ISSN: 2538-2594; Naqshejahan - Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning. 2022;12(2):138-158

Effect of tree planting design on human thermal comfort at microclimate scale; Case study: Faculty of Art and Architecture, Tarbiat Modares University

ARTICLE INFO

Article Type
Analytic Study

Authors

Sayyed Abolfazl Hashemin
Afsaneh Zarkesh
Ester Higueras Garcia
Kianoush Suzanchi

How to cite this article

Sayyed Abolfazl Hashemin, Afsaneh Zarkesh, Ester Higueras Garcia, Kianoush Suzanchi Effect of tree planting design on human thermal comfort at microclimate scale; Case study: Faculty of Art and Architecture, Tarbiat Modares University .2022 June 26;12(2): 138-158
https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224991.1401.12.2.7.9

1-PhD Student, Department of Architecture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

2-Assistant Professor, Department of Architecture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

3-Professor of Universidad Politécnica de Madrid, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, Spain.

4-Assistant Professor, Department of Architecture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

**Correspondence*

Address:.Department of Architecture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Email: zarkesh@modares.ac.ir,

Phone: +982188008090

Article History
Received: 2021/05/28
Accepted: 2022/06/21
ePublished: 22 June 2022

ABSTRACT

Aims: This study aimed to investigate the effect of different planting plans, especially trees with varying characteristics of branch and leaf structure, height, canopy diameter, and density, leaf shape, and size, and compare the cooling effect under similar conditions to a suitable planting plan for maximum productivity.

Methods: The data collection method in this field and library research and the analysis method used are simulations, and the findings and comparison of results are quantitative and qualitative. Vegetation information of the site in the first stage is harvested, and the current situation is simulated, and its impact is determined. Then two new planting plans with the same amount of greenery in the current situation are designed and manufactured in the environment, and the results are compared.

Findings: The simulation results show that group planting mode is completely similar conditions in terms of plant species and the number of trees 0.85 ° C reduces the average air temperature compared to the linear planting mode and the biggest difference is in the average radiant temperature, which is more than 3 (3.18) ° C There is a temperature difference between group planting mode compared to linear planting mode and group planting mode has a lower average radiant temperature.

Conclusion: This study revealed the effect of the group planting plan factor, despite creating a full shade of trees and reducing the shading area of trees, improved the PMV thermal comfort index and improved environmental variables.

Keywords: Tree planting design, Outdoor thermal comfort, ENVI-met Simulator, Predicted Mean Vote (PMV), Performance-based design, Microclimate, Energy efficiency

CITATIONLINKS

[1] Ahmadpour N, Pourjafar M, Mahdavinejad...[2] Lin Yu-Hao, Tsai Kang-Ting.… [3] De Abreu-Harbich L.V., Labaki, L.C.; [4] Doick K, Hutchings T. Air temperature … [5] Leuzinger S, Vogt R, Körner C. Tree... [6]Hsieh C M, Jan F C, Zhang L. A simplified... [7]Kong F, Yan W, Zheng G, Yin H, Cavan, G… [8] Zhang Z, Lv Y, Pan H. Cooling … [9]Erell E, Pearlmutter D, Williamson TJ…[10] Wang J, Guo W, Wang Ch, Yao Y [11] Zheng S, Zhao L, Li Q. Numerical [12] Tan Zh, Ka-Lun Laua K, Ng E....[13] Taha H, Akbari H, Rosenfeld A. Heat island … [14]Hong B, Lin B. Numerical studies of the …[15] Alexandri E, Jones P. Temperature decreases … [16] Dimoudi A, Nikolopoulou M. Vegetation...[17] Bruse M, Fleer H. Simulating surface–plant [18] Hami A, Abdi B, Zarehaghi D, Maulan SB. Assessing … [19] Jan FC, Hsieh CM, Ishikawa M, Sun YH. The... [20]Gál T, Unger J. A new software tool for … [21]Lin T P, Matzarakis A, Hwang R L. Shading … [22] Emmanuel M R. An urban approach... [23]Abreu-Harbich L V, Labaki L C, Matzarakis …[24] Lee H, Holst J, Mayer H. Modification … [25] Brown R D, Gillespie TJ. Microclimatic …[26] Berry R, Livesley S J, Aye L. Tree canopy …[27] Guo W, Bin Ch, Wang Ch, Tang X. Tree planting …[28]Myint SW, Wentz EA, Brazel AJ …[29]Zhao, Q., Wentz, E.A., Murray, A.T. …[30]Fan C, Myint SW, Zheng B. Measuring the …[31]Myint SW, Zheng B, Talen E, Fan C, Kaplan …[32]Azmoodeh M, Heidari S. Effect of …[33]Karamirad S, Aliabadi M, Habibi A …[34]Rezaei M, Habib F, Shahcheraghi A …[35]Talaei M, Mahdavinejad M, Zarkesh A…[36]Hadianpour M, Mahdavinejad M … [37]Eslamirad N, Kolbadinejad SM, Mahdavinejad M …[38]Liu W, Zhang Y, Deng Q. The effect of …[39] Khoddami Poor A, Zabihi H… [40]Irwin PA, Overview of ASCE report … [41]Nagano K, Horikoshi T … [42]Fanger PO. Assessment of…[43]Gagge AP, Fobelets... [44]H¨oppe P. The physiological equivalent … [45]Salata F, Golasi I, de Lieto …[46]VDI, Methods for the human …[47]Potchter O, Cohen P, Bitan A,… [48]Matzarakis A, Mayer H,… [49]Matzarakis A, Rutz F, Mayer H.,… [50]Nasir RA, Ahmad SS, Ahmed AZ [51]Potchter O, Cohen P... [52]Ali-Toudert F, Mayer…[53]Cheng V, Ng E, Chan C, Givoni …[54]Majidi F, Heidari S, Ghalehnoee M... [55]Rajabbeigi E, Erfanian… [56]Doughty C, B Field C,... [57]Betts A, Ball J. Albedo…[58]Simpson J. Urban forest …[59]Donovan G, Butry D. The value …[60]Buckley T N, Sack L,… [61]Heidari, S., Monam, A …[62]Mahmoodi, A., Ghazizadeh, …

Copyright© 2021, TMU Press. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

تأثیر طرح کاشت درختان برآسایش حرارتی انسان در مقیاس میکرو اقلیم؛ نمونه موردی: محوطه دانشکده هنر و معماری دانشگاه تربیت مدرس

سید ابوالفضل هاشمین [۱]، افسانه زرکش [۲*] ، ایستر هیگراس گارسیا [۳] ، کیانوش سوزنچی [۴]

۱- دانشجوی دکتری معماری منظر، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۲- دکتری معماری؛ استادیار گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران (نویسنده مسئول)
۳- دکتری طراحی شهری، استاد گروه طراحی شهری، دانشکده عالی فنی مادرید، دانشگاه پلی تکنیک مادرید، مادرید، اسپانیا
۴- دکتری معماری؛ استادیار گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

چکیده

اهداف: هدف پژوهش بررسی تأثیر انواع طرح کاشت گیاهان به‌طور مخصوص درختان با ویژگی‌های متفاوت ساختار شاخه و برگ، ارتفاع، قطر و تراکم تاج، شکل و اندازه برگ و مقایسه اثر خنک‌کنندگی در شرایط مشابه است، تا طرح کاشت مناسب برای بهره‌وری حداکثری از اثر خنک‌کنندگی گیاهان مشخص گردد و طرح کاشت مناسب باهدف افزایش بهره‌وری در استفاده از گیاهان جهت ایجاد آسایش حرارتی در فصل گرم سال مشخص‌گردد.

ابزار و روش ها: روش جمع‌آوری اطلاعات در این پژوهش میدانی و کتابخانه‌ای و روش تحلیل مورد استفاده شبیه‌سازی است و ارائه یافته‌ها و مقایسه نتایج به روش کمی وکیفی است. اطلاعات پوشش گیاهی سایت مورد نظر در مرحله اول برداشت گردیده و شبیه‌سازی وضع موجود و میزان تأثیر آن مشخص گردیده سپس دو طرح کاشت جدید با همان میزان سبزینگی موجود در وضع موجود طراحی و در محیط شبیه‌سازی گردیده و نتایج حاصل مقایسه می‌گردد.

یافته ها: نتایج شبیه‌سازی نشان‌می‌دهد که حالت کاشت گروهی در شرایط کاملاً مشابه ازلحاظ گونه‌های گیاهی و تعداد درختان ۰.۸۵ درجه سانتی گراد میانگین دمای هوا را به نسبت حالت کاشت خطی کاهش می‌دهد و بیشترین تفاوت در میانگین دمای متوسط تابشی است که بیش از ۳ (۳.۱۸) درجه سلسیوس اختلاف دما بین حالت کاشت گروهی نسبت به حالت کاشت خطی ایجاد گردیده و حالت کاشت گروهی دمای متوسط تابشی کمتری دارد.

نتیجه گیری: این پژوهش آشکار ساخت تأثیر عامل طرح کاشت گروهی علی‌رغم ایجاد هم‌پوشانی سایه درختان و کاهش مساحت سایه‌اندازی درختان، سبب بهبود شاخص آسایش حرارتی PMV و متغیرها محیطی می‌گردد.

