

ارزیابی تاثیر پوشش گیاهی بر آسایش حرارتی در فضای عمومی (مطالعه موردی: مجتمع مسکونی جبل الدراک شیراز)

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

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۸/۲۳ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۱۲/۲۳

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 تاثیر 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 محله‌ای.

* 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 تاثیر می گذارد (Lee, et al., 2016). بنابراین، یکی از روش های موثر برای بهبود آسایش حرارتی، طراحی با دلیل و یا اصلاح عناصر تشکیل دهنده منظر است که بر آسایش خرد اقلیمی تاثیر 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 هسیه، 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 تاثیر 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 آنها ارتباطی قوی با میزان استفاده دارد (Lee, et al., 2016). پارک های محله ای آنهایی 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 ای 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 تاثیر 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.

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 تاثیر 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 تاثیر پوشش گیاهی را بر محیط مورد آزمایش قرار دهد.

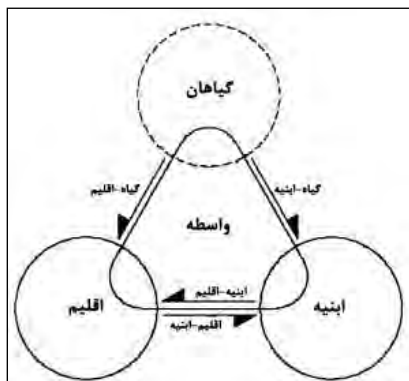
جدول ۱. خلاصه پیشینه پژوهش‌های صورت پذیرفته در ارتباط با مولفه‌های تأثیرگذار بر آسایش حرارتی
Table 1. Summary of the background of the researches carried out in connection with the components affecting thermal comfort

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	شبیه سازی‌های هواشناسی برای پیش بینی اثرات استراتژی‌های کاهش گرما بر راحتی حرارتی عابران پیاده در یک محله مسکونی در لس آنجلس.
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.

مبانی نظری پژوهش

خورشید، پیاده روه‌های 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).

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



شکل ۱. مدل محیطی (Ng,2009-220)

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

ساختاری تقسیم می‌شوند. برخلاف نور مرئی، بازتاب پرتو ماوراءبنفش به ویژگی‌های لایه کوتیکول (هیدروکربنی) سطح برگ بستگی دارد. **سرعت باد**^۴: سرعت باد به مقدار سرعتی اشاره دارد که باد، در یک منطقه خاص دارد و معمولاً به کیلومتر یا مایل در ساعت اندازه‌گیری می‌شود. سرعت باد می‌تواند متغیر باشد و تاثیر زیادی بر شرایط آب و هوایی منطقه داشته باشد (Álvarez-Rodríguez, et al., 2024). **رطوبت نسبی**^۵: رطوبت نسبی بیانگر مقدار بخار آب موجود در هوا نسبت به حداکثر مقداری است که هوا می‌تواند در آن حالت دما و فشار را در خود نگه دارد. این مقدار به صورت درصدی بیان می‌شود (Prasetya & Okur, 2024).

گونه گیاهان و همچنین تعداد آن‌ها 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^۶ نور خورشید در آسایش حرارتی محیط تاثیر می‌گذارد. دو عامل سایه اندازی و رطوبت، از عوامل اصلی تعدیل حرارتی گیاهی به شمار می‌روند (رجب بیگی و همکاران، ۱۳۹۳). با افزایش پوشش گیاهی در سطح خیابان (Taleghani, et al., 2016) و با ایجاد سناریوهای مختلف پوشش گیاهی می‌توان تاثیر خنک‌کنندگی را در فضاهای شهری در فضای باز به‌طور قابل توجهی تحت تاثیر قرار داد. پوشش گیاهی، سایه‌ای برای ساختمان‌ها و سطوح ایجاد می‌کند که منجر به کاهش دمای هوا از طریق دو مکانیسم می‌شود که اولاً افزایش شار گرمای تبخیری و دوماً کاهش گرمایش محسوس را می‌توان نام برد. اثر خنک‌کنندگی با افزایش تراکم تاج درختان بیشتر است که باعث بهبود راحتی حرارتی انسان می‌شود (Onyango, et al., 2021). این استراتژی‌ها به‌طور موثری چالش‌های کاهش اثرات گرمای شهری را برطرف می‌کنند و به ایجاد محیط‌های شهری راحت‌تر 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).

شاخص آسایش حرارتی PMV^۷

در مطالعات متعددی از شاخص PMV (میانگین رای پیش بینی شده) استفاده شده است. شاخص PMV تاثیرات دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد و میانگین دمای تابشی را محاسبه می‌کند که بیانگر احساس حرارتی کلی و تعیین درجه رضایت و ناراضیاتی حرارتی افراد در محیط است. این استاندارد این قابلیت را ایجاد می‌کند، تا با محاسبه شاخص‌های PMV و PPD درصد ناراضیاتی حرارتی پیش‌بینی شده و همچنین

طراحی مناسب در محیط‌های شهری در ایجاد ریز اقلیم اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا بر آسایش حرارتی تاثیر گذاشته و در نتیجه استفاده عموم از فضاهای باز را تحت تاثیر قرار می‌دهد. یکی از روش‌های موثر برای بهبود آسایش حرارتی، اصلاح عناصر منظر است که باعث ایجاد خرد اقلیم می‌شوند (اخلاقی نژاد و باقری، ۱۴۰۲). آسایش حرارتی نسبت رضایتمندی کاربر به دمای اطراف (محیط) می‌باشد که بر اساس چهار مولفه اصلی دمای هوا، میانگین دمای تابشی، سرعت باد و رطوبت نسبی محاسبه می‌شود و همچنین مولفه‌های دیگری چون سن افراد، نوع فعالیت و نوع پوشش (لباس) در نظر گرفته می‌شود (Ashraee, 2013).

دمای هوا^۱: منظور از دمای هوا، دمای اطراف بدن انسان است که جریان گرما بین بدن و هوا را تعیین می‌کند (Waseem Ahmad, et al., 2016). همچنین به عنوان دمایی که یک بسته هوا را در صورتی که به صورت آدیاباتیک^۲ از فشار موجود خود به فشار ۱۰۰۰ میلی‌بار یا ۱۰۰ هکتوپاسکال منبسط یا فشرده کرده باشد، گفته می‌شود (Nappo, 2012).

