

مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

دوره یازدهم، شماره چهل و چهارم، تابستان ۱۴۰۰

دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۹/۱۹ تأیید نهایی: ۱۴۰۰/۰۳/۰۸

صص ۲۱-۳۶

بررسی شرایط آسایش حرارتی خانه‌های حیاط مرکزی در اقلیم گرم و خشک (نمونه‌ی موردی: خانه‌های شهر اصفهان)

حسن اکبری،* استادیار گروه معماری-دانشگاه محقق اردبیلی

سمیرا محمدی‌مقدم، دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد معماری-دانشگاه محقق اردبیلی

حجت‌الله رشیدکلویپر، استادیار گروه معماری-دانشگاه محقق اردبیلی

توحید حاتمی خانقاهی، استادیار گروه معماری-دانشگاه محقق اردبیلی

چکیده

افزایش جمعیت شهرها و رشد و توسعه‌ی شهرسازی از یک سو و تغییرات آب‌وهوایی از سوی دیگر، تعادل حرارتی شهرها را تحت تأثیر قرار داده و موجب ایجاد جزایر حرارتی شده است، لذا توجه به تأثیر طراحی در آسایش حرارتی فضاهای شهری اهمیت یافته است. در این میان، بررسی عملکرد حرارتی حیاط‌ها به‌عنوان فضاهای مشترک میان مقیاس شهری و معماری، مورد ارزیابی‌های مختلفی قرار گرفته است، اما باین وجود دانش نسبتاً محدودی در رابطه با رفتار خرداقلیمی این فضاها در دسترس است. این پژوهش به دنبال سنجش شرایط آسایش حرارتی خانه‌های سنتی دوره‌ی قاجاریه در شهر اصفهان است؛ از این رو، تعداد ۱۰ مورد از خانه‌های دوره‌ی قاجار در شهر اصفهان انتخاب شده و با استفاده از نرم‌افزار ENVI-met 4 که به منظور شبیه‌سازی سه‌بعدی و سنجش شرایط خرداقلیم شهری طراحی شده است، به بررسی تغییرات پارامترهای اقلیمی شامل دما، رطوبت نسبی، سرعت باد و دمای متوسط تابشی و سنجش شرایط آسایش حرارتی در اولین روز تیرماه، بر مبنای شاخص PET پرداخته شد. نتایج نشان می‌دهد میزان دما در حیاط‌های مرکزی مورد مطالعه نسبت به فضاهای باز شهری هم‌جوار به‌طور متوسط بین ۰/۷-۰/۱ درجه‌ی سانتی‌گراد کاهش، رطوبت نسبی ۱/۸-۱ درصد افزایش و سرعت باد ۲-۱/۵ متر بر ثانیه کاهش داشته است. میانگین دمای متوسط تابشی برای خانه‌های مورد مطالعه بین ۵۸/۷-۵۵/۳ بوده و همبستگی بالایی میان دمای متوسط تابشی و شاخص PET وجود دارد. همچنین با توجه به شاخص PET شرایط آسایش حرارتی خانه‌های مورد مطالعه بین تنش گرمایی متوسط و بسیار شدید قرار دارد.

واژگان کلیدی: حیاط مرکزی، خانه‌های سنتی، آسایش حرارتی، شاخص PET، شهر اصفهان.

*Email: h.akbari@uma.ac.ir

نویسنده‌ی مسئول:

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد معماری نگارنده‌ی دوم تحت عنوان "بررسی تأثیر عناصر طبیعی بر شاخص‌های آسایش حرارتی در خانه‌های حیاط مرکزی اقلیم گرم و خشک" می‌باشد که به راهنمایی آقایان دکتر اکبری و رشید کلویپر و مشاوره‌ی دکتر حاتمی خانقاهی در دانشکده‌ی فنی و مهندسی دانشگاه محقق اردبیلی به انجام رسیده است.

۱- مقدمه

کیفیت استفاده از فضاهای عمومی شهری به جنبه‌های گوناگونی وابسته است که در میان آن‌ها، آسایش حرارتی^۱ به‌عنوان عاملی مهم شناخته شده است. فضای عمومی که نتواند شرایط آسایش را فراهم آورد، کم‌تر استفاده شده و حتی از آن اجتناب می‌شود (Lenzholzer, 2012: 39). آسایش حرارتی در فضای باز شهری، عامل مهمی در تأمین سلامت عابران پیاده است. مطالعات مربوط به آسایش حرارتی فضای باز، از دهه‌ی ۱۹۸۰ به بعد به دلیل توجه بیش‌تر به عابران پیاده در خیابان‌ها و میدین شهری، افزایش یافته است. این امر منجر به ایجاد تعداد زیادی پژوهش در مورد پارامترهای طراحی خرداقلیم بر اساس آسایش حرارتی عابران پیاده شد (Taleghani et al, 2015: 65).

با توجه به افزایش روزافزون جمعیت در شهرها، این زیستگاه‌های مصنوع بشری رشد بی‌سابقه‌ای را تجربه کرده‌اند. در این میان، همراه تغییرات جهانی آب‌وهوا، تعادل حرارتی شهرها نیز به‌طور گسترده‌ای تحت تأثیر ویژگی‌های فیزیکی آن‌ها در حال تغییر است. با گرم‌تر شدن شهرها، شرایط حرارتی خرداقلیم‌های شهری نیز نامطلوب‌تر می‌شود (حاتمی، ۱۳۹۵: ۲). یکی از بزرگ‌ترین تهدیدات توسعه‌ی شهرنشینی، پدیده‌ی جزیره‌ی حرارتی^۲ است. این پدیده ناشی از گسترش نابودی پوشش‌های طبیعی سطح زمین است که جای خود را به جاده‌ها، ساختمان‌ها، کارخانه‌ها و سایر تأسیسات شهری می‌دهد. بر اساس تحقیقات انجام‌شده در مورد این پدیده، تابش نور خورشید رسیده به شهر، در لابه‌لای ساختمان‌های شهری به دام می‌افتد و دمای سطوح را افزایش می‌دهد و شب‌هنگام که هوا سردتر می‌شود، این سطوح دیرتر دمای خود را از دست می‌دهند و موجب افزایش دمای هوا در مناطق شهری نسبت به مناطق حومه‌ی شهر می‌شود. با توجه به اینکه اثر جزایر حرارتی شهری، اختلاف درجه‌ی گرمایی زیادی تولید می‌کند، برای بهبود این وضع در قسمت‌های داخلی ساختمان نیاز به صرف هزینه‌هایی است، ولی در قسمت‌های بیرونی ساختمان، راهکارهای مکانیکی وجود ندارد؛ در نتیجه، باید یکسری اصول برای جلوگیری از به وجود آمدن چنین شرایطی در نظر گرفت که هم باعث شرایط آسایش فیزیکی در قسمت‌های بیرونی ساختمان گردد و هم هزینه‌های مربوط به خنک کردن قسمت‌های داخلی ساختمان کاهش یابد (رحمتی و همکاران، ۱۳۹۵: ۹۲). با توجه به اهمیت روزافزون موضوع آسایش حرارتی، پژوهش‌های بسیاری در حوزه‌ی آسایش حرارتی فضای باز انجام شده است (Zango et al, 2017: 34, Yang et al, 2018: 563). برخی از این پژوهش‌ها به تعیین محدوده‌ی آسایش حرارتی شهرهای مختلف با استفاده از مدل‌ها، داده‌های اقلیمی و متغیرهای مؤثر بر آسایش حرارتی پرداختند و برخی دیگر بررسی تأثیر دره‌های شهری^۳ و جهت‌گیری خیابان‌ها و معابر و دیگر شاخصه‌های فرم شهری را بر آسایش حرارتی موردتوجه قرار دادند. پوشش گیاهی و سطوح آب نیز به‌عنوان اجزای فرم شهری می‌توانند از طریق اقلیم بر پارامترهای آسایش حرارتی تأثیرگذار باشند (کرمی راد و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۸۶). امور و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی بیان کردند که اثر تراکم پوشش گیاهی بر پارامترهای مختلف آسایش حرارتی، کارایی بیش‌تری نسبت به حوضچه‌های آبی داشته باشد (Amor et al, 2015). به همین صورت داوطلب و همکاران (۱۳۹۶) در مطالعه‌ای در اقلیم سیستان دریافتند در نقاطی که دارای پوشش گیاهی هستند، در مقایسه با مکان‌هایی که پوشش گیاهی ندارند، به‌طور میانگین دمای هوا بین ۱ تا ۲ درجه‌ی سانتی‌گراد پایین‌تر، رطوبت نسبی حدود ۲ درصد بالاتر و میانگین دمای تابشی حدود ۶ درجه‌ی سانتی‌گراد پایین‌تر است و این میزان کاهش، شاخص احساس حرارتی را از شرایط بسیار داغ به داغ تعدیل می‌کند. وو و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی تأثیر فضای سبز بر آسایش حرارتی در یک محله‌ی مسکونی در پکن را بررسی کردند. پوشش گیاهی می‌تواند به وضوح دمای هوای نزدیک به سطح زمین را کاهش دهد، همچنین می‌تواند منجر به نوسانات دمای کم‌تری در هوا شود که باعث ایجاد شرایط محیطی پایدار می‌شود. به‌طور عمده چمن از طریق تبخیر و تعرق،

1- Thermal comfort
2- Urban Heat Island
3- Urban Canyons

سبب کاهش دمای هوا می‌شود، در حالی که درختان، هم از طریق تبخیر و تعرق و هم از طریق محافظت از سطح زیر تاج‌پوش خود در برابر تابش خورشیدی، دمای هوا را کاهش می‌دهند (Zhifeng Wu et al, 2016). در پژوهشی دیگر از مانه و طالب (۲۰۱۷) نشان داده شده که استفاده از گیاهان در حیاط پردیس یک دانشگاه در قطر می‌تواند باعث کاهش قابل‌توجه مقادیر PMV^۴ و دمای متوسط تابشی^۵ شود. همچنین مشاهده شد که درختان با تراکم سطح برگ مشابه، اما با تنه‌ی بلندتر برای آسایش حرارتی بیرونی در مناطقی که نیاز به افزایش جریان هواست، مناسب‌تر است؛ اگرچه درختان کوتاه‌تر به کاهش دمای متوسط تابشی با توجه به تأثیر آن روی تابش موج کوتاه و بلند کمک می‌کنند (Manneh et al, 2017).

