

ارزیابی تأثیر پوشش گیاهی بر آسایش حرارتی در فضای عمومی

مطالعه موردی: مجتمع مسکونی جبل الدراک شیراز

محمدباقر بیگدلی^{*}، دکتر سیده صدیقه میرگذار لنگرودی^{**} دکتر احمدرضا کابلی^{***}

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۸/۲۳

تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۱۲/۲۵

چکیده

پوشش گیاهی می‌تواند آسایش حرارتی را بهبود و با ایجاد تعرق و سایه از خود باعث خنک شدن محیط شوند و همچنین اثر جزیره گرمایی شهری را تعدیل کرده و استرس گرمایی بر انسان را کاهش دهند. بنابراین، طراحی مناسب پوشش گیاهی برای بهبود آسایش حرارتی و خرداقلیمی اهمیت دارد. مطالعات در مورد آسایش حرارتی در فضاهای باز شهری، به ویژه پارک‌های محله‌ای، اهمیت دارد زیرا این نواحی به راحتی تحت تأثیر فضاهای سبز کوچک مقیاس قرار می‌گیرند. در این پژوهش از مدلسازی در نرم افزار ENVI-met در یک روز گرم تابستانی استفاده شده است. نتایج نشان داد که افزایش پوشش گیاهی منجر به بهبود شرایط حرارتی محیط می‌شود، و الگوی پوشش گیاهی پهن برگ نسبت به الگوهای دیگر بهترین عملکرد را داشته است. اما تراکم بیش از حد گیاه ممکن است نتیجه معکوس بدهد. این مطالعه نشان داد که طراحی مناسب پوشش گیاهی می‌تواند به بهبود شرایط حرارتی کمک کند.

واژه‌های کلیدی

آسایش حرارتی، انوی‌مت، شاخص آسایش حرارتی PMV، فضای سبز محله ای

^{*} دانشجوی دکترای تخصصی معماری، گروه معماری، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران. Email: imanbigdeli.mb@gmail.com

^{**} استادیار گروه معماری، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران. (مسئول مکاتبات). Email: ss.mirgozar@iau.ac.ir

^{***} استادیار گروه معماری، واحد ماهشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، ماهشهر، ایران. Email: Ah.kaboli@iau.ac.ir

مقدمه

با توجه به افزایش جمعیت در کره زمین و همچنین گسترش شهرها شاهد نابودی پوشش گیاهی و در نتیجه بالا رفتن دمای هوا هستیم. تحقیقات انجام شده حاکی از آن است که در یک قرن گذشته دمای کره زمین ۰.۷۴ درجه سلسیوس گرم تر شده است (قلی نژاد، ۱۳۹۰). فضاهای سبز، پوشش گیاهی و همچنین درختان در محیط های شهری می توانند آسایش حرارتی را بهبود بخشند. (Aboelata, et al., 2020) در نتیجه باعث ایجاد سایه و تعرق شده، که موجب کاهش دما می شوند (Onyango, et al., 2021). و بدین ترتیب، اثر جزیره گرمایی شهری را تعدیل کرده و همچنین اثرات استرس گرمایی بر انسان را کاهش می دهند (Lee, et al., 2016). با این حال، توانایی فضاهای سبز برای بهبود اثرات گرما به عوامل متعددی از جمله پوشش گیاهی و نوع آن (Duarte, et al., 2015) و اشکال مختلف موجود در فضای سبز مانند (شکل، چندلایه یا تک لایه بودن پوشش گیاهی) بستگی دارد (Park, et al., 2017). بنابراین، درک نحوه ی چیدمان پوشش گیاهی برای بهبود آسایش حرارتی برای طراحی منظر اهمیت اساسی دارد. (هاشمین و همکاران؛ ۱۴۰۱) باید توجه به این موضوع داشت که آسایش خرد اقلیمی بر آسایش حرارتی انسان تأثیر می گذارد (Lee, et al., 2016). بنابراین، یکی از روش های مؤثر برای بهبود آسایش حرارتی، طراحی با دلیل و یا اصلاح عناصر تشکیل دهنده منظر است که بر آسایش خرد اقلیمی تأثیر می گذارند (اخلاقی نژاد و باقری؛ ۱۴۰۲). می توان اشاره کرد که سایه ایجاد شده توسط درختان و عناصر موجود، تابش مستقیم خورشید را کاهش می دهند و چمنزارها از طریق تعرق، هوا را خنک می کنند (Lee, et al., 2016). همچنین ایجاد پوشش گیاهی نامناسب می تواند در بعضی مواقع نیز اثرات معکوس و منفی ایجاد کند و باعث ایجاد خرد اقلیم شود. پیرو این موضوع در سال ۲۰۱۶ هسبه، جان و ژانگ به این نتیجه رسیدند که کاشت بیش از اندازه درختان و پوشش گیاهی در منطقه بیش از آنکه اثر مثبت در کاهش دمای هوا و آسایش حرارتی منطقه ایجاد نماید بلکه باعث افزایش دما شده بود و زیرا تراکم درختان سدی در برابر هوای خنک ورودی به منطقه شده بود، بنابراین طراحی و ایجاد پوشش گیاهی مناسب و هوشمندانه در جهت ایجاد خرد اقلیم و در نتیجه نزدیک شدن به محدوده آسایش حرارتی اهمیت بسزایی دارد. شرایط آسایش خرد اقلیمی را می توان با استفاده از اندازه گیری های میدانی یا مدل های عددی مورد بررسی قرار داد (Lee, et al., 2016) با این حال، هزینه انجام مجموعه اندازه گیری های میدانی از نظر زمان و ابزار مورد نیاز، بسیار زیاد است (Hamada & Ohta, 2010) علاوه بر این، اندازه گیری تغییرات آسایش خرد اقلیمی در اجزای مختلف داخل پارک ها یا فضاهای شهری دشوار است. بنابراین، شبیه سازی های عددی برای تخمین عملکرد محیطی یک فضای شهری و بهبودهایی که در محیط بیرونی ایجاد می کند، مناسب ترین روش در نظر گرفته می شود (Nazarian, et al., 2017) مدل ENVI-met یک مدل عددی میکرو اقلیم سه بعدی است که به شبیه سازی برهم کنش های میان زمین، گیاهان و جو در محیط های شهری می پردازد (اخلاقی نژاد و باقری؛ ۱۴۰۲) این مدل دارای تفکیک مکانی ۰.۵ تا ۱۰ متر، با حداکثر ۲۴۰ سلول شبکه ای افقی، و تفکیک زمانی ۱۰ ثانیه است. دقت خروجی مدل تحت تأثیر داده های ورودی هواشناسی و تنظیمات پارامترها قرار می گیرد که برای بررسی محیط های برون شهری با مقیاس های دقیق مناسب است.

فضاهای باز شهری و فضاهای سبز مکان های مهمی را برای شهروندان فراهم می آورند و محیط حرارتی آن ها ارتباطی قوی با میزان استفاده دارد (Lee, et al., 2016). پارک های محله ای آن هایی هستند که در داخل محوطه مسکونی قرار گرفته و فرصت های تفریحی و سرگرمی را برای عموم مردم در مناطق مجاور و اطراف ارائه می دهند (Malek, et al., 2012). مطالعات قبلی در مورد آسایش حرارتی در پارک های شهری بر مناطق بزرگ مقیاس متمرکز بوده اند (Sun, et al., 2017). با این حال، مطالعه ی مناطق کوچک تر تحت پوشش پارک های محله ای نیز حائز اهمیت است، زیرا نواحی شهری که با محدودیت فضا مواجه هستند، به راحتی تحت تأثیر فضاهای سبز کوچک مقیاس قرار می گیرند.

پیشینه پژوهش

با توجه به حساسیت موضوع آسایش حرارتی در گذشته و امروز پژوهش های فراوانی انجام شده است که این تحقیقات در شاخه های متفاوتی چون گیاهان، جداره و فرم های ساختمان و محلات شهری صورت گرفته است. در اینجا با توجه به موضوع که توجه به چیدمان و الگوی کاشت درختان و پوشش گیاهی در مجتمع مسکونی می باشد در بخش پیشینه تحقیق در جدول ۱ نیز به مباحث مرتبط با موضوع پرداخته خواهد شد.

