

بررسی تأثیر عناصر طبیعی بر آسایش حرارتی در حیاط خانه‌های تاریخی شهر اصفهان

سمیرا محمدی مقدم*: دانشجوی دکتری معماری، دانشکده معماری، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران.
حسن اکبری: دانشیار گروه معماری، دانشکده معماری، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
حجت ا... رشید کلویر: دانشیار گروه معماری، دانشکده محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
توحید حاتمی خانقاھی: دانشیار گروه معماری، دانشکده محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

Investigating the effect of natural elements on thermal comfort in the courtyards of historic houses in Isfahan city

Abstract

Studies show that the temperature has increased in recent decades and we are facing the heat island phenomenon. This phenomenon has a negative effect on thermal comfort of the residents, and in this sense, cities have faced many challenges, including changes in microclimates and using more energy. Therefore, there is an urgent need for thermal adjustment solutions. Considering that vegetation is one of the most common ways to improve thermal comfort in cities, this research aims to investigate how natural elements such as vegetation and water affect thermal comfort in the courtyards of a number of historical houses in Isfahan. For this purpose, a number of historical houses with central courtyard in Isfahan city are modeled and simulated by Envimet 4 software, and the results related to the changes of Predicted Mean Vote index for the first day of July are calculated. The relationship between natural elements and thermal comfort index is investigated by univariate and multiple regression methods. The changes of thermal comfort index over time show that vegetation can always improve thermal comfort in the microclimate of central courtyard. Regression analysis shows that the factor with the greatest effect on improving thermal comfort is tree cover, while grass and water have a little negative effect on thermal conditions in some hours. Trees both reduce Predicted Mean Vote under the canopy and also reduce the average of index in the whole courtyard in summers of hot arid climates.

Keywords: Thermal comfort, Predicted Mean Vote, ENVI-met, Vegetation, Isfahan.

چکیده

مطالعات نشان می‌دهد در دهه‌های اخیر دما افزایش پیدا کرده و ما با پدیده جزیره گرمایی روبرو هستیم. این پدیده تأثیر منفی برآسایش حرارتی ساکنان دارد و شهروها به این لحاظ دچار چالش‌های فراوانی از جمله تغییر در خرداقلیم‌ها و نیازمند انرژی بیشتر شده‌اند؛ بنابراین نیاز مبرم به راهکارهای تعديل حرارتی احساس می‌شود. با توجه به این که پوشش گیاهی از متداول‌ترین راهکارهای ارتقاء آسایش حرارتی در شهرها است این پژوهش بر آن است تا میزان و چگونگی تأثیر عناصر طبیعی از جمله پوشش گیاهی و آب را برآسایش حرارتی در حیاط تعدادی از خانه‌های تاریخی شهر اصفهان مورد بررسی قرار دهد. به این منظور تعدادی از خانه‌های تاریخی و حیاط مرکزی شهر اصفهان نرمافزار آنیمت ۴ مدل‌سازی و مورد شبیه‌سازی قرار گرفتند و نتایج مربوط به تغییرات شاخص متوسط آرای پیش‌بینی شده برای اولین روز تیرماه محاسبه شدند. بررسی رابطه میان عناصر طبیعی و شاخص آسایش حرارتی به روش رگرسیون تک متغیره و چندمتغیره انجام شد. روند تغییرات شاخص آسایش حرارتی با گذشت زمان نشان داد که فضای سبز همواره می‌تواند باعث ارتقاء آسایش حرارتی در خرداقلیم حیاط مرکزی شود. تحلیل رگرسیون نشان می‌دهد که عاملی که بیشترین تأثیر را در تعديل آسایش حرارتی دارد پوشش درختی است در حالی که دو عامل چمن و آب در برخی ساعات تأثیر منفی هرچند بسیار کم بر شرایط حرارتی دارند. کاشت درختان هم باعث کاهش شاخص متوسط آرای پیش‌بینی شده در زیر تاج پوش درختان و هم باعث کاهش میانگین این شاخص در کل حیاط در تاستان‌های اقلیم گرم و خشک می‌شود.

وازگان کلیدی: آسایش حرارتی، شاخص متوسط آرای پیش‌بینی شده، آنیمت، پوشش گیاهی، اصفهان.

مقدمه

دلیل همپوشانی بسیاری از ویژگی‌های شهرهای اقلیم گرم و خشک ایران و جهت بررسی دقیق‌تر، شهر اصفهان با توجه به داشتن تمامی پارامترهای طراحی معماري در اقلیم گرم و خشک به عنوان نمونه‌ی موردي در این تحقیق در نظر گرفته شد. پارامترهای اقلیمی تمامی شهرهای بر روی عرض و طول جغرافیایی شهر اصفهان، با یکدیگر همسان بوده و اختلاف جزئی در آن‌ها تأثیر چندانی بر روی نتایج، نخواهد داشت. تمامی پارامترهای اقلیمی شهرهای اقلیم گرم و خشک دارای ایستگاه سینوپتیک هوشنگی، با یکدیگر مقایسه شده و به جز اختلاف در جهت جریان باد، سایر پارامترها اختلاف چندانی باهم نداشتند. لذا شهر اصفهان به عنوان الگوی شهرهای گرم و خشک انتخاب شد (رشیدفر و نصراللهی، ۱۳۹۵: ۳۲). این پژوهش در راستای استفاده از خاصیت سرمایش غیرفعال حیاط‌های مرکزی به دنبال بررسی میزان آسایش حرارتی ناشی از عناصر مستقل حیاط‌های مرکزی همچون آب و پوشش گیاهی انجام شده است.

پیشنهاد پژوهش

امروزه با افزایش جمعیت، تراکم شهری و همچنین افزایش گرمای زمین، توجه به آسایش حرارتی در فضاهای باز شهری اهمیت بیشتری پیدا کرده است. پژوهش‌های بسیاری در این حوزه به بررسی نقش عوامل مختلف مؤثر برآسایش حرارتی از جمله پارامترهای اقلیمی و عواملی چون جهت‌گیری خیابان، مصالح، ضریب دید به آسمان، آب و پوشش گیاهی پرداخته‌اند. کاراکونوس^۳ و همکاران در یک پژوهش از طریق مداخلات بیوکلایم‌تیکی همچون تغییر مصالح سنتگرفش‌ها به مواد سرد، افزایش پوشش گیاهی و آب در منطقه‌ای از شهر سرس یونان به بررسی پارامترهای اقلیمی شامل دمای هوای سطح، دمای متوسط تابشی^۴ و همچنین ارزیابی آسایش حرارتی با استفاده از شاخص متوسط آرای پیش‌بینی شده^۵ پرداختند. نتایج نشان داد دما در بخش بزرگی از منطقه مورد مطالعه کاهش یافت. بیشترین کاهش مربوط به بخشی از منطقه که پوشیده از سنتگرفش‌هایی با انعکاس بالای خورشید، پوشش گیاهی و آب است، می‌باشد و مقدار آن برابر با ۹٪ درجه سانتی‌گراد است. دمای سطح کاهش بیشتری را نشان داد و تأثیر متریال‌های سرد بر این کاهش دما کاملاً واضح است. بیشترین کاهش درجه سانتی‌گراد و مربوط به مناطقی با پوشش خاک فشرده و پوشش گیاهی است. در بیشتر مناطقی که دارای متریال‌های سرد بودند افزایش

مدیریت شهری

فصلنامه علمی پژوهشی
مدیریت شهری و روستایی
شماره ۷۱. تابستان ۱۴۰۲

Urban management
No. 71 Summer 2023

مطالعات نشان می‌دهد در دهه‌های اخیر دما افزایش پیدا کرده و ما با پدیده جزیره گرمایی^۱ روبه‌رو هستیم. این پدیده تأثیر منفی برآسایش حرارتی^۲ ساکنان دارد (هاصح‌زاده، خاک‌زند و اجاقلو، ۱۴۰۸: ۱) و شهرها به این لحاظ دچار چالش‌های فراوانی از جمله تعییر در خردالیم‌ها و نیازمند انرژی بیشتر شده‌اند؛ بنابراین نیاز مبرم به راهکارهای تعدیل حرارتی احساس می‌شود (داوطلب و همکاران، ۱۳۹۶: ۲۰). بشر در دوران بدوي نیز به دنبال راههایی برای دوری از گزند شرایط آب و هوایی بوده لذا برای ساختن مسکن خود به دنبال طراحی‌هایی بوده که از شرایط اقلیمی منشأ گرفته است (سلیقه، ۱۳۸۳: ۱۴۷). یک امر کلی که تقریباً در رابطه با کلیه ساختارهای سنتی ایران صدق می‌کند، همگونی آن‌ها و حیاط مسکونی با عوامل اقلیمی است (قبادیان، ۱۳۹۲: ۲). با توجه به اهمیت طراحی غیرفعال ساختمان‌ها برای کاهش مصرف انرژی‌های سرمایش و گرمایشی ساختمان‌ها در رویکردهای نوین جهانی، شناخت اهمیت و نحوه کار کرد گوهای معماری بومی در جهت کاهش فشار ناشی از ساختوسازهای نوین بر محیط طبیعی و تلاش در راستای احیای چنین الگوهایی در معماری کشور ما ضروری است (تابان، پورجعفر، بمانیان و حیدری، ۱۳۹۲: ۴۱). آسایش حرارتی در حیاط‌های مرکزی اقلیم گرم و خشک از طریق محوریت خود، ابعاد معین، جهت‌گیری، مکانیابی هدفمند، استفاده از عناصر طبیعی همچون پوشش گیاهی و آب قابل تأمین است. پوشش گیاهی از طریق کاهش گردوغبار اطراف ساختمان؛ متمرکز کردن جریان باد و افزایش سرعت آن در جهت دلخواه، افزایش رطوبت در اقلیم‌های خشک؛ کاهش دما (درجه حرارت) در اطراف ساختمان می‌تواند آسایش حرارتی را تحت تأثیر قرار دهد (افشاری بصیر، ۱۳۹۶: ۲۹۸). تاکنون روش‌های متعددی برای تعدیل حرارتی و کاهش جزایر حرارتی پیشنهاد شده است که از آن میان دو فاکتور مصالح و گیاه به عنوان فاکتورهای پیشنهادی در بسیاری از راهکارهای تعدیل حرارتی دیده می‌شوند. بیشتر تحقیقات میدانی درباره اثر پوشش گیاهی درباره اقلیم‌های مدیترانه‌ای، اقیانوسی، گرم‌سیری و نیمه‌گرم‌سیری به انجام رسیده است و کمترین میزان تحقیقات میدانی در زمینه اقلیم گرم و بیابانی انجام یافته است. در حالی که به نظر می‌رسد بیشترین اثرگذاری فضای سبز در تعدیل حرارتی در این اقلیم قابل مشاهده باشد و نیاز این اقلیم به کاهش دما با توجه به طبیعت خشن آن و وجود محیط‌زیست شدید و سخت برای ساکنان، بیش از سایر اقلیم‌های معرفی و تبیین شده است (داوطلب و همکاران، ۱۳۹۷: ۵). به

3- Karakounos

4- Mean radiant temperature

5- Predicted Mean Vote(PMV)

1- Heat island

2- Thermal comfort

تابستان و زمستان دارد. فرم مربع زمانی که ساختمان‌های جنوبی کوتاه‌ترند و فاصله شمالی جنوبی عریض‌تر است، دارای محیط حرارتی راحت‌تری در زمستان است. (لیو و همکاران، ۲۰۱۹: ۳۹۶۰).