معماری امروز بیش از هر زمان دیگری نیازمند طراحی‌های سازگار با محیط پیرامون خود است تا بتواند همچون گذشته با محیط طبیعی اطراف خود در تعادل و تعامل باشد (همان، ۱۳۹۵: ۳). فرم‌های مختلف شهری خرداقلیم‌های مختلف با شرایط حرارتی متفاوت را برای ابران پیاده‌تأمین می‌کنند. خرداقلیم شهری^۶ از جمله عواملی است که از طریق تأثیر بر پارامترهای اقلیمی تأثیر به‌سزایی در آسایش حرارتی دارد (Idem, 2015: 65). بررسی خرداقلیم‌های شهری سبب افزایش آگاهی ما نسبت به نحوه‌ی رفتار حرارتی این محیط‌ها شده و این امر می‌تواند با اتخاذ تدابیر مناسب طراحی، به بهبود شرایط زیست در محیط‌های شهری کمک شایانی بنماید. استفاده از گونه‌های ساختمانی نظیر حیاط مرکزی در معماری امروز باعث ایجاد آسایش حرارتی می‌گردد (همان، ۱۳۹۵: ۳). حیاط‌های مرکزی الگوی بسیار کهنی است که در بسیاری از کشورهای آسیا، شمال آفریقا، جنوب آمریکا و اروپا و نیز در ایران مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به نقش خرداقلیمی حیاط و نقش مؤثر آن در آسایش حرارتی بنا، در این رابطه نیز پژوهش‌های بسیاری صورت گرفته است. تأثیر پارامترهای مختلفی از جمله تناسبات، جهت‌گیری، سایه‌اندازی حیاط مرکزی و وجود عناصر طبیعی همچون پوشش گیاهی و آب بر آسایش حرارتی، در این پژوهش‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. در مطالعه‌ای توسط ملکی و همکاران (۱۳۹۶) نقش ویژه‌ی حیاط در عملکرد گرمایی ساختمان با توجه به جانمایی حیاط و دیگر پارامترهای طراحی مانند نسبت هندسی اضلاع حیاط و جهت‌گیری ساختمان و حیاط مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل، نشان‌دهنده‌ی عملکرد گرمایی بهتر حیاط تمام‌بسته بوده و با بررسی نسبت‌های متفاوت طول به عرض در حیاط‌های تمام‌بسته این نتیجه به دست آمد که با نزدیک‌تر شدن به نسبت طول به عرض ۱، عملکرد حیاط در آسایش حرارتی و همین‌طور پایین‌تر آوردن دمای هوای خرداقلیم موفق‌تر خواهد بود. همچنین با تمرکز بر اقلیم آب‌وهوایی و موقعیت جغرافیایی شهر تهران، طبق نتایج این پژوهش جهت‌گیری شمالی-جنوبی و افزایش ارتفاع حیاط به‌عنوان راهکارهای مؤثر بر ارتقاء عملکرد گرمایی ویژه در هندسه‌ی حیاط نیمه‌بسته و تمام‌بسته، پیشنهاد می‌شوند. در پژوهشی دیگر از حیدری و همکاران (۱۳۹۲) تناسبات مختلف حیاط در مسکن سنتی دزفول شناسایی شد و میزان سایه‌ی دریافتی سطوح مختلف حیاط در الگوهای مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت و اثبات شد در بناهایی که حیاط آن‌ها دارای نسبت ۱ تا ۱/۴ میان طول و عرض (حیاط با فرم مربعی شکل) و همچنین نسبت طول به ارتفاع ۱/۱ تا ۱/۲ (عمق متوسط) باشند، مناسب‌ترین میزان سایه در فصول گرم بر روی کف و جداره‌ها ایجاد خواهد شد. استفاده از این الگوی بهینه، سبب افزایش سایه بر سطوح حیاط، کاهش دمای جداره‌ها، کاهش بار سرمایشی ساختمان و افزایش آسایش ساکنین خواهد شد. با توجه به پیشینه‌ی تاریخی این موضوع و کارکرد قابل‌قبول آسایش حرارتی حیاط‌های مرکزی در اقلیم متفاوت ایران در گذشته، می‌توان با استفاده‌ی صحیح از الگوی حیاط مرکزی، کمک شایانی به ارتقاء کیفیت حرارتی فضای باز معماری معاصر نمود (اجاقلو و خاک‌زند، ۱۳۹۶: ۸۶). حیاط مرکزی با توجه به ویژگی‌های کالبدی همچون تناسبات، جهت‌گیری، سایه‌اندازی، مصالح و ویژگی‌های همچون پوشش گیاهی و آب، زمینه‌ی تأثیر بر شرایط خرداقلیم را فراهم می‌کند.

4- Predicted Mean Vote

5- Mean radiant temperature

6- Urban microclimate

امروزه به دلیل مطالعات اندک و عدم آگاهی کافی در مورد ویژگی‌های کالبدی بهینه‌ساز حیاط مرکزی به‌ویژه در مناطق گرم‌وخشک، سبب شده معماران حیاط‌هایی دارای کمبود به‌ویژه از لحاظ تأمین آسایش حرارتی در فضای باز را طراحی کنند (Hasehzadeh Haseh, 2018: 166-2). در خانه‌های تاریخی ایران و به‌ویژه در اصفهان، نمونه‌های زیادی از حیاط مرکزی در ساختار فضایی دیده می‌شود. این پژوهش به بررسی آسایش حرارتی و شرایط خرداقلیمی در خانه‌های حیاط مرکزی اقلیم گرم‌وخشک اصفهان، از طریق شبیه‌سازی با نرم‌افزار ENVI-met 4.4.3 می‌پردازد.

۲- روش پژوهش

جهت بررسی و ارزیابی رفتار خرداقلیم و شرایط آسایش حرارتی حیاط‌های مرکزی در اقلیم گرم‌وخشک، ۱۰ نمونه از حیاط‌های مرکزی خانه‌های سنتی شهر اصفهان از مجموعه آثار مندرج در گنج‌نامه‌ی خانه‌های تاریخی اصفهان، انتخاب و مورد مطالعه قرار گرفت. ویژگی‌های کالبدی و هندسی حیاط‌های مرکزی شامل طول، عرض، ارتفاع و راستای قرارگیری و ویژگی‌های طبیعی شامل سطح آب و فضای سبز و نیز مشخصات پوشش گیاهی شامل (تعداد و گونه، ارتفاع و قطر تاج‌پوش و تنه‌ی درختان) از طریق اندازه‌گیری میدانی استخراج گردید. مدل‌سازی سه‌بعدی تمامی حیاط‌های مرکزی بر اساس عناصر کالبدی و طبیعی موجود، در نرم‌افزار انوی‌میت (ENVI-met) و تحت شبکه‌ی سه‌بعدی ۵۰*۵۰*۴۰ سلول و با اندازه‌های ۱*۱*۱ متر انجام شد. مدل‌سازی درختان بر اساس وضع موجود و با استفاده از پایگاه داده‌ی افزونه‌ی Albero موجود در انوی‌میت انجام شد و ویژگی‌های ریشه و تقویم گیاهی به‌عنوان مقادیر پیش‌فرض نرم‌افزار مورد استفاده قرار گرفت. شبیه‌سازی شرایط خرداقلیم و آسایش حرارتی حیاط‌های مرکزی برای اولین روز تیرماه (انقلاب تابستانی) در ساعات ۸ صبح تا ۶ بعدازظهر در شهر اصفهان صورت گرفت. میانگین ساعتی پارامترهای اقلیمی شامل دما، رطوبت، سرعت باد و دمای متوسط تابشی برای تمام گیرنده‌های مستقر در ارتفاع ۱/۵ متری از سطح حیاط از طریق نرم‌افزار لئوناردو استخراج و مصور گردید. محاسبه‌ی شاخص دمای معادل فیزیولوژیک (PET)^۶ نیز از طریق نرم‌افزار زیست‌اقلیمی RayMAN انجام شد. جدول (۱)، اطلاعات پایه‌ی ورودی به نرم‌افزار انوی‌میت و جدول (۲)، مشخصات فیزیکی و حرارتی مصالح سطوح حیاط‌های مرکزی را نشان می‌دهد.

جدول ۱: اطلاعات پایه‌ی ورودی به نرم‌افزار ENVI-met

روز شبیه‌سازی	۱ تیرماه	زمان شبیه‌سازی	۱۸:۰۰-۰۸:۰۰
متوسط دمای هوا (°C)	۳۱/۹	متوسط رطوبت نسبی (%)	۱۳/۹
سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متر از زمین (m/s)	۲/۵	جهت باد (degree)	۲۷۰ (sw)
سرعت راه رفتن (m/s)	۱/۲۱	متابولیک (met)	۱/۴۸
میزان مقاومت حرارتی لباس (clo)	۰/۵	میزان سوخت‌وساز (w/m2)	۸۰
جنس و سن	مرد و ۷۵ سال	قد و وزن	۱۷۵ سانتی‌متر و ۷۵ کیلوگرم
داده‌های اقلیمی شهر اصفهان به‌صورت فایل EPW از سایت www.energyplus.com ، استخراج و در نرم‌افزار انوی‌میت بارگذاری گردید.			