میانگین دمای تابشی^۳: میانگین دمای تابشی (TMR) دمایی است که یک جسم با انسان و محیط اطراف آن، مقدار یکسانی از تابش حرارتی را مبادله می‌کند (Torres & martin, 2008). بیان میانگین دمای تابشی از فنگر، تنها تابش حرارتی منتقل‌شده توسط دیوارها را در نظر می‌گیرد. در ساده‌ترین شکل، میانگین دمای تابشی به صورت میانگین وزنی دماهای اندازه‌گیری‌شده در سطوح مختلف در شرایط پایدار بیان می‌شود. به بیانی دیگر منظور از میانگین دمای تابشی، میانگین دمای هوای اطراف زمین است که به‌طور مستقیم توسط تابش خورشید تعیین می‌شود (Trenberth, et al., 2009).

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 انعکاس پوشش گیاهی می‌توان از گونه‌های گیاهی با صفات عملکردی مناسب استفاده کرد. این صفات عمدتاً به دو دسته شیمیایی و

صورت گرفته است. با توجه به همبستگی و مطابقت داده‌های خروجی از نرم افزار و برداشت های میدانی، نرم افزار Envi-met دارای روایی و پایایی می‌باشد.

معرفی نمونه‌های مورد مطالعه

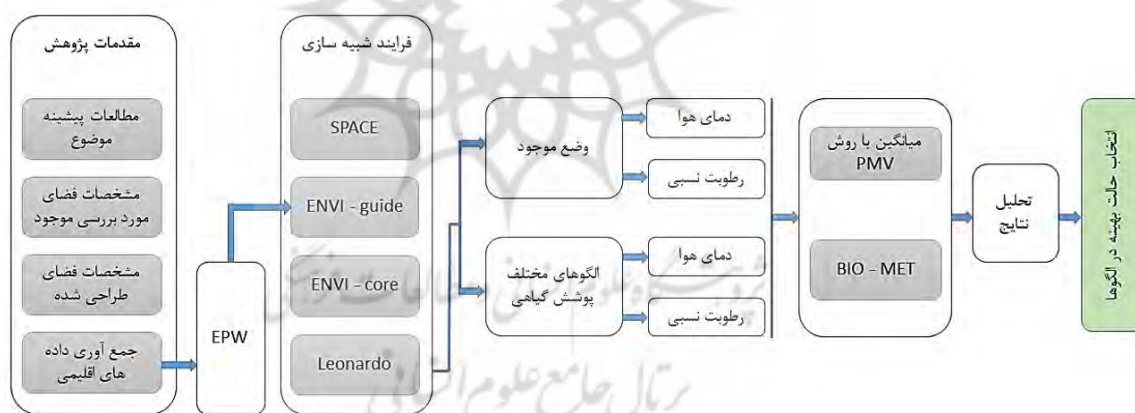
در این پژوهش، پوشش گیاهی به عنوان متغیر مستقل و همچنین آسایش حرارتی به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شده است با توجه به موارد ذکر شده در بالا هدف اصلی این پژوهش، بررسی تأثیر پوشش گیاهی و الگوی کاشت بر آسایش حرارتی در فضاهای باز مشترک در مجتمع های مسکونی می‌باشد. متوسط درجه حرارت سالانه در شهر شیراز $17/3$ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. حداکثر و حداقل درجه‌ی حرارت در فصل تابستان و زمستان به ترتیب $43/2$ و -14 درجه سانتیگراد می‌باشد. میزان بارندگی سالانه بیش از 307 میلی متر بوده و روزهای یخبندان به 54 روز در سال می‌رسد. آب و هوای شهر شیراز در بخش گرم و نیمه خشک قرار دارد (سازمان مدیریت و برنامه ریزی فارس، $1395:21$). در نتیجه یک مجتمع مسکونی در بخش شمال غربی شهر شیراز (29 درجه و 36 دقیقه و 37 ثانیه شمالی، 52 درجه و 31 دقیقه و 52 ثانیه شرقی) در نظر گرفته شد.

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 مدل‌سازی واقعی در شهر شیراز انجام شده است و به لحاظ قصد از پژوهش «پیش‌گويانه» 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 نرم‌افزار، مدل سازی و شبیه سازی اقلیمی با توجه به داده‌های آب و هوایی مربوط به اداره هواشناسی شهر شیراز



شکل ۲. فرآیند پژوهش

Figure 2.

می‌باشد و پنج الگوی پیشنهادی نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است که در انقلاب تابستانی مورد بررسی و نتایج تحلیل گردیده است.

پارامترهای ورودی انویمت

قسمت اصلی منطقه‌ی مورد مطالعه با استفاده از شبکه‌هایی با ابعاد $80 \times 100 \times 120$ 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 می‌باشد. همچنین برای افزایش پایداری شبیه‌سازی برای عناصری که

سپس الگوی رفرنس جهت اعتبار سنجی و همچنین الگوهای پیشنهادی در نرم افزار انوی‌مت (Envi-met) با نسخه $5/6/1$ 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 می‌باشد. مطابق شکل ۳ این سایت شامل هفت ساختمان ۱۰ طبقه مسکونی می‌باشد که وضعیت موجود به عنوان الگوی مرجع (Case Reference) که فاقد پوشش گیاهی

در نزدیکی مرز منطقه‌ی مورد مطالعه قرار دارند، ۱۰ شبکه‌ی 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.



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

Figure 3.

جدول ۲. اطلاعات ورودی در نرم افزار انوی مت

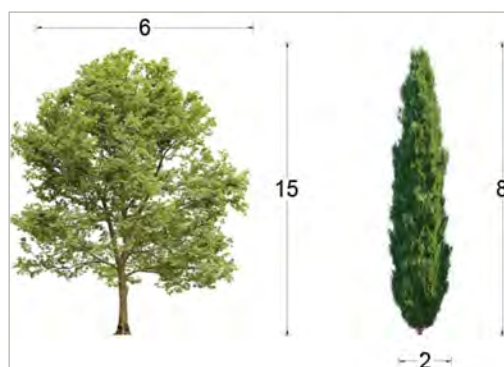
Table 2.

