

بررسی خصوصیات حرارتی حیاط‌های مرکزی کم‌عمق در اقلیم قزوین

مرتضی اوجاقلو^۱، مهدی خاکزند^۲ (نویسنده مسئول)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۱/۲۱

چکیده

توجه به مشکلات و معضلات اقلیمی در محیط‌های شهری و فضاهای باز معماری به منظور کاهش نارضایتی و افزایش سطح سلامت حرارتی از جمله مسائلی است که اخیراً مورد توجه برنامه‌ریزان، طراحان شهری و معماران قرار گرفته است. حیاط مرکزی از جمله الگوهای کالبدی است که کارکرد مناسب اقلیمی آن به دفعات توسط محققین به اثبات رسیده است اما در تعیین ویژه‌گی‌های کالبدی و محیطی آن تحقیق جدی صورت نگرفته است، لذا همین موضوع ضرورت تحقیق این پژوهش را تبیین می‌کند. در همین راستا در این پژوهش با استفاده از نرم افزار انویمت ۴ به شبیه‌سازی حیاط مرکزی کم عمق در اقلیم قزوین با توجه به میزان مساحت حیاط مرکزی، میزان آب و میزان فضای سبز در حیاط مرکزی مفروض (۱۵ متر معادل ۳ طبقه) پرداخته شده است. نتایج این شبیه‌سازی بیانگر این موضوع است میزان مساحت ۳۰ درصدی در پلان برای حیاط مرکزی و میزان ۶۰ درصدی از حیاط مرکزی جهت کاشت مناسب‌ترین حالت از نظر کمترین میزان میانگین دمای تابشی است و در مورد میزان آب تفاوتی قابل ملاحظه‌ای در میان عوامل اقلیمی مشاهده نگردید. تحلیل عوامل مؤثر بر میانگین دمای تابشی بیانگر این موضوع است که در حیاط‌های مرکزی کم عمق میانگین تابشی متأثر از میزان سرعت باد است. با بررسی میزان همبستگی عوامل اقلیمی مرتبط (دمای هوا، میزان تابش، سرعت هوا) با میانگین دمای تابشی، همبستگی معکوس ۸۰ درصدی و بالاتر میان سرعت هوا با میانگین دمای تابشی نشان داده شد. بنابراین تهویه طبیعی مهمترین عامل در کاهش میزان میانگین دمای تابشی و افزایش آسایش حرارتی فضای باز در محیط‌های شهری کم عمق است.

واژه‌های کلیدی:

حیاط مرکزی کم عمق، شبیه‌سازی، انویمت، میانگین دمای تابشی، تهویه طبیعی.

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، قزوین، ایران. Morteza.ojaqlu@gmail.com

۲. استادیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران. mkhakzand@iust.ac.ir

۱- مقدمه

تعامل صحیح کالبد معماری با محیط پیرامون آن توجه به الزامات این تعامل جهت دستیابی بالاترین سطح آسایش حرارتی چه در فضاهای باز ساختمان‌ها و چه در فضاهای داخلی از حوزه‌های پر از پرسش معماری در طراحی اقلیمی و پایدار می‌باشد. گذشتگان هوشیار ما، در اقلیم‌های متفاوت روش‌های متفاوتی برای تطابق معماری با اقلیم برای رسیدن به آسایش حرارتی و در نتیجه صرفه‌جویی مصرف انرژی به کار می‌بستند. در ایران، توجه خاص به استفاده‌ی صحیح و مؤثر از انرژی تجدیدپذیر با روش‌های بسیار ساده و به کارگیری تکنیک‌های سنتی و بومی با توجه به شرایط اقلیمی و فرهنگی، معماری ما را متمایز و ماندگار کرده است. با نگاهی به بناهای بومی و سنتی دیده می‌شود که این بناها شرایط ناسازگار خارج را با صرف کمترین انرژی به فضای متعادل و مطلوب داخل تبدیل می‌کنند و این همان مفهوم معماری سنتی با توجه به اقلیم است که می‌تواند در حال حاضر و در آینده تکرار شود، بدون اینکه رنگ کهنگی به خود گیرد (حیدری، ۱۳۹۳). حیاط مرکزی به عنوان یکی از کهن‌الگوهای معماری به طور گسترده در معماری سنتی ایران استفاده گردیده است. با توجه به پیشینه تاریخی این موضوع و کارکرد قابل قبول آسایش حرارتی حیاط‌های مرکزی در اقلیم متفاوت ایران در گذشته، می‌توان با استفاده صحیح از الگوی حیاط مرکزی کمک شایانی به ارتقاء کیفیت حرارتی فضای باز فضاهای معماری معاصر نمود. حیاط‌های مرکزی در اقلیم‌های متفاوت ایران دارای ویژگی‌های متفاوتی از نظر فرم و اجزای آن داشته است. عمده پژوهش‌های انجام شده در این حوزه بر روی حیاط‌های مرکزی مناطق گرم و خشک ایران توجه داشته‌اند و عدم اطلاعات دقیق از خصوصیات اقلیمی حیاط‌های مرکزی در سایر اقلیم‌ها منجر به استفاده یکسان و یک شکل از حیاط مرکزی در اقلیم‌های متفاوت ایران شده و همین امر موجب از دادن کارکرد اقلیمی این فرم گشته است. استفاده از الگوی حیاط مرکزی در اقلیم قزوین چه در حوزه معماری و چه در حوزه شهرسازی به علت بستر تاریخی و شرایط اقلیمی نسبتاً سرد قزوین از اولویت‌های طراحی معماران و شهرسازان می‌باشد، لذا همین امر ضرورت پژوهشی این مقاله را تبیین می‌کند بنابراین تعیین مشخصات فیزیکی مطلوب حیاط مرکزی با استفاده از روش شبیه‌سازی شرایط واقعی در حیاط‌های مرکزی کم عمق از

نظر دستیابی به حدود دمای آسایش حرارتی در اقلیم قزوین از اهداف اصلی این پژوهش می‌باشد

۲- پیشینه تحقیق

پژوهش‌هایی که به مقوله آسایش حرارتی فضای باز می‌پردازند در سالهای اخیر افزایش یافته است. برخی از این پژوهش‌ها به بررسی متغیرهای خاص و تأثیر آن بر آسایش حرارتی و تعدادی دیگر به ارزیابی رابطه آسایش حرارتی و میزان فعالیت‌ها در فضای باز توجه کرده‌اند. هندسه شهری که به عنوان معبر شهری شناخته می‌شود و به علت آنکه فرم هندسه شهری به معبرهای طبیعی شباهت دارد تحت عنوان "دره‌های شهری" مطرح می‌شوند (Nicholson, 1967). معبرهای شهری در حدود دو سوم از فضاهای شهری را اشغال می‌کنند. در تعادل تابشی و آسایش حرارتی نقش مهمی را بازی می‌کند (Oke, 1992; Oke, 1998; Shashua et al., 2000). هندسه معبرهای شهری نقش کلیدی در ذخیره‌سازی ۳۰ درصد انرژی در ساختمان‌های تجاری و ۱۹ درصد در ساختمان‌های مسکونی دارد (Stromann et al., 2011). معبرهای شهری و تأثیر آنها بر بروی آسایش حرارتی عابرین مورد توجه شدید محققین در حوزه اندازه‌گیری، شبیه‌سازی و مطالعات تونل بادی قرار گرفته است (Santamouris, 2013). یکی از پارامترهای کلیدی در تعیین هندسه معبرهای شهری نسبت ابعادی آنها می‌باشد. که این مفهوم با تعیین نسبت بین میانگین ارتفاع دیواره‌ها و عرض آنها حاصل می‌شود (Oke, 1988). معبرهایی با نسبت عرض به ارتفاع حدوداً ۱ درهای یک پارچه نامیده می‌شود، معبر کم عمق با نسبت حدودی و کمتر ۰.۵، و معبرهای عمیق با نسبت ۲ و بالاتر در نظر گرفته می‌شود (Ahmad et al., 2005). دمای شب هنگام به طور مستقیم تحت تأثیر نسبت ابعادی قرار دارد، این بدان معناست که نسبت ابعادی بالاتر دمای شب بالاتری را موجب می‌شود (Arnfield, 2003; Oke, 1991). الگوی دمایی در روز مخالف آنچه که در شب اتفاق می‌افتد می‌باشد، این موضوع در چندین پژوهش به اثبات رسیده است، به عنوان مثال در یافته شد که بیشترین کاهش دما در طی روزهای تابستان گرم و مرطوب داکا و بنگلادش مربوط افزایش میزان نسبت می‌باشد (Ahmed, 1994) و در تحقیقی دیگر تفاوت ۷ درجه کلونی سایت‌های مختلف با نسبت ابعادی مختلف در اقلیم گرم و مرطوب کلمبیا، سریلانکا حاصل شد (Emmanuel et al., 2006).