در پژوهشی دیگر از سان^۵ و همکاران به بررسی تأثیر یک پارک کمربندی به طول ۹ کیلومتر برآسایش حرارتی در پکن با استفاده از شبیه‌سازی عددی پرداخته شده است. نتایج نشان داد مناطق تحت پوشش فضای سبز از سطح آسایش حرارتی بالاتری برخوردار هستند. در ساعت ۲ بعد از ظهر میانگین کاهش شاخص دمای معادل فیزیولوژیک از طریق فضای سبز شهری حدود ۲ درجه سانتی‌گراد است که حداقل و حداقل مقدار آن به ترتیب ۶۱۵ و ۴۸- درجه سانتی‌گراد است. تجزیه و تحلیل رگرسیون نشان داد که مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در تعديل آسایش حرارتی درختان بلندتر است. (سان و همکاران، ۲۰۱۷: ۲۷۷). در سایه‌اندازی درختان و ساختمان‌ها برآسایش حرارتی عابران پیاده در هنگ‌کنگ و تأثیر این دو بر یکدیگر پرداخته شده است. نتایج نشان داد درهای شهری^۶ کم‌عمق نسبت به همتایان عمیقتر خود با ابعاد مشابه در معرض شرایط حرارتی بدتری قرار دارند. از بین تمام پارامترها، پیکربندی درخت، شاخص سطح برگ، ارتفاع درخت و ارتفاع تن به ترتیب در بهبود و تشید آسایش حرارتی روز و شب تأثیرگذار است. همچنین مشخص شد تأثیر درختان در ارتقاء آسایش حرارتی در روز با افزایش تراکم شهری کاهش و در شب افزایش پیدا می‌کند. این پژوهش درختان بلند با تراکم تاج‌پوش کمتر و تنه بلند را در دره‌های عمیقتر و درختان کوتاه با تراکم تاج‌پوش بیشتر و تنه کوتاه را برای دره‌های کم‌عمق و محیط‌های باز توصیه می‌کند (موراکینیو و همکاران، ۲۰۱۷: ۱).

مبانی نظری

آسایش حرارتی به عنوان شرایط ذهنی، بیان‌کننده رضایت از محیط حرارتی که با ارزیابی ذهنی تعیین می‌شود، تعریف شده که شامل چهار مؤلفه محیطی دمای هوا، رطوبت نسبی، باد و میانگین دمای تابشی و پارامترهای شخصی مانند میزان فعالیت و لباس استفاده‌کنندگان است (اشری^۷: ۵۵، ۲۰۱۰). آسایش حرارتی با توجه به نوع محیط به سه دسته تقسیم می‌شود: آسایش حرارتی در فضای باز (بیرونی)، آسایش حرارتی در فضای نیمه‌باز و آسایش

قابل‌توجه دمای متوسط تابشی مشاهده شد. همچنین در مناطقی با متریال سرد و با ضریب دید به آسمان بالا افزایش قابل‌توجه دمای متوسط تابشی و برعکس در مناطقی با خاک فشرده و پوشش گیاهی کاهش قابل‌توجه دمای متوسط تابشی مشاهده شد. در هر حال دمای متوسط تابشی قبل از اعمال مداخلات بیشتر از بعد آن است و شاخص متوسط آرای پیش‌بینی شده نیز در طول ساعات گرم کاهش یافته است (کاراکاتوس و همکاران، ۲۰۱۸: ۱۲۶۹، طالقانی و همکاران، آسایش حرارتی خارجی سه فرم منفرد، خطی و حیاط مرکزی را در گرم‌ترین روز در آب‌وهای معتمد هلنده با هم مقایسه کرده‌اند. این تحقیق نشان داد که مدت تابش مستقیم خورشید و دمای متوسط تابشی که تحت تأثیر مورفولوژی شهری هستند، مؤثرترین فاکتور در آسایش حرارتی فضای باز هستند. آن‌ها همچنین دریافتند که حیاط مرکزی، مطلوب‌ترین خرد اقلیم را در مقایسه با دو فرم دیگر شهری فراهم می‌کند (طالقانی و همکاران، ۲۰۱۵: ۴۵). در پژوهشی دیگر از بردیسی^۸ و همکاران ابتدا سطح آسایش حرارتی دانش‌آموzan در حیاط مدرسه در درجه حرارت بالا مورد بررسی قرار گرفت و سپس به بررسی الگوهای مختلف پوشش گیاهی جهت بالا بردن کیفیت فضای استفاده از نرم‌افزار آنیمت^۹ پرداخته شد. نتایج نشان داد اضافه کردن درخت‌ها در نقاط گیرنده بدون توجه به هندسه درخت به طور قابل‌توجهی می‌تواند مقادیر متوسط آرای پیش‌بینی شده را به میزان ۱ یا بیشتر کاهش دهد به این صورت که تبخیر و تعرق درختان دمای زیر تاج‌پوش آن‌ها را به مقدار ۳/۸ کلوین کاهش می‌دهد و همچنین اثر سایه تاج‌پوش درخت که تابش مستقیم خورشید را (به $w/m2400$) کاهش می‌دهد. این موارد متغیرهای اقلیمی و شاخص متوسط آرای پیش‌بینی شده را تحت تأثیر قرار می‌دهد (بردیسی و همکاران، ۲۰۱۶: ۲۰۶). لیو^{۱۰} و همکاران در یک پژوهش از طریق اندازه‌گیری‌های میدانی محیط حرارتی فضای باز مناطق مسکونی در سطح عابر پیاده در هاربین چین، تأثیر سه فرم از فضای باز (بلوک خطی، بلوک محصور و مربع) را بر محیط حرارتی و آسایش حرارتی با استفاده از شاخص دمای معادل فیزیولوژیک^{۱۱} بررسی کردند. نتایج نشان داد محیط حرارتی هر سه فرم در فصل انتقال نسبتاً راحت و در فصول تابستان و زمستان ناراحت است. بلوک کاملاً محصور با ضریب دید به آسمان پایین‌تر آسایش حرارتی مطلوب‌تری در تابستان و زمستان دارد. بلوک خطی با ساختمان‌های بلندتر و فاصله شمالی جنوبی عریض‌تر آسایش حرارتی مطلوب‌تری در

- 5 - Sun
6 - Morakinyo
7 - Urban canyon
8 - Ashrae

- 1 - El-Bardisy
2 - ENVI-met
3 - Liu
4 - Physiological Equivalent Temperature

همکاران، ۲۰۲۲: ۱). شرایط آسایش اقلیمی معمولاً با شاخص‌هایی بیان می‌گردد که در آن مجموعه‌ای از عناصر هواشناسی، انسانی و محیطی دخالت داده می‌شود. این شاخص‌ها داده‌های اقلیمی را به شکلی ارائه می‌کنند که نشان‌دهنده واکنش افراد به شرایط آب‌وهوایی است و در طبقه‌بندی عددی، درجه‌هایی را از بسیار مناسب تا نامناسب در بر می‌گیرند. این شاخص‌ها تفسیر تأثیرات پیچیده عناصر جوی را از آسایش انسان‌تر می‌کنند و امکان مقایسه مکان‌های مختلف را از دیدگاه آسایش اقلیمی فراهم می‌آورند. یک شاخص ایده‌آل می‌باشد از سه جنبه فیزیکی (مثل باران و برف...)، فیزیولوژیکی (مثل دمای هوای جنبه روان‌شناسی) و صاف بودن آسمان) ترکیب شده باشد. به علاوه در آن تعادل انرژی بین بدن و جو نیز لحاظ شده باشد (آروین و شجاعی زاده، ۱۳۹۳: ۹۱). شاخص دمای معادل فیزیولوژیک و شاخص متوسط آرای پیش‌بینی شده از جمله مهم‌ترین شاخص‌های فیزیولوژی- دما محسوب می‌شوند که هر سه جنبه ذکر شده در آن‌ها لحاظ شده است. مقیاس شاخص متوسط آرای پیش‌بینی شده نوعی تقسیم‌بندی احساس حرارتی ۷ درجه‌ای است که دامنه آن از $-5/3$ (سرد) تا $+5/3$ (گرم) تغییر می‌کند. صفر در این مقیاس نشان‌گر احساس حرارتی خنثی است. این شاخص، چهار عامل محیطی دمای هوای رطوبت نسبی، باد و میانگین دمای تابشی و دو عامل شخصی میزان فعالیت و لباس را مدنظر قرار داده است.

جدول ۱: مقادیر آستانه شاخص متوسط آرای پیش‌بینی شده در درجات مختلف حساسیت انسان (Matzarakis^۹: ۱۹۹۹؛ ۷۷)

PMV	حساسیت حرارتی
<-3/5	خیلی سرد
۳/-۵	سرد
۲/-۵	خنک
۱/-۵	کمی خنک
۰/-۵	Rahat
۰/۵	کمی گرم
۱/۵	گرم
۲/۵	خیلی گرم
۳/۵	داغ

روش پژوهش

در مطالعه حاضر به منظور بررسی تأثیر پوشش گیاهی بر پارامترهای آسایش حرارتی در حیاط‌های مرکزی خانه‌های

حرارتی در فضای سرپوشیده (داخلی) (فورجیارینی^۱، ۱۸۰: ۲۰۱۵). آسایش حرارتی در فضای خارجی علاوه بر شرایط اقلیمی، متأثر از محیط ساخته شده اطراف، پوشش سطح زمین، تبخیر و تعرق گیاهان و سایه ایجادشده توسط عوامل طبیعی و دست‌ساز است (محمودی و همکاران، ۱۳۸۹: ۶۰).