جدول ۱. خلاصه پیشینه پژوهش‌های صورت پذیرفته در ارتباط با مؤلفه‌های تأثیرگذار بر آسایش حرارتی

Table 1. Summary of the background of the researches carried out in connection with the components affecting thermal comfort

ردیف	محقق	سال	نتیجه
۱	هاشمین و همکاران	۲۰۲۲	تأثیر طرح کاشت درختان بر آسایش حرارتی در مقیاس میکرو اقلیم (نمونه موردی: محوطه دانشکده هنر و معماری دانشگاه تربیت مدرس)
نتیجه	طرح کاشت گروهی درختان، باعث افزایش مساحت سایه اندازی و در نتیجه باعث بهبود شاخص آسایش حرارتی PMV و متغیرهای محیطی می شود.		
۲	Le , et al	۲۰۱۱	مقایسه تأثیر اشکال بلوک شهری تایپه بر آسایش حرارتی
نتیجه	سایه ایجاد شده ساختمان و پوشش گیاهی باعث تنظیم گردش هوا می شود و این عامل تأثیر مستقیم بر ایجاد آسایش حرارتی در محیط داشته است .		
۳	Aboelata, et al	۲۰۲۰	ارزیابی اثر درختان بر کاهش UHI و کاهش مصرف انرژی در مناطق مختلف ساخته شده در قاهره
نتیجه	نتیجه این پژوهش آشکار ساخت که مناطق با تراکم پوشش گیاهی دمای هوا را از ۰.۴ تا ۲ درجه سانتیگراد کاهش داده است و در مناطق بدون پوشش گیاهی دمای هوای بالاتری به ثبت رسیده است.		
۴	Li & Song	۲۰۱۹	بهینه سازی آرایش پوشش گیاهی برای بهبود ریزاقلیم و آسایش حرارتی در پارک شهری
نتیجه	پوشش گیاهی چند لایه و متراکم بهترین نتیجه را از میان الگوهای دیگر داده است. در این پژوهش اصلی ترین عامل در آسایش حرارتی میانگین دمای تابشی بوده است که تنظیم آن تأثیر بسزایی در آسایش حرارتی محیط داشته است.		
۵	Taleghani, et al	۲۰۱۶	شبیه‌سازی‌های هواشناسی برای پیش‌بینی اثرات استراتژی‌های کاهش گرما بر راحتی حرارتی عابران پیاده در یک محله مسکونی در لس‌آنجلس
نتیجه	طراحی کاشت پوشش گیاهی و افزایش سایه در معبر، دمای هوا را به طرز قابل توجهی کاهش می دهد که این عدد را ۱.۵ درجه سانتیگراد بیان کرده است.		
۶	Alexandri & Jones	۲۰۰۸	تأثیر دما در یک دره شهری با دیوارهای سبز و بام های سبز در اقلیم های متنوع
نتیجه	پژوهش انجام شده در شهر هنگ کنگ به این نتیجه رسیده است که پوشش گیاهی موجود در اطراف بزرگراه دمای هوا را تا ۴.۸ درجه سانتیگراد کاهش داده است.		
۷	Lin et al.	۲۰۱۳	عوامل موثر بر آسایش حرارتی در پارک با توجه به سطوح مختلف سایه و انواع فعالیت
نتیجه	سایه کم باعث عدم آسایش در تابستان می شود، برای بهبود آسایش حرارتی در تابستان، باید با درختان و ساختمان ها سایه کافی ایجاد شود، همچنین نیاز حرارتی افراد و ایجاد خرد اقلیم محلی مرتبط با ایجاد فضاهای باز سایه دار می باشد.		

در جدول ۱ مشاهده شد که تحقیقات صورت گرفته در بحث آسایش حرارتی با استفاده از پوشش گیاهی، بسیار مورد توجه قرار گرفته است، زیرا طراحی و کاشت هوشمندانه پوشش گیاهی و همچنین توجه به گونه درختان و سازگاری نسبت به اقلیم تا چه حد می تواند تأثیر بر ایجاد آسایش حرارتی داشته باشد. لذا پژوهش حاضر بر آن است، که با الگوی مناسب از پوشش گیاهی، آسایش حرارتی را در فضای باز مجتمع مسکونی ایجاد کرده و تأثیر پوشش گیاهی را بر محیط مورد آزمایش قرار دهد.

مبانی نظری پژوهش

شهرها برای بهبود عملکرد حرارتی محیط از استراتژی های مختلف کاهش دما استفاده می کنند. تکنیک های طراحی با در نظر گرفتن هندسه شهری مانند، فاکتور دید آسمان (SVF)، نسبت ابعاد و سناریوهای سایه دهی، نقش مهمی در این تلاش ها دارند. چندین استراتژی شناخته شده برای کاهش اثرات جزیره گرمای شهری به کار گرفته می شود از جمله این موارد سقف های خنک کننده و بازتابنده خورشید، پیاده روهای خنک کننده و بازتابنده خورشید و بام های سبز گیاهی را می توان نام برد (Ragab & Abdelrady, 2020) مطابق شکل ۱ مدل های اقلیمی شهری بر اساس مقیاس جغرافیایی دسته بندی می شوند، این مدل ها با توجه به زمینه کالبدی، دقت دمایی و فضایی که وجود دارد متفاوت می باشد. بر اساس این مدل یکی از عوامل موثر و تأثیرگذار، پوشش گیاهی می باشد که به عنوان کنترل کننده آسایش حرارتی در محیط می باشد. (Ng, 2009-220).

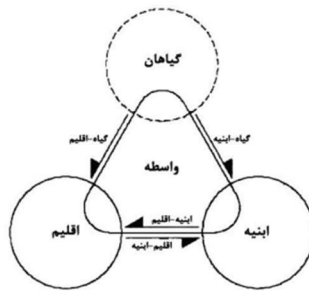


Figure 1. Environmental model (Ng, 2009-220)

شکل ۱. مدل محیطی (Ng, 2009-220)

طراحی مناسب در محیط های شهری در ایجاد ریز اقلیم اهمیت ویژه ای دارد، زیرا بر آسایش حرارتی تأثیر گذاشته و در نتیجه استفاده عموم از فضاهای باز را تحت تأثیر قرار می دهد. یکی از روش های مؤثر برای بهبود آسایش حرارتی، اصلاح عناصر منظر است که باعث ایجاد خرداقلیم می شوند (اخلاقی نژاد و باقری، ۱۴۰۲). آسایش حرارتی نسبت رضایتمندی کاربر به دمای اطراف (محیط) می باشد که بر اساس چهار مولفه اصلی دمای هوا، میانگین دمای تابشی، سرعت باد و رطوبت نسبی محاسبه می شود و همچنین مولفه های دیگری چون سن افراد، نوع فعالیت و نوع پوشش (لباس) در نظر گرفته می شود (Ashraee, 2013).

دمای هوا^۲ منظور از دمای هوا، دمای اطراف بدن انسان است که جریان گرما بین بدن و هوا را تعیین می کند (Waseem Ahmad, et al., 2016). همچنین به عنوان دمایی که یک بسته هوا را در صورتی که به صورت آدیاباتیک^۳ از فشار موجود خود به فشار ۱۰۰۰ میلی بار یا ۱۰۰ هکتوپاسکال منبسط یا فشرده کرده باشد، گفته می شود (Nappo, 2012).

میانگین دمای تابشی^۴ میانگین دمای تابشی (TMR) دمایی است که یک جسم با انسان و محیط اطراف آن، مقدار یکسانی از تابش حرارتی را مبادله می کند (Torres & martin, 2008). بیان میانگین دمای تابشی از فنگر، تنها تابش حرارتی منتقل شده توسط دیوارها را در نظر می گیرد. در ساده ترین شکل، میانگین دمای تابشی به صورت میانگین وزنی دماهای اندازه گیری شده در سطوح مختلف در شرایط پایدار بیان می شود. به بیانی دیگر منظور از میانگین دمای تابشی، میانگین دمای هوای اطراف زمین است که به طور مستقیم توسط تابش خورشید تعیین می شود (Trenberth, et al., 2009).

بیشتر پرتوهای مرئی به ویژه نور سبز و زرد، و همچنین بخشی از پرتوهای ماوراءبنفش توسط گیاهان جذب می شود. برخی ترکیبات گیاهی مانند فنول ها (فلاونوئیدها، اسید هیدروکسی سینامیک) قادر به جذب پرتوهای ماوراءبنفش و عمل به عنوان آنتی اکسیدان های طبیعی هستند. بخشی از نور خورشید نیز توسط گیاهان منعکس می شود. میزان بازتاب نور علاوه بر ساختار برگ، تابعی از عوامل شیمیایی نظیر محتوای نیتروژن، کربن، آب و رنگدانه های گیاه است. بازتاب در محدوده مادون قرمز نزدیک به ساختار برگ، در محدوده مرئی به رنگدانه ها و در محدوده مادون قرمز میانی به محتوای آب وابسته است. ضریب انعکاس، بیانگر میزان بازتاب سطح است و هرچه این ضریب بیشتر باشد، خنک کنندگی سطح نیز بیشتر خواهد بود. برای افزایش انعکاس پوشش گیاهی می توان از گونه های گیاهی با صفات عملکردی مناسب استفاده کرد. این صفات عمدتاً به دو دسته شیمیایی و ساختاری تقسیم می شوند. برخلاف نور مرئی، بازتاب پرتو ماوراءبنفش به ویژگی های لایه کوتیکول (هیدروکربنی) سطح برگ بستگی دارد.

سرعت باد^۵ سرعت باد به مقدار سرعتی اشاره دارد که باد، در یک منطقه خاص دارد و معمولاً به کیلومتر یا مایل در ساعت اندازه گیری می شود. سرعت باد می تواند متغیر باشد و تأثیر زیادی بر شرایط آب و هوایی منطقه داشته باشد (Álvarez-Rodríguez, et al., 2024).

رطوبت نسبی^۶ رطوبت نسبی بیانگر مقدار بخار آب موجود در هوا نسبت به حداکثر مقداری است که هوا می تواند در آن حالت دما و فشار را در خود نگه دارد. این مقدار به صورت درصدی بیان می شود (Prasetya & Okur, 2024).

