



# تأثیر عملکرد حرارتی مصالح غالب مورد استفاده در نمای ساختمان بر شرایط آسایش حرارتی در معابر شهری اقلیم گرم و خشک

جمال خداکرمی<sup>1</sup> و شهلا نوری<sup>2</sup>

تاریخ دریافت: 98/10/08

تاریخ پذیرش: 99/07/07

**چکیده:** هدف این تحقیق بررسی تغییرات سطح آسایش حرارتی در فضاهای باز شهری در اثر تغییر مصالح جداره‌های عمودی دره شهری است. شهر اصفهان به عنوان نمونه شرایط اقلیمی گرم، انتخاب شده است. در این تحقیق مصالح آجر، تراورتن، مرمر، سرامیک، آلومینیوم و گرانیات با ویژگی‌های حرارتی خاص خود به عنوان پوشش جداره‌های عمودی ساختمان‌های دره شهری انتخاب و در نرم‌افزار انویمت شبیه‌سازی شده است. داده‌های مربوط به دمای هوا، میانگین دمای تشعشعی، رطوبت نسبی و سرعت باد از نرم‌افزار، خروجی گرفته و با استفاده از نرم‌افزار ریمن شاخص آسایش حرارتی PET محاسبه شده است. نتایج این پژوهش، نشان می‌دهد، تغییر مصالح جداره عمودی از آجر به گرانیات در نسبت وجوه 0.5 و خیابان شرقی- غربی سبب کاهش 1 تا 1.1 درجه سانتی‌گراد دمای هوا، 14.1 تا 17.9 درجه سانتی‌گراد میانگین دمای تشعشعی و 8 تا 8.3 درجه سانتی‌گراد شاخص PET می‌شود. همین تغییر مصالح در نسبت وجوه 1 باعث کاهش 1.38 تا 1.49 درجه سانتی‌گراد دمای هوا، 16.45 تا 20.92 درجه سانتی‌گراد میانگین دمای تشعشعی و 9.23 تا 9.63 درجه سانتی‌گراد شاخص PET می‌شود. به علاوه در نسبت وجوه 2 استفاده از گرانیات به جای آجر سبب کاهش 1.35 تا 1.36 درجه سانتی‌گراد در دمای هوا، 28.19 تا 30.15 درجه سانتی‌گراد میانگین دمای تشعشعی و 7.23 تا 9.23 درجه سانتی‌گراد شاخص PET می‌شود. این اختلاف‌ها در خیابان با جهت‌گیری شمالی جنوبی نیز وجود داشته و محاسبه شده است.

**واژگان کلیدی:** مصالح ساختمانی، جداره عمودی، عملکرد حرارتی، آسایش حرارتی، دره شهری.

<sup>1</sup> دانشیار، گروه معماری، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. (نویسنده مسئول) j.khodakarami@ilam.ac.ir

<sup>2</sup> کارشناسی ارشد معماری و انرژی، گروه معماری، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.



## 1- مقدمه

بافت شهری با پدید آمدن جزایر حرارتی و همچنین تغییر جریان تابش، دارای شرایط اقلیمی متفاوتی نسبت به محیط غیر شهری است (Krüger, et al., 2013) (Eliasson, 2000). ساختمان‌ها، درختان، خیابان و سایر عناصر شهری تشکیل یک خرداقلیم می‌دهند، با ترکیب این عناصر خرداقلیم بزرگتری مثل تنگه شهری پدید می‌آید که ویژگی‌های خاص خود را دارد (Bourbia, et al., 2004). بررسی روند دمایی برای دوره 100 ساله در چندین شهر بزرگ آمریکا نشان می‌دهد که از سال 1940 دمای سطح شهرها حدود 0.5 تا 3 درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است (Akbari, et al., 2001). خرداقلیم شکل گرفته، به وسیله فرم شهری و سطوح آن تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Bakarman and Chang, 2015). به طوری که از جمله فاکتورهایی که خرداقلیم شهری را تعریف می‌کند، دمای سطوح ساختمان و زمین است (Krüger, et al., 2013). مطالعات در این زمینه نشان می‌دهد که توزیع دمای سطح و گردش هوا که نقش مهمی در تبادل گرما بین ساختمان و هوای دره شهری دارند، عواملی هستند که در نهایت آسایش حرارتی عابرین و مصرف انرژی ساختمان‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Vallati, et al., 2015) (Nazarian and Kleissl, 2015). به این ترتیب می‌توان چنین استنباط کرد که افزایش سطوح غیر قابل نفوذ و تراکم بالای فعالیت‌های انسانی در شهرها منجر به افزایش قابل توجه دمای هوای محیط و دمای سطوح به نسبت خیلی بالاتر در مقایسه با محیط‌های روستایی شده است (Bakarman and Chang, 2015). در واقع علت اصلی بیشتر شدن دمای هوا در محیط شهری نسبت به مناطق روستایی، تفاوت در مساحت سطوح و ساختار مصالحی است که محیط شهری را تشکیل می‌دهد (Dzinun, et al., 2011). افزایش دما در محیط شهری، کیفیت زندگی را از نظر مصرف انرژی بار سرمایش، انتشار گازهای گلخانه‌ای و به خطر افتادن آسایش انسانی تحت تأثیر قرار می‌دهد (Radhi, et al., 2014).

مصالح در فضای شهری، تابش و گرمای خورشیدی را جذب، آن را ذخیره و در نهایت به داخل ساختمان منتقل

یا به محیط شهر بازتاب می‌کند (Alchapar and Correa, 2015) (Wong, et al., 2003). تابش خورشیدی با برخورد به دیواره ساختمان‌ها، سطوح خیابان و عناصر صلب دمای آنها را افزایش می‌دهد. گرما از طریق همرفت و تشعشع از عناصر صلب به هوا منتقل می‌شود در نتیجه دمای هوا بالا می‌رود. گردش هوای خنکتر در میانه دره نیز بر دمای هوا تأثیر گذار است (Kakoniti, et al., 2016). به این ترتیب پوشش ساختمان از متغیرهای اصلی مؤثر در میزان مصرف انرژی و همچنین کیفیت هوا چه در داخل و چه در خارج ساختمان است (Alchapar and Correa, 2015).

مطالعات زیادی در طول سال‌ها برای تحلیل عملکرد حرارتی مصالح در پوسته ساختمان‌ها انجام شده است. متداول‌ترین بخش مورد ارزیابی در این مطالعات، مصالح و لایه‌بندی بام ساختمان‌ها بوده است (Hernández-Pérez, et al., 2014). از میان چندین فن‌آوری در راستای کاهش حرارت، سقف‌های خنک بیشتر بررسی شده‌اند. در حالی که به پتانسیل مصالح سرد برای استفاده در نما کمتر پرداخته شده است (Zinzi, 2016). دلیل عنوان شده در تحقیقات برای عدم پرداخت به تأثیر عناصر عمودی (دیوارها) در میزان کاهش یا افزایش بار حرارتی ساختمان زاویه کمتر دید به آسمان این عناصر است که تأثیر پذیری آنها را از تابش خورشیدی نسبت به بام‌ها کمتر می‌کند (Radhi, et al., 2014).

این مطالعه با هدف مشخص کردن میزان تأثیر مصالح نمای ساختمان‌ها در تغییر شرایط حرارتی دره شهری واقع در اقلیم گرم و خشک (نمونه مطالعاتی: شهر اصفهان) با تمرکز بر بررسی مصالح آجر، سنگ‌های تراورتن، مرمر و گرانیت به عنوان مصالح متداول نمای ساختمان، انجام شده است. از نرم‌افزار انویمت به عنوان ابزار سنجش و شبیه‌سازی دره شهری استفاده شده، چرا که قابلیت شبیه‌سازی بافت شهری و نیز مصالح مختلف و محاسبه مشخصات حرارتی آنها را داراست. علاوه بر این، متغیرهای نسبت وجوه و جهت‌گیری دره شهری نیز در نظر گرفته شده است. به دلیل اهمیت فصل گرم که بر شدت سختی اقلیم گرم و خشک می‌افزاید، فصل تابستان و گرم‌ترین روز سال برای بررسی این موضوع انتخاب

تأثیر مصالح نمای ساختمان در مصرف انرژی ساختمان در مطالعات محققان بسیاری همچون سینفا و همکاران (Synnefa, et al., 2007). جوودی و همکاران (Joudi, et al., 2013). ایهارا (Ihara, et al., 2016).

زینزی (Zinzi, 2016). پراگر و همکاران (Prager, et al., 2006). لاتا و همکاران (Venugopal, et al., 2015)، لیندبرگ و همکاران (Teikari, et al., 2004). چنگ (Cheng, et al., 2005)، بالارس (Balaras, 1996) مورد بررسی قرار گرفته است. برای مثال می‌توان به نتایج تحقیق توچایی و همکاران اشاره کرد که در مونترال کانادا با هدف بررسی پتانسیل ذخیره انرژی ساختمان‌های تجاری انجام شد (Touchaei, et al., 2016). نتایج آنها نشان داد با افزایش بازتاب‌پذیری پوسته ساختمان در مصرف انرژی و هزینه‌ها صرفه جویی می‌شود. به علاوه تغییر سطوح برای ساختمان‌های فصلی و قدیمی مناسب‌تر است. علاوه بر این حداکثر صرفه جویی هزینه را حدود 11 درصد برای ساختمانی با سقف و دیوارهای تیره محاسبه کردند.

بررسی عملکرد حرارتی مصالح نمای ساختمان‌ها از نظر تأثیری که بر فضای باز پیرامون ساختمان و فضای شهری دارند، موضوع دیگری است که در مطالعات مختلف محققان به آن پرداخته‌اند. این دیدگاه به مصالح نما خود از دو جهت، تأثیر مصالح نما بر جزایر حرارتی و آسایش حرارتی قابل بررسی است.

دویا و همکاران عملکرد نمای سرد را در بافت شهری متراکم بررسی کردند (Doya, et al., 2012). نتایج این مطالعه که از روش آزمایشگاهی انجام شد، نشان دهنده تأثیر مصالح سرد در نما بر کاهش اثر جزایر حرارتی بود. به علاوه بیان کردند عملکرد انرژی ساختمان‌های تهویه مطبوع می‌تواند از طریق پوسته‌های بازتاب خورشیدی و پخشندگی بالا بهبود یابد. دیمودی نیز به بررسی تأثیر مصالح سرد در کاهش اثر جزایر حرارتی پرداخت (Dimoudi, et al., 2014). در این مطالعه از شبیه‌سازی رایانه‌ای CFD و همچنین اندازه‌گیری محیطی استفاده شد. نتایج نشان داد می‌توان با تغییر مصالح تا 6/5 درجه در میانگین دمای سطوح تغییر ایجاد

شده است. در این مطالعه شاخص آسایش حرارتی PET معیار سنجش تغییرات شرایط حرارتی است.

پس از اعتبار سنجی نرم‌افزار، مدلی فرضی بر اساس مدل واقعی و نیز تعریف یک دره شهری، انتخاب شده است. مدل فرضی در سه نسبت وجوه (H/W=0.5-1-2) و دو جهت‌گیری دره شهری (شمالی-جنوبی و شرقی-غربی) برای هر نسبت تعریف شده است. در هر وضعیت تنها یک مصالح به تمام جداره‌های عمودی دره شهری اختصاص یافته و شبیه‌سازی انجام شده است. بنابراین نتایج شبیه‌سازی‌ها و شرایط حرارتی ایجاد شده، تنها تحت تأثیر تغییر مصالح سنجیده می‌شود.

همان‌طور که ذکر شد کمترین مطالعات انجام شده در زمینه مصالح سطوح ساختمان و در پژوهش‌های انجام شده تاکنون، مصالح مربوط به نمای ساختمان‌هاست. از سویی بررسی نمای ساختمان‌ها بیشتر از جهت تأثیر بر شرایط حرارتی و جزایر حرارتی انجام شده است و در بین مطالعات توجه به آسایش حرارتی و شاخص‌های آنها کمتر است. لذا با توجه به اهمیت موضوع در جهان و میزان تأثیر چشم‌گیر انتخاب مصالح سطوح، بر شرایط حرارتی محیط شهری لزوم انجام تحقیقات مختلف در این زمینه، در ایران وجود دارد. این مطالعه با بررسی نمای ساختمان‌ها به عنوان عامل تأثیرگذار بر آسایش حرارتی فضای خارجی و سنجش آن از طریق نرم‌افزار شبیه‌ساز آنویمت و بررسی شاخص PET، رویکردی جدید در انتخاب مصالح نمای ساختمان‌ها در ایران است. به علاوه با توجه به وخامت شرایط حرارتی فضای باز در اقلیم گرم و خشک، این پژوهش در این حوزه اقلیمی کشور (شهر اصفهان) انجام شده است. در این تحقیق مصالح آجر، تراورتن، مرمر، سرامیک، آلومینیوم و گرانیت با ویژگی‌های حرارتی خاص خود به عنوان پوشش جداره‌های عمودی ساختمان‌های دره شهری انتخاب شد.