پوشش گیاهی از تأثیرگذارترین عوامل برآسایش حرارتی می‌باشد (اولو^۲ و همکاران، ۲۰۱۷: ۶۹۶ و همکاران، ۲۰۲۲: ۳، سان و همکاران، ۲۰۱۷: ۲۷۸، لی^۳ و همکاران، ۲۰۲۲: ۱۱۰۷). تحقیقات نشان داده است که وجود فضاهای باز و سبز چه در قالب فضاهای سبز عمومی بهصورت پارک‌ها، میدان‌ها، ادارات و چه فضاهای سبز خصوصی بهصورت باغات و منازل ویلایی، همگی در تعديل حرارتی نقش داشته و بر میزان و نوع فعالیت‌های اجتماعی افراد، اقلیم کلان‌شهری و همچنین بر شرایط درونی ساختمان‌ها اثر می‌گذارند. آشکار است که با فراهم کردن شرایط آسایش محیطی علاوه بر جنبه‌های شکلی و زیباشناستی مکان، می‌توان با ایجاد خرداقلیم‌های مناسب و مکان‌های شهری باکیفیت، مدت‌زمان و کیفیت حضور کاربران را در فضاهای باز افزایش داد و به تبع آن از زمان حضور افراد در فضاهای بسته و مصرف انرژی کاست (داوطلب و همکاران، ۱۳۹۷: ۳). زیرساخت‌های شهری سبز محیط‌های شهری را از نظر شرایط اقلیمی و آسایش حرارتی بهبود می‌بخشد: درختان، بام‌های سبز و پوشش گیاهی می‌توانند اثرات جزایر حرارتی را با سایه‌اندازی روی سطوح ساختمان، انحراف تابش خورشید و یا به وسیله اثر تبخیر و تعرق کاهش دهند (گاتو^۴ و همکاران، ۲۰۲۰: ۲، ۲۰۱۸: ۲۰۱۲). پوشش گیاهی شارهای تابشی طالقانی، ۲۰۱۸: ۲۰۱۲). پوشش شهری برخورد می‌کند کاهش می‌دهد و دمای هوای بیرون را بین ۲ تا ۶ درجه کاهش می‌کند و سانسیگراد بسته به گونه‌های گیاهی و موقعیت آن‌ها کاهش می‌دهد (موتانی^۵ و تودسکی^۶، ۲۰۱۶: ۱۳). درختان با تأثیر خنک‌کنندگی پدیده تبخیر و تعرق، کاهش تأثیر آب‌وهوای محلی، ایجاد اثر سایه و مقاومت در برابر باد، تأثیر مثبتی برآسایش اقلیمی انسان در فضای باز دارند (کانگ^۷ و همکاران، ۲۰۱۷: ۱۵). اثر خنک‌کنندگی فضای سبز با توجه به اندازه و نوع فضای سبز، ویژگی‌های ساختاری گیاهان و مدل فضایی فضای سبز متفاوت است (ژانگ و

1 - Forgiarini

2 - Evola

3 - Zhang

4 - Li

5 - Gatto

6 - Mutani

7 - Todeschi

8 - Kong

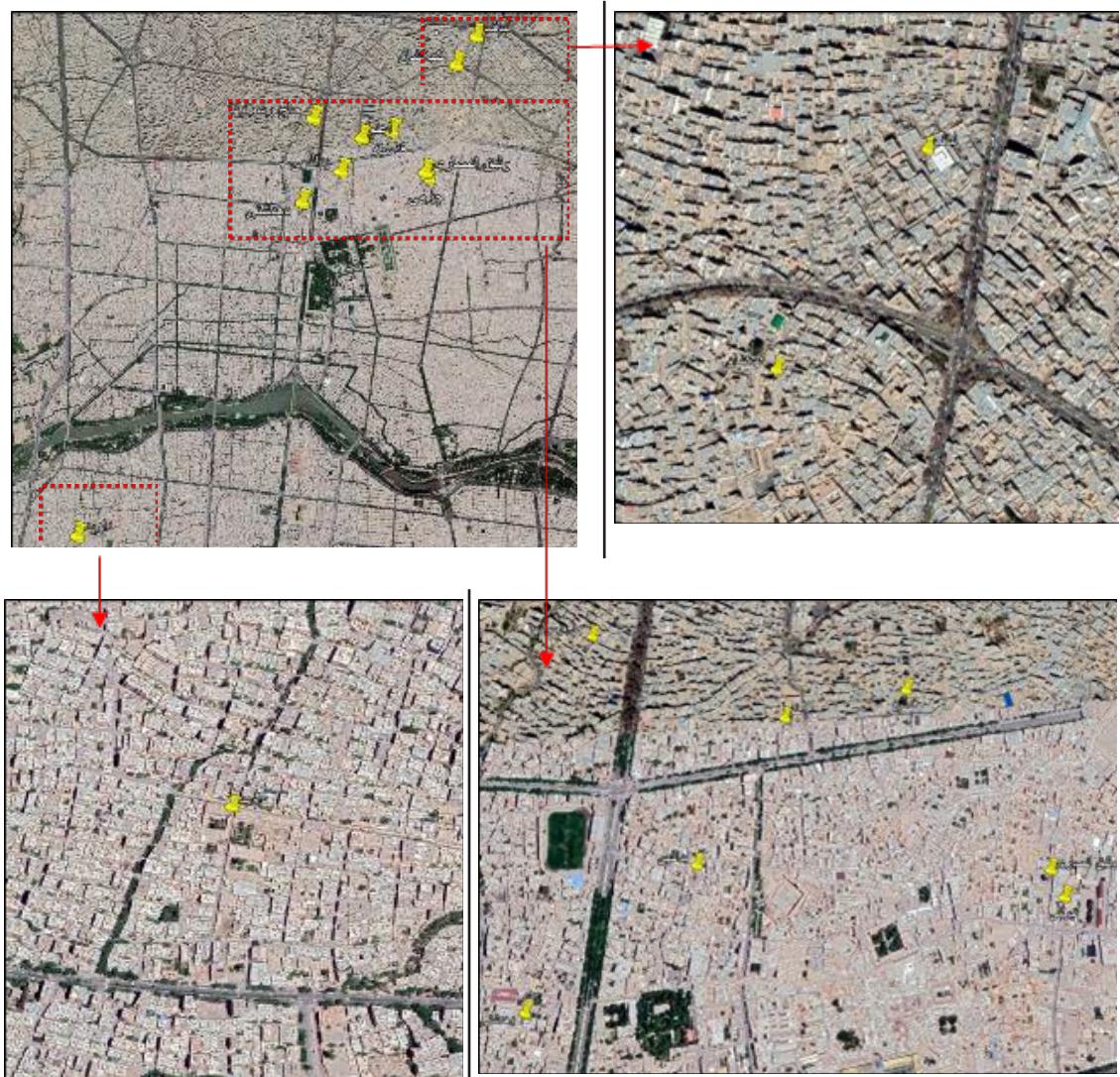
تاریخی اقلیم گرم و خشک از روش شبیه‌سازی با نرم‌افزار انویمت ۴ استفاده گردیده است. شبیه‌سازی‌ها در اولین روز تیرماه صورت گرفته است. ده خانه ثبت ملی و مستخرج از کتاب گنجنامه فرهنگ آثار معماری اسلامی ایران خانه‌های اصفهان انتخاب شدند و ویژگی‌های کالبدی حیاط مرکزی همچون ابعاد طولی و عرضی، ارتفاع جداره، جهت‌گیری و ویژگی‌های طبیعی همچون درصد آب و پوشش گیاهی (نام و تعداد) استخراج و مورد بررسی قرار گرفت. وضع موجود تمامی خانه‌های مورد مطالعه در نرم‌افزار انویمت بر اساس گردید $50^{\circ} \times 50^{\circ}$ ، اندازه هر شبکه ۱ متر و همچنین فرم و نوع پوشش درختی و فضای سبز در نرم‌افزار آلبرو^۱ مدل سازی گردید. داده‌های خروجی شامل دما، رطوبت، سرعت باد، دمای متوسط تابشی در ارتفاع ۵/۱ متری از سطح زمین و بهصورت میانگین ساعتی برای تمام محدوده حیاط از طریق نرم‌افزار لوناردو استخراج و جهت محاسبه شاخص متوسط آرای پیش‌بینی شده وارد بخش بیومت نرم‌افزار انویمت شدند در مرحله دوم اطلاعات مربوط به مشخصات عناصر طبیعی و شاخص آسایش حرارتی وارد نرم‌افزار اکسل شدند. ابتدا رابطه میان سه متغیر درصد پوشش درختی، سطح آب و درصد پوشش چمن با شاخص آرای متوسط پیش‌بینی شده بهصورت جداگانه با استفاده از روش رگرسیون تک متغیره مورد بررسی قرار گرفت. رگرسیون تک متغیره برای هرکدام از عناصر طبیعی تأثیرگذار بر شاخص آسایش حرارتی برای ۱۱ زمان مختلف در روز (ساعت ۸ تا ۱۸) بهطور جداگانه محاسبه شد. سپس برای تعیین مؤثرترین عنصر طبیعی بر شاخص آسایش حرارتی از رگرسیون چندمتغیره استفاده شد. اطلاعات ورودی به نرم‌افزار در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۲: اطلاعات پایه ورودی به نرم‌افزار

زمان شروع-پایان	۰۸:۰۰-۱۸:۰۰
دما (C°)	۳۱/۹
رطوبت نسبی (%)	۱۳/۹
سرعت باد (m/s)	۲/۵
جهت باد (degree)	۲۷۰ (SW)
سرعت راه رفت (m/s)	۱/۲۱
متاپولیک (met)	۱/۴۸
میزان مقاومت حرارتی لباس (clo)	۰/۵
میزان سوخت‌وساز (w/m ^۳)	۸۰

محدوده مورد مطالعه

شهر اصفهان شهری تاریخی و نیمه بیابانی است و آب و هوای آن در تقسیمات اقلیمی ایران با نوع نیمه صحرایی سرد یعنی با زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم مطابقت دارد. شهر اصفهان دارای طول جغرافیایی $51^{\circ} ۴۰' ۳۸^{\circ} ۳۲'$ عرض شمالی و در ارتفاع ۱۵۵۰ متر از سطح دریا قرار دارد. متوسط، حداقل و حداقل دمای شهر اصفهان به ترتیب $۴/۱۶$ ، $۰/۲$ و $۹/۲$ درجه سانتی‌گراد ($۱۹۵۱-۲۰۱۵$) و متوسط، حداقل و حداقل رطوبت نسبی به ترتیب $۳۸/۷$ ، $۵۷/۶$ و ۲۳ درصد می‌باشد ($۱۹۵۱-۲۰۱۵$). براساس شاخص کوین شهر اصفهان در محدوده بیابانی (BWk) قرار می‌گیرد. مشخصات کالبدی و طبیعی خانه‌های تاریخی مورد مطالعه در جدول ۳ ارائه شده است.