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
تعداد گریدها در مدل سازی		x-Grids= ۱۲۰ , y-Grids= ۱۰۰ , z-Grids= ۸۰
ابعاد گریدها		Dx = 1m , Dy = 1m , Dz = 1m
چرخش نسبت به محور شمال		درجه ۲۲۵
اطلاعات ورودی در قسمت Envi-guide نرم افزار		
روز شبیه سازی		(انقلاب تابستانی) تیرماه
تاریخ شبیه سازی		6/7/2018
ساعات شبیه سازی		الی ۱۸ ۸
(اطلاعات آب و هوایی) (اداره هواشناسی)		EPW- SHIRAZ 2018
اطلاعات ورودی در قسمت BIO-met نرم افزار		
پارامترهای بدن		Age of person (y): 35 Gender: Male
پارامترهای پوششی و لباس		Weight (kg): 75.00 Height (m): 1.75
متابولیسم افراد		Static Clothing Insulation (clo): 0.90
		Total Metabolic rate (W): 164.49 (=86.21 W/m2) (met): 1.48

الگوهای پیشنهادی

۱- چمن؛ ۲- درخت چنار؛ ۳- درخت سرو؛ ۴- درختان ترکیبی (چنار، سرو) با چیدمان در جهت باد غالب؛ و 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 باشد.

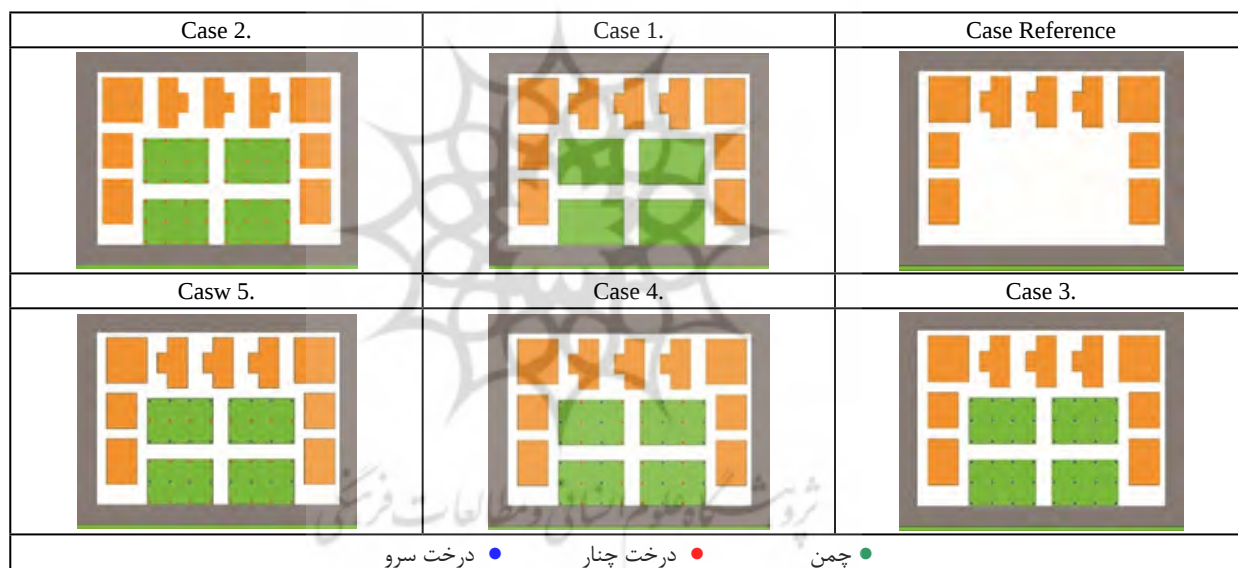
برای ایجاد آسایش حرارتی در سایت مورد نظر پنج الگوی مختلف مورد بررسی قرار گرفت. وضعیت فعلی این مجتمع به عنوان الگوی مرجع (Case Reference) که فاقد هرگونه پوشش گیاهی می باشد در نظر گرفته شده است و الگوهای پیشنهادی دیگر تحت عنوان Case 01 تا Case 05 به ترتیب با پوشش های مختلف گیاهی:



شکل ۴. نوع و ابعاد درختان موجود در شبیه سازی

Figure 4.

متریال‌های استفاده شده در شبیه سازی، همانند وضعیت موجود در متریال‌های 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 ساختمان‌ها نیز از بتن تیره با علامت اختصاری (PG) در نظر گرفته شده است. لازم می‌باشد گیاهی که در نرم افزار انوی مت شبیه سازی شده است قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۵. الگوهای مرجع و الگوهای پیشنهادی شبیه سازی شده در نرم افزار انوی مت

Figure 5.

اعتبارسنجی

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 می‌باشد.

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



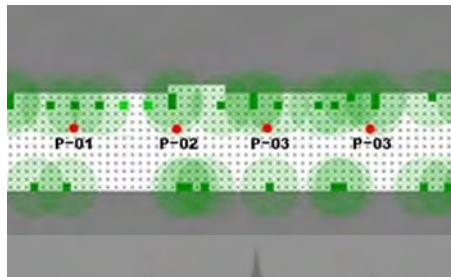
شکل ۶. عکس هوایی سایت

Figure 6.



شکل ۷. برداشت اطلاعات (میدانی)

Figure 7.



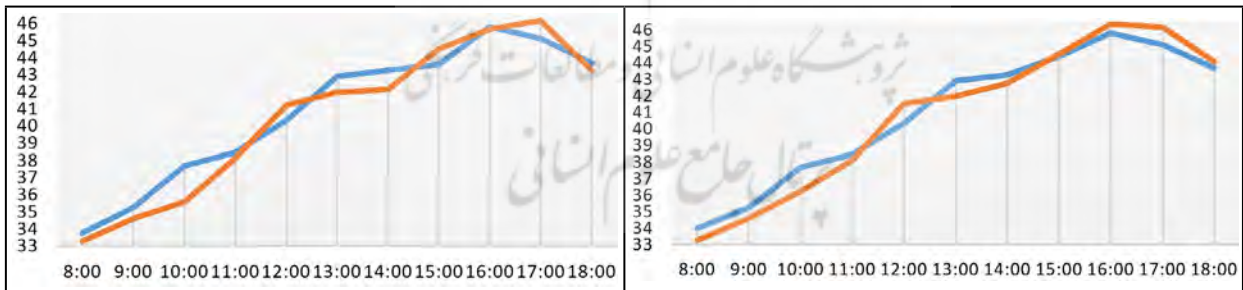
شکل ۸. شبیه‌سازی در نرم‌افزار

Figure 8.



