



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 Higuera Garcia

Kianoush Suzanchi

How to cite this article

Sayyed Abolfazl Hashemin, Afsaneh Zarkesh, Ester Higuera 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://doi.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 $3 (3.18)^{\circ}\text{C}$. 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

CITATION LINKS

- [1] Ahmadvpour N, Pourjafar M, Mahdavienejad... [2] Lin Yu-Hao, Tsai Kang-Ting.... [3] De Abreu-Harbach 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-Harbach 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, Mahdavienejad M, Zarkesh A... [36] Hadianpour M, Mahdavienejad M ... [37] Eslamirad N, Kolbadinejad SM, Mahdavienejad 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, ...

کلمات کلیدی: طرح کاشت درختان، آسایش حرارتی فضای باز، شبیه ساز 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 به عنوان 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 به سادگی قابل کنترل نیستند، متغیرهایی مانند ابعاد تاج و خصوصیات برگ گیاهان از جمله این موارد هستند. کاشت گونه‌های درختی مناسب به طور عمده بر عملکرد برودتی حاصل از آن‌ها و آسایش حرارتی در محیط اثرگذار است [۳]. این عملکردها نه تنها بر بهبود وضعیت میکرو اقلیم‌ها در مقیاس کلی به طور 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 مادون قرمز بازتابی از آن‌ها تأثیرگذار است [۴]. گونه درختان ریزبرگ به دلیل سطح بیشتر تأثیر برودتی بیشتر نسبت به گونه درختان درشت برگ دارند (۵، ۶). 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 [۷-۹]. درحالی که 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

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

ترتیب مدرس

سید ابوالفضل هاشمین^۱، افسانه زرکش^{۲*}، ایستره یگراس 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 به طور 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 گردد.

ابزار و روش‌ها: 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 و کیفی 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.

یافته‌ها: نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که حالت کاشت گروهی در شرایط کاملاً مشابه از لحاظ 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.

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 سانتی گراد 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 بروندی 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 بروودت درختان مشخص گردید درختانی که در مسیر باد قرار می‌گیرند اثر بروودی 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 بروودت ایجاد شده از درختان در خیابان‌ها هنگامی که 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 بروودی قابل ملاحظه 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 داد که 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 SVF میزان تأثیر تراکم سایبان بر تهویه هوا بیان می‌کند همچنین نشانگر میزان کاهش تابش حاصل از سایه‌اندازی گیاهان است. نقاط با درختان درشت‌برگ متراکم ضریب SVF کمتری 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 بروودی حاصل از گیاهان دارد. در پژوهشی مقایسه نتایج از گیاهان به صورت منفرد و دسته گیاهان بر دمای هوا برای گونه *C. pluviosa* و *T. tipu* حدود یک‌سوم در حالت دسته گیاهان نسبت به صورت منفرد اثبات گردید، نتایج شاخص PET در 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 به وسیله دسته گیاهان به وجود می‌آید، می‌تواند 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 به صورت کاشت تکی می‌تواند دمای متوسط محیط را بین ۱.۱ تا ۲.۸ درجه سانتی گراد در تابستان کاهش دهند [۲۴]. همچنین اثر سایه‌اندازی گیاهان در پژوهشی دیگر ارزیابی و آشکار گردید که سایه‌اندازی گیاهان دمای متوسط تابشی mrt را تا حدود ۳۰ درجه سانتی گراد در یک روز تابستانی در آب‌وهوای اروپای مرکزی کاهش می‌دهد [۲۵].