### 1-1- مروری بر پیشینه پژوهشی

تحقیقات بسیاری در زمینه بررسی مصالح پوسته‌های خارجی ساختمان در رفتار حرارتی فضاها داخلی و خارجی انجام شده است. تحقیقات پیشین را می‌توان بر اساس متغیرهای مورد بررسی و هدف مطالعات به چند دسته تقسیم کرد:



کرد. زوراس نیز با استفاده از شبیه‌سازی رایانه‌ای CFD در گرم‌ترین روز سال عملکرد مصالح سرد را در محیط شهری برای شهر فلورینا مطالعه کرد (Zoras, et al., 2014). نتایج نشان داد مصالح سرد و دیگر روش‌ها (سطوح آبی، بام سبز) به منظور کاهش اثر جزایر گرمایی قابل استفاده هستند. به طوری که با جایگزینی مصالح سرد به جای مصالح متداول، میانگین دمای سطوح 3.52 درجه سانتی‌گراد و میانگین حداکثر دمای هوا در ظهر گرم‌ترین روز سال 1.39 درجه سانتی‌گراد کاهش یافته است. فردریک روسی با بررسی آزمایشگاهی سطوح رترو رفلکتیو برای کاهش اثر جزایر حرارتی در ایتالیا بازتاب خورشیدی سطوح را بررسی نمود. نتایج وی نشان داد این مصالح به منظور بازتاب تابش خورشیدی به خارج از بافت شهری به عنوان پوشش پیاده‌رو شهری و پوسته ساختمان مؤثر عمل می‌کنند (Rossi, et al., 2014). یان و همکاران در سال 2016 مصالح رترو رفلکتیو را با بررسی 8 نوع شیشه در زوایای مختلف برخورد تابش خورشیدی بررسی کردند (Yuan, et al., 2016). نتایج نشان داد، از نمونه‌های مورد بررسی با رنگ‌های مختلف پوشش نقره‌ای‌رنگ در مقایسه با پوشش بازتابنده سفید با افزایش زاویه تابش، بازتاب بیشتری دارد، لذا موقعیت استفاده از پوشش‌های بازتابنده و رنگ آنها در انتخاب پوشش‌ها تأثیرگذار است. از اهمیت بررسی مصالح می‌توان به مطالعه یانگ و همکاران اشاره کرد که تأثیر محیطی مصالح بازتابنده را به عنوان راه حلی معجزه‌آسا برای کاهش شدت اثرات جزایر حرارتی مطرح نمودند. علاوه بر این پتانسیل کاهشی مصالح بازتابنده به عوامل محیط زیست شهری، مشخصات ساختمان، شرایط جغرافیایی و هواشناسی بستگی دارد. متغیرهای دمای سطوح، دمای هوا، شدت جزایر حرارتی، مصرف انرژی ساختمان، آسایش حرارتی و کیفیت هوا از متغیرهای مورد بررسی در این زمینه است. به طور کلی راه کارهای کاهش شدت جزایر حرارتی برای هر شهر متفاوت است و نمی‌توان یک راه حل را به شهرهای دیگر تعمیم داد (Barreira and de Freitas, 2007). هان خاصیت مصالح بازتابنده را جهت بررسی تأثیر آن بر کاهش جزایر حرارتی در میامی و میناپلیس

به عنوان مصالح پوسته ساختمان مطالعه کرد (Han, et al., 2015). نتایج نشان داد زمانی که پوشش ساختمان‌های همجوار با این مصالح پوشیده شود، دمای سطوح ساختمان کاهش می‌یابد. به طور کلی پوشش ساختمان‌ها با این مصالح موجب کاهش گرمای بازتابی از تابش خورشیدی در مجاورت ساختمان می‌شود که به کاهش شدت جزایر گرمایی و نیاز به انرژی برای سرمایش منجر می‌شود. رفتار حرارتی ساختمان کنترل شده کاملاً به زاویه برخورد امواج خورشیدی مربوط می‌شود به همین دلیل سطوح آزمایشی با بازتاب نور، دمای سطوح را کنترل می‌کنند. روسی و همکاران با روش آزمایشگاهی به بررسی تأثیر نمای بازتابنده بر جزایر حرارتی پرداختند (Rossi, et al., 2015). در این تحقیق 5 نوع مصالح بررسی شدند. نتایج نشان داد این مصالح به عنوان پوشش ساختمان یا کف پیاده‌رو می‌تواند در کاهش حرکت انرژی به داخل دره مؤثر باشند. مینگ و همکاران عملکرد مصالح بازتابنده را به عنوان پوشش ساختمان‌های پیش‌ساخته بررسی کردند (Meng, et al., 2015). ساختمان‌های پیش‌ساخته به علت اینرسی حرارتی پایین، سطح آسایش حرارتی پایینی دارد که بیشتر به علت جذب گرما در شرایط تابش خورشیدی شدید است. نتایج این مطالعه نشان داد، استفاده از مصالح بازتابنده به عنوان پوشش ساختمان می‌تواند دمای داخل را تا 7 درجه سانتی‌گراد کاهش دهد در حالی که حداکثر دمای تشعشی تا 10 درجه و میانگین دمای تشعشی داخلی تا 7 درجه کاهش می‌یابد. همچنین بررسی دیوارهای مختلف نشان داد دیوارهای جنوبی و شرقی بهترین عملکرد را به این منظور دارند. لوباکارو و همکاران تأثیر بازتاب تابش خورشیدی را با شبیه‌سازی چند نوع مصالح (نمای سبز، نمای شیشه‌ای، نمای بتنی و نمای آلومینیومی) بر ساختمان‌های مجاور بررسی کردند (Lobaccaro, et al., 2012). این مطالعه که در میلان ایتالیا انجام شد، نشان داد مصالحی که بازتاب تابش خورشیدی را افزایش می‌دهند، سبب تغییر وضعیت آسایش بصری و حرارتی می‌شوند. سطوح تیره ساختمان‌های موجود در محیط نه تنها دریافت تابش را از ساختمان‌های مجاور کاهش می‌دهد (به علت اینکه



محیط شهری افزایش یافت و در نتیجه تحقیقات و مطالعات با این هدف افزایش یافت (Givoni, et al., 2003).

شاخص‌های مختلفی از جمله، شاخص میانگین آرای پیش بینی شده<sup>1</sup> (PMV)، دمای مؤثر (ET)، دمای مؤثر استاندارد (SET)، (OUT-SET) و دمای فیزیولوژیک معادل<sup>2</sup> (PET) به منظور سنجش سطح آسایش حرارتی استفاده می‌شوند (Ghaffarian, et al., 2012). علاوه بر این گفته می‌شود آسایش حرارتی وابسته به دمای هوا است اما به طور چشم‌گیری با دمای تشعشعی همبستگی دارد (Zoras, et al., 2014).

همان‌طور که پیش از این ذکر شرایط آسایش حرارتی داخل و خارج ساختمان متفاوت است بنابراین در میان شاخص‌ها به منظور سنجش شرایط آسایش حرارتی محیط خارج، PET و OUT-SET استفاده می‌شود (Höppe, 1999) (Yang, et al., 2017). که برای شرایط اقلیمی مختلف قابل استفاده هستند (Yang, et al., 2017). شاخص PET به عنوان دمایی است که در آن، در یک محیط داخلی معمولی (water vapour presser=12hpa, v=0.1 m/s) گرمای دریافتی بدن انسان با همان دمای مرکز بدن و دمای پوست در شرایط محیطی پیچیده در تعادل باشد (Lin, 2009). بنابراین PET به عنوان شاخص جهانی برای مشخص کردن شرایط حرارتی اقلیمی فضای باز استفاده می‌شود (Matzarakis, et al., 1999). از آنجا که نرم‌افزار انویمت قابلیت محاسبه PMV را به عنوان شاخص آسایش حرارتی دارد و PET را محاسبه نمی‌کند، در اکثر مطالعات انجام شده در زمینه آسایش حرارتی فضای باز از نرم‌افزار RAYMAN برای محاسبه شاخص PET استفاده شده است (Matzarakis, Erell, et al., 2014) (et al., 2010). ورودی‌های این نرم‌افزار می‌تواند دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد و میانگین دمای تشعشعی باشد و متغیرهای انسانی (میزان متابولیک 80 وات، عایق لباس 0.9) ثابت فرض شوند (Höppe, 1999).

## 2- روش تحقیق

در این بخش ابتدا منطقه مورد مطالعه از نظر موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی معرفی و سپس روند طی

مقدار عناصر خورشیدی بازتاب شده به حداقل می‌رسد) بلکه سبب افزایش پتانسیل جزایر حرارتی به علت افزایش دمای هوا و دمای سطحی می‌شود. محققان به منظور بررسی تأثیر رفتار گرما بر مصالح سطح دیوارهای خارجی ساختمان در بافت شهری سطوحی با پوشش آجری، بتنی، گرانیت و قطعات بتنی سفید را بررسی کردند (Md Din, et al., 2012). با اندازه‌گیری دمای سطوح و با بررسی نتایج مشخص شد که در طول دوره اوج گرمای روز (صبح، ظهر و عصر) آجر دارای ظرفیت جذب و نگهداری گرما بیشتر از سایر مصالح است. مصالح آجری نسبت به گرما تأثیر بیشتری (یعنی 51 درصد نسبت به مصالح گرانیت سفید) نشان داد و مقدار قابل توجهی گرما از طریق تابش و همرفت به وارد محیط می‌کند. اوکادا نیز با اندازه‌گیری در محیط آزمایشگاهی به بررسی تأثیر سرامیک به عنوان پوشش نمای ساختمان در اثرات جزایر گرمایی شهر در ترکیه انجام دادند (Okada, 2015).

## 1-2- آسایش حرارتی در فضای باز شهری

موضوعی که در این پژوهش به آن پرداخته شده است عملکرد مصالح نما از نظر تأثیری است که بر شرایط آسایش حرارتی در فضای باز دارند. اولین مطالعات مربوط به تأثیر تغییرات اقلیمی بر شهر از سال 1833 توسط لوک هوارد در لندن آغاز شد. پس از آن مطالعات مختلفی به روش‌های مختلف با هدف تأثیر کالبد فیزیکی شهر بر تغییرات خرد اقلیم انجام شد. اما از نظر سیاست‌های توسعه و طراحی نتایج این مطالعات نمی‌توانست به طور مستقیم تأثیرگذار باشد. بنابراین در دهه‌های اخیر توجه محققان بر آسایش انسانی تحت تأثیر شهرسازی معطوف شده است (Emmanuel, 2005). در تحقیقی آزمایشگاهی نشان دادند چنانچه با بررسی میانگین آرای تخمین زده شده انسان در محیط داخلی در دمای 21.7 درجه سانتی‌گراد آسایش دارد، این دما برای محیط خارجی 27 درجه سانتی‌گراد است؛ لذا بایستی برای سنجش آسایش حرارتی در محیط باز استاندارد و شاخص ویژه‌ای استفاده شود (Höppe, 2002). از سال 1980 توجه به آسایش حرارتی عابرین در

شده در تحقیق از مرحله ابتدا تا رسیدن به نتایج به طور خلاصه شرح داده می‌شود. در انتها ابزار و نرم‌افزار استفاده شده در این تحقیق و خطاهای پژوهش بررسی شده است.

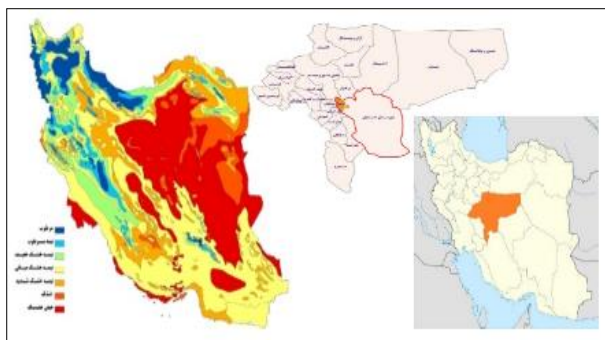
## 2-1- موقعیت منطقه مورد بررسی

در این تحقیق شهر اصفهان به علت قرارگیری در موقعیت جغرافیایی با طول 51 درجه و 39 دقیقه و 40 ثانیه شرقی و عرض 32 درجه و 38 دقیقه و 30 ثانیه شمالی که دارای آب‌وهوای گرم است به عنوان نمونه مطالعاتی انتخاب شده است. شهر اصفهان در مرکز ایران قرار گرفته است (شکل 1). با توجه به داده‌های سینوپتیک ایستگاه اصفهان حداکثر درجه حرارت ثبت شده 38 درجه سانتی‌گراد در تیر ماه و حداقل درجه 3- در دی ماه اتفاق می‌افتد. گرم‌ترین ماه‌های سال به ترتیب دمایی تیر، مرداد و خرداد و سردترین ماه‌های سال به ترتیب ماه‌های دی، آذر و بهمن است. به همین دلیل اندازه‌گیری‌ها و شبیه‌سازی در گرم‌ترین زمان سال یعنی در تیرماه انجام شده است. دریافت تابش خورشیدی در ماه‌های گرم سال از 744 ساعت بالای 250 ساعت و به ویژه در ماه‌های خرداد تا تیر نزدیک به 350 ساعت از انرژی خورشیدی و در ماه‌های سرد سال از 720 ساعت نزدیک به 200 ساعت می‌توان از انرژی خورشید بهره‌مند شد. تحلیل‌های صورت گرفته پیرامون داده‌های این ایستگاه نشان می‌دهد که به غیر از ماه‌های تیر، مرداد و شهریور که جهت باد غالب، شرقی و آبان که جهت باد غالب، جنوب غربی است، در سایر ماه‌های سال جهت باد غالب از غرب است. حداکثر مقادیر رطوبت نسبی در این شهر مربوط به ساعات اولیه صبح‌های زمستان و مواقع بارندگی و ابری است. بیشترین میزان رطوبت نسبی در دی ماه اتفاق می‌افتد.