در ایران مطالعه گسترده‌ای در خصوص آسایش حرارتی فضای باز انجام نگرفته است در این میان پژوهش‌های دکتر علیرضا منعم در سال ۱۳۹۲ در رساله دکتری خود به تحقیق درباره آسایش حرارتی فضاهای باز در بوستان‌های شهری پرداختند در این رساله به بررسی متغیرهای مختلف محیطی در بوستان‌های شهری شهر تهران پرداخته شده است و تعیین محدوده شاخص‌های حرارتی فضای باز و معادله پیش‌بینی آن از نتایج این رساله دکترا بوده است.

۳- مطالعات حرارتی فضای باز در حیاط مرکزی

عموماً در مطالعات اقلیمی حیاط مرکزی به بررسی تأثیرات عوامل اقلیمی همچون باد، تأثیرات آفتاب، سایه‌اندازی و فرم و شکل حیاط مرکزی پرداخته شده است (Yasa & Ok, 2014). در پژوهش‌هایی به پتانسیل حیاط‌های مرکزی در تهویه طبیعی و جریان هوا پرداخته شده است (Aldawoud, 2008; Meir et al., 1995; Sharples & Bensalem, 2001). به تأثیر سایه‌اندازی حیاط مرکزی در دستیابی به بیشترین میزان آسایش حرارتی پرداخته شده است (Meir et al., 1995). بنابراین در مطالعاتی جداگانه توسط "خان و همکاران" و "آکوستا" به نقش اساسی حیاط‌های مرکزی در دستیابی به نور روز، تهویه طبیعی و در نهایت دستیابی به بهینه‌ترین وضعیت آسایش حرارتی اشاره می‌شود (Acosta et al., 2013; Khan & Riffat, 2008). در پژوهشی دیگر توسط "الداوود" اثبات می‌شود که حیاط‌های مرکزی در اقلیم گرم و خشک در خصوص میزان مصرف انرژی کارتر از سایر اقلیم‌ها می‌باشد (Aldawoud, 2008). در پژوهشی دیگر توسط "ارنست" نشان داده شد استفاده از گیاهان موجب ارتقاء سطح آسایش حرارتی در حیاط‌های مرکزی می‌شود (Ernest, 2011). به همین صورت در مطالعه‌ای در عربستان سعودی دریافته شده که سایه‌دار کردن حیاط مرکزی در طول روز و باز کردن آن در طول شب موجب کاهش دمای ۴ درجه ای فضای باز می‌شود (Al-hemiddi & AL-saud KAM, 2001). در سالهای اخیر به تعیین ویژگی‌های حیاط‌های مرکزی در کشورهای مختلف پرداخته شده است به عنوان مثال آقای غفاریان حسینی و همکارانشان به تعیین ویژگی‌های حرارتی حیاط مرکزی در مالزی پرداخته است. در این پژوهش ویژگی‌های فیزیکی مختلفی از حیاط مرکزی بررسی شده و حالت‌های بهینه آن در مالزی معرفی شده است (Ghaffarianhosseni et al., 2015). در پژوهشی دیگر آقای طالقانی و همکارانشان پنج حالت مختلف در فرم‌دهی فضاهای شهری جهت

در تحقیقی دیگر کاهش تابش و نفوذ باد در دره‌های عمیق به اثبات رسیده است (Nunez, 1974; Oke, 1981; Holmer, 1992). در مطالعه‌ای بر روی میزان تأثیر فواصل ساختمان‌ها بر روی کاهش دمای روزانه انجام شد، اختلاف دمای ۴٫۷ درجه کلوین با اطلاعات هواشناسی ملاحظه گردید (Shashua et al., 2004). به دلیل میزان بالای سطوح نفوذ ناپذیری شهرها و میزان پایین رطوبت، عدم وجود مواد مغذی برای ریشه گیاهان و وجود آب و هوای آلوده، شهرها فضاهای مناسبی برای فضاهای سبز و رشد آنها در نظر گرفته نمی‌شود (Pataki et al., 2011; Craul, 1985; Peters et al., 2012). با این وجود میزان تأثیر فضای سبز در کاهش دمای محیط در پژوهش‌های مختلفی انجام شده و در آنها به کاهش ۱ تا ۷ درصدی فضای سبز اشاره شده است (Spronken et al., 1998; Chang et al., 2007; Wong et al., 2007; Bowler et al., 2010; Oliveira et al., 2011; Cohen et al., 2012; Krüger et al., 2007). تأثیر کنترلی درختان در کنترل میزان سرعت باد سرد پرداخته شده است (Akbari et al., 1992). باید به این مورد توجه داشت که کنترل میزان جریان هوا به نوع فضای سبز بستگی دارد. به طور مثال درختان برگ‌ریز به میزان ۳۰-۴۰ درصد سرعت باد را کاهش می‌دهند (Ali-Toudert & Mayer, 2007). سایه‌اندازی درختان به عنوان یکی از مهمترین عوامل در کاهش جزایر دمایی شهرها شناخته شده است (Wong et al., 2005). بنابراین افزایش میزان فضاهای پوشیده شده از درختان، تأثیرات سایه‌اندازی مفیدی خواهند داشت (Sawka et al., 2013) و منجر به کاهش دمای هوا در مقایسه با فضاهایی بدون فضای سبز می‌باشند. تحلیل‌های آماری در ۱۱ نقطه پوشیده از درخت در تلاویو نشان دهنده آن است که ۸۰ درصد خنکی شهرها به علت میزان سایه درختان این شهر است (Shashua et al., 2000). از مطالعاتی که در حوزه نحوه چیدمان بلوک مختلف در جهت دست یابی به بهترین وضعیت آسایش حرارتی می‌توان به پژوهشی با عنوان مطالعه عددی آسایش دمایی و محیط بادی در طرح‌های متفاوت چیدمان درختان و بلوک‌های مسکونی اشاره کرد که در سال ۲۰۱۵ توسط آقای هونگ و لین^۲ اشاره کرد که در آن به نحوه چیدمان درختان و نمای بنا در کنترل میزان باد قرارگیری فضای باز در میان بلوک‌ها در کنترل میزان باد اشاره کرد. در این پژوهش میزان آسایش حرارتی با شاخص حرارتی SET اندازه‌گیری شده و در این حالت میزان آن ۳۳٫۲ درجه سیلیسیوس گزارش شده است (Hong & Lin, 2015).

این مدل به خاطر پوشش کامل فرآیند شبیه‌سازی محیط‌های شهری مورد توجه قرار گرفته و صحت نتایج آن در بسیاری از تحقیقات به اثبات رسیده و محدودیت‌های استفاده از آن نیز مشخص شده است. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های مدل انویمت محاسبه دقیق و صحیح میانگین دمای تابشی (Tmrt) در شرایط فضای باز است (Hunttner et al., 2008; Chow & Brazel, 2012) از محدودیت‌های این مدل محاسبه شاخص حرارتی PET در نسخه‌های آموزشی و رایگان آن است.