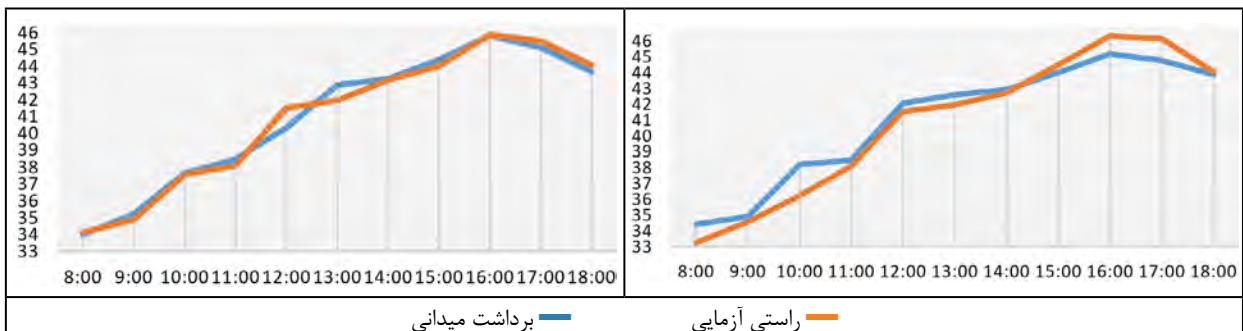
شکل ۹. کانتور دمای هوا

Figure 9.



شکل ۱۰. سمت چپ: دمای هوا در نقطه (A)، سمت راست: دمای هوا در نقطه (B)

Figure 10.



شکل ۱۱. سمت چپ: دمای هوا در نقطه (C)، سمت راست: دمای هوا در نقطه (D)

Figure 11.

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

Table 3.

POIYNT-A			POINT-B		
اعتبارسنجی	اعتبارسنجی	میدانی	اعتبارسنجی	میدانی	
	Pearson Correlation	1	Pearson Correlation	1	0.858**
	Sig. (2-tailed)	0.000	Sig. (2-tailed)	0.000	
میدانی	N	11	N	11	11
	Pearson Correlation	0.861**	Pearson Correlation	0.863**	1
	Sig. (2-tailed)	0.000	Sig. (2-tailed)	0.000	
N			N		
11			11		
**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)			**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)		
POIYNT-C			POINT-D		
اعتبارسنجی	اعتبارسنجی	میدانی	اعتبارسنجی	میدانی	
	Pearson Correlation	1	Pearson Correlation	1	0.585**
	Sig. (2-tailed)	0.000	Sig. (2-tailed)	0.000	
میدانی	N	11	N	11	11
	Pearson Correlation	0.892**	Pearson Correlation	0.858**	1
	Sig. (2-tailed)	0.000	Sig. (2-tailed)	0.000	
N			N		
11			11		
**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)			**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)		

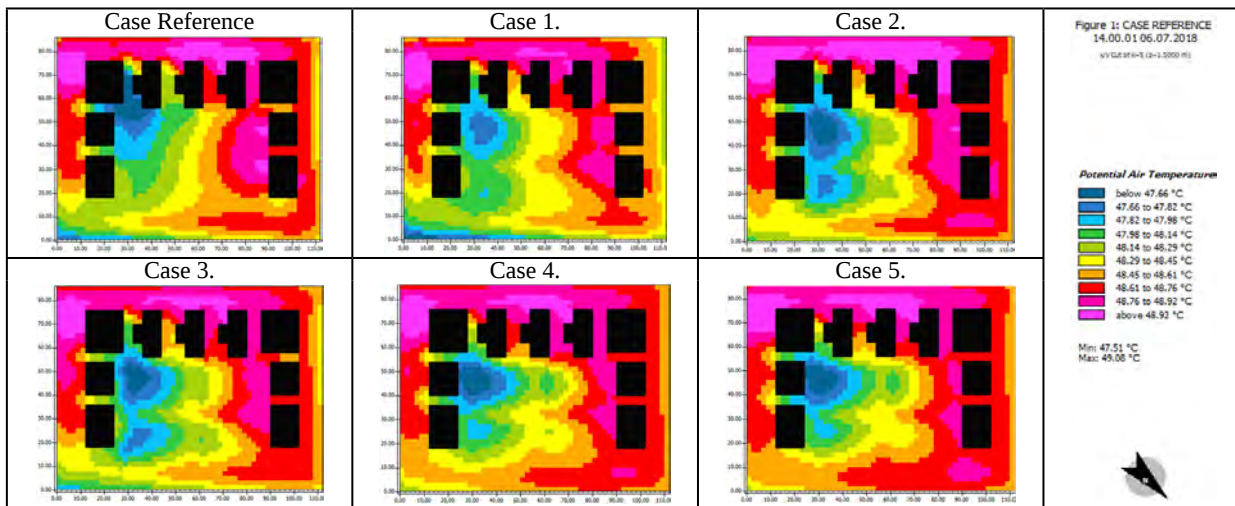
و حالت Reference در شکل ۹ نشان داده شده است؛ این تفاوتها به طور پیوسته از ساعت ۸:۰۰ تا ۱۸:۰۰ افزایش و کاهش یافتند.

شکل 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 پیش بینی شده (PMV) در نرم افزار انوی مت (Envi-met) محاسبه گردید. شاخص PMV ابتدا توسط فنرگر در ۱۹۷۰ برای سنجش آسایش در محیطهای بسته توسعه یافت و بعدها توسط جندریتزکی در ۱۹۹۰ برای آسایش حرارتی فضای باز به کار گرفته شد. دامنه ی 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 طبقه بندی می شود: ۱-: تنش گرمایی خفیف؛ ۲-: تنش گرمایی متوسط؛ ۳-: تنش گرمایی شدید؛ ۴- و بیشتر از ۴: تنش گرمایی بسیار شدید (Nazarian, et al., 2017).