گونه گیاهان و همچنین تعداد آن ها اهمیت بسیار زیادی در ایجاد خرد اقلیم دارد. بر طبق تحقیقات انجام شده، پوشش گیاهی از طرق مختلفی چون اثرگذاری بر سرعت وزش باد، سایه اندازی و ایجاد رطوبت حاصل از تبخیر و تعرق و انعکاس^۱ نور خورشید در آسایش حرارتی محیط تأثیر می گذارد. دو عامل سایه اندازی و رطوبت، از عوامل اصلی تعدیل حرارتی گیاهی به شمار می روند (رجب بیگی و همکاران، ۱۳۹۳). با افزایش پوشش گیاهی در سطح خیابان (Taleghani, et al., 2016). و با ایجاد سناریوهای مختلف پوشش گیاهی می توان تأثیر خنک کنندگی را در فضاهای شهری در فضای باز به طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار داد. پوشش گیاهی، سایه ای برای ساختمان ها و سطوح ایجاد می کند که منجر به کاهش دمای هوا از طریق دو مکانیسم می شود که اولاً افزایش شار گرمای تبخیری و دوماً کاهش گرمایش محسوس را می توان نام برد. اثر خنک کنندگی با افزایش تراکم تاج درختان بیشتر است که باعث بهبود راحتی حرارتی انسان می شود

(Onyango, et al., 2021). این استراتژی‌ها به طور مؤثری چالش‌های کاهش اثرات گرمای شهری را برطرف می‌کنند و به ایجاد محیط های شهری راحت تر از نظر حرارتی کمک می‌کنند. گیاهان علاوه بر تبخیر و تعرق حاصله در محیط، که باعث ایجاد رطوبت و تنظیم دما می‌شوند به عنوان عامل پاکیزگی هوا در کاهش سطح آلودگی و همچنین سدی در برابر آلودگی‌های صوتی نیز عمل می‌کنند (Jamei, et al., 2016). بیشتر پرتوهای مرئی به ویژه نور سبز و زرد و همچنین بخشی از پرتوهای ماوراءبنفش توسط گیاهان جذب می‌شود. برخی ترکیبات گیاهی مانند فنول‌ها (فلاونوئیدها، اسید هیدروکسی سینامیک) قادر به جذب پرتوهای ماوراءبنفش و عمل به عنوان آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی هستند. بخشی از نور خورشید نیز توسط گیاهان منعکس می‌شود. میزان بازتاب نور علاوه بر ساختار برگ، تابعی از عوامل شیمیایی نظیر محتوای نیتروژن، کربن، آب و رنگدانه‌های گیاه است. بازتاب در محدوده مادون قرمز نزدیک به ساختار برگ، در محدوده مرئی به رنگدانه‌ها و در محدوده مادون قرمز میانی به محتوای آب وابسته است. ضریب انعکاس، بیانگر میزان بازتاب سطح است و هرچه این ضریب بیشتر باشد، خنک‌کنندگی سطح نیز بیشتر خواهد بود. برای افزایش ضریب انعکاس پوشش گیاهی می‌توان از گونه‌های گیاهی با صفات عملکردی مناسب استفاده کرد.

شاخص آسایش حرارتی PMV^y

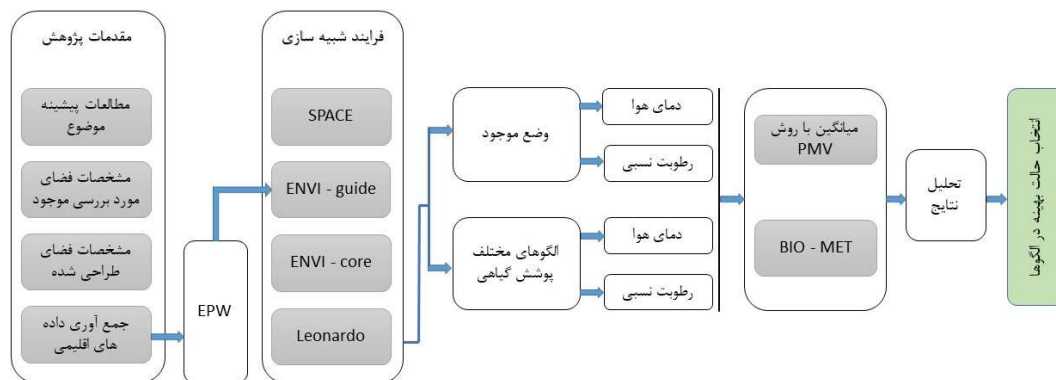
در مطالعات متعددی از شاخص PMV (میانگین رای پیش بینی شده) استفاده شده است. شاخص PMV تأثیرات دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد و میانگین دمای تابشی را محاسبه می‌کند که بیانگر احساس حرارتی کلی و تعیین درجه رضایت و ناراضایتی حرارتی افراد در محیط است. این استاندارد این قابلیت را ایجاد می‌کند، تا با محاسبه شاخص های PMV و PPD درصد ناراضایتی حرارتی پیش بینی شده و همچنین معیارهای ناراضایتی حرارتی، شرایط آسایش حرارتی تحلیل و بررسی شود (Iso7730, 2005). این شاخص بر اساس این فرض می‌باشد که، هنگامی که فرد در معرض وضعیت خاص اقلیمی قرار می‌گیرد، به تدریج تعادل حرارتی با محیط برقرار می‌شود که این موضوع را می‌توان از طریق محاسبات عددی معادلات تراز انرژی برحسب تنظیم مجدد دما محاسبه کرد (Fanger, 1973).

روش پژوهش

این تحقیق به لحاظ «ماهیت» پژوهش، از گونه تحقیقات «کمی» بوده و با مدل سازی واقعی در شهر شیراز انجام شده است و به لحاظ قصد از پژوهش «پیش‌گویانه» است. نتایج آن «اقدامی» و منطق پژوهش «استقرایی» است. پژوهش مورد نظر با استفاده از نرم افزار Envi-met در یک مجتمع مسکونی در شهر شیراز انجام شده است. بخشی از این پژوهش به صورت میدانی، جهت برداشت مولفه های مختلف همچون دمای هوا، میانگین دمای تابشی، رطوبت نسبی و سرعت باد صورت گرفته است و بخش دیگر پژوهش در نرم افزار، مدل سازی و شبیه سازی اقلیمی با توجه به داده های آب و هوایی مربوط به اداره هواشناسی شهر شیراز صورت گرفته است. با توجه به همبستگی و مطابقت داده های خروجی از نرم افزار و برداشت های میدانی، نرم افزار Envi-met دارای روایی و پایایی می باشد.

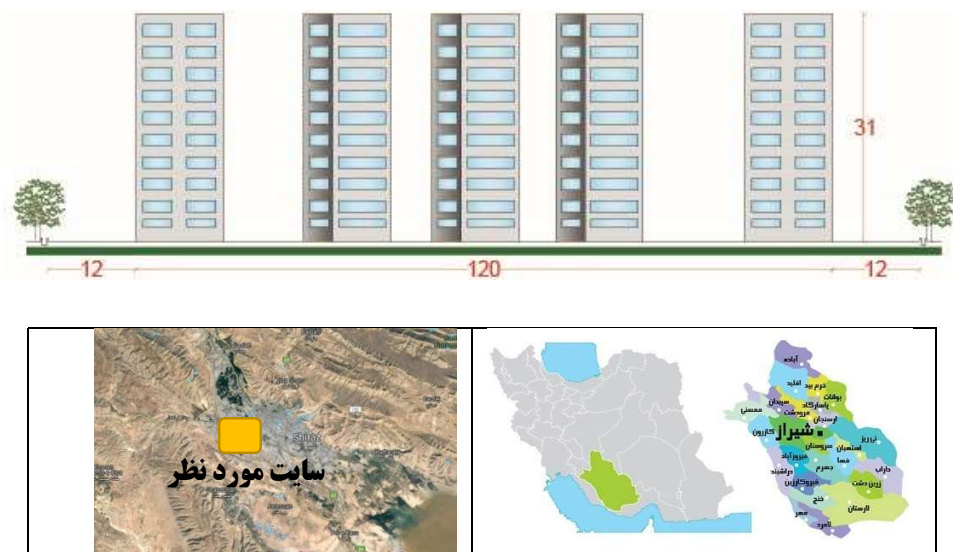
معرفی نمونه های مورد مطالعه

در این پژوهش، پوشش گیاهی به عنوان متغیر مستقل و همچنین آسایش حرارتی به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شده است با توجه به موارد ذکر شده در بالا هدف اصلی این پژوهش، بررسی تاثیر پوشش گیاهی و الگوی کاشت بر آسایش حرارتی در فضاهای باز مشترک در مجتمع های مسکونی می باشد. متوسط درجه حرارت سالانه در شهر شیراز ۱۷/۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. حداکثر و حداقل درجه‌ی حرارت در فصل تابستان و زمستان به ترتیب ۴۳/۲ و ۱۴- درجه سانتیگراد می‌باشد. میزان بارندگی سالانه بیش از ۳۰۷ میلی متر بوده و روزهای یخبندان به ۵۴ روز در سال می‌رسد. آب و هوای شهر شیراز در بخش گرم و نیمه خشک قرار دارد (سازمان مدیریت و برنامه ریزی فارس، ۱۳۷۵: ۲۱). در نتیجه یک مجتمع مسکونی در بخش شمال غربی شهر شیراز (۲۹ درجه و ۳۶ دقیقه و ۳۷ ثانیه شمالی، ۵۲ درجه و ۳۱ دقیقه و ۵۲ ثانیه شرقی) در نظر گرفته شد.