## 2-2- روش تحقیق مطالعات پیشین

هر پژوهش متناسب با متغیرها و پارمترهای مورد نظر نیازمند اتخاذ روشی منطقی و مناسب به منظور تحقق اهداف و سنجش فرضیات پژوهش است. در این تحقیق موضوع، بررسی تأثیر مصالح جداره ساختمان‌های واقع

در یک دره شهری بر آسایش حرارتی عابرین و شرایط حرارتی آن مطرح شده است. با توجه به موضوع و بررسی پیشینه آن استفاده از روش‌های مختلفی در انجام تحقیقات مختلف با این موضوع به چشم می‌خورد. از این میان می‌توان تحقیقات را به چند دسته تقسیم کرد که در جدول 1 بیان شده است.



شکل 1- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (اصفهان)  
Fig.1- Geographical location of the study area (Isfahan)

## 2-3- روش تحقیق استفاده شده در این پژوهش

در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی رایانه‌ای انویمت<sup>3</sup> بررسی فرضیات تحقیق انجام شد (Bruse and Fler, 1998). علت انتخاب این نرم‌افزار توانایی آن در مدل‌سازی فرم و هندسه بافت شهری، امکان تعیین مصالح تشکیل دهنده جداره‌های دره شهری (جداره نما تا سه لایه متفاوت) است (Noro and Lazzarin, 2015). به منظور شبیه‌سازی درست فیزیک لایه مرزی اتمسفر برای محیط شهری مدل‌سازی نرم‌افزار بایستی شرایط زیر را داشته باشد (Noro and Zhao, et al., 2012):  
Lazzarin, 2015

-اندازه شبکه مدل باید برای تجزیه و تحلیل ساختمان‌ها به اندازه کافی کوچک باشد، یعنی اندازه گرید شبکه کمتر از 10 متر؛

-مدل بایستی محاسبات تعادل انرژی را برای تمام انواع سطوح انجام دهد؛

-شبیه‌سازی جزییات فیزیکی و فیزیولوژی گیاهان را شامل شود؛

-محاسبه فرایندهای جوی باید طوری باشد که فرایندهای جوی ناپایدار و اثرات آنها دیده شود؛

استفاده از نرم‌افزار، شبیه‌سازی شده است. به منظور سنجش اعتبار نرم‌افزار در منطقه مورد نظر، دستگاه اندازه‌گیری قرار داده و نتایج حاصل از شبیه‌سازی را با داده‌های اندازه‌گیری شده در یک نقطه مقایسه نموده است. سپس بر اساس مطالعات میدانی و بافت شبیه‌سازی شده مدل فرضی، به منظور سنجش متغیرهای مورد نظر، ساخته شده است. مدل فرضی از نظر هندسه سه نسبت  $H/W$  (0.5، 1 و 1.5) و با دو جهت‌گیری شمالی-جنوبی و شرقی-غربی در نظر گرفته شده است. 10 نوع مصالح مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور بررسی تأثیر هر مصالح در بدنه عمودی ساختمان‌ها متغیرهای دمای هوا، میانگین دمای تشعشعی و شاخص آسایش حرارتی PET

تحلیل شده است. شاخص‌های آسایش حرارتی با استفاده از داده‌های مربوط به دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد و میانگین دمای تشعشعی از طریق نرم‌افزار RAYMAN به دست آمده است. روند انجام پژوهش از ابتدا تا پایان به طور خلاصه در شکل 2 بیان شده است.


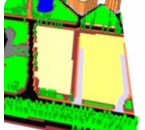
## 2-4- مطالعات میدانی

هدف از این تحقیق بررسی تأثیر حرارتی مصالح مختلف در جداره عمودی ساختمان‌های واقع در یک دره شهری است؛ لذا انتخاب نمونه بافت مورد بررسی جهت راستی آزمایی نرم‌افزار بایستی دره شهری باشد چرا که سنجش تأثیر مصالح جداره عمودی بر عابرین واقع در مجاورت جداره عمودی مد نظر است. همچنین به منظور افزایش دقت نرم‌افزار در بیان نتایج دره شهری باید در بخشی از شهر باشد که تأثیر عوامل حرارتی که توسط نرم‌افزار قابل مشاهده نیست، کمتر باشد. همان‌طور که در جدول 2 نشان داده شده، شهر اصفهان دارای سه نوع بافت شهری است که در این تحقیق منطقه مرداوین واقع در جنوب شرقی اصفهان به عنوان نمونه و نماینده یک بافت منظم شهری مورد بررسی قرار گرفته است. پس از اعتبارسنجی نرم‌افزار برای منطقه مدلی فرضی بر اساس مدل واقعی انتخاب و متغیرهای مورد نظر بر روی آن اعمال شده است.

## جدول 1- روش‌های تحقیق مورد استفاده در تحقیقات

### پیشین

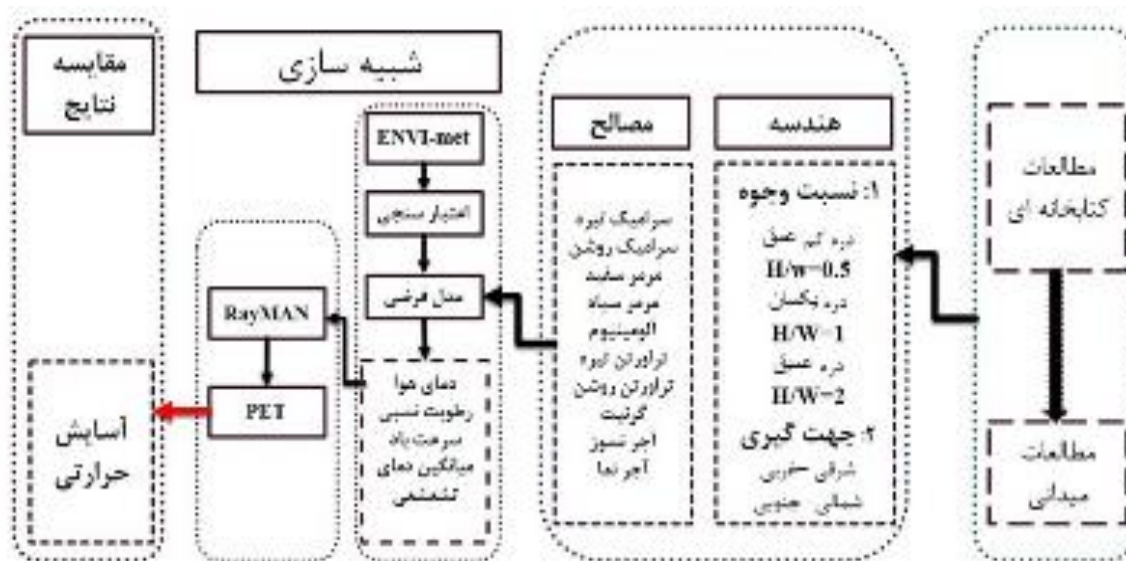
Tab.1-The research methods used in previous research

۱: فرار گرمی مصالح مختلف در وضعیت یکسان و اندازه گیری (Radhi, et al., 2014) (Doulas, et al., 2004)	۲: انعکاس‌های آزمایشگاهی (تأثیر مصالح بر شرایط حرارتی فضای داخل ساختمان) (Chaeng, et al., 2005) (Joudi, et al., 2013)	۳: ساختن بافت در مقیاس کوچک (Antonia, et al., 2016)
		
۴: برداشت میدانی بصورت اندازه گیری پارمترهای مورد نیاز در بافت شهری واقعی (Md Din, et al., 2012)	۵: استفاده از نرم افزارهای شبیه سازی رایانه ای تک بنا (Liu, et al., 2015) (Han, et al., 2015)	۶: استفاده از نرم افزارهای شبیه سازی رایانه ای بافت شهری (Yang, et al., 2013)
		

مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزار انویمت یکی از معدود مدل‌های خرداقلیمی است که تمام موارد ذکر شده را دربر می‌گیرد (Bruse and Fleer, 1998).

از جمله مطالعات معتبر که در ایران به بررسی آسایش حرارتی در فضاهای باز شهری از طریق نرم‌افزار انویمت پرداخته اند می‌توان به مطالعات نصراللهی و همکاران اشاره کرد (Nasrollahi, et al., 2017)؛ که به بررسی تأثیر نسبت  $H/W$  و جهت‌گیری بر آسایش حرارتی در حیاط مرکزی به عنوان فضای باز شهری پرداخته است. همچنین در تحقیق دیگری آسایش حرارتی را در فضای باز اماکن تاریخی شهر اصفهان مورد ارزیابی قرار داده‌اند و محدوده آسایش حرارتی را در مورد شاخص آسایش حرارتی PET برای جهانگردان شهر اصفهان مشخص کردند (Nasrollahi, et al., 2017). نورو و لازارو به منظور بررسی تأثیر پوشش سطوح به عنوان راه‌کارهای کاهش اثر جزایر حرارتی در یکی شهرهای ایتالیا از نرم‌افزار انویمت استفاده کردند (Noro and Lazzarin, 2015). آنها از جمله مزایای این نرم‌افزار را رایگان بودن و نصب آسان بر روی سیستم‌های رایانه‌ای امروزی بیان کردند. منگ و همکاران با استفاده از نرم‌افزار انویمت به بررسی مدل خرداقلیم شهری و تأثیر مصالح سطوح پرداختند (Yang, et al., 2013).

در این پژوهش ابتدا به بررسی بافت شهری منطقه پرداخته، سپس دره شهری به عنوان نمونه، انتخاب و با



شکل 2- روند انجام پژوهش  
Fig.2- Research process



شکل 3- موقعیت بافت مورد مطالعه در شهر اصفهان  
Fig.3- Location of the studied tissue in Isfahan

جدول 2- دسته‌بندی هندسه بافت شهری اصفهان

Tab.2- Isfahan Urban Texture Geometry Category

1. بافت قدیمی	2. بافت منظم	3. بلوک های شهری

طبق مشاهدات و همان‌طور که در تصاویر 4 و 5 نیز مشخص است، مصالح غالب برای نمای ساختمان‌ها سنگ و آجر است. از میان این مصالح انواعی که دارای مشخصات قابل دستیابی از طریق استانداردهای موجود و مطالعات پیشین بود، انتخاب و در این پژوهش مورد آزمایش قرار گرفته است. با بررسی بافت شهری مورد نظر مشخصات مربوط به هندسه وضع موجود به صورت جدول 3 است.

منطقه انتخاب شده در بافت منظم شهری اصفهان واقع شده است. این منطقه در بخش شرقی اصفهان و نزدیک به حاشیه شهر قرار گرفته است. علت انتخاب این بافت نظم دره‌های شهری، قرارگیری در بخشی که فاقد منابع آلودگی غیر قابل شبیه‌سازی است که سبب نزدیک شدن محیط شبیه‌سازی به محیط واقعی خواهد بود. با بررسی منطقه و نیز کل شهر اصفهان، اکثر مصالح مورد استفاده در نمای ساختمان‌ها سنگ و آجر است. لذا در انتخاب مصالح انواع سنگ و آجر مورد سنجش قرار گرفته است.





نرم افزار Envi-met یک نرم‌افزار شبیه‌ساز اقلیمی سه بعدی است که تأثیر متقابل بین سطوح، گیاه‌وهوا را در بافت شهری محاسبه می‌کند. داده‌های خروجی از نرم‌افزار می‌تواند با فاصله زمانی 10 ثانیه یا بیشتر باشد (Karlessi, et al., 2011). این نرم‌افزار که توسط مایکل بروس از سال 1995 در دانشگاه ماینس آلمان توسعه و گسترش یافت، دارای قابلیت مدل‌سازی ساختمان، گیاه، سطوح زمین، شرایط اقلیمی، فرم ساختمان‌ها و جهت‌گیری است. همچنین از هر دو محاسبات دینامیک سیالات مانند جریان هوا و آشفتگی و فرایندهای ترمودینامیکی در حال وقوع بر روی سطح زمین، روی دیوارها، بام‌ها و گیاهان استفاده می‌کند (and Bryan Rasheidat, 2010) (درگاه اینترنتی نرم‌افزار). مدل‌سازی اینویمت بر اساس مدل سه بعدی محاسبات جریان دینامیک<sup>4</sup> (CFD) است (Maggiotto, et al., 2014). این نرم‌افزار از قوی‌ترین ابزارهای شبیه‌ساز شرایط حرارتی بر اساس خروجی‌های دمای هوا، میانگین دمای تشعشعی، رطوبت نسبی و سرعت باد است. نرم‌افزارهای دیگری نظیر SOLWING وجود دارد که در محاسبه میانگین دمای تشعشعی بسیار دقیق عمل می‌کند، اما امکان خروجی گرفتن سه متغیر دیگر مؤثر در آسایش حرارتی را ندارند (Wang, et al., 2016).