کلمات کلیدی: طرح کاشت درختان، آسایش حرارتی فضای باز، شبیه‌ساز ENVI-met، میانگین متوسط نظر (PMV) ، طراحی کارایی-مبنا، میکرو اقلیم، بهره‌وری انرژی

مقدمه

پیچیدگی مباحث مرتبط با آسایش حرارتی که از یکسو با اقلیم به‌عنوان پدیده‌ای ناپایدار و از سوی دیگر با انسان مرتبط است، در کنار کمبود مبانی مدون در این زمینه موجب دشواری تشخیص و تأمین نیازهای اقلیمی یک سایت مشخص برای طراحان شهری و عدم توجه کافی به این بخش از عوامل سازنده کیفیت در طرح‌های اجرایی شده است [۱]. توجه به آسایش حرارتی فضاهای باز عمومی محلی به ارتقای کیفیت این فضاها کمک می‌کند و احتمال حضور پذیری را افزایش می‌دهد [۲]. موضوع اثر حرارتی گیاهان و نقش آن در کنترل دمای آسایش در محیط باز و بسته بسیار حائز اهمیت است. اثر برودتی گیاهان شامل متغیرهای متعددی است که در هنگام طراحی به‌سادگی قابل‌کنترل نیستند، متغیرهایی مانند ابعاد تاج و خصوصیات برگ گیاهان ازجمله این موارد هستند. کاشت گونه‌های درختی مناسب به‌طور عمده بر عملکرد برودتی حاصل از آن‌ها و آسایش حرارتی در محیط اثرگذار است [۳]. این عملکردها نه‌تنها بر بهبود وضعیت میکرو اقلیم‌ها در مقیاس کلی به‌طور مخصوص برای اقلیم استوایی و نیمه استوایی اثرگذارند بلکه آسایش حرارتی انسان را نیز بهبود می‌بخشند. برای مثال ساختار تاج درختان، شکل و رنگ برگ درختان بر شدت نور مرئی و مادون‌قرمز بازتابی از آن‌ها تأثیرگذار است [۴]. گونه درختان ریزبرگ به دلیل سطح بیشتر تأثیر برودتی بیشتر نسبت به گونه درختان درشت‌برگ دارند (۶،۵). بنابراین، اثر برودتی و سایه‌اندازی گیاهان عمدتاً از طریق تراکم تاج، چیدمان برگ‌ها، ارتفاع، طرح گسترش شاخه‌ها، ارتفاع تنه، تابش خورشیدی و خصوصیات بازتاب نور سطحی مشخص می‌گردد [۹-۷]. درحالی‌که چمنزارها و بوته‌ها سایه سطحی ایجاد می‌کنند، درختان با جلوگیری از نفوذ تابش فروسرخ به سطح زمین و همین‌طور کاهش نرخ تابش امواج بلند و ایجاد رطوبت در

هوا با مصرف آب کمتر مؤثرتر هستند [۱۰]، در پژوهشی که به بررسی رابطه هندسه تاج درخت و تأثیر آن بر آسایش حرارتی می‌پردازد عناصر مختلفی که نشان‌دهنده خصوصیات درخت هستند شامل میزان سایه‌اندازی (شعاع میانگین تاج درخت TCR)، هندسه درخت (نسبت شعاع تاج درخت به ارتفاع تنه درخت R/TH)، دید به آسمان SVF و ضریب تراکم برگ LAI، مشخص گردید که نسبت تاج به ارتفاع تنه تأثیرگذارترین متغیر نسبت به سایر متغیرها است افزایش یک واحدی نسبت شعاع به ارتفاع تنه درختان سبب کاهش ۲.۵ درجه سانتی گراد و ۲.۶۵ درجه سانتی‌گراد در صبح و بعدازظهر در شاخص حرارتی PET می‌گردد [۱۱]. علاوه بر این تأثیر گونه‌های مختلف گیاهان در آسایش حرارتی محیطی به مساحت آن نیز بستگی دارد [۱۲]. در پژوهشی که به بررسی اثر طرح درختان شهری بر کاهش اثر جزایر گرمایی شهری می‌پردازد مشخص گردید که میزان تأثیر برودتی درختان بر هوا و گرمای محسوس هنگامی که درختان در مسیر روهروهای بادی قرار می‌گیرند تا دو برابر نسبت به حالتی که پشت به مانع باد هستند بیشتر است [۱۳]. در پژوهشی دیگر در مورد تأثیر باد بر میزان برودت درختان مشخص گردید درختانی که در مسیر باد قرار می‌گیرند اثر برودتی تا فاصله پنج برابر ارتفاع درخت دارند [۱۴]. مطالعات پارامتریک نشان داده است که چیدمان مناسب درختان با در نظر گرفتن باد می‌تواند آسایش حرارتی عابران پیاده را در اطراف ساختمان‌ها بهبود بخشد [۱۵]. پژوهش دیگری در این موضوع آشکار ساخت که تأثیر جهت باد در میزان برودت ایجاد شده از درختان در خیابان‌ها هنگامی‌که سرعت باد کم باشد، اندک است [۱۶]. در پژوهشی دیگر مشخص گردید که اثر خنک‌کننده در مناطق در جهت باد یک پارک شهری تحت تأثیر جهت باد است [۱۷]. پژوهش‌های بعدی در این زمینه نشان داد که وزش باد رو به فضای سبز شهری می‌تواند تأثیر برودتی قابل‌ملاحظه در مناطق شهری پایین‌دست آن‌ها شود [۱۸]. موضوع پژوهشی دیگر شامل ویژگی‌های فیزیکی گیاهان، مکان کاشت، و پوشش گیاهی، تراکم کاشت، و تراکم تاج درختان، عناصر گیاه، نوع برگ، الگوی کاشت و طرح کاشت بود. نتایج نشان دادکه به چندین فاکتور مهم و تأثیرگذار در مطالعات قبلی توجه نشده است که این موارد شامل تأثیر الگوهای کاشت، نظم کاشت گونه‌های گیاهی مختلف، اشکال مختلف درخت و درختچه‌ها، توزیع و اتصال پهنه‌های فضای سبز در منظر، جهت کاشت ردیف گیاهان در وضعیت بادهای مختلف می‌شود [۱۹]. ضریب دید آسمان SVFمیزان تأثیر تراکم سایبان بر تهویه هوا بیان می‌کند همچنین نشانگر میزان کاهش تابش حاصل از سایه‌اندازی گیاهان است. نقاط با درختان درشت‌برگ متراکم ضریب SVFکمتری دارند [۲۰]، نقاط با ضریب SVF بالا با تراکم کم تاج سبب سهولت تهویه می‌گردد [۲۱]. اما این نقاط درجه سایه‌اندازی کمتری نیز دارند و در روزهای گرم سال نسبتاً در معرض دمای هوای بالاتری قرار می‌گیرند .[22]

علاوه بر ویژگی‌های مرتبط با گیاه طرح کاشت نیز تأثیر زیادی بر اثر برودتی حاصل از گیاهان دارد. در پژوهشی مقایسه نتایج از گیاهان به‌صورت منفرد و دسته گیاهان بر دمای هوا برای گونه C.pluviosa و T.tipu حدود یک‌سوم در حالت دسته گیاهان نسبت به‌صورت منفرد اثبات گردید، نتایج شاخص PETدر این پژوهش نیز مشابه نتایج تفاوت دمای هوا مشخص گردید. نتایج تحقیق اشاره دارد که دسته درختان در نسبت‌های متفاوت مانند یک دستگاه ترموستات اقلیمی عمل می‌کند. پوشش گسترده که به‌وسیله دسته گیاهان به وجود می‌آید، می‌توانند شاخص PET را در محیط از طریق اثر چتری کاهش دهد [۲۳]. در پژوهشی که به بررسی تأثیر درختان در کاهش دمای محیط شهری می‌پردازد مشخص گردید که درختان به‌صورت کاشت تکی می‌توانند دمای متوسط محیط را بین ۱.۱ تا ۲.۸ درجه سانتی‌گراد در تابستان کاهش دهند [۲۴]. همچنین اثر سایه‌اندازی گیاهان در پژوهشی دیگر ارزیابی و آشکار گردید که سایه‌اندازی گیاهان دمای متوسط تابشی mrtT را تا حدود ۳۰ درجه سانتی‌گراد در یک روز تابستانی در آب‌وهوای اروپای مرکزی کاهش می‌دهد [۲۵].

به‌طورکلی صرف‌نظر از نوع گیاه، برگ گیاهان حدوداً ۱۰٪ از نور مرئی و ۵۰٪ از امواج فروسرخ را بازتاب داده و حدوداً ۱۰٪ از نور مرئی و ۳۰٪ از امواج فروسرخ را از خود عبور می‌دهند و الباقی یعنی ۸۰٪ نور مرئی و ۲۰٪ از امواج فروسرخ را جذب می‌کنند [۲۶]. همچنین لایه‌های متعدد برگ درختان مقدار بیشتری از انرژی عبوری را می‌توانند جذب کنند [۲۷]. در تحقیقی در فصل تابستان که به شاخص‌های کاشت درختان در پارک می‌پردازد مشخص گردید که سه شاخص کاشت ، ضریب دید آسمان ، شاخص سطح برگ و منطقه محفظه مورد استفاده قرار گرفت. از طریق مرتبط سازی آن‌ها با شاخص‌های حرارتی با رگرسیون خطی ، همه شاخص‌ها تأیید شدند که دارای اثرات حرارتی قابل‌توجهی هستند، هر ۰/۱ افزایش در فاکتور دید آسمان منجر به افزایش ۱ درجه سانتی‌گراد درجه حرارت هوا ، ۰.۱۶ متر بر ثانیه سرعت هوا ، ۴۰ وات بر مترمربع سطح تابش خورشید و ۱.۶ درجه سانتی‌گراد میانگین دمای تابشی می‌شود. همین اثرات در کاهش شاخص سطح برگ تقریباً ۰.۴ و افزایش سطح محفظه تقریباً ۲۰ مترمربع مشاهده شد [۲۸]. پژوهش‌های سنجش از راه دور در این موضوع نشان می‌دهند که پوشش گیاهی دمای سطوح شهری را در مقیاس منطقه‌ای کاهش می‌دهد [۲۹]. اما اثر مخصوص قرارگیری و چیدمان درختان به دلیل بزرگ مقیاس بودن تصاویر ماهواره‌های حرارت‌سنج به‌طور گسترده مورد بررسی قرار نگرفته است [۳۰]. در سال‌های اخیر با استفاده از نقشه‌های کیفیت بالا حرارتی در پژوهشی با همین روش آشکار گردید که چیدمان خوشه‌ای درختان اثر خنک کنندگی را به نسبت چیدمان پراکنده بهبود می‌بخشد [۳۱-۳۲] علاوه بر سایه‌اندازی در پژوهشی که بررسی اثر دیوارهای سبز بر کاهش دما محیط پیرامون در فواصل مشخص ۰، ۰/۵، ۱، ۲ متر پرداخته مشخص گردید که جداره‌های سبز در فصل گرما دمای فضای اطراف خود را به‌اندازه ۰/۶۳ و ۱ درجه کاهش می‌دهند [۳۳]. در پژوهشی که به بررسی تأثیر پوشش گیاهی بر شرایط آسایش حرارتی بیرونی عابران پیاده می‌پرداخت مشخص گردید که نوع درخت برگ‌ریز با در نظر گرفتن شاخص تراکم و سطح برگ از یک‌سو، فرم تاج درختان و ارتفاع ساقه از سویی دیگر در آسایش حرارتی بیرونی به‌صورت چشمگیری مؤثر می‌باشند، علاوه بر این، طرح کاشت درختان با توجه به زاویه قرارگیری معابر برای بهبود سایه‌اندازی و هدایت جریان هوا می‌بایست موردتوجه قرار گیرد [۳۴]. در پژوهشی که به بررسی تأثیر نظام کاشت گیاه در باغ ایرانی بر آسایش حرارتی فضای باز می‌پردازد با بررسی از مدل‌های شبیه‌سازی گیاه (نوع درخت و تاج درخت و تعداد آن‌ها) در محل خود مشخص گردید که شرایط آسایش حرارتی فضای باز را بهبود بخشیده ، و با عبور از فضای باغ شرایط محیطی به وضعیت قبل برمی گردد و میانگین دمای تابشی بیشترین اثرگذاری بر آسایش حرارتی را دارد [۳۵].