شکل ۲. فرآیند پژوهش (نگارندگان)

سپس الگوی رفرنس جهت اعتبار سنجی و همچنین الگوهای پیشنهادی در نرم افزار انوی مت (Envi-met) با نسخه ۵/۶/۱ مدلسازی و خروجی در بخش های دمای هوا، میانگین دمای تابشی، رطوبت نسبی و سرعت باد گرفته شد و در بخش بایومت (Bio-met) خروجی آسایش حرارتی با شاخص PMV گرفته شده است. در شکل ۲ فرایند پژوهش حاضر قابل مشاهده می باشد. مطابق شکل ۳ این سایت شامل هفت ساختمان ۱۰ طبقه مسکونی می باشد که وضعیت موجود به عنوان الگوی مرجع (Case Reference) که فاقد پوشش گیاهی می باشد و پنج الگوی پیشنهادی نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است که در انقلاب تابستانی مورد بررسی و نتایج تحلیل گردیده است.



شکل ۳. بالا: مشخصات فیزیکی سایت مورد نظر، پایین: عکس هوایی و محل قرارگیری سایت (نگارندگان)

پارامترهای ورودی و روش آنالیز

قسمت اصلی منطقه ی مورد مطالعه با استفاده از شبکه هایی با ابعاد $120 \times 100 \times 80$ و ابعاد ورودی هر یک از شبکه ها برابر با یک متر ساخته شد. جهت شمال با زاویه 225° درجه نسبت به سایت مورد نظر می باشد. همچنین برای افزایش پایداری شبیه سازی برای عناصری که در نزدیکی مرز منطقه ی مورد مطالعه قرار دارند، ۱۰ شبکه ی خالی (Nesting) به هر ضلع محیط اضافه شد. میانگین ساعتی دمای هوا، سطح و خاک از ایستگاه هواشناسی شهر شیراز در قالب یک فایل (EPW) تهیه شد. مقادیر رطوبت ویژه از ارتفاع ۱۵۰۰ متری، برای شهر شیراز در نظر گرفته شده است. اطلاعات ورودی در نرم افزار در جدول ۲ قابل مشاهده می باشد.

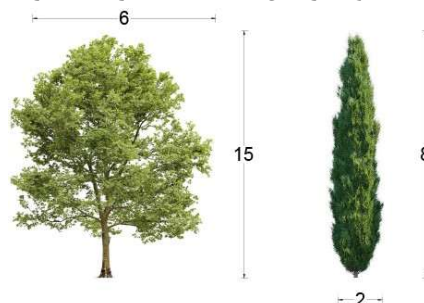
جدول ۲. اطلاعات ورودی در نرم افزار انوی مت (نگارندگان)

اطلاعات وارد شده در بخش مدلسازی نرم افزار (Space)	
سایت مورد نظر	فارس - شیراز (۲۹.۳۶.۳۷ شمالی و ۵۲.۳۱.۵۲ شرقی)
ارتفاع از سطح دریا	۱۵۰۰ متر

x-Grids=۱۲۰ , y-Grids=۱۰۰ , z-Grids=۸۰	تعداد گریدها در مدل سازی
Dx = 1m , Dy = 1m , Dz = 1m	ابعاد گریدها
۲۲۵ درجه	چرخش نسبت به محور شمال
اطلاعات ورودی در قسمت Envi-guide نرم افزار	
انقلاب تابستانی (تیرماه)	روز شبیه سازی
06/07/2018	تاریخ شبیه سازی
۸ الی ۱۸	ساعات شبیه سازی
EPW- SHIRAZ 2018	اطلاعات آب و هوایی (اداره هواشناسی)
اطلاعات ورودی در قسمت BIO-met نرم افزار	
Age of person (y): 35 Weight (kg): 75.00	Gender: Male Height (m): 1.75
پارامترهای بدن	
Static Clothing Insulation (clo): 0.90	پارامترهای پوششی و لباس
Total Metabolic rate (W): 164.49 (=86.21 W/m2) (met): 1.48	متابولیسم افراد

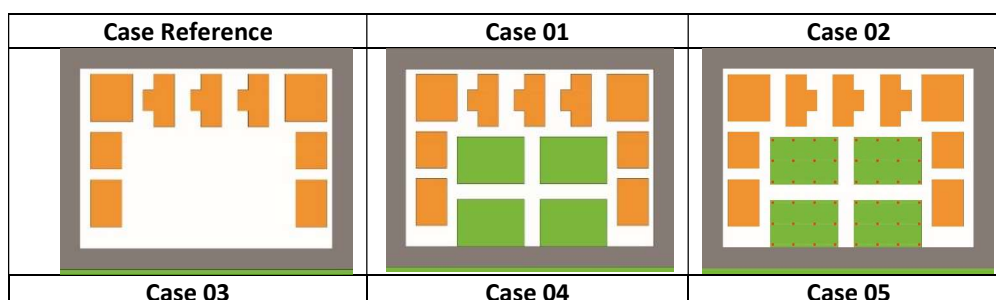
الگوهای پیشنهادی

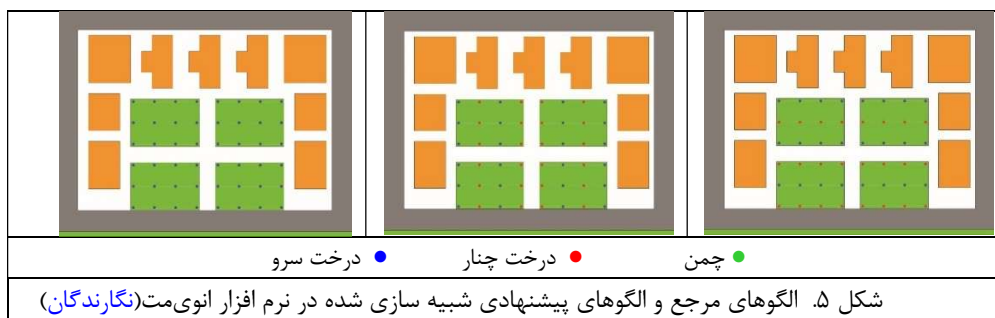
برای ایجاد آسایش حرارتی در سایت مورد نظر پنج الگوی مختلف مورد بررسی قرار گرفت. وضعیت فعلی این مجتمع به عنوان الگوی مرجع (Case Reference) که فاقد هرگونه پوشش گیاهی می باشد در نظر گرفته شده است و الگوهای پیشنهادی دیگر تحت عنوان (Case 01 تا Case 05) به ترتیب با پوشش های مختلف گیاهی ۱- چمن ۲- درخت چنار ۳- درخت سرو ۴- درختان ترکیبی (چنار، سرو) با چیدمان در جهت باد غالب ۵- درختان ترکیبی (چنار، سرو) با چیدمان در جهت مخالف باد غالب انتخاب گردید. لازم به ذکر است تعداد درختان موجود در سایت ۴۸ اصله در نظر گرفته شده است. گونه درختان استفاده شده در سایت در شکل ۴ قابل مشاهده می باشند.



شکل ۴. نوع و ابعاد درختان موجود در شبیه سازی (نگارندگان)

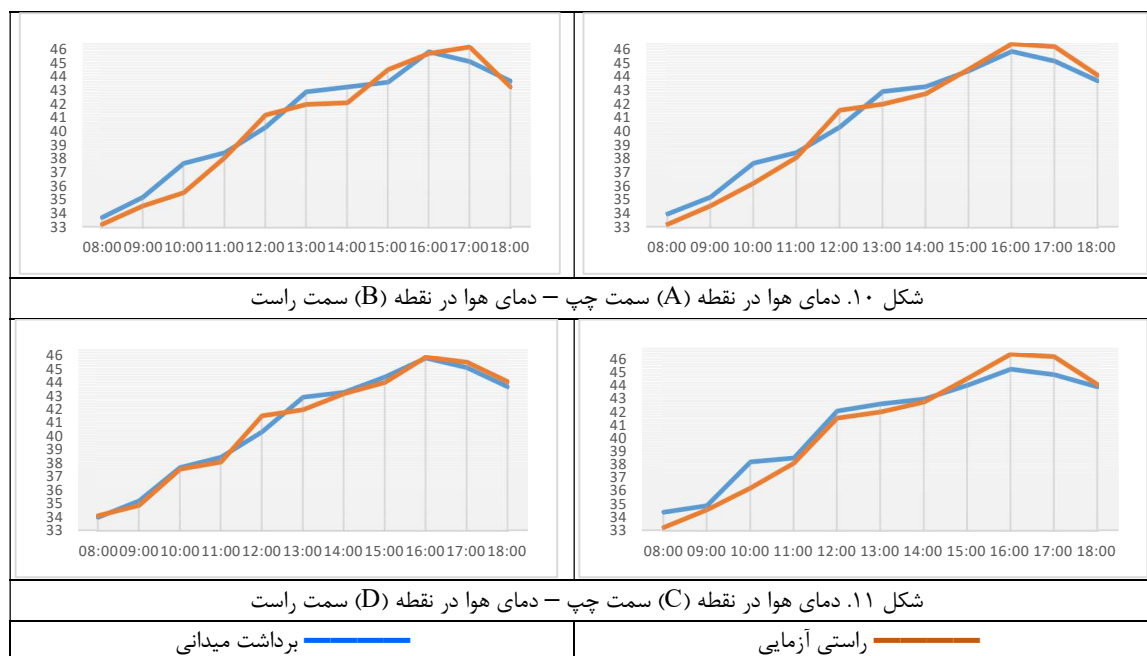
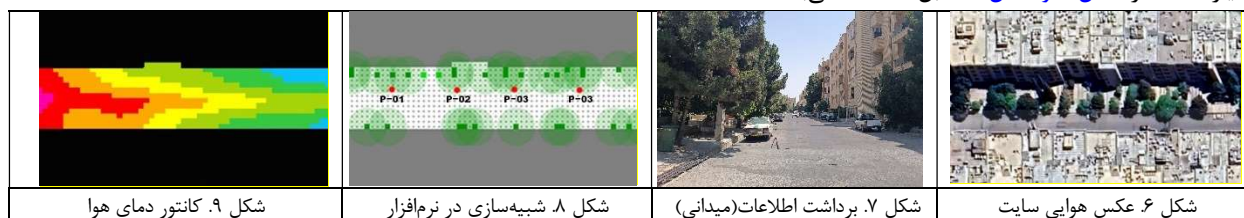
متریال های استفاده شده در شبیه سازی، همانند وضعیت موجود در خیابان از آسفالت که در نرم افزار با علامت اختصاری (ST) و جنس محوطه از بتن روشن با علامت اختصاری (PL) و زیر ساختمان ها نیز از بتن تیره با علامت اختصاری (PG) در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که متریال خاک موجود در شبیه سازی نیز از جنس (Lomy Soil) می باشد. در شکل ۵ نوع و چیدمان الگوهای پوشش گیاهی که در نرم افزار انوی مت شبیه سازی شده است قابل مشاهده می باشد.