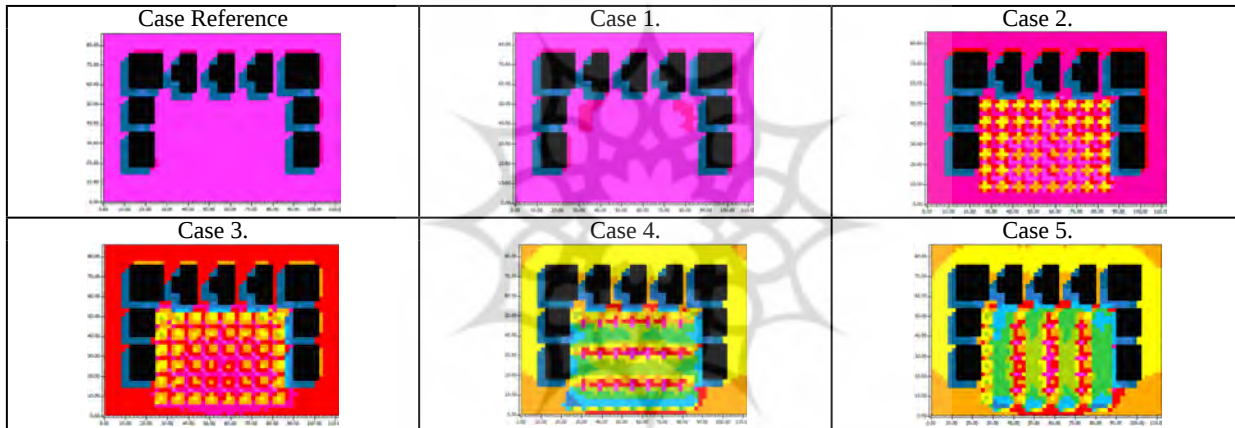
مدل انوی مت توانست داده های مشاهده شده در اعتبارسنجی را به طور معقولی تقریب بزند و شرایط جوی مشابهی را با داده های مشاهده شده در طول روز تولید کند. با این حال، دمای هوای شبانه روزی شبیه سازی شده بالاتر از اندازه گیری های مشاهده ای بود. این امر در تضاد با مطالعات پیشین است که دست کم گرفتن دمای هوای شبانه روزی توسط مدل انوی مت را گزارش کرده اند. این اختلاف به دلیل اضافه شدن شبکه خالی (Nesting) اضافی در مطالعه است؛ هیچ شی ای 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.

۱. تحلیل داده ها

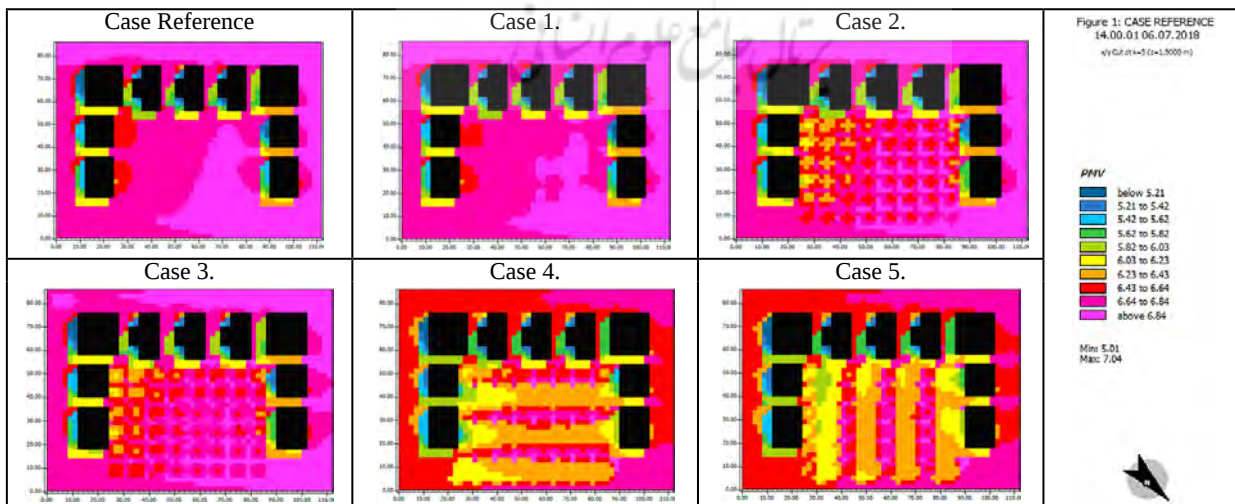
در شکل ۱۲ مقایسه دمای هوا و آسایش حرارتی در چیدمان های مختلف پوشش گیاهی در ارتفاع ۱/۵ متری برای سناریوهای مختلف مشاهده می شود. حالت (Case Reference) (بدون پوشش گیاهی) در طول روز بالاترین دمای هوا را داشت و پس از آن حالات ۱، ۳، ۴، ۵ و ۲ قرار داشتند. تفاوت های بین تمام سناریوهای پوشش گیاهی



شکل ۱۲. کانتورهای دمای هوا در نمونه‌های موردی در انقلاب تابستانی
Figure 12.



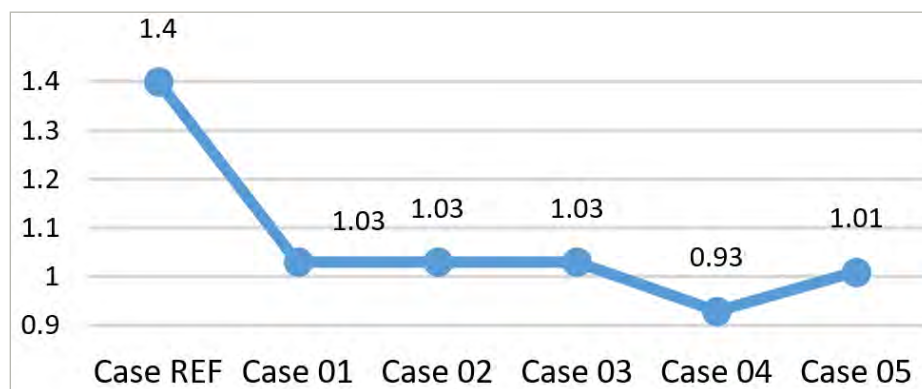
شکل ۱۳. کانتورهای میانگین دمای تابشی در نمونه‌های موردی در انقلاب تابستانی
Figure 13.



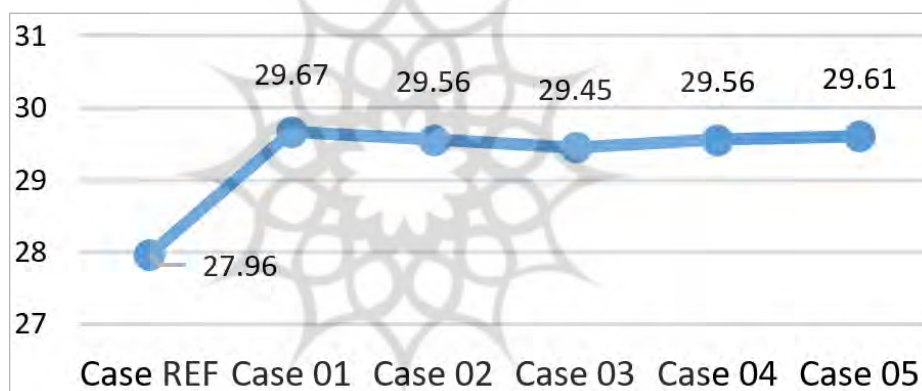
شکل ۱۴. کانتورهای شاخص آسایش حرارتی PMV در نمونه‌های موردی در انقلاب تابستانی
Figure 14.

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.