جدول ۲: مشخصات فیزیکی و حرارتی مصالح کف و جداره‌های حیاط‌های مرکزی

جنس	نام انگلیسی	هدایت حرارتی W/(m.K)	ظرفیت گرمایی J/(Kg.K)	طول زبری سطح (m)
جداره‌ها	آجر هوادهی	۰/۳	۸۴۰	۰/۳
بام	کاشی	۰/۸۴	۸۰۰	۰/۰۵
کف حیاط	آجر قرمز	۰/۴۴	۶۵۰	۰/۳

۳- شاخص دمای معادل فیزیولوژیک

امروزه در مطالعات زیست‌اقلیم‌شناسی، شاخص‌های مرتبط با فیزیولوژی انسان که از معادله‌ی بیلان بدن انسان مشتق شده‌اند، دارای اهمیت به‌سزایی می‌باشند. شاخص‌های متعددی در این زمینه پیشنهاد شده که از این بین، شاخص دمای معادل فیزیولوژیک (PET) دارای اهمیت بیش‌تری است. مزیت اصلی این شاخص، ارائه‌ی واحد آن بر حسب درجه‌ی سانتی‌گراد است که نتایج حاصل را برای استفاده‌کنندگان و برنامه‌ریزان بخش‌های مختلف که ممکن است آشنایی با اصطلاحات زیست‌محیطی نداشته باشند، قابل‌درک می‌کند. علاوه بر این، قابلیت ارزیابی در مقیاس زمانی روزانه و حتی ساعتی را نیز برای محققان به وجود می‌آورد (احمدپور و همکاران، ۱۳۹۵: ۶۳). شاخص دمای معادل فیزیولوژیک (PET)، از شاخص‌های مرتبط با فیزیولوژی انسان است که از معادله‌ی بیلان انرژی بدن انسان (MEMI) مشتق شده است و یکی از جامع‌ترین و پرکاربردترین شاخص‌ها جهت شرایط زیست‌هواشناختی و شناسایی منابع اقلیم‌گردشگری در محیط‌های باز است (Matzarakis, 2007). شاخص دمای معادل فیزیولوژیکی امکان مقایسه‌ی تأثیر کامل مجموعه شرایط حرارتی بیرون با تجربه شخصی را در اختیار فرد می‌گذارد. طبق تعریفی که (Hoppe, 1999: 72) و (Mayer and Hoppe, 1987: 45) در مورد این شاخص بیان کردند، برای نرخ سوخت‌وساز با کار سبک و میزان نارسانایی لباس به ترتیب اعداد ۸۰ وات و ۰/۵ کلو در فصل تابستان (کلو واحد نارسانایی لباس می‌باشد)، به‌طور میانگین در نظر گرفته شده است. تنش گرما و سرما به ترتیب در میزان بالا و پایین این شاخص به وجود می‌آید. برای فعالیت‌های مختلف و پوشش‌های لباس متفاوت، میزان دمای معادل فیزیولوژیک نیز تغییر خواهد کرد (Honjo, 2009: 44). میزان این شاخص بر اساس پارامترهای محیطی (طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا)، داده‌های اقلیمی (دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد و دمای متوسط تابشی)، ویژگی‌های فردی و متابولیکی و نوع پوشش و فعالیت بدنی از طریق مدل زیست‌اقلیمی RayMAN قابل‌محاسبه است. جدول (۳)، مقادیر آستانه‌ی دمایی و تنش فیزیولوژیک بر اساس شاخص دمای معادل فیزیولوژیک را نشان می‌دهد.

جدول ۳: آستانه‌ی تنش فیزیولوژیک برای شاخص PET

PET(°C)	درجه‌ی تنش فیزیولوژیک
<۴	تنش سرمای بسیار شدید
۴	تنش سرمای شدید
۸	تنش سرمای متوسط
۱۳	تنش سرمای اندک
۱۸	بدون تنش سرما
۲۳	تنش گرمای اندک
۲۹	تنش گرمای متوسط
۳۵	تنش گرمای شدید
۴۱	تنش گرمای بسیار شدید


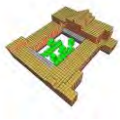

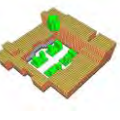



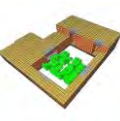

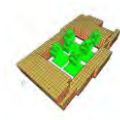



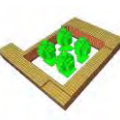

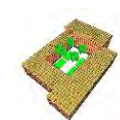

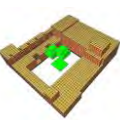


منبع: (Matzarakis et al., 1999)

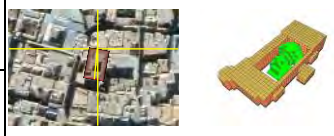
۴- محدوده‌ی مورد مطالعه

شهر اصفهان، شهری تاریخی و نیمه‌بیابانی است و آب‌وهوای آن در تقسیمات اقلیمی ایران با نوع نیمه‌صحرائی سرد؛ یعنی با زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم مطابقت دارد. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی کوپن، شهر اصفهان در محدوده‌ی بیابانی (BWk) قرار می‌گیرد. شهر اصفهان در ۴۰' ۵۱° طول شرقی و ۳۸' ۳۲° عرض شمالی و در ارتفاع ۱۵۵۰ متر از سطح دریا قرار دارد. متوسط، حداکثر و حداقل دمای شهر اصفهان به ترتیب ۱۶/۴، ۲۳/۵ و ۹/۲ درجه‌ی

سانتی‌گراد و متوسط، حداکثر و حداقل رطوبت نسبی به ترتیب ۳۸/۷، ۵۷/۶ و ۲۳ درصد است. مشخصات کالبدی و طبیعی حیاط‌های مرکزی مورد مطالعه در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول ۴: مشخصات کالبدی و طبیعی حیاط‌های مرکزی مورد مطالعه

جدارها	حیاط			تصویر هوایی و مدل انوی میت		خانه
	آب/حیاط:	طول/عرض:	طول:			
N: 8 S: 5 E: 5 W: 5	آب/حیاط: ۰/۰۹	طول/عرض: ۱/۲۶	طول: ۱۹/۶			(۱) اعلم $a = 0^\circ$
	گیاه/حیاط: ۰/۲۹	مساحت: ۳۰۳/۸	عرض: ۱۵/۵			
N: 10 S: 5 E: 5 W: 5	آب/حیاط: ۰/۱۳	طول/عرض: ۱/۳۵	طول: ۲۴/۹			(۲) چرمی $a = 19^\circ \text{sw}$
	گیاه/حیاط: ۰/۳۶	مساحت: ۴۶۳/۱	عرض: ۱۸/۶			
N: 7 S: 6 E: 5 W: 5	آب/حیاط: ۰/۰۴	طول/عرض: ۱/۰۱	طول: ۲۳/۵			(۳) داوید $a = 12^\circ \text{sw}$
	گیاه/حیاط: ۰/۵۰	مساحت: ۵۴۷/۵	عرض: ۲۳/۳			
N: 8 S: 5 E: 5 W: 5	آب/حیاط: ۰/۰۷	طول/عرض: ۱/۲۹	طول: ۱۰/۷			(۴) دهدشتی $a = 10^\circ \text{sw}$
	گیاه/حیاط: ۰/۲۸	مساحت: ۸۸/۸	عرض: ۸/۳			
N: 6 S: 7 E: 5 W: 5	آب/حیاط: ۰/۰۲	طول/عرض: ۱/۴۷	طول: ۲۵/۸			(۵) قدسیه $a = 0^\circ$
	گیاه/حیاط: ۰/۴۸	مساحت: ۴۵۱/۵	عرض: ۱۷/۵			
N: 7 S: 4 E: 4 W: 5	آب/حیاط: ۰/۰۷	طول/عرض: ۱/۵۳	طول: ۱۸/۵			(۶) کهکشان $a = 22^\circ \text{sw}$
	گیاه/حیاط: ۰/۳۰	مساحت: ۲۲۳/۸	عرض: ۱۲/۱			
N: 7 S: 6 E: 6 W: 6	آب/حیاط: ۰/۰۵	طول/عرض: ۱/۲۵	طول: ۲۸/۳			(۷) لیاف $a = 35^\circ \text{sE}$
	گیاه/حیاط: ۰/۲۳	مساحت: ۶۳۹/۶	عرض: ۲۲/۶			
N: 8 S: 6 E: 6 W: 6	آب/حیاط: ۰/۰۹	طول/عرض: ۱/۴۵	طول: ۱۷/۶			حاج رسولی‌ها (۸) $a = 30^\circ \text{sw}$
	گیاه/حیاط: ۰/۳۲	مساحت: ۲۱۳	عرض: ۱۲/۱			
N: 8 S: 5 E: 5 W: 5	آب/حیاط: ۰/۰۸	طول/عرض: ۱/۲۸	طول: ۱۷/۳			وثیق انصاری (۹) $a = 86^\circ \text{sE}$
	گیاه/حیاط: ۰/۳۶	مساحت: ۲۳۳/۶	عرض: ۱۳/۵			