به طور کلی صرف نظر 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 می دهند و الباقی یعنی ۸۰٪ نور مرئی و ۲۰٪ از امواج فروسرخ را جذب می کنند [۲۶]. همچنین لایه های متعدد برگ درختان مقدار بیشتری از انرژی عبوری را می توانند جذب کنند [۲۷]. در تحقیقی در فصل تابستان که به شاخص های کاشت درختان در پارک می پردازد 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 شاخص های حرارتی با رگرسیون خطی، همه شاخص ها تأیید شدند که دارای اثرات حرارتی قابل توجهی هستند، هر ۰/۱ افزایش در فاکتور دید آسمان منجر به افزایش ۱ درجه سانتی گراد درجه حرارت هوا، ۰/۱۶ متر بر ثانیه سرعت هوا، ۴۰ وات بر مترمربع سطح تابش خورشید و ۱/۶ درجه سانتی گراد میانگین دمای تابشی می شود. همین اثرات در کاهش شاخص سطح برگ تقریباً ۰/۴ و افزایش سطح محفظه تقریباً ۲۰ مترمربع مشاهده شد [۲۸]. پژوهش های سنجش از راه دور در این موضوع نشان می دهند که پوشش گیاهی دمای سطوح شهری را در مقیاس منطقه ای کاهش می دهد [۲۹]. اما اثر مخصوص قرارگیری و چیدمان درختان به دلیل بزرگ مقیاس بودن تصاویر ماهواره های حرارت سنج به طور گسترده مورد بررسی قرار نگرفته است [۳۰]. در سال های اخیر با استفاده از نقشه های کیفیت بالا حرارتی در پژوهشی با همین روش آشکار گردید که چیدمان خوشه ای درختان اثر خنک کنندگی را به نسبت چیدمان پراکنده بهبود می بخشد [۳۱-۳۲]. علاوه بر سایه اندازی در پژوهشی که بررسی اثر دیوارهای سبز بر کاهش دما محیط پیرامون در فواصل مشخص ۰، ۵/۰، ۱، ۲ متر پرداخته مشخص گردید که جداره های سبز در فصل گرما دمای فضای اطراف خود را به اندازه ۰/۶۳ و ۱ درجه کاهش می دهند [۳۳]. در پژوهشی که به بررسی تأثیر پوشش گیاهی بر شرایط آسایش حرارتی بیرونی عابران پیاده می پرداخت مشخص گردید که نوع درخت برگ ریز با در نظر گرفتن شاخص تراکم و سطح برگ از یک سو، فرم تاج

درختان و ارتفاع ساقه از سویی دیگر در آسایش حرارتی بیرونی به صورت چشمگیری مؤثر می باشند، علاوه بر این، طرح کاشت درختان با توجه به زاویه قرارگیری معابر برای بهبود سایه اندازی و هدایت جریان هوا می بایست مورد توجه قرار گیرد [۳۴]. در پژوهشی که به بررسی تأثیر نظام کاشت گیاه در باغ ایرانی بر آسایش حرارتی فضای باز می پردازد با بررسی از مدل های شبیه سازی 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 بهره وری 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 روش SML و ابزار یادگیری ماشین به طراحی شرایط بهینه آینده بر اساس وضع موجود در گذشته می پردازند [۳۸].

هدف پژوهش بررسی تأثیر انواع کاشت گیاهان به طور مخصوص درختان با ویژگی های متفاوت ساختار شاخه و برگ، ارتفاع، قطر و تراکم تاج، شکل و اندازه برگ و مقایسه اثر خنک کنندگی در شرایط مشابه است، تا طرح کاشت مناسب برای بهره وری حداکثری از اثر خنک کنندگی گیاهان مشخص گردد و طرح کاشت مناسب باهدف افزایش بهره وری 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، بازه گسترده‌تری از ادراک شرایط آب‌وهوایی شامل آسایش حرارتی تا تنش گرمایی را در برمی‌گیرد [۳۹]. دمای هوا، رطوبت، سرعت باد و میزان تابش اشعه‌های خورشید، چهار فاکتور اساسی در تعریف آسایش در مقیاس خرد اقلیم هستند. از طرفی اغلب مطالعات بیانگر اهمیت دمای هوا در تأمین آسایش حرارتی است [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 هنگامی که فرد در معرض وضعیت خاص اقلیمی قرار می‌گیرد، به تدریج 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 (PET) [۴۵]. علاوه بر این شاخص‌های دیگری برای ارزیابی آسایش حرارتی اقلیم‌های خاص وجود دارد برای مثال شاخص آسایش فضای باز مدیترانه‌ای (MOCI) [۴۶]. به صورت کلی ۱۶۵ شاخص به منظور ارزیابی دمایی توسعه یافته‌اند و بیشتر آن‌ها برای فضاهای بسته هستند در حالی که شاخص‌هایی مانند PMV، PET و SET عمدتاً برای ارزیابی آسایش حرارتی در فضای باز مورد استفاده قرار می‌گیرند [۴۷-۴۸].

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 مورد استفاده پژوهشگران قرار می‌گیرد. امروز این شاخص به صورت 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 به راحتی درک و تفسیر کرد [۵۳-۵۴].