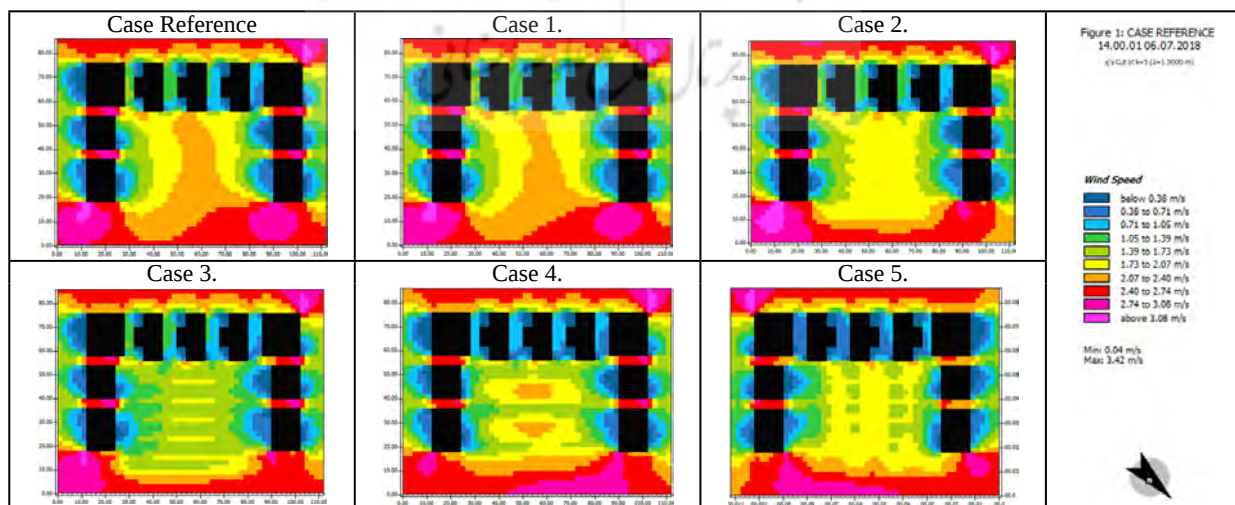
در شکل ۱۸ مشاهده می‌شود که بر خلاف دمای هوا، رطوبت نسبی روند متفاوتی نشان داد. مقادیر بالاتر رطوبت نسبی، در مرکز سایت یافت شد که تمایل به بخش شمال غربی سایت داشته است. این تغییرات در توزیع میانگین دمای تابشی و شاخص PMV با پوشش گیاهی درون



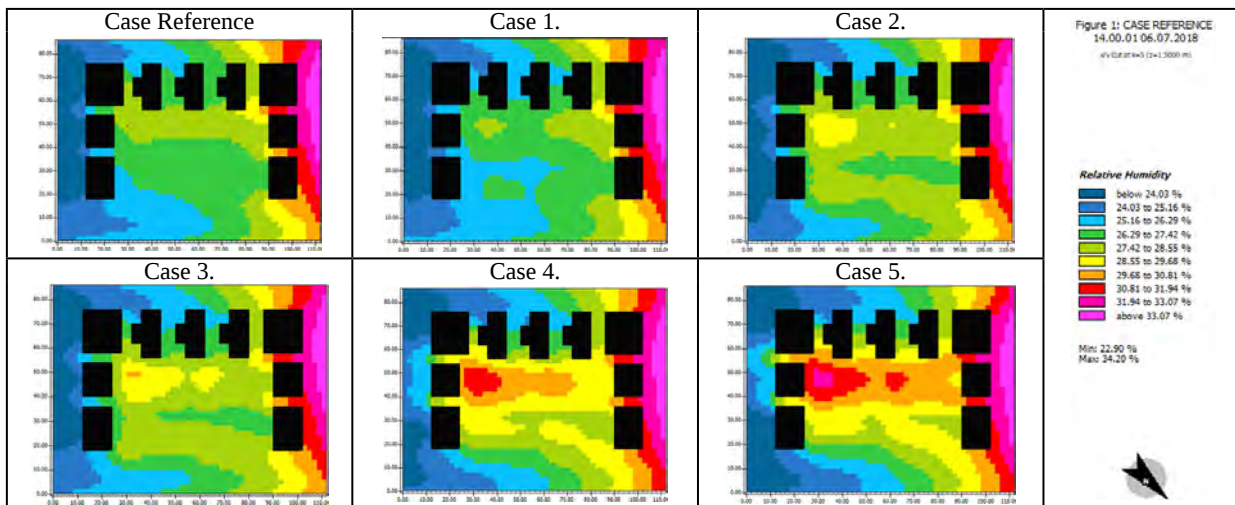
شکل ۱۵. تغییرات سرعت باد در نمونه‌های موردی
Figure 15.



شکل ۱۶. تغییرات رطوبت نسبی در نمونه‌های موردی
Figure 16.



شکل ۱۷. کانتورهای سرعت باد در نمونه‌های موردی در انقلاب تابستانی
Figure 17.



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

Figure 18.

یافته‌های پژوهش

پهن برگ، افزایش دمای مختصری را شاهد بودیم. تفاوت‌های دما بین حالت‌های Case 2 با Case 4 و Case 5 کم بود. علاوه بر این، مترتال 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 کندتر 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

