مجله علمی ترویجی انجمن مهندسان مکانیک ایران
ISSN: 1605-9719
سال ۲۷، شماره ۱۲۱، صفحات ۳-۱۴

بررسی آسایش حرارتی اتاق تالار در خانه‌های سنتی شیراز (نمونه موردی: خانه منطقی‌نژاد)

جلیل شاعری[۱ و *]، رزا وکیلی‌نژاد[۲]
[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ هنر و معماری، دانشگاه شیراز، شیراز
[۲] استادیار دانشکدهٔ هنر و معماری، دانشگاه شیراز، شیراز
*مسئول مکاتبات: shaer.jalil@gmail.com

چکیده

در ساختمان‌های سنتی راهکارهای غیرفعال خورشیدی فراوانی برای ایجاد آسایش حرارتی محیط داخل استفاده شده که می‌تواند در ساختمان‌های مدرن امروزی نیز به کار رود. عنصر مشترک در بسیاری از ساختمان‌های سنتی ایران در اقلیم گرم و خشک، اتاق تالار با ایوان است. هدف از این پژوهش بررسی آسایش حرارتی در اتاق تالار خانه سنتی منطقی‌نژاد در شیراز است. برای رسیدن به این هدف، ابتدا ساختمان سنتی با تمامی جزییات در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر نسخه ۵.۰۳.۰۰۷ شبیه‌سازی شده و سپس داده‌های مربوط به دما، رطوبت نسبی اتاق، میزان شاخص آسایش حرارتی میانگین آرای پیش‌بینی شده (PMV) و درصد نارضایتی پیش‌بینی شده (PPD) اتاق تالار در طول سال محاسبه شد. برای اعتبارسنجی داده‌ها، داده‌های بدست آمده دما و رطوبت نسبی بوسیله‌ی حسگر طی ده روز با داده‌های نرم‌افزار مقایسه گشت که اختلاف آن‌ها قابل قبول بود. نتایج محاسبات حاکی از آن است که اتاق تالار با ایوان در جبهه‌ی جنوبی حیاط مرکزی در ماه‌های مه، ژوئن، سپتامبر و اکتبر از لحاظ آسایش حرارتی مناسب است. اتاق تالار در دو ماه جولای و آگوست در محدوده کمی گرم تا گرم قرار گرفته و در ماه‌های سرد در محدود تنش سرمایی است.

واژگان کلیدی

آسایش حرارتی
اتاق تالار
خانه‌های سنتی
شبیه‌سازی انرژی

تاریخچه مقاله

تاریخ دریافت ۱۳۹۷/۰۱/۰۶
تاریخ پذیرش ۱۳۹۷/۰۸/۲۷

۱ مقدمه

امروزه انرژی زیادی صرف سرمایش و گرمایش محیط‌های داخلی ساختمان‌ها جهت ایجاد آسایش حرارتی می‌گردد. وجود دستگاه‌های سرمایش و گرمایش مدرن باعث شده توجه کمی به راهکارهای غیرفعال[۱] در معماری و ساختمان‌سازی مدرن شود [۱] و راهکارهای اقلیمی در ساختمان‌های سنتی که طی سال‌ها تجربه، آزمایش و خطا به دست آمده را به فراموشی گذاشته شود [۲]. تولید گازهای گلخانه‌ای، گرمایش کره زمین در سال‌های اخیر و مصرف بالای انرژی در بخش ساختمان باعث گردیده که راهکارهای اقلیمی بیشتر مورد توجه طراحان و معماران قرار گیرد و تلاش برای استفاده از راهکارهای اقلیمی معماری بومی و سنتی در ساختمان سازی مدرن بیشتر شود [۳].

مطالعات نشان داده که اکثر ساختمان‌های سنتی در اقلیم گرم و خشک، آسایش حرارتی بهتری نسبت به ساختمان‌های مدرن برای ساکنان ایجاد کرده [۴] و انرژی کمتری نیز مصرف می‌کنند [۵]. همچنین در مقایسه‌ی بین خانه‌های بومی و مدرن در ایران نتایج حاکی از آن است که خانه‌های سنتی با استفاده از استراتژی‌های طراحی ساختمان، هماهنگ با محیط زیست بوده و منجر به آسایش حرارتی محیط داخلی می‌گردند [۶]؛ در حالی که خانه‌های امروزی از فناوری و انرژی زیادی برای رسیدن به آسایش حرارتی محیط داخلی استفاده می‌کنند [۷]. مطالعات متعدد نشان می‌دهند که می‌توان از راهکارهای غیرفعال استفاده شده در ساختمان‌های سنتی در ساختمان‌های مدرن امروزی به کار برد [۸، ۹]. تحقیقات فراوانی بر روی راهکارهای غیرفعال استفاده شده در ساختمان‌های سنتی اقلیم گرم و خشک در سطح دنیا و ایران صورت گرفته است. در پژوهشی به مقایسه‌ی مصالح (آجر، سنگ نتراشیده و بلوک‌های گلی) در خانه‌های بومی و تاثیر آن در مصرف انرژی ساختمان پرداخته گردیده و براساس استاندارد ASHRAE[2] 55 نتایج حاکی از آن بود که استفاده از آجر موجب مصرف انرژی کمتری نسبت به بقیه مصالح می‌گردد [۱۰]. همچنین در بعضی از ساختمان‌های سنتی دیگر برای بهره بردن از ظرفیت سرمایش خاک، از زیر زمین برای خنک‌کردن فضا استفاده کرده و طبقه همکف را پایین‌تر از کف خیابان در نظرگرفته‌اند [۱۱]، همچنین برای کنترل نوسانات دما از مصالح با ظرفیت حرارتی بالا استفاده شده و ضخامت دیوارهای داخلی و بیرونی را زیاد در نظرگرفته [۱۲] و سقف را عایق کاری می‌کردند [۷]. از دیگر راهکارهای غیرفعال برای خنک کردن فضاهای داخل در ساختمان‌های سنتی در اقلیم گرم و خشک می‌توان به استفاده از فرم حیاط مرکزی [۱۳، ۱۴]، ایجاد فضاهای نیمه‌باز، ایوان و بالکن اشاره نمود [۵]. در ساختمان‌های سنتی در اقلیم گرم و خشک ایران از رنگ‌های روشن استفاده شده و ارتفاع اتاق‌ها را زیاد در نظر می‌گرفتند [۱۵]، همچنین از سقف‌های دو پوسته، چند پوسته و گنبد استفاده کرده و در جهت حفظ سرما و گرمای داخل محیط از فیلترهای ورودی و فضاهایی واسطه استفاده نموده‌اند [۱۱، ۱۲]. جهت افزایش رطوبت در خانه‌های بومی اقلیم گرم و خشک از حوض آب و درختان استفاده شده است [۶] و برای بهره‌بردن از

[1] passive [2] American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE)

جریان باد از انواع بادگیر استفاده کرده و پنجره‌ها را به سمت حیاط مرکزی قرار داده‌اند [۱۳]. در برخی از ساختمان‌های این اقلیم، خانه‌ها دارای دو بخش تابستان‌نشین و زمستان‌نشین است [۱۶]، هر ضلع خانه دارای حیاط مرکزی را به یک فصل سال اختصاص می‌دادند [۱۴، ۱۷].