امروزه با توجه به اهمیت طراحی مبتنی بر عملکرد که برای کنترل انتقال حرارت از داخل به خارج ، بار حرارتی خورشیدی از خارج به داخل ، با کارایی بهتر در سطح خورشیدی بهره‌وری انرژی است و همچنین طراحی مبتنی بر عملکرد برای کنترل انتقال حرارت از داخل به خارج ، بار حرارتی خورشیدی از خارج به داخل ، با کارایی بهتر در انرژی خورشیدی است [۳۶ –۳۷]. همچنین تعدادی پژوهش در این موضوع با استفاده از روشSML و ابزار یادگیری ماشین به طراحی شرایط بهینه آینده بر اساس وضع موجود در گذشته می‌پردازند [۳۸].

هدف پژوهش بررسی تأثیر انواع کاشت گیاهان به‌طور مخصوص درختان با ویژگی‌های متفاوت ساختار شاخه و برگ، ارتفاع، قطر و تراکم تاج، شکل و اندازه برگ و مقایسه اثر خنک‌کنندگی در شرایط مشابه است، تا طرح کاشت مناسب برای بهره‌وری حداکثری از اثر خنک‌کنندگی گیاهان مشخص گردد و طرح کاشت مناسب باهدف افزایش بهره‌وری در استفاده از گیاهان جهت ایجاد آسایش حرارتی در فصل گرم سال مشخص شود.

مواد و روش‌ها

مبانی سنجش آسایش حرارتی در فضای باز شهری، مبنای اصلی روش‌شناسی تحقیق است. بازه احساس آسایش حرارتی بیرونی نسبت به فضاهای درونی، بـازه گسترده‌تری از ادراک شرایط آب‌وهوایی شامل آسایش حرارتی تـا تنش گرمایـی را در برمی‌گیرد [۳۹]. دمای هوا، رطوبت، سرعت باد و میزان تابش اشعه‌های خورشید، چهار فاکتور اساسی در تعریف آسایش در مقیـاس خرد اقلیم هستند. از طرفی اغلب مطالعـات بیانگـر اهمیـت دمـای هـوا در تأمیـن آسـایش حرارتـی اســت [۴۰]. شاخص‌های بیومتریک متعددی برای توضیح سطح آسایش حرارتی انسان از طریق ارتباط وضعیت میکرو اقلیم و احساس دمایی توسعه یافته‌اند [۴۱]. این شاخص بر اساس این فرض که هنگامی‌که فرد در معرض وضعیت خاص اقلیمی قرار می‌گیرد، به‌تدریج تعادل حرارتی با محیط می‌رسند، این موضوع را می‌توان از طریق محاسبات عددی معادلات تراز انرژی برحسب تنظیم مجدد دما محاسبه کرد [۴۲]. شاخص‌های متعددی برای تخمین و ارزیابی آسایش حرارتی در فضای باز وجود دارد، این شاخص‌ها که از تعادل انرژی بدن انسان با محیط پیرامون استخراج گردیده شامل : میانگین تخمینی نظرات (PMV) ، دمای مؤثر (ET) [۴۳]. ، دمای مؤثر استاندارد (SET) [۴۴].و دمای معادل فیزیولوژیکی [۴۵] (PET) .علاوه بر این شاخص‌های دیگری برای ارزیابی آسایش حرارتی اقلیم‌های خاص وجود دارد برای مثال شاخص آسایش فضای باز مدیترانه‌ای (MOCI)[۴۶]. . به‌صورت کلی ۱۶۵ شاخص به‌منظور ارزیابی دمایی توسعه یافته‌اند و بیشتر آن‌ها برای فضاهای بسته هستند درحالی‌که شاخص‌هایی مانندPET ،PMV و SETعمدتاً برای ارزیابی آسایش حرارتی در فضای باز مورداستفاده قرار می‌گیرند[۴۸-۴۷].

شاخص PET که از تعادل گرمایی بدن انسان به دست می‌آید، یکی از پرکاربردترین شاخص‌هایی است که برای آسایش محیطی در فضای باز مورد استفاده قرار می‌گیرد [۴۹].

مدل‌سازی ریمن (RAYMAN) می‌تواند برای محاسبه میزان تشعشع دمایی جداره‌های شهری بر اساس پارامترهای مشخصی مانند دمای محیطی، سرعت باد و تابش آفتاب از محیط پیرامون مورد استفاده قرار گیرد [۵۰-۵۱]. شاخص PET به دلیل استفاده از واحد سانتی‌گراد صورت عمده مورداستفاده پژوهشگران قرار می‌گیرد. امروز این شاخص به‌صورت عمومی برای تحلیل‌های دمایی به کار می‌رود (۵۲). شاخص PET با تحلیل پارامترهای محیطی فضای باز، این پارامترها را به معادل آن‌ها در فضای بسته تبدیل می‌کند و از این طریق می‌توان اطلاعات را به‌راحتی درک و تفسیر کرد [۵۴-۵۳].

کاشت گیاهان و تأثیر آن بر اقلیم، اهمیت بالایی دارد. بر طبق تحقیقات انجام شده، پوشش گیاهی از سه طریق اثرگذاری بر سرعت وزش باد، سایه‌اندازی، و ایجاد رطوبت حاصل از تبخیر و تعرق، آسایش حرارتی محیط را تحت شعاع قرار می‌دهند. دو عامل سایه‌اندازی و رطوبت، از عوامل اصلی تعدیل حرارتی گیاهی به شمار می‌روند [۵۵]. به‌طورکلی، گیاهان و پوشش گیاهی در محیط‌های شهری می‌توانند فاکتورهای محیطی تعیین‌کننده نظیر دما، باد، تابش، آلودگی و رطوبت یا بارش را تحت تأثیر قرار دهند. در ارتباط با تغییرات اقلیمی، مهم‌ترین اثرات گیاهان را می‌توان در کاهش دما، افزایش رطوبت، کاهش تابش، کاهش سرعت باد و کاهش گازهای گلخانه‌ای خلاصه کرد. سازوکارهای اعمال این تأثیرات در مورد هر فاکتور محیطی تفاوت می‌کند. در برخی موارد، یک سازوکار مشخص ممکن است در اعمال یک یا چند اثر محیطی گیاهان نقش ایفا نماید. شواهد بسیاری اثر خنک‌کنندگی گیاهان و پوشش‌های گیاهی در محیط‌های شهری را اثبات کرده است. به‌نظر می‌رسد که هرچه تغییرات اقلیمی افزایش می‌یابد، نقش فضای سبز به‌ویژه در ارتباط با دما برجسته‌تر می‌شود. نشان داده شده‌است که افزایش تعداد درختان شهری شدت دما در جزایر گرمایی را تعدیل می‌کنند. در مقیاس کوچک، گیاهان از سه طریق می‌توانند دما را در

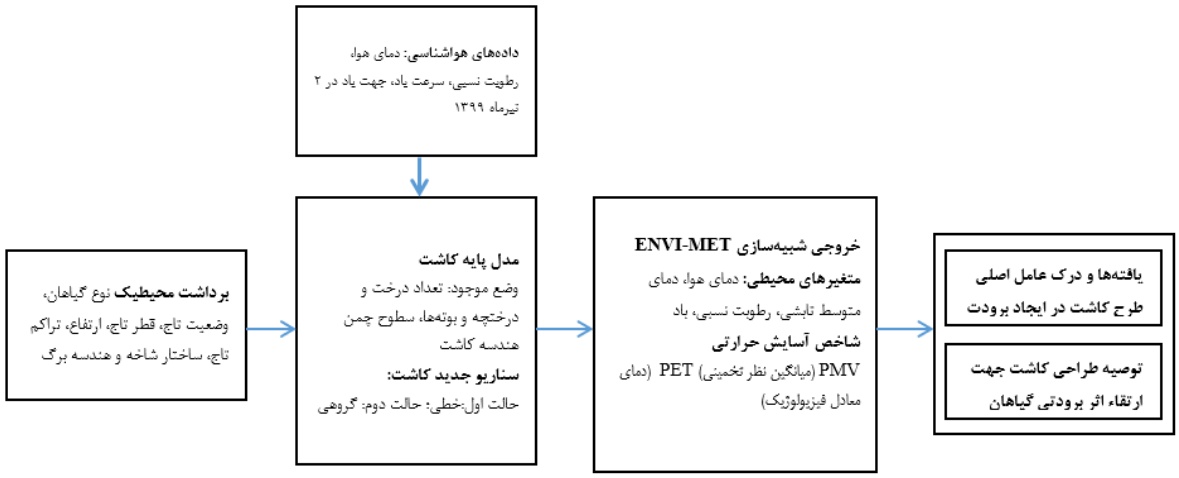
محیط‌های شهری کاهش می‌دهند: ۱. جذب و انعکاس برخی امواج نورانی خورشید، ۲. سایه‌اندازی، ۳. تبخیر تعرقی[۵۵].