۴-۲- اعتبار سنجی نرم افزار انویمت ۴

به منظور دستیابی به اطلاعات شبیه‌سازی در اقلیم قزوین و به جهت اجتناب از تأثیر جزایر دمایی شهر قزوین بر اطلاعات محیطی حاصل از اندازه‌گیری میدانی، محوطه دانشگاه بین‌المللی امام خمینی^(۵) قزوین جهت اندازه‌گیری و سنجش عوامل اقلیمی انتخاب گردید و نتایج حاصل از اندازه‌گیری با اطلاعات شبیه‌سازی شده توسط انویمت ۴ مقایسه گردید. به منظور کاهش تأثیر تابش بر روی دمای هوا سنسور^{۱۳} اندازه‌گیری دمای هوا با وسیله یک محافظ پارچه‌ای سفید رنگ محافظت گردید. به همین منظور دمای هوای محوطه دانشگاه بین‌المللی امام خمینی^(۵) به طور متوالی به مدت ۱۰ روز در خرداد و تیر ۱۳۹۵ اندازه‌گیری گردید (۲۶ خرداد تا ۴ تیر ماه) و به طور تصادفی ۲۸ خرداد ماه و ۳ تیر ماه ۱۳۹۵ برای شبیه‌سازی انتخاب شده‌اند. همه اطلاعات اقلیمی در ارتفاع ۱٫۶ متری از سطح زمین اندازه‌گیری شده‌اند اطلاعات مقایسه شده نمودار ۱۲ شرح داده شده است. جهت شبیه‌سازی با انویمت ۴ فایل مربوط به محوطه و فایل ساختار اقلیمی محلی نیاز است که مطابق جدول ۱ در نظر گرفته شده است.

دستیابی به بیشترین میزان آسایش حرارتی در کشور هلند پرداخته شده است و در نهایت فرم حیاط مرکزی به عنوان بهینه‌ترین فرم شهری از نظر آسایش حرارتی فضای باز در کشور هلند معرفی می‌شود (Taleghani et al., 2015).

۴- روش تحقیق

در این پژوهش به منظور تعیین مشخصات فیزیکی مطلوب حیاط مرکزی در اقلیم قزوین از روش شبیه‌سازی استفاده گردیده است. جهت افزایش میزان جهت نتایج شبیه‌سازی ابعاد حیاط مرکزی مسجد جامع قزوین به عنوان مرجع تعیین ابعاد حیاط مرکزی در نظر گرفته شد. به همین منظور بنای مفروض به ابعاد ۱۴۰*۱۴۰ متر ارتفاع ۱۵ متر (۳ طبقه) در روز ۶ مرداد ماه سال ۱۳۵۵ به عنوان گرم‌ترین روز قزوین در نرم افزار انویمت^۷ ۴ مدل و شبیه‌سازی گردید.

نتایج شبیه‌سازی در نرم افزار لئوناردو^۸ مصور و تحلیل گردید. تحلیل سایه‌اندازی حیاط مرکزی مفروض در نرم افزار اکوتکت^{۱۱} ۲۰۱۱ انجام گردید و میزان وابستگی عناصر محیطی با عوامل اقلیمی در نرم‌افزار آماری تحلیل اس پی اس^{۱۰} انجام گردیده است.

۴-۱- انویمت ۴ (ENVI-met4)

این مدل یک برنامه سه بعدی اقلیمی برای شبیه‌سازی تأثیرات متقابل بین سطوح، گیاهان و هوا در محیط‌های شهری است. این مدل توسط پروفیسور مایکل بروس^{۱۱} در دانشگاه ماینز^{۱۲} آلمان طراحی شده (Bruse, 1999) و در حال توسعه است (Bruse, 2004). این نرم افزار در تحقیقات بسیاری مورد استفاده و آزمایش قرار گرفته است (Hutter et al., 2008; Ambrosini et al., 2013; Elnabawi et al., 2014).

جدول ۱: اطلاعات شبیه‌سازی (ماخذ: نگارندگان)

	۱۳۹۵/۴/۳	۱۳۹۵/۳/۲۸
روز شبیه‌سازی		
مدت شبیه‌سازی	۲۴ ساعت (۲۱:۰۰-۲۱:۰۰)	۲۴ ساعت (۲۱:۰۰-۲۱:۰۰)
ساختار فضایی شبیه‌سازی	۱ متر افقی و ۲ متر عمودی	۱ متر افقی و ۲ متر عمودی
سرعت باد	m/s۱	m/s۰
دمای هوا	۱۵.۲۹۴	۱۵.۲۹۶
جهت باد (N=0, E=90)	۳۱۵	۴۵
رطوبت نسبی (در ارتفاع ۲ متری)	۵۸.۶۴%	۸۷.۳۴%
دمای داخلی	۲۹۳K (۲۰ °C)	۲۹۳K (۲۰ °C)
انتقال حرارت	دیوار = ۱٫۶ w/m ²	دیوار = ۱٫۶ w/m ²
میزان باز تابش	دیوار = ۰٫۲۱	دیوار = ۰٫۲۱

	سقف=۰,۱۸	سقف=۰,۱۸
سرعت پیاده روی (m/s)	۰,۰	۰,۰
میزان تبدیل انرژی (Col. 2 M/A)	۱۱۶	۱۱۶
میزان فعالیت	۰,۰	۰,۰
میزان مقاومت حرارتی لباس (olc)	۰,۵	۰,۵
دمای اولیه لایه در بالایی خاک (۰-۲۰ cm)	۱۵.۲۹۴	۱۵.۲۹۶
دمای اولیه لایه در میانی خاک (۵۰-۲۰)	۳۵.۲۹۲	۱۵.۲۹۳
دمای اولیه لایه در پایینی خاک (کمتر از ۵۰ سانتی متر)	۲۹۰,۱۵	۳۰.۲۸۹
رطوبت نسبی در لایه بالایی خاک (۰,۲۰ cm)	۶۴	۳۴
رطوبت نسبی در لایه میانی خاک (۵۰-۲۰ cm)	۶۶	۳۷
رطوبت نسبی در لایه پایینی خاک (کمتر از ۵۰ سانتی متر)	۷۰	۳۹

همبستگی ۹۳ درصدی برای روز ۳ تیر ($R=0.93$) خبر می‌دهند. بنابراین نتایج شبیه‌سازی از میزان بالای صحت برای محوطه دانشگاه بین‌المللی امام خمینی^(۵) برخوردار است و این اطلاعات می‌توانند برای شهر قزوین تعمیم داده شوند.

براساس مقایسه اطلاعات بدست آمده از نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری میدانی، ضریب همبستگی پیرسون برای درک و اثبات میزان صحت اطلاعات شبیه‌سازی محاسبه گردید و نتایج آن از همبستگی ۸۷ درصدی اطلاعات برای روز ۲۸ خرداد ($R=0.87$) و



شکل ۱. مقایسه نتایج دمای هوای اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده (ماخذ: نگارندگان)

در نظر گرفته شده است. ارتفاع بنا ۱۵ متر معادل یک ساختمان ۳ طبقه با ارتفاع ۵ متری برای هر طبقه در نظر گرفته شده است. در همین راستای گرم‌ترین روز سال قزوین جهت شبیه‌سازی انتخاب گردید. طبق گزارش اداره هواشناسی استان قزوین گرم‌ترین روز شهری قزوین در روز چهارشنبه، ۶ مرداد ماه سال ۱۳۵۵ رخ داده است و دمای ۴۳ سانتیگراد برای این شهر ثبت گردیده است. اطلاعات اقلیمی

۵- بحث

بهترین حالت حیاط مرکزی از نظر آسایش حرارتی فضای باز

برای بررسی حیاط مرکزی بهینه ۳ فاکتور:

- ۱: درصد مساحت حیاط مرکزی به مساحت کل
- ۲: درصد فضای سبز به مساحت حیاط مرکزی
- ۳: درصد میزان آب به مساحت حیاط مرکزی

برای شبیه‌سازی بر اساس گزارش سازمان هواشناسی کل کشور استخراج و مطابق جدول تنظیم گردید. کلیه اطلاعات شبیه‌سازی در وسط حیاط مرکزی و در ارتفاع ۱,۴۰ سانتی‌متری محاسبه گردیده است.