اعتبارسنجی

با توجه به شکل ۶ جهت اعتبارسنجی نرم افزار انوی مت (Envi-met)، یک مجتمع مسکونی در شیراز در مولفه های دمای هوا، میانگین دمای تابشی، رطوبت نسبی و سرعت باد در تاریخ ۶ جولای ۲۰۲۴ معادل ۱۶ تیرماه ۱۴۰۳ توسط دستگاه WBGT-2010SD در چهار نقطه از سایت در ساعات ۸ الی ۱۸ مطابق شکل ۷ و شکل ۸ مورد راستی آزمایی انجام گرفت سپس اطلاعات ثبت شده توسط دستگاه با خروجی نرم افزار شکل ۹ از مولفه های ذکر شده با یکدیگر مقایسه شد. لازم به ذکر است خروجی نرم افزار و اطلاعات میدانی با اختلافات بسیار اندک در شکل ۱۰ و شکل ۱۱ قابل مشاهده می باشد.



همچنین با توجه به اطلاعات به دست آمده از برداشت میدانی در ساعات مختلف و نیز اطلاعات به دست آمده از شبیه سازی مدل در نرم افزار انوی مت، جهت صحت اطلاعات نسبت به یکدیگر از محاسبه ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. نتایج همبستگی در جدول ۳ قابل مشاهده می باشد. نتایج این جدول بیانگر دقت بالای شبیه سازی نسبت به اطلاعات به دست آمده میدانی می باشد.

جدول ۳. مقایسه همبستگی پیرسون در برداشت میدانی و شبیه سازی

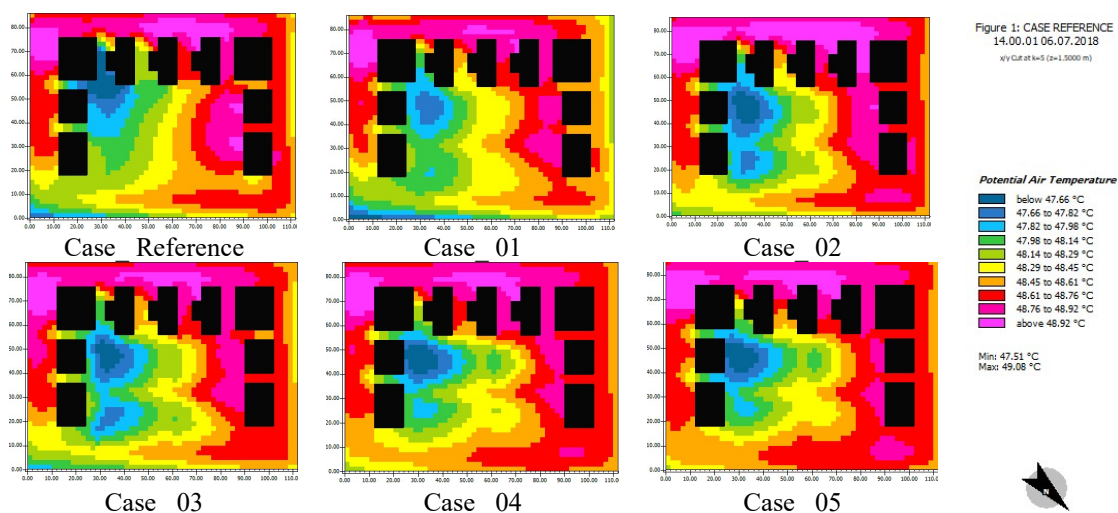
POINT - A	POINT - B
-----------	-----------

میدانی				اعتبارسنجی			
اعتبارسنجی	Pearson Correlation	1	.861**	اعتبارسنجی	Pearson Correlation	1	.858**
	Sig. (2-tailed)		.000		Sig. (2-tailed)		.000
	N	11	11		N	11	11
میدانی	Pearson Correlation	.861**	1	میدانی	Pearson Correlation	.863**	1
	Sig. (2-tailed)	.000			Sig. (2-tailed)	.000	
	N	11	11		N	11	11
**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).				**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).			
POINT - C				POINT - D			
اعتبارسنجی				اعتبارسنجی			
اعتبارسنجی	Pearson Correlation	1	.887**	اعتبارسنجی	Pearson Correlation	1	.858**
	Sig. (2-tailed)		.000		Sig. (2-tailed)		.000
	N	11	11		N	11	11
میدانی	Pearson Correlation	.892**	1	میدانی	Pearson Correlation	.858**	1
	Sig. (2-tailed)	.000			Sig. (2-tailed)	.000	
	N	11	11		N	11	11
**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).				**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).			

مدل انوی مت توانست داده های مشاهده شده در اعتبارسنجی را به طور معقولی تقریب بزند و شرایط جوی مشابهی را با داده های مشاهده شده در طول روز تولید کند. با این حال، دمای هوای شبانه روزی شبیه سازی شده بالاتر از اندازه گیری های مشاهده ای بود. این امر در تضاد با مطالعات پیشین است که دست کم گرفتن دمای هوای شبانه روزی توسط مدل انوی مت را گزارش کرده اند. این اختلاف به دلیل اضافه شدن شبکه خالی (Nesting) اضافی در مطالعه است؛ هیچ شبئی نمی تواند در داخل این ناحیه قرار گیرد، بنابراین تابش خورشیدی بدون مزاحمت به سطح می رسد، که اغلب منجر به دمای سطح زمین غیر واقعی در ناحیه (Nesting) می شود.

تملیل داده ها

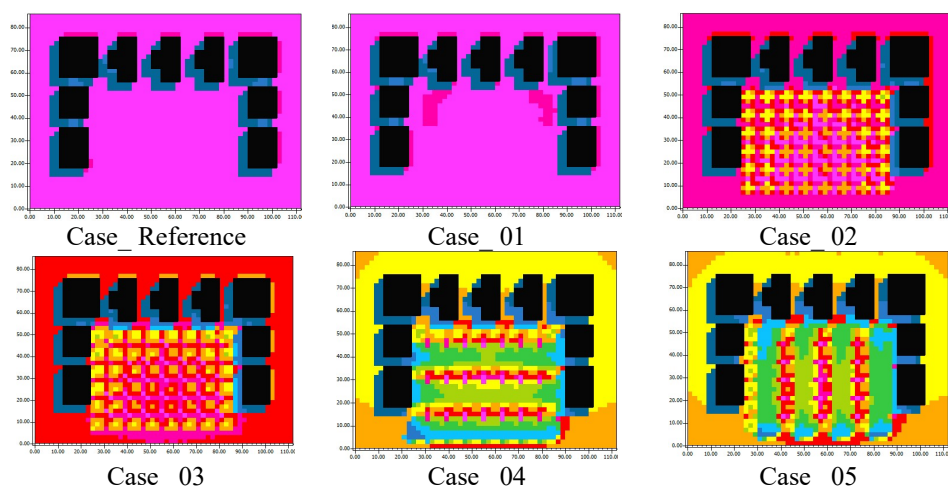
در شکل ۱۲ مقایسه دمای هوا و آسایش حرارتی در چیدمان های مختلف پوشش گیاهی در ارتفاع ۱/۵ متری برای سناریوهای مختلف مشاهده می شود. حالت (Case Reference) (بدون پوشش گیاهی) در طول روز بالاترین دمای هوا را داشت و پس از آن حالات ۰۱، ۰۳، ۰۴ و ۰۵ قرار داشتند. تفاوت های بین تمام سناریوهای پوشش گیاهی و حالت Reference در شکل ۹ نشان داده شده است؛ این تفاوت ها به طور پیوسته از ساعت ۸:۰۰ تا ۱۸:۰۰ افزایش و کاهش یافتند.