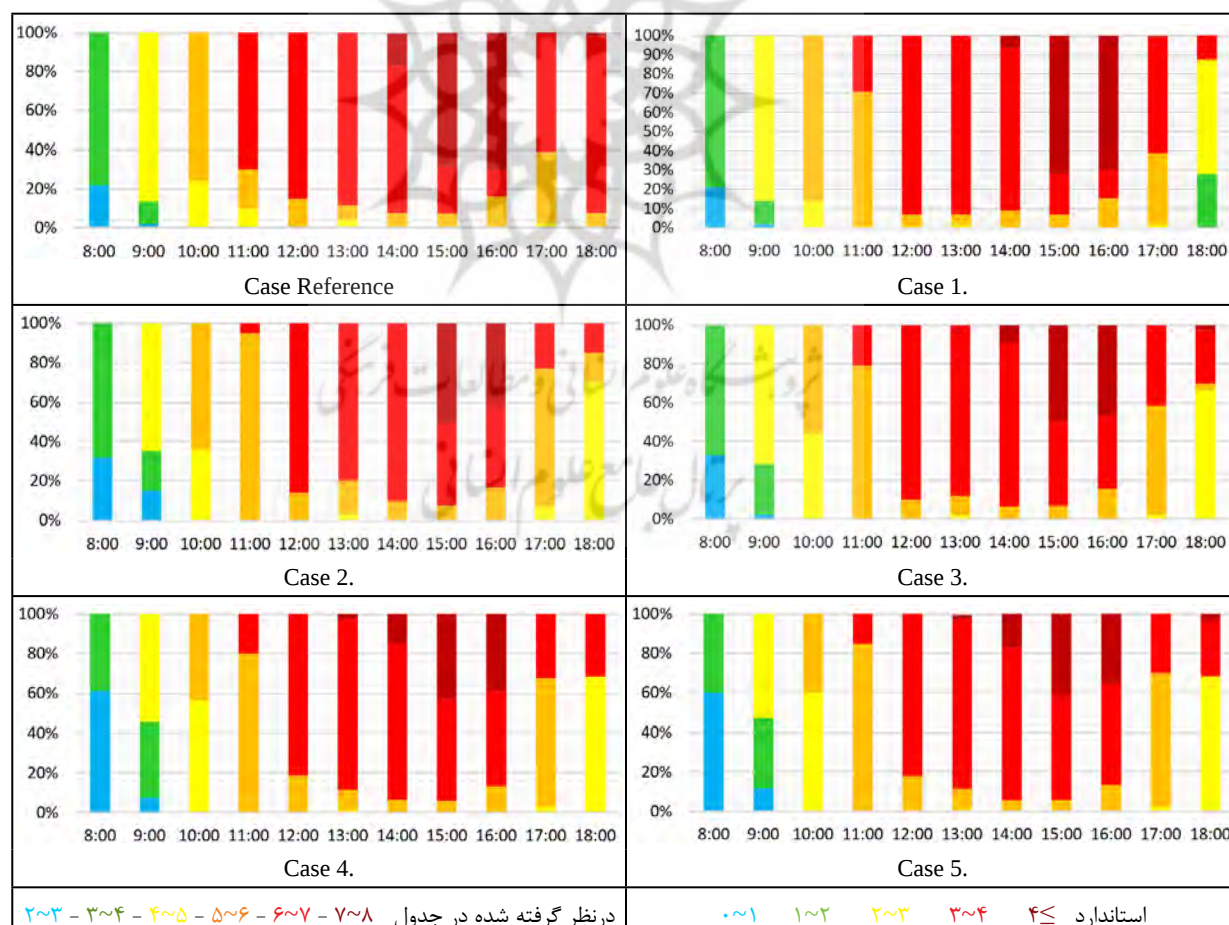
توزیع دمای هوا، رطوبت نسبی، میانگین دمای تابشی و شاخص PMV برای سناریوهای مختلف در جدول ۴ نشان داده شده است:

جدول ۴. اطلاعات به دست آمده از نرم افزار انوی مت
Table 4.

انقلاب تابستانی					
Case 5	Case 4	Case 3	Case 2	Case 1	Case REF
۴۲/۳۸	۴۲/۴۵	۴۲/۴۶	۴۲/۳۱	۴۲/۵	۴۳/۴
۴۷/۹۵	۴۷/۲۸	۴۶/۹۶	۴۶/۲۸	۴۶/۶۸	۴۷/۲۱
۱/۰۱	۱/۰۲	۱/۰۳	۰/۹۳	۱/۰۳	۱/۴
۲۹/۶۱	۲۹/۵۶	۲۹/۴۵	۲۹/۶۷	۲۹/۵۹	۲۷/۹۶
۴/۷	۴/۷۲	۴/۷۴	۴/۶۸	۴/۷۵	۴/۷۷
دمای هوا (C°) میانگین دمای تابشی (C°) سرعت باد (m/s) رطوبت نسبی (%) شاخص PMV (C°)					

طراحی پارک‌های شهری شامل راه‌هایی برای تامین سایه و کنترل زاویه و جهت تابش خورشید باشد. شکل ۷، درصد مساحت مناطق با طبقه‌بندی‌های مختلف PMV را از ساعت ۸ تا ۱۸ نشان می‌دهد. 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 ۱ کمی دیرتر به حالت شدید گرمایی تغییر وضعیت داده شده است. اما در میان این الگوها در (Case 2) 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 داده‌های به دست آمده در می‌یابیم 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 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.

دمای هوا در منطقه اطراف سایت بالاتر از مناطق مرکزی سایت بود و این به دلیل متریال آسفالت خیابان‌های اطراف است که در تابستان گرمای بیشتری منتشر می‌کنند. از آنجایی که جهت باد شمال غربی بود، هوای گرم شده توسط سطح جاده‌ها از جبهه شمال غربی وارد سایت شد و منجر به دمای باد نسبتاً بالاتر در منطقه مرکزی سایت گردید. این پدیده به عنوان "اثر لبه" شناخته می‌شود 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 سانتی‌گراد بالاتر می‌رود، نرخ تبخیر-تعرق در شرایط سرعت باد بالاتر بیشتر است. از این رو، برنامه‌ریزی مناسب تهویه در پارک‌های شهری باید ویژگی‌های 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



شکل ۱۹. درصد دمای شاخص PMV در ساعات ۸:۰۰ تا ۱۸:۰۰

Figure 19.

جمع بندی

غالب ایجاد شد. علاوه بر این، دمای تابشی متوسط بالاترین همبستگی را با شاخص PMV داشت که نشان می‌دهد طراحان چشم‌انداز شهری باید طرح‌هایی را در نظر بگیرند که سایه بیشتری برای بهبود آسایش بازدیدکنندگان پارک در تابستان فراهم کنند. این مطالعه اطلاعات مهمی در مورد تأثیرات پوشش گیاهی بر ریزاقلیم، در زمینه آسایش حرارتی، در فصل گرم ارائه می‌دهد. با این حال، مطالعات بیشتری در مورد شرایط آسایش حرارتی در پارک‌های شهری در فصول مختلف مورد نیاز است.

پی‌نوشت

1. Potential Air Temperature
2. Adiabatic process
3. Mean Radiant Temperature
4. Wind Speed
5. Relative Humidity
6. Albedo
7. Predicted Mean Vote

تعارض منافع نویسندگان

نویسندگان اعلام می‌دارند که در انجام این پژوهش هیچ گونه تعارض منفعی برای ایشان وجود نداشته 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، ۶۱-۴۵.
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.
۵. هاشمین، ابوالفضل؛ و زركش، افسانه؛ و گارسيا، 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. ۱۵۸-۱۳۸.