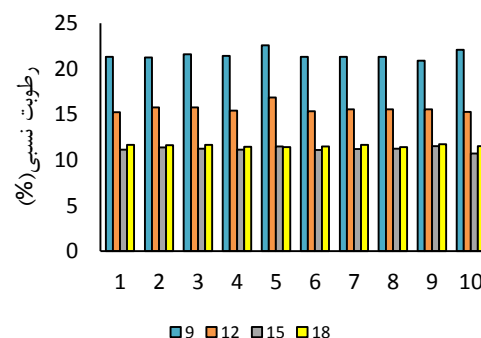
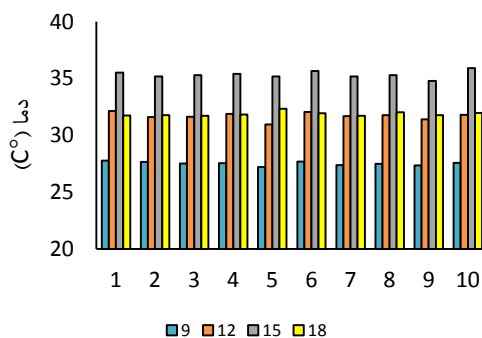
جدارها	حیاط			تصویر هوایی و مدل انومیت	خانه یداللهی (۱۰) $a = 3^{\circ}sw$
	آب/حیاط:	طول/عرض:	طول: ۲۴/۹		
N: 6 S: 5 E: 5 W: 5	۱۲/۷	۱/۳۲	عرض:		
	گیاه/حیاط:	مساحت:	۱۳/۸		
	۰/۴۸	۲۵۲/۵			

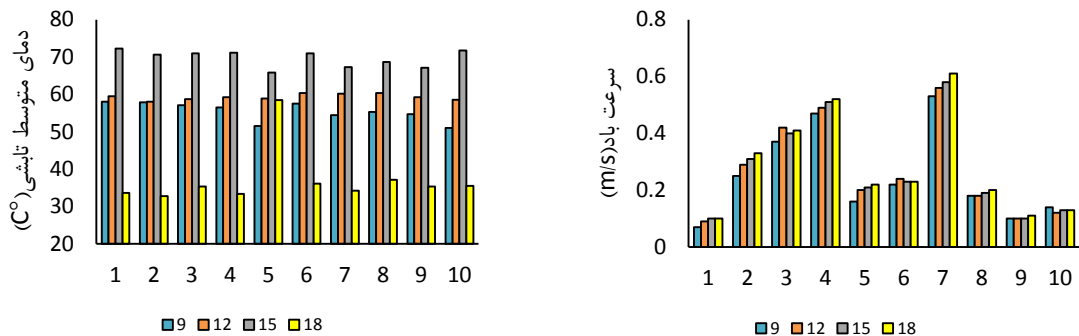
۵- بحث و نتایج

با توجه به هدف تحقیق، ۱۰ مورد خانه‌ی ثبت ملی و مستخرج از کتاب **گنج‌نامه‌ی فرهنگ آثار معماری اسلامی ایران خانه‌های اصفهان** انتخاب شده و پارامترهای اقلیمی مؤثر بر شرایط آسایش حرارتی در فضای باز برای هر یک از این خانه‌ها به صورت میانگین برای تمام نقاط حیاط، توسط نرم‌افزار محاسبه شد. در ادامه، نتایج مربوط به هر یک از پارامترها ارائه شده است (شکل ۱ و ۲). همچنین میانگین ۱۰ ساعته‌ی متغیرهای اقلیمی از جمله دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد، متوسط دمای تابشی هم‌چنین شاخص PET مربوط به خانه‌های مورد مطالعه که از ساعت ۸ صبح تا ۶ بعدازظهر، در تیرماه محاسبه شده، در جدول (۴) آورده شده است.

۵-۱- دما

در شکل (۱) نمودار دامنه‌ی تغییرات دما در خانه‌های مورد مطالعه برای ساعات ۹، ۱۲، ۱۵ و ۱۸ نشان داده شده است. با توجه به این نمودار، تغییرات دما دامنه‌های مشابهی را برای تمامی خانه‌ها نشان می‌دهد. بیش‌ترین دما برای تمامی خانه‌ها مربوط به ساعت ۳ بعدازظهر است که بیش‌ترین مقدار کاهش دما برای این ساعت مربوط به خانه وثیق انصاری با ۱/۲ درجه‌ی سانتی‌گراد و کم‌ترین مقدار آن مربوط به خانه‌ی یداللهی با ۰/۱ درجه‌ی سانتی‌گراد است. میانگین دمای خانه‌ها بین ۳۱/۲ و ۳۱/۸ است که کاهشی برابر با ۰/۱ درجه‌ی سانتی‌گراد در خانه‌ی یداللهی و ۰/۷ درجه‌ی سانتی‌گراد در خانه وثیق انصاری نسبت به دمای فضاهای شهری هم‌جوار داشته است. کم‌ترین دما برای تمامی خانه‌ها مربوط به ساعت ۸ صبح در حدود ۲۵/۲ درجه‌ی سانتی‌گراد است که کاهشی در حدود ۰/۸ درجه‌ی سانتی‌گراد در تمامی خانه‌ها داشته است. با توجه به نتایج جدول (۴) درحالی‌که میانگین دمای خانه‌ها در اولین روز تیرماه در حدود ۳۱/۳ است، میانگین دمای اقلیم محلی ۳۱/۹ درجه‌ی سانتی‌گراد است. درواقع، میانگین دمای خانه‌ها در مقایسه با دمای اقلیم محلی، کاهشی در حدود ۰/۶ درجه‌ی سانتی‌گراد داشته است. میانگین دمای خانه‌ها برای ساعات ۹، ۱۲، ۱۵ و ۱۸ به ترتیب برابر با ۲۷/۵، ۳۱/۷، ۳۵/۳ و ۳۱/۹ درجه‌ی سانتی‌گراد است. بیش‌ترین دما در ساعت ۹ مربوط به خانه اعلم با ۲۷/۸، در ساعت ۱۲ و ۱۵ مربوط به یداللهی با ۳۲/۲ و ۳۵/۹ و در ساعت ۱۸ مربوط به خانه‌ی قدسیه با ۳۲/۳ درجه‌ی سانتی‌گراد است. کم‌ترین دما در ساعت ۹ و ۱۲ متعلق به خانه‌ی قدسیه با ۲۷/۲ و ۳۰/۹، در ساعت ۱۵ متعلق به خانه‌ی وثیق انصاری با ۳۴/۸ و در ساعت ۱۸ خانه‌های داوید و لباف با ۳۱/۷ درجه‌ی سانتی‌گراد است. دما در تمامی خانه‌ها از ساعت ۸ صبح تا ۳ بعدازظهر افزایش و پس‌از آن به آهستگی در حال کاهش است.





شکل ۱: نمودار دما، رطوبت، سرعت باد و دمای متوسط تابشی خانه‌های مورد مطالعه (ساعت ۸ الی ۱۸، ۱ تیرماه)

۵-۲- رطوبت نسبی

در شکل (۱) نمودار تغییرات رطوبت نسبی نشان می‌دهد که دامنه‌ی تغییرات رطوبت نسبی همچون دما برای تمامی خانه‌ها مشابه بوده است. نتایج نشان می‌دهد بیش‌ترین رطوبت برای تمامی خانه‌ها مربوط به ساعت ۸ صبح بین ۲۳/۵ تا ۲۳/۸ درجه درصد است که افزایشی برابر با ۰/۵ درصد در خانه‌ی وثیق انصاری و ۰/۸ درصد در خانه‌ی قدسیه نسبت به رطوبت فضاهای شهری هم‌جوار داشته است. کم‌ترین میزان رطوبت برای تمامی خانه‌ها مربوط به ساعت ۴ بعدازظهر با میانگین ۱۰/۷ تا ۱۱/۵ درصد است که افزایشی در حدود ۱/۷ درصد در خانه‌ی یداللهی و ۲/۲ درصد در خانه وثیق انصاری نسبت به رطوبت نسبی فضاهای شهری هم‌جوار در تمامی خانه‌ها داشته است. با توجه به نتایج جدول (۴) درحالی‌که میانگین رطوبت نسبی خانه‌ها در اولین روز تیرماه بین ۱۴/۹ درصد برای خانه‌ی کهکشان و ۱۵/۷ درصد برای خانه‌ی قدسیه است، میانگین رطوبت نسبی فضاهای شهری هم‌جوار ۱۳/۹ درصد است. درواقع، میانگین رطوبت خانه‌ها در مقایسه با رطوبت فضاهای شهری هم‌جوار افزایشی در حدود ۱ تا ۱/۸ درصد داشته است. میانگین رطوبت خانه‌ها برای ساعات ۹، ۱۲، ۱۵ و ۱۸ به ترتیب برابر با ۲۱/۵، ۱۵/۶، ۱۱/۲ و ۱۱/۵ درصد است. بیش‌ترین رطوبت در ساعت ۹ مربوط به خانه‌ی قدسیه با ۲۲/۶، در ساعت ۱۲ مربوط به قدسیه با ۱۶/۹، در ساعت ۱۵ مربوط به خانه‌های قدسیه و وثیق انصاری با ۱۱/۵ و در ساعت ۱۸ مربوط به خانه‌های داوید، لباف و وثیق انصاری با ۱۱/۷ درصد است. بالا بودن میزان رطوبت در خانه‌ی قدسیه با توجه به بالا بودن تعداد درختان در این خانه نسبت به سایر خانه‌ها قابل توجیه است. لازم به ذکر است که در این پژوهش تأثیر تجمعی عوامل مختلف نیز مدنظر است؛ به این معنا که در صورت عدم وجود سایر عوامل همچون جهت‌گیری، تناسبات، پوشش گیاهی و غیره به‌تنهایی نمی‌تواند کارایی مناسب را داشته باشد. کم‌ترین رطوبت در ساعت ۹ مربوط به خانه وثیق انصاری با ۲۰/۹ درصد، در ساعت ۱۲ خانه‌ی اعلم با ۱۵/۲ درصد، در ساعت ۱۵ خانه‌ی یداللهی با ۱۰/۷ درصد و در ساعت ۱۸ مربوط به خانه‌های قدسیه و رسولیان با ۱۱/۴ درصد است. رطوبت در تمامی خانه‌ها از ساعت ۸ صبح تا ۴ بعدازظهر افزایش و پس‌از آن به آهستگی در حال کاهش است.