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]. به طور کلی، 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. به نظر می‌رسد که هرچه تغییرات اقلیمی افزایش می‌یابد، نقش فضای سبز به ویژه در ارتباط با دما برجسته‌تر می‌شود. نشان داده شده است 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 (فالونوئیدها، 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. به‌عنوان مثال، انعکاس در محدوده مادون‌قرمز نزدیک بستگی به ساختار برگ گیاه، در محدوده مرئی تا حد زیادی وابسته به رنگ‌دانه‌ها بوده و در محدوده مادون‌قرمز میانی تابعی از محتوای آب گیاه است. بازتاب نور خورشید از سطوح، با ضریب آلودگی نشان داده می‌شود. هرچه میزان ضریب آلودگی بیشتر باشد، میزان خنک‌کنندگی بیشتر خواهد بود. برای افزایش ضریب آلودگی پوشش گیاهی می‌توان از گونه‌های گیاهی با صفات عملکردی مناسب بهره‌برد. مهم‌ترین صفات عملکردی که در بالابردن ضریب آلودگی و در نتیجه 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 آلودگی متفاوتی هستند. پوشش‌های علفی و مزارع نسبت به جنگل‌ها ضریب آلودگی بالاتری دارند. جنگل‌ها ضریب آلودگی پایینی دارند، ولی آبی که از گیاهان طی فرایند تبخیر تعرقی خارج می‌شود هاله‌ای در بالای درختان ایجاد می‌کند که ضریب آلودگی بالایی دارد و در خنک کردن جهانی کره زمین مؤثر است. به‌طور کلی، ضریب آلودگی از جنگل‌های سوزنی‌برگ

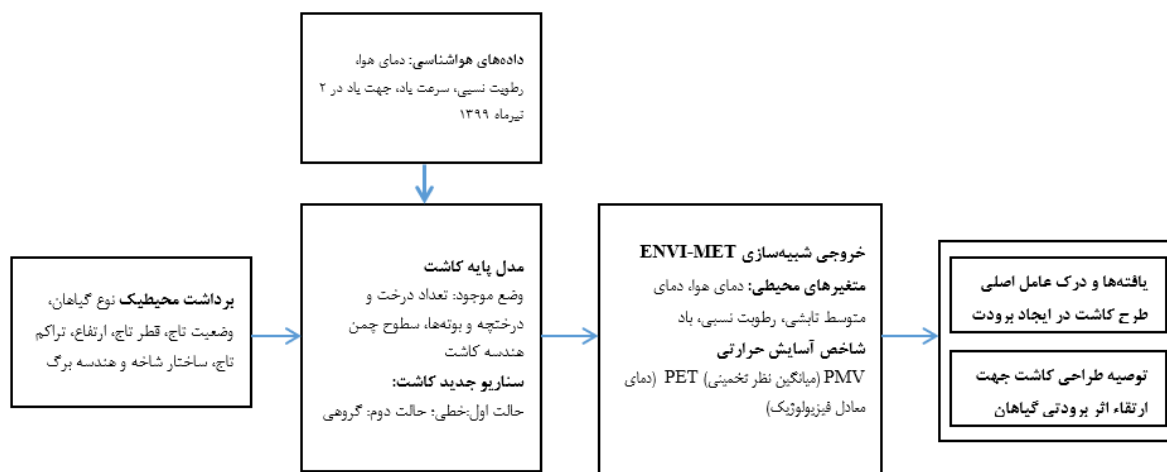
همیشه‌سبز به جنگل‌های برگ‌پهن به علفزار و مزارع افزایش می‌یابد و بنابراین به‌نظر می‌رسد درختان برگ‌ریز در خنک کردن نقش مهم‌تری دارند. اخیراً دانشمندان بیان کردند که برخی درختان ترکیباتی عمدتاً ترپنی از خود متصاعد می‌کنند که همانند ابری بالای درختان را گرفته و نور خورشید را منعکس می‌کند و بدین ترتیب به 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 در نتیجه 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. باین‌حال 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 از جمله شکل رویشی، نوع و اندازه 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 در نظر گرفته می‌شود. در این رابطه درختان برگ‌ریز بسیار مفید هستند، چرا که در زمستان به نور خورشید اجازه می‌دهند که وارد ساختمان شود، در حالی که در تابستان برگ‌ها مانع ورود نور خورشید و ایجاد سایه می‌شوند [۵۵، ۵۹].