جذب و انعکاس: اکثر پرتوهای مرئی (سبز و زرد کمتر) و مقداری از پرتوهای ماوراءبنفش توسط گیاهان جذب می‌شوند. برخی ترکیبات گیاهی نظیر ترکیبات فنلی (فالوونوئیدها، هیدروکسی سینامیک اسید) پرتو ماوراءبنفش را جذب کرده و آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی گیاه محسوب می‌شوند. مقداری از نور خورشید نیز توسط گیاهان منعکس می‌شود. انعکاس تابش خورشید از سطح گیاه، علاوه بر ساختار برگ، تابعی از چهار ویژگی شیمیایی گیاه می‌باشد که عبارت‌اند از محتوای نیتروژن برگ، محتوای کربن برگ، محتوای آب برگ و رنگ‌دانه‌های فعال موجود. میزان انعکاس در بازه‌های طیفی مختلف تابع ویژگی‌های متفاوت گیاهی است. به‌عنوان‌مثال، انعکاس در محدودهٔ مادون‌قرمز نزدیک بستگی به ساختار برگ گیاه، در محدودهٔ مرئی تا حد زیادی وابسته به رنگ‌دانه‌ها بوده و در محدودهٔ مادون‌قرمز میانی تابعی از محتوای آب گیاه است. بازتاب نور خورشید از سطوح، با ضریب آلبدو نشان داده می‌شود. هرچه میزان ضریب آلبدو بیشتر باشد، میزان خنک‌کنندگی بیشتر خواهد بود. برای افزایش ضریب آلبدوی پوشش گیاهی می‌توان از گونه‌های گیاهی با صفات عملکردی مناسب بهره‌برد. مهم‌ترین صفات عملکردی که در بالابردن ضریب آلبدو و درنتیجه میزان انعکاس پوشش گیاهی نقش دارند عمدتاً در دو گروه شیمیایی و ساختاری طبقه‌بندی می‌گردند. برخلاف نور مرئی که انعکاس آن بستگی به مجموعه‌ای از صفات فوق دارد، انعکاس پرتو ماوراءبنفش بستگی به ویژگی‌های لایه‌ی کوتیکول یا حداکثر خارجی‌ترین لایه‌ی روپوست برگی دارد [۵۵– ۵۶]. پوشش‌های گیاهی مختلف دارای ضریب آلبدوی متفاوتی هستند. پوشش‌های علفی و مزارع نسبت به جنگل‌ها ضریب آلبدوی بالاتری دارند. جنگل‌ها ضریب آلبدوی پایینی دارند، ولی آبی که از گیاهان طی فرایند تبخیر تعرقی خارج می‌شود هاله‌ای در بالای درختان ایجاد می‌کند که ضریب آلبدوی بالایی دارد و در خنک کردن جهانی کرهٔ زمین مؤثر است. به‌طورکلی، ضریب آلبدو از جنگل‌های سوزنی‌برگ همیشه‌سبز به جنگل‌های برگ‌پهن به علفزار و مزارع افزایش می‌یابد و بنابراین به‌نظر میرسد درختان برگریز در خنک کردن نقش مهم‌تری دارند. اخیراً دانشمندان بیان کردند که برخی درختان ترکیباتی عمدتاً ترپنی از خود متصاعد می‌کنند که همانند ابری بالای درختان را گرفته و نور خورشید را منعکس می‌کند و بدین ترتیب به خنک کردن زمین نیز کمک می‌کنند [۵۷].

سایه‌اندازی: ایجاد سایه و جلوگیری از برخورد تابش خورشیدی به سطوح جذب‌کننده از مهم‌ترین سازوکارهای کاهش دما توسط گیاهان به‌ویژه گیاهان چوبی می‌باشد. درختان با سایه‌اندازی بر اماکن شهری موجب کاهش ورود گرمای خورشید از پنجره‌ها، دیوارها و سقف می‌شوند. وقتی تاجپوش متراکم‌تر می‌شود، میزان انعکاس یا جذب نور بیشتر و درنتیجه میزان سایه‌اندازی بیشتر می‌گردد. گیاهان با برگ‌های نازک و سطح وسیع برای سایه‌اندازی بسیار مناسبند. ولی کاشت چندین درخت کوتاه‌قامت در کنار یکدیگر نیز گزینه مناسبی است .بااین‌حال باید توجه داشت که در بحث سایه‌اندازی، نحوه هرس گیاهان در افزایش مساحت دربرگیرنده‌ی سایه بسیار حائز اهمیت می‌باشد [۵۸]. سه فاکتور وسعت، تراکم و زمان‌بندی ایجاد سایه توسط درختان در استفاده از این سازوکار اهمیت اساسی دارد. جهت ایجاد سایه چهارمین عامل مهمی است که در رابطه به سایه‌اندازی گیاهان بایستی در نظر گرفت به‌طوری‌که ایجاد سایه در جهت‌های جنوبی و غربی بیشترین تأثیر را در خنک‌شدن اکوسیستم‌های شهری و ساختمان‌ها ایفا می‌نماید. توانایی ایجاد سایه توسط گیاهان به صفات عملکردی مختلفی ازجمله شکل رویشی، نوع و اندازهٔ برگ، شاخص سطح برگی، نوع شاخه‌بندی، شکل تاج‌پوش و وسعت نسبی تاج‌پوش بستگی دارد. طول عمر برگ به‌عنوان صفت مهمی در بررسی سازوکار سایه‌اندازی توسط گیاهان درنظر گرفته می‌شود. در این رابطه درختان برگ‌ریز بسیار مفید هستند، چرا که در زمستان به نور خورشید اجازه می‌دهند که وارد ساختمان شود، در حالی‌که در تابستان برگ‌ها مانع ورود نور خورشید و ایجاد سایه می‌شوند [۵۵ ، ۵۹]

تبخیرتعرقی: اصطلاح تبخیر تعرقی یعنی تبخیر آب از سطح گیاه (تعرق) و از خاک اطراف آن، بدین ترتیب در روزهای گرم تابستان، یک درخت به‌عنوان یک کولر تبخیر کنندهٔ طبیعی عمل می‌کند و با مصرف آب در روز دمای محیط را کاهش می‌دهد (خنک‌کنندگی تبخیری). ارتباط بسیار نزدیکی میان اندازه و شکل برگ و محیط زندگی وجود دارد. در گیاهان با برگ پهن میزان تعرق از سطح برگ بیشتر است، بنابراین در شهرهای با رطوبت متوسط گیاهان پهن‌برگ و در شهرهای با رطوبت بالا، گیاهانی با برگ کوچک ارجحیت دارند. از سوی دیگر گیاهانی با برگ‌های کوچک یا با لوب‌های فراوان نسبت به گیاهانی با برگه‌ای پهن برای اقلیم‌های گرم مناسب‌ترند. چنین گیاهانی قطرات آب را در سطح خود جمع کرده و مانع از دست دادن آب می‌شوند و بنابراین تنفس تعرقی در آن‌ها کاهش می‌یابد. به‌طورکلی هر صفت عملکردی گیاهی که در فرآیند تعرق نقش داشته باشد، می‌تواند نرخ تبخیر تعرقی را نیز تحت تأثیر قرار دهد. صفاتی نظیر اندازهٔ برگ، ویژگی‌های کوتیکول و روپوست، آناتومی میان‌برگ اسفنجی و نردبانی، میزان فضاهای بین–سلولی در میان‌برگ، سطحی از دیواره‌های سلولی که در معرض هوا هستند، هدایت روزنه‌ای، تراکم و تعداد روزنه‌ها، جهت‌گیری برگ، تعداد برگ‌ها، شکل برگ، اندازه و وسعت تاج‌پوش گیاه از اهمیت بالایی در ارتباط با تبخیر تعرقی برخوردارند. در گیاهان چوبی، سطح چوب زنده (شیره چوب) به‌عنوان عاملی تأثیرگذار بر میزات تعرق شناخته می‌شود. در مقیاس بزرگ‌تر، تراکم پوشش گیاهی و اشکال رویشی غالب از عوامل مهم و تعیین‌کننده در میزان تبخیر تعرقی پوشش گیاهی هستند.گونه‌های گیاهی و حتی ارقام زراعی نیز می‌توانند نرخ‌های تعرقی متفاوتی نشان دهند که بیانگر اهمیت تاکسونومی گیاه در بررسی‌های اکوفیزیولوژیک می‌باشد [۵۵و۶۰]..

از وضعیت جغرافیایی و ویژگی‌های محیطی، پژوهش در فضای باز محوطه دانشکده هنر دانشگاه تربیت مدرس با مختصات (۳۵.۷۲۳۰ شمالی و ۵۱.۳۸۴۰ شرقی) که در منطقه غرب تهران با اقلیم نیمه‌خشک (BSK) در طبقه‌بندی اقلیمی کوپن قرار دارد، در یکی از روزهای گرم‌ترین ماه سال، تیرماه با بیشترین دمای ۴۲ درجه سانتی گراد و میانگین ۳۶ درجه سانتی‌گراد در این ماه انجام گرفته است، اطلاعات هواشناسی در روز ۲ تیرماه ۱۳۹۹ به‌عنوان اطلاعات شبیه‌سازی مورد استفاده قرار گرفته است. میزان رطوبت مخصوص ۲ گرم بر کیلوگرم هوا و میانگین رطوبت نسبی در این ماه ٪۲۰ است. جهت باد در این روز زاویه ۲۵۰ درجه و میانگین ۳.۵ متر بر ثانیه بر اساس اطلاعات نزدیک‌ترین ایستگاه سینوپتیک در نظر گرفته شد. از نرم‌افزار ENVI-met نسخه V4 برای شبیه‌سازی در این پژوهش استفاده شده است (نمودار ۱). دلیل انتخاب مکان مورد نظر، حضور دائمی اساتید، دانشجویان و کارکنان و همچنین حضور کنترل‌شده افراد در محیط است، همچنین وجود اشکال مختلف طرح کاشت و گونه‌های متعدد گیاهی در محیط مورد نظر و ترکیب فضای سبز و سایه‌اندازی ساختمان ازجمله معیارهای انتخاب بوده است.



نمودار ۱: چارچوب نظری روش پژوهش

محوطه شبیه‌سازی‌شده دارای گونه‌های مختلف درختان ریزبرگ، درشت‌برگ، درختچه، چمن و انواع گل و گیاه تزئینی است. شبیه‌سازی در سه حالت شامل حالت اول وضع موجود با برداشت دقیق گونه‌های گیاهی در محیط موردنظر و ویژگی‌های مصالح ساختمان‌ها، کف و مبلمان موجود در محوطه برداشت گردیده و معادل مصالح در شبیه‌ساز در نظر گرفته شده است (شکل ۱).