در ساختمان‌های بومی به منظور افزایش گرما در فصل زمستان، جهت‌گیری ساختمان‌ها را معمولاً به سمت جنوب شرقی گرفته‌اند و از الگوی شهرسازی متراکم[1] استفاده کرده‌اند [۶]. مشخصه مهم اقلیمی در بیشتر خانه‌های سنتی ایرانی در اقلیم گرم و خشک، استفاده از اتاق تالار و ایوان است که در مناطق و شهرهای مختلف ایران دارای شکل‌های متفاوت است و از مصالح و ابعاد گوناگون ساخته شده است. ایوان فضایی نیمه‌باز است که در جلوی فضای بسته‌ای که به آن تالار گفته می‌شود قرار دارد. معمولا اتاق تالار دارای ارسی است. ارسی درهایی مشبک از چوب و شیشه است که برخلاف دربهای کنونی جهت باز شدن، به طرف بالا حرکت می‌کند. ایوان‌ها، معمولا رو به حیاط مرکزی ساخته شده‌اند که متاسفانه مطالعات اندکی بر روی آسایش حرارتی اتاق تالار و ایوان صورت گرفته است. فروزانمهر [۱۸] با بررسی کیفی ایوان و اتاق تالار در خانه‌های سنتی یزد نشان داد که افراد ساکن خانه از فضای ایوان و اتاق تالار احساس رضایت داشته‌اند. در پژوهشی دیگر با استفاده از شبیه‌سازی در نرم‌افزار کامسول[2] به بررسی ارسی‌ها در سه حالت باز، نیمه‌بسته و بسته و تاثیر آن را بر جریان هوای داخل اتاق تالار پرداخته شده است. نتایج حاکی از آن بود که ارسی‌ها در حالت باز با هدایت مستقیم جریان هوا از حیاط به بالای اتاق باعث حرکت و چرخش سیال در حجم قابل توجهی از اتاق می‌شود و ارسی‌های نیمه بسته باعث ایجاد جریانی محدود در پایین اتاق اما با حجم جابجایی کمتر هوا می‌گردند. همچنین با بسته بودن ارسی‌ها، جابجایی هوا از طریق گوشواره‌های کنار اتاق تنها در بخش میانی اتاق صورت می‌گردد [۱۹].

آسایش حرارتی توسط محققان ایرانی در ساختمان‌های امروزی و محیط شهری انجام شده است که برخی از آن‌ها در خانه‌های سنتی دارای بادگیر بوده است. از جمله پژوهش حسینی و همکاران [۲۰] که به شبیه‌سازی بادگیر و بررسی شرایط آسایش حرارتی در شهر یزد پرداخته و پیشنهاداتی برای بهینه‌سازی عملکرد بادگیر ارایه داده‌اند. نتایج تأثیر بسیار زیاد تغییر تناسبات بادگیر را بر سرعت جریان باد نشان می‌دهد. سطوح آسایش به صورت عددی و نیز با استفاده از ابزار آسایش حرارتی مرکز محیط مصنوع (CBE) انجام شده است.

در پژوهشی مقایسه‌ای تطبیقی میان انواع متداول مبدل‌های حرارتی در اقلیم‌های مختلف با هدف دستیابی به نقطه بهینه شبنم در کولرهای تبخیری انجام شده است. طبق نتایج ترکیب بهینه در اقلیم گرم و خشک متفاوت با دیگر اقلیم‌ها است و میزان کاهش هزینه صورت گرفته در چرخه حیات و مصرف سالانه آب قابل توجه است [۲۱].

او در پژوهشی دیگر عملکرد سیستم‌های سرمایشی با های سلولزی را بررسی کرده و در اقلیم گرم و خشک تجهیز سیستم‌های سرمایش تبخیری مستقیم را با چرخش مجدد بخشی از هوای خنک پیشنهاد می‌دهد [۲۲].

مصرف انرژی و شرایط آسایش حرارتی و کیفیت هوا با استفاده از سیستم توزیع از کف توسط فتح اله زاده و همکاران [۲۳] مورد بررسی قرار گرفته است. این پژوهش در محیطی با جمعیت زیاد و با استفاده از تحلیل CFD انجام شده است. نتایج صرفه جویی ۱۰/۵ درصد در انرژی و بهبود شرایط آسایش حرارتی را در صورت انتخاب محل بهینه توزیع‌کننده هوای هوا نشان می‌دهد.

حیدری نژاد و همکاران [۲۴] تاثیر ارتفاع دریچه بازگشت هوا را بر مصرف انرژی و شرایط آسایش حرارتی داخلی بررسی کرده و به این نتیجه رسیده‌اند که ارتفاع ۱/۳ از کف برای هوای بازگشتی سبب کاهش ۱۵/۳ درصد در مصرف انرژی می‌شود.

برخی از پژوهش‌ها به شرایط آسایش حرارتی در محیط شهری اختصاص دارند. به عنوان مثال تأثیر حرارتی چندین فرم بام بر شرایط آسایش حرارتی و کیفیت هوا در محیط خیابان به صورت عددی توسط حسینی و همکاران [۲۵] بررسی شده است. بر اساس نتایج با افزایش نسبت ارتفاع به عرض، با توجه به تاثیر آن بر باد و کیفیت هوا در خیابان و نیروی شناوری سبب کاهش آسایش حرارتی می‌گردد.

پژوهش‌های صورت گرفته بر روی اتاق تالار و ایوان از لحاظ اقلیمی بیشتر به صورت کیفی و توصیفی و حاصل تجربه فردی از شرایط آسایش در بازه زمانی محدود بوده است. در این پژوهش‌ها میزان تأثیرگذاری عناصر معماری و نحوه کارکرد حرارتی آن‌ها به صورت تجربی و طی بازه زمانی بلندمدت بررسی نشده است. در برخی مطالعات صرفا به صورت میدانی با استفاده از حسگرهای مختلف در یک بازه زمانی اتاق تالار را بررسی نموده‌اند که قابل تعمیم به بازه زمانی کل سال نیست. هدف از پژوهش حاضر بررسی آسایش حرارتی اتاق تالار دارای ایوان در یکی از خانه‌های سنتی شیراز (خانه منطقی نژاد) است با این فرض که اتاق تالار دارای ایوان در جبهه‌ی جنوبی ساختمان‌های سنتی دارای آسایش حرارتی مناسبی در ماه‌های گرم سال است و عملکرد اقلیمی مناسبی دارد.

۲ شرایط اقلیمی شیراز

شیراز دارای اقلیمی گرم و خشک است [۲۶] که اطلاعات آب و هوایی آن در جدول ۱ نشان داده شده است. جهت باد غالب در شیراز از غرب و شمال غرب است و متوسط سرعت جریان باد $۲/۲\ \mathrm{m\ s^{-1}}$ است. متوسط دمای خشک سالانه شیراز $۱۷/۸\ ^\circ\mathrm{C}$ و متوسط رطوبت نسبی سالانه آن ۳۸% است.

۳ روش تحقیق

اتاق تالار و ایوان در ساختمان‌های سنتی ایران در اقلیم‌های گرم و خشک، گرم و مرطوب و اقلیم سرد به صورت گسترده استفاده شده است. در میان اتاق‌های تالار با ایوان در شهرهای ایران؛ شهر شیراز انتخاب شده است به این دلیل که اتاق تالار و ایوان عنصر معماری بارزی در خانه‌های سنتی این شهر است که پژوهشی در زمینه‌ی ویژگی اقلیمی آن صورت نگرفته است. در میان خانه‌های سنتی دارای ایوان در شهر شیراز، ۱۷ خانه که دارای اتاق تالار و ایوان هستند انتخاب گردید. در شکل ۱ نمودار ارتباطی اتاق‌ها، ایوان و

[1] High-density Urban Pattern [2] Comsol

جدول ۱: متوسط تغییرات آب و هوایی شیراز در ده سال گذشته (۱۳۹۵ـ۱۳۸۵)، [بر اساس داده‌های سازمان هواشناسی کشور]