تبخیر تعرقی: اصطلاح تبخیر تعرقی یعنی تبخیر آب از سطح گیاه (تعرق) و از خاک اطراف آن، بدین ترتیب در روزهای گرم تابستان، یک درخت به عنوان یک کولر تبخیر کننده طبیعی عمل می کند و با مصرف آب در روز دمای محیط را کاهش می دهد (خنک کنندگی 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 پهن برگ و در شهرهای با رطوبت بالا، گیاهانی با برگ کوچک ارجحیت دارند. از سوی دیگر گیاهانی با برگ های کوچک یا با لوب های فراوان نسبت به گیاهانی با برگ های پهن برای اقلیم های گرم مناسب ترند. چنین گیاهانی قطرات آب را در سطح خود جمع کرده و مانع از دست دادن آب می شوند و بنابراین تنفس تعرقی در آنها کاهش می یابد. به طور کلی هر صفت عملکردی گیاهی که در فرآیند تعرق نقش داشته باشد، می تواند نرخ تبخیر تعرقی را نیز تحت تأثیر قرار دهد. صفاتی نظیر اندازه برگ، ویژگی های کوتیکول و روپوست، آناتومی میان برگ اسفنجی و نردبانی، میزان فضاهای بین سلولی در میان برگ، سطحی از دیواره های سلولی که در معرض هوا هستند، هدایت روزنه ای، تراکم و تعداد روزنه ها، جهت گیری برگ، تعداد برگ ها، شکل برگ، اندازه و وسعت تاج پوش گیاه از اهمیت بالایی در ارتباط با تبخیر تعرقی برخوردارند. در گیاهان چوبی، سطح چوب زنده (شیره چوب) به عنوان عاملی تأثیر گذار بر میزات تعرق شناخته می شود. در مقیاس بزرگ تر، تراکم پوشش گیاهی و اشکال رویشی غالب از عوامل مهم و

تعیین کننده در میزان تبخیر تعرقی پوشش گیاهی هستند. گونه های گیاهی و حتی ارقام زراعی نیز می توانند نرخ های تعرقی متفاوتی نشان دهند که بیانگر اهمیت تاکسونومی گیاه در بررسی های اکوفیزیولوژیک می باشد [۶۰ و ۵۵].

از وضعیت جغرافیایی و ویژگی های 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 نیمه خشک (BSK) در طبقه بندی اقلیمی کوپن قرار دارد، در یکی از روزهای گرم ترین ماه سال، تیرماه با بیشترین دمای ۴۲ درجه سانتی گراد و میانگین ۳۶ درجه سانتی گراد در این ماه انجام گرفته است، اطلاعات هواشناسی در روز ۲ تیرماه ۱۳۹۹ به عنوان اطلاعات شبیه سازی 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 نزدیک ترین ایستگاه سینوپتیک در نظر گرفته شد. از نرم افزار ENVI-met نسخه V4 برای شبیه سازی در این پژوهش استفاده شده است (نمودار ۱). دلیل انتخاب مکان مورد نظر، حضور دائمی اساتید، دانشجویان و کارکنان و همچنین حضور کنترل شده افراد در محیط است، همچنین وجود اشکال مختلف طرح کاشت و گونه های متعدد گیاهی در محیط مورد نظر و ترکیب فضای سبز و سایه اندازی ساختمان از جمله معیارهای انتخاب بوده است.



نمودار ۱: چارچوب نظری روش پژوهش

و ویژگی‌های مصالح ساختمان‌ها، کف و مبلمان موجود در محوطه برداشت گردیده و معادل مصالح در شبیه‌ساز در نظر گرفته شده است (شکل ۱).

محوطه شبیه‌سازی شده 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



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

شامل بید، توت سفید، باران طلائی، 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، ۴ و ۵). سؤال اصلی پژوهش این است که طرح کاشت درختان به‌تنهایی تا چه میزان بر ارتقاء شاخص‌های محیطی آسایش حرارتی تأثیر دارد؟

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،



شکل ۲: گونه‌های گیاهی موجود روبروی ورودی دانشکده هنر



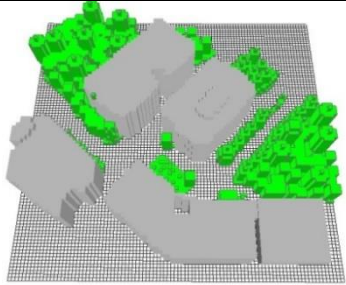
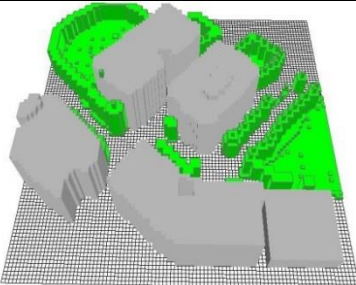
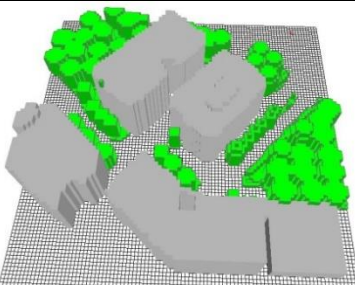
شکل شماره ۳: طرح کاشت گونه‌های گیاهی محور روبروی ورودی دانشکده هنر از سمت دانشکده



شکل ۴: نمای مسیر منتهی به دانشکده هنر

محیط نرم‌افزار با تراکم تاج متوسط و پیش‌فرض‌های استاندارد در نظر گرفته شده است (جدول شماره ۱).