مدیریت شهری

فصلنامه علمی پژوهشی
مدیریت شهری و روستایی
شماره ۷۱. تابستان ۱۴۰۲

Urban management
No. 71 Summer 2023

۱۷۰

شکل ۱. موقعیت خانه‌های مورد مطالعه در شهر اصفهان

جدول ۳: مشخصات کالبدی و طبیعی خانه‌های مورد مطالعه

مشخصات حیاط				تصویر خانه و مدل انویمت	خانه
پوشش چمن (m²)	سطح آب (m²)	پوشش درختی (m³)	مساحت (m²)		
۷۴	۳۸	۲۵۴	۳۰۳/۸		اعلم (۱) $a = 0^\circ$
۱۶۰	۴۹	۳۸۲	۴۶۳/۱		چرمی (۲) $a = 19^\circ \text{sw}$
۲۸۸	۲۸	۷۴۸	۵۴۷/۵		داوید (۳) $a = 12^\circ \text{sw}$
۹۶	۳۰	۳۷۸	۸۸/۸		دهدشتی (۴) $a = 10^\circ \text{sw}$
۱۶۸	۴۰	۱۷۶۴	۴۵۱/۵		قدسیه (۵) $a = 0^\circ$
۳۲	۲۳	۴۸۸	۲۲۳/۸		کوهکشان (۶) $a = 22^\circ \text{sw}$
۱۲۰	۲۴	۹۸۰	۶۳۹/۶		لیاف (۷) $a = 35^\circ \text{sE}$
۶۰	۲۲	۳۵۴	۲۱۳		حاج رسولی‌ها (۸) $a = 30^\circ \text{sw}$
۴۲	۱۸	۵۸۸	۲۲۳/۶		وثيق انصاري (۹) $a = 86^\circ \text{sE}$
۳۵	۲۰	۳۹۴	۲۵۲/۵		یداللهی (۱۰) $a = 3^\circ \text{sw}$

میری شهری

فصلنامه علمی پژوهشی
مدیریت شهری و روستایی
شماره ۷۱. تابستان ۱۴۰۲

Urban management
No.71 Summer 2023

۱۷۱

جدول ۴: مشخصات پوشش گیاهی موجود در خانه‌های مورد مطالعه

				تصویر
همیشه سبز	همیشه سبز	همیشه سبز	همیشه سبز	گونه
کاج	کاج	کاج	کاج	نام
۱۰	۱۲	۳	۷	ارتفاع
۵	۷	۳	۵	پهنا
حاج رسولی‌ها	داوید، قدسیه، وثیق انصاری	دهدشتی	اعلم	
				تصویر
همیشه سبز	همیشه سبز	همیشه سبز	همیشه سبز	گونه
کاج	کاج	کاج	سیکاس	نام
۱۵	۱۲	۹	۵	ارتفاع
۵	۷	۳	۵	پهنا
چرمی	کهکشان	حاج رسولی‌ها	چرمی	
				تصویر
برگریز	همیشه سبز	همیشه سبز	همیشه سبز	گونه
شمشاد	برگ بو	سرخ	کاج	نام
۱	۵	۴	۹	ارتفاع
۱	۳	۳	۵	پهنا
اعلم، چرمی، داوید، دهدشتی	داوید، دهدشتی	دهدشتی	یداللهی	
				تصویر
برگریز	برگریز	برگریز	برگریز	گونه
توت	اقاقيا	انجیر	اقاقيا	نام
۹	۷	۷	۱۰	ارتفاع
۷	۵	۵	۷	پهنا
یداللهی	اعلم	داوید، کهکشان	لیاف	

نتایج

متغیرهای پوشش درختی، سطح آب و پوشش چمن و شاخص متوسط آرای پیش‌بینی شده جهت انجام تحلیل آماری وارد نرم‌افزار اکسل شدند. نتایج مربوط به رگرسیون خطی تکمتغیره و چندمتغیره که به منظور بررسی رابطه میان متغیرهای عناصر طبیعی و شاخص آسایش حرارتی انجام شده بود در ادامه ارائه شده است.

بررسی رابطه پوشش درختی و آسایش حرارتی

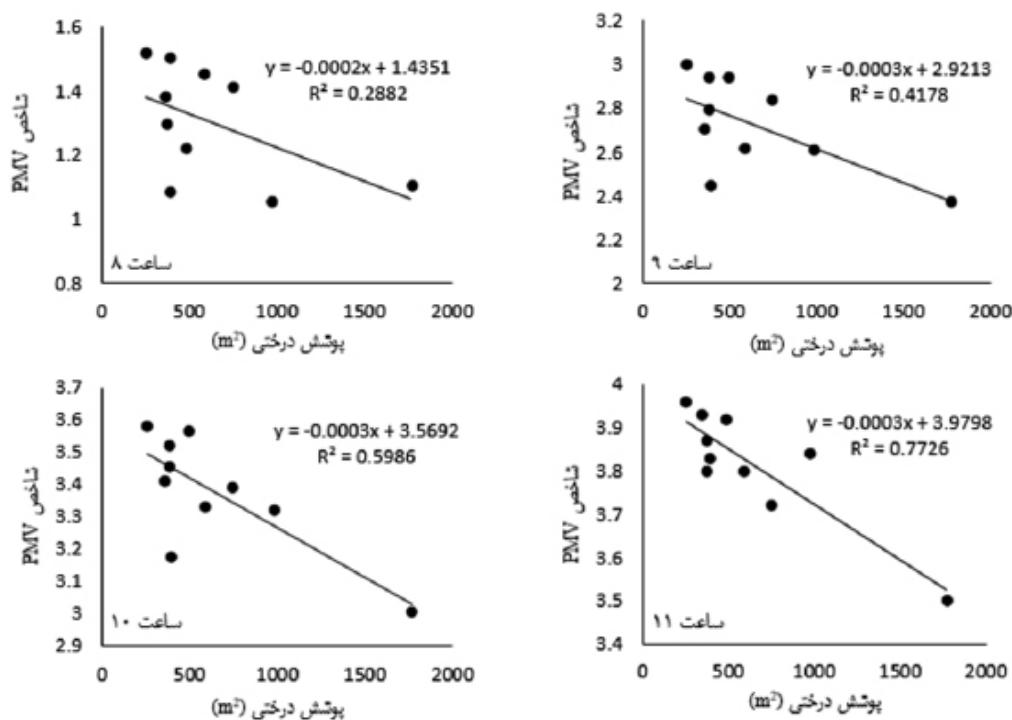
نمودارهای شکل ۲ و ضریب R^2 همبستگی بالا میان متغیر مستقل پوشش درختی و متغیر وابسته شاخص متوسط آرای پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد؛ به این معنی که با کاهش پوشش درختی شاخص آسایش افزایش یا کاهش پیدا می‌کند. لازم به ذکر است رابطه این دو متغیر در تمامی ساعت‌های جز ساعت ۴ و ۵ و ۶ بعدازظهر غیرمستقیم بوده و با افزایش پوشش درختی شاخص کاهش یافته، به این معنی که شرایط حرارتی حیاط به محدوده آسایش نزدیک شده است و در واقع پوشش درختی تأثیر مثبتی در ایجاد آسایش حرارتی داشته است؛ اما در ساعت‌های پایانی روز رابطه مستقیم است، به این معنی که با افزایش پوشش درختی شاخص افزایش یافته و حیاط از محدوده آسایش دور شده است. در مورد ساعت ۴ و ۵ و ۶ بعدازظهر می‌توان گفت که در این ساعت‌ها در محیط اطراف تاج پوش درخت دمای هوا به دلیل غروب خورشید پایین‌تر از زیر تاج پوش است. تاج پوش درختان حرارت جذب شده در طول روز را در زیر تاج محبوس کرده و باعث ایجاد هوایی گرم‌تر نسبت به محیط اطراف می‌شود. هم‌چنین به نظر می‌رسد میزان بالای دمای متوسط تابشی تاج پوش در کنار رطوبت نسبی حاصل از تبخیر و تعرق درخت باعث دور شدن حیاط از شرایط حرارتی مطلوب در این ساعت‌ها شده است. ضریب همبستگی (R^2) از ساعت ۸ صبح تا ساعت ۱۱ افزایش می‌یابد و به $8/0$ می‌رسد و پس از آن تا ساعت ۳ بعدازظهر کاهش یافته و به $5/0$ می‌رسد.