جدول ۲: اطلاعات اقلیمی گرم‌ترین روز قزوین برای شبیه‌سازی (ماخذ: نگارندگان)

روز شبیه‌سازی	۱۳۵۵/۵/۶
مدت شبیه‌سازی	۱۴ ساعت (۶:۰۰-۲۰:۰۰)
ساختار فضایی شبیه‌سازی	۱ متر افقی و ۲ متر عمودی
دمای اولیه	۲۹۴.۱۵ (۲۱) °C
سرعت باد	m/s ^۳
جهت باد (N=0, E=90)	۱۲۵
رطوبت نسبی (در ارتفاع ۲ متری)	%۰.۲۵۵
دمای داخلی	۲۹۳K (۲۰°C)
انتقال حرارت	دیوار= ۱,۶ w/m ²
میزان باز تابش	دیوار= ۰,۲۱ سقف= ۰,۱۸
سرعت پیاده‌روی (m/s)	۰,۰
میزان تبدیل انرژی (Col. 2 M/A)	۱۱۶
میزان فعالیت	۰,۰
میزان مقاومت حرارتی لباس (olc)	۰,۵
دمای اولیه لایه در بالایی خاک (۲۰-۰ cm)	۲۹۴
دمای اولیه لایه در میانی خاک (۲۰-۵۰)	۲۹۲
دمای اولیه لایه در پایینی خاک (کمتر از ۵۰ سانتی‌متر)	۲۹۰
رطوبت نسبی در لایه بالایی خاک (۲۰-۰ cm)	۵۵
رطوبت نسبی در لایه میانی خاک (۲۰-۵۰ cm)	۵۷
رطوبت نسبی در لایه پایینی خاک (کمتر از ۵۰ سانتی‌متر)	۶۰

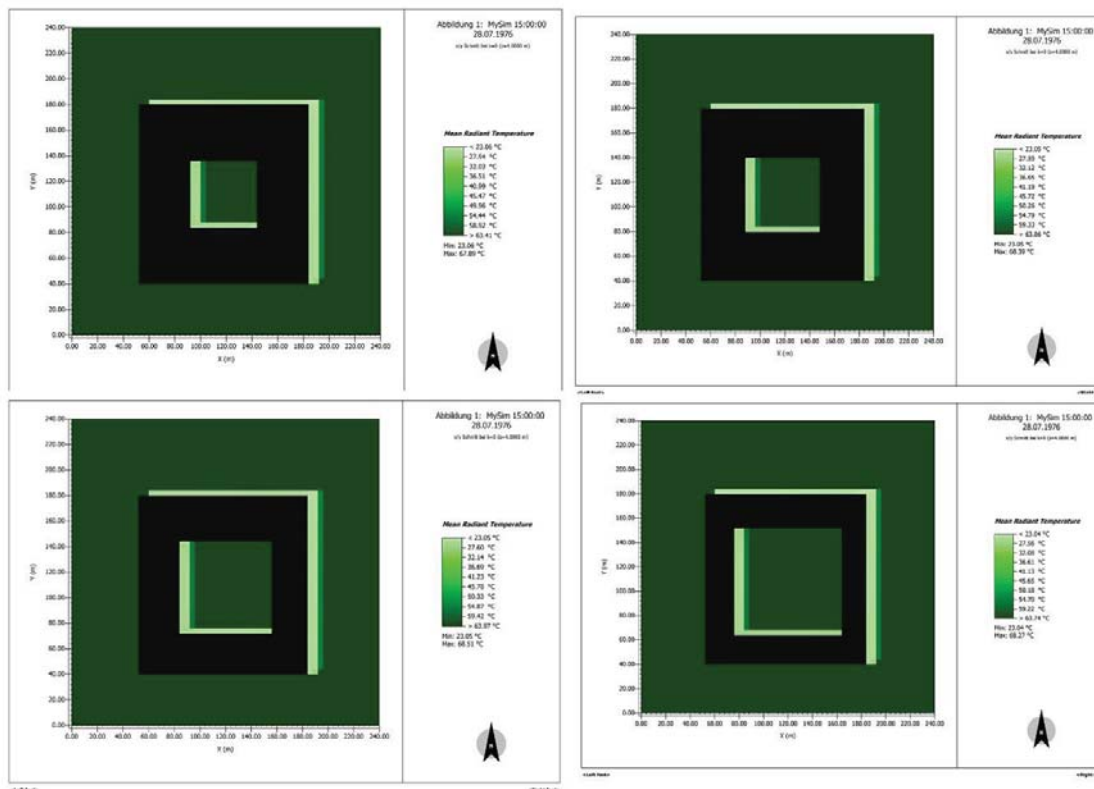
۱-۵- تأثیر مساحت حیاط مرکزی

نمونه‌ها دریافت می‌کند اما در ادامه روز با توجه به ارتفاع ساختمان و ارتفاع خورشید میزان مجموع تابش مستقیم و غیر مستقیم نمونه‌ها تقریباً برابر است و در برخی از ساعات روز اندکی مقدار T_{mrt}^{15} نمونه ۴۰ درصدی از سایر نمونه‌ها بیشتر است. از ساعت ۱۸:۰۰ به علت کاهش محسوس ارتفاع خورشید و افزایش سطح سایه در حیاط به سرعت مقدار میانگین تابشی کاهش می‌یابد و در ساعت ۲۰:۰۰ به کمترین مقدار خود در طول روز می‌رسد. با توجه عدم تفاوت زیاد در میزان میانگین دمای تابشی نمونه‌های ۱۰ تا ۳۰ درصد، نمونه ۳۰ درصدی با توجه به میزان مساحت بیشتر نسبت به سایر نمونه‌ها به عنوان درصد مناسب جهت ادامه شبیه‌سازی انتخاب گردید.

در فرآیند شبیه‌سازی حیاط مرکزی در مرحله تعیین ابعاد و درصد بهینه از دردهای ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ درصد استفاده گردید. در تحلیل آماری اطلاعات خروجی از نرم افزار انویمت در بخش تعیین درصد بهینه تفاوت زیادی در میزان دمای هوای این دردها مشاهده نمی‌شود و تنها اختلاف ۰,۰۲ درجه‌ای میان بیشترین مقدار و کمترین مقدار وجود دارد. در مقدار میانگین دمای تابشی اختلاف ۰,۸۷ درجه‌ای میان نمونه ۱۰ درصدی و ۴۰ درصدی وجود دارد. طبق نمودار ۱۳ در ساعات اولیه صبح (۶-۸ صبح)، نمونه ۴۰ درصدی به علت داشتن ضریب دید به آسمان^{۱۴} (SVF) بیشتر میزان تابش بیشتری نسبت به سایر



شکل ۲. مقایسه میانگین دمای تابشی نمونه‌ها (ماخذ: نگارندگان)



شکل ۳. نمایش گرافیکی میانگین دمای تابشی در نمونه‌ها (ماخذ: نگارندگان)