۵-۳- سرعت باد

نتایج نشان می‌دهد برخلاف دما و رطوبت میزان سرعت باد در خانه‌های مورد مطالعه با یکدیگر متفاوت است. سرعت باد در ایستگاه‌های هواشناسی در ارتفاع ۱۰ متر سنجیده می‌شود، اما به منظور امکان مقایسه‌ی سرعت باد ایستگاه هواشناسی با سرعت باد خروجی نرم‌افزار با استفاده از فرمول (داوطلب و همکاران، ۱۳۹۶) این پارامتر در ارتفاع ۱/۵ متر محاسبه شد. سرعت باد در خانه‌های مذکور در مقایسه با سرعت باد فضاهای شهری هم‌جوار در حدود ۱/۵ تا ۲ متر بر ثانیه کاهش داشته و این، نشان‌دهنده‌ی عملکرد خرداقلیمی حیاط مرکزی است. تغییر در سرعت باد می‌تواند

تأثیر به‌سزایی در شرایط آسایش داشته باشد. طبق جدول (۴) کم‌ترین میانگین سرعت باد متعلق به خانه‌ی اعلم با ۰/۱ متر بر ثانیه و بیش‌ترین میزان آن متعلق به خانه‌ی لباف با ۰/۶ متر بر ثانیه است. همان‌طور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود، به لحاظ زمانی، سرعت باد در ساعات مختلف روز اختلاف اندکی با یکدیگر داشته و با حرکت از ساعت ۸ صبح تا ۶ بعدازظهر، در تمامی خانه‌ها نوسانات اندکی در روند آن مشاهده می‌شود. متوسط میزان سرعت باد در خانه‌های مورد مطالعه ۰/۳ متر بر ثانیه است.

۵-۴- دمای متوسط تابشی

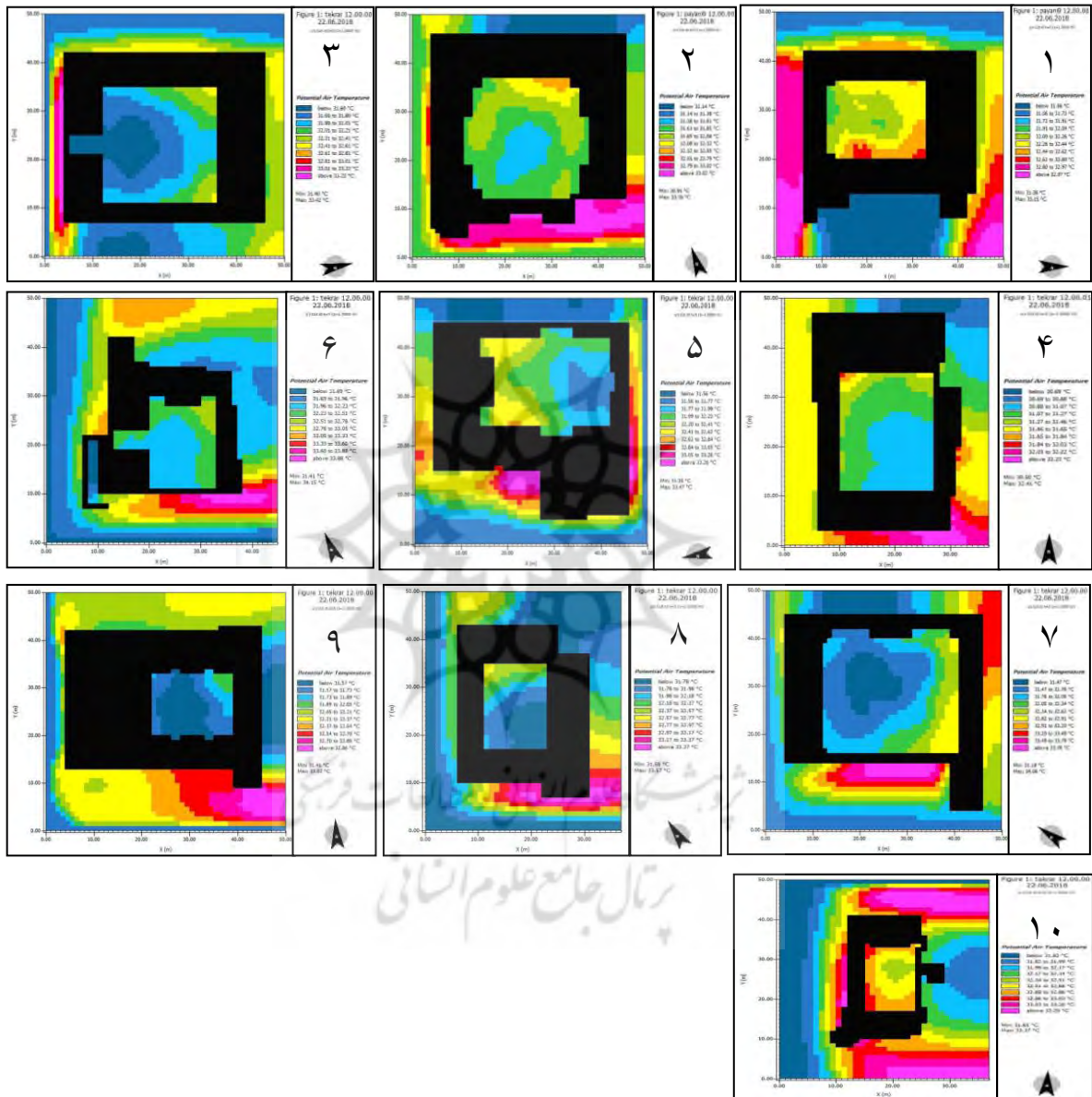
دمای متوسط تابشی، مهم‌ترین پارامتر در تخمین شرایط آسایش حرارتی است. در میان خانه‌های مورد بررسی، بیش‌ترین نرخ تغییرات دمای متوسط تابشی در ساعات مختلف روز مربوط به خانه‌ی اعلم با ۳۸/۶ درجه‌ی سانتی‌گراد و کم‌ترین آن مربوط به خانه‌ی قدسیه با ۲۵/۳ درجه‌ی سانتی‌گراد است (شکل ۱). با توجه به اینکه خانه‌ی اعلم دارای تعداد کم‌تری درخت نسبت به سایر خانه‌هاست و به علت ارتفاع کم جداره‌ها نسبت به مساحت حیاط، دارای سطح سایه بسیار کمی است این میزان تغییرات دمای متوسط تابشی در آن قابل توجیه است. بیش‌ترین دمای متوسط تابشی برای تمامی خانه‌ها مربوط به ساعات اوج دما؛ یعنی حدود ساعت ۲ تا ۴ بعدازظهر و بین ۶۶/۴ درجه‌ی سانتی‌گراد برای خانه‌ی قدسیه و ۷۱/۸ درجه‌ی سانتی‌گراد برای خانه‌ی یداللهی است. کم‌ترین دمای متوسط تابشی برای اکثر خانه‌ها نزدیک به غروب آفتاب در ساعت ۶ بعدازظهر و بین ۳۲/۷ سانتی‌گراد متعلق به خانه‌ی چرمی و ۳۶ درجه‌ی سانتی‌گراد متعلق به خانه‌ی کهکشان است و تنها در خانه‌های قدسیه و حاج‌رسولی‌ها مربوط به ساعت ۸ صبح به میزان ۳۶ و ۴۱/۴ درجه‌ی سانتی‌گراد است. بیش‌ترین میانگین دمای متوسط تابشی متعلق به خانه‌ی قدسیه با ۵۸/۷ درجه‌ی سانتی‌گراد و کم‌ترین آن متعلق به خانه‌ی یداللهی با ۵۵/۳ درجه‌ی سانتی‌گراد است. کم‌ترین میانگین دمای متوسط تابشی متعلق به خانه‌ی یداللهی با ۵۵/۳ درجه‌ی سانتی‌گراد و بیش‌ترین میانگین دمای متوسط تابشی متعلق به خانه‌ی قدسیه با ۵۸/۷ درجه‌ی سانتی‌گراد است. میانگین دمای متوسط تابشی تمام خانه‌ها برای ساعات ۹، ۱۲، ۱۵ و ۱۸ به ترتیب برابر است با ۵۵/۴، ۵۹/۳، ۶۹/۷ و ۳۷/۲ است. بیش‌ترین دمای متوسط تابشی در ساعات مذکور مربوط به خانه‌های اعلم با ۵۸، حاج‌رسولی‌ها با ۶۰/۴، اعلم با ۷۲/۲ و قدسیه با ۵۸/۵ درجه‌ی سانتی‌گراد و کم‌ترین دمای متوسط تابشی متعلق به خانه‌های یداللهی با ۵۱، چرمی با ۵۸/۱، قدسیه با ۳۴/۸ و چرمی با ۳۲/۷ درجه‌ی سانتی‌گراد است. با توجه به اینکه مصالح، سایه‌اندازی و پوشش گیاهی سه عامل مؤثر بر دمای متوسط تابشی هستند دو خانه قدسیه و یداللهی به علت تعداد بیش‌تر درخت و خانه‌ی وثیق انصاری به علت ارتفاع مناسب جداره‌ها و مساحت کم حیاط و در نتیجه سایه‌اندازی بیش‌تر، مقادیر کم‌تری از دمای متوسط تابشی را نشان می‌دهند. دمای متوسط تابشی در تمامی خانه‌ها از ساعت ۸ صبح تا ساعات اوج دما؛ یعنی ۲ تا ۴ بعدازظهر افزایش و پس‌از آن به سرعت در حال کاهش است. میانگین پارامترهای اقلیمی و شاخص دمای معادل فیزیولوژیک برای خانه‌های مورد مطالعه در جدول (۵) آمده است.