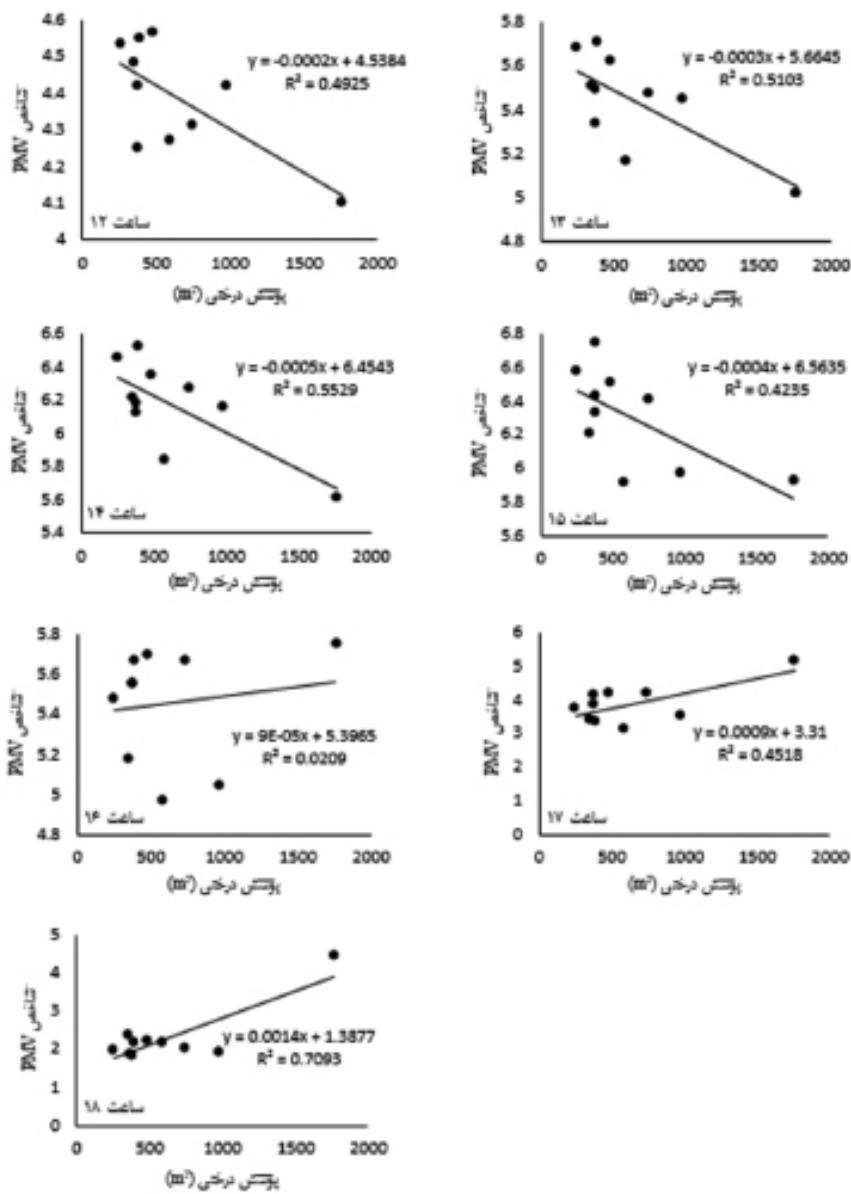
مدیریت شهری

فصلنامه علمی پژوهشی
مدیریت شهری و روستایی
شماره ۷۱. تابستان ۱۴۰۲

Urban management
No.71 Summer 2023

۱۷۳

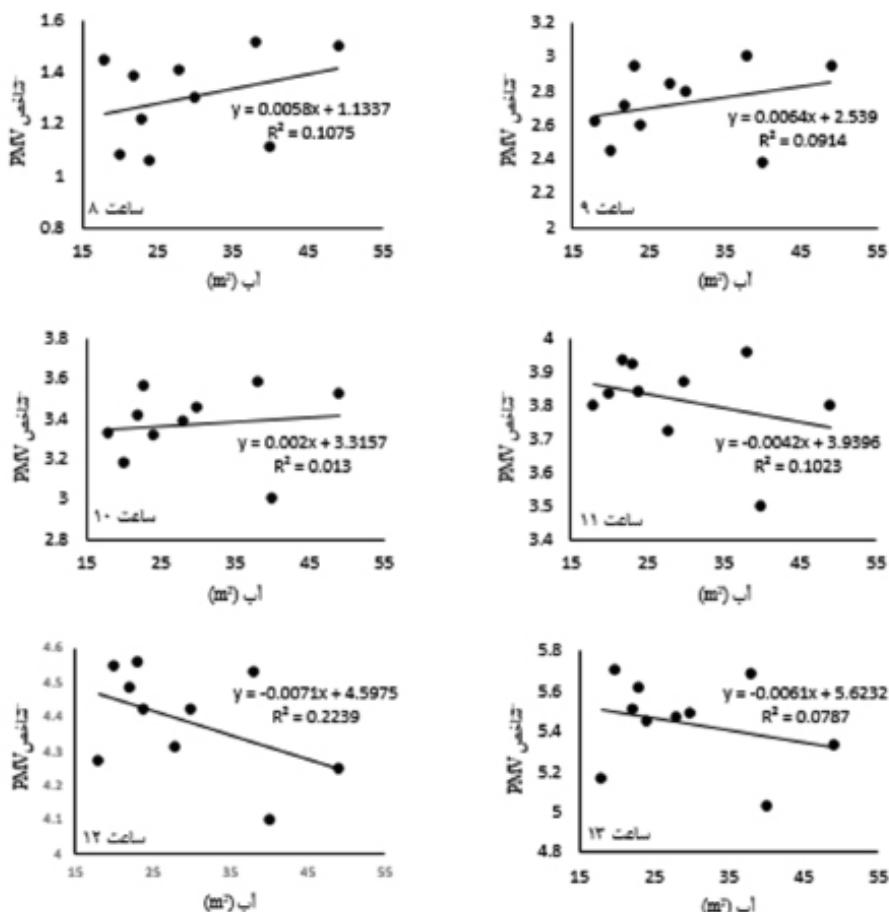


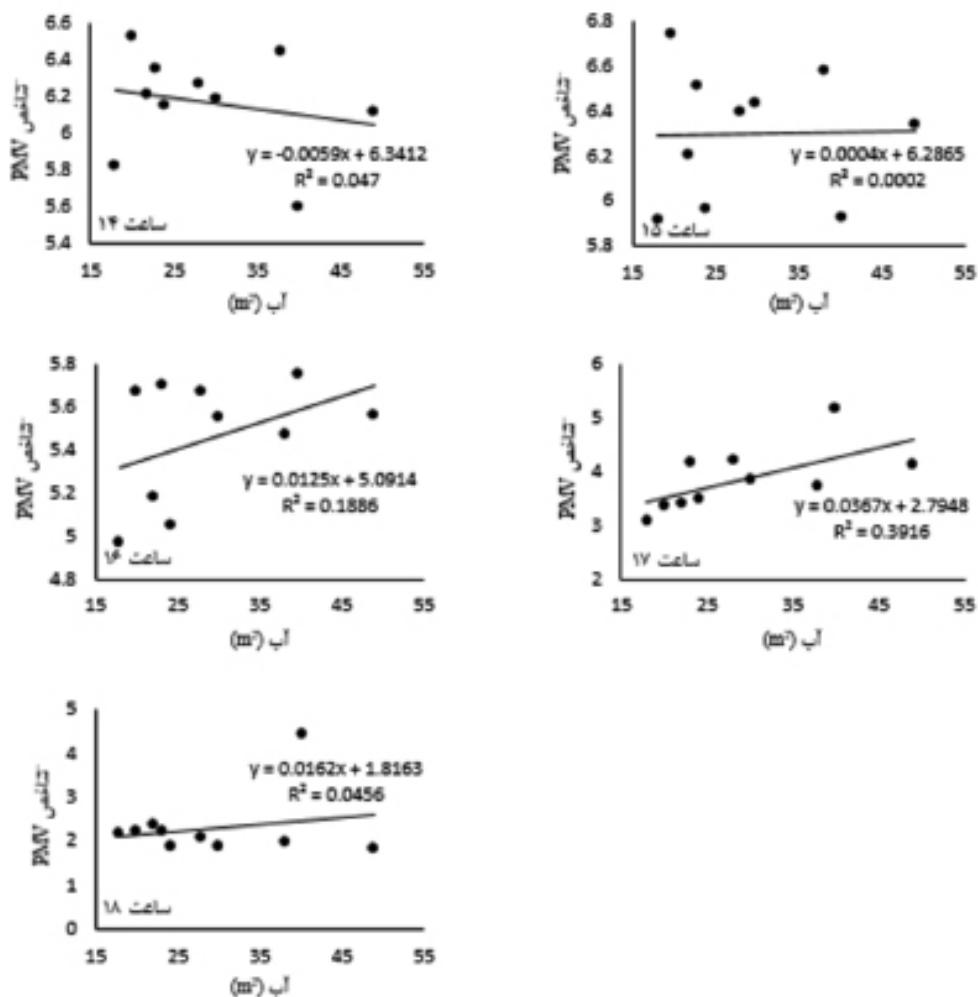


شکل ۲. رابطه بین پوشش درختی و شاخص آسایش حرارتی در ساعت مختلف روز

بررسی رابطه سطح آب و آسایش حرارتی

با توجه به نمودارهای شکل ۳ و ضریب تبیین (R^2) همبستگی منفی و بسیار ضعیف میان آب و شاخص آسایش در ساعت ۹، ۸ و ۱۰ صبح وجود دارد. بیشترین میزان همبستگی میان دو متغیر آب و شاخص متوسط آرای پیش‌بینی شده به ترقیب در ساعات ۱۱ و ۱۲ صبح و ۴ و ۵ بعدازظهر وجود دارد. در ساعات ۱۱ و ۱۲ صبح این رابطه غیرمستقیم است، به این معنی که با افزایش سطح آب شاخص آسایش کاهش یافته و حیاط به محدوده آسایش نزدیک شده است، در واقع حضور آب تأثیر مثبت در بهبود آسایش حرارتی داشته است اما در ساعات ۴ و ۵ این رابطه مستقیم است، به این معنی که با افزایش سطح آب شاخص آسایش افزایش یافته و حیاط از محدوده آسایش دور شده است. تأثیر بدنه آب برای تعديل خرداقلیم در موارد مختلف مثبت و منفی است. تبخیر بدنه آب می‌تواند درجه حرارت هوا را کاهش دهد اما همچنین ممکن است رطوبت نسبی را افزایش دهد که به نظر می‌رسد تأثیر منفی برآسایش حرارتی داشته باشد.