شکل ۱: شکل ماهواره‌ای محوطه دانشکده هنر دانشگاه تربیت مدرس- محدوده شبیه‌سازی. منبع(google earth)

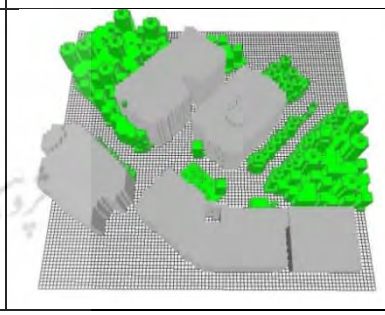
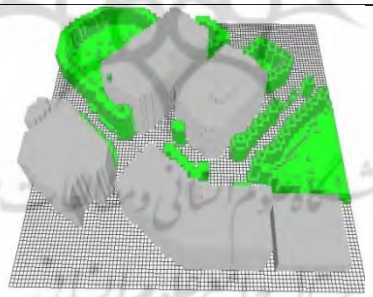
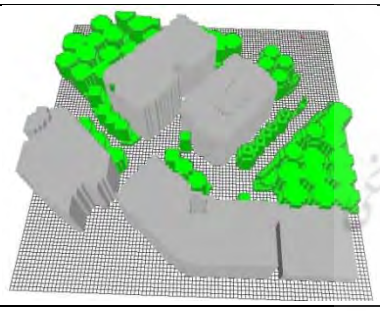
مساحت تقریبی محوطه شبیه‌سازی ۶۷۵۰ مترمربع که مقداری کمتر از نیمی از آن ساختمان است و اثرات فضاهای هم‌جوار در نظر گرفته نشده است. محوطه مذکور دارای ۵۲ درخت چنار با ارتفاع بیش از ۶ متر، ۸ درخت چنار با ارتفاع کمتر از ۶ متر، ۲ کاج با ارتفاع بیش از ۶ متر، ۳ سدر دیودار با ارتفاع بیش از ۸ متر و تعداد ۴۰ درختچه با ارتفاع کمتر از ۲ متر و قطر تاج کمتر از ۱.۵ متر از گونه‌های مختلف، شامل بید، توت سفید، باران طلایی، افرا، نخل بادبزنی و تعدادی شمشاد در حاشیه محوطه چمن و گیاهان رونده در بلوار روبروی دانشکده و تعدادی گونه‌های گل و چمن در محدوده شبیه‌سازی است(شکل ۲،۳،۴و۵) . سؤال اصلی پژوهش این است که طرح کاشت درختان به‌تنهایی تا چه میزان بر ارتقاء شاخص‌های محیطی آسایش حرارتی تأثیر دارد؟

شکل ۲: گونه‌های گیاهی موجود روبروی ورودی دانشکده هنر

شکل شماره ۳: طرح کاشت گونه‌های گیاهی محور روبروی ورودی دانشکده هنر از سمت دانشکده

شکل ۴: نمای مسیر منتهی به دانشکده هنر

با توجه به اثر کم درختچه و گیاهان با ارتفاع کمتر از ۲ متر در شبیه‌سازی اثر این گیاهان به‌صورت درختچه استاندارد در محیط نرم‌افزار با تراکم تاج متوسط و پیش‌فرض‌های استاندارد در نظر گرفته شده است (جدول شماره ۱).

شبیه‌سازی نرم‌افزار ENVI-met از طرح کاشت بر اساس اطلاعات هواشناسی ۲ تیرماه سال ۱۳۹۹ ساعت ۱۴:۰۰			
	وضع موجود	کاشت اول: خطی	کاشت دوم: گروهی
شبیه‌سازی طرح کاشت			

جدول شماره ۱: طرح کاشت گیاهان در نرم‌افزار شبیه‌ساز سه حالت متفاوت

شبیه‌سازی حالت‌های مختلف طرح کاشت

جهت پی بردن به تأثیر متغیر طرح کاشت بر میزان برودت ایجادشده و تأثیر بر آسایش حرارتی در مدل‌سازی تعداد مشابه درخت و درختچه با مشخصات یکسان که در وضع موجود برداشت گردیده در نظر گرفته‌شده‌اند تا میزان تأثیر آن‌ها بر متغیرهای وابسته (دمای هوا، دمای متوسط تابشی، رطوبت هوا و میانگین نظر تخمینی مشخص گردد .

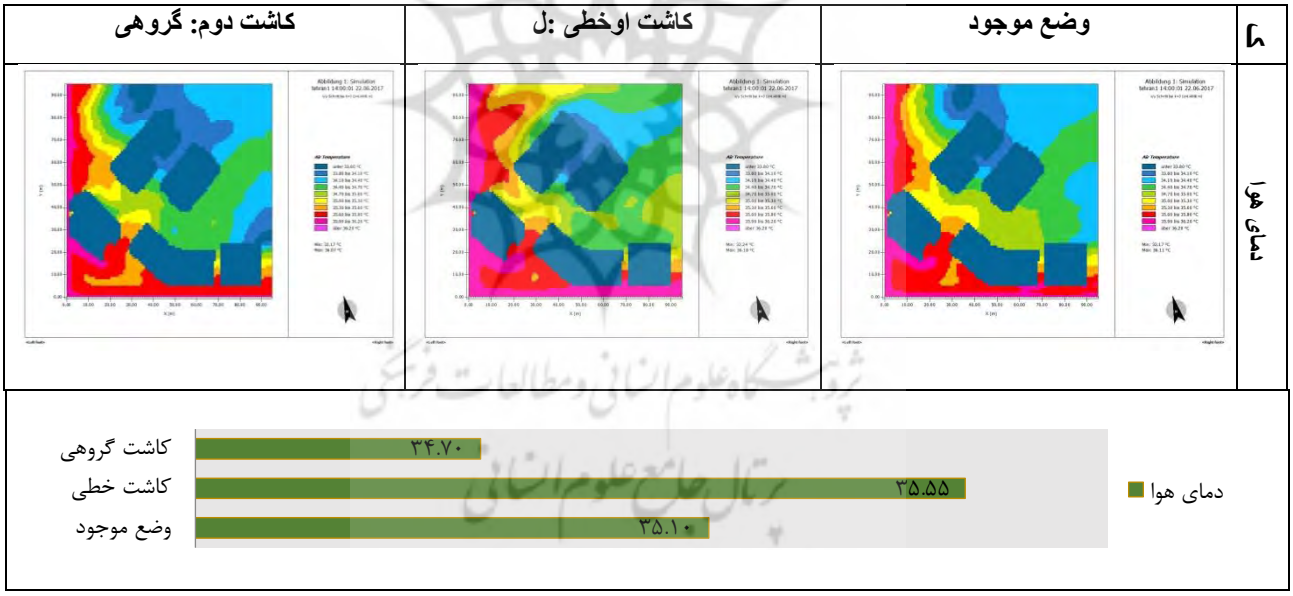
طرح کاشت اول (خطی): در این روش کاشت درختان به‌صورت حاشیه‌ای پیرامون فضای سبز موجود در سایت موردنظر کاشت گردیده و اثر این نوع طرح کاشت که در بسیاری از باغ‌ها و پارک‌ها و سبک باغ سازی ازجمله باغ ایرانی مورد استفاده قرار می‌گیرد، شبیه‌سازی‌شده است (جدول شماره ۱).

طرح کاشت دوم (گروهی): در این روش کاشت درختان به‌صورت دسته‌بندی‌شده و ترکیبی از درختان بلند و کوتاه

همراه با سایه‌اندازی بر روی یکدیگر در نظر گرفته‌شده است. هدف از انتخاب این الگو بررسی تأثیر اثر چتری گیاهان در افزایش بهره‌وری برودتی و ایجاد آسایش حرارتی است، همچنین بعضی از سبک‌های باغ سازی و همین‌طور کاشت درختان در فضاهای شهری و پارک‌ها، طرح کاشت گروهی به‌صورت Cluster دارند و این نوع کاشت عمومیت دارد، ازاین‌رو در شبیه‌سازی از همان تعداد درخت و درختچه در وضع موجود استفاده شده در طرح کاشت اول با چیدمانی جدید (گروهی) استفاده شده است، تا نتایج حاصل از شبیه‌سازی بر متغیر طرح کاشت متمرکز گردد و قابلیت مقایسه نتایج وجود داشته باشد.

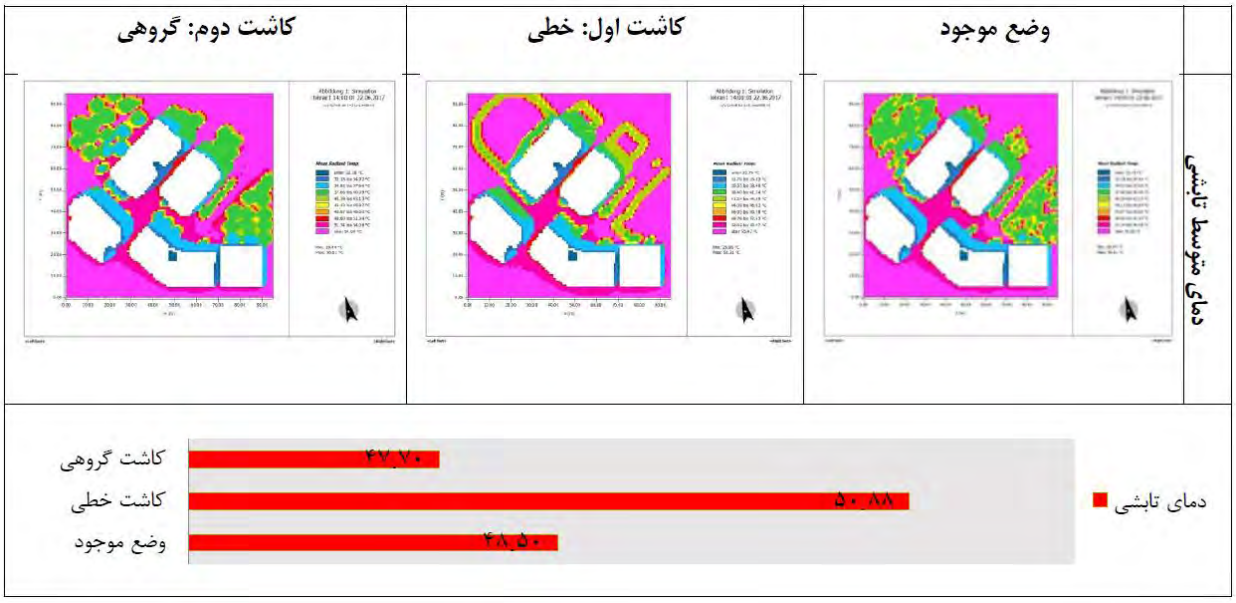
یافته‌ها

در این پژوهش به بررسی تأثیر سه طرح کاشت مختلف با حذف متغیرهای مداخله‌گر در محوطه دانشکده هنر دانشگاه تربیت مدرس پرداخته شد، ازاین‌رو که هدف پژوهش بررسی تأثیر برودتی انواع طرح کاشت بوده نتایج میانگین‌های کل در سه حالت کاشت موردبررسی گردیده و نتایج حاصل از شبیه‌سازی حالت موجود، حالت کاشت به‌صورت خطی و حالت کاشت گروهی با یکدیگر مقایسه گردید. نتایج شبیه‌سازی نشان‌می‌دهد که حالت کاشت گروهی در شرایط کاملاً مشابه ازلحاظ گونه‌های گیاهی و تعداد درختان ۰.۸۵ درجه سانتی گراد میانگین دمای هوا را به نسبت حالت کاشت خطی کاهش می‌دهد و وضع موجود که ترکیبی از دو حالت خطی و گروهی است نتیجه‌ای بین دو حالت دارد (جدول شماره ۲) .