جدول ۵: میانگین پارامترهای اقلیمی و شاخص PET برای خانه‌های مورد مطالعه (ساعت ۸ الی ۱۸، ۱ تیرماه)

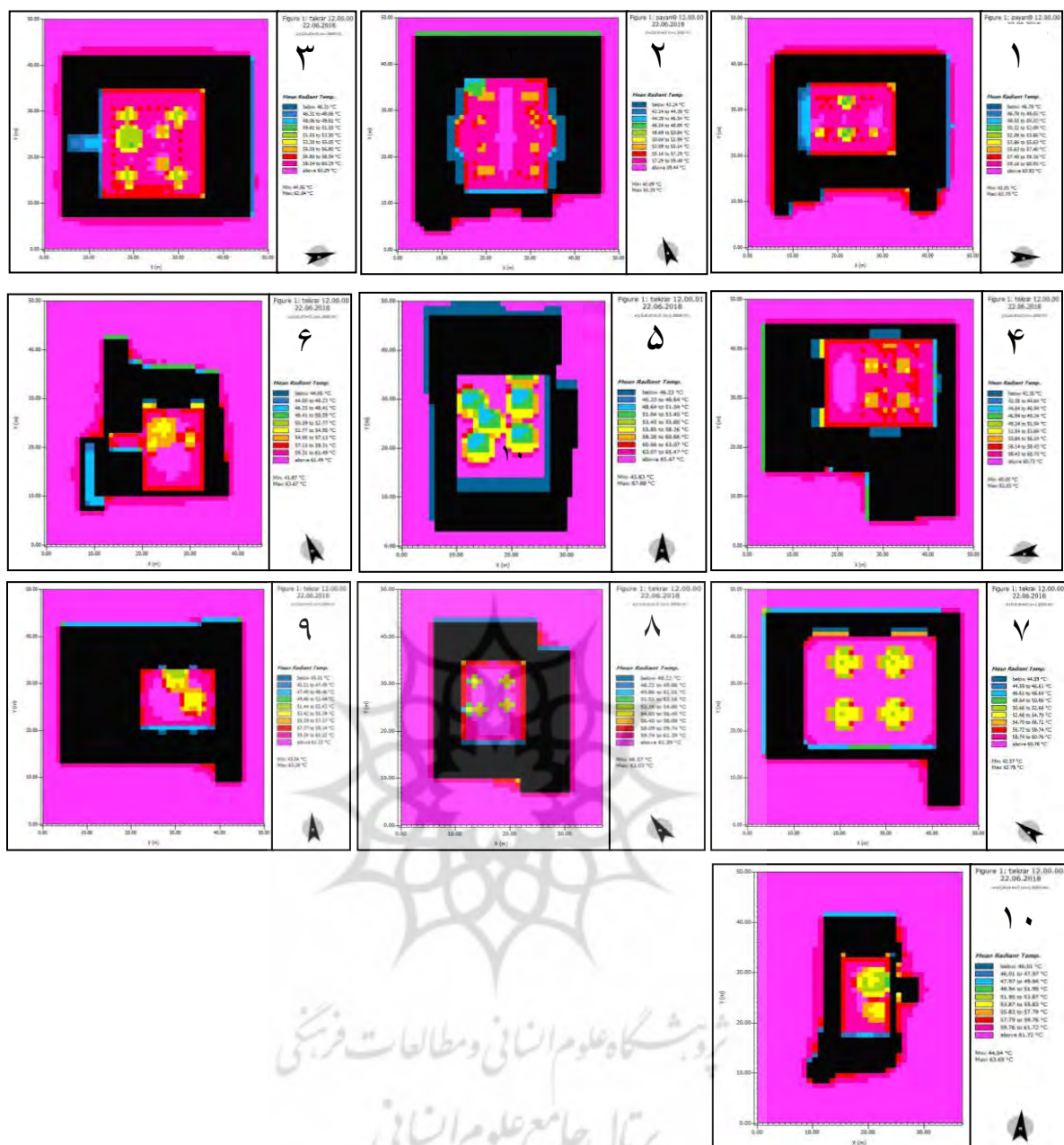
خانه	دمای هوا (C°)	درصد رطوبت (%)	سرعت باد (m/)	Tmrt (C°)	PET (C°)
۱	۳۱/۷	۱۵	۰/۱	۵۸	۴۷/۳
۲	۳۱/۵	۱۵/۲	۰/۳	۵۷/۸	۴۵/۸
۳	۳۱/۵	۱۵/۲	۰/۴	۵۸/۲	۴۵/۴
۴	۳۱/۶	۱۵	۰/۵	۵۷/۵	۴۴/۵
۵	۳۱/۳	۱۵/۷	۰/۲	۵۸/۷	۴۶/۵
۶	۳۱/۸	۱۴/۹	۰/۲	۵۸/۱	۴۶/۶

۴۳/۴	۵۶/۱	۰/۶	۱۵/۱	۳۱/۴	۷
۴۵/۱	۵۶	۰/۲	۱۵	۳۱/۶	۸
۴۴/۸	۵۵/۵	۰/۱	۱۵/۱	۳۱/۲	۹
۴۵/۶	۵۵/۳	۰/۱	۳۱/۸	۱۰	

در شکل‌های (۲) و (۳) خروجی گرافیکی دما و دمای متوسط تابشی در خانه‌های مورد مطالعه در ساعت ۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: مقایسه‌ی توزیع دمای خانه‌های تاریخی مورد مطالعه (ساعت ۱۲ ظهر - ۱ تیرماه)



شکل ۳: مقایسه‌ی دمای متوسط تابشی خانه‌های تاریخی مورد مطالعه (ساعت ۱۲ ظهر - ۱ تیرماه)

۵-۵ - شاخص دمای معادل فیزیولوژیک

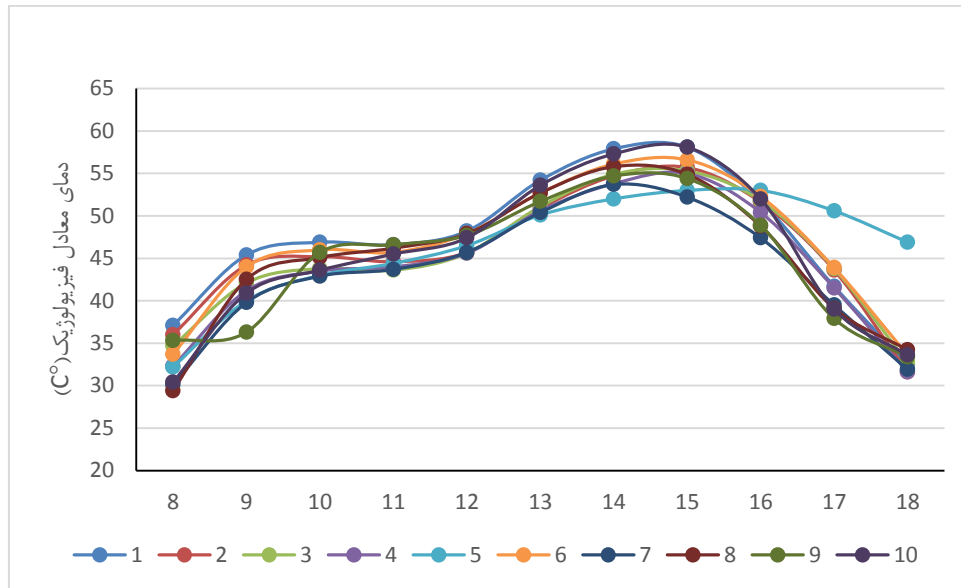
در طول ساعات روز، همبستگی بالایی میان دمای متوسط تابشی با شاخص دمای معادل فیزیولوژیک وجود دارد و کاهش دمای متوسط تابشی سبب کاهش شاخص دمای معادل فیزیولوژیک می‌شود. بر اساس تقسیم‌بندی جدول (۲)، زمانی که دمای معادل فیزیولوژیک بین ۱۸ تا ۲۳ درجه‌ی سانتی‌گراد است، وضعیت حرارتی محیط بدون تنش حرارتی است؛ یعنی آسایش حرارتی وجود دارد. نتایج به‌دست‌آمده از بررسی آسایش حرارتی نشان می‌دهد، هیچ‌کدام از ۱۰ خانه‌ی مذکور در فصل تابستان در این محدوده قرار ندارند. در بین این خانه‌ها، خانه‌ی لباف و قدسیه نزدیک‌ترین خانه‌ها به محدوده‌ی آسایش و خانه‌ی اعلم دورترین خانه به محدوده‌ی آسایش است که این نتایج با توجه به میزان سرعت باد در خانه لباف که بیش‌تر از سایر خانه‌هاست و تعداد درختان و ارتفاع و اندازه‌ی تاج‌پوش در خانه‌ی قدسیه

(تعداد بیش‌تر، ارتفاع بلندتر و تاج‌پوش بزرگ‌تر نسبت به سایر خانه‌ها) و میزان پوشش درختی و سایه‌اندازی بسیار کم در خانه اعلم قابل توجه است. مطلوب‌ترین وضعیت آسایش در طول ساعات شبیه‌سازی شده مربوط به انتهای روز و پس‌از آن ابتدای روز است که در این ساعات، بیش‌ترین میزان سایه‌اندازی رخ می‌دهد. با توجه به جدول (۶) شرایط آسایش حرارتی خانه‌های مورد مطالعه در تنش گرمایی متوسط، شدید و بسیار شدید قرار دارد.