شکل ۲. رابطه بین سطح آب و شاخص آسایش حرارتی در ساعت‌های مختلف روز

مدیریت شهری

فصلنامه علمی پژوهشی
مدیریت شهری و روستایی
شماره ۷۱. تابستان ۱۴۰۲

Urban management
No. 71 Summer 2023

بررسی رابطه پوشش چمن و آسایش حرارتی

تأثیر پوشش چمن بر شاخص آسایش حرارتی تا حدودی نتایجی مشابه با تأثیر سطح آب را نشان می‌دهد. با توجه به نمودارهای شکل ۴ و ضریب R^2 بیشترین میزان همبستگی میان دو متغیر آب و شاخص متوسط آرای پیش‌بینی شده در ساعت ۱۱ و ۱۲ صبح و ۵ بعدازظهر به میزان ۰.۳۰ و ۰.۴ وجود دارد. در ساعت ۱۱ و ۱۲ صبح این رابطه غیرمستقیم است، به این معنی که با افزایش سطح آب شاخص آسایش کاهش یافته و حیاط به محدوده آسایش نزدیک شده است، در واقع حضور آب تأثیر مثبت در بهبود آسایش حرارتی داشته است اما در ساعت ۴ و ۵ این رابطه مستقیم است، به این معنی که با افزایش سطح آب شاخص آسایش افزایش یافته و حیاط از محدوده آسایش دور شده است. از یکسو چمن به دلیل آلبیدو کم می‌تواند با کاهش نسبت معینی از تابش منعکس شده و افزایش خنک‌کننده تبخیری خرداقلیم، آسایش حرارتی را در تابستان‌های گرم تعديل کند (اسنیر^۱ و همکاران، ۲۰۱۶؛^۲ و از طرف دیگر، اثر تبخیر منجر به افزایش رطوبت نسبی هوا بالای چمن می‌شود که در نتیجه می‌تواند آسایش حرارتی را از بین ببرد (وانگ^۳ و همکاران، ۲۰۲۱).

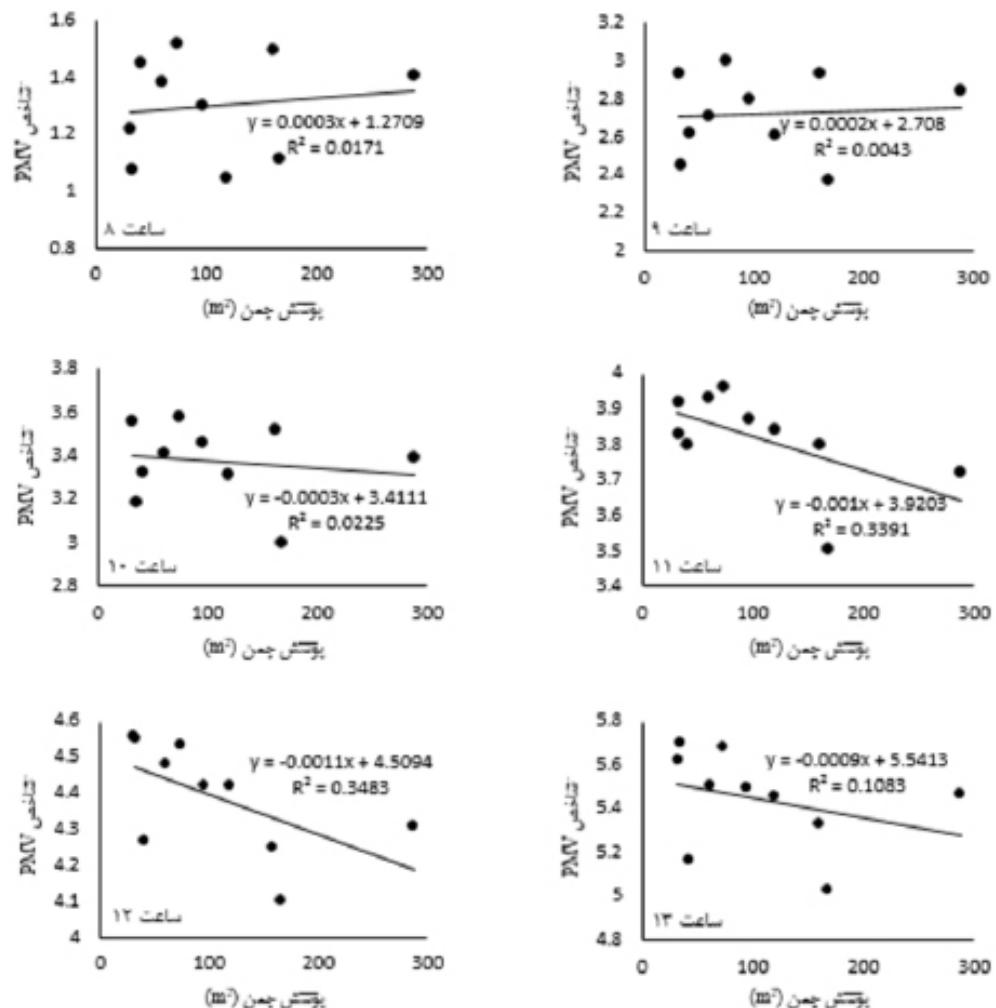
1 - Snir
2 - Wang

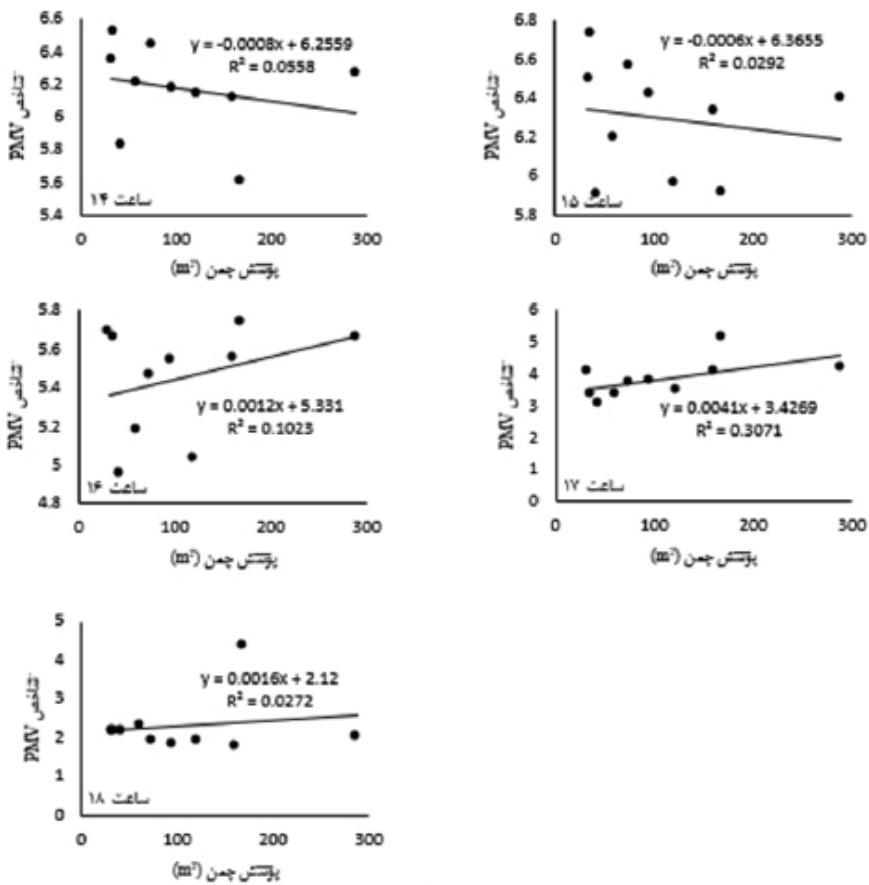
مدیریت شهری

فصلنامه علمی پژوهشی
مدیریت شهری و روستایی
شماره ۷۱. تابستان ۱۴۰۲

Urban management
No.71 Summer 2023

۱۷۷





شکل ۴. رابطه بین پوشش چمن و شاخص آسایش حرارتی در ساعات مختلف روز

بررسی آسایش حرارتی در ساعت ۳ بعدازظهر

توزیع فضایی مقادیر شاخص متوسط آرای پیش‌بینی شده در خانه‌های مورد مطالعه در ساعت ۳ بعدازظهر در شکل ۵ نشان داده شده است. سخت‌ترین شرایط حرارتی در ساعات ۲ تا ۴ بعدازظهر رخ می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقادیر شاخص در قسمت‌هایی از حیاط که دارای پوشش گیاهی است و بخش‌هایی که در سایه دیوارها قرار دارند به طور قابل توجهی نسبت به دیگر نقاط حیاط در تمامی خانه‌ها کمتر است. چمن می‌تواند شرایط خرداقلیم را به وسیله تبخیر و تعرق ارتقاء ببخشد (هولشر^۱ و همکاران، ۲۰۱۶). درختان نیز می‌توانند موجب تسريع تبخیر و تعرق را شوند و علاوه بر آن همچون سایه‌بان از تابش مستقیم خورشیدی جلوگیری کنند و بنابراین موجب بهبود آسایش حرارتی شوند (جورجی^۲ و ظفیریادیس^۳، ۲۰۰۶؛ ۱۹۶). در بقیه نقاط حیاط که پوشیده از درخت و پوشیده از سطوح سایه‌انداز نیستند، شاخص آسایش حرارتی مقادیر بالاتری را نشان می‌دهد. دلیل این اختلاف می‌تواند به خاطر افزایش بازتاب نور خورشید از دیوارهای بنا، سنگفرش‌های سخت و تنها و برگ‌های درختان و در واقع عدم تضعیف تابش خورشید باشد (دیسلت بارتون^۴ و همکاران، ۲۰۱۳؛ ۶۱۸، میدل^۵ و همکاران، ۲۰۱۴؛ ۱۷).

به عنوان مثال در خانه یبداللهی که دارای بیشترین میانگین شاخص در ساعت ۳ بعدازظهر است، میزان شاخص در قسمت‌های پوشیده از درخت حیاط برابر با $7/5$ ، در قسمت‌هایی از حیاط که در سایه دیوارها و بنا قرار دارند برابر با $2/5$

1 - Hoelscher

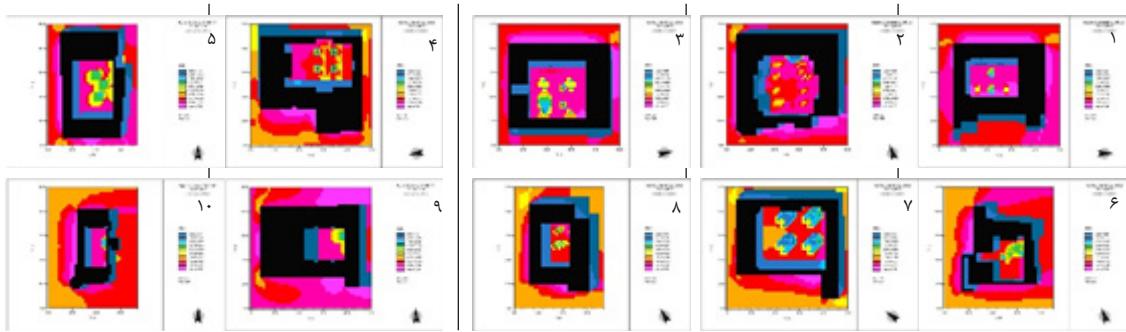
2 - Georgi

3 - Zafiriadis

4 - Decler-Barreto

5 - Middel

و در قسمت‌های دیگر برابر با $8/7$ می‌باشد. همچنین در خانه قدسیه که دارای کمترین میانگین شاخص در ساعت ۳ بعدازظهر است مقدار شاخص در بخش‌های پوشیده از درخت $1/5$ ، در بخش‌هایی که در سایه دیوارها قرار دارند $7/4$ و در دیگر قسمت‌های حیاط برابر با ۷ است.