۲-۵- تأثیر میزان فضای سبز

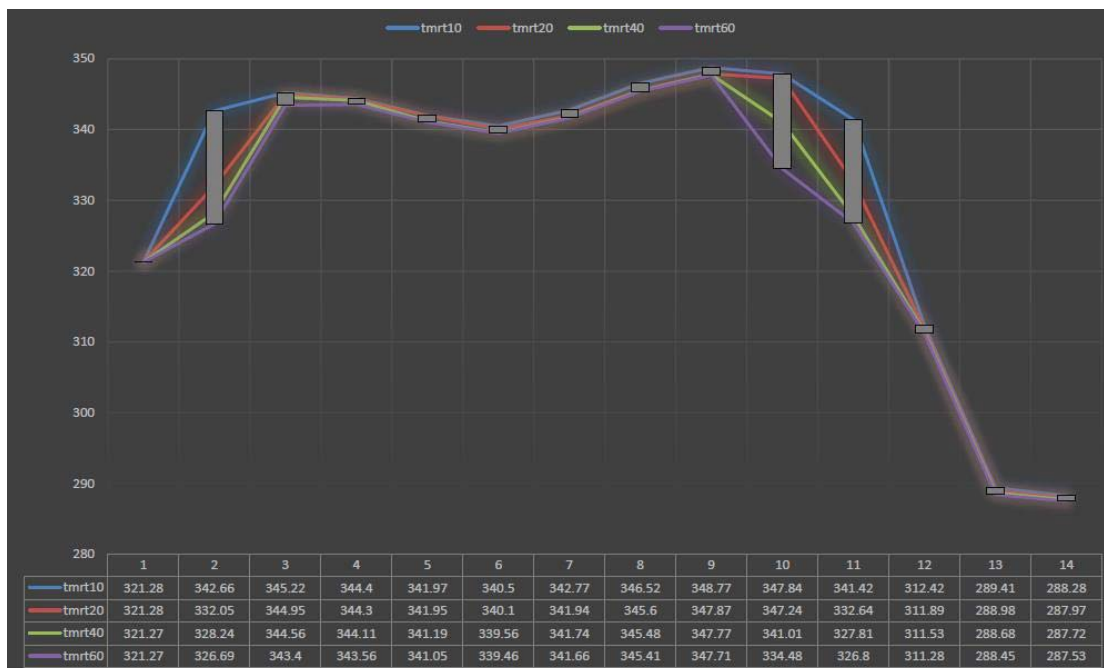
فضای سبز و تأثیر آن در حیاط مرکزی بوسیله ۴ مرحله شبیه‌سازی درصد‌های ۰،۰،۱۰،۲۰،۴۰،۶۰ مورد آزمایش قرار می‌گیرد. مقایسه اطلاعات محیطی در صدهای مختلف فضای سبز نشان از اختلاف ۰،۰۶ درجه ای دمای هوا در نمونه‌های

شبیه‌سازی دارد و تفاوت چندانی در دمای هوا وجود ندارد و در مورد میزان سرعت هوا تغییراتی در حالت‌های مختلف شبیه‌سازی مشاهده نمی‌شود اما در مورد میانگین دمای تابشی که از مهمترین عناصر تأثیر گذار بر استرس حرارتی است تفاوت معناداری بین در صدهای متفاوت وجود دارد، و با

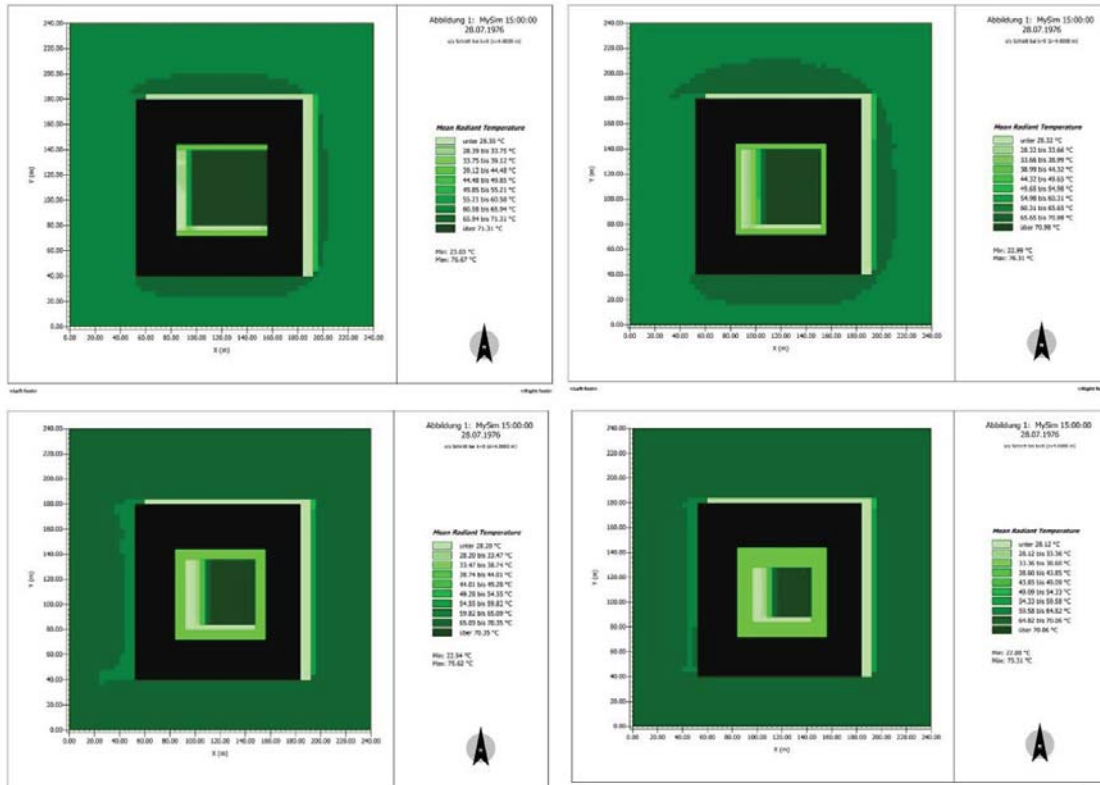
۵-۳- تأثیر میزان آب

بررسی میزان تأثیر آب در ابعاد نمونه ۳۰ درصدی مساحت در ۳ حالت ۳۰،۲۰،۱۰،۰ درصدی مورد شبیه‌سازی قرار گرفت. مقایسه اطلاعات اقلیمی حالات مختلف بیانگر میزان ثابت حالات مختلف میزان آب در نمونه ۳۰ درصدی می‌باشد. میانگین رطوبت نسبی در ۳ حالت مختلف میزان ثابتی را رطوبت نسبی را ارائه می‌کنند و میزان ۱ درصدی میان بیشترین و کمترین میزان رطوبت نسبی وجود دارد و میزان Tmrt و Ta نیز تفاوت چندانی نمی‌کند. مطابق نمودار زیر روند تغییر tmrt در حالت‌های مختلف مقدار ثابتی را طی می‌کند. طبق نمودار میزان Tmrt در ساعات اولیه روز با افزایش میزان تابش شروع به افزایش می‌کند و از ساعت ۱۰ صبح شروع به کاهش کرده و تا ساعت ۱۲ به روند نزولی خود ادامه می‌دهد و از ساعت ۱۲ دوباره با شدت گرفتن تابش شروع به افزایش می‌کند و به بیشترین مقدار خود در ساعت ۱۶ می‌رسد و از ساعت ۱۷ با کاهش ارتفاع خورشید به شدت میزان میانگین دمای تابشی شروع به کاهش می‌کند و کمترین مقدار خود در ساعت ۲۰ می‌رسد.