با توجه به اثر کم درختچه و گیاهان با ارتفاع کمتر از ۲ متر در شبیه‌سازی اثر این گیاهان به صورت درختچه استاندارد در

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 گرفته شده‌اند 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

به صورت 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 باغ‌سازی از جمله باغ ایرانی مورد استفاده قرار می‌گیرد، شبیه‌سازی شده است (جدول شماره ۱).

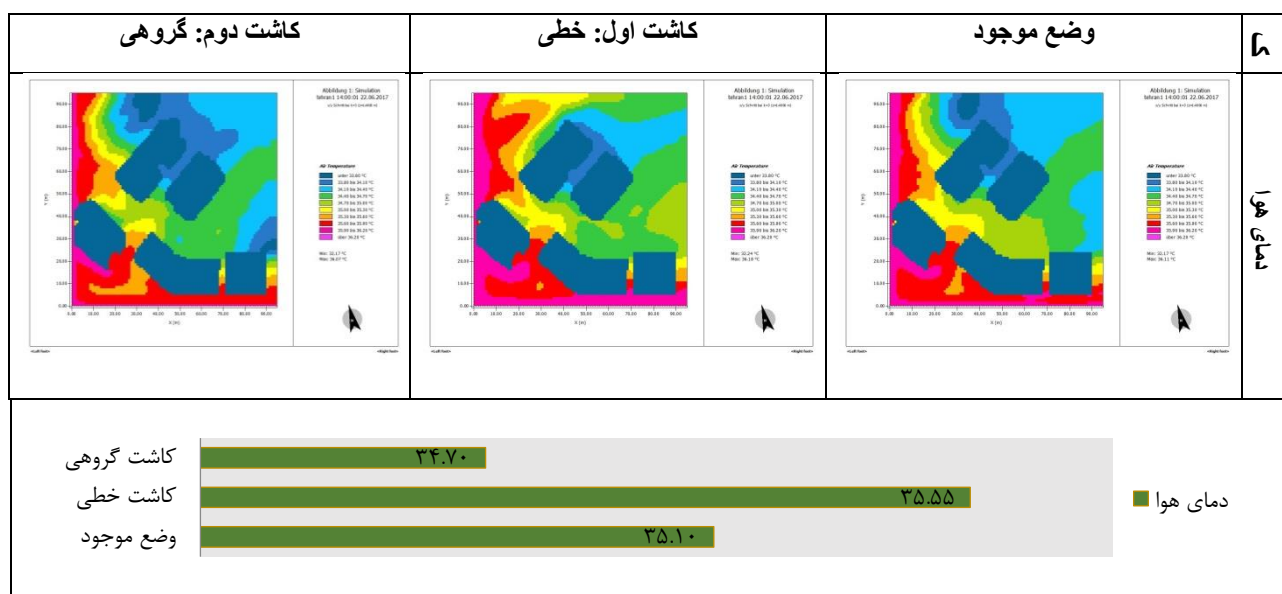
طرح کاشت دوم (گروهی): در این روش کاشت درختان

به صورت دسته‌بندی شده و ترکیبی از درختان بلند و کوتاه

یافته‌ها

در این پژوهش به بررسی تأثیر سه طرح کاشت مختلف با حذف متغیرهای مداخله‌گر در محوطه دانشکده هنر دانشگاه تربیت مدرس پرداخته شد، از این رو که هدف پژوهش بررسی تأثیر بروندی انواع طرح کاشت بوده نتایج میانگین‌های کل در سه حالت کاشت مورد بررسی گردیده و نتایج حاصل از شبیه‌سازی حالت موجود، حالت کاشت به صورت خطی و حالت کاشت گروهی با یکدیگر مقایسه گردید. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که حالت کاشت گروهی در شرایط کاملاً مشابه از لحاظ 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).