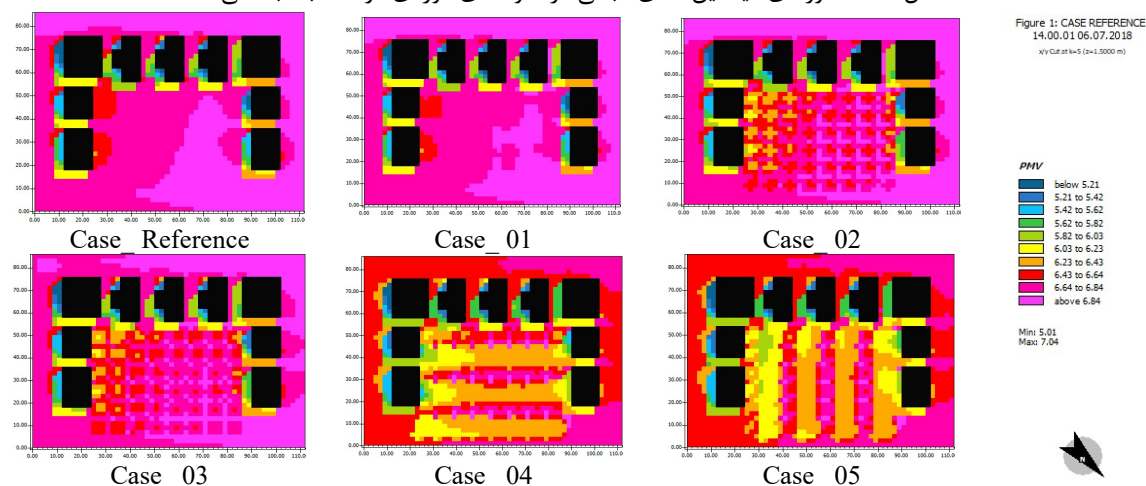
شکل ۱۲. کانتورهای دمای هوا در نمونه های موردی در انقلاب تابستانی

تصویر ۱۳ و ۱۴ توزیع مکانی میانگین دمای تابشی، شاخص آسایش حرارتی PMV را در ساعت ۱۴:۰۰ روز ۱۶ تیرماه ۱۳۹۷ نشان می دهد که توسط مدل ENVI-met در ارتفاع ۱/۵ متری بدست آمده است که دمای هوای پایین تر در موارد دارای پوشش گیاهی همگی در بخش جنوبی به طرف شمال سایت در حال گسترش می باشد. جهت تعیین بهینه ترین آرایش پوشش گیاهی برای ارتقای آسایش حرارتی، شاخص

میانگین رای پیش‌بینی‌شده (PMV) در نرم‌افزار انوی‌مت (Envi-met) محاسبه گردید. شاخص PMV ابتدا توسط فنگر در ۱۹۷۰ برای سنجش آسایش در محیط‌های بسته توسعه یافت و بعدها توسط چندریژکی در ۱۹۹۰ برای آسایش حرارتی فضای باز به کار گرفته شد. دامنه‌ی نرمال PMV بین ۴- (بسیار سرد) تا ۴+ (بسیار گرم) قرار دارد و مقادیر آن بسته به تراز انرژی در مکان مشخص ممکن است (Hamada & Ohta, 2010). در طول تابستان، تنش گرمایی بر اساس مقادیر PMV به شرح زیر طبقه‌بندی می‌شود: ۰-۱: تنش گرمایی خفیف؛ ۱-۲، تنش گرمایی متوسط؛ ۲-۳، تنش گرمایی شدید؛ ۳-۴ و بیشتر از ۴: تنش گرمایی بسیار شدید (Nazarian, et al., 2017).

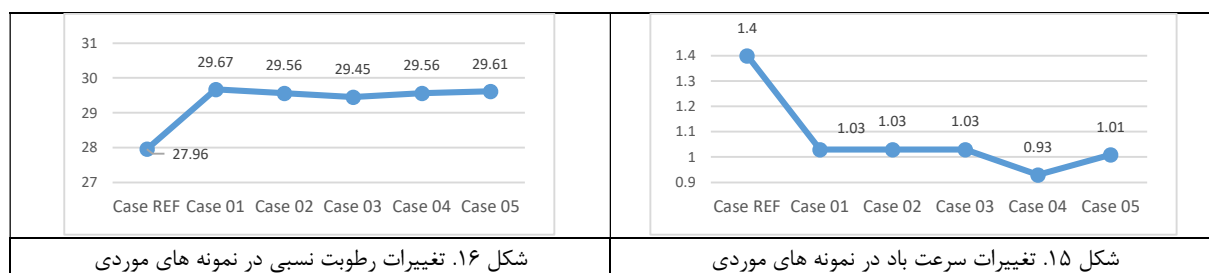


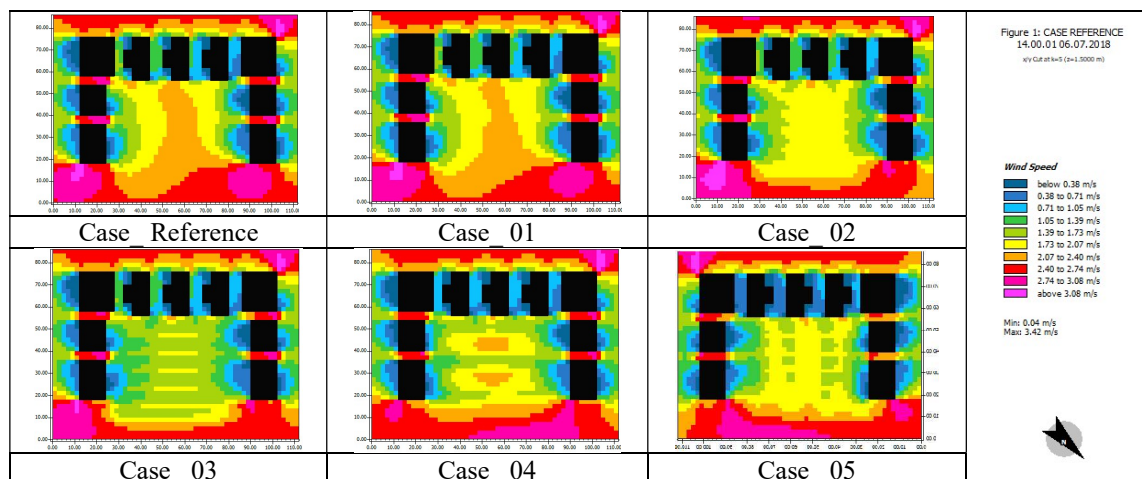
شکل ۱۳. کانتورهای میانگین دمای تابشی در نمونه‌های موردی در انقلاب تابستانی



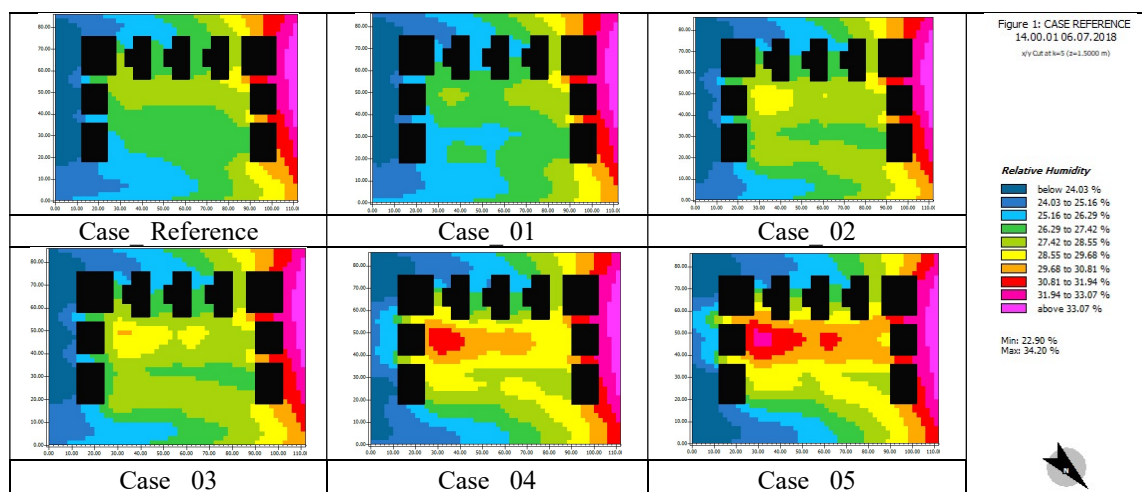
شکل ۱۴. کانتورهای شاخص آسایش حرارتی PMV در نمونه‌های موردی در انقلاب تابستانی

در شکل ۱۸ مشاهده می‌شود که بر خلاف دمای هوا، رطوبت نسبی روند متفاوتی نشان داد. مقادیر بالاتر رطوبت نسبی، در مرکز سایت یافت شد که تمایل به بخش شمال غربی سایت داشته است. این تغییرات در توزیع میانگین دمای تابشی و شاخص PMV با پوشش گیاهی درون سایت، مرتبط بوده است. همچنین در شکل ۱۷ کانتورهای سرعت باد در الگوهای مختلف دیده می‌شود و تغییرات در هر کدام از الگوها قابل ملاحظه می‌باشد. در شکل ۱۶ تغییرات رطوبت و در شکل ۱۵ تغییرات سرعت باد در الگوهای مختلف قابل مشاهده است.