جدول ۶: تنش حرارتی خانه‌های تاریخی مورد مطالعه (ساعات ۹، ۱۲، ۱۵ و ۱۸)

خانه	ساعت ۹	ساعت ۱۲	ساعت ۱۵	ساعت ۱۸
۱	بسیار شدید	بسیار شدید	بسیار شدید	متوسط
۲	بسیار شدید	بسیار شدید	بسیار شدید	متوسط
۳	بسیار شدید	بسیار شدید	بسیار شدید	متوسط
۴	بسیار شدید	بسیار شدید	بسیار شدید	متوسط
۵	بسیار شدید	بسیار شدید	بسیار شدید	بسیار شدید
۶	بسیار شدید	بسیار شدید	بسیار شدید	متوسط
۷	بسیار شدید	بسیار شدید	بسیار شدید	متوسط
۸	بسیار شدید	بسیار شدید	بسیار شدید	شدید
۹	بسیار شدید	بسیار شدید	بسیار شدید	متوسط
۱۰	بسیار شدید	بسیار شدید	بسیار شدید	متوسط

شکل (۴) روند تغییرات شاخص دمای معادل فیزیولوژیک خانه‌های مورد مطالعه برای ساعت ۸ صبح تا ۶ بعدازظهر نشان می‌دهد. اکثر خانه‌ها در ساعت ۸ صبح با میانگین $34/8$ درجه‌ی سانتی‌گراد تنش گرمایی بسیار شدید را تجربه می‌کنند. در خانه‌های قدسیه، لباف و یداللهی با میانگین $30/9$ درجه‌ی سانتی‌گراد تنش گرمای شدید و در خانه‌ی رسولیان با $29/4$ درجه‌ی سانتی‌گراد تنش گرمای متوسط برقرار است. از این ساعت به بعد، مقدار شاخص PET به تدریج افزایش و در ساعت ۳ بعدازظهر در اکثر خانه‌ها به حداکثر مقدار خود با میانگین 56 درجه‌ی سانتی‌گراد می‌رسد که تنش گرمایی بسیار شدیدی را بر محیط حاکم می‌کند، تنها در سه خانه‌ی لباف، حاج‌رسولی‌ها و وثیق انصاری مقدار این شاخص در ساعت ۲ بعدازظهر با میانگین $54/7$ به حداکثر میزان خود می‌رسد. شاخص دمای معادل فیزیولوژیک پس از ساعات مذکور به سرعت کاهش می‌یابد و در ساعت ۶ بعدازظهر با نزدیک شدن به زمان غروب آفتاب تنش گرمایی متوسط با میانگین $32/7$ درجه‌ی سانتی‌گراد بر حیاط‌ها حاکم و شرایط آسایش حرارتی کمی تعدیل می‌شود؛ تنها در خانه‌ی قدسیه با $46/9$ درجه‌ی سانتی‌گراد شرایط حرارتی همچنان در تنش بسیار شدید قرار دارد. با توجه به مقادیر میانگین PET، در تمامی حیاط‌ها شرایط آسایش حرارتی مطلوبی وجود ندارد و حیاط‌ها تنش گرمایی بسیار شدید را در بیش‌تر ساعات روز تجربه می‌کنند. دمای معادل فیزیولوژیک برای ساعات ۹، ۱۲، ۱۵ و ۱۸ به ترتیب برابر با $41/6$ ، $46/8$ ، $55/3$ و $34/2$ است.



شکل ۴: نمودار دمای معادل فیزیولوژیک خانه‌های مورد مطالعه (ساعت ۸ الی ۱۸ تیرماه)

در این تحقیق، شرایط خرداقلیم و آسایش حرارتی ۱۰ نمونه از حیاط‌های مرکزی خانه‌های سنتی در اقلیم گرم-وخشک شهر اصفهان در روز انقلاب تابستانی (۱ تیرماه) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحقیق کاراکونوس با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد و آن‌ها نیز با انجام شبیه‌سازی در ساعات ۶ تا ۲۰ در منطقه‌ای از شهر سرس یونان از طریق مداخلات بیوکلایمیکی همچون تغییر مصالح سنگ‌فرش‌ها به مواد سرد، افزایش پوشش گیاهی و آب بیان کردند که تغییر در میزان و نحوه استفاده از این موارد در محیط می‌تواند باعث بهبود پارامترهای اقلیمی و در نتیجه ارتقاء آسایش حرارتی می‌شود. نتایج نشان داد دما در بخش بزرگی از منطقه‌ی مورد مطالعه کاهش یافت. بیش‌ترین کاهش مربوط به بخشی از منطقه که پوشیده از سنگ‌فرش‌هایی با انعکاس بالای خورشید، پوشش گیاهی و آب است و مقدار آن برابر با ۰/۹ درجه‌ی سانتی‌گراد است. نتایج این تحقیق با نتایج پژوهش داوطلب و همکاران نیز مطابقت دارد. آن‌ها نیز طی انجام اندازه‌گیری‌هایی در ساعات ۹، ۱۲، ۱۵، ۱۸ در اقلیم سیستان دریافتند در نقاطی که دارای پوشش گیاهی هستند، در مقایسه با مکان‌هایی که پوشش گیاهی ندارند، به‌طور میانگین دمای هوا بین ۱ تا ۲ درجه‌ی سانتی‌گراد پایین‌تر، رطوبت نسبی حدود ۲ درصد بالاتر و میانگین دمای تابشی حدود ۶ درجه‌ی سانتی‌گراد پایین‌تر است و این میزان کاهش شاخص، احساس حرارتی را از شرایط بسیار داغ به داغ تعدیل می‌کند. در پژوهشی دیگر از بردیسی و همکاران که ابتدا سطح آسایش حرارتی دانش‌آموزان در حیاط مدرسه در درجه‌حرارت بالا مورد بررسی قرار گرفت و سپس به بررسی الگوهای مختلف پوشش گیاهی جهت بالا بردن کیفیت فضا با استفاده از نرم‌افزار انوی‌میت پرداخته شد، نتایجی مشابه با پژوهش حاضر به دست آمد. اضافه کردن درخت‌ها در نقاط گیرنده، بدون توجه به هندسه‌ی درخت به‌طور قابل‌توجهی می‌تواند مقادیر PMV را به میزان ۱ یا بیش‌تر کاهش دهد؛ به این صورت که تبخیر و تعرق درختان دمای زیر تاج‌پوش آن‌ها را به مقدار ۰/۳۸ کلوین کاهش می‌دهد.

۶- نتیجه‌گیری

جهت بررسی آسایش حرارتی و عوامل مؤثر بر آن از جمله پارامترهای اقلیمی در خانه‌های حیاط مرکزی اقلیم گرم‌وخشک، ۱۰ نمونه از خانه‌های تاریخی ثبت ملی واقع در شهر اصفهان انتخاب شدند. در مرحله‌ی بعد این خانه‌ها و عناصر طبیعی موجود در حیاط در نرم‌افزار انوی‌میت ۴، مدل‌سازی و مقادیر پارامترهای اقلیمی و درنهایت، آسایش حرارتی با استفاده از شاخص PET در اولین روز تیرماه محاسبه و مورد بررسی قرار گرفتند. با توجه به نتایج

به‌دست‌آمده، مشاهده شد که استفاده از الگوی حیاط مرکزی تأثیر قابل‌توجهی بر ارتقاء آسایش حرارتی در حیاط خانه‌های تاریخی داشته و نقش خرداقلیمی آن به‌وضوح قابل‌مشاهده است. متوسط دما در خانه‌های مورد‌مطالعه از ۰/۱ تا ۰/۷ درجه‌ی سانتی‌گراد کم‌تر از متوسط دمای اقلیم محلی است. هم‌چنین میانگین رطوبت نسبی در حیاط‌ها ۱/۲ درصد بیش‌تر از رطوبت نسبی اقلیم محلی است. بیش‌ترین تغییر در میزان سرعت باد مشاهده شد که در خانه‌های مذکور کاهش در حدود ۱/۵ تا ۲ متر بر ثانیه در مقایسه با سرعت باد فضاهای شهری هم‌جوار داشته است. نتایج به‌دست‌آمده از محاسبه‌ی شاخص دمای معادل فیزیولوژیک نشان می‌دهد شرایط آسایش حرارتی حیاط‌های مرکزی مورد‌مطالعه، بین تنش گرمایی متوسط و بسیار شدید قرار دارد و مطلوب‌ترین وضعیت آسایش حرارتی در طول ساعات شبیه‌سازی شده مربوط به انتهای روز و پس‌از آن ابتدای روز است.

درواقع، تأکید این پژوهش بر تأثیر مقیاس خرداقلیم بر طراحی معماری و شهری است. حیاط‌های مرکزی با توجه به ویژگی‌های کالبدی و طبیعی می‌تواند به‌صورت یک خرداقلیم مستقل عمل نماید و موجب ارتقاء آسایش حرارتی فضای داخل نسبت به محیط پیرامونی خود شود. از آنجایی‌که خرداقلیم با اقلیم محلی و منطقه‌ای در ارتباط بوده با تکثیر این الگوی بومی می‌توان آسایش حرارتی در مقیاس محلی، منطقه‌ای و شهری را نیز ارتقا بخشید. با توجه به رشد و توسعه‌ی شهرسازی و فشار ناشی از آن بر محیط طبیعی احیای چنین الگوهای و بهره‌گیری از راهکارهای آن امری ضروری است.