### 2-5-1- اعتبار سنجی مدل

به منظور محاسبه میزان خطای شبیه‌سازی محیط در نرم‌افزار بایستی نتایج حاصل از شبیه‌سازی با داده‌های اندازه‌گیری شده در همان محیط مقایسه شود. بافت شهری به ابعاد (300 متر در 200 متر) که شامل یک خیابان شرقی- غربی و دو خیابان شمالی- جنوبی است، انتخاب و با استفاده از نرم‌افزار اینویمت بر اساس اطلاعات وجودی جدول 4 مدل‌سازی شده است. در شکل 6 محل دستگاه اندازه‌گیری در پلان و در شکل 7 در بافت شهری مشخص شده است. در شکل 7 با توجه به اینکه خروجی اطلاعات مورد نیاز از نرم‌افزار در موقعیت پیاده‌رو خیابان است، بهترین موقعیت برای اندازه‌گیری و اعتبارسنجی در این شرایط است. با توجه به عرض پیاده‌رو و خیابان و محله مسکونی، شرایط حرارتی محیط و رفت‌وآمد کمتر



شکل 4 و 5 - ساختمان‌های واقع در بافت شبیه‌سازی شده  
Fig.4 and 5- Buildings located in simulated texture

جدول 3- مشخصات دره شهری نمونه

Tab.3- Sample city valley specifications

بافت شهری خیابان مرداوچ	
عرض خیابان	12 متری
طبقات ساختمان‌ها	1-8
نسبت H/W	0.5, 1, 2
طول دره شهری	180-300 متر
جهت‌گیری	شمالی- جنوبی و شرقی- غربی
لاین‌های پیاده‌رو	2 لاین در هر طرف خیابان
مصالح کف‌سازی	آسفالت- موزاییک سنگ‌فرش
مصالح نما	آجر نما، سنگ

### 2-5-2- شبیه‌سازی

در این تحقیق از نرم‌افزار انویمت استفاده شده است که قابلیت‌های مورد نیاز این تحقیق یعنی امکان شبیه‌سازی محیط شهری، امکان تغییر مصالح تشکیل دهنده جداره ساختمان و همچنین توانایی محاسبه متغیرهای مورد نیاز تحقیق جهت محاسبه شاخص آسایش حرارتی PET را داراست.

عابرین پیاده، امکان قرار دادن دستگاه در این موقعیت فراهم شد.

جدول 4- شرایط شبیه سازی شده با استفاده از نرم افزار

Envi-met 4  
Tab.4- Simulated conditions using Envi-met4 software

تاریخ شبیه سازی	1395/04/18 (08/07/2016)
دوره زمانی شبیه سازی	12 ساعت
فاصله گریدها	2 متری افقی، 1 متر عمودی
سرعت باد	2 متر بر ثانیه
جهت باد (شمال=0، E=90)	270
رطوبت نسبی در ارتفاع 2 متری	18 درصد
دمای هوا	29 درجه سانتی گراد

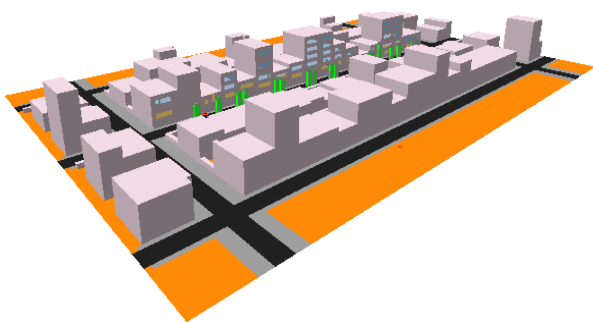
جدول 5- مشخصات دستگاه اندازه گیری

Tab.5- Specifications of the measuring device

Data Logger	Standard(ST-174)	Temp.Resolution(c)
NO:3	11166421	0.1

2-5-2- مشخصات بافت شبیه سازی شده

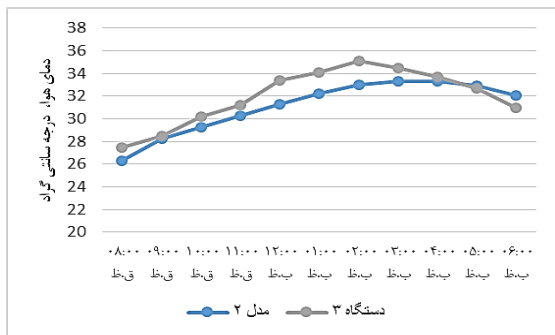
اعتبار سنجی مدل اول: در این مدل 300 در 200 متر از منطقه مورد نظر شبیه سازی شد. مدل دوم: 300 در 200 متر شبیه سازی شد. تصویر سه بعدی بافت شبیه سازی شده در شکل 8 نشان داده شده است. نتایج حاصل از شبیه سازی و داده های اندازه گیری شده در محیط توسط دستگاه با هم مقایسه شد (شکل 9 و جدول 6).



شکل 8- مدل سه بعدی بافت شهری  
Fig.8 - 3D model of urban texture



شکل 6- موقعیت دستگاه اندازه گیری در بافت  
Fig.6- The position of the measuring device in the texture



شکل 9- مقایسه نتایج اندازه گیری و شبیه سازی در یک نقطه مشترک

Fig.9- Comparison of measurement and simulation results at a common point



شکل 7- دستگاه مورد استفاده در اندازه گیری و موقعیت دستگاه اندازه گیری

Fig.7- The device used in measuring and positioning the measuring device

جدول 6- نتایج دمایی حاصل از شبیه سازی و دستگاه اندازه گیری در یک نقطه مشترک

Tab.6- Temperature results from simulation and measuring device at a common point

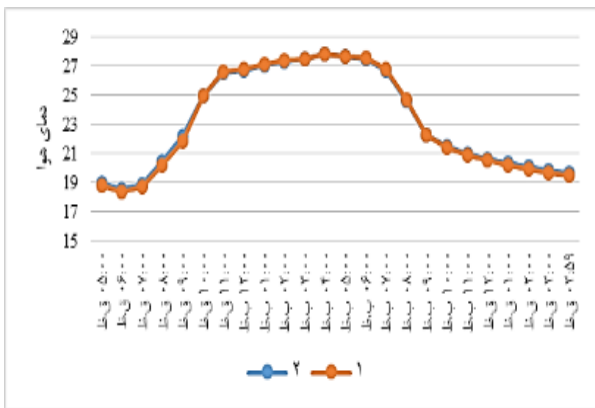
زمان	عصر 6:00	عصر 5:00	عصر 4:00	عصر 3:00	عصر 2:00	عصر 1:00	عصر 12:00	صبح 11:00	صبح 10:00	صبح 9:00	صبح 8:00
مدل 2	32.04	32.91	33.31	33.30	32.97	32.20	31.28	30.29	29.27	28.24	26.31
دستگاه 3	31.0	32.7	33.7	34.5	35.1	34.1	33.4	31.2	30.2	28.5	27.5



نشان می‌دهد، کاهش وسعت مدل، خلل چشم‌گیری در نتایج ندارد. لذا به منظور کاهش زمان شبیه‌سازی رایانه‌ای، مساحت مدل فرضی انتخابی تقلیل یافته است.

جدول 8- شبیه‌سازی و مقایسه دو مدل فرضی  
Tab.8- Simulate and compare two hypothetical models

مدل فرضی 1	مدل فرضی 2



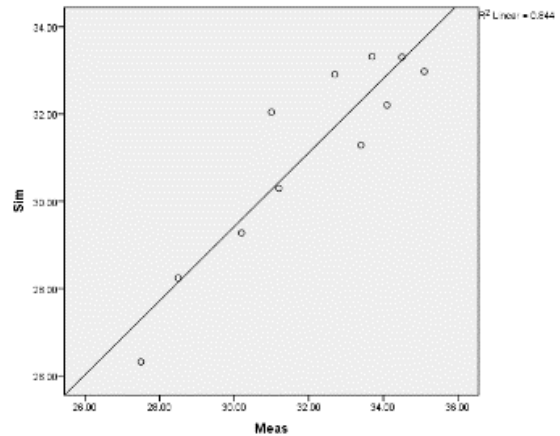
شکل 11- مقایسه دمای هوا برای دو مدل فرضی  
Fig.11- Comparison of air temperature for two hypothetical models

به منظور بررسی وجود یا عدم وجود پنجره در مدل فرضی دو مصالح در مدل بدون پنجره و همان دو مصالح در مدل با پنجره مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. نتایج نشان می‌دهد با در نظر نگرفتن پنجره‌های نما در مدل اختلاف دو مصالح در ساعات بیشینه دمایی به طور میانگین 1.3 درجه میانگین دمای تشعشعی و 0.04 درجه سانتی‌گراد دمای کمتری را نشان می‌دهد، که این امر به علت کاهش مساحت مصالح در جداره عمودی ساختمان با شیشه است که شدت تأثیر مصالح را کاهش می‌دهد. بنابراین

جدول 7- مقایسه اختلاف دما در مقادیر بیشینه و کمینه

Tab.7- Comparison of temperature differences in maximum and minimum values

کمینه	بیشینه	
2.3	32.9	شبیه‌سازی
27.5	35.1	اندازه‌گیری
1.2	2.1	اختلاف



شکل 10- بررسی میزان همبستگی میان داده‌های اندازه‌گیری و شبیه‌سازی

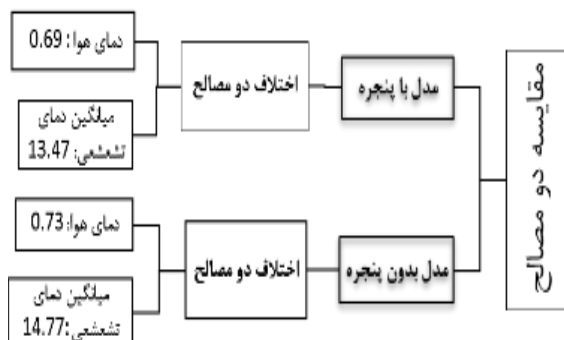
Fig.10- Investigating the correlation between measurement and simulation data

حداکثر اختلاف بین داده‌های حاصل از دستگاه اندازه‌گیری و مدل شبیه‌سازی شده در یک نقطه مشترک 2.1 درجه سانتی‌گراد است. محاسبات آماری اختلاف بین داده‌ها نیز مقدار اندکی را نشان داده است (شکل 10). لذا اعتبار مدل اثبات شده و مدل فرضی بر همین اساس انتخاب و ساده شده است، که نتایج نشان دهنده دقت مدل و نزدیک شدن نتایج شبیه‌سازی به واقعیت است.

### 2-5-3- تدوین مدل فرضی

یک خیابان به عنوان نمونه دره شهری به صورتی که در مرکز فضای مدل‌سازی در نرم‌افزار قرار گیرد، انتخاب و بافت پیرامون آن نیز شبیه‌سازی شده است. با توجه به زمان‌بر بودن شبیه‌سازی بافت شهری و همچنین امکان ایجاد تفاوت در نتایج در صورت تغییر ابعاد مدل مورد انتخاب شده، دو مدل با مساحت مختلف، شبیه‌سازی شده و نتایج آنها در جدول 8 مورد مقایسه قرار گرفته است. همان‌طور که نمودار شکل 11 در مقایسه نتایج

چون نمونه‌ها بدون پنجره در نظر گرفته شده‌اند نتایج صحیح‌تر آنها اندکی کمتر از مقدار خروجی گرفته شده است.



شکل 12-مقایسه عملکرد دو مصالح مختلف با و بدون شیشه روی نما

Fig.12- Comparison of the performance of two different materials with and without glass on the facade

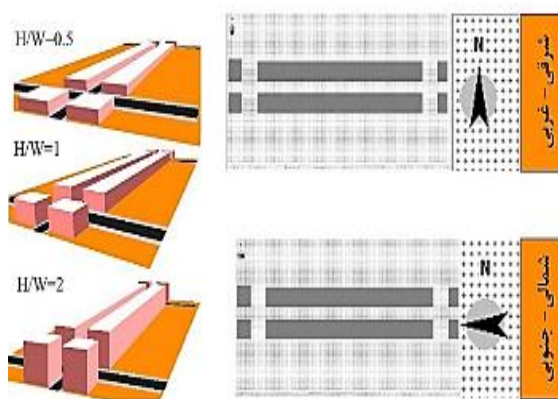
بنابراین مدل فرضی به صورت زیر انتخاب می‌شود:

ده نوع مصالح مختلف و متداول در پوشش نمای ساختمان‌های منطقه با مشخصات متفاوت در سه نسبت وجوه  $H/W$  یعنی 0.5 برای دره شهری کم‌عمق، در دره شهری یکسان و برای دره شهری عمیق و دو جهت‌گیری شمالی- جنوبی و شرقی- غربی مدل‌سازی شده و نتایج در هر وضعیت مورد بررسی قرار گرفته است.

نمود. بنابراین مصالح مورد بررسی در این تحقیق بر اساس متداول بودن در استفاده در نمای ساختمان‌های منطقه طبق مشاهدات و بررسی‌های میدانی انتخاب شده است. مصالح در نرم‌افزار انویمت بر اساس ویژگی‌های حرارتی تعریف می‌شوند. این ویژگی‌ها شامل: ضریب جذب، ضریب بازتاب، ضریب پخشندگی، چگالی و گرمای ویژه است. با وارد کردن اعداد مربوط به این ویژگی‌ها که از منابع مختلف مانند مبحث 19 مقررات ملی ساختمان و همچنین کتابخانه نرم افزارهای شبیه‌ساز انرژی، مانند دیزاین بیلدر و انرژی پلاس قابل دسترسی است. در این پژوهش مشخصات حرارتی برای هر مصالح از منابع ذکر شده دریافت و طبق جدول 9 به دقت در نرم‌افزار قرار گرفته و تأثیرات حرارتی آن در محیط شبیه‌سازی توسط معادلات نرم‌افزار محاسبه شده است. از نظر بررسی توانایی نرم‌افزار در سنجش تأثیر حرارتی مصالح می‌توان به مطالعات معتبر محققان پیشین در این زمینه مانند تحقیقات منگ و همکاران (Yang, et al., 2013) و مطالعات کارلسی و همکاران (Karlessi, et al., 2011) اشاره کرد. لازم به ذکر است در سنجش تأثیر هر مصالح تمام جداره‌های عمودی دره شهری با همان یک مصالح پوشیده شده است. به عبارت دیگر در هر مدل مصالح تشکیل دهنده جداره‌های عمودی یکسان است.