شکل ۵. توزیع فضایی مقادیر شاخص متوسط آرای پیش‌بینی شده در خانه‌های مورد مطالعه در ساعت ۳ بعدازظهر، ۱. اعلم ۲. چرمی ۳. داوید ۴. دهدشتی ۵. قدسیه ۶. کهکشان ۷. لباف ۸. حاج رسولی‌ها ۹. وثیق انصاری ۱۰. بداللهی

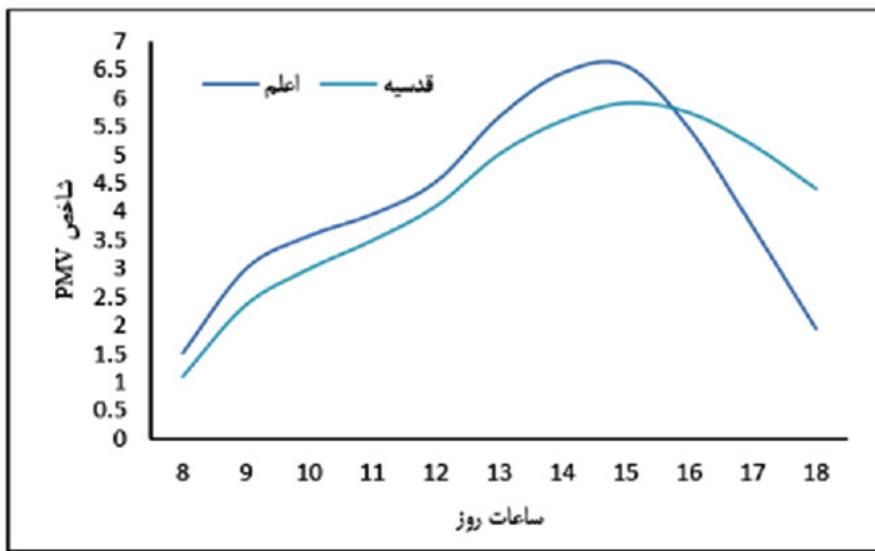
تغییرات ساعتی آسایش حرارتی

تغییرات زمانی شاخص متوسط آرای پیش‌بینی شده خانه قدسیه که دارای بیشترین پوشش گیاهی است از ساعت ۸ صبح تا ۶ بعدازظهر در شکل ۶ نشان داده شده است. ساعت ۹ صبح در حالی که سایر قسمت‌های حیاط در محدوده خیلی گرم قرار دارند، قسمت‌های پوشیده از درخت در محدوده گرم و قسمت‌هایی که در سایه دیوارها قرار دارند در محدوده کمی گرم قرار دارند. از این ساعت به بعد با افزایش زاویه ارتفاع خورشید حیاط گرمتر می‌شود و در ساعت ۳ بعدازظهر حیاط سخت‌ترین شرایط را به لحاظ آسایش حرارتی تجربه می‌کند؛ تمام حیاط در محدوده داغ قرار دارد با این تفاوت که شاخص آسایش حرارتی در قسمت‌های پوشیده از درخت به طور میانگین، عددی حدوداً ۲ واحد کمتر از سایر قسمت‌های حیاط در محدوده خیلی گرم، قسمت‌های پوشیده از درخت و سایر بخش‌های حیاط هر تعديل می‌شود و قسمت‌های سایه دار در محدوده خیلی گرم، قسمت‌های پوشیده از درخت و سایر بخش‌های حیاط هر دو در محدوده داغ قرار دارند با این تفاوت که شاخص آسایش حرارتی در قسمت‌های پوشیده از درخت یک واحد کمتر از سایر قسمت‌های حیاط است. همچنین در خانه اعلم که دارای کمترین پوشش گیاهی است در ساعت ۹ صبح در حالی که سایر قسمت‌های حیاط در محدوده خیلی گرم قراردادند، قسمت‌های پوشیده از درخت در محدوده گرم و قسمت‌هایی که در سایه دیوارها قرار دارند در محدوده کمی گرم قرار دارند. از این ساعت به بعد با افزایش زاویه ارتفاع خورشید حیاط گرم‌تر می‌شود و در ساعت ۳ بعدازظهر حیاط سخت‌ترین شرایط را به لحاظ آسایش حرارتی تجربه می‌کند؛ تمام حیاط در محدوده داغ قرار دارد با این تفاوت که شاخص PMV در قسمت‌های پوشیده از درخت به طور میانگین عددی حدوداً ۲ واحد کمتر از سایر قسمت‌های حیاط که تحت پوشش درخت و سایه دیوارها نیستند، نشان می‌دهد. پس از آن تا ساعت ۶ بعدازظهر شرایط آسایش تعديل می‌شود؛ در این ساعت تمام حیاط به دلیل تغییر زاویه ارتفاع خورشید در سایه بنا و دیوارها قرار می‌گیرد به همین دلیل در محدوده گرم قرار دارد.

نتایج نشان می‌دهد تغییرات مکانی و زمانی آسایش حرارتی تابع عواملی از چشم‌انداز می‌باشد. بخش بعدی اطلاعاتی درباره تأثیر هریک از این عوامل بر آسایش حرارتی می‌پردازد.

میزان تأثیر عناصر طبیعی مختلف بر شاخص آسایش حرارتی

تحلیل رگرسیون پارامترهای پوشش درختی، چمن و آب با شاخص آرای متوسط پیش‌بینی شده در ساعت ۳ بعدازظهر انجام شد تا میزان مشارکت هریک از این پارامترها در ارتقاء شاخص آسایش مشخص شود. مقادیر به دست آمده در جدول ۵ نشان داده شده است. ضریب بتا میزان تأثیر هر کدام از پارامترها بر شاخص آسایش را نشان می‌دهد. پوشش درختی تنها پارامتر قوی مؤثر بر ارتقاء آسایش حرارتی است زیرا عدد معنی‌داری (Sig) برای این عامل برابر با $0/036$ و کمتر از $0/05$ است. این تأثیر مثبت درختان به دلیل تعرق و سایه‌اندازی تاج‌پوش است که می‌تواند به صورت قابل توجهی



شکل ۶. تغییرات زمانی شاخص آسایش حرارتی در خانه قدسیه و خانه اعلم

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر به بررسی تأثیر عناصر طبیعی برآسایش حرارتی خرداقليم حیاط مرکزی در اقلیم گرم و خشک اصفهان با نگرشی کلی به عناصر و همچنین با نگرشی به اجزای آن (درخت، چمن و آب) پرداخته شده است. نتایج پژوهش نشان داد که آسایش حرارتی در محدوده دارای پوشش گیاهی و محدوده‌هایی که در سایه دیوارها و بنا هستند به دلیل عدم تابش مستقیم خورشیدی و کاهش بازتابش شرایط بهتری را نسبت به سایر نقاط حیاط در همه خانه‌ها نشان می‌دهد. روند تغییرات آسایش حرارتی با گذشت زمان نشان می‌دهد که فضای سبز همواره می‌تواند باعث ارتقاء آسایش حرارتی در خرداقليم حیاط مرکزی شود. تحلیل رگرسیون نشان می‌دهد عاملی که بیشترین تأثیر را در تعديل آسایش حرارتی دارد پوشش درختی است در حالی که دو عامل چمن و آب در برخی ساعت‌های تأثیر منفی هرچند بسیار کم بر شرایط حرارتی دارند.

هرچند امروزه خانه‌ای با ساختار حیاط مرکزی کمتر یافت می‌شود اما پیشنهاد می‌شود این ساختار و خرداقليم موجود در آن بیشتر مورد توجه طراحان معماری و طراحان شهری قرار گیرد زیرا ارتقاء آسایش حرارتی در هر خرداقليم می‌تواند بهنوبه خود موجب ارتقاء شرایط حرارتی شهر شود. این امر علاوه بر اینکه منظر شهری را ارتقاء می‌دهد موجب کاهش عارضه حرارتی و همچنین صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌شود. با توجه به اینکه کاشت درختان هم باعث کاهش شاخص متوسط آرای پیش‌بینی شده در زیر تاج‌پوش درختان و هم باعث کاهش میانگین شاخص آسایش حیاط در تابستان‌های اقلیم گرم و خشک می‌شود لازم است در طراحی مجتمع‌های مسکونی و آپارتمان‌ها،

تابش مستقیم خورشید را کاهش دهد (آبرو هاربیچ^۱ و همکاران، ۲۰۱۵: ۱۰۰). ضریب تبیین (R^2) نشان می‌دهد که متغیرهایی موجود در مدل رگرسیون (در اینجا عناصر طبیعی) چه میزان از تغییرات شاخص آسایش حرارتی را توصیف می‌کنند. حدود ۶۰ درصد از تغییرات شاخص آسایش مربوط به اثر پوشش درختی، چمن و آب می‌باشد. به نظر می‌رسد تغییرات شاخص آسایش حرارتی تنها تحت تأثیر این سه عامل نبوده و سایر عوامل نیز مؤثر هستند. برای مثال (احمدپور و همکاران، ۱۳۹۴: ۷۱) در تحقیق خود باد را عامل مؤثر معرفی کرده و بیان کرده که از ترکیب جریان بسیار ضعیف باد با پوشش گیاهی و سطوح آب می‌توان در جهت تقویت تأثیر این عناصر و تعدیل درجه حرارت محیط بهره برد.