ماه	متوسط دمای خشک هوا (°C)	حداقل دمای خشک هوا (°C)	حداکثر دمای خشک هوا (°C)	متوسط رطوبت نسبی (٪)	سرعت جریان باد ($m\ s^{-1}$)
Jan	۵/۸	−۳/۹	۱۷/۱	۶۲	۱/۳
Feb	۷/۲	−۲/۳	۱۷/۶	۵۷/۲	۲/۲
Mar	۱۱/۶	−۳	۲۳/۶	۴۸/۳	۲/۳
Apr	۱۷	۱/۷	۲۹/۶	۴۰/۴	۲/۸
May	۲۳/۲	۱۰/۳	۳۵/۷	۲۹/۱	۳/۳
Jun	۲۸	۱۶/۳	۳۷/۷	۱۹/۴	۲/۷
Jul	۲۹/۵	۱۶/۶	۳۹/۸	۲۲/۱	۲/۹
Aug	۲۹/۱	۱۷/۱	۳۸/۷	۲۴/۲	۲/۴
Sep	۲۴/۸	۱۱/۳	۳۷/۱	۲۲/۹	۱/۷
Oct	۱۸/۶	۵/۹	۳۱/۵	۳۱/۵	۱/۹
Nov	۱۲/۷	−۱/۷	۲۵/۳	۴۰/۶	۱/۳
Dec	۶/۴	−۴/۹	۲۰/۳	۶۱/۱	۱/۷

حیاط خانه‌های مورد بررسی مشخص شده است. در میان خانه‌های انتخاب شده، خانه منطقی نژاد جهت انجام پژوهش و بررسی آسایش حرارتی اتاق تالار انتخاب گردید به این علت که نمودار ارتباطی اتاق تالار، ایوان و حیاط مربوط به خانه منطقی نژاد رایج‌ترین نمودار در بین نمونه‌ها است. خانه منطقی نژاد، خانه‌ای مسکونی بوده که مربوط به دوره‌ی قاجار است و دارای دو طبقه همکف و زیرزمین است. ایوان این خانه دارای سقفی مسطح است و دارای دو ستون است و در جبهه‌ی جنوب حیاط مرکزی رو به شمال ساخته شده است (شکل ۲ و ۳).

در پشت ایوان خانه منطقی نژاد، اتاق تالار است که فضایی قابل توجه در ساختمان است. اتاق تالار دارای پنجره‌ای مشبک است که از شیشه و چوب ساخته شده و دارای ارسی‌هایی است که قابلیت باز و بسته شدن را دارند و دارای درهایی است که به اتاق‌های اطراف ارتباط دارد (شکل ۳). در شکل ۳ پلان همکف و زیر زمین خانه منطقی نژاد و مقطع‌هایی از خانه نشان داده شده است که اتاق تالار در آن مشخص گردیده است.

۱.۳ شبیه‌سازی

برای شبیه‌سازی اتاق تالار و ایوان خانه منطقی نژاد، از نرم افزار دیزاین بیلدر[1] [۲۷] استفاده شد. این نرم‌افزار یکی از نرم‌افزارهای قدرتمند در تحلیل انرژی ساختمان است که توانایی انجام تحلیل‌های دینامیک سیالات محاسباتی[2] نیز دارد. در شکل ۴ اتاق تالار با ایوان و اتاق‌های اطراف آن در نرم‌افزار دیزاین بیلدر نشان داده شده است.

۲.۳ مصالح ساختمان

در نرم افزار دیزاین بیلدر، دیوارهای بیرونی، داخلی و سقف ساختمان طبق مصالح وضع موجود در نظر گرفته شد. در جدول ۲، لایه‌های تشکیل شونده، ضخامت آن و میزان چگالی[3]، گرمای ویژه[4] و ضریب انتقال حرارت[5] آن‌ها آورده شده است. بعضی از مصالح مانند خشت، کاهگل، غوره گل که در معماری سنتی ایرانی استفاده گردیده در کتابخانه انرژی پلاس وجود ندارد که با توجه به اطلاعات آزمایشگاهی برای نرم افزار معرفی شد.

۳.۳ سرمایش و گرمایش

برای رسیدن به این هدف که اتاق تالار تا چه میزان در شرایط طبیعی در آسایش حرارتی قرار دارد، برای اتاق تالار و اتاق‌های اطراف آن دستگاه سرمایش و گرمایشی در نرم‌افزار شبیه‌سازی در نظر گرفته نشده است و تهویه به صورت طبیعی تعریف شد.

۴.۳ سطح اشغال

در نرم‌افزار دیزاین بیلدر تعداد افراد استفاده‌کننده از اتاق تالار میانگین افراد خانواده ایرانی، به تعداد ۴ نفر در نظر گرفته شد [۲۱]؛ و اتاق‌های دیگر، اتاق خواب با ظرفیت یک نفر در نظر گرفته شده است. در جدول ۳ اطلاعات به صورت دقیق آمده است.

جدول ۳: میزان سطح اشغال در اتاق‌های شبیه‌سازی شده در نرم افزار دیزاین بیلدر

	مساحت (m^2)	تعداد افراد	ساعات استفاده	Density (people m^{-2})
اتاق تالار	۲۴/۵۴	۴	۲۲ : ۰۰ ۰۸ : ۰۰	۰/۱۶۳
اتاق ۱	۱۱/۷۳	۱	۰۸ : ۰۰ ۲۲ : ۰۰	۰/۰۸۵
اتاق ۲	۲۲/۱۳	۱	۰۸ : ۰۰ ۲۲ : ۰۰	۰/۰۴۵

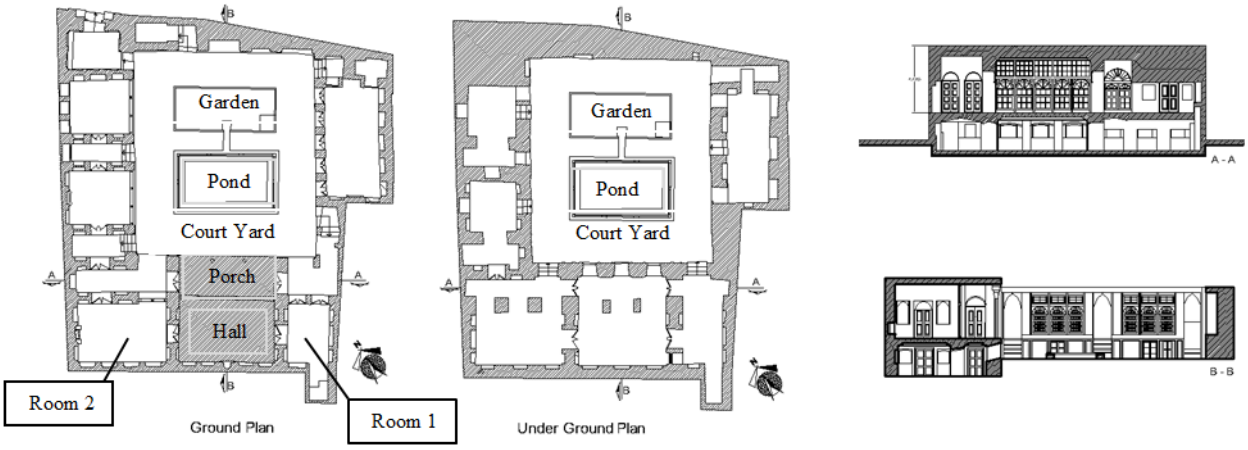
۵.۳ ابزارشناسی

در این پژوهش جهت ثبت داده‌های میدانی جهت اعتبار سنجی داده‌های شبیه‌سازی از حسگر ساخت شرکت TFA استفاده شده است که دقت اندازه‌گیری دمای آن ۱ درجه سلسیوس و دقت اندازه‌گیری رطوبت نسبی آن ۱٪ است که می‌تواند دماهای بین −۳۰°C تا +۷۰°C و رطوبت بین ۱٪ تا ۹۹٪ را اندازه‌گیری کند (شکل ۵). همچنین جهت اندازه‌گیری شرایط مرزی برای تحلیل دینامیک سیالات محاسباتی از حسگرهای دما، رطوبت نسبی و حسگر اندازه‌گیری دمای سطوح استفاده شد. جهت اندازه‌گیری دما و رطوبت از حسگر MIC-98583 برای تعیین شرایط مرزی استفاده گردید که میزان