شکل 14- تصویر مصالح مورد بررسی  
Fig.14- Picture of the examined materials



شکل 13- مدل‌های فرضی پایه  
Fig.13-Basic hypothetical models

لازم به ذکر است فرایند شبیه‌سازی محیط شهری در نرم‌افزار انویمت بسیار زمان‌بر بود و در مدت زمان انجام این پژوهش امکان بررسی و آزمایش مصالح بیشتر فراهم

جدول 9- مشخصات مصالح مورد بررسی در تحقیق

Tab.9- Specifications of materials studied in the research

چگالی	رسانایی حرارتی	گرمای ویژه	ضریب پخشندگی	بازتاب	ضریب جذب	مصالح
Kg/m <sup>3</sup>	w/m.k	J/(kg.k)				
800	0.84	1900	0.85	0.1	0.5	سرامیک تیره
2180	1.5	910	0.85	0.54	0.46	مرمر سفید
2180	1.5	910	0.85	0.3	0.7	مرمر سیاه
2700	203	880	0.18	0.9	0.1	آلومینیوم
2000	1.4	950	0.85	0.6	0.4	تراورتن 1
2000	1.4	950	0.85	0.4	0.6	تراورتن 2
1850	0.84	800	0.9	0.65	0.35	آجر نسوز
2500	2.2	1000	0.44	0.4	0.6	گرانیت
2000	0.75	835	0.85	0.45	0.55	آجر نما
800	0.84	1900	0.85	0.85	0.15	سرامیک روشن

با فاصله 2 متری از جداره رو به شمال و یک نقطه با فاصله 2 متری از جداره رو به جنوب، در خیابان شمالی- جنوبی یک نقطه در فاصله 2 متری از جداره رو به شرق و یک نقطه در فاصله 2 متری از جداره رو به غرب انتخاب شده است (شکل 15).

### 3- نتایج و بحث

مصالح مختلف به عنوان پوشش جداره عمودی به مدل فرضی دره شهری با نسبت H/W مختلف (0.5، 1 و 2) اعمال شده است. شبیه‌سازی در گرمترین روز سال انجام شده است. داده‌های دمای هوا، میانگین دمای تشعشعی، سرعت باد و رطوبت نسبی در میانه دره، ارتفاع 1.5 متری از سطح زمین و فاصله 2 متری از جداره عمودی هر دو جبهه رو به شمال و رو به جنوب خروجی گرفته و با وارد کردن این داده‌ها در نرم‌افزار RayMan شاخص PET محاسبه شده است.

مقایسه شاخص PET در موقعیت ذکر شده در دره شهری با نسبت ارتفاع به عرض 0.5 برای مصالح مختلف، در شکل 16 نشان داده شده است. نوسان و تغییر قابل توجه نمودار ناشی از تغییر شرایط قرارگیری در سایه و در برابر آفتاب برای نقطه مورد نظر است. با قرارگیری در سایه، دمای هوا، میانگین دمای تشعشعی و در نتیجه شاخص

تعریف جداره در نرم‌افزار به صورت دیواری شامل سه لایه مصالح است. در جدول 10 نحوه اعمال مصالح (نما برای نمونه سرامیک) به جداره نشان داده شده است. لازم به ذکر است در سنجش تأثیر هر مصالح تمام جداره‌های عمودی دره شهری با همان یک مصالح پوشیده شده است. به عبارت دیگر در هر مدل مصالح تشکیل دهنده جداره‌های عمودی یکسان است.

جدول 10- ساختار جداره شبیه‌سازی شده

Tab.10- Simulated wall structure

سرامیک		
قطر	مصالح	
-	نما	
3 سانتی-متر	ملات	
20 سانتی-متر	آجر	

به این علت که داده‌های خروجی نرم‌افزار در میانه مدل دقت بیشتری دارند، نقاط انتخاب شده برای گرفتن داده‌های مورد نیاز در میانه دره انتخاب شده است. به این ترتیب به علت بررسی شرایط حرارتی در هر دو پیاده‌رو در دره شهری در خیابان شرقی-غربی یک نقطه

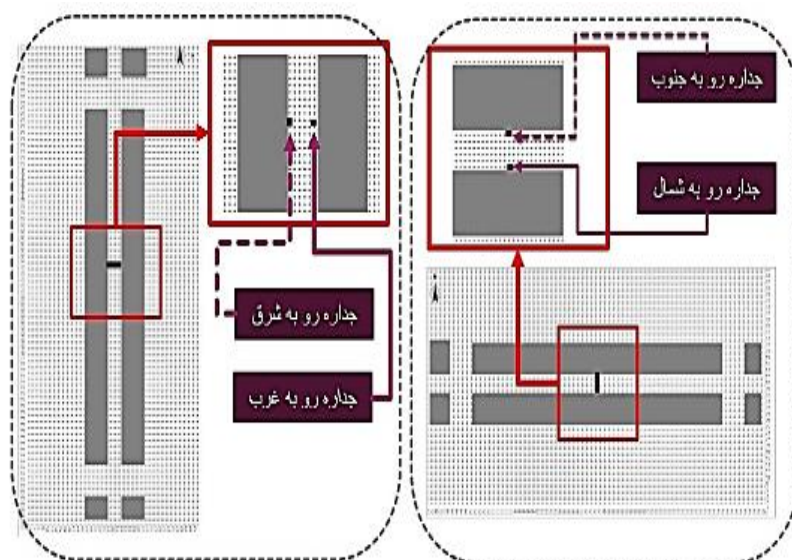


درجه سانتیگراد شاخص PET را در نقطه مورد بررسی کاهش داده و به محدوده آسایش حرارتی نزدیک کرده است.

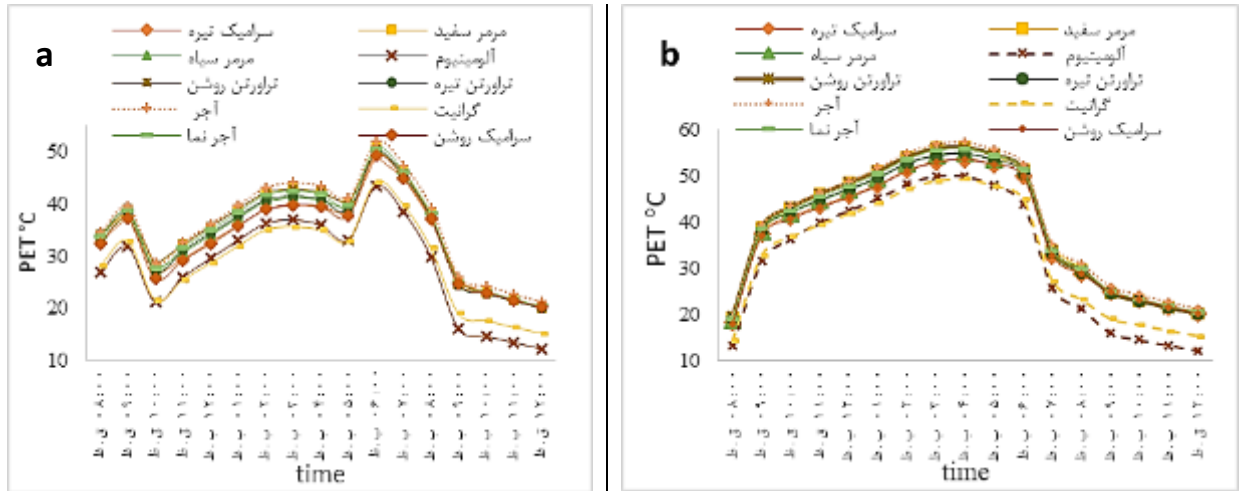
با توجه به اینکه داده‌های مورد نظر در این تحقیق مربوط به ساعات میانی روز و اوج گرماست بنابراین در خیابان با جهت‌گیری شرقی- غربی، جداره رو به شمال در سایه و جداره رو به جنوب در معرض تابش خورشیدی قرار دارد. در اثر تغییر مصالح جداره عمودی دره شهری مشاهده می‌شود. میزان تغییر متغیرها در هر دو جبهه دره شهری یکسان نیست. به معنای دیگر مصالح زمانی که در معرض تابش خورشیدی قرار می‌گیرند با زمانی که در سایه باشند، سبب تغییرات مشابه با شدت متفاوت می‌شوند. همان‌طور که شکل 17 نشان می‌دهد، تغییر مصالح در هر دو جبهه بر روی میانگین دمای تشعشعی تأثیر بیشتری دارد. جایگزینی گرانیب به جای آجر در جبهه رو به شمال 17.9 درجه سانتی‌گراد اما در جبهه رو به جنوب 14.1 درجه سانتی‌گراد میانگین دمای تشعشعی را کاهش می‌یابد. این اختلاف در دمای هوا 0.1 و در شاخص PET حدود 0.3 درجه سانتی‌گراد است. میزان اختلاف‌ها در شکل 17 به وضوح قابل مشاهده است.

pet کاهش می‌یابد. این نوسان برای تمامی مصالح با شدت تقریباً یکسانی اتفاق می‌افتد. تفاوت متغیرهای محیطی حاصل از تغییر مصالح در ساعات میانی روز یعنی 10:00 صبح تا 5:00 عصر بیشتر قابل توجه است. جدول 11 میزان کاهش متغیرها را در اثر جایگزینی مصالح مختلف در جداره عمودی دره شهری با  $H/W=0.5$ ، نشان می‌دهد. این مقادیر میانگین متغیرها در ساعات بیشینه دمایی (16:00, 15:00, 14:00 عصر) در گرمترین روز سال است. نتایج نشان می‌دهد، با تغییر مصالح (در این تحقیق ده نوع مصالح) جداره عمودی در گرمترین شرایط دمایی، دمای هوا  $0.2^{\circ}\text{C}$  تا  $1.1^{\circ}\text{C}$  میانگین دمای تشعشعی  $1.4^{\circ}\text{C}$  تا  $17.9^{\circ}\text{C}$  و شاخص PET از  $1.0^{\circ}\text{C}$  تا  $8.3^{\circ}\text{C}$  می‌تواند، کاهش یابد. در میان مصالح بررسی شده گرانیب کمترین مقادیر دمای هوا، میانگین دمای تشعشعی و در نتیجه کمترین مقدار را برای شاخص PET دارد.

بنابراین این مصالح در فصل گرم و در ساعات اوج بیشترین تأثیر را در بهبود شرایط آسایش حرارتی دارد به طوری که در دره شهری با  $h/w=0.5$  مشاهده می‌شود، جایگزینی گرانیب به جای آجر به میزان 8.3



شکل 15- موقعیت نقاط مورد بررسی برای متغیرهای محیطی  
Fig.15-Position of checkpoints for environmental variables



شکل 16- مقایسه شاخص آسایش حرارتی PET برای مصالح مختلف در موقعیت 1/5 متری از سطح زمین و فاصله دو متری از جداره عمودی دره شهری با نسبت  $H/W=0.5$ : جداره روبه شمال (a)، جداره رو به جنوب (b)

Fig.16- Comparison of PET thermal comfort index for different materials in a position of 1.5 meters above the ground and a distance of two meters from the vertical wall of the urban valley with a ratio of  $H / W = 0.5$ : northward wall (a), southward wall (b)

جدول 11- میزان اختلاف دمای هوا (Tair)، اختلاف میانگین دمای تشعشعی (Tmrt) و اختلاف شاخص آسایش حرارتی PET مصالح مختلف نما در مقایسه با آجر نسوز در ساعات بیشینه دمای (14:00, 15:00, 16:00 عصر) (اطلاعات مربوط به فاصله

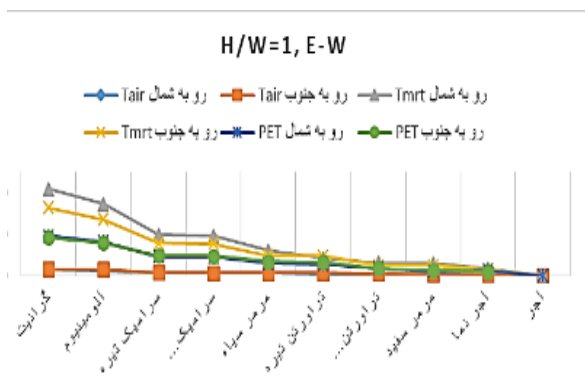
دومتری از جداره عمودی و 1.5 متری از زمین است)  $H/W=0.5$

Tab.11- Tair temperature difference, average radiant temperature difference (Tmrt) and PET thermal comfort index difference of different façade materials in comparison with refractory bricks in the maximum temperature hours (14: 00-15: 00-16: 00) (Information about The distance is two meters from the vertical wall and 1.5 meters from the ground)  $H / W = 0.5$

A	آجر نسوز	آجر نما	تراورتن روشن	مرمر سفید	تراورتن تیره	مرمر سیاه	سرامیک روشن	سرامیک تیره	آلومینیوم	گرانیت	Tair	رو به شمال
	0	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.5	0.5	0.9	1	Tair	رو به شمال
	0	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	1.1	1.1	Tair	رو به جنوب
	0	1.7	1.8	2.9	4.9	5.3	8.3	8.6	15.2	17.9	Tmrt	رو به شمال
	0	1.4	1.4	2.3	4.0	4.2	6.7	6.9	12.1	14.1	Tmrt	رو به جنوب
	0	1.0	1.0	1.5	2.5	2.6	4	1.4	7.2	8.3	PET	رو به شمال
	0	1	1	1.4	2.4	2.5	3.8	3.9	7.0	8.0	PET	رو به جنوب

\*مقادیر اختلاف در واقع منفی و به معنای کمتر بودن متغیرهای محیطی با وجود مصالح دیگر نسبت به استفاده از آجر نسوز است.