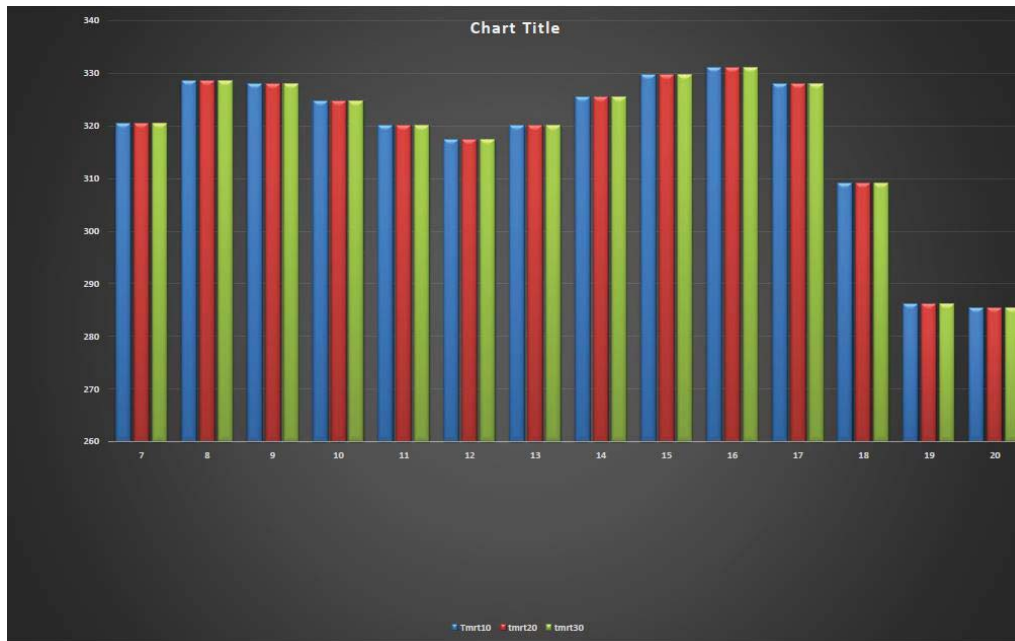
افزایش میزان فضای سبز میزان میانگین دمای تابشی کاهش می‌یابد. به طور میانگین ۳،۹۱ درجه تفاوت میان کمترین درصد و بالاترین درصد فضای سبز وجود دارد. مطابق نمودار زیر، میانگین دمای تابشی هر ۴ نمونه در ساعات اولیه صبح از میزان مساوی برخوردار می‌باشند و با گذر زمان و در ساعت ۸ تا ۱۱ صبح میزان دمای تابشی نمونه ۱۰ درصدی با سرعت بالاتری را نسبت به سایر نمونه افزایش میابد و در ساعات میانی روز با توجه به تابش عمودی آفتاب مقادیر هر چهار در صد مقدار مساوی پیدا می‌کنند و با توجه به افزایش سرعت باد مقادیر هر چهار مورد کاهش نسبی پیدا می‌کنند. در ساعات پایانی روز و بعد از ساعت ۱۶ نحوه رفتار حالات‌های متفاوت تغییر می‌کند و نمونه ۱۰ درصدی نسبت به سایر نمونه‌های روند کاهشی کمتری را طی می‌کند و نمونه ۶۰ درصدی با سرعت بالاتری مقدار Tmrt خود را از دست می‌دهد و محیط خنک‌تری را این نظر کسب می‌کند. از ساعت ۱۸ به بعد با توجه به کاهش زیاد ارتفاع خورشید مقدار مجموع تابش مستقیم و پراکنده حالت مختلف یکسان می‌شود و در ساعت ۲۰ به کمترین مقدار خود در طول روز می‌رسد.



شکل ۴. مقایسه میانگین دمای تابشی درصدهای مختلف فضای سبز (ماخذ: نگارندگان)



شکل ۵. بیان گرافیکی میانگین دمای تابشی (ماخذ: نگارندگان)



شکل ۶. مقدار ساعته میانگین دمای تابشی در حالت مختلف میزان آب (ماخذ: نگارندگان)

۵-۴- عامل مؤثر بر میانگین دمای تابشی

با توجه به میزان وسعت حیاط تحلیل میزان سایه برای روز مرجع (۲۸ مرداد ماه) برای ساعات ۹-۱۷ در نرم افزار اکوتکت (Ecotect) انجام گرفت و با توجه به قرارگیری گیرنده اطلاعات اقلیمی^{۱۶} در مرکز حیاط

مرکزی و مطابق تحلیل زیر به علت گستردگی حیاط این نقطه در هیچ یک از ساعت مذکور در سایه قرار ندارد. در طول روز در معرض تابش مستقیم آفتاب قرار دارد. بنابراین میزان دمای تابشی این حیاط متأثر از میزان تابش آن نیست و تحلیل آماری همبستگی میزان Tmrt

$$Tmrt = \left[(GT + 273.14^4 + \frac{1.1 * 10^8 Va^{0.6}}{\delta * D^{0.4}} * (Tg - Ta) \right]^{1/4} - 273.15$$

Tmrt: میانگین دمای تابشی بر حسب سلسیوس (C).

GT: دمای کروی بر حسب کلویین سلسیوس (C).

Va: سرعت هوا بر حسب متر بر ثانیه (m/s).

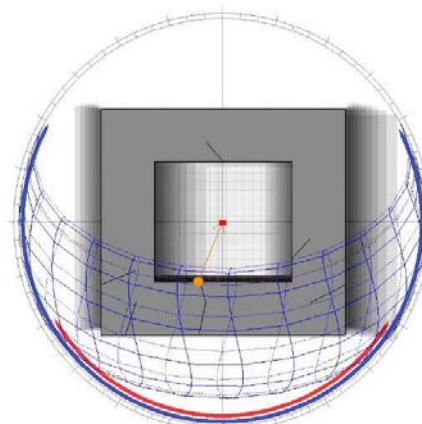
δ : ب: میزان انتشار کره که به طور معمول ۰٫۹۵ در نظر گرفته می‌شود.

D: قطر کره بر حسب متر (m) که به طور استاندارد ۱۵۰ در نظر گرفته می‌شود.

Ta: دما هوا بر حسب سلسیوس (C).

با توجه به فرمول بالا در در مراحل اولیه محاسبه میزان Tmrt در نرم افزار انویمت استفاده گردیده است، میانگین دمای تابشی مجموع تابش‌های مستقیم و پراکنده است که در آن میزان میانگین دمای تابشی با سرعت با رابطه معکوس داشته و سرعت باد با ضریب $10^8 Va^{0.6}$ بر Tmrt تأثیر می‌گذارد. بنابر این در مقدار ثابت میزان تابش، عوامل تأثیرگذار دما هوا و سرعت هوا می‌باشد. میزان تأثیر این دو عامل در ۳ حالت شبیه‌سازی بوسیله ضریب همبستگی پیرسون^{۱۷} (R) مورد آزمایش قرار گرفت.

سایر عوامل اقلیمی دخیل مانند دمای هوا و سرعت باد انجام گرفت.



شکل ۷. تحلیل ساعتی سایه برای روز ۲۸ مرداد ماه (ماخذ: نگارندگان)

در مقایسه ضریب همبستگی پیرسون در ۳ حالت شبیه‌سازی (میزان مساحت، فضای سبز، میزان آب) مشاهده گردید که مطابق فرمول محاسبه Tmrt:

جدول ۳: ضریب همبستگی حالات میانگین دمای تابشی با دمای هوا و سرعت هوا در حالت‌های شبیه‌سازی

	فضای سبز ۱۰ درصد	فضای سبز ۲۰ درصد	فضای سبز ۳۰ درصد	فضای سبز ۴۰ درصد	فضای سبز ۵۰ درصد	فضای سبز ۶۰ درصد	فضای سبز ۷۰ درصد	آب ۱۰ درصد	آب ۲۰ درصد	آب ۳۰ درصد
دمای هوا	-۰٫۲۳	-۰٫۲۳	-۰٫۲۳	-۰٫۲۳	-۰٫۲۳	-۰٫۲۳	-۰٫۲۳	-۰٫۲۳	-۰٫۲۳	-۰٫۲۳
سرعت باد	-۰٫۸۱	-۰٫۸۱	-۰٫۸۱	-۰٫۸۱	-۰٫۸۱	-۰٫۸۱	-۰٫۸۱	-۰٫۷۹	-۰٫۷۹	-۰٫۷۹

۶- بحث و نتیجه‌گیری

فضای باز و کیفیت فضایی آن به شدت متأثر از ویژگی‌های حرارتی آن است، حیاط‌های مرکزی به عنوان یکی از شاخص‌ترین فضاهای معماری ایرانی مورد توجه بسیاری از معماران و طراحان شهری در دوران معاصر نیز قرار گرفته است. رفتار حرارتی مناسب حیاط مرکزی بوسیله بسیاری از محققان این حوزه به اثبات رسیده است اما عدم آگاهی از ویژگی‌های حرارتی عناصر آن موجب استفاده یک شکل از این الگو گشته و منجر به نا کارآمدی اقلیمی آن شده است. بنابراین تعیین خصوصیات کالبدی در راستای دستیابی به حیاط مرکزی مناسب با اقلیم محلی نیاز معماری معاصر ایران است لذا در این پژوهش به بررسی تأثیر عناصر کالبدی شامل:

مقادیر جدول ۸ بیانگر آن است که میزان ضریب همبستگی پیرسون (R) Tmrt و Ta در کلیه حالات شبیه‌سازی بین -۰٫۲۱ و -۰٫۳۱ می‌باشد و این اعداد نشانگر تأثیر ناچیز دمای هوا بر میانگین دمای تابشی می‌باشد که با توجه به کوچکی اعداد می‌توان از این تأثیر صرف نظر کرد. اما ضرایب همبستگی میان سرعت باد و میانگین دمای تابشی در کلیه حالات شبیه‌سازی همبستگی معکوس بالای ۸۰ درصدی را نشان می‌دهند و دامنه اعداد ضریب R بین -۰٫۷۹ و -۰٫۸۴ می‌باشد. بنابراین با افزایش سرعت با میزان میانگین دمای تابشی در کلیه حالات شبیه‌سازی کاهش می‌یابد و این بدان معنی است که در این حیاط مرکزی تهویه طبیعی و کوران هوا عامل اصلی در آسایش حرارتی فضای باز آن می‌باشد.

چندانی ندارند اما در مورد میانگین دمای تابشی که از مهمترین عناصر تأثیرگذار بر استرس حرارتی است تفاوت معناداری بین درصدهای متفاوت وجود دارد، و با افزایش میزان فضای سبز میزان میانگین دمای تابشی در این حالات شبیه‌سازی کاهش می‌یابد. به طور میانگین ۳٫۹۱ درجه تفاوت میان کمترین درصد و بالاترین درصد فضای سبز وجود دارد. با توجه مطالب ذکر شده در حیاط‌های مرکزی کم عمق میزان پوشش فضا سبز ۶۰ درصدی از مساحت حیاط مرکزی توصیه می‌شود.

۳: در گام نهایی شبیه‌سازی پوشش ۰٫۱۰، ۰٫۲۰، ۰٫۳۰ درصدی از مساحت حیاط مرکزی بوسیله آب مورد تحلیل قرار گرفت و نتایج آن حاکی از تفاوت ۱ درصدی میان بیشترین و کمترین نمونه شبیه‌سازی است و نتایج سایر عوامل اقلیمی مانند دمای هوا و میانگین دمای تابشی در تمامی نمونه‌ها ثابت و یکسان حاصل شد.

با توجه به ارتفاع جداره‌ها در حیاط‌های مرکزی کم عمق میزان میانگین دمای تابشی در اینگونه محیط وابسته به میزان تابش نمی‌باشد و میانگین دمای تابشی آنها تابعی از سرعت هوا در این محیط‌ها می‌باشد لذا تهویه طبیعی و سرعت جریان هوا عامل تعیین کننده در حیاط‌های مرکزی کم عمق می‌باشند. نتایج این پژوهش مربوط به اقلیم قزوین در گرم‌ترین روز سال آن می‌باشد لذا تعیین ویژه‌گی‌های سایر اقلیم‌ها در سایر فصول به عنوان پژوهش‌های بعدی توصیه می‌گردد.

۱: میزان نسبت مساحت حیاط مرکزی به کل پلان
 ۲: میزان مساحت آب به مساحت حیاط مرکزی
 ۳: میزان مساحت فضای سبز به مساحت حیاط مرکزی
 بر روی عوامل اقلیمی و محیطی در فضای باز پرداخته میشود. بدین منظور گرم‌ترین روز قزوین (چهارشنبه ۶- مرداد ۱۳۵۵) برای شبیه‌سازی حیاط مرکزی جهت دستیابی به مطلوب ترین خصوصیات فیزیکی حیاط مرکزی در ارتقاء آسایش حرارتی فضای باز انتخاب گردید. با توجه به فاکتورهای ذکر شده شبیه‌سازی انجام گردید و نتایج ذیل حاصل گردید:

۱: با توجه به این نکته که نسبت ارتفاع به عرض کمتر ۰٫۵ در حیاط مرکزی شبیه‌سازی شده تفاوت زیادی در میزان دمای هوای این درصدها مشاهده نمی‌شود و تنها اختلاف ۰٫۰۲ درجه‌ای میان بیشترین مقدار و کمترین مقدار وجود دارد و در مورد میانگین دمای تابشی اختلاف ۰٫۸۷ درجه‌ای میان مساحت ۱۰ درصدی و ۴۰ درصدی وجود دارد اما بین تمامی نمونه‌ها نمونه ۴۰ درصدی بیشترین میزان میانگین دمای تابشی را دارد. بنا براین با توجه عدم تفاوت زیاد در مقدار میانگین دمای تابشی نمونه‌های ۱۰ تا ۳۰ درصد، نمونه ۳۰ درصدی با توجه به میزان مساحت بیشتر نسبت به سایر نمونه‌ها به عنوان درصد مناسب توصیه میگردد.

۲: شبیه‌سازی نمونه ۳۰ درصدی مساحت با پوشش ۰٫۱۰، ۰٫۲۰، ۰٫۴۰، ۰٫۶۰ درصدی از فضای سبز نشان می‌دهد که دمای هوا و میزان سرعت باد در میان نمونه‌ها تفاوت

پی‌نوشت:

1. Urban Canyon
2. Hong & Lin
3. Khan & Riffat
4. Acosta
5. Aldawoud
6. Ernest
7. Envimet4
8. Leonardo
9. Ecotect
10. SPSS
11. Micheal Bruse
12. Mainz University
13. Air Sensor
14. Sky View Factor
15. Mean Radiant Temperature
16. Receptor
17. Pearson Correlation Coefficient

فهرست منابع:

- حیدری، شاهین (۱۳۹۳). سازگاری حرارتی در معماری، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- منعم، علیرضا (۱۳۹۰). آسایش محیطی در فضاهای باز شهری، ارزیابی آسایش حرارتی در پارک‌های منتخب شهر تهران، رساله دکتری، دانشگاه علم و صنعت ایران.