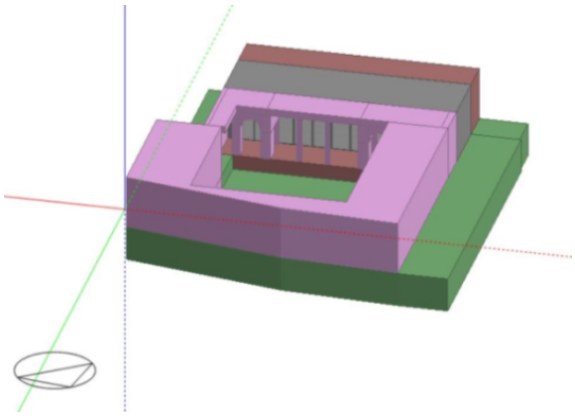
[1]Design Builder [2]Computational Fluid Dynamics (CFD) [3]Density [4]Specefic Heat [5]Conductivity

شکل ۱: ارتباط فضایی اتاق تالار با ایوان و حیاط در خانه‌های سنتی شیراز

شکل ۲: تالار و ایوان خانه منطقی نژاد



شکل ۳: نقشه طبقه‌ی زیرزمین و هم‌کف خانه منطقی نژاد همراه با مقطع‌هایی از اتاق تالار و ایوان



شکل ۴: شبیه سازی اتاق تالار و ایوان در نرم افزار دیزاین بیلدر

جدول ۲: لایه‌های تشکیل شده سقف، دیوارهای داخلی و بیرونی در نرم افزار شبیه‌سازی دیزاین بیلدر

	تعداد لایه‌ها	نام لایه	ضخامت (m)	Conductivity (w m^{-1} K^{-1})	Specific heat (j kg^{-1} K^{-1})	Density (kg m^{-3})
دیوار بیرونی	۳	پلاستر گچ	۰/۰۱	۰/۴	۱۰۰۰	۱۰۰۰
		آجر	۰/۴۷	۰/۷۲	۸۴۰	۱۹۲۰
		پلاستر گچ	۰/۰۲	۰/۴	۱۰۰۰	۱۰۰۰
دیوار داخلی	۳	پلاستر گچ	۰/۰۲	۰/۴	۱۰۰۰	۱۰۰۰
		خشت	۰/۰۶۱	۱/۱	۸۴۰	۱۷۷۰
		پلاستر گچ	۰/۰۲	۰/۴	۱۰۰۰	۱۰۰۰
سقف	۷	کاه‌گل	۰/۰۱	۱/۱	۸۴۰	۱۵۰۰
		خاک کشی	۰/۰۲	۱/۱	۸۴۰	۱۷۷۰
		غوره گل	۰/۱۲	۱/۱	۸۴۰	۱۷۷۰
		حصیر	۰/۰۰۳	۰/۱۹	۲۳۹۰	۷۰۰
		پروازبندی و تیر	۰/۰۳	۰/۱۹	۲۳۹۰	۷۰۰
		لایه هوا	۰/۳			
		توفال کوبی	۰/۰۲	۰/۱۹	۲۳۹۰	۷۰۰

خطای دمای آن ۰/۶ ± °C و درصد خطای رطوبت نسبی آن ٪۱ ± است. همچنین برای اندازه گیری سرعت جریان باد از حسگر AVM-305 با میزان خطای ۰/۲ ± m s^{-1} استفاده شده است. جهت اندازه‌گیری دمای تابشی اتاق تالار، ابتدا با استفاده از حسگر Testo 925 با میزان خطای ۰/۵ ± °C دمای سطوح اتاق را به دست آورده و با محاسبه متوسط داده‌ها، دمای تابشی اتاق تالار به دست آمد.

۶.۳ شاخص‌های آسایش حرارتی

تاکنون شاخص‌های متعددی جهت سنجش شرایط حرارتی پیشنهاد شده است که می‌توان آن‌ها را در دو دسته تجربی و تحلیلی تقسیم‌بندی نمود. از مهم‌ترین شاخص‌های تجربی دمای موثر (ET)، دمای موثر اصلاح شده (CET) و دمای عملکردی (OT) است. در شاخص دمای موثر برخی عوامل از جمله نوع فعالیت و پوشش و تابش مورد توجه قرار نمی‌گیرد. دمای موثر اصلاح شده، عنصر تابش را در دمای موثر دخالت داده است. در شاخص دمای عملکردی تاثیر رطوبت و جریان باد نادیده گرفته شده است.

شاخص‌های تحلیلی دمای موثر جدید (ET)، دمای موثر استاندارد (SET) و شاخص PMV را شامل می‌شود. دمای موثر جدید برای اصلاح نواقص شاخص‌های تجربی قدیمی‌تر ایجاد شده و برای میزان معینی از پوشش و جریان هوا و فعالیت محاسبه می‌شود. در شاخص دمای موثر استاندارد، این عوامل جهت ایجاد وحدت و یکسان‌سازی محاسبات به صورت مقادیر استاندارد پیشنهاد شده‌اند. شاخص PMV یکی از متداول‌ترین شاخص‌ها جهت سنجش آسایش حرارتی فضا بر پایه مطالعات فنگر است که در استانداردهای معتبر جهانی از جمله اشری مورد استناد قرار می‌گیرد. با توجه به گستردگی کاربرد، در این پژوهش نیز این شاخص مبنای سنجش قرار گرفته است.

۷.۳ اعتبارسنجی داده‌های نرم‌افزار

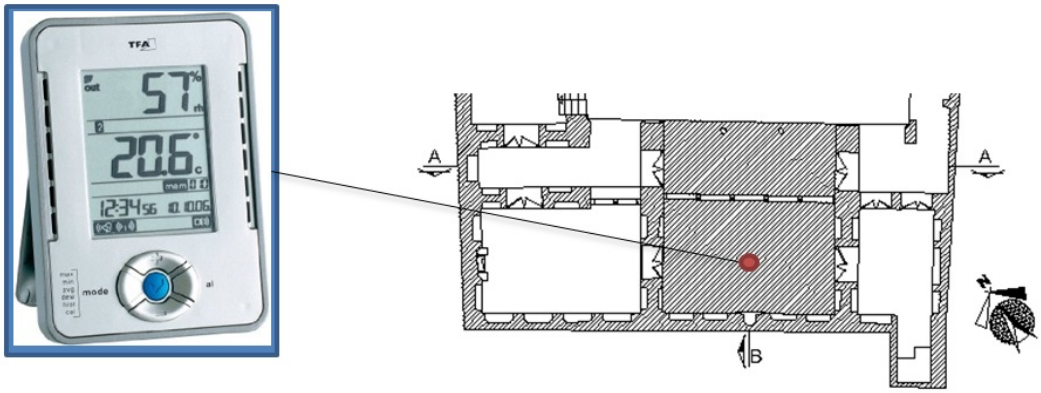
برای اعتبارسنجی داده‌های شبیه‌سازی ابتدا با استفاده از حسگر، اطلاعات مربوط به دما و رطوبت نسبی اتاق تالار خانه منطقی نژاد از ساعت ۹ صبح چهارم بهمن سال ۹۴ تا ۹ صبح سیزده بهمن هر ۲۰ دقیقه یکبار اندازه‌گیری شد. شکل ۵ محل قرارگیری حسگر را نشان می‌دهد که حسگر نام برده طبق استاندارد اشری در ارتفاع ۰/۸ متری از کف اتاق در وسط اتاق قرار گذاشته شد. در شکل ۶، داده‌های میدانی و شبیه‌سازی در بازه زمانی ذکر شده نشان داده شده است. با توجه به شکل ۶، اختلاف بین داده‌های میدانی و شبیه‌سازی در دما کمتر ٪۲ است و اختلاف بین رطوبت نسبی اندازه‌گیری شده با داده‌های نرم افزار ٪۳/۸ است که مناسب است، در نتیجه می‌توان داده‌های خروجی از نرم‌افزار دیزاین بیلدر را معتبر دانست.