شکل ۱۷. کانتورهای سرعت باد در نمونه‌های موردی در انقلاب تابستانی



شکل ۱۸. کانتورهای رطوبت نسبی در نمونه‌های موردی در انقلاب تابستانی

یافته‌های پژوهش

در این پژوهش، سناریوهای مختلف پوشش گیاهی برای بررسی تأثیر بر ریز اقلیم و آسایش حرارتی یک پارک محله‌ای ارائه شده است. مطابق **شکل ۱۲** میانگین دمای هوا در سناریوهای مختلف با استفاده از شبکه‌های محاسباتی در سایت مورد نظر مقایسه شد. الگوی (Case 02) پایین‌ترین دما را در طول روز نشان داد، به دنبال آن حالت‌های ۰۵، ۰۴، ۰۳ و ۰۱ قرار داشتند (شکل ۹). این نشان می‌دهد که پوشش گیاهی پهن برگ، برای خنک‌سازی هوا موثرترین است. علاوه بر این، پوشش گیاهی متراکم (سرو) می‌تواند اثر خنک‌کنندگی را افزایش دهد. این یافته با یافته‌های پارک و همکاران (۲۰۱۷) مطابق است که اثر خنک‌کنندگی فضاهای سبز کوچک در مناطق شهری را بررسی کرده و دریافتند که ساختارهای پوشش گیاهی پهن برگ خنک‌کنندگی بیشتری ایجاد می‌کنند. با این حال، در این پژوهش کارایی خنک‌کنندگی پوشش گیاهی پهن برگ و متراکم نیز مورد بررسی قرار گرفت و نتیجه این بود که دمای هوا نسبت به بقیه الگوها پایین‌تر بود اما نسبت به پوشش گیاهی پهن برگ، افزایش دمای مختصری را شاهد بودیم. تفاوت‌های دما بین حالت‌های Case 02 با Case 04 و Case 05 کم بود. علاوه بر این، متریا ل بتن در سطح محیط، بدترین شرایط حرارتی را ایجاد کرد و به دلیل عدم وجود پوشش گیاهی و افزایش ذخیره گرما، بالاترین دمای هوا را نشان داد. دمای هوای الگوی Reference کثرت از سناریوهای پوشش گیاهی کاهش یافت، به ویژه در بعدازظهر، اگرچه بالاترین دما در ساعت ۱۵ رخ داد، اما بیشترین مساحت با بالاترین سطح ناراحتی در ساعت ۱۴ مشاهده شد. این ممکن است به دلیل زاویه تابش پایین‌تر خورشید در ساعت ۱۵ و در نتیجه سایه‌زنی بیشتر باشد. این یافته نشان می‌دهد که در شرایط گرمای بیش از حد، دمای هوا شاخص دقیق‌تری برای آسایش حرارتی نیست (Brown & Gillespie, 1995).

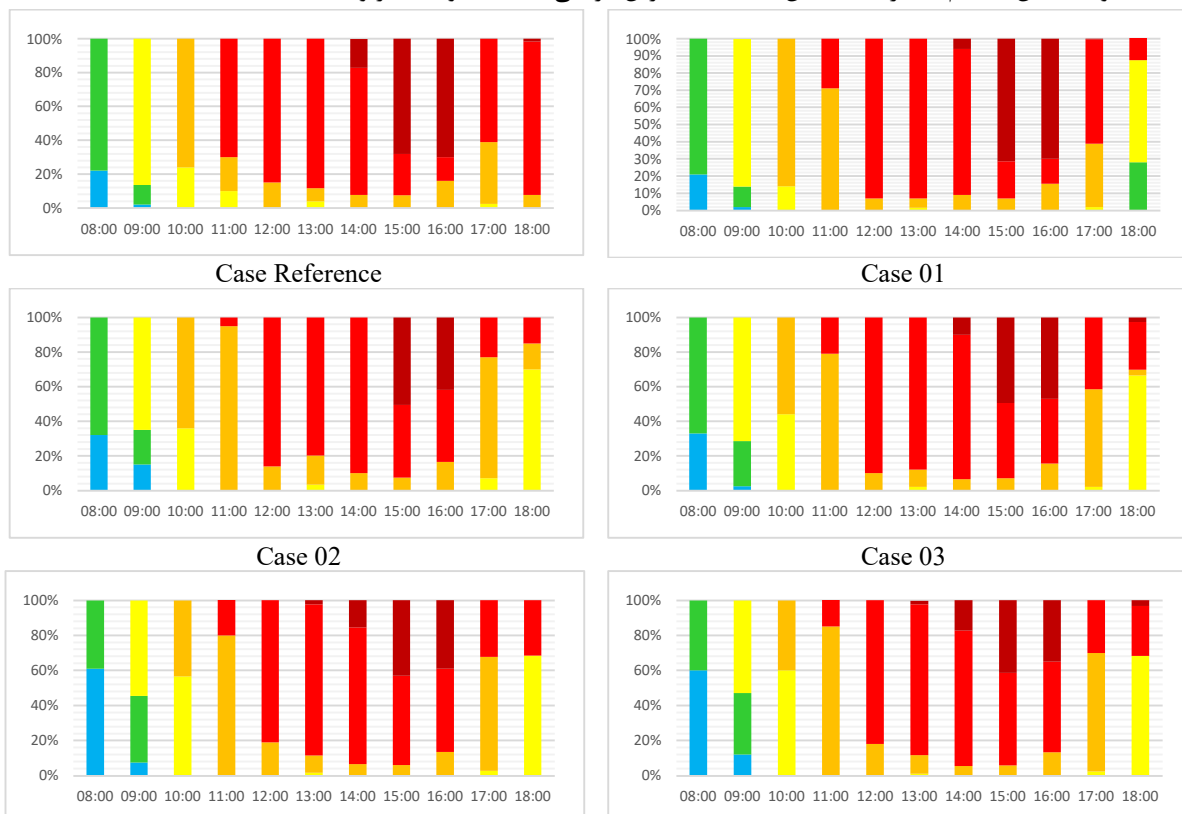
آرایش فضایی

توزیع دمای هوا، رطوبت نسبی، میانگین دمای تابشی و شاخص PMV برای سناریوهای مختلف در جدول ۴ نشان داده شده است:

جدول ۴- اطلاعات به دست آمده از نرم افزار انوی مت

انقلاب تابستانی						
Case 05	Case 04	Case 03	Case 02	Case 01	Case REF	
۴۲.۳۸	۴۲.۴۵	۴۲.۴۶	۴۲.۳۱	۴۲.۵۰	۴۳.۴۰	دمای هوا (°C)
۴۷.۹۵	۴۷.۲۸	۴۶.۹۶	۴۶.۲۸	۴۶.۶۸	۴۷.۲۱	میانگین دمای تابشی (°C)
۱.۰۱	۱.۰۲	۱.۰۳	۰.۹۳	۱.۰۳	۱.۴۰	سرعت باد (m/s)
۲۹.۶۱	۲۹.۵۶	۲۹.۴۵	۲۹.۶۷	۲۹.۵۹	۲۷.۹۶	رطوبت نسبی (%)
۴.۷۰	۴.۷۲	۴.۷۴	۴.۶۸	۴.۷۵	۴.۷۷	شاخص PMV (°C)

دمای هوا در منطقه اطراف سایت بالاتر از مناطق مرکزی سایت بود و این به دلیل متریل آسفالت خیابان های اطراف است که در تابستان گرمای بیشتری منتشر می کنند. از آنجایی که جهت باد شمال غربی بود، هوای گرم شده توسط سطح جاده ها از جبهه شمال غربی وارد سایت شد و منجر به دمای باد نسبتا بالاتر در منطقه مرکزی سایت گردید. این پدیده به عنوان "اثر لبه" شناخته می شود که در ابتدا در فضاهای سبز طبیعی گزارش شده بود اما در مطالعات اخیر در فضاهای سبز شهری نیز گزارش شده است (Jiao, et al., 2017). بنابراین، باد همیشه تأثیر مثبتی بر آسایش حرارتی در شرایط گرمای بیش از حد ندارد. با این حال، دیمودو و نیکولوپولو (۲۰۰۳) فرض کردند که هنگامی که دمای هوا از ۲۵ درجه سانتی گراد بالاتر می رود، نرخ تبخیر-تعرق در شرایط سرعت باد بالاتر بیشتر است. از این رو، برنامه ریزی مناسب تهویه در پارک های شهری باید ویژگی های اقلیمی خاص شهر را در نظر بگیرد. علاوه بر این، مشخص شد که دمای تابشی متوسط بر اساس مقادیر PMV عامل کلیدی تأثیرگذار بر آسایش حرارتی بوده است که با توزیع پوشش گیاهی مطابقت دارد. بنابراین، مهم است که طراحی پارک های شهری شامل راه هایی برای تأمین سایه و کنترل زاویه و جهت تابش خورشید باشد. شکل ۷، درصد مساحت مناطق با طبقه بندی های مختلف PMV را از ساعت ۸ تا ۱۸ نشان می دهد. در مجموع ۱۶۸۰۰ شبکه برای تطابق با مساحت سایت مورد نظر در نرم افزار انوی مت (Envi-met) محاسبه شد. بیشتر منطقه مورد مطالعه در حالت الگوی Reference، تحت استرس گرمایی شدید از ساعت ۱۱ تا ۱۸ قرار داشت در الگوی ۰۱ کمی دیرتر به حالت شدید گرمایی تغییر وضعیت داده شده است. اما در میان این الگوها در (Case 02) بهترین حالت را شاهد بودیم که از نظر زمانی نسبت به سایر الگوها زمان بیشتری صرف شده تا به محدوده شدید گرمایی برسیم. با توجه به داده های به دست آمده در می یابیم که استرس گرمایی با افزایش پوشش گیاهی کاهش یافت. به عنوان مثال، درصد مساحت با مقادیر PMV بالاتر از ۴ در الگوهای Case Reference و Case 01 بالاتر بود در صورتی که در الگوی Case 02 دمای شدید PMV کاهش پیدا کرده است و شاهد آن هستیم که در ساعات بین ۱۱ تا ۱۶ استرس گرمایی شدید به قوی تغییر وضعیت داده است.