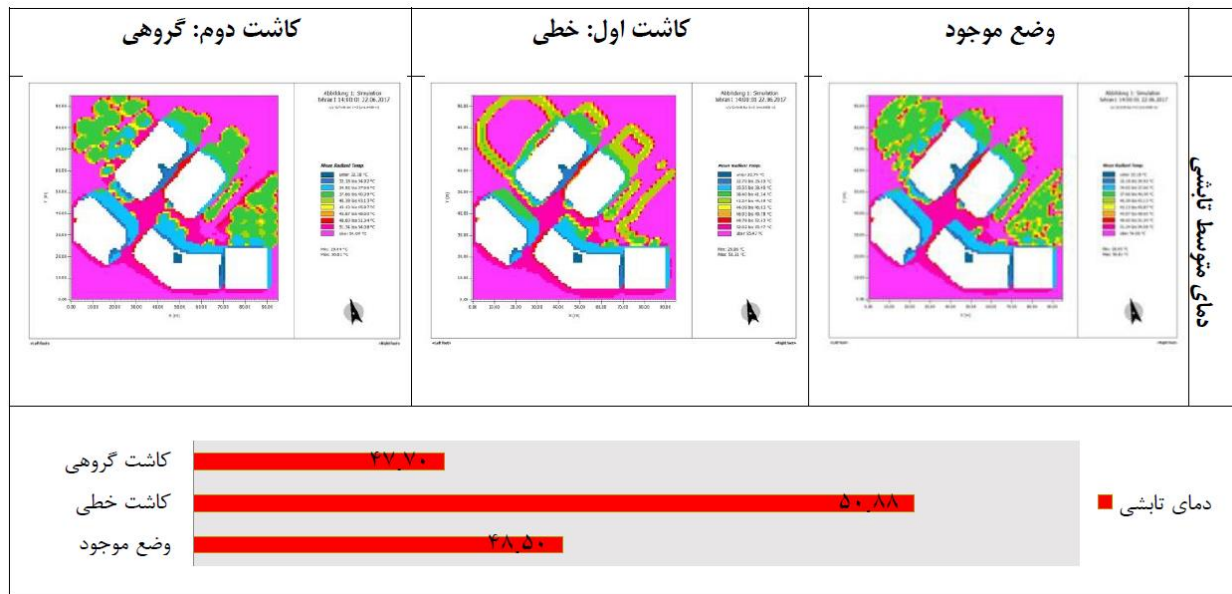
همراه با سایه‌اندازی بر روی یکدیگر در نظر گرفته شده است. هدف از انتخاب این الگو بررسی تأثیر اثر چتری گیاهان در افزایش بهره‌وری بروندی و ایجاد آسایش حرارتی است، همچنین بعضی از سبک‌های باغ سازی و همین‌طور کاشت درختان در فضاهای شهری و پارک‌ها، طرح کاشت گروهی به صورت Cluster دارند و این نوع کاشت عمومیت دارد، از این رو 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.



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

ایجاد گردیده و حالت کاشت گروهی دمای متوسط تابشی کمتری دارد (جدول شماره ۳).

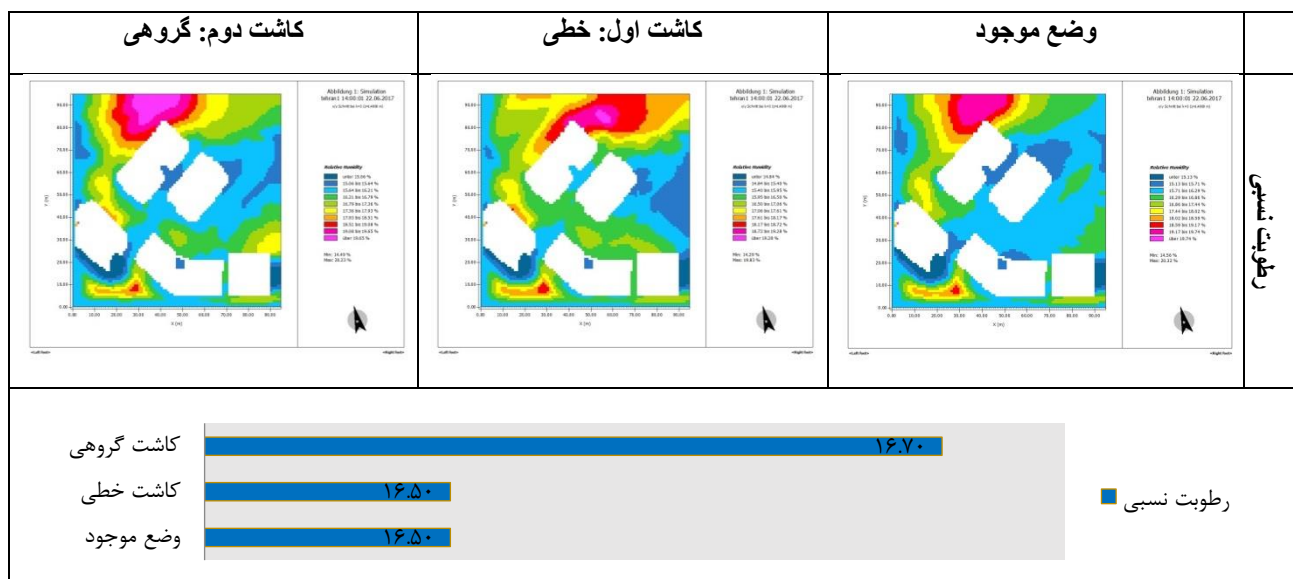
بیشترین تفاوت در میانگین دمای متوسط تابشی است که بیش از ۳ (۳،۱۸) درجه سانتی‌گراد اختلاف دما بین حالت کاشت گروهی نسبت به حالت کاشت خطی