جنوب می گردد. این تفاوت در مصالح مختلف نیز متفاوت است. به طوری که میزان اختلاف دو جداره برای گرانیته 4.45، برای آلومینیوم 3.63، برای سرامیک 1.99 است (شکل 19).



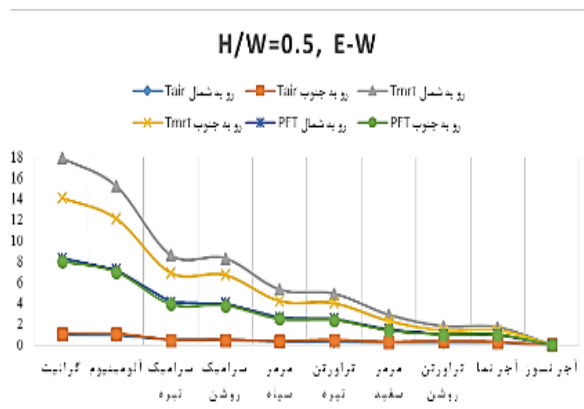
شکل 19- مقایسه مقادیر اختلاف متغیرها در اثر تغییر مصالح جداره عمودی دره شهری ( $H/W=1$ ) در مجاورت جداره رو به شمال و رو به جنوب

Fig.19- Comparison of difference values of variables due to change of vertical wall materials of urban valley ( $H/W = 1$ ) in the vicinity of the wall facing north and facing south

### 2-3- نسبت $H/W=2$ :

تغییرات شاخص آسایش حرارتی PET در دره شهری با نسبت  $H/W=2$  در شکل 20 نشان داده شده است. روند تغییرات برای تمام مصالح یکسان است. نتایج نشان می دهد با تغییر مصالح جدار عمودی در گرمترین زمان سال می توان 0.2 تا 1.36 درجه سانتی گراد در دمای هوا، 2.3 تا 30.5 درجه سانتی گراد در میانگین دمای تشعشعی و 0.2 تا 9.2 درجه سانتی گراد در شاخص آسایش حرارتی PET تغییر ایجاد کرد. تأثیر تغییر مصالح در ساعات روز و بین ساعت 9:00 صبح تا 19:00 عصر مشهودتر است. در بین مصالح بررسی شده، گرانیته کمترین مقادیر را برای متغیرهای بررسی شده داشته است. جایگزینی آجر با گرانیته، سبب کاهش 1.35 دمای هوا، 28.2 تا 30.55 میانگین دمای تشعشعی و 7.23 تا 9.23 درجه سانتی گراد در شاخص آسایش حرارتی PET می شود (جدول 13).

مقایسه رفتار مصالح مختلف در دو جداره رو به شمال و رو به جنوب دره شهری نشان می دهد بیشترین تأثیر تغییر مصالح بر متغیرهای محیطی، در ساعات روز و بین 9:00 صبح تا 19:00 عصر است. بررسی تفاوت تأثیر تغییر مصالح



شکل 17- مقایسه مقادیر اختلاف متغیرها در اثر تغییر مصالح جداره عمودی دره شهری ( $H/W=0.5$ ) در مجاورت جداره رو به شمال و رو به جنوب

Fig.17- Comparison of difference values of variables due to change of vertical wall materials of urban valley ( $H/W = 0.5$ ) in the vicinity of the wall facing north and facing south

### 1-3- نسبت $H/W=1$ :

تغییرات شاخص pet در میانه دره شهری با نسبت  $H/W=1$  در شکل 18 مشخص است. در این نسبت نیز بیشترین اختلاف مصالح در ساعات میانی روز است. جدول 12 مقدار اختلاف متغیرهای محیطی (میانگین ساعات بیشینه دمای) در اثر تغییر مصالح جداره عمودی از آجر به مصالح دیگر را نشان می دهد. نتایج نشان می دهد در گرمترین زمان سال و در ساعات بیشینه دمای تغییر مصالح (در این تحقیق 10 نوع مصالح) می تواند دمای هوا را به اندازه  $0.19 \text{ } ^\circ\text{C}$  تا  $1.49 \text{ } ^\circ\text{C}$ ، میانگین دمای تشعشعی را به اندازه  $1.34 \text{ } ^\circ\text{C}$  تا  $20.94 \text{ } ^\circ\text{C}$  و شاخص آسایش حرارتی PET را به اندازه  $1 \text{ } ^\circ\text{C}$  تا  $9.63 \text{ } ^\circ\text{C}$  کاهش دهد. گرانیته بیشترین تأثیر را بر سبب کاهش 1.38 تا 1.49 دمای هوا، 16.45 تا 20.92 میانگین دمای تشعشعی و 9.23 تا 9.63 شاخص آسایش حرارتی PET می شود.

همانطور که در تصویر مشخص است در دره شهری با نسبت  $H/W=1$  نیز میزان تأثیر تغییر مصالح در کاهش مقدار PET برای جداره رو به شمال و جداره رو به جنوب یکسان نیست. به کار بردن گرانیته به جای آجر در جداره عمودی دره شهری سبب کاهش 20.92 درجه سانتی گراد در شاخص PET در پیاده رو واقع در جداره رو به شمال و 16.45 درجه سانتی گراد در پیاده رو واقع در جداره رو به





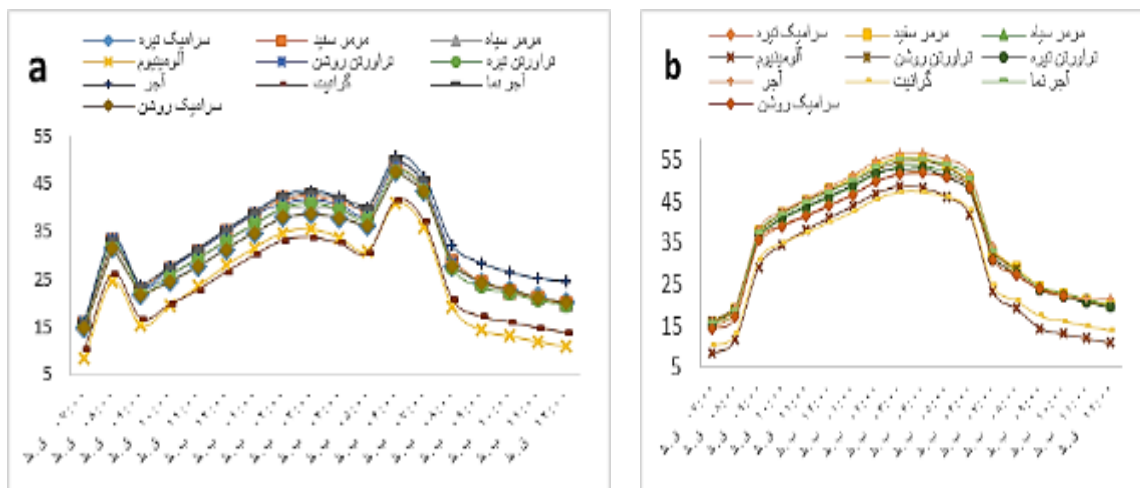
چنان‌که نتایج نشان داد گرانیب نسبت به آجر تا 10.5 درجه سانتی‌گراد شاخص آسایش حرارتی PET را کاهش می‌دهد. در نسبت ارتفاع به عرض 1 تغییر مصالح نمای ساختمان‌ها واقع در دره شهری می‌توان دمای هوا را از 0.08 تا 0.76 درجه سانتی‌گراد، میانگین دمای تشعشعی را از 1.6 تا 21 درجه سانتی‌گراد و شاخص آسایش حرارتی PET را به میزان 1.2 تا 12.2 درجه سانتی‌گراد تغییر داد. چنان‌که نتایج نشان داد، گرانیب نسبت به آجر تا 12.2 درجه سانتی‌گراد شاخص آسایش حرارتی PET را کاهش می‌دهد. در نسبت ارتفاع به عرض 2 تغییر مصالح نمای ساختمان‌ها واقع در دره شهری می‌توان دمای هوا را از 0.3 تا 1.3 درجه سانتی‌گراد، میانگین دمای تشعشعی را از 1.6 تا 24.5 درجه سانتی‌گراد و شاخص آسایش حرارتی PET را به میزان 1.3 تا 14.6 درجه سانتی‌گراد تغییر داد. چنان‌که نتایج نشان داد گرانیب نسبت به آجر تا 14.6 درجه سانتی‌گراد شاخص آسایش حرارتی PET را کاهش می‌دهد. در دره شهری با جهت گیری شمالی- جنوبی تفاوت بین پیاده‌رو مجاور دو جداره رو به شرق و غرب وجود دارد، به این علت که جداره رو به شرق در صبح در سایه و در عصر در معرض تابش است و جداره رو به غرب در عصر سایه است و برعکس در صبح در معرض تابش است. لذا رفتار دو جداره در زمان‌های مختلف برعکس هم است.

به طور کلی می‌توان بیان کرد با جایگزینی آجر با گرانیب، بیشترین کاهش شاخص آسایش حرارتی PET در میان دره شهری شمالی- جنوبی و نسبت ارتفاع به عرض 2 ایجاد می‌شود. بنابراین تغییر مصالح در نسبت  $H/W=2$  و جهت‌گیری شمالی- جنوبی بیشترین تأثیر را بر بهبود شرایط آسایش حرارتی دره شهری خواهد داشت. کمترین تأثیر را دره شهری به نسبت  $H/W=0.5$  و جهت‌گیری شرقی- غربی قابل مشاهده است.

در دو جداره رو به شمال و رو به جنوب برای دره شهری با نسبت  $H/W=2$  نشان می‌دهد گرانیب در جداره رو به شمال 9.23 و در جداره رو به جنوب 7.23 درجه سانتی‌گراد شاخص PET را کاهش می‌دهد (جدول 13). این مقادیر برای سایر مصالح در دو جداره تقریباً یکسان است. علت تفاوت میزان تغییر در این دو جداره این است که قرارگیری مصالح در معرض تابش یا سایه در میزان تغییر شرایط محیطی شامل دمای هوای میانگین و دمای تشعشعی، مؤثر است. به همین علت تفاوت تغییرات دو جداره برای دره شهری با نسبت  $H/W=2$  کمتر است، چرا که نقطه مورد بررسی در هر دو جداره از نظر قرارگیری در سایه وضعیت مشابهی دارد اما در دره‌های شهری با نسبت کمتر به علت قرارگیری یک جداره در سایه و هم‌زمان قرارگیری جداره دیگر در معرض تابش سبب تفاوت تغییرات در دو جداره در اثر تغییر مصالح می‌شود. میزان تأثیر مصالح نیز در تغییر شرایط متفاوت است، به طوری که مشاهده می‌شود در اوج گرمای روز، گرانیب با قرارگیری در سایه میانگین دمای تشعشعی را به میزان 48.7 درصد کاهش می‌دهد، اما آجر با قرارگیری در سایه میانگین دمای تشعشعی را 32 درصد کاهش می‌دهد (جدول 14).

### 3-3- جهت‌گیری شمالی- جنوبی

برای جهت‌گیری شمالی- جنوبی دره شهری نیز مدل‌ها شبیه‌سازی شده است و نتایج نشان می‌دهد در نسبت ارتفاع به عرض 0.5 و جهت‌گیری شمالی- جنوبی تغییر مصالح نمای ساختمان‌ها واقع در دره شهری می‌توان دمای هوا را از 0.03 تا 0.5 درجه سانتی‌گراد، میانگین دمای تشعشعی را از 1.6 تا 16.6 درجه سانتی‌گراد و شاخص آسایش حرارتی PET را به میزان 1.2 تا 10.5 درجه سانتی‌گراد تغییر داد. جایگزینی آجر با گرانیب در میان مصالح بیشترین تأثیر را بر کاهش مقادیر متغیرهای مورد بررسی دارد.