۷- منابع

- ۱- احمدپور کلهرودی، نرگس، پورجعفر، محمدرضا، مهدوی‌نژاد، محمدجواد، یوسفیان، سمیرا (۱۳۹۵). نقش و تأثیر عناصر طراحی در کیفیت آسایش حرارتی فضاهای باز شهری (بررسی موردی: طراحی پیاده‌راه طمق‌چی‌ها در کاشان)، دوفصلنامه‌ی معماری و شهرسازی، شماره‌ی ۹، صص ۷۹-۵۹.
- ۲- افشاری بصیر، نفیسه، نصیری، بهاره، مفیدی شمیرانی، مجید (۱۳۹۶). نقش عناصر طبیعت در خانه‌های بومی یزد، نشریه‌ی مدیریت شهری، شماره‌ی ۴۶، صص ۳۰۶-۲۹۷.
- ۳- اوجاقلو، مرتضی، خاک زند، مهدی (۱۳۹۶). بررسی خصوصیات حرارتی حیاط‌های مرکزی کم‌عمق در اقلیم قزوین، نشریه‌ی معماری و شهرسازی ایران، شماره‌ی ۸ (۱۴)، صص ۹۷-۸۵.
- ۴- حاتمی، مجتبی (۱۳۹۵). مدل‌سازی آسایش و رفتار حرارتی در خرده‌اقلیم حیاط مرکزی به منظور دست‌یابی به الگوی بهینه‌ی معماری (نمونه‌ی موردی: شهر شیراز)، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد مهندسی معماری، دانشگاه فنی و مهندسی، دانشگاه ایلام.
- ۵- حیدری، شاهین، منعم، علیرضا (۱۳۹۲). ارزیابی شاخص‌های آسایش حرارتی در فضای باز، نشریه‌ی جغرافیا و توسعه‌ی ناحیه‌ای، شماره‌ی ۲۰، صص ۲۱۶-۱۹۷.
- ۶- حیدری، شاهین، پورجعفر، محمدرضا، بمانیان، محمدرضا، تابان، محسن (۱۳۹۲). تعیین الگوی بهینه‌ی حیاط مرکزی در مسکن سنتی دزفول با تکیه بر تحلیل سایه‌ی دریافتی سطوح مختلف حیاط، باغ نظر، شماره‌ی ۲۷، صص ۴۸-۳۹.
- ۷- داوطلب، جمشید، حافظی، محمدرضا، ادیب، مرتضی (۱۳۹۶). بررسی میزان اثر و نقش پوشش گیاهی بر متغیرهای تعیین‌کننده‌ی آسایش حرارتی فضای باز (مطالعه‌ی موردی: اقلیم گرم‌و‌خشک سیستان)، صص ۷۵-۱۹.
- ۸- ذوالفقاری، حسن (۱۳۸۶). تعیین تقویم زمانی مناسب برای گردش در تبریز با استفاده از شاخص‌های دمای معادل فیزیولوژی (PET) و متوسط نظرسنجی پیش‌بینی‌شده (PMV)، نشریه‌ی پژوهش‌های جغرافیایی، شماره‌ی ۶۲، صص ۱۴۱-۱۲۹.
- ۹- رحمتی، مهدی، حیدری، شاهین، بمانیان، محمدرضا (۱۳۹۵). بررسی راهکارهای طراحی معماری بر کاهش اثر جزایر حرارتی شهری، نشریه‌ی انرژی ایران، شماره‌ی ۱۹ (۱)، صص ۱۰۴-۹۱.
- ۱۰- طاهباز، منصوره، جلیلیان، شهربانو (۱۳۹۰). شاخص‌های همسازی با اقلیم در مسکن روستایی استان گیلان، فصلنامه‌ی مسکن و محیط روستا، شماره‌ی ۳۰ (۱۳۵)، صص ۴۲-۲۳.

- ۱۱- کرمی راد، سینا، بنزاده، بهار، علی‌آبادی، محمد (۱۳۹۶). عوامل مؤثر بر شرایط آسایش حرارتی بیرونی. چهارمین کنفرانس برنامه‌ریزی و مدیریت محیط زیست، دانشگاه تهران.
- ۱۲- کرمی راد، سینا، علی‌آبادی، محمد، حبیبی، امین، وکیلی‌نژاد، رزا (۱۳۹۶). سنجش میزان تأثیر پوشش گیاهی بر شرایط آسایش حرارتی بیرونی ابران پیاده (مورد پژوهش: مجتمع مسکونی گلدشت شیراز)، نشریه علمی-پژوهشی انجمن علمی معماری و شهرسازی ایران، شماره ۸ (۱۴)، صص ۱۹۶-۱۸۵.
- ۱۳- محمودی، امیرسعید، قاضی‌زاده، ندا، منعم، علیرضا (۱۳۸۹). تأثیر طراحی در آسایش حرارتی فضای باز مجتمع‌های مسکونی (نمونه‌ی مورد مطالعه: فاز سه مجتمع مسکونی اکباتان)، نشریه‌ی هنرهای زیبا-معماری و شهرسازی، شماره‌ی ۴۲، صص ۷۰-۵۹.
- ۱۴- ملکی، سید محمد رضا، محمد کاری، بهروز، معرفت، مهدی (۱۳۹۶). بررسی عملکرد حیاط و خصیصه‌های طراحی آن برای بهبود عملکرد گرمایی و آسایش حرارتی در شرایط آب‌وهوایی تهران. ماهنامه‌ی علمی-پژوهشی مهندسی مکانیک مدرس (فنی و مهندسی مدرس)، شماره‌ی ۱۷ (۴)، صص ۳۸۰-۳۶۹.
- 15- Amor, Ballout, Lacheheb, Dhia Eddine Zakaria, Bouchahm, Yasmina (2015). Improvement of Thermal Comfort Conditions in an Urban Space (Case Study: The Square of Independence, SÃ©tif, Algeria), *European Journal of Sustainable Development*, 4(2), 407-416.
- 16- Bourbia, Fatiha, Boucheriba, Fouzia (2010). Impact of street design on urban microclimate for semi arid climate (Constantine), *Renewable Energy*, 35, 343-347.
- 17- Gill, Susannah, Handley, J. F, Ennos, Roland Ennos, Pauleit, Stephan (2007). Adapting cities for climate change: the role of the green infrastructure, *Climate Change and Cities*, 33, 115-133.
- 18- Gitani, Niki, Mihalakakou, G, Santamouris, Mattheos (2007). On the use of bioclimatic architecture principles in order to improve thermal comfort conditions in outdoor spaces, *Building and Environment*, 42(1), 317-324.
- 19- Hasehzadeh Haseh, Roya, Khakzand, Mehdi, Ojaghrou, Morteza (2018). Optimal Thermal Characteristics of the Courtyard in the Hot and Arid Climate of Isfahan, *Buildings*, 8(12), 166.
- 20- Honjo, Tsuyoshi (2009). Thermal comfort in outdoor environment, *Global Environmental Research*, 13, 43-47.
- 21- Höppe, Peter (1999). The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment, *International Journal of Biometeorology*, 43, 71-75.
- 22- Karakounos, Ioannis, Dimoudi, Argyro, Zoras, Stamatis (2017). The influence of bioclimatic urban redevelopment on outdoor thermal comfort, *Energy and Buildings*, 158, 1266-1274.
- 23- Lenzholzer, Sanda (2012). Research and design for thermal comfort in Dutch urban squares, *Resources, Conservation and Recycling*, 64, 39-48.
- 24- Manneh, Abeer, Taleb, Hanan (2017). Vegetation Impact on Microclimate in Hot Climate Zones, *Proceedings of the 2nd World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering (CSEE'17)*, No. ICESDP 180.
- 25- Matzarakis, Andreas (2007). Climate thermal comfort and tourism, In *Proceedings 1th International Workshop on Climate Change and Tourism*, 9th -11th April, Djerba, Tunisia.
- 26- Matzarakis, Andreas, Mayer, Helmut, Iziomon, Moses Godwin (1999). Applications of a Universal Thermal Index: Physiological Equivalent Temperature, *Int. J. Biometeorology*, 43, 78-84.
- 27- Mayer, Helmut, Höppe, Peter (1987). Thermal comfort of man in different urban environments, *Theoretical and applied climatology*, 38(1), 43-49.
- 28- Santamouris, Mat (2013). Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island—a review of the actual developments, *Renew Sustain Energy Rev*, 26, 224-40.

- 29- Taleghani, Mohammad, Kleerekoper, Laura, Tenpierik, Martin, van den Dobbelsteen, Andy (2015). Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands, *Building and environment*, 83, 65-78.
- 30- Wu, Zhifeng, Kong, Fanhua, Wang, Yening, Sun, Ranhao, Chen, Li-Ding (2016). The impact of greenspace on thermal comfort in a residential quarter of Beijing, China, *International journal of environmental research and public health*, 13(12), 1217.
- 31- Yang, Yujun, Zhou, Dian, Gao, Weijun, Zhang, Zhang, Chen, Wei, Peng, Wangchongyu (2018). Simulation on the impacts of the street tree pattern on built summer thermal comfort in cold region of China, *Sustainable cities and society*, 37, 563-580.
- 32- Zango, Modi Sule, Ossen, Dilshan Remas, Toe, Doris, Nimlyat, Pontip Stephen, Agboola, Oluwagbemiga Paul, Luke, Bobai J (2017). The Effect of Vegetation in Enhancing the Performance of Courtyard in Buildings of Tropical Climate, *Journal of Applied Sciences & Environmental Sustainability*, 3(8), 34-42.