۴ یافته‌ها و تحلیل داده‌ها

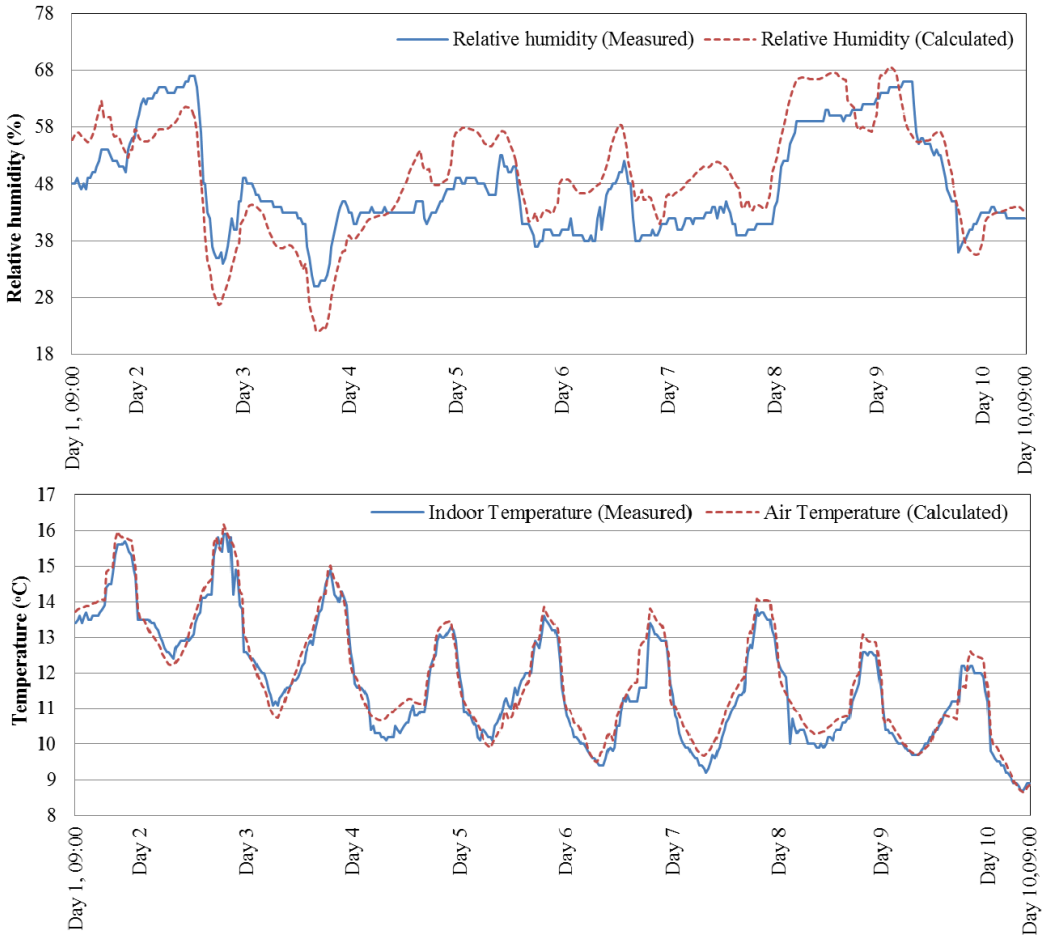
در گام اول در این قسمت داده‌های مربوط به حالات شبیه‌سازی اتاق تالار خانه منطقی نژاد آورده شده است. در شکل ۷ دمای اتاق تالار را در طول سال نشان داده شده است. مطابق شکل ۷ دمای احساسی، دمای تابشی و دمای هوای داخل اتاق از دمای خشک بیرون در طول سال بالاتر است، که ماهای ژوئن، جولای و آگوست بیشترین دما را نسبت به ماه‌های دیگر دارد و در ماه‌های سرد سال، دمای اتاق بالاتر از دمای بیرون است که به آسایش حرارتی اتاق تالار کمک می‌کند.

در شکل ۸، رطوبت نسبی اتاق تالار در طول سال نشان داده شده است که ماه‌های گرم دارای کم‌ترین رطوبت نسبی است و میزان رطوبت نسبی در فصل‌های زمستان و بهار بیشتر از دو فصل دیگر است. مقدار رطوبت نسبی در اتاق تالار در ماه‌های ژوئن، جولای، آگوست و سپتامبر زیر ٪۲۰ است و بقیه ماه‌ها بین ۲۰ تا ٪۴۵ است.

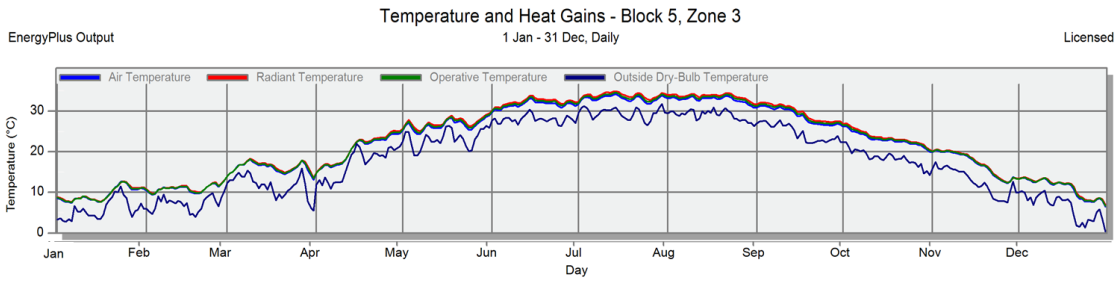
بعد از محاسبات مربوط به دما و رطوبت نسبی می‌توان شاخص PMV اتاق تالار به دست آورد. در شکل ۹ شاخص آسایش نشان داده شده میانگین میزان PMV اتاق است. طبق شکل ۹ ماه‌های دسامبر، ژانویه، فوریه و آوریل در محدوده‌ی تنش سرمایی قرار دارد و میزان شاخص آسایش حرارتی ماه‌های مه، ژوئن، سپتامبر و اکتبر در محدوده‌ی ۱ و ۱ – قرار دارد که طبق استاندارد اشری مناسب است و دو ماه جولای و آگوست در محدوده‌ی ۱ تا ۲ قرار



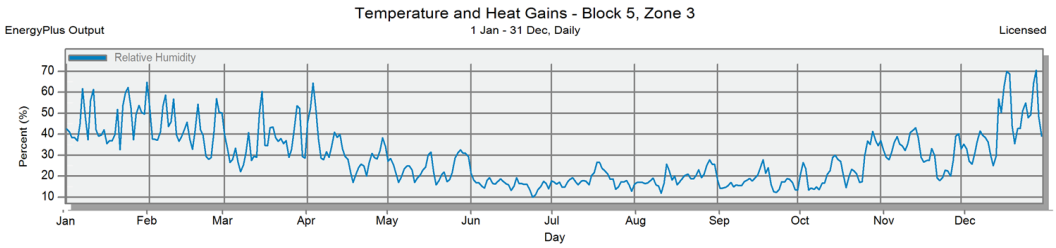
شکل ۵: دستگاه دیتالاگر دما و رطوبت TFA و مکان قرارگیری آن در اتاق تالار خانه منطقی نژاد