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

نسبی کمتر نسبت به حالت کاشت خطی را نشان می‌دهد
(جدول شماره ۴)

در متغیر رطوبت نسبی در شبیه‌سازی تفاوت محسوسی
ایجاد نگردیده و حالت کاشت گروهی تنها ۰.۲٪ رطوبت



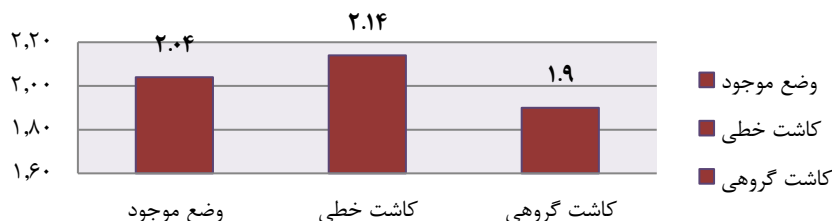
جدول شماره ۴: نتایج شبیه‌سازی نرم‌افزار از متغیر رطوبت نسبی در سه طرح کاشت

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 ناراضیاتی افراد می‌شوند. همچنین مطابق با استاندارد ایزو، بیشترین میزان رضایت یا آسایش مربوط به PMV بین ۰.۵- و ۰.۵+ است [۶۱].

در شاخص آسایش حرارتی PMV که بر اساس تبادل حرارت بدن انسان و محیط پیرامون است حدود ۰.۱۴ واحد تفاوت بهبود شاخص در حالت کاشت گروهی آشکار گردید. با توجه به آیین‌نامه اشری، احساس حرارتی بین منهای یک و مثبت یک (-۱ و +۱) را شرایط قابل قبول و آن را محدوده

بسیار سرد	سرد	نسبتاً سرد	آسایش	نسبتاً گرم	گرم	بسیار گرم
-۳	-۲	-۱	۰	+۱	+۲	+۳

شاخص آسایش حرارتی PMV



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

نتایج شاخص آسایش حرارتی PMV در شاخص حرارتی PET نیز طرح سوم کاشت با میانگین ۴۰ درجه سانتی گراد دارای بهترین شرایط دمایی و نزدیک به ۲ درجه سانتی گراد از طرح کاشت خطی شرایط بهتری دارد، همچنین به میزان ۱/۷۷ درجه سانتی گراد با حفظ همان میزان سبزیبگی خنک تر است در حداقل ها و حداکثرهای موجود در طرح کاشت نیز به ترتیب ۰/۳ و ۰/۷ درجه سانتی گراد از وضع موجود خنک تر است و با توجه به اهمیت دمای میانگین میزان اثر برودتی قابل ملاحظه است همچنین دلیل کم بودن میزان تفاوت دمای در حداکثر و حداقل دمای معادل فیزیولوژیک در سه حالت کاشت در سایت موردنظر نبود سایه اندازی در نقاطی از سایت که فاقد پوشش گیاهی است بوده و قابل پیش بینی است (جدول شماره ۶).

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 (+۲,۱۴) به بازه نسبتاً گرم تا گرم (+۱,۹۰) گردیده که با توجه به اینکه شاخص PMV برای فضای بازطیف گسترده تری را در برمی گیرد 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 به صورت گروهی سبب کاهش سایه اندازی به صورت مستقیم در مجموعه می گردد، به دلیل اینکه سایه درختان هم پوشانی بیشتری پیدا می کنند، اما نتایج نشان دهنده اهمیت بیشتر هم پوشانی سایه درختان نسبت به متغیر سایه اندازی است.

عوامل مؤثر بر آسایش حرارتی در فضای باز را می توان بر اساس عوامل محیطی، انسانی و طراحی دسته بندی نمود، دمای معادل فیزیولوژیک برابر دمای هوایی است که در آن بیان حرارتی بدن انسان در شرایط فضای داخلی مفروض با شرایط پوست در دمای بیرونی در تعادل باشد (۴۵). به عبارت دیگر به کمک این دما فرد قادر به مقایسه تأثیر کامل مجموعه شرایط حرارتی بیرون با تجربه شخصی خود از دماست (۵۷) از مهم ترین عوامل تأثیرگذار در دمای معادل فیزیولوژیک، متغیر اقلیمی دمای تابشی است (۵۶). مطابق