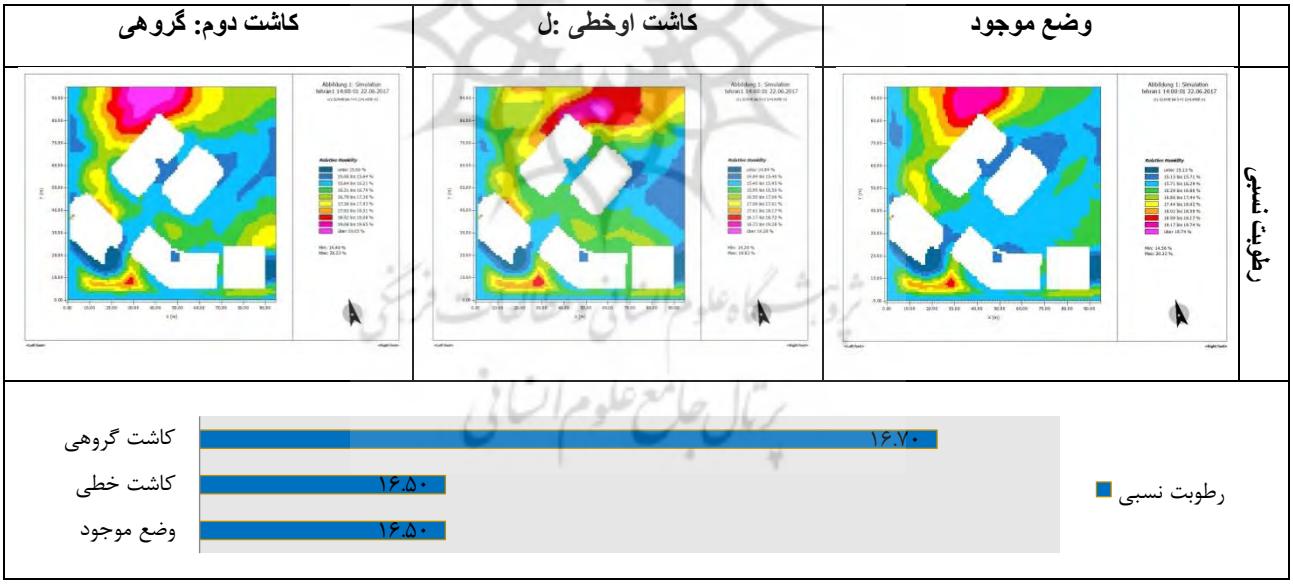
جدول شماره ۲: نتایج شبیه‌سازی نرم‌افزار از متغیر دما هوای خشک و میانگین دمای هوا در سه طرح کاشت

بیشترین تفاوت در میانگین دمای متوسط تابشی است که بیش از ۳ (۳،۱۸) درجه سانتی‌گراد اختلاف دما بین حالت کاشت گروهی نسبت به حالت کاشت خطی ایجاد گردیده و حالت کاشت گروهی دمای متوسط تابشی کمتری دارد (جدول شماره ۳) .



جدول شماره ۳: نتایج شبیه‌سازی نرم‌افزار از متغیر دما متوسط تابشی در سه طرح کاشت

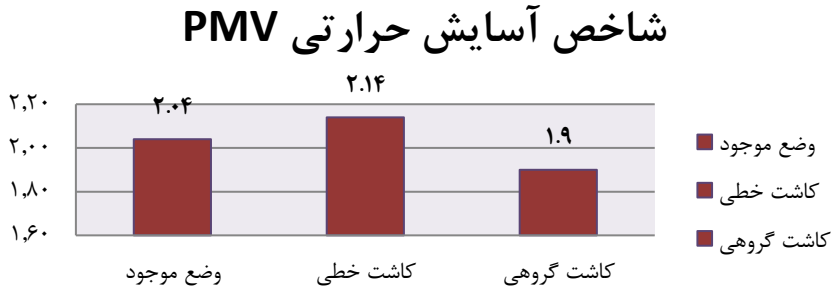
در متغیر رطوبت نسبی در شبیه‌سازی تفاوت محسوسی ایجاد نگردیده و حالت کاشت گروهی تنها ۰٫۲٪ رطوبت نسبی کمتر نسبت به حالت کاشت خطی را نشان می‌دهد (جدول شماره ٤)



جدول شماره ۴: نتایج شبیه‌سازی نرم‌افزار از متغیر رطوبت نسبی در سه طرح کاشت

در شاخص آسایش حرارتی PMVکه بر اساس تبادل حرارت بدن انسان و محیط پیرامون است حدود ۰٫۱٤ واحد تفاوت بهبود شاخص در حالت کاشت گروهی آشکار گردید. با توجه به آیین‌نامه اشری، احساس حرارتی بین منهای یک و مثبت یک (-۱و +۱) را شرایط قابل‌قبول و آن را محدوده آسایش برای حداقل ۸۰ درصد افراد می‌داند. در این معیار اعدادی که کمی بالاتر از (+۱) و یا اندکی پایین‌تر از (-۱) باشند، باعث بروز نارضایتی افراد می‌شوند. همچنین مطابق با استاندارد ایزو، بیشترین میزان رضایت یا آسایش مربوط به PMVبین ۰٫۵- و +۰٫۵ است [۶۱].

ببب ااالرر	گرر	نننتتتترر	آآ ااا	نننننا رر	سسسس	ببببار رر
+۳	+۲	+۱	۰	-۱	-۲	-۳



جدول شماره ۵: طیف استاندارد شاخص حرارتی PMV مأخذ: (حیدری و منعام، ۱۳۹۲) [۶۲]

با توجه به جدول شماره ۵ تغییر در طرح کاشت از حالت خطی به گروهی سبب تغییر شاخص حرارتی از بازه گرم تا بسیار گرم (+۲,۱٤) به بازه نسبتاً گرم تا گرم (+۱,۹۰) گردیده که با توجه به اینکه شاخص PMV برای فضای بازطیف گسترده‌تری را در برمی‌گیرد نتیجه حاصل درخور توجه است. لازم به ذکر است وضع موجود که ترکیبی از دو روش خطی و گروهی است در متغیر دمای هوا و دمای متوسط تابشی و شاخص PMV در حد میانه دو وضعیت قرار گرفته است. با توجه به این موضوع که کاشت به‌صورت گروهی سبب کاهش سایه‌اندازی به‌صورت مستقیم در مجموعه می‌گردد، به دلیل اینکه سایه درختان هم‌پوشانی بیشتری پیدا می‌کنند، اما نتایج نشان‌دهنده اهمیت بیشتر همپوشانی سایه درختان نسبت به متغیر سایه‌اندازی است .

عوامل مؤثر بر آسایش حرارتی در فضای باز را می‌توان بر اساس عوامل محیطی، انسانی و طراحی دسته‌بندی نمود، دمای معادل فیزیولوژیک برابر دمای هوایی است که در آن بیلان حرارتی بدن انسان در شرایط فضای داخلی مفروض با شرایط پوست در دمای بیرونی در تعادل باشد (٤٥). به‌عبارت‌دیگر به کمک این دما فرد قادر به مقایسه تأثیر کامل مجموعه شرایط حرارتی بیرون باتجربه شخصی خود از دماست (٥٧) از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در دمای معادل فیزیولوژیک، متغیر اقلیمی دمای تابشی است (٥٦). مطابق نتایج شاخص آسایش حرارتی PMV در شاخص حرارتی PET نیز طرح سوم کاشت با میانگین ٤٠ درجه سانتی گراد دارای بهترین شرایط دمایی و نزدیک به ۲ درجه سانتی‌گراد از طرح کاشت خطی شرایط بهتری دارد، همچنین به میزان ۱/۷۷ درجه‌سانتی‌گراد با حفظ همان میزان سبزینگی خنک‌تر است در حداقل‌ها و حداکثرهای موجود در طرح کاشت نیز به ترتیب ۰/۳ و ۰/۷ درجه‌سانتی‌گراد از وضع موجود خنک‌تر است و با توجه به اهمیت دمای میانگین میزان اثر برودتی قابل‌ملاحظه است همچنین دلیل کم بودن میزان تفاوت دمای در حداکثر و حداقل دمای معادل فیزلوژیک در سه حالت کاشت در سایت موردنظر نبود سایه‌اندازی در نقاطی از سایت که فاقد پوشش گیاهی است بوده و قابل پیش‌بینی است (جدول شماره ٦).