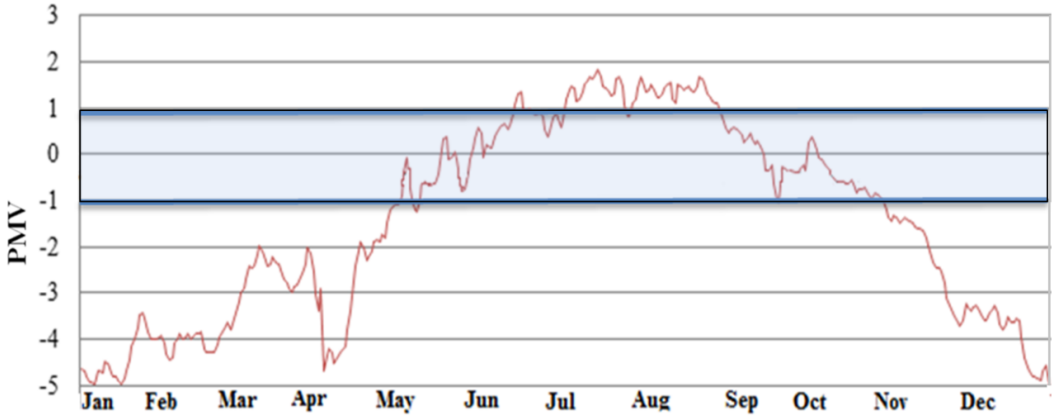
شکل ۶: مقایسه دما و رطوبت نسبی اندازه گیری شده با داده‌های شبیه سازی از تاریخ‌های ۴ بهمن، ساعت ۰۹:۰۰ قبل از ظهر تا ۱۳ بهمن، ساعت ۰۹:۰۰ قبل از ظهر ۱۳۹۴ و مکان قرار گیری آن در اتاق تالار خانه منطقی نژاد



شکل ۷: تغییرات دمایی اتاق تالار در مقایسه با دمای بیرون



شکل ۸: تغییرات رطوبت نسبی اتاق تالار

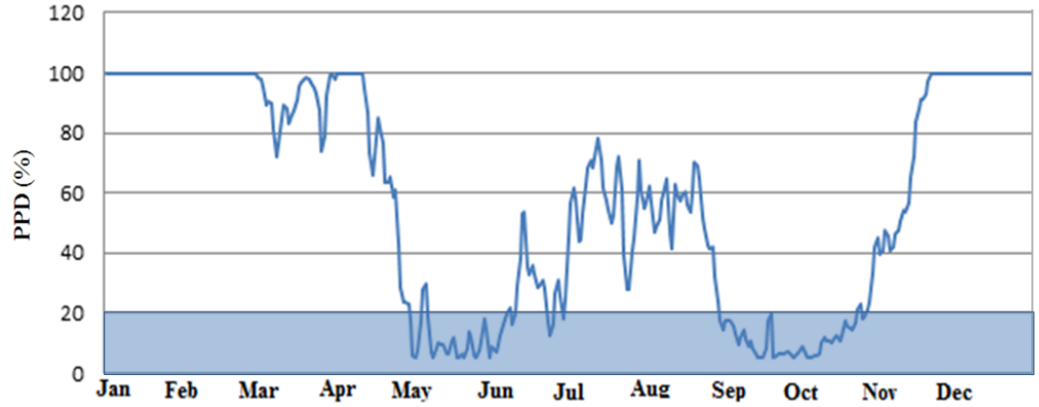


شکل ۹: تغییرات شاخص میانگین آرای پیش‌بینی شده اتاق تالار خانه منطقی نژاد طی سال

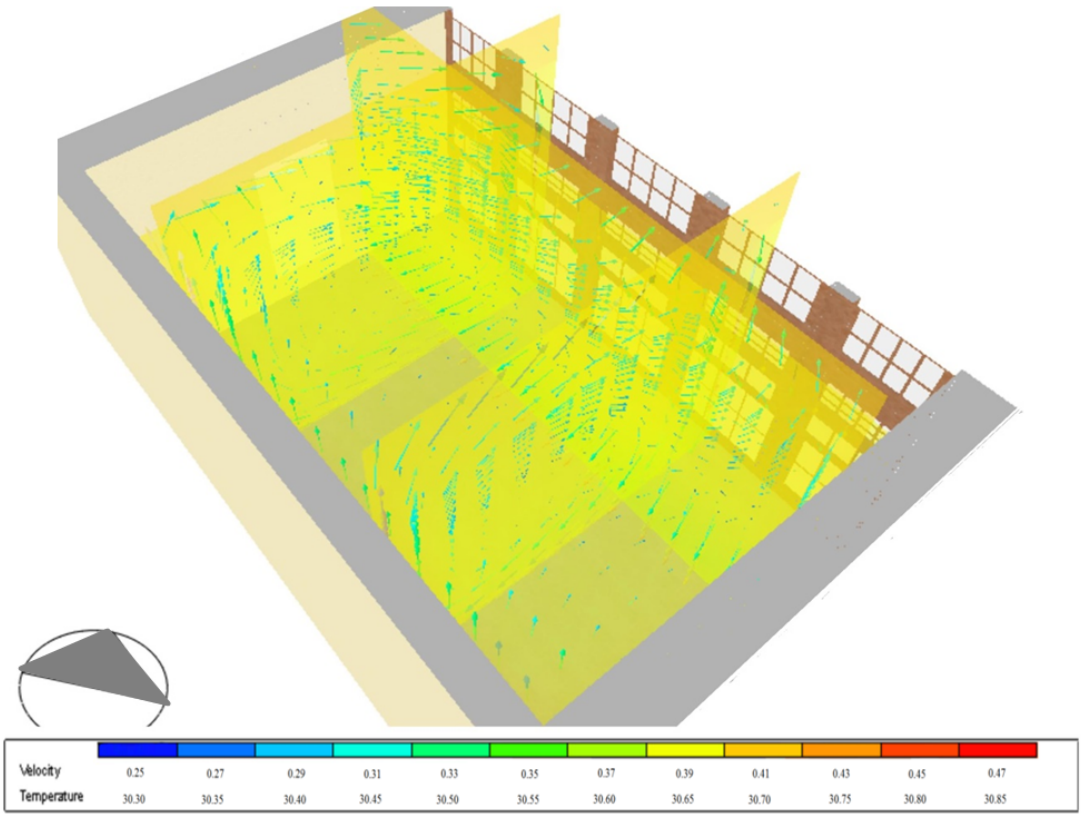
گرفته است که نشان می‌دهد در محدوده کمی گرم تا گرم قرار گرفته است.

بر اساس شاخص PMV می‌توان میزان PPD اتاق تالار را بدست آورد که درصد نارضایتی افراد ساکن را نشان می‌دهد که زیر ۲۰ درصد بسیار مناسب است. در شکل ۱۰ میزان PPD اتاق تالار طی سال نشان داده شده است. طبق شکل ۱۰ میزان PPD اتاق تالار در ماه‌های گرم کم‌تر از ماه‌های دیگر است که نشان می‌دهد اتاق تالار در جبهه‌ی جنوبی حیاط مرکزی فضای مناسبی جهت اقامت است به علت قرار گرفتن در سایه ناشی از ایوان و همچنین قرار گرفتن در جهت وزش باد غالب که به آسایش محیط داخلی کمک می‌کند. اتاق تالار در جبهه‌ی جنوبی به علت قرار گرفتن در سایه و عدم تابش مستقیم خورشید مناسب برای فصل‌های سرد نیست و میزان PPD اتاق تالار در ماه‌های سرد بسیار بالا است.

جهت تحلیل عددی اتاق تالار از لحاظ شرایط دمایی، سرعت جریان باد و میزان PMV، ابتدا داده‌های میدانی مربوط به سرعت جریان باد ورودی، دمای هوا و دمای تابشی اتاق با استفاده حسگر در ۲۶ خرداد ۹۵ در ساعت ۱۰ قبل از ظهر به صورت میدانی به دست آمد. دمای باد ورودی ۳۰ °C و سرعت جریان باد ورودی از طریق ارسی‌ها ۰/۴۳ $m\ s^{-1}$ است. میزان رطوبت نسبی هوای ورودی ٪۳۵ و میزان دمای تابشی اتاق تالار ۳۵/۵ اندازه‌گیری شد. برای محاسبه PMV طبق استاندارد اشری، میزان سوخت و ساز بدن را ۱/۱ و نوع پوشش تابستانی با ضریب ۰/۵ در نظر گرفته شد. برای تحلیل عددی، درهای اتاق تالار متصل به اتاق‌های کناری بسته در نظر گرفته شد تا جریان باد در اتاق تالار مشخص گردد. نوع گردش جریان باد و دمای اتاق تالار در شکل ۱۱ مشخص شده است که اندازه فلش‌ها جهت جریان باد و بزرگی آن‌ها میزان



شکل ۱۰: تغییرات شاخص درصد نارضایتی پیش‌بینی شده اتاق تالار خانه منطقی نژاد در طی سال



شکل ۱۱: شرایط دمایی و جریان باد اتاق تالار در ۲۶ خرداد ۱۳۹۵ ساعت ۱۰ قبل از ظهر

سرعت جریان باد را نشان می‌دهد. جریان باد از طریق ارسی‌ها وارد می‌شود و سپس در برخورد با دیوار و افزایش دما به سمت بالا حرکت می‌کند که نشان از آن است که ارسی‌ها در حالت باز با هدایت مستقیم جریان هوا از حیاط به اتاق باعث حرکت و چرخش سیال در حجم قابل توجهی از اتاق می‌شود که به تهویه مناسب اتاق تالار کمک می‌کنند.