- Ahmad K., Khare M. & Chaudhry KK. (2005). Wind Tunnel Simulation Studies on Dispersion at Urban Street Canyons and Intersections-a Review, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 93, No. 9, pp. 697-717.
- Ahmed KS. (1994). A Comparative Analysis of the Outdoor Thermal Environment of the Urban Vernacular and the Contemporary Development: Case Studies in Dhaka, In *Proceedings of the 11 th PLEA International Conference, Dead Sea, 3-8 July 1994*, pp. 341-348.
- Akbari H. & Taha H. (1992). The Impact of Trees and White Surfaces on Residential Heating and Cooling Energy Use in Four Canadian Cities, *Energy*, Vol. 17, No. 2, pp. 141-149.
- Aldawoud A. (2008). Thermal Performance of Courtyard Buildings, *Energy and Buildings*, Vol. 40, No. 5, pp. 906-910.
- Allegrini J., Dorer V. & Carmeliet J. (2015). Influence of Morphologies on the Microclimate in Urban Neighbourhoods, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 144, pp. 108-117.
- Al-Hemiddi NA., Al-Saud KAM (2001). The Effect of a Ventilated Interior Courtyard on the Thermal Performance of a House in a Hot-arid Region, *Renewable Energy*, Vol. 24, No. 3, pp. 581-595.
- Ambrosini D., Galli G., Mancini B., Nardi I. & Sfarra S. (2014). Evaluating Mitigation Effects of Urban Heat Islands in a Historical Small Center with the ENVI-Met® Climate Model, *Sustainability*, Vol. 6, No. 10, pp. 7013-7029.
- Arnfield AJ. (2003). Two Decades of Urban Climate Research: A Review of Turbulence, Exchanges of Energy and Water, and the Urban Heat Island, *International Journal of Climatology*, Vol. 23, No. 1, pp. 1-26.
- Bowler DE., Buyung-Ali L., Knight TM. & Pullin AS. (2010). Urban Greening to Cool Towns and Cities: A Systematic Review of the Empirical Evidence, *Landscape and Urban Planning*, Vol. 97, No. 3, pp. 147-155.
- Bruse M. (1999). The Influences of Local Environmental Design on Microclimate-development of a Prognostic Numerical Model ENVI-met for the Simulation of Wind, Temperature and Humidity Distribution in Urban Structures. Temperature and Humidity Distribution in Urban Structures (in German), Germany, Institute of Geography, University of Bochum.
- Bruse M. (2004). ENVI-met 3.0: Updated Model Overview. University of Bochum. Retrieved from: www.envi-met.com.
- Chang CR., Li MH. & Chang SD. (2007). A Preliminary Study on the Local Cool-island Intensity of Taipei City Parks, *Landscape and Urban Planning*, Vol. 80, No. 4, pp. 386-395.
- Chow WT. & Brazel AJ. (2012). Assessing Xeriscaping as a Sustainable Heat Island Mitigation Approach for a Desert City, *Building and Environment*, Vol. 47, pp. 170-181.
- Cohen P., Potchter O. & Matzarakis A. (2012). Daily and Seasonal Climatic Conditions of Green Urban Open Spaces in the Mediterranean Climate and Their Impact on Human Comfort, *Building and Environment*, Vol. 51, pp. 285-295.
- Craul PJ. (1985). A Description of Urban Soils and Their Desired Characteristics, *Journal of Arboriculture*, Vol. 11, No. 11, pp. 330-339.
- Elnabawi MH., Hamza N. & Dudek S. (2013). Use and Evaluation of the ENVI-met Model for Two Different Urban Forms in Cairo, Egypt: Measurements and Model Simulations, In *13th Conference of International Building Performance Simulation Association, Chambéry, France*.
- Emmanuel R. & Johansson E. (2006). Influence of Urban Morphology and Sea Breeze on Hot Humid Microclimate: the Case of Colombo, Sri Lanka, *Climate Research*, Vol. 30, No. 3, pp. 189-200.
- Ernest R. & Ford B. (2012). The Role of Multiple-courtyards in the Promotion of Convective Cooling, *Architectural Science Review*, Vol. 55, No. 4, pp. 241-249.
- Ghaffarianhoseini A., Berardi U. & Ghaffarianhoseini A. (2015). Thermal Performance Characteristics of Unshaded Courtyards in Hot and Humid Climates, *Building and Environment*, Vol. 87, pp. 154-168.
- Holmer B. (1992). A Simple Operative Method for Determination of Sky View Factors in Complex Urban Canyons from Fisheye Photographs, *Meteorol Zeitschrift, NF*, Vol. 1, pp. 236-239.
- Huttner S., Bruse M. & Dostal P. (2008). Using ENVI-met to Simulate the Impact of Global Warming on the Microclimate in Central European Cities, In *5th Japanese-German Meeting on Urban Climatology*, Vol. 18, pp. 307-312.
- Krüger E., Pearlmutter D. & Rasia F. (2010). Evaluating the Impact of Canyon Geometry and Orientation on Cooling Loads in a High-mass Building in a Hot Dry Environment, *Applied Energy*, Vol. 87, No. 6, pp. 2068-2078.
- Matzarakis A., Rutz F. & Mayer H. (2007). Modelling Radiation Fluxes in Simple and Complex Environments-application of the RayMan Model, *International Journal of Biometeorology*, Vol. 51, No. 4, pp. 323-334.
- Meir IA., Pearlmutter D. & Etzion Y. (1995). On the Microclimatic Behavior of Two Semi-enclosed Attached Courtyards in a Hot Dry Region, *Building and Environment*, Vol. 30, No. 4, pp. 563-572.

- Nicholson SE. (1975). A Pollution Model for Street-level Air. *Atmospheric Environment*, 1967, Vol. 9, No. 1, pp. 19-31.
- Nunez M. (1974). *The Energy Balance of an Urban Canvas* (Ph.D. thesis), Vancouver: University of British Columbia.
- Oke TR. (1981). Canyon Geometry and the Nocturnal Urban Heat Island: Comparison of Scale Model and Field Observations, *Journal of Climatology*, Vol. 1, No. 3, pp. 237-254.
- Oke TR., Johnson GT., Steyn DG. & Watson ID. (1991). Simulation of Surface Urban Heat Islands Under 'ideal' Conditions at Night Part 2: Diagnosis of Causation, *Boundary-Layer Meteorology*, Vol. 56, No. 4, pp. 339-358.
- Oke TR. (1992). *Boundary Layer Climates*, United Kingdom, Psychology Press.
- Oke TR. (1998). An Algorithmic Scheme to Estimate Hourly Heat Island Magnitude, In: *Proceedings of the The Second Symposium on Urban Environment*, 1998, pp. 80-83.
- Oliveira S., Andrade H. & Vaz T. (2011). The Cooling Effect of Green Spaces as a Contribution to the Mitigation of Urban Heat: A Case Study in Lisbon, *Building and Environment*, Vol. 46, No. 11, pp. 2186-2194.
- Pataki DE., McCarthy HR., Litvak E. & Pincetl S. (2011). Transpiration of Urban Forests in the Los Angeles Metropolitan Area, *Ecological Applications*, Vol. 21, No. 3, pp. 661-677.
- Peters EB., McFadden JP. & Montgomery RA. (2012). Biological and Environmental Controls on Tree Transpiration in a Suburban Landscape, *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 2010; Vol. 115, pp. 2005-2012.
- Santamouris M. (2013). *Energy and Climate in the Urban Built Environment*, Routledge.
- Sawka M., Millward AA., McKay J. & Sarkovich M. (2013). Growing Summer Energy Conservation Through Residential Tree Planting, *Landscape and Urban Planning*, Vol. 113, pp. 1-9.
- Sharples S. & Bensalem R. (2001). Airflow in Courtyard and Atrium Buildings in the Urban Environment: A Wind Tunnel Study, *Solar Energy*, Vol. 70, No. 3, pp. 237-244.
- Shashua-Bar L. & Hoffman ME. (2000). Vegetation as a Climatic Component in the Design of an Urban Street: An Empirical Model for Predicting the Cooling Effect of Urban Green Areas with Trees, *Energy and Buildings*, Vol. 31, No. 3, pp. 221-235.
- Shashua-Bar L. & Hoffman ME. (2004). Quantitative Evaluation of Passive Cooling of the UCL Microclimate in Hot Regions in Summer, Case Study: Urban Streets and Courtyards with Trees, *Building and Environment*, Vol. 39, No. 9, pp. 1087-1099.
- Spronken-Smith RA. & Oke TR. (1998). The Thermal Regime of Urban Parks in Two Cities with Different Summer Climates, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 19, No. 11, pp. 2085-2104.
- Strømman-Andersen J. & Sattrup PA. (2011). The Urban Canyon and Building Energy Use: Urban Density Versus Daylight and Passive Solar Gains, *Energy and Buildings*, Vol. 43, No. 8.
- Taleghani M., Kleerekoper L., Tenpierik M. & van den Dobbelsteen A. (2015). Outdoor Thermal Comfort within Five Different Urban Forms in the Netherlands, *Building and Environment*, Vol. 83, pp. 65-78.
- Yaşa E. & Ok V. (2014). Evaluation of the Effects of Courtyard Building Shapes on Solar Heat Gains and Energy Efficiency According to Different Climatic Regions, *Energy and Buildings*, Vol. 73, pp. 192-199.
- Wong NH. & Yu C. (2005). Study of Green Areas and Urban Heat Island in a Tropical City, *Habitat International*, Vol. 29, No. 3, pp. 547-558.
- Wong NH., Jusuf SK., La Win AA., Thu HK., Negara TS. & Xuchao W. (2007). Environmental Study of the Impact of Greenery in an Institutional Campus in the Tropics, *Building and Environment*, Vol. 42, No. 8, pp. 2949-2970.