	حداقلPET	حداکثرPET	میانگینPET
حالت اول	۵ ۳۱	۲ ۴۷	۴۱ ۷۷
حالت دوم	۶ ۳۱	۶ ۴۷	۴۱ ۹۷
حالت سوم	۲ ۳۱	۵ ۴۶	۴۰

جدول شماره ۶: نتایج شاخص دمای معادل فیزیولوژیک برای سه حالت شبیه‌سازی

بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش‌های بسیاری به بررسی اثر گیاهان بر آسایش حرارتی از جنبه‌های گوناگون پرداخته‌اند و متغیرهای گوناگونی ازجمله ساختار گیاه، اثر باد، تأثیر اقلیم و مصالح و سایر متغیرها را بررسی کرده‌اند، مقاله حاضر به بررسی تأثیر طرح کاشت بر میزان اثر برودتی ایجادشده می‌پردازد و مشخص گردید که طرح کاشت حجم ثابتی از سبزینگی تأثیر مشخص بر متغیرهای آسایش حرارتی دارد، در بخش مرور ادبیات پژوهش بسیاری از پژوهش‌های ذکرشده به تأثیر ساختار درخت و میزان سایه‌اندازی گیاهان پرداخته‌اند و حداکثر سایه‌اندازی به‌عنوان عامل اصلی ایجاد آسایش حرارتی و تأثیر برودتی شناخته‌شده است درصورتی‌که این پژوهش آشکار ساخت تأثیر عامل طرح کاشت گروهی علی‌رغم ایجاد هم‌پوشانی سایه درختان و کاهش مساحت سایه‌اندازی درختان، سبب بهبود شاخص آسایش حرارتی PMV و بهبود متغیرها محیطی گردید، در پژوهش‌های آتی بررسی هم‌زمان تمام متغیرها و وزن دهی به تأثیر هر متغیر پیشنهاد می‌گردد و از طریق آزمایش تجربی و ایجاد شرایط کنترل‌شده نتایج دقیق‌تری می‌تواند حاصل گردد، همچنین در پژوهش‌های آتی می‌توان تأثیر هم‌زمان متغیرهای مختلف ازجمله ساختار و طرح کاشت گیاهان مورد بررسی قرار گیرد و میزان تأثیر هرکدام مشخص گردد تا پیشنهاد طراحی جهت حداکثر بهره‌وری از اثر برودتی گیاهان انجام گیرد و سایر متغیرها تأثیرگذار بر آسایش حرارتی انسان نیز از طریق پرسشنامه و تأثیر روانی گیاهان بر احساس آسایش حرارتی در انواع طرح کاشت بررسی گردد. با توجه به وجود فضای سبز در بسیاری از فضاهای شهری مانند خیابان، کناره‌های بزرگراه‌ها، پارک‌ها، تنگه‌های شهری و سایر فضای باز عمومی به‌منظور تأمین آسایش حرارتی در محیط توصیه می‌گردد با ملاحظات زیبایی‌شناسی شهری و موارد فنی جهت نگهداری از گیاهان، حدالامکان از طرح کاشت گروهی به‌صورت درختان سایه‌انداز با ارتفاع تنه متفاوت استفاده گردد، پوششی که مانند پوشش جنگل‌ها دارای سطوح گوناگون درختان بوده و نوع گیاهان در سطح بالاتر مقاوم‌تر به تابش آفتاب و گیاهان پایین‌دست با تطابق اقلیمی بیشتر و اثر خنک‌کنندگی بهتر استفاده گردد، به‌صورت کلی طرح کاشت گروهی درختان در اقلیم گرم و خشک و استفاده از اثر تشدید شونده سایه گیاهان تأثیر خنک‌کنندگی بیشتری داشته و می‌تواند سبب کاهش اثر جزایر گرمایی شهری و تنش‌های گرمایی گردد .

تشکر و قدردانی: این مقاله برگرفته از رساله دکتری سید ابوالفضل هاشمین با عنوان «چشم‌انداز رفتاری به اندرکنش تأثیر فضای سبز بر آسایش حرارتی کاربران عبوری در منطقه معتدل» به راهنمایی سرکار خانم دکتر افسانه زرکش و مشاوره جناب آقای دکتر کیانوش سوزنچی در دانشگاه تربیت مدرس و دکتر ایستر هیگراس گارسیا، استاد دانشگاه پلی تکنیک مادرید اسپانیا می‌باشد. بدین‌وسیله از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه تربیت مدرس تشکر و قدردانی می‌شود. همچنین با تشکر از همه افرادی که در تهیه پرسش‌نامه‌ها مشارکت نمودند .

تأییدیه اخلاقی: نویسندگان با اعلام موافقت خود مبنی بر ارسال این مطالعه به نشریه نقش‌جهان – مطالعات نظری و فناوری‌های نوین معماری و شهرسازی تعهد می‌کنند که این مقاله در زمان ارسال برای این نشریه در هیچ نشریه ایرانی یا

غیر ایرانی در حال بررسی نبوده و تا تعیین تکلیف قطعی در این نشریه برای هیچ نشریه ایرانی یا غیر ایرانی دیگر ارسال نخواهد شد .

تعارض منافع: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

سهم نویسندگان: سید ابوالفضل هاشمین(نویسنده اول)ایده‌یابی/ برداشت کمی/ شبیه‌سازی/ اصلاحات شکلی/ نگارش مقاله/ پژوهشگر اصلی (۳۰٪)؛ افسانه زرکش (نویسنده دوم)، کنترل داده‌ها/ اصلاحات محتوا/پژوهشگر اصلی (۳۰٪)، ایستر هیگراس گارسیا (نویسنده سوم)، اصلاحات محتوا/جداول/ پژوهشگر کمکی (۲۰٪) کیانوش سوزنچی (نویسنده چهارم)، ایده یابی/ اصلاحات محتوا/ کنترل متغیرها (۲۰%)

منابع مالی: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است .

منابع

1. Ahmadpour N, Pourjafar M, Mahdavinejad M, Yousefian S. The Role and Impact of Design Elements on the Quality of Thermal Comfort in Urban Open Spaces Case Study: Design of Pedestrian Way in Tamghachiha Pathway in the City of Kashan. Journal of Architecture and Urban Planning, 2017; 9(18): 59-80. [Persian] https://doi: 10.30480/aup.2017.512

2. Lin Yu-Hao, Tsai Kang-Ting. Screening of Tree Species for Improving Outdoor Human Thermal Comfort in a Taiwanese City. Sustainability. 2017; 9, 340; https://doi: 10.3390/su90303

3. De Abreu-Harbich L.V., Labaki, L.C.; Matzarakis, A. Effect of tree planting design and tree species on human thermal comfort in the tropics. Landscape and Urban Planning. 2015; 138, 99–109. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.02.008

4. Doick K, Hutchings T. Air temperature regulation by trees and wider green infrastructure in urban areas: The current state of knowledge; Research note 12 (FCRN012). 2013; For. Comm., 12, 1–10. https://www.forestresearch.gov.uk/documents/1708/FCRN012.pdf

5. Leuzinger S, Vogt R, Körner C. Tree surface temperature in an urban environment. Agric. For. Meteorol. 2010; 150, 56–62. https://doi:10.1016/j.agrformet.2009.08.006

6. Hsieh C M, Jan F C, Zhang L. A simplified assessment of how tree allocation, wind environment, and shading affect human comfort. Urban For. Urban Green. 2016; 18, 126–137. https://doi:10.3390/su11061665

7. Pourzargar M, Abedini H. Reading the Hidden Geometry in the Historic City and the Impact of Modern Evolution on It; Case Study: Sabzeh-Meydan, Tehran. Naqshejahan Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning. 2020 Oct 21; 10(3):231-238. http://dorl.net/dor/20.1001.1.23224991.1399.10.3.1.1

8. Zhang Z, Lv Y, Pan H. Cooling and humidifying effect of plant communities in subtropical urban parks. Urban For. Urban Green. 2013; 12, 323–329. https://doi:10.1016/j.ufug.2013.03.010

9. Erell E, Pearlmutter D, Williamson TJ. Urban Microclimate: Designing the Spaces Between Buildings, 1st ed. Earth scan, London; 2011, Washington,

microclimatic analysis and benefits, Energy Build. 2003; 35 (1) .69–76. https://doi: 10.1016/S0378-7788(02)00081-6

17. Bruse M, Fleer H. Simulating surface–plant–air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model, Environ. Model.Softw. 1998; 13 (3). 373–384. https://doi.org/10.1016/S1364-8152(98)00042-5

18. Hami A, Abdi B, Zarehaghi D, Maulan SB. Assessing the thermal comfort effects of green spaces: A systematic review of methods, parameters, and plants' attributes. Sustainable Cities and Society. 2019 Aug 1;49:101634. https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101634

19. Jan FC, Hsieh CM, Ishikawa M, Sun YH. The influence of tree allocation and tree transpiration on the urban microclimate: An analysis of a subtropical urban park. Environment and Urbanization ASIA. 2013 Mar;4(1):135-50. https://doi: 10.1177/0975425313477751

20. Gál T, Unger J. A new software tool for SVF calculations using building and tree-crown databases. Urban Cli. 2014; 10 Pt 3, 594–606. https://doi: 10.1016/j.uclim.2014.05.004

21. Lin T P, Matzarakis A, Hwang R L. Shading effect on long-term outdoor thermal comfort. Build. Environ. 2010; 45(1), 213–221. https://doi: 10.1016/j.buildenv.2009.06.002

22. Emmanuel M R. An urban approach to climate-sensitive design: Strategies for Tropics. London: E & FN Spoon Press., 172 pp. 2005. ISBN 9780415334105

DC. https://doi.org/10.4324/9781849775397

10. Wang J, Guo W, Wang Ch, Yao Y, Kou K, Xian , Zhang Y. Tree crown geometry and its performances on human thermal comfort adjustment. Journal of Urban Management. 2021; 10. 16–26. https://doi.org/10.1016/j.jum.2021.02.001.