شکل 18- مقایسه شاخص آسایش حرارتی PET برای مصالح مختلف در موقعیت 1.5 متری از سطح زمین و فاصله دو متری از جداره عمودی دره شهری با نسبت  $H/W=1$ : جداره رو به شمال (a)، جداره رو به جنوب (b)

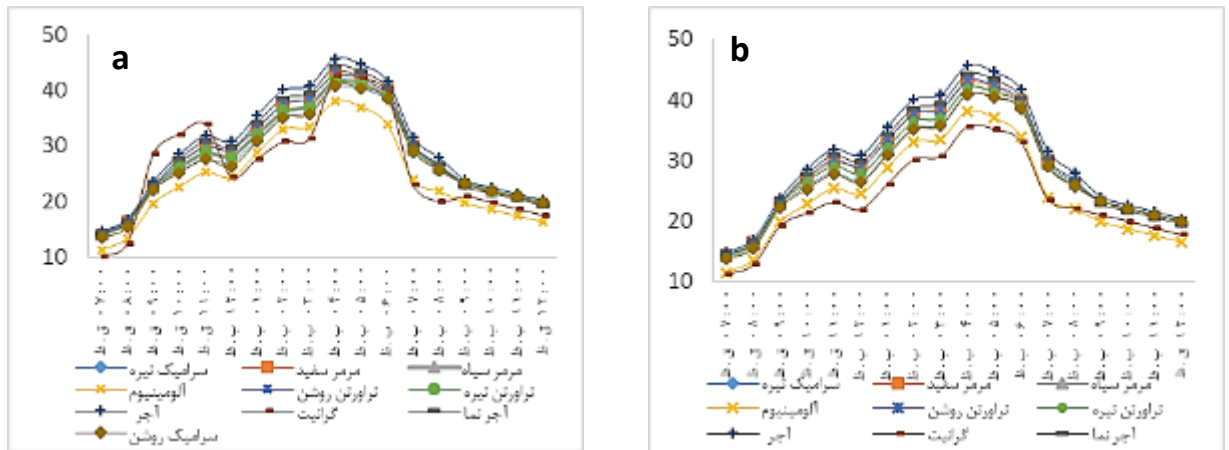
Fig.18- Comparison of PET thermal comfort index for different materials in a position of 1.5 m above the ground and a distance of 2 m from the vertical wall of the urban valley with a ratio of  $H/W = 1$ : northward wall (a), southward wall (b)

جدول 12- میزان اختلاف دمای هوا ( $T_{air}$ )، اختلاف میانگین دمای تشعشعی ( $T_{mrt}$ ) و اختلاف شاخص آسایش حرارتی PET مصالح مختلف نما در مقایسه با آجر نسوز در ساعات بیشینه دمای (14: 00-15: 00-16: 00) (اطلاعات مربوط به فاصله دو متری از جداره عمودی و  $H/W=1$  از زمین است)

Tab.12-  $T_{air}$  temperature difference, average radiant temperature difference ( $T_{mrt}$ ) and PET thermal comfort index difference of different facade materials in comparison with refractory bricks in the maximum temperature hours (14: 00-15: 00-16: 00) (Information about The distance is two meters from the vertical wall and 1.5 meters from the ground)  $H/W = 1$

B		آجر نما	آجر سفید	مرمر روشن	تراورتن تیره	تراورتن روشن	مرمر سیاه	سرامی ک روشن	سرامیک تیره	آلمینیوم م	گرانیت	$T_{air}$
رو به شمال	$T_{air}$	0.1	0.29	0.45	0.48	0.63	0.66	0.66	1.3	1.38	0	
رو به جنوب	$T_{air}$	0.2	0.38	0.48	0.55	0.63	0.67	0.59	1.5	1.49	0	
رو به شمال	$T_{mrt}$	1.6	2.91	3.06	4.25	6.0	9.85	9.57	17.26	20.92	0	
رو به جنوب	$T_{mrt}$	1.3	2.34	2.46	4.77	4.81	7.86	7.64	13.63	16.45	0	
رو به شمال	PE T	1.2	0.93	1.73	2.63	2.93	4.57	4.51	8.13	9.63	0	
رو به جنوب	PE T	1.0	1.43	1.73	3.3	3.4	4.8	4.7	7.97	9.23	0	

\* مقادیر اختلاف در واقع منفی بوده و به معنای کمتر بودن متغیرهای محیطی با وجود مصالح دیگر نسبت به استفاده از آجر نسوز است.



شکل 20- مقایسه شاخص آسایش حرارتی PET برای مصالح مختلف در موقعیت 1.5 متری از سطح زمین و فاصله دو متری از جداره عمودی دره شهری با نسبت  $H/W=2$ : جداره روبه شمال (a)، جداره رو به جنوب (b)

Fig.20- Comparison of PET thermal comfort index for different materials in a position of 1.5 meters above the ground and a distance of two meters from the vertical wall of the urban valley with a ratio of  $H/W = 2$ : northward wall (a), southward wall (b)

جدول شماره 13- میزان اختلاف دمای هوا ( $T_{air}$ )، اختلاف میانگین دمای تشعشعی ( $T_{mrt}$ ) و اختلاف شاخص آسایش حرارتی PET مصالح مختلف نما در مقایسه با آجر نسوز در ساعات بیشینه دمای (14:00-15:00-16:00) (اطلاعات مربوط به فاصله دو متری از جداره عمودی و 1.5 متری از زمین است)  $H/W=2$

Tab.13- air temperature difference ( $t_{air}$ ), average radiant temperature difference ( $t_{mrt}$ ) and pet thermal comfort index difference of different facade materials in comparison with refractory bricks in maximum temperature hours (14: 00-15: 00-16: 00) (information about the distance is two meters from the vertical wall and 1.5 meters from the ground)  $H/W = 2$

D		گرانیت	آلومینیوم م	سرامی ک تیره	سرامیک روشن	تراورتن تیره	مرمر سیاه	تراورتن روشن	مرمر سفید	آجر نما	آجر
رو به شمال	$T_{air}$	1.35	1.29	0.73	0.73	0.46	0.54	0.63	0.37	0.19	0
رو به جنوب	$T_{air}$	1.36	1.31	0.71	0.68	0.47	0.53	0.63	0.38	0.26	0
رو به شمال	$T_{mrt}$	30.55	25.73	17.52	17.8	12.37	12.96	7.66	7.99	2.91	0
رو به جنوب	$T_{mrt}$	28.19	23.75	16.27	16.5	11.5	12.05	7.13	7.44	2.34	0
رو به شمال	$PE_T$	9.23	7.17	4.83	4.83	3.63	3.63	2.43	2.33	0.2	0
رو به جنوب	$PE_T$	7.23	7.3	4.83	4.93	3.73	3.67	2.47	2.37	1.43	0

\* مقادیر اختلاف در واقع منفی بوده و به معنای کمتر بودن متغیرهای محیطی با وجود مصالح دیگر نسبت به استفاده از آجر نسوز است.

جدول 14- میزان تأثیر مصالح مختلف در کاهش میانگین دمای تشعشعی بین جداره های رو به شمال و رو به جنوب

Tab. 14- The effect of different materials in reducing the average radiant temperature between the north-facing and south-facing walls

دمای تشعشعی	گرانیت	آلومینیوم م	سرامیک روشن	سرامیک تیره	مرمر سیاه	تراورتن تیره	تراورتن روشن	آجر نما	مرمر سفید	آجر
-------------	--------	-------------	-------------	-------------	-----------	--------------	--------------	---------	-----------	-----



جداره رو به جنوب	58.36	61.19	66.95	67.18	70.01	70.05	72.35	72.48	73.48	74.82
جداره رو به شمال	29.92	33.59	41	41.28	44.85	46.60	47.79	47.94	49.18	50.85
اختلاف	28.44	27.60	25.96	25.90	25.16	23.45	24.57	24.54	24.30	23.97
درصد تغییر	48.73	45.10	38.77	38.56	35.94	33.48	33.95	33.86	33.07	32.04

جدول 15- اختلاف متغیرهای محیطی در دره شهری بین گرانیت و آجر به عنوان مصالح جداره عمودی در ساعت اوج دما  
 Tab.15- Difference of environmental variables in urban valley between granite and brick as vertical wall materials at peak temperature

جهت گیری دره شهری	شرقی - غربی			شمالی جنوبی		
	0.5	1	2	0.5	1	2
نسبت عرض به ارتفاع H/W	0.5	1	2	0.5	1	2
میانگین اختلاف شاخص PET	8.15	9.43	8.23	10.38	11.8	14.15

#### 4- نتیجه گیری

هر مصالحی دارای مشخصات خاص خود شامل ضریب جذب، ضریب بازتاب، ضریب پخشندگی، چگالی و گرمای ویژه است، به طوری که تمامی این ویژگی‌ها برای یک مصالح با مصالح دیگر متفاوت است. لذا انتخاب مصالح به منظور پوشش جداره‌های شهری بایستی با توجه به تمام مشخصات حرارتی و فیزیکی مصالح صورت گیرد و طراحی نمای ساختمان‌ها تنها از دیدگاه زیبایی‌شناسی معماری، رویکردی ایده‌آل است.

بررسی مشخصات مصالح آزمایش شده و نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد استفاده از مصالح با ضریب پخشندگی بیشتر، سبب افزایش مقدار شاخص PET در محیط شده، در نتیجه در یک شرایط آب‌وهوایی گرم شرایط از سطح آسایش حرارتی استاندارد دور می‌شود. در عین حال استفاده از مصالحی با گرمای ویژه بیشتر سبب کاهش مقدار شاخص PET شده و شرایط آسایش حرارتی بهبود می‌یابد. افزایش ضریب بازتاب مصالح باعث افزایش PET و در نتیجه کاهش سطح آسایش حرارتی در مناطق با آب‌وهوای گرم می‌شود.

در بین 10 نوع مصالح مختلف (سرامیک تیره و روشن، مرمر سفید و سیاه، تراورتن تیره و روشن، آجر نسوز، آجر نما، گرانیت و آلومینیوم) در این تحقیق که در فصل گرم سال و بیشینه دمای منطقه بررسی شده است، پوشش گرانیت کمترین مقادیر و آجر بیشترین مقادیر را برای متغیرهای دمای هوا و میانگین دمای تشعشعی دارد، در

نتیجه گرانیت کمترین مقدار را برای شاخص آسایش حرارتی PET و آجر بیشترین مقدار را داشته است. نکته قابل توجه در نتایج این مطالعه تأثیر مشخصات فیزیکی دره شهری یعنی جهت گیری و نسبت H/W در عملکرد حرارتی مصالح است. با تغییر مصالح (از بین ده مصالح بررسی شده در این تحقیق) در دره شهری با نسبت عرض به ارتفاع  $0.5^{\circ}\text{C}$  تا  $1.1^{\circ}\text{C}$ ، میانگین دمای تشعشعی  $1.4^{\circ}\text{C}$  تا  $17.9^{\circ}\text{C}$  و شاخص PET از  $1^{\circ}\text{C}$  تا  $8.3^{\circ}\text{C}$  می‌تواند، کاهش یابد. در دره شهری با نسبت عرض به ارتفاع یک ( $H/W=1$ ) تغییر مصالح می‌تواند دمای هوا را به اندازه  $0.19^{\circ}\text{C}$  تا  $1.49^{\circ}\text{C}$ ، میانگین دمای تشعشعی را به اندازه  $1.34^{\circ}\text{C}$  تا  $20.94^{\circ}\text{C}$  و شاخص آسایش حرارتی PET را به اندازه  $1^{\circ}\text{C}$  تا  $9.63^{\circ}\text{C}$  کاهش دهد. در دره شهری با نسبت ارتفاع به عرض دو ( $H/W=2$ ) با تغییر مصالح جدار عمودی در گرمترین زمان سال می‌توان  $0.2^{\circ}\text{C}$  تا  $1.36^{\circ}\text{C}$  در دمای هوا،  $2.3^{\circ}\text{C}$  تا  $30.5^{\circ}\text{C}$  در میانگین دمای تشعشعی  $0.2^{\circ}\text{C}$  تا  $9.2^{\circ}\text{C}$  در شاخص آسایش حرارتی PET تغییر ایجاد نمود.

در جهت‌گیری شمالی-جنوبی شاخص PET با تغییر همان مصالح در نسبت‌های عرض به ارتفاع 0.5، 1 و 2 به ترتیب 10.38، 11.8 و 14.15 درجه سانتی‌گراد کاهش یافته است. به این ترتیب نتایج حاکی از تأثیر بیشتر تغییر مصالح در دره شهری با جهت‌گیری شمالی جنوبی و نسبت عرض به ارتفاع 2 است. می‌توان چنین استنباط کرد که هر چه سطح پوشش نما یا به عبارتی ارتفاع



مصالح نمای ساختمان‌ها در موقعیت‌های جغرافیایی با شرایط حاد اقلیمی گرم و خشک می‌تواند راهکاری بسیار مؤثر در بهبود شرایط آسایش حرارتی باشد.

لازم به ذکر است تمرکز این مطالعه بیشتر بر مسائل فنی و مهندسی بوده و دیدگاه کمی به مسأله داشته است؛ اما نویسندگان یقین دارند توجه به پارامترهای مهم دیگری از جمله تحلیل‌های معمارانه و دیدگاه‌های کیفی و نیز توجه به مسائل فرهنگی در زمینه این پژوهش و لحاظ نمودن این موارد در تحقیقات بعدی مهم و ضروری است.

### پی‌نوشت

- <sup>1</sup> Predicted Mean Vote
- <sup>2</sup> Physiological Equivalent Temperature
- <sup>3</sup> Envi-met
- <sup>4</sup> Computational Fluid Dynamics

### منابع

Akbari, H., Konopacki, S., & Pomerantz, M. (1999). Cooling energy savings potential of reflective roofs for residential and commercial buildings in the United States. *Energy*, 24(5), 391-407.

Akbari, H., Levinson, R., & Stern, S. (2008). Procedure for measuring the solar reflectance of flat or curved roofing assemblies. *Solar Energy*, 82(7), 648-655.

Akbari, H., Pomerantz, M., & Taha, H. (2001). Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar energy*, 70(3), 295-310.

Alchapar, N., & Correa, E. (2015). Comparison the performance of different facade materials for reducing building cooling needs. *Eco-efficient materials for mitigating building cooling needs*.

