی (PET) و متوسط نظرسنجی پیش‌بینی شده، (PMV) پژوهش‌های جغرافیایی، ۶۲، ۱۴۱-۱۲۹.  
 سلیقه، محمد (۱۳۸۳)، مدل سازی مسکن همساز با اقلیم برای شهرچابهار، جغرافیا و توسعه، ۴، ۱۷۰-۱۴۷.  
 طاهباز، منصوره (۱۳۸۶)، طراحی سایه در فضای باز، هنرهای زیبا، ۳۱، ۳۸-۲۷.  
 قیابکلو، زهرا (۱۳۸۲)، الگوی حرکت سایه و طراحی سایت، هنرهای زیبا، ۱۵، ۸۵-۵۸.
- Ali-Toudert, Fazia (2005), *Dependence of Outdoor Thermal Comfort on Street Design in Hot and Dry Climate*, Berichte des Meteorologischen Institutes Freiburg, Universit?t Freiburg.
- Angelotti, A., Dessi, Valentina & Scudo, Gianni (2007), *The evaluation of thermal comfort conditions in simplified urban spaces: the COMFA+ model*. 2nd PALENC Conference and 28th AIVC Conference on Building Low Energy Cooling and 65 Advanced Ventilation Technologies in the 21st Century. Crete island, Greece.
- Ashrae (2001), *ASHRAE Fundamentals Handbook 2001 (SI Edition)*, American Society of Heating, Refrigerating, and Air- Conditioning Engineers.
- Emmanuel, R (2005), Thermal comfort implications of urbanization in a warm-humid city: the Colombo Metropolitan Region (CMR), Sri Lanka. *Building and Environment*, 40, 1591-1601.
- Emmanuel, R, Rosenlund, H & Johansson, E (2007), Urban shading - a design option for the tropics? A study in Colombo, Sri Lanka. *International Journal of Climatology*, 27.
- Fahmy, Mohamad & Sharples, Stephen (2009), On the development of an urban passive thermal comfort system in Cairo, Egypt. *Building and Environment*, 44, 1907-1916.
- Fanger, Po. (1972), *Thermal Comfort : Analysis and applications in environmental engineering* New York, McGraw Hill.
- Gagge, Ap, Fobelets, Ap & Berglund, Pe (1986), *A standard predictive index of human response to the thermal environment*. ASHRAE Transactions.
- Heidari, Shahin & Sharples, Steve (2002), A comparative analysis of short-term and long-term thermal comfort surveys in Iran. *Energy and Buildings*, 34, 607-614.
- Hoppe, P (2002), Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort. *Energy and Buildings*, 34, 661-5.
- Hoppe, P.R. (1999), The physiological equivalent temperature: a universal index for the assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorology*, 43, 71-75.
- Lahme, Esther & Bruse, Michael (2003), *Microclimatic effects of a small urban park in densely built-up areas: Measurements and model simulations*.

- Lin, Tzu-Ping, Matzarakis, Andreas & Hwang, Ruey-Lung (2010), Shading effect on long-term outdoor thermal comfort. *Building and Environment*, 45, 213-221.
- Matzarakis, Andreas, Rutz, Frank & Mayer, Helmut (2007), Modelling radiation fluxes in simple and complex environments-application of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology*, 51, 323-334.
- Nasrollahi, Nazanin, Knight, Ian & Jones, Phil (2008), Workplace Satisfaction and Thermal Comfort in Air Conditioned Office Buildings: Findings from a Summer Survey and Field Experiments in Iran. *Indoor and Built Environment*, 17, 69-79.
- Nikolopoulou, Marialena, Baker, Nick & Steemers, Koen (2001), Thermal comfort in outdoor urban spaces: understanding the human parameter. *Solar Energy*, 70, 227-235.
- Ozkeresteci, I., Crewe, K., Brazel, A.J. & Bruse, M. (2003), *Use and evaluation of the ENVI-met model for environmental design and planning: An experiment on linear parks*,. the 21st International Cartographic Conference ICC Cartographic Renaissance, Durban, South Africa.
- Scudo, Giovanni (2005), *Environmental comfort in green urban spaces : an introduction to design tools*. IN WERQUIN, A. C., DUHEM, B., LINDHOLM, G., OPPERMAN, B., PAULEIT, S. & TJALLINGII, S. (Eds.) Green structure and urban planning. Belgium, COST Office.
- Teller, J & Azar, S (2001), TownScope II - A computer system to support solar access decisionmaking. *Sol Energy*, 70, 187-200.
- Yu, Chen & Hien, Wong Nyuk (2006), Thermal benefits of city parks. *Energy and Buildings*, 38, 105-120.