حداقل PET	حداکثر PET	میانگین PET	
حالت اول	۳۱/۵	۴۷/۲	۴۱/۷۷
حالت دوم	۳۱/۶	۴۷/۶	۴۱/۹۷
حالت سوم	۳۱/۲	۴۶/۵	۴۰

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

بحث و نتیجه گیری

پژوهش های بسیاری به بررسی اثر گیاهان بر آسایش حرارتی از جنبه های گوناگون پرداخته اند و متغیرهای گوناگونی از جمله ساختار گیاه، اثر باد، تأثیر اقلیم و مصالح و سایر متغیرها را بررسی کرده اند، مقاله حاضر به بررسی تأثیر طرح کاشت بر میزان اثر برودتی ایجاد شده می پردازد و مشخص گردید که طرح کاشت حجم ثابتی از سبزیگی تأثیر مشخص بر متغیرهای آسایش حرارتی دارد، در بخش مرور ادبیات پژوهش بسیاری از پژوهش های ذکر شده به تأثیر ساختار درخت و میزان سایه اندازی گیاهان پرداخته اند و حداکثر سایه اندازی به عنوان عامل اصلی ایجاد آسایش حرارتی و تأثیر برودتی شناخته شده است در صورتی که این پژوهش آشکار ساخت تأثیر عامل طرح کاشت گروهی علی رغم ایجاد هم پوشانی سایه درختان و کاهش مساحت سایه اندازی درختان، سبب بهبود شاخص آسایش حرارتی PMV و بهبود متغیرها محیطی گردید، در پژوهش های آتی بررسی هم زمان تمام متغیرها و وزن دهی به تأثیر هر متغیر پیشنهاد می گردد و از طریق آزمایش تجربی و ایجاد شرایط کنترل شده نتایج دقیق تری می تواند حاصل گردد، همچنین در پژوهش های آتی می توان تأثیر هم زمان متغیرهای مختلف از جمله ساختار و طرح کاشت گیاهان مورد بررسی قرار گیرد و میزان تأثیر هر کدام مشخص گردد تا پیشنهاد طراحی جهت حداکثر بهره وری 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، کناره های بزرگراه ها، پارک ها، تنگه های شهری و سایر فضای باز عمومی به منظور تأمین آسایش حرارتی در محیط توصیه

می گردد با ملاحظات زیبایی شناسی شهری و موارد فنی جهت نگهداری از گیاهان، حداقل امکان از طرح کاشت گروهی به صورت درختان سایه انداز با ارتفاع تنه متفاوت استفاده گردد، پوششی که مانند پوشش جنگل ها دارای سطوح گوناگون درختان بوده و نوع گیاهان در سطح بالاتر مقاوم تر به تابش آفتاب و گیاهان پایین دست با تطابق اقلیمی بیشتر و اثر خنک کنندگی بهتر استفاده گردد، به صورت کلی طرح کاشت گروهی درختان در اقلیم گرم و خشک و استفاده از اثر تشدید شونده سایه گیاهان تأثیر خنک کنندگی بیشتری داشته و می تواند سبب کاهش اثر جزایر گرمایی شهری و تنش های گرمایی گردد.

تشکر و قدردانی: این مقاله برگرفته از رساله دکتری سید ابوالفضل هاشمین با عنوان «چشم انداز 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 ایستره یگراس گارسیا، استاد دانشگاه پلی تکنیک مادرید اسپانیا می باشد. بدین وسیله از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه تربیت مدرس تشکر و قدردانی می شود. همچنین با تشکر از همه افرادی که در تهیه پرسشنامه ها مشارکت نمودند.

تأییدیه اخلاقی: نویسندگان با اعلام موافقت خود مبنی بر ارسال این مطالعه به نشریه نقش جهان - مطالعات نظری و فناوری های نوین معماری و شهرسازی تعهد می کنند که این مقاله در زمان ارسال برای این نشریه در هیچ نشریه ایرانی یا

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,

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)، ایده‌یابی / 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-Harbach L.V., Labaki, L.C.; Matzarakis, A. Effect of tree planting design and tree species on human

- microclimatic analysis and benefits, *Energy Build.* 2003; 35 (1) .69–76. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00081-6](https://doi.org/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](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](https://doi.org/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](https://doi.org/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](https://doi.org/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](https://doi.org/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](https://doi.org/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](https://doi.org/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](https://doi.org/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](https://doi.org/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](https://doi.org/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](https://doi.org/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-Harbach 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](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, Haghsheenas 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/10.1016/S0360-1323\(02\)00209-3](http://doi.org/10.1016/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.2016.06.086>.
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_simpson01.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 - biometeorological 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.org/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.org/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: Memory Va ShahrSazi*, 2010; 2(42): 59-70.
https://jfaup.ut.ac.ir/article_22614.html?lang=en