فهرست مراجع

۱. اخلاقی نژاد، فاطمه؛ و باقری سبزواری، هادی. (۱۴۰۲). ارزیابی آسایش حرارتی فضای باز در فرمهای مختلف حیاط در مقیاس همسایگی؛ نمونه موردی: اقلیم سرد و نیمه خشک سبزواری، نشریه هنرهای زیبا - معماری و شهرسازی، دوره ۲۸، شماره ۱، ۴۵-۶۱. 10.22059/JFAUP.2023.352410.672828
۲. قلی نژاد، اسماعیل. (۱۳۹۰). علل گرم شدن زمین. همایش ملی تغییر اقلیم و تأثیر آن بر کشاورزی و محیط زیست.
۳. سازمان مدیریت و برنامه ریزی فارس، ۱۳۷۵: ۲۱.
۴. رجب بیگی، الهام؛ و عرفانیان سلیم، رامین؛ و جعفری، سید محمد. (۱۳۹۳). مروری بر کارایی گیاهان در تعدیل اثرات و سازگاری با تغییرات اقلیمی در محیطهای شهری با تأکید بر صفات عملکردی گیاهان، فصلنامه علمی- پژوهشی علوم محیطی، دوره ۱۲، شماره ۴. https://envs.sbu.ac.ir/article_97449.html
۵. هاشمین، ابوالفضل؛ و زرکش، افسانه؛ و گارسیا، ایستر؛ و سوزنچی، کیانوش. (۱۴۰۱). تأثیر طرح کاشت درختان بر آسایش حرارتی انسان در مقیاس میکرواقلیم؛ نمونه موردی: محوطه دانشکده هنر دانشگاه تربیت مدرس. مطالعات نظری و فناوری های نوین معماری و شهرسازی، دوره ۱۲، شماره ۲. ۱۳۸-۱۵۸. <http://bsnt.modares.ac.ir/article-2-61858-fa.html>
6. Aboelata, A., Sodoudi, S., (2020). Evaluating the effect of trees on UHI mitigation and reduction of energy usage in different built up areas in Cairo. Build. Environ, 168, 106490. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106490>
7. Alexandri, E., Jones, P., (2008). Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates, Building and Environment 43(4):480. DOI:10.1016/j.buildenv.2006.10.055
8. Álvarez-Rodríguez, C., Hernandez, E., Aracil, J., Godini, L., Sanz, S., (2024). Interpretable extreme wind speed prediction with concept bottleneck models. Renewable Energy/ ELSEVIER /ScienceDirect.231. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120935>
9. Ashraee. Ashraee Standard 55: Thermal Environmental Conditionals for Human Occupancy. Atlanta, 2013.
10. Brown, R. D., Gillespie, T. J., (1995). Microclimatic Landscape Design: Creating Thermal Comfort and Energy Efficiency. New York: Wiley.
11. Carmen, J., Nappo, (2012). "Appendix A - The Hydrostatic Atmosphere". International Geophysics, Volume 102, 2012, Pages 309-321.
12. Duarte, D. H., Shinzato, P., dos Santos Gusson, C., Alves, C. A., (2015). "The Impact of Vegetation on Urban Microclimate to Counterbalance Built Density in a Subtropical Changing Climate". Urban Climate, 14, 224-239. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13179-z>
13. Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. ISO 7730:2005
14. Fanger, P., (1973). "Assessment of man's thermal comfort in practice." Oct;30(4):313-24. doi:10.1136/oem.30.4.313.
15. Hamada, S., Ohta, T., (2010). "Seasonal Variations in the Cooling Effect of Urban Green Areas on Surrounding Urban Areas". Urban Forestry & Urban Greening, 9(1), 15-24.
16. Jamei, E., Rajagopalan, P., Seyedmahmoudian, M., Jamei, Y., (2016). Review on the Impact of Urban Geometry and Pedestrian Level Greening on Outdoor Thermal Comfort. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol.54, pp 1002-1017.
17. Jiao, M., Zhou, W., Zheng, Z., Wang, J., Qian, Y., (2017). "Patch Size of Trees Affects Its Cooling Effectiveness: A Perspective from Shading and Transpiration Processes". Agricultural and Forest Meteorology, 247, 293-299.
18. Le, D. Y., Tsui, J. K., Chen, F., Yip, W. K., Vrijmoed, L. L., Liu, C. H., (2011). "Effects of Urban Vegetation on Urban Air Quality". Landscape Research, 36(2), 173-188.
19. Lee, H., Mayer, H., Chen, L., (2016). Contribution of Trees and Grasslands to the Mitigation of Human Heat Stress in a Residential District of Freiburg, Southwest Germany. Landscape and Urban Planning, 148, 37-50.
20. Lin, T. P., Tsai, K. T., Liao, C. C., Huang, Y. C., (2013). "Effects of Thermal Comfort and Adaptation on Park Attendance Regarding Different Shading Levels and Activity Types". Building and Environment, 59, 599-611.
21. Li, Y., Song, Y., (2019). "Optimization of Vegetation Arrangement to Improve Microclimate and Thermal Comfort in an Urban Park" International review for spatial planning and sustainable development, Vol.7 No.1 (2019), 18-30 ISSN: 2187-3666 (online) DOI: http://dx.doi.org/10.14246/irspsd.7.1_18
22. Malek, N. A., Mariapan, M., Shariff, M. K. M., (2012). "The Making of a Quality Neighbourhood Park: A Path Model Approach". Procedia-Social and Behavioral Sciences, 49, 202-214.
23. Nazarian, N., Fan, J., Sin, T., Norford, L., Kleissl, J., (2017). "Predicting Outdoor Thermal Comfort in Urban Environments: A 3d Numerical Model for Standard Effective Temperature". Urban Climate, 20, 251-267.

24. Ng, E.,(2009). *Designing High-density Cities: For Social and Environmental Sustainability*, Routledge.
25. Onyango, S.A., Mukundi, J.B.,(2021) Ochieng'Adimo, A.; Wesonga, J.M.; Sodoudi, S. Variability of In-Situ Plant Species Effects on Microclimatic Modification in Urban Open Spaces of Nairobi, Kenya. *Curr. Urban Stud.*, 9, 126.
26. Park, J., Kim, J. H., Lee, D. K., Park, C. Y., Jeong, S. G., (2017). "The Influence of Small Green Space Type and Structure at the Street Level on Urban Heat Island Mitigation". *Urban Forestry & Urban Greening*, 21, 203-212.
27. Prasetya, N., Okur, S., (2024). Investigation of the free-base Zr-porphyrin MOFs as relative humidity sensors for an indoor setting. *Sensors and Actuators: A. Physical/ ELSEVIER /ScienceDirect*. 01 April 2024, Version 1
28. Ragab, A., Abdelrady, A.,(2020) Impact of green roofs on energy demand for cooling in Egyptian buildings. *Sustainability*, 12, 5729
29. Sun, S., Xu, X., Lao, Z., Liu, W., Li, Z., García, E. H., Zhu, J. (2017). "Evaluating the Impact of Urban Green Space and Landscape Design Parameters on Thermal Comfort in Hot Summer by Numerical Simulation". *Building and Environment*, 123, 277-288.
30. Taleghani, M., Sailor, D., Ban-Weiss, G.A.,(2016) Micrometeorological simulations to predict the impacts of heat mitigation strategies on pedestrian thermal comfort in a Los Angeles neighborhood. *Environ. Res. Lett.*11, 024003.
31. Torres JL., Martin ML.,(2008) Adaptive Control of Thermal Comfort Using Neural Networks. *Argentine Symposium on Computing Technology*, 1–12.
32. Trenberth K., John, T., Fasullo, Jeffrey ,(2009). "An update of the Earth's global annual mean energy budget is given in the light of new observations and analyses. Changes overtime and contributions from the land and ocean domains are also detailed.". *EARTH'S GLOBAL ENERGY BUDGET*, In final form 29 July 2008 ©2009 American Meteorological Society
33. Waseem Ahmad, M., Mourshed, M., Mundow, M., Sisinni, M., Rezgui, Y.,(2016). "Building energy metering and environmental monitoring – A state-of-the-art review and directions for future research