Antonaia, A., Ascione, F., Castaldo, A., D'Angelo, A., De Masi, R., Ferrara, M., & Vitiello, G. (2016). (2016). Cool materials for reducing summer energy consumptions in

ساختمان‌ها بیشتر باشد، تأثیر تغییر مصالح بیشتر خواهد بود. از سوی دیگر هرچه سطح نما، مدت زمان بیشتری در معرض تابش خورشید باشد، تأثیر مصالح در تغییر شرایط حرارتی دره شهری بیشتر خواهد بود.

تفاوت تأثیر مصالح در سایه و در معرض تابش آفتاب برای تمام مصالح به یک میزان نیست به طوری که مشاهده شد. در اوج گرمای روز، گرانیب با قرارگیری در سایه میانگین دمای تشعشعی را به میزان 48.7% کاهش می‌دهد، اما آجر با قرارگیری در سایه میانگین دمای تشعشعی را 32% کاهش می‌دهد. بعلاوه تغییر رفتار مصالح در سایه نشان می‌دهد در اقلیم های سرد و کوهستانی مصالحی با ویژگی‌های کاملاً برعکس مصالح مورد استفاده در اقلیم گرم و خشک عملکرد بهتری خواهد داشت. در مورد شرایط اقلیمی سرد و کوهستانی لازم است، این موضوع مورد تحقیق و پژوهش دقیق قرار گیرد.

لازم به ذکر است تفاوت متغیرهای محیطی حاصل از تغییر مصالح نما در ساعات میانی روز یعنی 10:00 صبح تا 5:00 عصر یا به عبارتی ساعات اوج دما، قابل توجه‌تر است. بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که تغییر

Mediterranean climate: In-lab experiments and numerical analysis of a new coating base.

Asaeda, T., & Ca, V. (1996). Heat storage of pavement and its effect on the lower atmosphere. *Atmospheric environment*, 30(3), 413-427.

Atash, F., & Beheshtiha, Y. (1994). Urban dimension of the population explosion in Iran: Prospects for the satellite town programme in the Esfahan region. *Cities*, 11(4), 253-263.

Bakarman, M., & Chang, J. (2015). The Influence of Height/width Ratio on Urban Heat Island in Hot-arid Climates. *Procedia Engineering*, 118, 101-108.

Balaras, C. (1996). The role of thermal mass on the cooling load of buildings. An overview of computational methods. *Energy and Buildings*, 24(1), 1-10.

Barreira, E., & de Freitas, V. (2007). Evaluation of building materials using infrared thermography. *Construction and Building Materials*, 21(1), 218-224.



- Boixo, S., Diaz-Vicente, M., Colmenar, A., & Castro, M. (2012). Potential energy savings from cool roofs in Spain and Andalusia. *Energy*, 38(1), 425-438.
- Bourbia, F., & Awbi, H. (2004). Building cluster and shading in urban canyon for hot dry climate: part1: air and surface temperature measurements. *Renew Energy*, 29, 249-62.
- Bruse, M., & Flerer, H. (1998). Simulating surface-plant air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. *Environ. Model. Softw.*, 13, 373-384.
- Cheng, V., Ng, E., & Givoni, B. (2005). Effect of envelope colour and thermal mass on indoor temperatures in hot humid climate. *Solar Energy*, 78(4), 528-534.
- Datcu, S., Ibos, L., Candau, Y., & Mattei, S. (2005). Improvement of building wall surface temperature measurements by infrared thermography. *Infrared physics & technology*, 46(6), 451-467.
- Dimoudi, A., Zoras, S., Kantzioura, A., Stogiannou, X., Kosmopoulos, P., & Pallas, C. (2014). Use of cool materials and other bioclimatic interventions in outdoor places in order to mitigate the urban heat island in a medium size city in Greece. *Sustainable Cities and Society*, 13, 89-96.
- Doulos, L., Santamouris, M., & Livada, I. (2004). Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials. *Solar energy*, 77(2), 231-249.
- Doya, M., Bozonnet, E., & Allard, F. (2012). Experimental measurement of cool facades' performance in a dense urban environment. *Energy and Buildings*, 55, 42-50.
- Dzinun, H., Md Din, M., Zainun Noor, Z., Remaz, D., Iwao, K., & Chellapan, S. (2011). Analysis of heat impacted behavior at vertical façade building based. *International Conference on Environment and Industrial Innovation*, 12. Singapore.
- Eliasson, I. (2000). The use of climate knowledge in urban planning. *Landscape and urban planning*, 48(1), 31-44.
- Emmanuel, R. (2005). Thermal comfort implications of urbanization in a warm-humid city: the Colombo Metropolitan Region (CMR), Sri Lanka. *Building and Environment*, 40(12), 1591-1601.
- Erell, E., Pearlmutter, D., Boneh, D., & Kutiel, P. (2014). (2014). Effect of high-albedo materials on pedestrian heat stress in urban street canyons. , . *Urban Climate*, 10, 367-386.
- Givoni, B., Noguchi, M., Saaroni, H., Pochter, O., Yaacov, Y., Feller, N., & Becker, S. (2003). Outdoor comfort research issues. *Energy and buildings*, 35(1), 77-86.
- Gui, J., Phelan, P., Kaloush, K., & Golden, J. (2007). Impact of pavement thermophysical properties on surface temperatures. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 19(8), 683-690.
- Han, Y., Taylor, J., & Pisello, A. (2015). Toward mitigating urban heat island effects: Investigating the thermal-energy impact of bio-inspired retro-reflective building envelopes in dense urban settings. *Energy and Buildings*, 102, 380-389.
- Hernández-Pérez, I., Álvarez, G., Xamán, J., Zavala-Guillén, I., Arce, J., & Simá, E. (2014). Thermal performance of reflective materials applied to exterior building components—A review.. *Energy and Buildings*, 80, 81-105.
- Höppe, P. (1999). The physiological equivalent temperature—a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International journal of Biometeorology*, 43(2), 71-75.
- Höppe, P. (2002). Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort. *Energy and buildings*, 34(6), 661-665.
- Ihara, T., Jelle, B., Gao, T., & Gustavsen, A. (2016). . Accelerated aging of treated aluminum for use as a cool colored material for facades. *Energy and Buildings*, 112, 184-197.
- Jo, J., Carlson, J., Golden, J., & Bryan, H. (2010). Sustainable urban energy: Development of a mesoscale assessment model for solar reflective roof technologies. , . *Energy Policy*, 38(12), 7951-7959.
- Joudi, A., Svedung, H., Cehlin, M., & Rönnelid, M. (2013). Reflective coatings for interior and exterior of buildings and improving thermal performance. , . *Applied energy*, 103, 562-570.
- Kakoniti, A., Georgiou, G., Marakkos, K., Kumar, P., & Neophytou, M. (2016). The role of materials selection in the urban heat island effect in dry mid-latitude climates. , 2), *Environmental Fluid Mechanics*, 16(2), 347-371.



Karlessi, T., Santamouris, M., Synnefa, A., Assimakopoulos, D., Didaskalopoulos, P., & urban heat island and cool buildings. *Building and Environment*, 46(3), 570-576.

Karlessi, T., Santamouris, M., Synnefa, A., Assimakopoulos, D., Didaskalopoulos, P., & Apostolakis, K. (2011). Development and testing of PCM doped cool colored coatings to mitigate urban heat island and cool buildings. *Building and Environment*, 46(3), 570-576.

Krüger, E., Drach, P., Emmanuel, R., & Corbella, O. (2013). Urban heat island and differences in outdoor comfort levels in Glasgow, UK. *Theoretical and applied climatology*, 112(1-2), 127-41.

Latha, P., Darshana, Y., & Venugopal, V. (2015). Role of building material in thermal comfort in tropical climates—A review. *Journal of Building Engineering*, 3, 104-113.

Lin, T. (2009). Thermal perception, adaptation and attendance in a public square in hot and humid regions. *Building and environment*, 44(10), 2017-2026.

Lindberg, R., Binamu, A., & Teikari, M. (2004). Five-year data of measured weather, energy consumption, and time-dependent temperature variations within different exterior wall structures. *Energy and Buildings*, 36(6), 495-501.

Liu, J., Heidarinejad, M., Gracik, S., & Srebric, J. (2015). The impact of exterior surface convective heat transfer coefficients on the building energy consumption in urban neighborhoods with different plan area densities. *Energy and Buildings*, 86, 449-4.

Lobaccaro, G., Fiorito, F., Masera, G., & Poli, T. (2012). District geometry simulation: a study for the optimization of solar façades in urban canopy layers. *Energy Procedia*, 30, 1163-1172.

Maggiotto, G., Buccolieri, R., Santo, M., Leo, L., & Di Sabatino, S. (2014). Validation of temperature-perturbation and CFD-based modelling for the prediction of the thermal urban environment: The Lecce (IT) case study. *Environmental Modelling & Software*, 60, 69-83.

Makaremi, N., Salleh, E., Jaafar, M., & GhaffarianHoseini, A. (2012). Thermal comfort conditions of shaded outdoor spaces in hot and humid climate of Malaysia. *Building and environment*, 48, 7-14.

Apostolakis, K. (2011). Development and testing of PCM doped cool colored coatings to mitigate

Matzarakis, A., Mayer, H., & Iziomon, M. (1999). Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. *International Journal of Biometeorology*, 43(2), 76-84.

Matzarakis, A., Rutz, F., & Mayer, H. (2010). Modelling Radiation fluxes in simple and complex environments – basics of the RayMan model. *Int. J. Biometeorol*, 54, 131–139.

Md Din, M., Dzinun, H., Mohanadoss, P., Chelliapan, S., Noor, Z., Ossen, D., & Iwao, K. (2012). Investigation of heat impact behavior on exterior wall surface of building material at urban city area.

Meng, X., Wang, C., Liang, W., Wang, S., Li, P., & Long, E. (2015). Thermal performance improvement of prefab houses by covering retro-reflective materials. *Procedia Engineering*, 121, 1001-1007.

Nasrollahi, N., Hatami, M., Khastar, S., & Taleghani, M. (2017). Numerical evaluation of thermal comfort in traditional courtyards to develop new microclimate design in a hot and dry climate. *Sustainable cities and society*, 35, 449-467.

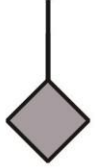
Nasrollahi, N., Hatami, Z., & Taleghani, M. (2017). Development of outdoor thermal comfort model for tourists in urban historical areas; A case study in Isfahan. *Building and Environment*, 125, 356-372.

Nazarian, N., & Kleissl, J. (2015). CFD simulation of an idealized urban environment: thermal effects of geometrical characteristics and surface materials. *Urban Climate*, 12, 141-159.

Noro, M., & Lazzarin, R. (2015). Urban heat island in Padua, Italy: Simulation analysis and mitigation strategies. *Urban Climate*, 14, 187–196.

Okada, K. (2015). Lotus ceramics for counteracting urban heat island effects. *Eco-efficient Materials for Mitigating Building Cooling Needs. Design, Properties and Applications*, 56, 195.

Prager, C., Köhl, M., Heck, M., & Herkel, S. (2006). The influence of the IR reflection of painted facades on the energy balance of a



building. *Energy and buildings*, 38(12), 1369-1379.

Radhi, H., Assem, E., & Sharples, S. (2014). On the colours and properties of building surface materials to mitigate urban heat islands in highly productive solar regions. *Building and Environment*, 72, 162-172.

Rosheidat, A., & Bryan, H. (2010). Optimizing the effect of vegetation for pedestrian thermal comfort and urban heat island mitigation in a hot arid urban environment. *Fourth National Conference of IBPSA-USA*. New York. New York: SimBuild.

Rossi, F., Pisello, A., Nicolini, A., Filipponi, M., & Palombo, M. (2014). Analysis of retro-reflective surfaces for urban heat island mitigation: A new analytical model. *Applied Energy*, 114, 621-631.

Rossi, F., Castellani, B., Presciutti, A., Morini, E., Filipponi, M., Nicolini, A., & Santamouris, M. (2015). Retroreflective façades for urban heat island mitigation: Experimental investigation and energy evaluations. *Applied Energy*, 145, 8-20.

Rossi, F., Castellani, B., Presciutti, A., Morini, E., Anderini, E., Filipponi, M., & Nicolini, A. (2016). Experimental evaluation of urban heat island mitigation potential of retro-reflective pavement

in urban canyons. *Energy and Buildings*, 126, 340-352.

Rosso, F., Pisello, A., Pignatta, G., Castaldo, V., Piselli, C., Cotana, F., & Ferrero, M. (2015). Outdoor thermal and visual perception of natural cool materials for roof and urban paving. *Procedia Engineering*, 118, 1325-1332.

Saneinejad, S., Moonen, P., Defraeye, T., & Carmeliet, J. (2011). Analysis of convective heat and mass transfer at the vertical walls of a street canyon. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 99(4), 424-433.

Simpson, J., & McPherson, E. (1997). The effects of roof albedo modification on cooling loads of scale model residences in Tucson, Arizona. *Energy and Buildings*, 25(5), 127-137.

Stavrakakis, G., Androutopoulos, A., & Vyörykkä, J. (2016). Experimental and numerical assessment of cool-roof impact on thermal and energy performance of a school building in Greece. *Energy and Buildings*, 130, 64-84.

Synnefa, A., Santamouris, M., & Apostolakis, K. (2007). on the development, optical properties and thermal performance of cool colored coatings for the urban environment. *Solar Energy*, 81(14), 488-497.





سال، شم، شماره دوم / پاییز و زمستان 99



225