11. Zheng S, Zhao L, Li Q. Numerical simulation of the impact of different vegetation species on the outdoor thermal environment. Urban For. Urban Green. 2016; 18, 138–150. https://doi:10.3390/su12072752

12. Tan Zh, Ka-Lun Laua K, Ng E. Urban tree design approaches for mitigating daytime urban heat island effects in a high-density urban environment. Energy and Buildings. 2015; https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.031

13. Taha H, Akbari H, Rosenfeld A. Heat island and oasis effects of vegetative canopies: micro-meteorological field-measurements, Theor. Appl. Climatol. 1991; 44 (2). 123–138. https://doi:10.1007/BF00867999

14. Hong B, Lin B. Numerical studies of the outdoor wind environment and thermal comfort at pedestrian level in housing blocks with different building layout patterns and trees arrangement, Renew. Energy. 2015; 73. 18–27. https://doi:10.1016/j.renene.2014.05.060

15. Alexandri E, Jones P. Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates, Build. Environ. 2008; 43 (4) 480–493. https://doi: 10.1016/j.buildenv.2006.10.055

16. Dimoudi A, Nikolopoulou M. Vegetation in the urban environment:

urban residential environment. Build. Environ. 2017; 115, 269–280. https://doi: 10.1016/j.buildenv.2017.01.036

30. Fan C, Myint SW, Zheng B. Measuring the spatial arrangement of urban vegetation and its impacts on seasonal surface temperatures. Prog. Phys. Geogr. 2015; 39, 199–219. http://dx.doi.org/10.1177/0309133314567583.

31. Myint SW, Zheng B, Talen E, Fan C, Kaplan S, Middel A, Smith M, Huang HP, Brazel A. Does the spatial arrangement of urban landscape matter? Examples of urban warming and cooling in Phoenix and Las Vegas. Ecosyst. Health Sustain. 2015; 1. http://dx.doi.org/10.1890/EHS14-0028.1. art15.

32. Azmoodeh M, Heidari S. Effect of Urban Green Walls on Reduction of Temperature in Microclimates and Urban Heat Island. Journal of Environmental Science and Technology, 2017; 19(5): 597-606. [Persian] https://doi: 10.22034/jest.2017.11398

33. Karamirad S, Aliabadi M, Habibi A, Vakilinejad R. Measuring the Impact of Vegetation on Pedestrians Thermal Comfort Conditions. Journal of Iranian Architecture & Urbanism(JIAU), 2017; 8(2): 185-196. [Persian] https://doi: 10.30475/isau.2018.62074

34. Rezaei M, Habib F, Shahcheraghi A. Effect of Planting System of Iranian Garden on Thermal Comfort of Open Spaces; Case Study: Jahan Nama Shiraz Garden. Naqshejahan - Basic Studies and New Technologies of Architecture and Planning. 2021; 11 (3) http://bsnt.modares.ac.ir/article-2-48594-fa.html

23. Abreu-Harbich L V, Labaki L C, Matzarakis A. Effect of tree planting design and tree species on human thermal comfort in the tropics. Landscape and Urban Planning. 2015; 138, 99–109. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.02.008

24. Lee H, Holst J, Mayer H. Modification of human biometeorologically significant radiant flux densities by shading as local method to mitigate heat stress in summer within urban street canyons. Advances in Meteorology. 2013. https://doi.org/10.1155/2013/312572

25. Brown R D, Gillespie TJ. Microclimatic landscape design: Creating thermal comfort and energy efficiency. New York: John Wiley Sons, Inc. 1995.

26. Berry R, Livesley S J, Aye L. Tree canopy shade impacts on solarir radiance received by building walls and their surface temperature. Building and Environment. 2013; 69, 91–100. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.07.009

27. Guo W, Bin Ch, Wang Ch, Tang X. Tree planting indices and their effects on summer park thermal environment: A case study of a subtropical satellite city, China. Indoor and Built Environment. 2020. https://doi.org/10.1177/1420326X20977614.

28. Myint SW, Wentz EA, Brazel AJ, Quattrochi DA. The impact of distinct anthropogenic and vegetation features on urban warming. Landsc. Ecol. 2013; 28, 959–978. http://dx.doi.org/10.1007/s10980-013-9868-y.

29. Zhao, Q., Wentz, E.A., Murray, A.T. Tree shade coverage optimization in an

Securing the Future. Nashville, Tennessee, United States. 2004; pp. 441–452. https://doi.org/10.1061/40700(2004)49

41. Nagano K, Horikoshi T. New index indicating the universal and separate effects on human comfort under outdoor and non-uniform thermal conditions. Energy Build. 2011; 43 (7), 1694–1701. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.03.012.

42. Fanger PO. Assessment of man's thermal comfort in practice. Br. J. Ind. Med. 1973; https://doi.org/10.1136/oem.30.4.313.

43. Gagge AP, Fobelets AP, Berglund LG. Standard predictive index of human response to the thermal environment. In: ASHRAE Transactions, vol. 1986; 92, ASHRAE, pp. 709–731. https://www.aivc.org/sites/default/files/airbase_2522.pdf

44. H¨oppe P. The physiological equivalent temperature - A universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. Int. J. Biometeorol. 1999; 43 (2), 71-75. https://doi.org/10.1007/s004840050118.

45. Salata F, Golasi I, de Lieto Vollaro, R., de Lieto Vollaro, A. Outdoor thermal comfort in the Mediterranean area. A transversal study in Rome, Italy. Build. Environ. 2016; 96, 46–61. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.11.023.

46. VDI, Methods for the human - biometerological assessment of climate and air hygiene for urban and regional planning. Part I: Climate, VDI guideline 3787. Part 2. Beuth, Berlin. WMO. Climate and human health, World climate News. 1999; 14: 3–5.

35. Talaei M, Mahdavinejad M, Zarkesh A, Haghighi HM. A review on interaction of innovative building envelope technologies and solar energy gain. Energy Procedia. 2017 Dec 1;141:24-8. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.006

36. Hadianpour M, Mahdavinejad M, Bemanian M, Haghshenas M, Kordjamshidi M. Effects of windward and leeward wind directions on outdoor thermal and wind sensation in Tehran, Building and Environment. 2019: Mar 1; 150: 164-180. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.12.053

37. Eslamirad N, Kolbadinejad SM, Mahdavinejad M, Mehranrad M. Thermal comfort prediction by applying supervised machine learning in green sidewalks of Tehran. Smart and Sustainable Built Environment. 2020; Apr 28.9(4): 361-374. https://doi.org/10.1108/SASBE-03-2019-0028.

38. Spagnolo J, de Dear R. A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia. Building and Environment. 2003; 38 (5), 721-738.http://doi.org/1-.1016/S0360-1323(02)00209-3

39. Liu W, Zhang Y, Deng Q. The effect of urban microclimate on outdoor thermal sensation and neutral temperature in hot-summer and cold-winter climate. Energy and Building, 2016; 128, 190-197. http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.86.

40. Irwin PA, Overview of ASCE report on outdoor comfort around buildings: assessment and methods of control. In: In Proceedings of the 2004 Structures Congress – Building on the Past:

tropical climate: a longitudinal study based in Hong Kong. Int. J. Biometeorol. 2012; 56 (1), 43–56. https://doi.org/10.1007/s00484-010-0396-z.

54. Majidi F, Heidari S, Ghalehnoee M, Ghasemi Cichani M. Assessment and Analysis of the Thermal Comfort Conditions in Open Spaces of Residential Neighborhoods Using Thermal Indicators (Case Study: Neighborhoods of Isfahan City). Journal of Iranian Architecture & Urbanism(JIAU), 2020; 10(2): 113-126. [Persian] https://doi:10.30475/isau.2020.103467

55. Rajabbeigi E, Erfanian Salim R., Jafari SM. A Review on Efficiency of Plants for Mitigation and Adaptation to Climate Change in Urban Ecosystems with Focusing on Plant Functional Traits. 2015. 12(4): 13-24 . https://envs.sbu.ac.ir/article_97449.html?lang=fa

56. Doughty C, B Field C, McMillan A. Can crop albedo be increased through the modification of leaf trichomes, and could this cool regional climate? Climatic Change. 2011; 104: 379–387. https://doi: 10.1007/s10584-010-9936-0

57. Betts A, Ball J. Albedo over the boreal forest. Journal of Geographical Research. 1997; 102(24): 901-909 . https://doi.org/10.1029/96JD03876

58. Simpson J. Urban forest impacts on regional cooling and heating energy: Sacramento county case story. Journal of Arboriculture; 1998; 24 (4): 201-214. https://www.fs.fed.us/psw/topics/urban_forestry/products/psw_1998_simpson001.pdf

59. Donovan G, Butry D. The value of shade: Estimating the effect of urban trees on summertime electricity use.

47. VDI, Methods for the human - biometerological assessment of climate and air hygiene for urban and regional planning. Part I: Climate, VDI guideline 3787. Part 2. Beuth, Berlin. WMO. Climate and human health, World climate News. 1999; 14: 3–5.

48. Matzarakis A, Mayer H, Iziomon MG. Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. Int. J. Biometeorol. 1999; 43 (2), 76–84. https://doi.org/10.1007/s004840050119.

49. Matzarakis A, Rutz F, Mayer H. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model. Int. J. Biometeorol. 2010; 54 (2), 131–139. https://doi.org/10.1007/s00484-009-0261-0.

50. Nasir RA, Ahmad SS, Ahmed AZ. Psychological adaptation of outdoor thermal comfort in shaded green spaces in Malaysia. Proc. - Social Behav. 2012; Sci. 68, 865–878. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.12.273.

51. Potchter O, Cohen P, Lin TP, Matzarakis A. Outdoor human thermal perception in various climates: a comprehensive review of approaches, methods and quantification. Sci. Total Environ. 2018; 631–632, 390–406. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.276.

52. Ali-Toudert F, Mayer H. Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. Build. Environ. 2006; 41(2), 94–108. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.01.013.

53. Cheng V, Ng E, Chan C, Givoni B. Outdoor thermal comfort study in a sub-

Energy and Buildings; 2009; 41: 662–668. https://doi:10.1016/J.ENBUILD.2009.01.002

60. Buckley T N, Sack L, Gilbert M E. The Role of Bundle Sheath Extensions and Life Form in Stomatal Responses to Leaf Water Status. Plant Physiology; 2011; 156:962-973. https://doi.org/10.1104/pp.111.175638

61. Heidari, S., Monam, A. Evaluation of Thermal Comfort Indices in Outdoor Space. Journal of Geography and Regional Development, 2013; 11(1),-. [Persian] https://doi: 10.22067/geography.v11i20.30753

62. Mahmoodi, A., Ghazizadeh, S., Monam, A. The Impact of the Architectural Design on the Thermal Comfort of the Outdoor Spaces in Residential Complexes; Case Study: Ekbatan Complex, Phase III. Honar-Ha-Ye-Ziba: Memary Va Shahrsazi, 2010; 2(42): 59-70. https://jfaup.ut.ac.ir/article_22614.html?lang=en

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی