Karafan
Quarterly Scientific Journal of Technical and Vocational University
Winter 2023, Vol. 19, No. 4, p. 373-404
Journal homepage: https://karafan.tvu.ac.ir/?lang=en
:10.48301/KSSA.2022.298183.1650
TVU

Original Research

E-ISSN: 2538-4430
ISSN: 2382-9796

Comparison of Thermal Performance of Broadleaf and Coniferous Trees in Urban Canyons (Case Study: City of Isfahan)

Tahereh Koulivand[1*]

[1]MSc Faculty Member, Department of Architectural and Builiding, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

Received: 10.16.2021
Revised: 05.04.2022
Accepted: 05.28.2022

Keyword:
Vegetation
Thermal comfort
Urban canyons
Hot and dry climates
Envi-met

***Corresponding Author:**
Tahereh Koulivand
Email: *t.koulivand@yahoo.com*

ABSTRACT

With the growth of urbanization and the increase in the density of buildings, emerging urban valleys face greater problems in terms of pollution and temperature. Severe thermal stresses in these valleys have reduced the level of thermal satisfaction of passers-by. Planting vegetation is one important method of reducing air temperature and improving thermal comfort, particularly on sidewalks. Shading or evaporative cooling helps to improve ambient temperature conditions. Studies conducted in Isfahan show that trees are the most repetitive type of vegetation in the valleys of Isfahan. They create different thermal conditions in the passage. The purpose of this study was to investigate the difference in thermal impact between the most common type of broadleaf tree and the most frequent type of coniferous tree in the urban valleys of Isfahan with different H / W ratio and orientation. Envi-met v4.1 software was used to evaluate the impact of trees with different characteristics in urban valleys. First, through field study, the conditions of urban valleys and recurrent vegetation in the environment were determined. Then, by simulation with the mentioned software, the thermal conditions created in summer and winter in urban valleys were studied and compared. The results show that broadleaf (deciduous) trees performed better under all four directions in summer and reduced pmv by a maximum of 2.5 units. In winter, coniferous (evergreen) trees protect the passages from the wind. The winter cold provided better comfort conditions based on the pmv index. Conditions were improved by a maximum of 0.3 units. However, in general, summer and winter deciduous trees provided the best conditions for thermal comfort. It is recommended that in the city of Isfahan, particularly in densely populated areas such as deep and narrow urban valleys, and on windy roads in winter (with east-west and northeast-south direction) conifers and leaf trees be planted. At the start of passages, conifers should be planted to control the speed and intensity of winter winds.

©2023 Technical and Vocational University, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

On a small scale, such as sidewalks, green spaces play an important role in improving thermal comfort conditions through shading and evaporation. Several studies have demonstrated the use of vegetation at the urban level to reduce the temperatures. Vegetation can affect the ambient temperature due to different conditions and its specific type. It is an important process in positive effects. Green space is based on air temperature, evaporation and transpiration, which affects the temperature of the environment. By absorbing the heat of the sun, plants turn their moisture into steam and release into the environment, causing the cooling of the plants as well as the air. Therefore, the type of tree leaf and the level of sunlight it receives, and the level of evaporation and transpiration impact the effect of trees on the temperature conditions of the environment.

Methodology

The research method of this article was descriptive and analytical. The method included three stages: 1) library studies to know the influencing factors and parameters in detail; 2) field harvests and measurements carried out on the three sections of tissue harvest and vegetation level, parameter measurement of climatic conditions and the distribution and completion of the questionnaire in the selected samples to obtain the required information on factors causing thermal dissatisfaction and to develop a hypothetical model; and 3) simulation with Envi-met software to test the hypothetical solutions of the research.

In the present research, the urban valleys of the 3rd and 5th regions of Isfahan city were selected as study samples.

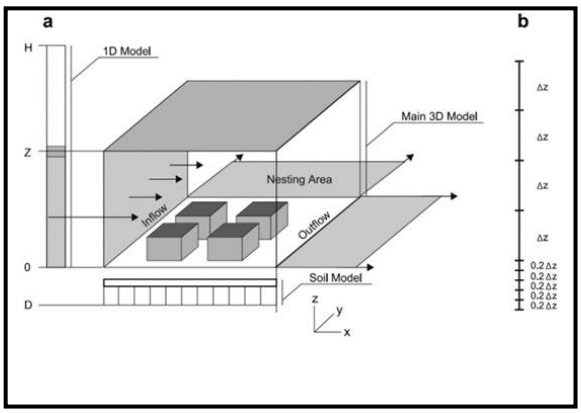


Figure 1. Schematic overview of the Envi-met model.

Results and discussion

Due to the vertical direction of the wind along the north-south valley, the wind speed at the beginning and end of the passage increased slightly under the influence of the external wind flow, but in the center of the passage, its speed decreased by approximately 0.4 m/s.

The changes in wind speed in two of the passages was the same with the two different types of trees. The air temperature in the avenues with deciduous trees was lower on average by 1.5-2 degrees Celsius compared to the avenues with evergreen trees; the reason for this was the broad shade of deciduous trees. According to Figure 3, the trend of air temperature changes was spatially consistent with thermal comfort changes. This shows that air temperature in north-south passages was the most effective factor on thermal comfort.

Thermal comfort based on the PMV index in passages with evergreen trees varied by between 4-2.4 and in the passages with deciduous trees, it varied by between 4.3 and 2.3. It can be concluded that deciduous trees are much more suitable in the north-south corridors with significant differences in air temperature and thermal comfort between the two scenarios due mainly to the widespread shade of deciduous trees.

The air temperature at the beginning of the valley in both vegetation scenarios was approximately 34 degrees and increased in the center of the valley with evergreen trees and reaches 35 degrees. In the scenario of deciduous trees, the air temperature at the beginning of the valley was initially 34 degrees and gradually decreased to 31 degrees. Thermal comfort in this passage was influenced by air temperature more than any other factor and repeated the behavior pattern of air temperature in such a way that PMV at the beginning of the passage was equal to 3.5 and gradually reached approximately 3 units. However, in the scenario of evergreen trees, the PMV index was approximately 4.5 units.

Thermal comfort conditions were improved by reducing the wind speed; the similarity of the air temperature pattern and thermal comfort illustrated that in this passage, evaporative cooling could greatly improve thermal conditions due to the passage and intensity of the hot summer wind. Therefore, the density of broad-leaved trees at the beginning of the passage, which have great evaporative cooling power, can reduce the air temperature and wind speed, and subsequently improve the thermal comfort conditions.

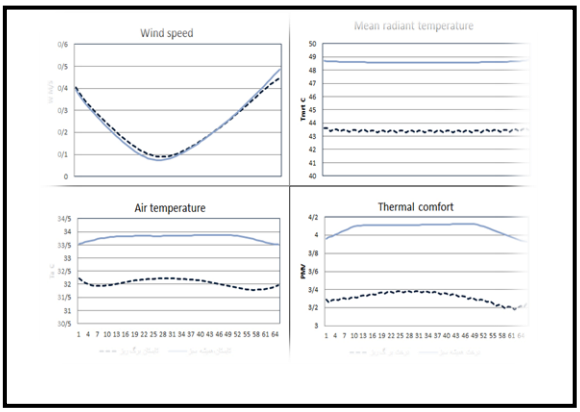


Figure 2. Comparison between passages with deciduous trees and passages with evergreen trees in four parameters (air temperature, radiant temperature, wind speed, and thermal comfort) in north-south direction in summer season.

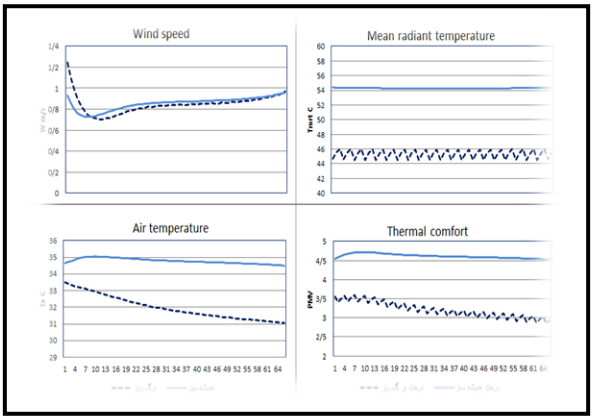


Figure 3. Comparison between passages with deciduous trees and passages with evergreen trees in four parameters (air temperature, radiation temperature, wind speed, and thermal comfort) in east-west direction.

Conclusion

Deciduous trees performed better in summer in all four orientations and reduced PMV by a maximum of 2.5 units. In winter, evergreen trees provided better comfort conditions based on the PMV index by protecting the passages from the cold winter wind by a maximum of 0.3 units. In total, deciduous trees provided the best comfort conditions in summer and winter.

Table 1. The average level of thermal comfort in passages with deciduous and evergreen trees in all four orientations.

Summer		
	Passages with deciduous trees	**Passages with evergreen trees**
North-South	3/2	4/1
East-West	3/2	4/6
Northeast-Southwest	3	3/7
Northwest-Southeast	3/1	4/65
Winter		
North-South	-0/65	-0/55
East-West	-1	-0/66
Northeast-Southwest	-1	-0/6
Northwest-Southeast	-0/9	-0/8

Table 1 shows that the best comfort conditions are created in the summer season with deciduous trees; in the winter season, the passages with evergreen trees experience better thermal comfort conditions. Among the examined orientations, the northeast-southwest oriented passages created better conditions than other passages. This shows that the tree creates better conditions in the environment due to its greater shading level and leaf density level. However, in summer and winter seasons, to improve thermal conditions, a suitable combination of planting trees should be considered in different parts.

کارافن

فصلنامه علمی دانشگاه فنی و حرفه‌ای

زمستان ۱۴۰۱، دوره ۱۹، شماره ٤، ٤٠٤-٣٧٣

آدرس نشریه: https://karafan.tvu.ac.ir/

doi:10.48301/KSSA.2022.298183.1650

شاپای الکترونیکی: ۲۵۳۸-۴۴۳۰

شاپای چاپی: ۲۳۸۲-۹۷۹۶

مقاله پژوهشی

مقایسه عملکرد حرارتی درختان پهن‌برگ و سوزنی برگ در دره‌های شهری- مورد پژوهشی: مناطق شهر اصفهان

طاهره کولیوند[1*]

۱- کارشناسی ارشد، عضو هیات علمی، گروه ساختمان و معماری، دانشگاه فنی حرفه‌ای، تهران، ایران.

اطلاعات مقاله

دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۷/۲۴
بازنگری مقاله: ۱۴۰۱/۰۲/۱۴
پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۳/۰۷

کلید واژگان:
پوشش گیاهی
آسایش حرارتی
دره‌های شهری
اقلیم گرم و خشک
Envi-met

***نویسنده مسئول:** طاهره کولیوند
پست الکترونیکی:
t.koulivand@yahoo.com

چکیده

با رشد شهرنشینی و افزایش تراکم ساختمان‌ها، دره‌های شهری به وجود می‌آیند که ازنظر آلودگی و درجه حرارت با مشکلات بیشتری روبرو هستند. تنش‌های حرارتی شدید در این دره‌ها میزان رضایتمندی حرارتی عابران را کاهش داده است.پوشش گیاهی یکی از راهکاری مهم در جهت کاهش دمای هوا و بهبود آسایش حرارتی به‌خصوص در پیاده‌روها است. پوشش گیاهی در فرم‌های مختلف با سایه‌اندازی و یا سرمایش تبخیری به بهبود شرایط دمایی محیط کمک می‌کند. بررسی‌های انجام‌گرفته در شهر اصفهان نشان می‌دهد که درخت پرتکرارترین نوع پوشش گیاهی در دره‌های شهر اصفهان است از طرفی درختان به‌واسطه مشخصاتی مانند LAD و LAI، نوع برگ (پهن یا سوزنی) و برگ‌ریز بودن یا همیشه‌سبز بودن شرایط حرارتی متفاوتی در معبر ایجاد می‌کنند. هدف این تحقیق بررسی تفاوت تأثیرگذاری حرارتی میان‌پر تکرارترین نوع درخت پهن‌برگ با پرتکرارترین نوع درخت سوزنی‌برگ در دره‌های شهری اصفهان با نسبت H/Ω و جهت‌گیری‌های متفاوت است. برای بررسی میزان تأثیرگذاری درختان با ویژگی‌های متفاوت در دره‌های شهری از نرم‌افزار Envi-met 4.1 استفاده‌شده است. در گام اول با بررسی میدانی شرایط دره‌های شهری و پوشش گیاهی‌های پرتکرار در محیط مشخص شد سپس با شبیه‌سازی با نرم‌افزار ذکرشده به بررسی و مقایسه میان شرایط حرارتی ایجادشده در فصل تابستان و زمستان در دره‌های شهری پرداخته‌شده است. نتایج تحقیق حاکی از آن است درختان پهن‌برگ (برگ‌ریز) در تابستان در هر چهار جهت‌گیری عملکرد بهتر داشته‌اند و PMV را حداکثر ۲/۵ واحد کاهش داده‌اند. در زمستان درختان سوزنی‌برگ (همیشه‌سبز) به‌واسطه محافظت معابر از باد سرد زمستانی شرایط آسایش بهتری بر اساس شاخص PMV فراهم کرده است. این بهبود حداکثر ۰/۳ واحد بوده است؛ اما درمجموع تابستان و زمستان درختان برگ‌ریز بهترین شرایط آسایش حرارتی را مهیا کرده‌اند. ازاین‌رو پیشنهاد می‌شود در شهر اصفهان خصوصاً در نقاط پرتراکم مانند دره‌های شهری عمیق و باریک از کاشت درختان سوزنی‌برگ خودداری شود و تنها در معابر رو به باد در فصل زمستان مانند جهت‌گیری شرقی- غربی و شمال شرقی- جنوب غربی در ابتدای معابر، درختان سوزنی‌برگ جهت کنترل سرعت و شدت باد زمستانی کاشت شود.

©2023 Technical and Vocational University, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

مقدمه

یکی از راهکارهای اصلی برای کاهش دمای هوا و بهبود آسایش حرارتی در سطح عابر پیاده، استفاده از پوشش گیاهی و کاشت درخت در سطح معابر است [۱]. در مقیاس کوچک مانند پیاده‌روها، فضاهای سبز نقش مهمی در بهبود شرایط آسایش حرارتی از طریق سایه‌اندازی و تبخیر و تعرق ایفا می‌کند. همچنین در تحقیقات متعددی به استفاده از پوشش گیاهی در سطح شهری برای کاهش دما اشاره گردیده است [۲; ۳]. پوشش گیاهی به دلیل شرایط مختلف و نوع خاص آن می‌تواند بر دمای محیط تأثیر بگذارد [۴; ۵]. یک فرایند مهم در تأثیرات مثبت فضای سبز بر دمای هوا، تبخیر و تعرق است که بر دمای محیط تأثیر می‌گذارد. گیاهان با جذب گرمای خورشید رطوبت خود را به بخار تبدیل کرده و به محیط ارسال می‌کنند که این مورد باعث می‌شود خود گیاه خنک شود و هوای اطراف آن نیز به‌تبع آن خنک شود [۶; ۷]. ازاین‌رو نوع برگ درختان و سطح دریافت تابش خورشید و سطح تبخیر و تعرق بر میزان اثرگذاری درختان بر شرایط دمایی محیط مؤثر است [۶]. در تحقیق پیش رو به همین مطلب پرداخته‌شده است.

در تحقیق پیش رو بر اساس سناریوهای تحقیق سه عامل نسبت ارتفاع به عرض، جهت‌گیری و نوع درختان در دره‌های شهری مدنظر است. تحقیقات متعددی در این سه زمینه انجام‌گرفته که در ادامه به برخی از آنها اشاره‌شده است.

نسبت ارتفاع به عرض: یکی از پارامترهای اساسی هندسه دره‌های شهری نسبت تنگه‌ها می‌باشد که به ارتفاع بدنه‌های شهری و عرض معابر بستگی دارد [۸]. اگر نسبت دره‌های شهری تا ۱ باشد به آن یکنواخت می‌گویند، اگر کمتر از ۰/۵ باشد کم‌عمق و اگر این نسبت بیشتر از ۲ باشد آن را عمیق می‌نامند [۹]. دمای هوا در شب به‌صورت مستقیم تحت تأثیر نسبت ارتفاع به عرض قرار دارد به‌طوری‌که با افزایش نسبت ارتفاع به عرض، دمای هوا افزایش می‌یابد [۸]. ولی این موضوع در دره‌های شهری در طول روز بسیار متفاوت‌تر است. احمد دریافت که ماکزیمم دمای هوا در اقلیم گرم و مرطوب با افزایش نسبت ارتفاع به عرض کاهش می‌یابد [۹]. محقق دیگری با مقایسه شرایط دمایی در ۷ سایت متفاوت دریافت که دمای هوا در سایت‌های با نسبت‌های مختلف حدود ۷ درجه کلوین متفاوت است [۱۰]. در بسیاری از مطالعات ذکرشده است که گشودگی‌ها در دره‌های شهری می‌تواند دمای هوا را در روز در دره شهری افزایش دهد. در مطالعهٔ دیگری ذکرشده که در اقلیم‌های گرم و خشک مانند شهر فز در موکوکو دمای هوا در دره‌های عمیق نسبت به دره‌های یکنواخت بسیار کمتر است [۱۱]. مطالعه‌ای که در شهر پرتراکم آتن در کشور یونان انجام‌شده نشان داد که با کاهش نسبت دره‌های شهری میزان بار سرمایشی آنها به میزان زیادی کاهش پیدا می‌کند. تحقیقی که دمای سطوح در ۷ دره شهری با نسبت‌های متفاوت ۱ تا ۴/۸ را مورد بررسی قراردادند که نشان داد در دره‌های عمیق‌تر دمای هوا تا ۴ درجه سانتی‌گراد کمتر دیده می‌شود [۱۲].

تعدادی از مطالعات به‌صورت مستقیم تأثیر نسبت ارتفاع به عرض تنگه‌های شهری را بر آسایش حرارتی عابران پیاده مورد بررسی قراردادند و نشان دادند که بهتر است تمامی تأثیرات منفی احتمالی طراحی این تنگه مشخص شود تا نارضایتی حرارتی ایجاد نشود [۱۳]. سایه‌اندازی اصلی‌ترین عامل در کاهش سطح نارضایتی حرارتی دیده‌شده که با افزایش سطح نسبت دره‌های شهری سطح آن بیشتر می‌شود [۱۳; ۱۴]. به‌صورت کلی ذکرشده است که خیابان‌های عمیق باریک نسبت به خیابان‌های پهن شرایط حرارتی بهتری ایجاد می‌کنند [۱۱; ۱۵]. در مطالعهٔ دیگری که در اقلیم گرم و خشک انجام شد نشان داد که در تنگه‌های شهری پهن و عریض درخت بلند به میزان زیادی می‌توانند سطح سایه‌اندازی را افزایش داده و ناراحتی حرارتی را کاهش دهند [۸; ۱۵; ۱۶].

جهت‌گیری تنگه‌های شهری: تابش خورشید و جابه‌جایی هوا پارامترهای اصلی در تعیین شرایط آسایش حرارتی در مناطق شهری‌اند. جهت‌گیری تنگه‌های شهری یکی از پارامترهای اصلی است که بر میزان دریافت تابش خورشید و سرعت باد تأثیر می‌گذارد. جهت‌گیری دره‌های شهری یکی از مهم‌ترین پارامترهایی است که بر شرایط حرارتی دره‌های شهری تأثیر می‌گذارد [۱۷]. مطالعاتی که برای بررسی شرایط حرارتی دره‌های شهری در مناطق پرتراکم انجام شد نشان

داد که میزان دریافت نور خورشید در تغییرات جهت‌گیری مؤثرترین عامل در تعیین شرایط حرارتی است [۱۷; ۱۸]. در مطالعات گسترده‌ای که در این زمینه صورت گرفته نشان داده‌شده که دره‌های شرقی-غربی به‌واسطه جذب زیاد نور خوشید، بدترین شرایط حرارتی را تجربه می‌کنند. همچنین در تحقیقاتی که در اقلیم گرم و خشک انجام‌شده نشان می‌دهد که در جهت‌گیری شمالی-جنوبی به‌خصوص در صبح و ظهر شرایط حرارتی بسیار مناسب‌تر می‌باشند [۱۹]. تحقیقات نشان داده است که جهت‌گیری در دره‌های عمیق و باریک بر شرایط حرارتی بسیار تأثیر می‌گذارد و از طرفی در تنگه‌های پهن و کم‌عمق تأثیر چندانی ندارد.

درختان: درختان علاوه بر نفع زیست‌محیطی از طریق کاهش آلاینده‌ها ایجاد هوای پاک، تثبیت خاک و کاهش سطح سر و صدا منافع اقتصادی فراوانی دارند که با کاهش هزینه‌های تثبیت خاک و زیستگاهی وحشی و کاهش سطح آلودگی حاصل می‌شود. تحقیقات فراوانی کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها را با ایجاد سایه‌اندازی درختان بر روی بدنه ساختمان مذکور نشان داده‌اند. ازجمله تحقیقات ذکرشده در این زمینه می‌توان به تحقیقات اکبری[1] [۲۰; ۲۱] اشاره نمود که ذکر کرده است؛ درختان می‌توانند بار سرمایشی در شهر کالیفرنیا را ۳۵ -٪۲۱ درصد کاهش دهد. سانتاموریس[2] [۲۲] نشان داد که تاج ۸ متری درختان می‌تواند بار مصرف انرژی را ۱۰-٪۲ کاهش دهد. درختان با استفاده از سایه‌اندازی جلوی تابش خورشید را گرفته و درنتیجه بازتاب از زمین کاهش می‌یابد و هوا خنک می‌شود [۲]. ازاین‌رو سایه‌اندازی یکی از فاکتورهای کلیدی کاهش دمای هوا است [۱۹; ۲۳]. بنابراین افزایش درختان تأثیرات مثبت سایه‌اندازی را نسبت به محیط‌های بدون سایه آشکار می‌کند [۲۴]. در منطقه استوایی هندوستان در خیابان‌های با درخت دمای محیط در حدود ۵/۶ درجه کمتر گزارش‌شده است [۲۵]. در تحقیقی دیگر که در دانشگاهی در ژاپن انجام شد میزان تأثیرگذاری افزودن درخت به محیط را بر دمای هوا اندازه گرفتند و مشخص شد که با افزودن ۲۰٪ درصد به درختان دمای هوا حدود ۲/۲۷ درجه در گرم‌ترین ساعات تابستان کاهش می‌یابد [۲۶]. در اقلیم گرم و مرطوب سنگاپور تحقیقاتی برای دیدن اثرات سرمایشی درختان انجام شد که نشان داد در زیر تاج درختان نسبت به محیط اطراف آن ۷/۵-۲/۱ درجه اختلاف دما وجود دارد. تحقیقات گسترده‌ای نیز در شهر کوتومو ژاپن برای نشان دادن اثرات سرمایشی سایه‌اندازی درختان انجام شد، نتایج حاکی از آن بود که کاهش ۳/۸ درجه در محیط سایه‌دار نسبت به محیط بی‌سایه ایجاد می‌شود [۲۶]. تأثیرات سرمایشی سایه‌اندازی در یک منطقه نسبت به سایر مناطق متفاوت است [۷]. تأثیرات سرمایشی سایه‌اندازی اصولاً بر اساس میزان سطح نوری که در زیر تاج قابل‌انتقال است مشخص می‌شود. سایبان درخت یا توان سایه‌اندازی درخت بر اساس تراکم سطح برگ و یا ترتیب چیدمان شاخه و سرشاخه طبقه‌بندی می‌شود زیرا این عامل شدیداً بر کیفیت سایه‌اندازی تأثیر می‌گذارد. طبقه‌بندی دیگر درختان شهری بر اساس نوع و اندازه چیدمان برگ‌های درخت که در جذب و انعکاس اشعهٔ خورشید تأثیر دارد طبقه‌بندی می‌شوند و این طبقه‌بندی بر اساس شاخص سطح برگ (ΛAI) انجام می‌شود [۲۴]. مطالعات نشان داد که درختان با ΛAI بزرگ‌تر و سطح تراکم بیشتر نقش مؤثرتری بر کاهش جذب تابش خورشید و میزان بازتاب آن دارند [۲۷]. در تحقیقی که در یک محیط با درختان با شاخص ΛAI متفاوت ۶/۱ و ۱/۹ مشاهده‌شده است که کاهش تابش خورشید و انعکاس تابشی از ۷۹٪ تا ۹۳٪ تفاوت وجود دارد [۲۰]. این تفاوت بیان می‌کند که ΛAI بالاتر (6.1) ٪۲۲ گرمای نهان ایجاد می‌کند درصورتی‌که این میزان در ΛAI کمتر (۱/۵) حدود ۷٪ است. دلیل آن این است که درخت با سطح تراکم برگ بیشتر سرمایش تبخیری ایجاد می‌کند و گرمای نهان بیشتری تولید می‌کند و این کمک می‌کند که دمای هوای اطراف درخت کاهش یابد [۲۰]. به‌غیراز شاخص سطح برگ توانایی درخت بر تحمل کم‌آبی و گرما تأثیرات زیادی بر اثرات سرمایشی درختان دارند [۲۲]. این محقق اثرات سرمایشی درخت را در سه فضای مختلف پارک و باغ و خیابان مورد بررسی قرارداد. وی نتایج اثرات

[1] Akbari
[2] Santamouris

سرمایشی در زیر سایه‌اندازی هر سه درخت را نشان داده ولی تفاوت در دما و رطوبت هوا به دلیل نوع متفاوت رشد درختان مشخص شد [۲۲].

در یک تحقیق در فضای شهری با سطح تراکم ساختمانی کم، سطح آسایش حرارتی در معابر پوشیده از درختان با سایبان چادری در سناریوهای مختلف مورد بررسی قرار گرفت، نتایج حاصله نشان داد که درخت چنار که درخت پهن‌برگ است بهترین رفتار و عملکرد را در این زمینه ایفا می‌کند [۲۳]. چالش اصلی در این تحقیقات انتخاب پوشش گیاهی متناسب با اقلیم و بافت شهر مربوطه برای کاهش دمای هوا می‌باشد. تأثیر مثبت ذکرشده بر همگان آشکار است (جدول ۱). ولی در طرح و برنامه‌ها همچنان زیبایی‌شناسی فضاهای سبز، مدنظر قرار می‌گیرد. درصورتی‌که نیاز است نوع درخت مورداستفاده در این تحقیقات مورد بررسی دقیق قرار گیرد. از این‌رو در این تحقیق میان درختان پرتکرار در شهر اصفهان نوع غالب درختان همیشه‌سبز (درخت کاج) که جز درختان سوزنی‌برگ است و نوع غالب درخت برگ‌ریز یا همان پهن‌برگ یعنی درخت چنار انتخاب شد و در شبیه‌سازی‌های اصلی و بر اساس سناریوهای تحقیق مورد بررسی قرار گرفت تا تعیین شود بر اساس اقلیم گرم و خشک شهر اصفهان و با توجه به شرایط فیزیکی دره‌های شهری اصفهان درمجموع دو فصل تابستان و زمستان کدام نوع درخت مؤثرتر است.

جدول ۱. چند نمونه از تحقیقات انجام‌شده از به‌کارگیری درخت در محیط شهری

گونه‌های مورد بررسی	شرح تحقیق	زمان انجام تحقیق	اقلیم	کشور و منطقه	نویسنده و سال انتشار مقاله
(Gulya´ s, et al. 2006) [۲۴]	Szeged, Hungary	تابستان‌های گرم	مرداد	۳ درختان خیابان سایبان- اندازه‌گیری میدانی	درختان برگ‌ریز
(Johansson, et al. 2006) [۲۵]	Colombo, Sri Lanka	جنگل‌های استوایی	فروردین و اردیبهشت	۴ دره شهری با درختان و یک تنگ بی درخت، شبیه‌سازی	دره با درخت با دره بی درخت
(Vailshery, et al. 2013). [5]	India	گرمسیری	تابستان	بررسی تأثیر حرارتی یک درخت	یک نمونه درخت برگ‌ریز در چند حالت
(Ng, et al. 2012). [26]	Hong-Kong	نیمه گرمسیری	تابستان	بررسی تأثیر حرارتی یک درخت برداشت میدانی	بررسی میزان تأثیرگذاری یک نمونه درخت
(Srivanit, et al. 2013). [۷]	Saga, Japan	نیمه گرمسیری	تابستان	بررسی تأثیر درخت، شبیه‌سازی	۱ گونه درخت همیشه‌سبز در شرایط واقعی
(Shahidan, et al. 2010). [۳]	Serdang, Malaysia	گرم و مرطوب	تابستان	بررسی شرایط حرارتی در زیر و نزدیک یک درخت	۱ گونه درخت

روش‌شناسی

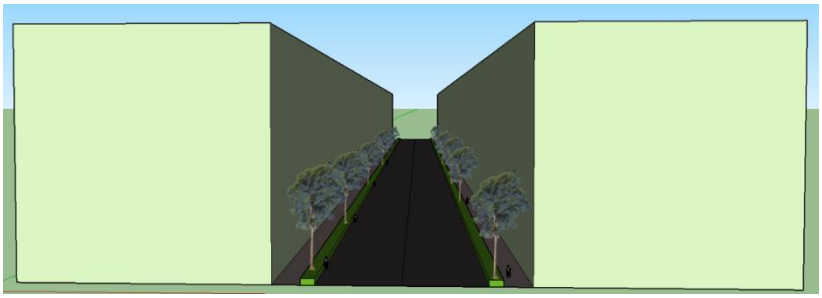
روش تحقیق این مقاله توصیفی تحلیلی است. ازاین‌رو پس از انتخاب شهر اصفهان به‌عنوان نمونهٔ مطالعاتی دو منطقه ۳ و ۵ شهر اصفهان که جز مناطق پرتراکم اصفهان به شمار می‌رود و از جهت گردشگری حائز اهمیت است انتخاب شد. در ادامه درخت چنار و درخت کاج که در این دو منطقه پرتکرارترین درخت در معابر است مورد بررسی قرار گرفت و مشخصات کلی این درختان مانند ارتفاع قطر تاج و LAI و LAD استخراج شد؛ مقایسه میزان تأثیرگذاری این دو درخت در چند مرحله به شرح زیر انجام‌گرفته است.

در مرحلهٔ ابتدایی با حضور در دو منطقه ذکرشده و برداشت میدانی ابعاد دره‌های شهری از دید نسبت ارتفاع به عرض، جهت‌گیری، مصالح، سطح پوشش گیاهی و ... مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس مطالعات میدانی یک نمونه مدل از دره شهری طراحی شد که در نسبت‌های مختلف ارتفاع به عرض و جهت‌گیری متفاوت با قرار دادن درخت چنار و درخت کاج مورد ارزیابی قرار گیرد. مشخصات دره شهری در جدول ۲ بیان‌شده است. سایر مشخصات دره که در این تحقیق موردبحث نیستند ثابت بر اساس مطالعات میدانی اعمال‌شده است.

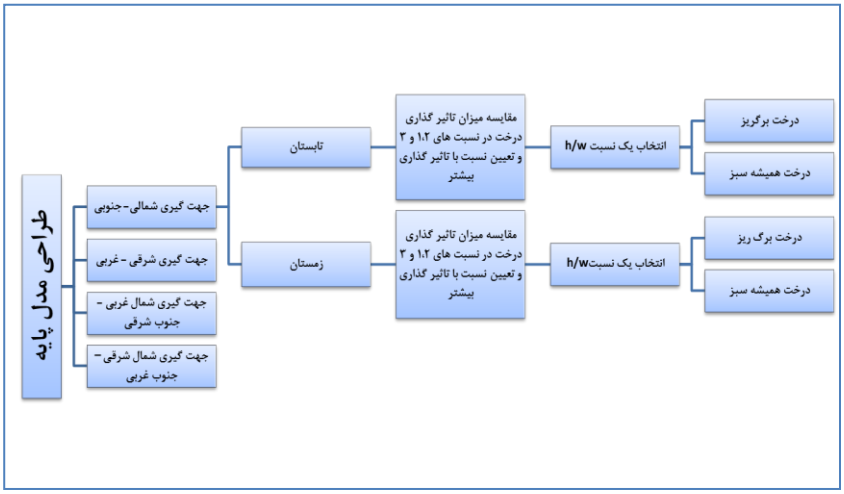
جدول ۲. ویژگی دره‌های شهری منطقه ۱ و ۳ اصفهان بر طبق برداشت میدانی

ویژگی دره های شهری شهر اصفهان طبق برداشت های میدانی				
عرض معابر	نسبت ارتفاع به عرض	جهت گیری معابر	طول معابر بدون گشودگی کلان	مصالح
متوسط عرض معابر ۱۲ الی ۱۸ متری	۰.۵ الی ۳	در تمام جهات	۳۰۰ متر الی ۵۰۰	آسفالت و سرامیک. آجر نما
ویژگی لاین های سواره و پیاده				
تعداد لاین های سواره		تعداد لاین های پیاده		عرض پیاده رو ها
دو لاین پارک و دو لاین فعال حرکت		۲ لاین در دو طرف		۱.۵ الی ۲.۵ متر
ویژگی پوشش گیاهی شهر اصفهان بر طبق برداشت های میدانی				
انواع غالب پوشش گیاهی		نوع درخت غالب در معابر		عرض خط پوشش گیاهی
درخت، چمن		چنار و کاج		۰.۵ الی ۱ متر

در مرحلهٔ ابتدایی با حضور در دو منطقه ذکرشده و برداشت میدانی ابعاد دره‌های شهری از دید نسبت ارتفاع به عرض، جهت‌گیری، مصالح، سطح پوشش گیاهی و ... مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس مطالعات میدانی یک نمونه مدل از دره شهری طراحی شد که در نسبت‌های مختلف ارتفاع به عرض و جهت‌گیری متفاوت با قرار دادن درخت چنار و درخت کاج مورد ارزیابی قرار گیرد. مشخصات دره شهری در جدول ۲ بیان‌شده است. سایر مشخصات دره که در این تحقیق موردبحث نیستند ثابت بر اساس مطالعات میدانی اعمال‌شده است.



شکل ۱. تصویری از مدل فرضی تدوین‌شده

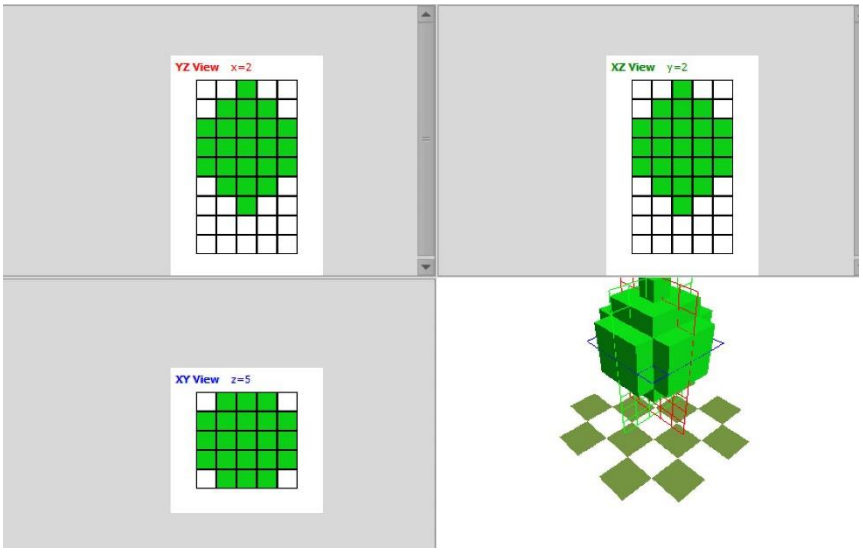


شکل ۲. چارت سناریو تحقیق

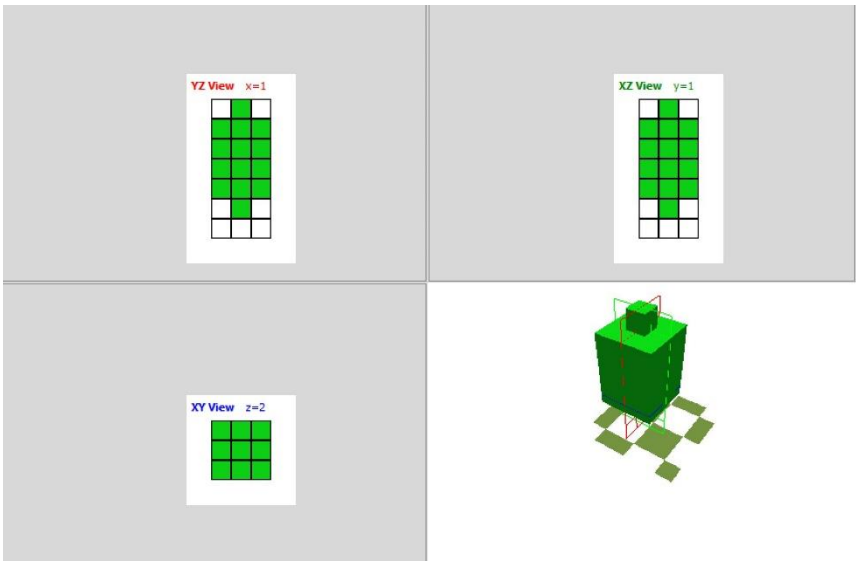
سپس با انتخاب یک نسبت ارتفاع به عرض که بیشترین میزان تأثیرگذاری درخت درمجموع دو فصل را دارد. تعداد سناریوهای تحقیق کاهش یافت تا بهتر بتوان میزان تأثیرگذاری دو درخت همیشه‌سبز و برگ‌ریز باهم مقایسه کرد. سپس در نسبت ارتفاع به عرض انتخابی و با قرار دادن درخت چنار پهن‌برگ به‌عنوان درخت برگ‌ریز و درخت کاج سوزنی‌برگ به‌عنوان درخت همیشه‌سبز در هر جهت‌گیری و در فصل تابستان و زمستان اثرگذاری این دو درخت باهم مقایسه شد.

درختان مورداستفاده برای انجام شبیه‌سازی در این تحقیق دو درخت چنار و کاج می‌باشد. چنار به‌عنوان درخت برگ‌ریز غالب و کاج به‌عنوان درخت همیشه‌سبز غالب در سطح شهر اصفهان انتخاب شدند. شرایط هندسی این درختان از اطلاعات موجود در آمارهای سازمان پارک‌ها و فضای سبز گرفته‌شده و به این صورت است که درخت چنار با شعاع تاج ۳ متر و ارتفاع ۹ متر و سطح تراکم برگ ۱/۱ و درخت کاج با شعاع تاج حداکثر ۱/۱ متر و ارتفاع ۷ متر و سطح تراکم برگ ۰/۷ در این تحقیق مورداستفاده قرارگرفته‌اند. داده‌های مربوط به آلبدوی سطح برگ برگرفته از پایگاه داده نرم‌افزار بوده و معادل ۰/۱۸ است. در جدول شماره ۳ مشخصات درختان مورداستفاده در شبیه‌سازی با ذکر مشخصات LAD, LAI ذکرشده است.

جدول ۳. مشخصات درختان پهن‌برگ و سوزنی‌برگ مورداستفاده در شبیه‌سازی



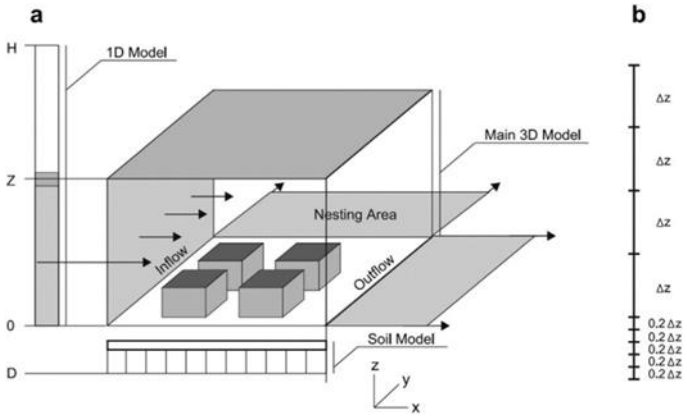
درخت چنار- LAI=3.9,LAD=1.1



درخت کاج- LAI=2.2,LAD=0.7

در مرحله سوم نرم‌افزار مناسب جهت ارزیابی سناریوهای تحقیق باید انتخاب شد. ازاین‌رو نرم‌افزار Envi-met انتخاب شد. این برنامه یک مدل سه‌بعدی خرد اقلیم طراحی‌شده برای شبیه‌سازی تعامل بین سطوح، گیاهان و هوا در یک محیط

شهری با وضوح معمولی ۰/۵-۱۰ متر در فضا و ۱۰ ثانیه در زمان است [۲۶]. با استفاده از این برنامه، دمای هوا (C)، فشار بخار (hPa)، رطوبت نسبی (٪)، سرعت باد (m/s) و دمای تابشی متوسط (C) را می‌توان محاسبه نمود.



شکل. ۳. مرور شماتیک مدل انویمت

با توجه به هدف تحقیق و با تمرکز بر مطالعات در اقلیم گرم خشک اصفهان و به‌عنوان نمونه مطالعاتی، شروع شبیه‌سازی‌ها باید با گامی استوار صورت گیرد. لذا صحت انتخاب نرم‌افزار شبیه‌سازی باید اثبات گردد؛ به‌عبارت‌دیگر نحوهٔ شبیه‌سازی و نتایج آن باید با معیاری قابل‌قبول موردسنجش قرار گیرد تا اعتبار نتایج روشن گردد. جهت اعتبارسنجی نرم‌افزار Ενωι–με τ، مقایسه میان نتایج حاصل از این نرم‌افزار با نتایج اندازه‌گیری شرایط واقعی صورت گرفت [۲۷]. خیابان لاهور با نسبت ارتفاع به عرض ۱ و سطح پوشش گیاهی متوسط به‌عنوان نمونه واقعی برای ارزیابی نتایج نرم‌افزار انتخاب شد. این خیابان ازجمله دره‌های شهری پرتردد عابران پیاده و سواره در اصفهان است. پیاده‌روها در دو سمت دره با درختان چنار احاطه‌شده‌اند. جهت‌گیری این خیابان شرقی- غربی است، راستای وزش باد در فصل تابستان موازی راستای دره شهری است. مصالح معبر مدل شده مانند سایر معابر در قسمت پیاده‌رو از سرامیک‌های آجدار و آسفالت در قسمت سواره‌رو می‌باشد. در درهٔ مذکور کاربری ساختمان‌ها در قسمت هم کف عموماً تجاری و در طبقات بالاتر مسکونی‌اند. در خیابان لاهور با قرار دهی دستگاه داده نگار[1](شکل ۴) شرایط محیطی مانند دمای هوا و رطوبت سنجیده شده است. دستگاه نام‌برده را در ارتفاع ۱۰ سانتی‌متری قرار داده تا تحت تأثیر دمای زمین قرار نگیرد و به ارتفاع موردنظر برای سنجش آسایش حرارتی نزدیک شود. مشخصات دستگاه در جدول ۴ ذکرشده است.

[1] Data.logger

شکل ۴. مکان اندازه‌گیری‌ها و واقع‌نگار دیجیتال

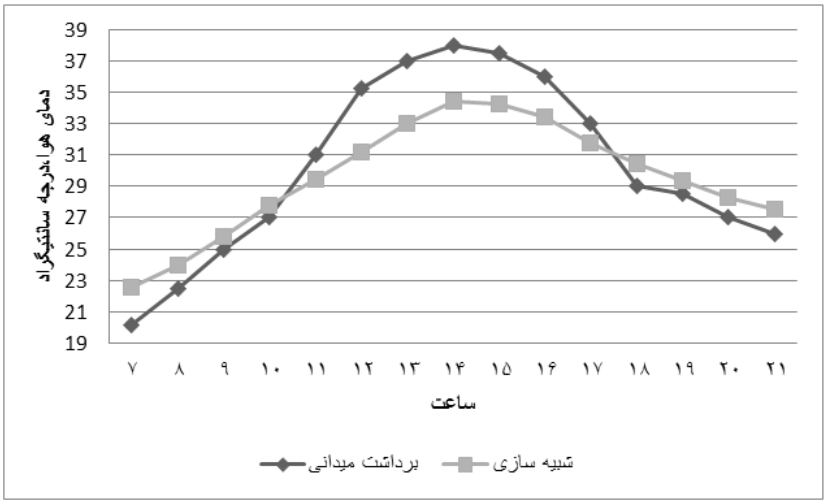
جدول ۴. مشخصات حسگر حرارتی

Data Logger	Standard(ST-174)	Temp.Resolution(c)
NO:۱	۱۱۱۶۶۴۲۱	۰.۱

شبیه‌سازی نمونه دره شهری انتخاب‌شده (خیابان لاهور): اندازه‌گیری‌های میدانی برای انجام مقایسه در روز ۲۵ تیر ۱۳۹۷ انجام شدند. وضعیت آسمان در طول این روز صاف و با میانگین روزانه دمای هوا به‌طور میانگین بیش از ۳۱ درجه سانتی‌گراد به‌عنوان نماینده یک دوره آب و هوایی گرم بود. نتیجه شبیه‌سازی این نمونه و دمای ثبت‌شده در اندازه‌گیری میدانی در همان روز را در شکل ۴ آورده شده است. همچنین در جدول ۴ تفاوت دمایی میان بیشینه و کمینه دما ذکرشده است؛ که به‌صورت حداکثر تفاوت دمای ۳.۵ درجه اما با الگوی رفتاری مشابه اعتبار شبیه‌سازی برای بررسی شرایط محیطی دره‌های شهری اصفهان را نشان می‌دهد. اختلاف دمای ثبت‌شده نیز باید در به‌عنوان ضریب خطابه شبیه‌سازی‌ها اضافه شود که نتایج قابل‌اتکا باشد. قابل‌ذکر است در سایت معرفی نرم‌افزار [۲۸] و در مطالعات مورد بررسی [۲۷] نشان داده‌شده است که حداکثر تا اختلاف دمای ۴ درجه در ساعات اوج دما منطقی و پدیدهٔ هوایی‌اند به‌عنوان درصد خطا بیان گردد.

شکل ۵. تصویر ماهواره‌ای خیابان لاهور (جهت اعتبارسنجی)

برای محاسبهٔ درصد خطا داده‌های اندازه‌گیری واقعی را به‌صورت تک‌تک بر داده‌های حاصل از شبیه‌سازی تقسیم نموده و از میان ضرایب به‌دست‌آمده میانگین گرفته شد، عدد ۰/۹۱۵۲ میانگین این ضرایب و به‌عنوان ضریب اصلی انتخاب‌شده است.



شکل ۶. مقایسه میان دمای شبیه‌سازی‌شده و ثبت‌شده

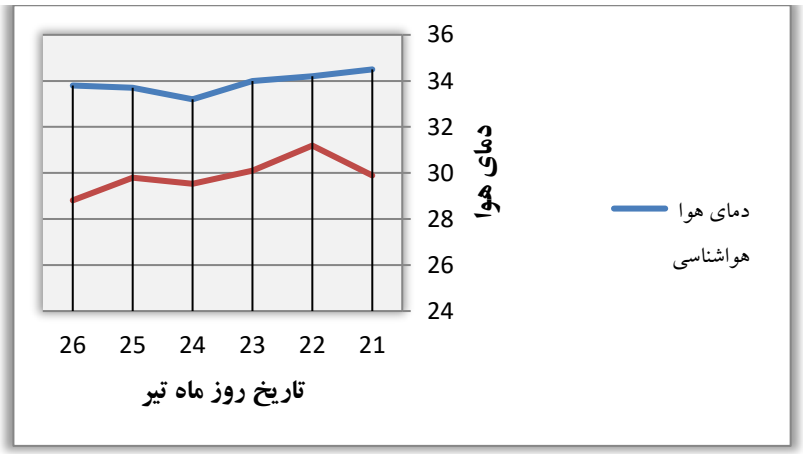
بر طبق اطلاعات گرفته‌شده از سایت معرفی نرم‌افزار نیز بیشترین اختلاف در ساعات اوج گرما و کمترین اختلاف در ساعات بدون آفتاب نشان داده می‌شود. در این سایت ذکرشده است که اختلاف حداکثر ۴ درجه برای ساعت اوج گرما با برداشت میدانی نیز منطقی به نظر می‌رسد. ازاین‌رو ثابت‌شده است که این اختلاف گرما در شهر اصفهان نیز قابل‌حل است و نشان از صحت شبیه‌سازی‌ها در اقلیم اصفهان دارد. میزان اختلاف را می‌توان در قالب درصد خطا و یا ضریب تغییرات ارجاع داد.

جدول ۵. کمینه و بیشینه دمای حاصل از شبیه‌سازی و اندازه‌گیری میدانی

	بیشینه	کمینه
دمای شبیه‌سازی‌شده	۳۴/۴۴	۲۲/۵۲۴
دمای ثبت‌شده	۳۸	۲۰/۱۳۵
اختلاف دما	۳.۵۶	۲/۳۸

نمودار ۷ تفاوت دمایی در داده‌های گرفته‌شده از ایستگاه‌های هواشناسی و برداشت دمای شهر توسط محقق را نشان می‌دهد. این نمودار به‌خوبی بیان می‌کند که دمای هوای سطح شهر از دمای بیرون حدود ۳ درجه اختلاف دارد که این می‌تواند به دلیل سایه‌اندازی و یا تأثیر پوشش گیاهی در سطح شهر باشد. ازاین‌رو در جهت دقت بیشتر نتایج به‌دست‌آمده برای معرفی شرایط مرزی نرم‌افزار از داده‌های برداشتی با دستگاه داده نگار استفاده‌شده است. شبیه‌سازی‌ها در روز ۲۵

تیرماه سال ۱۳۹۷ به‌عنوان گرم‌ترین روز و ۴ دی‌ماه ۱۳۹۷ به‌عنوان سردترین روز سال به مدت ۲۴ ساعت انتخاب‌شده است؛ زیرا در این دو روز بدترین شرایط حرارتی تابستانه و بدترین شرایط حرارتی زمستانه بر طبق داده‌های هواشناسی ده سال اخیر اصفهان دیده‌شده است.

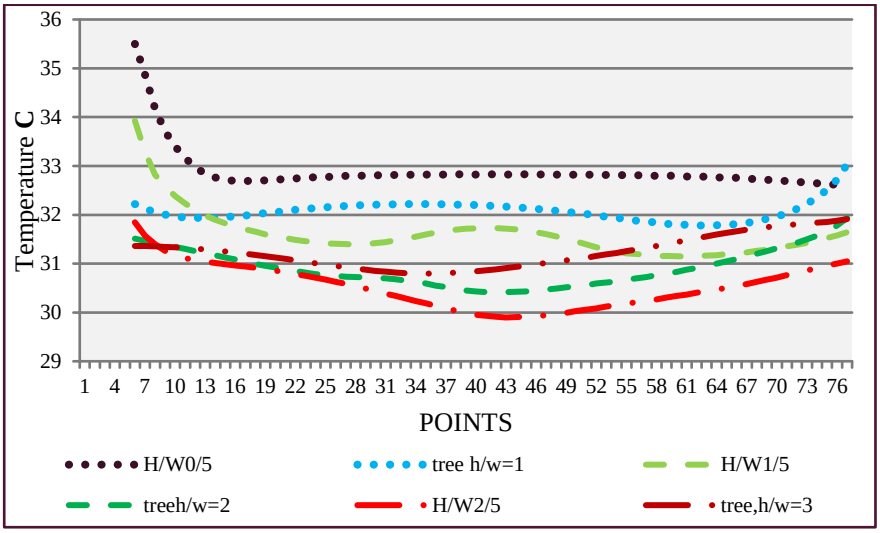


شکل ۷. اختلاف حرارتی دمای شهر بر طبق برداشت میدانی و داده‌های هواشناسی

یافته‌ها

قابل‌ذکر است هدف مقاله بهبود شرایط آسایش حرارتی در معابر شهر اصفهان است و در پیاده‌روها شرایط حرارتی در ارتفاع ۱/۱۰ متری با توجه به مرکز جرم انسان استخراج‌شده است. ازاین‌رو با توجه به شکل ۲ میانگین داده‌های لاین پیاده‌روهای دره شهری موردنظر در هر سناریو استخراج و در قالب نمودارهای بعد بیان‌شده است.

همان‌طور که ذکر گردید تغییرات نسبت‌های دره شهری از ۰/۵ الی ۳ است. اگر این تغییرات به‌صورت ۰/۵ واحد مورد بررسی قرار گیرد تعداد شبیه‌سازی‌های مورد تست بسیار زیاد و خارج از حوصله این تحقیق است. ازاین‌رو جهت کاهش این شبیه‌سازی‌ها این ۶ نسبت مدل‌سازی شده و شرایط حرارتی آنها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج شبیه‌سازی ۶ دره اصلی و مقایسهٔ میان دمای آنها مشخص نمود که رفتار حرارتی در دره‌های شهری از نسبت کم و یا به عبارتی از دره کم‌عمق به سمت دره عمیق یک‌روند را مستقیم را طی می‌کند (شکل ۸ و جدول ۶). بر اساس نمودار زیر در دره‌های شهری با نسبت ارتفاع به عرض ۱ و نسبت ارتفاع عرض ۰.۵ میزان دمای هوا در بیشترین مقدار خود قرار دارد از طرفی تأثیرگذاری درخت در بدترین شرایط حرارتی بیشتر است پس دره‌ای که بدتری شرایط حرارتی را دارد ملاک عمل خواهد بود؛ اما با توجه به این‌که نسبت ارتفاع به عرض ۰.۵ جداره‌های دره شهری بسیار کوتاه است و تعداد این نسبت ارتفاع به عرض در شهر اصفهان بسیار کم است ازاین‌رو نسبت ارتفاع به عرض ۱ جهت بررسی سناریوهای اصلی در ادامه تحقیق ملاک عمل خواهد بود.



شکل ۸. مقایسه رفتار حرارتی دره‌های شهری با نسبت‌های مختلف

کمترین میزان دمای هوا معادل ۲۹.۸۰ درجه سانتی‌گراد در گریدهای وسط دره شهری که میزان نفوذ باد گرم تابستانی به آن کمتر است و در نسبت ارتفاع به عرض ۳ دیده می‌شود. در این نسبت سایه اندازه دره‌های شهری به علت جداره‌های بلند نیز باعث کاهش دمای هوا شده است. قابل‌ذکر است که الگوی رفتار حرارتی در دره‌های شهری با نسبت‌های مختلف بسیار شبیه است که این مسئله نشان می‌دهد نتایجی که در یک دره شهری انتخاب شود می‌تواند به سایر دره‌های شهری تعمیم داده شود.

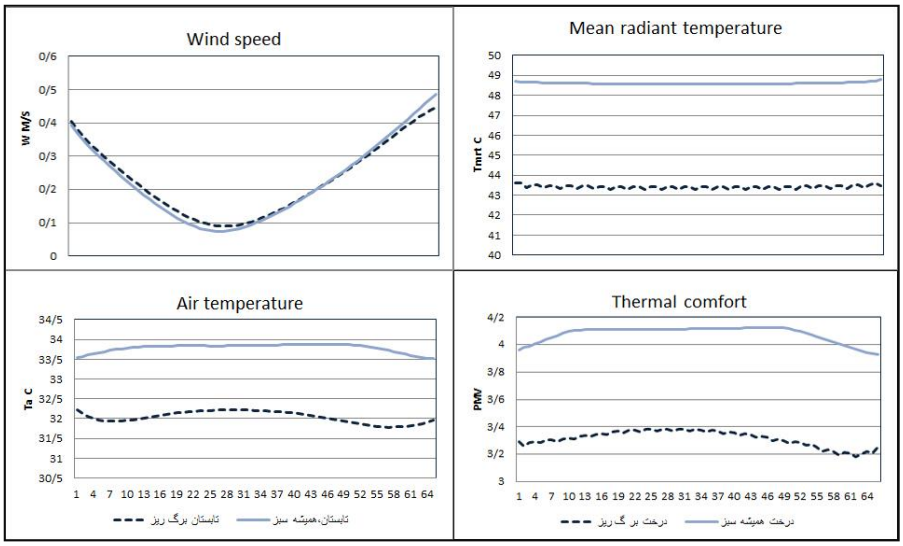
جدول ۶. مقایسه رفتار حرارتی دره‌های شهری با نسبت‌های مختلف

	H/W3	H/W2/5	H/W2	H/W1/5	H/W1	H/W0/5
میانگین	۳۰.۲۳۱۹	۳۰.۵۲۹۷	۳۰.۹۰۳۸	۳۱.۵۹۴۶	۳۲.۰۷۴۴	۳۲.۸۸۹۲
کمینه	۲۹.۸۰	۲۹.۹۰	۳۰.۴۱	۳۱.۱۴	۳۱.۷۸	۳۲.۶۱
بیشینه	۳۱.۹۱	۳۱.۸۵	۳۱.۹۳	۳۳.۹۳	۳۳.۰۴	۳۵.۵۰

مقایسه میان تأثیر درخت برگ‌ریز و همیشه‌سبز در تابستان

جهت‌گیری شمالی – جنوبی: معابر شمالی - جنوبی در فصل تابستان عمود برجهت باد هستند. در این معابر در صبح و بعدازظهر جداره‌های معبر بر پیاده‌روها سایه‌اندازی دارند. سرعت باد در این معابر بسیار کم است به همین دلیل سرمایش تبخیری درختان کمتر دیده می‌شود و کاهش دما از طریق سایه‌اندازی درختان صورت می‌گیرد. همان‌طور که در شکل ۹ مشخص است دمای تابشی در سراسر معبر به‌صورت خط مستقیم حرکت کرده است. زمانی که از درخت برگ‌ریز (چنار) در معبر استفاده‌شده است دمای تابشی میان ۴۴-۴۳ درجه سانتی‌گراد تغییر کرده است. شکل دندانه‌ای

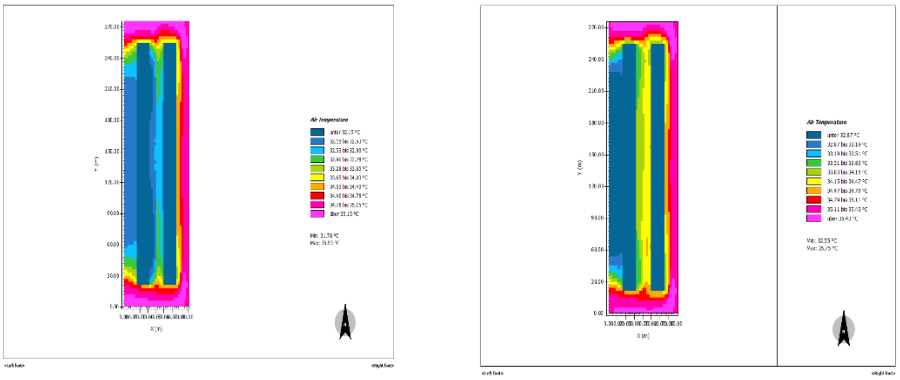
این خطوط شکل مربوط به درخت همیشه‌سبز حاکی از آن است که در فاصلهٔ میانی دو درخت دریافت نور خورشید اندکی افزایش و سپس در زیر تاج درخت دوباره کاهش پیدا می‌کند، دمای تابشی در دره با درختان همیشه‌سبز میان ۴۸-۴۹ درجه سانتی‌گراد تغییر می‌کند. به‌صورت کلی درخت برگ‌ریز دمای تابشی را ۵-۴ درجه سانتی‌گراد نسبت به درخت همیشه‌سبز بیشتر کاهش می‌دهد.



شکل ۹-مقایسه میان معابر با درختان برگ‌ریز و معابر با درختان همیشه‌سبز در چهار پارامتر (دمای هوا، دمای تابشی، سرعت باد، آسایش حرارتی) جهت‌گیری شمالی- جنوبی فصل تابستان

به دلیل عمود بودن جهت باد بر راستای درهٔ شمالی-جنوبی سرعت باد در ابتدا وانت‌های معبر تحت تأثیر جریان باد بیرونی اندکی افزایش می‌یابد ولی در مرکز معبر سرعت آن حدود ۰/۴ متر بر ثانیه کاهش میابد. تغییرات سرعت باد در دو معبر با دو نوع مختلف درخت یکسان است و تفاوت چشم‌گیری ندارند. دمای هوا در معابر با درخت برگ‌ریز نسبت به معابر با درختان همیشه‌سبز حدود ۲-۱/۵ درجه سانتی‌گراد به‌طور متوسط کمتر است دلیل این امر سایه‌گستر بودن درختان برگ‌ریز است. بر اساس شکل فوق روند تغییرات دمای هوا با تغییرات آسایش حرارتی ازلحاظ مکانی منطبق می‌باشد. این نشان‌دهندهٔ این موضوع است که دمای هوا در معابر شمالی - جنوبی مؤثرترین عامل برآسایش حرارتی است. دمای هوا در ابتدا و انتهای دره شهری به‌واسطه وجود باد و کمک به سرمایش تبخیری اندکی کاهش می‌یابد و با کاهش سرعت باد در مرکز دره دما به رنج بالاتری می‌رسد. آسایش حرارتی نیز همان‌طور که ذکر شد بیشتر از سایر عوامل تحت تأثیر دمای هوا تغییر کرده است و شکل دندانه‌ای آن در معابر با درخت همیشه‌سبز به دلیل تغییرات دمای تابشی ایجادشده است. آسایش حرارتی بر اساس شاخص PMV در معابر با درختان همیشه‌سبز مابین اعداد ۴-۴/۲ در تغییر است و در معابر با درختان برگ‌ریز مابین ۳/۴ الی ۳/۲ تغییر می‌کند. می‌توان نتیجه گرفت که در معابر شمالی جنوبی با تفاوت‌های چشمگیر در دمای هوا و آسایش حرارتی بین دو سناریو، درختان برگ‌ریز بسیار مناسب‌تر هستند، دلیل عمدهٔ این موضوع، سایه‌گستر بودن درختان برگ‌ریز است.

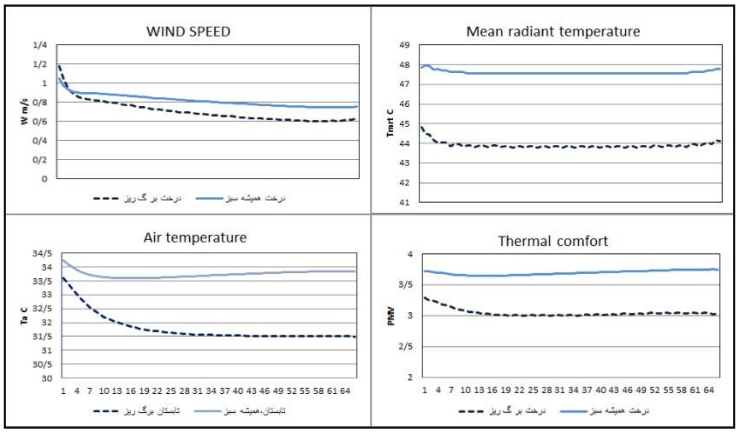
سوزنی‌برگ کاج	پهن‌برگ، چنار



شکل ۱۰. نقشهٔ حرارتی معبر شمالی جنوبی – تابستان با دو درخت پهن‌برگ و سوزنی‌برگ

بر اساس شکل ۹ و ۱۰ در مورد معبر شمالی جنوبی در تابستان می‌توان دریافت درختان برگ‌ریز به‌واسطه سطح تاج بیشتر و سایه‌اندازی بیشتر شرایط حرارتی بهتری را تجربه می‌کنند و دمای هوا تا حدود ۲ درجه در این معبر با دخت پهن‌برگ کمتر از معبر با درخت سوزنی‌برگ است.

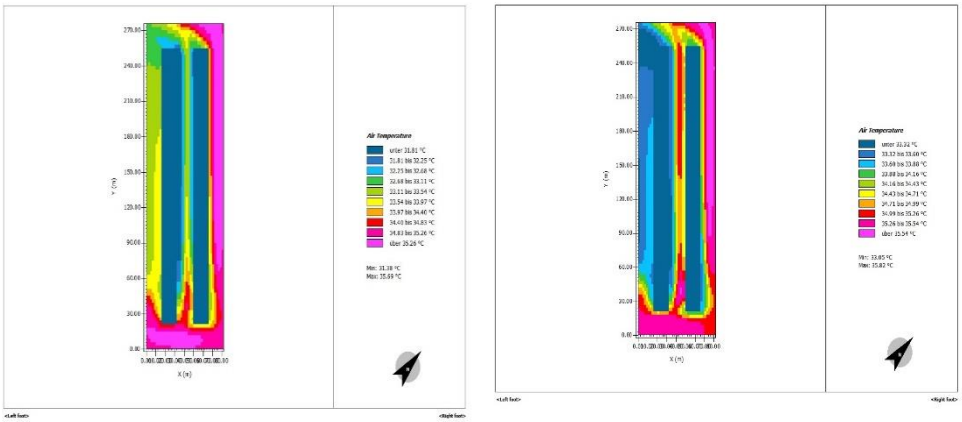
جهت‌گیری شمال شرقی-جنوب‌غربی: در معابر با چرخش ۴۵ نسبت به راستای شمال هر چهار متغیر رفتار مشابهی را نشان می‌دهند. البته مانند قسمت پیش آسایش حرارتی در این معبر نیز بیشتر تحت تأثیر تغییرات دمای هوا قرار دارد. در هر چهار عامل مورد بررسی در معابر با درختان برگ‌ریز شرایط بهتری ایجادشده است. همان‌طور که شکل ۱۱ نشان می‌دهد در ابتدای دره شرایط حادتر و در طول معبر از دمای آن کاسته می‌شود. در ابتدای دره به سبب نفوذ باد گرم به داخل دره دمای هوا و سرعت باد زیاد می‌شود و سطح نارضایتی حرارتی افزایش می‌یابد. دمای هوا در معابر با درختان برگ‌ریز حدود ۳ درجه کمتر از معابر با درختان همیشه‌سبز است و این به دلیل سایه‌اندازی بیشتر و توانایی بیشتر درختان برگ‌ریز در سرمایش تبخیری است.



شکل ۱۱. مقایسه میان معابر با درختان برگ‌ریز و معابر با درختان همیشه‌سبز در چهار پارامتر (دمای هوا، دمای تابشی، سرعت باد، آسایش حرارتی) در جهت‌گیری شمال شرقی- جنوب غربی

میزان سرعت باد در معابر با درختان برگ‌ریز و درختان همیشه‌سبز تقریباً مشابه است و معابر با درخت برگ‌ریز سرعت باد با ۰/۲-۰/۱ متر بر ثانیه کمتر نسبت به سایر معابر دارند. دمای تابشی در این جهت‌گیری مانند جهت‌گیری شمالی جنوبی به‌واسطه دریافت نور پراکنده در معابر با درختان برگ‌ریز به‌صورت دندانه‌ای و حدود ۴ درجه سانتی‌گراد کمتر از معابر با درختان همیشه‌سبز است. آسایش حرارتی نیز به‌واسطه سایر عوامل که در معابر با درختان برگ‌ریز بهتر بوده‌اند، در معابر با درختان برگ‌ریز مناسب‌تر بوده وبر اساس شاخص pmv حدود ۰/۵ الا ۰/۶ واحد کمتر از معابر با درختان همیشه‌سبز است.

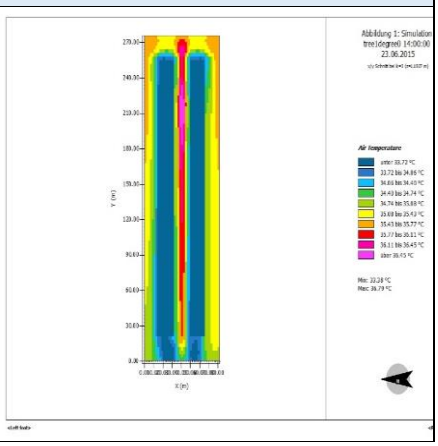
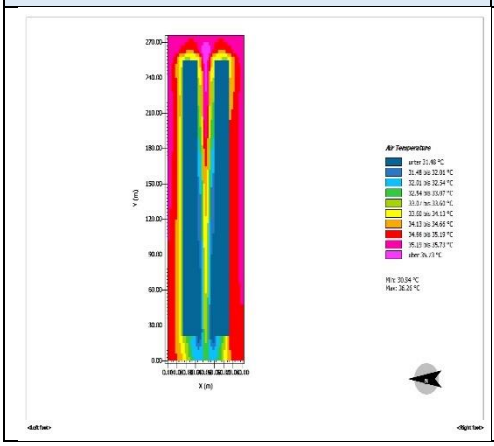
سوزنی‌برگ کاج	پهن‌برگ، چنار



شکل ۱۲. نقشه حرارتی معبر شمال شرقی- جنوب غربی، تابستان با دو درخت پهن‌برگ و سوزنی‌برگ

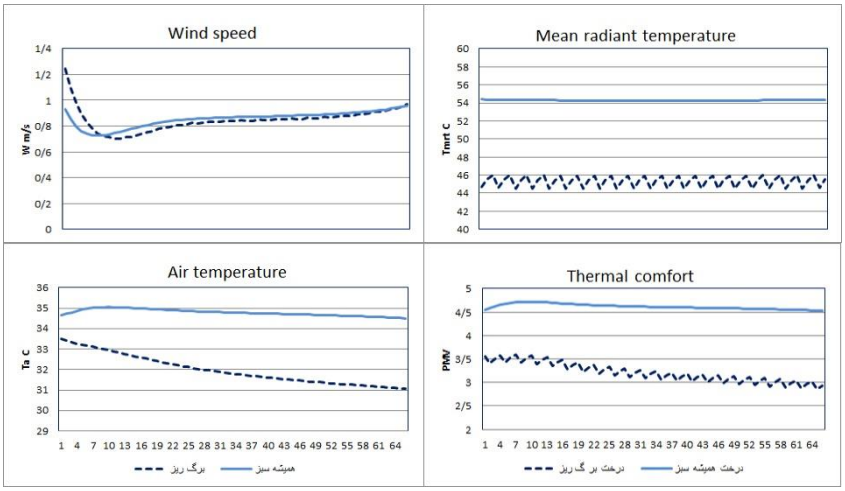
بر اساس داده‌ها شکل ۱۱ و نقشه حرارتی ۱۲ دمای هوا در این معبر در شرایط استفاده از درخت چنار حدوداً سه درجه کمتر است. در این معبر چون نفوذ باد گرم تابستانی نسبت به سایر معابر کمتر است این تفاوت دمای سه‌درجه‌ای در طول کل معبر دیده می‌شود؛ و ثابت می‌کند که درختان همیشه‌سبز توانایی کمتری از دید سایه‌اندازی و سرمایش تبخیری دارند. ازاین‌رو معابر شمال شرقی- جنوب غربی در فصل تابستان بهتر است با درخت چنار پوشش داده شوند.

جهت‌گیری شرقی - غربی: هم‌راستا بودن باد با معابر شرقی- غربی باعث می‌شود که رفتار حرارتی درختان در این معابر نسبت به سایر معابر متفاوت باشد. سرعت باد در ابتدای دره بسیار زیاد و در نقاط مرکزی و انتهایی دره به‌تدریج کمتر می‌شود و تغییرات سرعت باد بین ۰/۳ الی ۰/۸ متر بر ثانیه متفاوت است و در هر دو دره شهری با درختان متفاوت نیز یکسان است.

سوزنی‌برگ کاج	پهن‌برگ، چنار
	

شکل ۱۳. نقشه حرارتی معبر شرقی - غربی - تابستان با دو درخت پهن‌برگ و سوزنی‌برگ

بر اساس شکل ۱۴ میانگین دمای تابشی در پیاده‌رو بدون تأثیرپذیری از این جهت‌گیری مانند سایر جهت‌گیری‌ها در یک خط راست در طول معبر تغییر می‌کند و در معابر با درختان برگ‌ریز به‌صورت دندانه‌ای و حدود ۴۵ درجه سانتی‌گراد و در معابر با درختان همیشه‌سبز به‌صورت خط صاف و در حدود ۵۵ درجه سانتی‌گراد است. تفاوت میان دمای تابشی دو معبر با درختان متفاوت در این جهت‌گیری بیشتر دیده می‌شود زیرا این معبر در ساعت ۱۴ در معرض تابش خورشید قرار دارد و سایه‌اندازی از طریق جداره‌های معابر صورت نمی‌گیرد و صرفاً سایه‌اندازی در پیاده‌روها از طریق درختان انجام می‌گیرد ازاین‌رو در معابر با درختان برگ‌ریز به‌واسطهٔ سایه‌گستر بودن این نوع درخت، دمای تابشی حدود ۱۰ درجه سانتی‌گراد کمتر است.

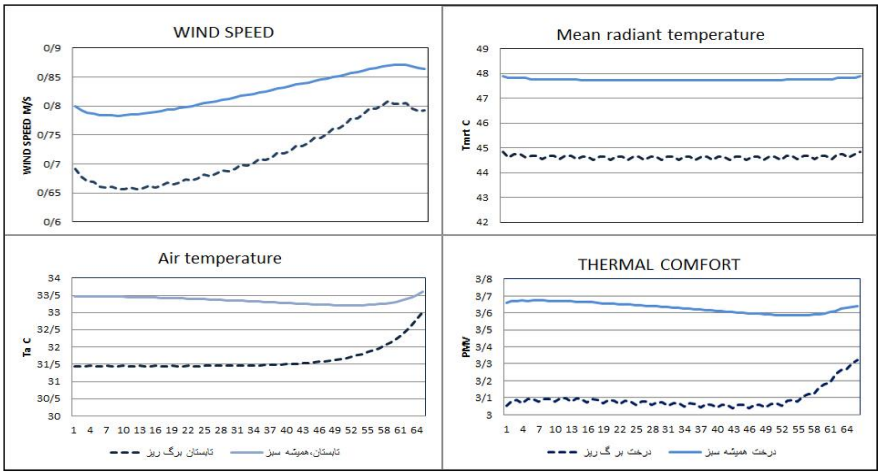


شکل ۱۴. مقایسه میان معابر با درختان برگ‌ریز و معابر با درختان همیشه‌سبز در چهار پارامتر (دمای هوا، دمای تابشی، سرعت باد، آسایش حرارتی) در جهت‌گیری شرقی- غربی

بر اساس شکل ۱۳ و ۱۴ دمای هوا در جهت‌گیری مذکور در هر دو سناریو پوشش گیاهی در ابتدای دره زیاد و در مرکز دره کاهش می‌یابد. دمای هوا در ابتدای دره در هر دو سناریو پوشش گیاهی، حدود ۳۴ درجه، سپس در مرکز دره با درختان همیشه‌سبز افزایش می‌یابد و به ۳۵ درجه می‌رسد. در سناریو درختان برگ‌ریز دمای هوا در ابتدای دره با ۳۴ درجه شروع و به‌تدریج تا ۳۱ درجه کاهش میابد. آسایش حرارتی در این معبر نیز بیشتر از هر عاملی تحت تأثیر دمای هواست و الگوی رفتاری دمای هوا را تکرار می‌کند به‌گونه‌ای که PMV در ابتدای معبر برابر با ۳.۵ و به‌تدریج به حدود ۳ می‌رسد؛ اما در سناریو درختان همیشه‌سبز شاخص PMV حدود ۴/۵ است.

در شکل ۱۴ با توجه به تغییرات دمایی معبر مشخص‌شده است که سرعت باد در تابستان در این معبر عامل منفی است و در طول معبر با کاهش سرعت باد شرایط آسایش حرارتی بهبود بخشیده می‌شود و از طرفی شباهت الگوی دمای هوا و آسایش حرارتی نشان می‌دهد که در این معبر بحث سرمایش تبخیری با توجه به معبر و شدت باد گرم تابستانه می‌تواند شرایط حرارتی تا حد زیادی بهبود بخشد. ازاین‌رو تراکم بیشتر درختان پهن‌برگ در ابتدای معبر که قدرت سرمایش تبخیری زیادی دارند می‌تواند دمای هوا و سرعت باد را کاهش دهد و در پی آن شرایط آسایش حرارتی را بهبود بخشد.

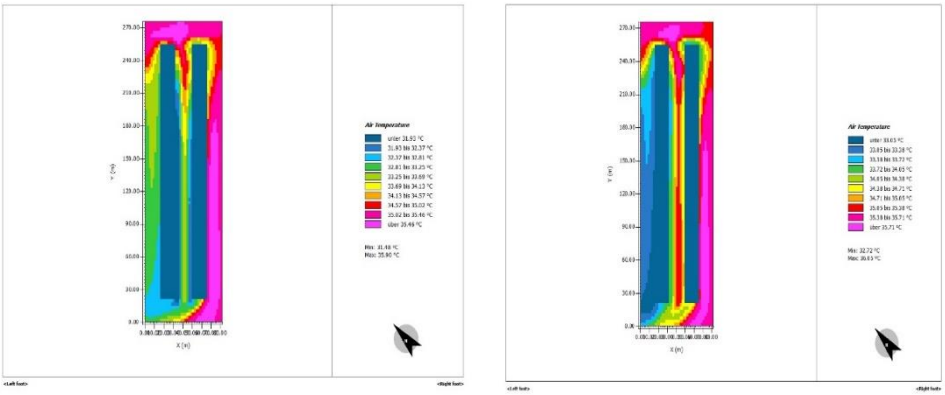
جهت‌گیری شمال غربی- جنوب شرقی: همان‌طور که در شکل ۱۶ دیده می‌شود در جهت‌گیری شمال غربی - جنوب شرقی با توجه به زاویه قرارگیری ۴۵ درجه‌ای آن نسبت به راستای باد، از انتهای دره باد به درون دره نفوذ می‌کند؛ و سرعت باد در معابر با درختان برگ‌ریز ۰/۲ درجه کمتر از معابر با درختان همیشه‌سبز در فصل تابستان است.



شکل ۱۵. مقایسه میان معابر با درختان برگ‌ریز و معابر با درختان همیشه‌سبز در چهار پارامتر (دمای هوا، دمای تابشی، سرعت باد، آسایش حرارتی) در جهت‌گیری شمال غربی- جنوب شرقی، فصل تابستان

بر اساس شکل ۱۵ دمای تابشی در این معبر مانند سایر معابر به‌گونه‌ای است که در یک خط مستقیم حرکت می‌کند. در معابر با درختان برگ‌ریز دمای تابشی شکل دندانه‌ای دارد که در پیش دلیل این موضوع مشخص‌شده است. دمای تابشی در سناریو معابر با درختان برگ‌ریز حدود ۴۴/۵ و در معابر با درختان همیشه‌سبز حدود ۴۸ درجه سانتی‌گراد است. دمای هوا در معبر تحت تأثیر جریان باد که گرمای بیرون را به درون دره هدایت می‌کند. در ابتدای معبر زیاد است زیرا باد ورودی به معبر دمای بالایی دارد و به‌تدریج به‌واسطه سایه‌اندازی و سرمایش تبخیری گیاهان دمای آن کاسته می‌شود. کاهش دما در معابر با درختان برگ‌ریز ۲ و در معابر با درختان همیشه‌سبز حدود ۰/۳ الی ۰/۵ درجه سانتی‌گراد است.

سوزنی‌برگ کاج	پهن‌برگ، چنار



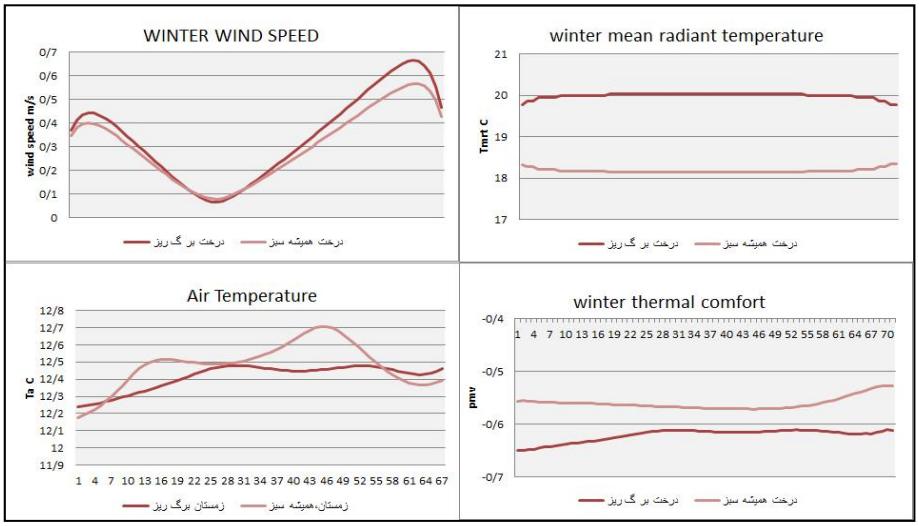
شکل ۱۶. نقشه حرارتی معبر شمال غربی- جنوب شرقی، تابستان با دو درخت پهن‌برگ و سوزنی‌برگ

آسایش حرارتی در این معابر طبق شاخص PMV تحت تأثیر دمای هوا در انتهای دره ۳/۵ و در سایر نقاط دره ۰/۴ از مقدار آن کاسته می‌شود. در معابر با درختان همیشه‌سبز میزان رضایتمندی حرارتی حدود ۰/۱ واحد تغییر می‌کند و به‌گونه‌ای است که در ابتدا و انتهای معبر تغییرات بهتر دیده می‌شود. رضایتمندی حرارتی در معابر با درختان برگ‌ریز در ابتدای دره مذکور ۳/۵ و در سایر نقاط حدود ۰/۴ واحد کاهش می‌یابد. میزان کاهش آسایش حرارتی در این معبر نسبت به سایر معابر بسیار کمتر است. در معابر با چرخش ۴۵ و ۳۱۵ درجه میزان کاهش نارضایتی حرارتی ۰/۵ واحد است و در معبر شمالی جنوبی حدود ۰/۸ و در معبر شرقی عربی حدود ۱.۵ واحد است که این نشان می‌دهد باد نقش مؤثری بر کاهش نارضایتی حرارتی در معابر با درخت ایفا می‌کند.

در این معبر به دلیل جهت‌گیری آن باد در ابتدای معبر دچار آشفتگی زیادی است. در ابتدای معبر سرعت باد در حد بالایی هست ولی در ادامه به‌شدت افت پیدا می‌کند. ازاین‌رو بحث بادشکن بودن درختان و سرمایش تبخیری که تحت تأثیر سرعت باد است اهمیت کمتری دارد. با توجه به شباهت و تغییرات دمای تابشی این معبر و شباهت آن با الگوی آسایش حرارتی می‌توان دریافت در این معبر سایه‌اندازی درختان و سطح چتر درختان و مساحتی که به‌وسیله آنها در سایه است مهم‌تر می‌باشد. ازاین‌رو هر درختی که سایه‌اندازی بیشتری دارد شرایط بهتری را در تابستان رقم میزند.

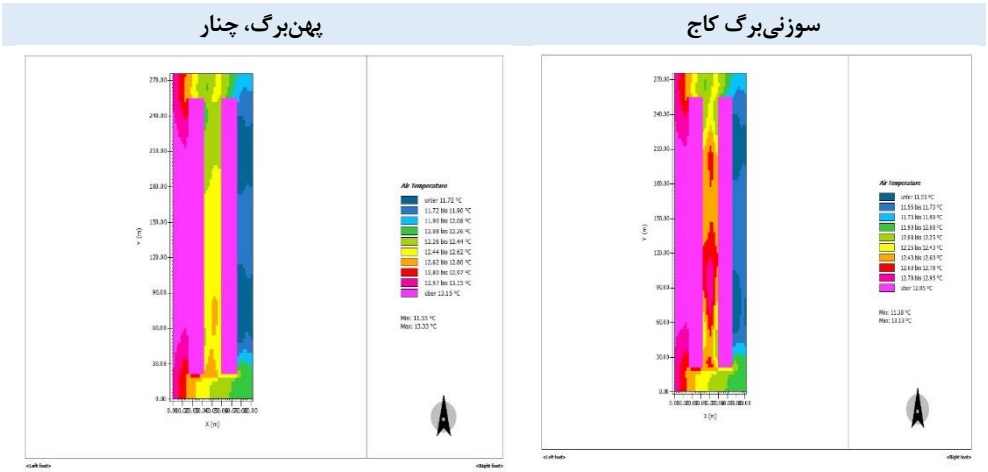
مقایسه میان تأثیر درخت برگ‌ریز و همیشه‌سبز در زمستان

شمالی- جنوبی: راستای وزش باد در فصل زمستان ۲۷۰ درجه است و بر معابر شمالی جنوبی عمود است. همان‌طور که در شکل ۱۷ نشان داده‌شده است سرعت باد اوایل دره شمالی- جنوبی زیاد و در مرکز معبر از سرعت آن کاهش میابد و در انتهای معبر به دلیل نفوذ جریان باد از انتها نیز سرعت باد زیاد می‌شود. درختان همیشه‌سبز در فصل زمستان توانایی بیشتری در کاستن سرعت باد دارند.



شکل ۱۷. مقایسه میان معابر با درختان برگ‌ریز و معابر با درختان همیشه‌سبز در چهار پارامتر (دمای هوا، دمای تابشی، سرعت باد، آسایش حرارتی) جهت‌گیری شمالی- جنوبی فصل زمستان

در معابر با درختان برگ‌ریز دمای تابشی حدود ۲ درجه بیشتر از معبر با درختان همیشه‌سبز است. در این معابر به دلیل تابش مایل خورشید جداره‌ها بر پیاده‌روها سایه‌اندازی می‌کنند. به همین دلیل سایه‌اندازی حاصل از درختان تأثیر زیادی بر دمای تابشی ندارد. شکل ۱۷ رضایتمندی حرارتی این معبر نشان می‌دهد که آسایش حرارتی در سناریو با درختان همیشه‌سبز در فصل زمستان در معابر شمالی جنوبی بهتر است. میزان تفاوت آسایش حرارتی در دو سناریو بر اساس شاخص PMV حدود ۰/۱ است که مقدار زیادی نیست.



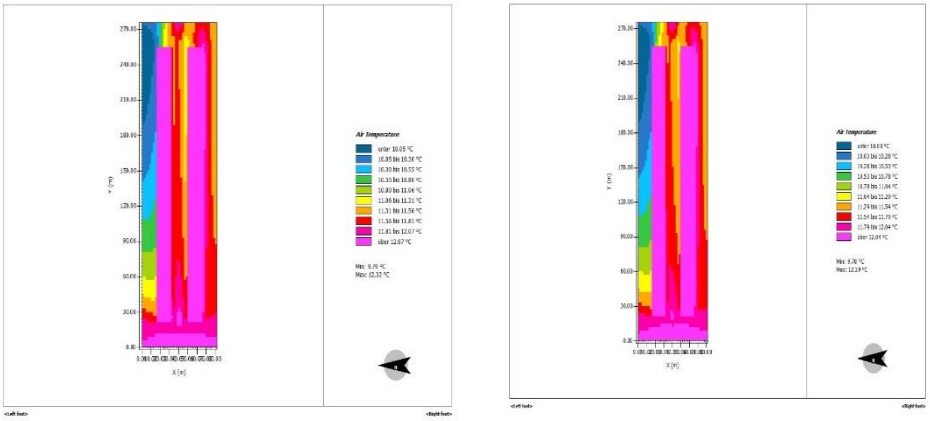
شکل ۱۸. نقشه حرارتی معبر شمالی - جنوبی، زمستان با دو درخت پهن‌برگ و سوزنی‌برگ

در این شکل نیز درختان پهن‌برگ که در زمستان دچار ریزش برگ می‌شوند برای دریافت بیشتر تابش‌های مستقیم و پراکنده خورشید در سطح عابر پیاده مفیدتر هستند ازاین‌رو وجود المان‌های سایه‌انداز در فصل زمستان و در جهت‌گیری شمالی جنوبی که کمترین میزان سطح تابش را نسبت به سایر جهت‌گیری‌ها دارد بسیار تأثیر منفی در پی خواهد داشت. با مقایسهٔ سطح آسایش حرارتی تابستان و زمستان در این جهت‌گیری بهتر است از درختان پهن‌برگ استفاده شود زیرا سرعت باد در این معبر تأثیرگذاری کمتری بر آسایش حرارتی در فصل زمستان دارد. ولی اگر در محیط اجبار به کاشت درختان همیشه‌سبز باشد باید سطح تراکم مناسبی انتخاب شود که در هر دو فصل تأثیرات مثبتی را به‌جای بگذارد.

معابر شرقی- غربی: معابر شرقی غربی هم‌راستای جهت باد در فصل زمستان‌اند. شکل ۱۹ و ۲۰ تغییرات هر چهار متغیر را طبق و سناریو درختان برگ‌ریز و همیشه‌سبز را نشان می‌دهد. سرعت باد در هر دو سناریو در ابتدای معبر بالاتر و سپس در طول دره به‌واسطه حضور درختان به‌تدریج ۰/۵ متر بر ثانیه کاهش می‌یابد. در سناریو با درختان همیشه‌سبز سرعت باد در دره ۱ و در سناریو با درختان برگ‌ریز ۲ الی ۳ متر بر ثانیه است.

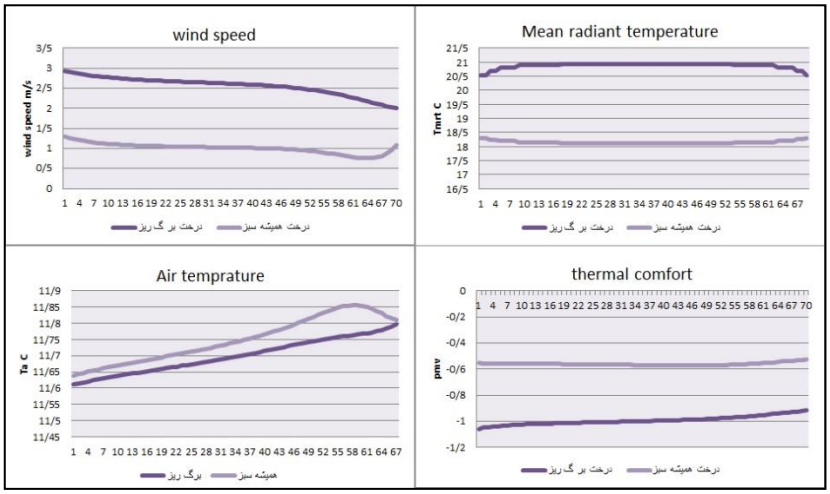
دمای تابشی در معابر با درختان همیشه‌سبز ۱۸ الی ۱۸/۵ و در معابر با درختان برگ‌ریز حدود ۲۱ درجه سانتی‌گراد است. دمای هوا در هر دو سناریو در ابتدای معبر اندکی بیشتر از انتهای معبر است و تفاوت ۰/۲ درجه در ابتدا نسبت به انتهای معبر در دمای هوا دیده می‌شود. در سناریو درختان برگ‌ریز دمای هوا حدود ۰/۱ درجه سانتی‌گراد کمتر دیگر سناریو است.

سوزنی‌برگ کاج	پهن‌برگ، چنار



شکل ۱۹. نقشه حرارتی معبر شرقی- غربی، زمستان با دو درخت پهن‌برگ و سوزنی‌برگ

آسایش حرارتی در این معابر بیش از هر عاملی تحت تأثیر جریان باد قرار دارد. در معابر با درختان همیشه‌سبز به‌واسطه کاهش سرعت باد آسایش حرارتی تأمین‌شده است اما در معابر با درخت‌های برگ‌ریز آسایش حرارتی حدود ۱- است. با توجه به تغییرات دمای تابشی و دمای هوا در این تصویر مشخص می‌شود که بحث سایه‌اندازی درختان و سرمایش تبخیری در فصل زمستان تأثیر کمی دارد؛ و در این معبر بادشکن بودن درختان همیشه‌سبز کارا بوده است. ازاین‌رو در این معبر نیاز است در فصل زمستان حتماً درختان سوزنی‌برگ در جهت کنترل سرعت باد خصوصاً در ابتدای معبر کاشته شوند و با توجه به تأثیرات مثبت درختان برگ‌ریز در تابستان ترکیبی از کاشت این دو درخت در این معبر پیشنهاد می‌شود.

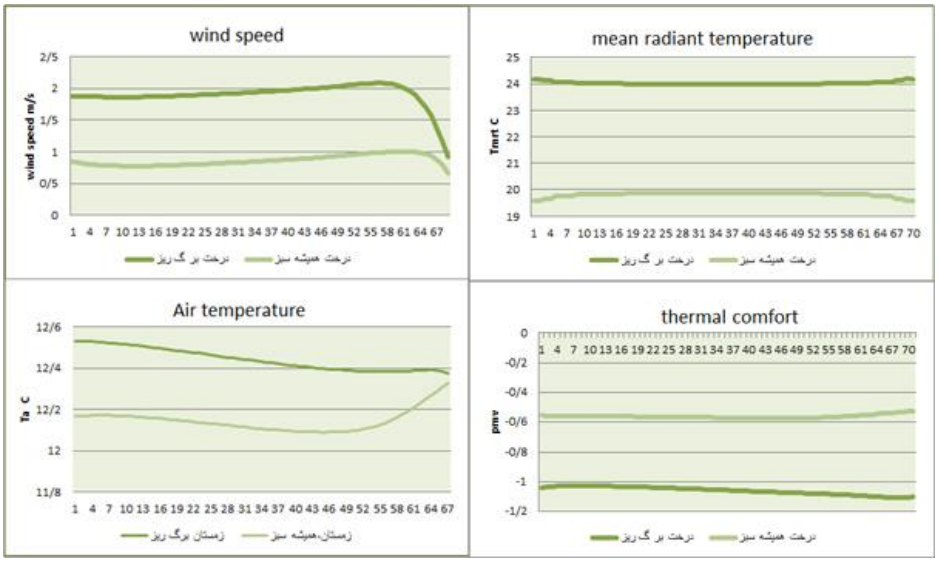


شکل ۲۰. مقایسه میان معابر با درختان برگ‌ریز و معابر با درختان همیشه‌سبز در چهار پارامتر (دمای هوا، دمای تابشی، سرعت باد، آسایش حرارتی) جهت‌گیری شرقی- غربی فصل زمستان

جهت‌گیری شمال شرقی-جنوب‌غربی: ابتدای معابر با چرخش ۴۵ درجه در زمستان تا حدودی در جریان باد قرار دارد. سرعت باد در این معابر با درختان همیشه‌سبز حدود ۱ متر بر ثانیه کمتر از معابر با درختان برگ‌ریزند و این نشان می‌دهد که درختان همیشه‌سبز در زمستان در این معبر نقش مثبتی دارند.

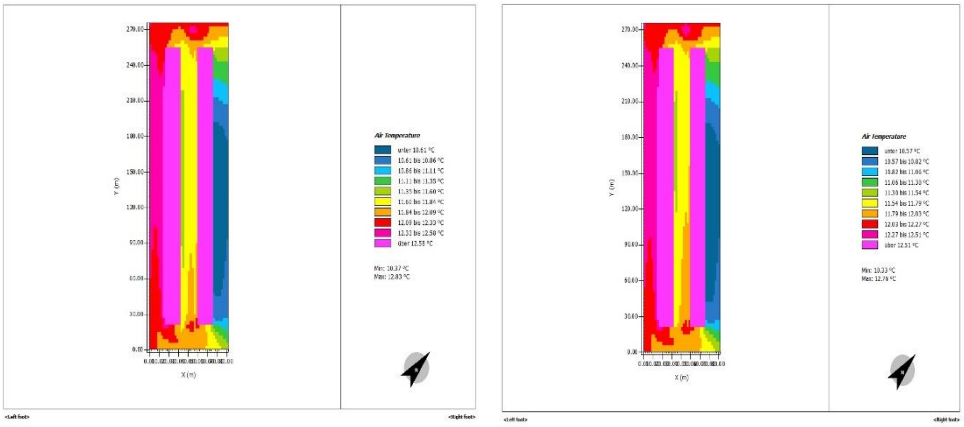
دمای تابشی در معابر مانند سایر معابر در تمام طول دره تقریباً یکسان است و تغییراتی ندارد و این به دلیل یکسان بودن معبر و عدم‌تغییر در نوع و سطح تراکم درختان معابر است. در معابر با درختان همیشه‌سبز دمای تابشی ۲۰ و در معابر با درختان برگ‌ریز ۲۴ درجه سانتی‌گراد است. این تفاوت دمای تابشی نشان می‌دهد که این معبر و این پیاده‌رو در زمستان‌ها بهتر است بدون پوشش گیاهی باشد که بتواند نور بیشتری از خورشید را دریافت کند؛ و قابل‌ذکر است که در هر معبر نسبت به ظهر و نسبت به صبح دمای هر پیاده‌رو متفاوت است. سطح آسایش حرارتی در این معابر به دلیل نفوذ بیشتر جریان در معابر با درختان برگ‌ریز بدتر و حدود ۱- است.

با توجه به توصیفات بالا می‌توان دریافت در این معبر بحث بادشکن بودن درخت مهم است از طرفی بودن درختان سوزنی‌برگ در زمستان به‌واسطه سایه‌اندازی تأثیر منفی دارد. در این معبر اگر بتوان با تغییرات در ارتفاع ساختمان‌های ابتدای معبر به کاهش سرعت باد کمک کرد بهتر است درخت همیشه‌سبز کاشت. نشود ولی در صورت عدم امکان این موضوع در این معبر بهتر است در ابتدای معبر با درختان پرتراکم سوزنی‌برگ با ارتفاع زیاد سرعت باد کاسته شود زیرا سرعت باد سطح رضایتمندی حرارتی را در این معبر در فصل زمستان را کاهش داده است. در باقی طول معبر درختان همیشه‌سبز کاشت نشود بهتر است زیرا دریافت تابش خورشید در این معبر و در این فصل مهم است و در حالتی که درختان برگ‌ریز مورداستفاده قرارگرفته شرایط بهتری مشاهده می‌شود.



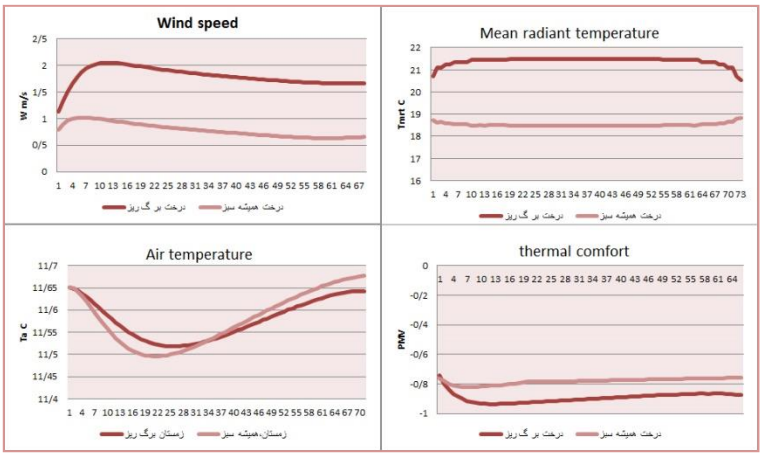
شکل ۲۱. مقایسه میان معابر با درختان برگ‌ریز و معابر با درختان همیشه‌سبز در چهار پارامتر (دمای هوا، دمای تابشی، سرعت باد، آسایش حرارتی) جهت‌گیری شمال شرقی- جنوب غربی فصل زمستان

سوزنی‌برگ کاج	پهن‌برگ، چنار



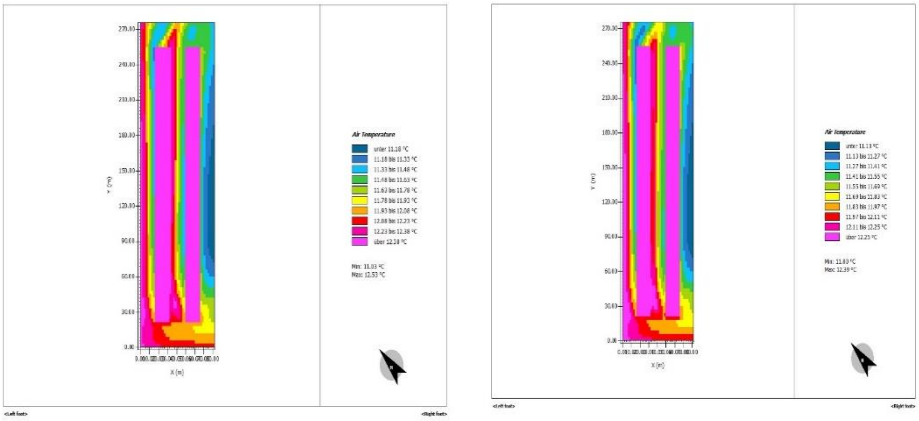
شکل ۲۲. نقشه حرارتی معبر شمال شرقی- جنوب غربی، زمستان با دو درخت پهن‌برگ و سوزنی‌برگ

جهت‌گیری شمال غربی- جنوب شرقی: در معابر با چرخش ۳۱۵ درجه در ابتدا به دلیل نفوذ باد سرعت باد ۱ متر بر ثانیه در معابر با درختان برگ‌ریز و ۰/۲ متر بر ثانیه در معابر با درختان همیشه‌سبز افزایش‌یافته و سپس به‌تدریج حدود ۰/۳ متر بر ثانیه در طول معابر از سرعت آن کاسته می‌شود. در معابر با درختان برگ‌ریز در زمستان سرعت باد به ۲ متر بر ثانیه می‌رسد. دمای تابشی در معابر با درختان برگ‌ریز بیشتر از درختان همیشه‌سبز است و حدود ۳ درجه بیشتر است. این افزایش دمای تابشی نمی‌تواند سرعت زیاد باد در این معابر را جبران کند و واضح است که نارضایتی سرمایی افزایش می‌یابد. تفاوت رضایتمندی حرارتی در این معابر حدود ۰/۱ واحد است. دمای هوا نیز تحت تأثیر سرعت باد در معابر برگ‌ریز کاهش‌یافته و با کاهش سرعت باد دمای هوا نیز به حالت اولیه برمی‌گردد.



شکل ۲۳. مقایسه میان معابر با درختان برگ‌ریز و معابر با درختان همیشه‌سبز در چهار پارامتر (دمای هوا، دمای تابشی، سرعت باد، آسایش حرارتی) جهت‌گیری شمال غربی - جنوب شرقی فصل زمستان

سوزنی‌برگ کاج	پهن‌برگ، چنار



شکل ۲۴. نقشه حرارتی معبر شمال غربی- جنوب شرقی، زمستان با دو درخت پهن‌برگ و سوزنی‌برگ

در تمام شکل‌های فوق نشان داده شد که درختان همیشه‌سبز در تابستان توانایی کمتری برای ایجاد رضایتمندی حرارتی دارند ولی در زمستان به دلیل کاهش سرعت باد به‌خصوص در معابر موازی جهت باد عملکرد مناسب‌تری از خود نشان می‌دهند. باید توجه داشت که این درختان در زمستان جلوی تابش خورشید را نیز می‌گیرند. به‌صورت کلی چون توانایی درختان برگ‌ریز در فصل تابستان برای کاهش دمای هوا حدود ۲ الی ۳ درجه بیشتر از درختان همیشه‌سبز است ولی در فصل زمستان توانایی درختان همیشه‌سبز برای گرم نگه‌داشتن محیط حداکثر به یک درجه می‌رسد، از طرفی شهر اصفهان دارای اقلیم گرم و خشک است و عملکرد پوشش گیاهی در تابستان بسیار مهم‌تر است و در تابستان استرس حرارتی بسیار زیاد دیده می‌شود؛ از طرفی قابل‌ذکر است که مردم در فصل زمستان به‌طورمعمول حدود ۴ درصد وقت خود را در بیرون می‌گذرانند و که بسیار کمتر از مدت‌زمانی است که مردم در فصل تابستان در محیط بیرون می‌گذرانند. از طرفی طبق آمارهای سازمان گردشگری استان اصفهان بیشتر گردشگران در فصل بهار و تابستان بهشهر اصفهان می‌روند. ازاین‌رو در مراحل بعدی تحقیق از درخت برگ‌ریز به‌عنوان پوشش گیاهی معابر استفاده‌شده است زیرا توانایی بیشتری در کاهش دمای هوا در فصل تابستان دارند.

نتیجه‌گیری

درختان برگ‌ریز در تابستان در هر چهار جهت‌گیری عملکرد بهتر داشته‌اند و pmv را حداکثر ۲/۵ واحد کاهش داده‌اند. در زمستان درختان همیشه‌سبز به‌واسطه محافظت معابر از باد سرد زمستانی شرایط آسایش بهتری بر اساس شاخص pmv فراهم کرده است. این بهبود حداکثر ۰/۳ واحد بوده است. درمجموع تابستان و زمستان درختان برگ‌ریز بهترین شرایط آسایش را مهیا کردند.

جدول ۷. متوسط سطح آسایش حرارتی در معابر با درختان برگ‌ریز و همیشه‌سبز در هر چهار جهت‌گیری

	تابستان	
	معابر با درختان برگ‌ریز	معابر با درختان همیشه‌سبز
شمالی- جنوبی	۳/۲	۴/۱

	تابستان	
	معابر با درختان برگ‌ریز	معابر با درختان همیشه‌سبز
شرقی- غربی	۳/۲	۴/۶
شمال شرقی – جنوب غربی	۳	۳/۷
شمال غربی-جنوب شرقی	۳/۱	۴/۶۵
	زمستان	
شمالی- جنوبی	-۰/۶۵	-۰/۵۵
شرقی- غربی	-۱	-۰/۶۶
شمال شرقی – جنوب غربی	-۱	-۰/۶
شمال غربی- جنوب شرقی	-۰/۹	-۰/۸

طبق جدول ۷ نشان داده‌شده است که در فصل تابستان با درختان برگ‌ریز بهترین شرایط آسایش ایجادشده است؛ در فصل زمستان معابر با درختان همیشه‌سبز شرایط بهتری از آسایش حرارتی را تجربه می‌کنند. در میان جهت‌گیری‌های مورد بررسی معابر با جهت‌گیری شمال شرقی- جنوب غربی شرایط بهتری نسبت به معابر دیگر دارند. از این نشان داده می‌شود که درخت چنان به دلیلی سطح سایه‌اندازی بیشتر و سطح تراکم برگ خود شرایط بهتری در محیط ایجاد می‌کند؛ اما در ترکیب دو فصل تابستان و زمستان باهم برای بهبود شرایط حرارتی باید در بخش‌های مختلف ترکیب مناسبی از کاشت درختان در نظر گرفته شود. ازاین‌رو راهکارهای زیر پیشنهاد می‌شود:

- در فصل زمستان در همه معابر وجود درختان همیشه‌سبز در ابتدای معابر با کاهش سرعت باد تأثیر مثبتی بر سطح آسایش حرارتی دارد ولی ادامهٔ معابر به دلیل کاهش دمای تابشی تأثیر منفی دارد ازاین‌رو پیشنهاد می‌شود. از درختان پهن‌برگ با تراکم بالا در بخش‌های میانی جهت سرمایش تبخیری در تابستان و درختان همیشه‌سبز با ارتفاع مناسب و تراکم بالا در ابتدای معابر جهت کاهش سرعت باد در زمستان به کار گرفته شود. اگر امکان کاش ترکیبی درختان در همه معابر وجود نداشت راهکارهای بعدی می‌تواند کارآمد باشد.
- در جهت‌گیری شمالی - جنوبی با توجه به نتایج تابستان و زمستان در طول معبر از درختان برگ‌ریز استفاده شود.
- در جهت‌گیری شمال غربی- جنوب شرقی با توجه نتایج تابستان و زمستان در طول معبر تنها از درختان برگ‌ریز یا پهن‌برگ استفاده شود.
- در جهت‌گیری شرقی- غربی و جهت‌گیری شمال شرقی- جنوب غربی با توجه به جهت باد و نتایج آسایش حرارتی در تابستان و زمستان نیاز است در ابتدا و انتهای معابر از درختان سوزنی‌برگ در ترکیب درختان برگ‌ریز استفاده شود. در قسمت‌های مرکزی می‌توان صرفاً درختان برگ‌ریز یا پهن‌برگ کاشت شود.
- با توجه به این موضوع که درختان چنار به دلیل سرمایش تبخیری و سایه‌اندازی در تابستان بسیار مؤثرتر از درخت کاج (سوزنی‌برگ) هستند بهتر است فاصله درختان با توجه به قطر تاج درختان (تاج به تاج) طراحی شود تا سایه‌اندازی کاملی در پیاده‌روها داشته باشد.

قابل‌ذکر است این مقاله شروعی بر تحقیق در این رابطه در معابر شهر اصفهان هست و جهت رسیدن به الگوی دقیق و طرح کاشت مناسب درختان در هر جهت‌گیری و هر نسبت ارتفاع به عرض نیاز است تحقیقات گسترده‌تری صورت گیرد که عوامل مؤثر دیگر مانند خط آسمان معابر، مصالح معابر، سطح تراکم درختان و فواصل دقیق آنها و ... مورد بررسی قرار گیرد.

References

[1] Jamei, E., Rajagopalan, P., Seyedmahmoudian, M., & Jamei, Y. (2016). Review on the impact of urban geometry and pedestrian level greening on outdoor thermal comfort. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *54*, 1002-1017. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.104

[2] Fahmy, M., Sharples, S., & Yahiya, M. (2010). LAI based trees selection for mid latitude urban developments: A microclimatic study in Cairo, Egypt. *Building and Environment*, *45*(2), 345-357. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.06.014

[3] Shahidan, M. F., Shariff, M. K. M., Jones, P., Salleh, E., & Abdullah, A. M. (2010). A comparison of Mesua ferrea L. and Hura crepitans L. for shade creation and radiation modification in improving thermal comfort. *Landscape and Urban Planning*, *97*(3), 168-181. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.008

[4] Givoni, B. (1991). Impact of planted areas on urban environmental quality: A review. *Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere*, *25*(3), 289-299. https://doi.org/10.1016/0957-1272(91)90001-U

[5] Vailshery, L. S., Jaganmohan, M., & Nagendra, H. (2013). Effect of street trees on microclimate and air pollution in a tropical city. *Urban Forestry & Urban Greening*, *12*(3), 408-415. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2013.03.002

[6] Grimmond, C. S. B., & Oke, T. R. (1991). An evapotranspiration-interception model for urban areas. *Water Resources Research*, *27*(7), 1739-1755. https://doi.org/10.1029/91WR00557

[7] Srivanit, M., & Hokao, K. (2013). Evaluating the cooling effects of greening for improving the outdoor thermal environment at an institutional campus in the summer. *Building and Environment*, *66*, 158-172. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.04.012

[8] Srivanit, M., & Jareemit, D. (2020). Modeling the influences of layouts of residential townhouses and tree-planting patterns on outdoor thermal comfort in Bangkok suburb. *Journal of Building Engineering*, *30*, 101262. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101262

[9] De, B., & Mukherjee, M. (2018). "Optimisation of canyon orientation and aspect ratio in warm-humid climate: Case of Rajarhat Newtown, India". *Urban Climate*, *24*, 887-920. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.11.003

[10] Deng, J-Y., & Wong, N. H. (2020). Impact of urban canyon geometries on outdoor thermal comfort in central business districts. *Sustainable Cities and Society*, *53*(2), 101966. https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101966

[11] Mi, J., Hong, B., Zhang, T., Huang, B., & Niu, J. (2020). Outdoor thermal benchmarks and their application to climate–responsive designs of residential open spaces in a cold region of China. *Building and Environment*, *169*(3), 106592. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106592

[12] Ouali, K., El Harrouni, K., Abidi, M. L., & Diab, Y. (2020). Analysis of Open Urban Design as a tool for pedestrian thermal comfort enhancement in Moroccan climate. *Journal of Building Engineering*, *28*(122), 101042. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.101042

[13] Sudprasert, S. (2019). Evaluation of energy savings by retrofitting of the building envelope of air-conditioned row house. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies*, *16*(1), 83-92. https://so02.tci-thaijo.org/index.php/jars/article/view/152099/138262

[14] Abdallah, A. S. H., & Mahmoud, R. M. A. (2022). Urban morphology as an adaptation strategy to improve outdoor thermal comfort in urban residential community of new assiut city, Egypt. *Sustainable Cities and Society*, *78*, 103648. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103648

[15] Akbari, H., Kurn, D. M., Bretz, S. E., & Hanford, J. W. (1997). Peak power and cooling energy savings of shade trees. *Energy and Buildings*, *25*(2), 139-148. https://doi.org/10.1016/S0378-7788(96)01003-1

[16] Santamouris, M. (2013). *Energy and Climate in the Urban Built Environment.* Routledge. https://books.google.com/books/about/Energy_and_Climate_in_the_Urban_Built_En.html?id=_r_9lPbjxX8C

[17] Tan, Z., Chung, S. C., Roberts, A. C., & Lau, K. K-L. (2019). Design for climate resilience: influence of environmental conditions on thermal sensation in subtropical high-density cities. *Architectural Science Review*, *62*(1), 3-13. https://doi.org/10.1080/00038628.2018.1495612

[18] Mahmoud, H., Ghanem, H., & Sodoudi, S. (2021). Urban geometry as an adaptation strategy to improve the outdoor thermal performance in hot arid regions: Aswan University as a case study. *Sustainable Cities and Society*, *71*, 102965. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102965

[19] Abreu-Harbich, L., Labaki, L., & Matzarakis, A. (2012, August 6-10). *Thermal bioclimate on idealized urban street canyons in Campinas, Brazil.* 8th International Conference on Urban Climates, University College Dublin, Dublin Ireland. https://www.researchgate.net/publication/262560211_Thermal_bioclimate_on_idealized_urban_street_canyons_in_Campinas_Brazil

[20] Darvish, A., Eghbali, G., & Eghbali, S. R. (2021). Tree-configuration and species effects on the indoor and outdoor thermal condition and energy performance of courtyard buildings. *Urban Climate*, *37*(3), 100861. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100861

[21] Kotzen, B. (2003). An investigation of shade under six different tree species of the Negev desert towards their potential use for enhancing micro-climatic conditions in landscape architectural development. *Journal of Arid Environments*, *55*(2), 231-274. https://doi.org/10.1016/S0140-1963(03)00030-2

[22] Leuzinger, S., Vogt, R., & Körner, C. (2010). Tree surface temperature in an urban environment. *Agricultural and Forest Meteorology*, *150*(1), 56-62. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.08.006

[23] Correa, E., Ruiz, M. A., Canton, A., & Lesino, G. (2012). Thermal comfort in forested urban canyons of low building density. An assessment for the city of Mendoza, Argentina. *Building and Environment*, *58*, 219-230. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.06.007

[24] Gulyás, Á., Unger, J., & Matzarakis, A. (2006). Assessment of the microclimatic and human comfort conditions in a complex urban environment: Modelling and measurements. *Building and Environment*, *41*(12), 1713-1722. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.07.001

[25] Johansson, E., & Emmanuel, R. (2006). The influence of urban design on outdoor thermal comfort in the hot, humid city of Colombo, Sri Lanka. *International Journal of Biometeorology*, *51*(2), 119-133. https://doi.org/10.1007/s00484-006-0047-6

[26] Ng, E., Chen, L., Wang, Y., & Yuan, C. (2012). A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong. *Building and Environment*, *47*(1), 256-271. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.07.014

[27] Huttner, S., & Bruse, M. (2009, June 29-July 3). *Numerical modeling of the urban climate–a preview on ENVI-met 4.0.* 7th international conference on urban climate, Yokohama, Japan. https://www.researchgate.net/publication/237757978_Numerical_modeling_of_the_urban_climate_-_a_preview_on_ENVI-met_40

[28] System, E. A. (2018). *Welcome at The EAS Group*. EAS. https://www.envimet.com/en/