هدف اصلی پژوهش حاضر، بررسی تأثیر گیاهان بر بهبود کیفیت هوای شهری از طریق تعدیل دمای محیط و رطوبت نسبی بود. نتایج نشان داد که استفاده گسترده از گیاهان در فضای شهری شیراز منجر به کاهش قابل توجه دما در فصول گرم می‌شود. مطالعات میدانی و شبیه‌سازی تأیید کردند که این کاهش دما می‌تواند راه‌حلی موثر برای کاهش پدیده جزیره گرمایی شهری باشد. بررسی‌ها نشان داد فضای باز گیاه‌کاری شده می‌تواند دمای هوا را تا ۱/۱ درجه سانتی‌گراد کاهش دهند، اما این تأثیر عمدتاً در فواصل نزدیک به گیاه محسوس است. همچنین، نوع گیاه هم تأثیر بسزایی بر میزان کاهش دما داشته است. نتایج نشان داد که ایجاد فضاهای سبز در مجاورت معابر شهری و به صورت ردیفی، تأثیر بیشتری بر آسایش حرارتی عابران پیاده دارد. اگرچه کاهش دما در مقیاس کوچک ممکن است ناچیز به نظر برسد، اما در مقیاس شهری تأثیرات قابل توجهی بر کاهش مصرف انرژی و بهبود شرایط حرارتی خواهد داشت. علاوه بر کاهش دما، گیاهان با افزایش رطوبت نسبی، شرایط آسایش حرارتی را بهبود بخشیده و به کاهش جزیره گرمایی شهری کمک می‌کنند.

نتیجه گیری

در پژوهش حاضر، از مدل ریز اقلیم شهری سه بعدی انوی مت (ENVI-met نسخه ۵.۶.۱ برای بررسی محیط حرارتی فضای باز یک مجتمع مسکونی مرتفع طی یک روز گرم تابستانی معمولی استفاده شد. مدل ENVI-met توانست عملکرد حرارتی پارک با پوشش گیاهی را به طور مناسب شبیه‌سازی کند. پنج الگوی مختلف پوشش گیاهی در سایت مورد بررسی قرار گرفت: (Case Reference) بدون پوشش گیاهی (با جایگزینی تمام پوشش گیاهی موجود با بتن)؛ (Case 1) پوشش گیاهی با چمن؛ (Case 2) ایجاد پوشش گیاهی پهن برگ؛ (Case 3) ایجاد پوشش گیاهی متراکم (درختان سرو)؛ و (Case 4, 5) با پوشش گیاهی ترکیبی درختان چنار و سرو با قرارگیری متفاوت بررسی شد. به ترتیب الگوهای (۵، ۲، ۴) پایین‌ترین دمای هوا و راحت‌ترین شرایط را نشان داد که نشان می‌دهد بهبود محیط حرارتی با افزایش پوشش گیاهی افزایش می‌یابد. حالت (۲) شرایط حرارتی راحت‌تری نسبت به حالت (۴، ۵) ایجاد کرد که نشان می‌دهد فضای سبز پهن برگ نسبت به آرایش پوشش گیاهی متراکم آسایش حرارتی راحت‌تری را فراهم می‌کند. در میان حالت‌های (۴) و (۵) شرایط آسایش حرارتی بهتر را در الگوی (۵) شاهد بودیم و این اتفاق می‌تواند به دلیل ایجاد روزنه در همسو بودن با باد غالب شهر شیراز باشد زیرا در الگوی (۴) با ایجاد درختان پهن برگ به صورت خطی در ورودی سایت سدی در برابر باد

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.
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.



Evaluation of the impact of vegetation on thermal comfort in public spaces (Case study: Jabal Al-Drak residential complex, Shiraz)

Mohammadbagher Bigdeli, Ph.D Candidate, Department of Architecture, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran.

Seyedeh Sedigheh Mirgozar Langaroudi*, Assistant Professor, Department of Architecture, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

Ahmadreza Kaboli, Assistant Professor, Department of Architecture, Mahshahr Branch, Islamic Azad University, Mahshahr, Iran.

Abstract

Urban expansion and the need for housing have led to a decrease in green spaces and vegetation, impacting thermal comfort and temperature regulation in cities, resulting in increased air temperatures and heat stress that affect urban life. Given the importance of thermal comfort, extensive research has been conducted in various fields, including plants, building facades and forms, and urban neighborhoods. Green spaces and vegetation can improve the urban environment and thermal comfort. Vegetation cools the surrounding environment through transpiration and shade, moderating the urban heat island effect and reducing the effects of heat stress on humans. However, the ability of green spaces to mitigate the effects of heat depends on various factors, including the type and form of vegetation and, most importantly, their arrangement in the site. Therefore, proper and intelligent design of vegetation is important for improving thermal comfort and microclimate. Numerical simulations, such as ENVI-met software, are used to estimate and improve the environmental performance of urban spaces. Studies on thermal comfort in parks and urban open spaces, especially neighborhood parks, are important because these areas are easily affected by small-scale green spaces, and with intelligent design, microclimates can be created for thermal comfort. In this study, the ENVI-met three-dimensional urban microclimate model was used to investigate the thermal environment of an open space in a high-rise residential complex in Shiraz, Iran, on a hot summer day. By examining the site, without vegetation and also to create thermal comfort in a neighborhood park, five different vegetation patterns, including grass, plane trees, cypress trees, and combined trees (plane, cypress) arranged in the direction of the prevailing wind and combined trees (plane, cypress) arranged in the opposite direction of the prevailing wind were investigated. The results showed that increasing vegetation cover leads to improved thermal conditions of the environment, and the broad-leaved vegetation pattern with more shading had the best performance compared to other patterns. However, excessive plant density may lead to a decrease in cooling efficiency. Among all the components, the main factor affecting thermal comfort was the mean radiant temperature. Also, for the software validation, field data were collected by a WBGT-2010SD device in the time interval of 10 hours in a street, in four selected points, including air temperature, mean radiant temperature, relative humidity, and air temperature, and similar modeling was done in the software with the existing buildings and also the number and type of vegetation cover. After obtaining the software outputs and examining the correlation between the obtained numbers, with a correlation coefficient of 0.85 to 0.89 in four points of the selected site in the software validation, we reached an acceptable result, which shows the high accuracy of the software. The results of this study showed that proper design of vegetation, including the number, species, and also different patterns of placement in the environment, can help to improve thermal conditions in urban spaces. There is a need for more studies in this field in different seasons.

Keywords: Thermal comfort, ENVI-met, PMV thermal comfort index, neighborhood green space

***Corresponding Author Email:** ss.mirgozar@iau.ac.ir