جدول ۵: مقادیر رگرسیون چندمتغیره عناصر طبیعی

Sig.	ضرایب رگرسیون چندمتغیره		پارامترها
	B	Beta	
.۰۳۶	.۰۰۰	-.۰۷۹۱	پوشش درختی
.۰۶۱۱	.۰۰۰۱	.۰۱۷۴	چمن
.۰۶۲۳	.۰۰۰۴	-.۰۱۵۴	آب
	.۰۵۸۰		R^2

- طاهباز، منصورة، جلیلیان، شهریانو، موسوی، فاطمه (۱۳۹۱) آموزه‌هایی از معماری اقلیمی گذرهای کاشان، دو فصلنامه مطالعات معماری ایران، شماره ۱، ۵۹-۸۳.
- قبادیان، وحید (۱۳۹۲) بررسی اقلیمی اینه سنتی ایران، تهران: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
- محمودی، امیرسعید؛ قاضی‌زاده، ندا؛ منعام، علیرضا (۱۳۸۹) تأثیر طراحی در آسایش حرارتی فضای باز مجتمع‌های مسکونی (نمونه مورد مطالعه: فاز سه مجتمع مسکونی اکباتان)، نشریه هنرهای زیبا-معماری و شهرسازی، شماره ۴۲، ۷۰-۵۹.
- ASHRAE. ASHRAE standard 55e2010 in thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, GA: ASHRAE: 2010.
- De Abreu-Harbich, L.V., Labaki, L.C., Matzarakis, A. (2015). Effect of tree planting design and tree species on human thermal comfort in the tropics, *Landscape Urban. Plan*, 138, 99-109.
- Declet-Barreto, J., Brazel, A.J., Martin, C.A., Chow, W.T., Harlan, S.L. (2013). Creating the park cool island in an inner-city neighborhood: heat mitigation strategy for Phoenix, AZ, *Urban. Ecosys*, 16(3), 617-635.
- El-Bardisy, W., Fahmy, M., El-Gohary, G. (2016). Climatic Sensitive Landscape Design: Towards a Better Microclimate through Plantation in Public Schools, Cairo, Egypt, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 216, 206-216.
- Evola, G., Gagliano, A., Fichera, A., Marletta, L., Martinico, F., Nocera, F., Pagano, A. (2017). UHI effects and strategies to improve outdoor thermal comfort in dense and old neighbourhoods, *Energy Procedia*, 134, 692-701.
- Forgiarini R, R., Vásquez, N., Lamberts, G. (2015). A review of human thermal comfort in the built environment. *Energy and Buildings*, 105, 178-205.
- Gatto, E., Buccolieri, R., Aarrevaara, E., Ippolito, F., Emmanuel, R., Perronace, L., Santiago, J.L. (2020). Impact of urban vegetation on outdoor thermal comfort: comparison between a Mediterranean city (Lecce, Italy) and a Northern European City (Lahti, Finland), *Forests*, 11(2), 228.
- Georgi, N.J., Zafiriadis, K. (2006). The impact of park trees on microclimate in urban areas, *Urban. Ecosys*, 9(3), 195-209.
- Hasehzadeh Haseh, R., Khakzand, M., Ojaghlu, M. (2018). Optimal Thermal Characteristics of the Courtyard in the Hot and Arid Climate of Isfahan, *Buildings*, 8(12), 166.
- Hoelscher, M.-T., Nehls, T., Jänicke, B., Wessolek, G. (2016). Quantifying cooling effects of façade greening: Shading, transpiration and insulation, *Energ. Buildings*, 114, 283-290.
- Karakounos, I., Dimoudi, A., Zoras, S. (2017). The influence of bioclimatic urban redevelopment on

طراحی فضای سبز و استفاده بیشتر از پوشش درختی در آن موردنوجه قرار گیرد.

با اینکه همبستگی مثبت در تمامی ساعت‌های بین دو پارامتر چمن و آب با شاخص متوسط آرای پیش‌بینی شده مشاهده نشد اما این دو عامل توانستند با درصد ناچیزی از مساحت حیاط که به خود اختصاص داده بودند تأثیری مثبت هرچند کم در ساعت‌های اوج گرما برآسایش حرارتی بگذارند، بنابراین بهتر است از چمن و آب در طراحی چشم‌انداز هم جهت ایجاد احساس ذهنی مثبت در ساکنان و هم ارتقاء شرایط حرارتی استفاده شود.

پژوهش حاضر بر تأثیر عناصر طبیعی از جمله پوشش گیاهی و آب برآسایش حرارتی تأکید دارد و تأثیر دیگر عوامل منظر همچون بنا، پوشش آن و سنگفرش‌های حیاط بررسی نشده است. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده تأثیر این عوامل نیز در نظر گرفته شود.

منابع

- احمدپور کله‌رودی، نرگس؛ پورجعفر، محمدرضا؛ مهدوی نژاد، محمدجواد؛ یوسفیان، سمیرا (۱۳۹۴) نقش و تأثیر عناصر طراحی در کیفیت آسایش حرارتی فضاهای باز شهری بررسی موردنی: طراحی پیاده راه طرق‌آچی‌ها در کاشان، نامه معماری و شهرسازی، شماره ۱۸، ۵۹-۸۰.
- آروین، عباسعلی؛ شجاعی‌زاده، کبری (۲۰۱۵) ارزیابی شرایط اقلیم گردشگری شهر شیراز با استفاده از شاخص‌های دمای معادل فیزیولوژی (PET) و متوسط نظرسنجی پیش‌بینی شده (PMV)، *جغرافیای طبیعی*, ۲۶(۷)، ۹۷-۸۷.
- افساری بصیر، نفیسه؛ نصیری، بهاره؛ مفیدی شمیرانی، مجید (۱۳۹۶) نقش عناصر طبیعت در خانه‌های بومی یزد، نشریه مدیریت شهری، شماره ۴۶، ۲۹۷-۳۰۶.
- حیدری، شاهین؛ پورجعفر، محمدرضا؛ بمانیان، محمدرضا؛ تابان، محسن (۱۳۹۲) تعیین الگوی بهینه حیاط مرکزی در مسکن سنتی دزفول با تکیه بر تحلیل سایه دریافتی سطوح مختلف حیاط، *فصلنامه علمی پژوهشی باغ نظر*، شماره ۲۷، ۳۹-۴۸.
- داوطلب، جمشید (۱۳۹۷) اثر پوشش گیاهی بر شرایط آسایش حرارتی فضای باز شهری مطالعه موردنی: منطقه سیستان. پایان‌نامه دکتری، رشته معماری، دانشگاه شیده بهشتی.
- داوطلب، جمشید؛ حافظی، محمدرضا؛ ادیب، مرتضی (۱۳۹۶) بررسی میزان اثر و نقش پوشش گیاهی بر متغیرهای تعیین‌کننده آسایش حرارتی فضای باز (مطالعه موردنی: اقلیم گرم و خشک سیستان)، نشریه علمی پژوهشی صفوه، شماره ۷۵، ۱۹-۴۱.
- رشیدفر، علیرضا (۱۳۹۵) بررسی فرم پوسته‌ی شهری و تأثیر آن بر میزان تهویه طبیعی و کارایی انرژی در ساختمان‌های مسکونی اقلیم گرم و خشک، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی معماری، دانشکده معماری، دانشگاه ایلام.
- سلیقه، محمد (۱۳۸۳) مدل‌سازی مسکن همساز با اقلیم برای شهر چابهار، *جغرافیا و توسعه*، شماره ۴، ۴۷-۱۷۰.

- Yang, J., Zhao, Y., Zou, Y., Xia, D., Lou, S., Guo, T., Zhong, Z. (2022). Improving the Thermal Comfort of an Open Space via Landscape Design: A Case Study in Hot and Humid Areas, *Atmosphere*, 13(10), 1604.
- Zhang, Y., Hu, X., Cao, X., Liu, Z. (2022). Numerical Simulation of the Thermal Environment during summer in Coastal Open Space and Research on Evaluating the Cooling Effect: A Case Study of May Fourth Square, Qingdao, *Sustainability*, 14(22), 1-18.
- Kong, L., Lau, K.K.L., Yuan, C., Chen, Y., Xu, Y., Ren, C., Ng, E. (2017). Regulation of outdoor thermal comfort by trees in Hong Kong, *Sustain Cities Soc*, 31, 12-25.
- Li, K., Zhang, H., Zhao, L. (2022). Thermal comfort interventions of landscape elements in a humid and subtropical residential area in China, *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 21(3), 1106-1123.
- Liu, Zh., Yumeng J., Hong J. (2019). The effects of different space forms in residential areas on outdoor thermal comfort in severe cold regions of China, *International journal of environmental research and public health*, 16(20), 3960.
- Matzarakis, A., Mayer, H., Iziomon, M. G. (1999). Applications of a Universal Thermal Index: Physiological Equivalent Temperature, *Int. J. Biometeorology*, 43, 78-84.
- Middel, A., Häb, K., Brazel, A.J., Martin, C.A., Guhathakurta, S. (2014). Impact of urban form and design on mid-afternoon microclimate in Phoenix Local Climate Zones, *Landscape Urban. Plan*, 122, 16-28.
- Morakinyo, T. E., Kong, L., Lau, K.K.L., Yuan, Ch., Ng, K. (2017). A study on the impact of shadow-cast and tree species on in-canyon and neighborhood's thermal comfort, *Building and Environment*, 115, 1-17.
- Mutani, G., Todeschi, V. (2021). Roof-integrated green technologies, energy saving and outdoor thermal comfort: Insights from a case study in urban environment, *Planning*, 16(1), 13-23.
- Snir, K., Pearlmuter, D., Erell, E. (2016). The moderating effect of water-efficient ground cover vegetation on pedestrian thermal stress, *Landscape and Urban Planning*, 152, 1-12.
- Sun, Sh., Xiyan, X., Zhaoming L., Wei, L., Zhandong, L., Ester Higueras, G., Li, H., Jianning, Zh. (2017). Evaluating the impact of urban green space and landscape design parameters on thermal comfort in hot summer by numerical simulation, *Building and Environment*, 123, 277-288.
- Taleghani, M. (2018). Outdoor thermal comfort by different heat mitigation strategies-A review, *Renew Sustain Energy*, 81(2), 2011-2018.
- Taleghani, M., Kleerekoper, L., Tenpierik, M., Van Den Dobbelenstein, A. (2015). Outdoor thermal comfort within five different urban forms in The Netherlands, *Build. Environ*, 83, 65–78.
- Wang, X., Liu, P., Xu, G. (2021). Influence of grass lawns on the summer thermal environment and microclimate of heritage sites: a case study of Fuling mausoleum, China, *Heritage Science*, 9, 1-16.