در شکل ۱۲ و ۱۳، میزان PMV اتاق تالار را در ۲۶ خرداد ۹۵ در ساعت ۱۰ قبل از ظهر نشان می‌دهد که شکل ۱۲، برش عرضی در ارتفاع ۰/۷۵ m از کف اتاق طبق استاندارد اشری که ارتفاع کار و نشستن است را نشان می‌دهد و تصویر راست در شکل ۱۳، میزان PMV اتاق تالار به صورت سه بعدی نشان داده شده است. طبق شکل ۱۳، میزان PMV در بازه ۰/۴۲ تا ۰/۶۴ است که در نزدیکی ارسی‌ها به علت سرعت جریان باد بیشتر و دمای کم‌تر، میزان PMV حدود ۰/۴۴ است که با دور شدن از ارسی‌ها، PMV مقدار اندکی افزایش پیدا می‌کند که به علت افزایش دمای تابشی دیوارها و کاهش سرعت جریان باد است.

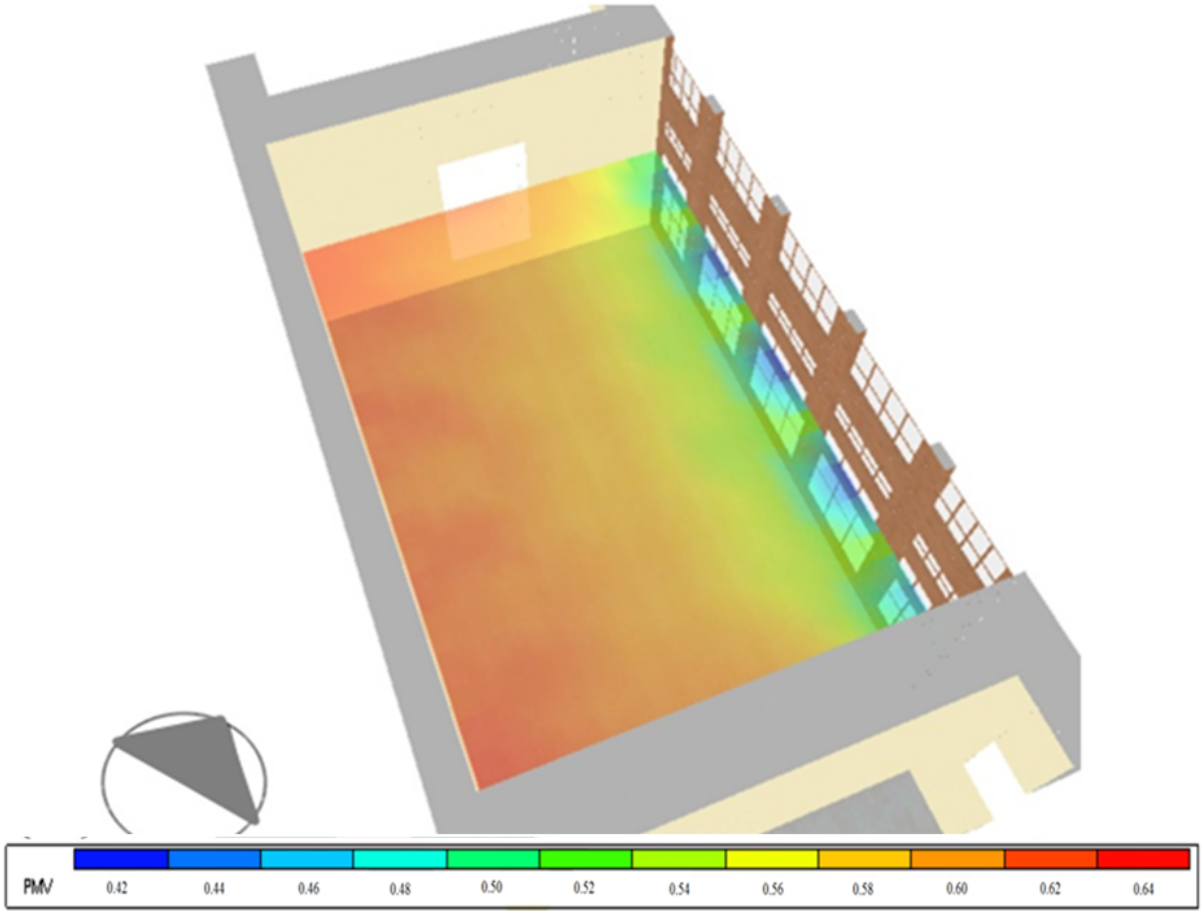
۵ نتیجه‌گیری

در بسیاری از خانه‌های سنتی اقلیم گرم و خشک ایران اتاق تالار با ایوان با اشکال و مصالح مختلف در ساختمان‌ها به کار رفته است و بسیاری از مطالعات به صورت توصیفی، اتاق تالار و ایوان را دارای عمکرد مناسب غیرفعال دانسته‌اند. در این پژوهش به بررسی آسایش حرارتی اتاق تالار با ایوان خانه منطقی نژاد در شیراز به عنوان نمونه موردی پرداخته شد. اتاق تالار دارای ایوان در جبهه‌ی جنوبی حیاط مرکزی قرار گرفته است. شبیه‌سازی فضاها با استفاده از نرم‌افزار دیزاین بیلدر به عنوان یکی از معتبرترین ابزارهای موجود جهت تحلیل حرارتی ساختمان و برای مدت زمان یک سال نمونه انجام شده و جهت اعتبارسنجی به نتایج شبیه‌سازی از اندازه‌گیری‌های میدانی استفاده شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که:

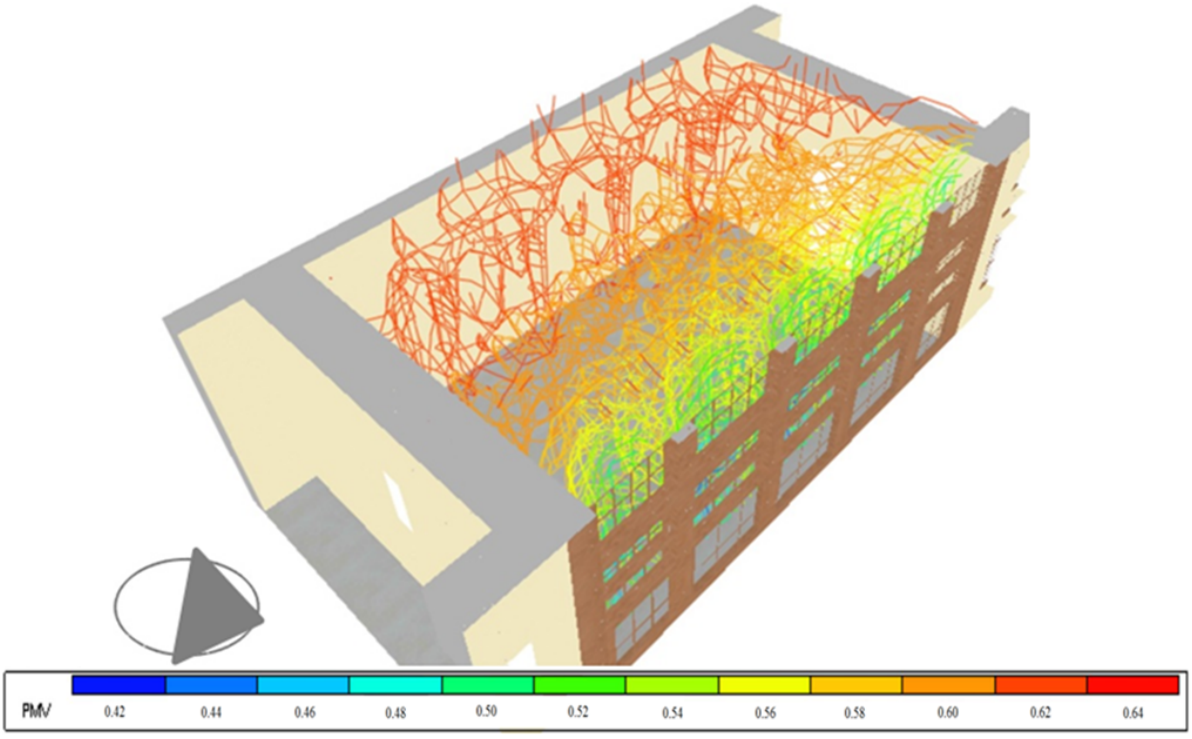
۱. دمای اتاق تالار با ایوان در طول سال، به طور متوسط ۳/۹ درجه‌ی سانتی گراد از دمای بیرون بالاتر است و مقدار رطوبت نسبی در اتاق تالار در ماه‌های ژوئن، جولای، آگوست و سپتامبر زیر ٪۲۰ است و بقیه ماه‌ها بین ۲۰ تا ٪۴۵ است.

۲. از لحاظ شاخص آسایش حرارتی PMV، اتاق تالار در ماه‌های دسامبر، ژانویه، فوریه و آوریل در محدوده‌ی تنش سرمایی قرار دارد و میزان شاخص آسایش حرارتی ماه‌های مه، ژوئن، سپتامبر و اکتبر در محدوده‌ی ۱ و ۱– قرار دارد که طبق استاندارد اشری مناسب است و دو ماه جولای و آگوست در محدوده‌ی ۱ تا ۲ قرار گرفته است که نشان می‌دهد در محدوده کمی گرم تا گرم قرار گرفته است.

۳. اتاق تالار در جبهه‌ی جنوبی حیاط مرکزی فضای مناسبی جهت اقامت است. به این علت که اتاق تالار در سایه ناشی از ایوان قرار گرفته و خورشید نور خورشید به صورت مستقیم به فضای اتاق نمی‌تابد. همچنین قرار گرفتن اتاق تالار در جهت وزش باد غالب به آسایش محیط داخلی کمک میکند. اتاق تالار در جبهه‌ی جنوبی به علت قرار



شکل ۱۲: شرایط آسایش حرارتی اتاق تالار در ۲۶ خرداد ۱۳۹۵ ساعت ۱۰ قبل از ظهر در برش عرضی به ارتفاع ۰/۷۵ m از کف اتاق



شکل ۱۳: شرایط آسایش حرارتی اتاق تالار در ۲۶ خرداد ۱۳۹۵ ساعت ۱۰ قبل از ظهر به صورت سه بعدی

گرفتن در سایه و عدم تابش مستقیم خورشید مناسب برای فصل‌های سرد نیست و میزان PPD اتاق تالار در ماه‌های سرد بسیار بالا است.

۴. تحلیل عددی اتاق تالار نشان داد، جریان باد از طریق ارسی‌ها وارد می‌شود و سپس در برخورد با دیوار و افزایش دما به سمت بالا حرکت می‌کند که نشان از آن است که ارسی‌ها در حالت باز با هدایت مستقیم جریان هوا از حیاط به اتاق باعث حرکت و چرخش سیال در حجم قابل توجهی از اتاق می‌شود که به تهویه مناسب اتاق تالار کمک می‌کنند.

نتایج این پژوهش نشان داد که اتاق تالار با ایوان در اقلیم گرم و خشک در جبهه‌ی جنوبی حیاط مرکزی در ماه‌های گرم از لحاظ اقلیمی عنصر معماری مناسبی است که این موضوع تاییدی بر نظریه‌هایی است که اتاق تالار با ایوان را فضایی مناسب و اقلیمی در خانه‌های سنتی اقلیم گرم و خشک دانسته‌اند. پیشنهاد می‌گردد که اتاق با ایوان در خانه‌های مدرن در جبهه‌های جنوبی به گونه‌ای طراحی گردد که قابلیت کنترل دیواره‌ی شیشه‌ای و سقف ایوان در فصول گرم را داشته باشد و در فصل‌های سرد سقف ایوان برداشته شود. در مطالعه‌های بعد پیشنهاد می‌گردد که ایوان در جبهه‌های مختلف ساختمان در اقلیم گرم و خشک مورد بررسی قرار گیرد و علاوه بر بررسی آسایش حرارتی فضای بسته پشت آن به آسایش حرارتی در فضای نیمه باز نیز مورد بررسی قرار گیرد.

مراجع

[1] Afshari, H. Design fundamentals in the hot and humid climate of iran: The case of khoramshahr. *Asian Culture and History*, 4:65, 2012.

[2] Mashhadi, M.K. Comparison of iranian and turkish traditional architectures in hot-dry climates. Master's thesis, Eastern Mediterranean University, 1 2012.

[3] J.R.G. Chávez, F.F. Melchor. Application of combined passive cooling and passive heating techniques to achieve thermal comfort in a hot dry climate. *Energy Procedia*, 57:1669–1676, 2014.

[4] M.K. Nematchoua, R. Tchinda, J. a. Orosa. Thermal comfort and energy consumption in modern versus traditional buildings in cameroon: A questionnaire-based statistical study. *Applied Energy*, 114:687–699, 2014.

[5] M. Serefhanoglu Sözen, G.Z. Gedík. Evaluation of traditional architecture in terms of building physics: Old diyarbaki´r houses. *Building and Environment*, 42:1810–1816, 2007.

[6] R. Soleymanpour, N. Parsaee, M. Banaei. Climate comfort comparison of vernacular and contemporary houses of iran. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 201:49–49, 2015.

[7] S. Bodach, W. Lang, J. Hamhaber. Climate responsive building design strategies of vernacular architecture in nepal. *Energy and Buildings*, 81:227–242, 2014.

[8] A.S. Dili, M.A. Naseer, T.Z. Varghese. Passive environment control system of kerala vernacular residential architecture for a comfortable indoor environment: A qualitative and quantitative analyses. *Energy and Buildings*, 42:917–927, 2010.

[9] A.F. Tzikopoulos, M.C. Karatza, J.A. Paravantis. Modeling energy efficiency of bioclimatic buildings. *Energy and Buildings*, 37:342–351, 2005.

[10] K.I. Praseeda, M. Mani, B.V.V. Reddy. Assessing impact of material transition and thermal comfort models on embodied and operational energy in vernacular dwellings (india). *Energy Procedia*, 54:529–544, 2014.

[11] S. Saljoughinejad, S. Rashidi Sharifabad. Classification of climatic strategies, used in iranian vernacular residences based on spatial constituent elements. *Building and Environment*, 92:475, 2015.

[12] M.A. Mohammadabadi, S. Ghoreshi. Green architecture in clinical centres with an approach to iranian sustainable vernacular architecture (kashan city). *Energy Procedia*, 21:580, 2011.

[13] S.M. Mehr, A.H. Noghrekar, F. Mozaffar S. Taghdir. Architectural space affordance of iranian traditional houses in response to levels of physical and spiritual human needs: (case studies: Boroujerdiha house in kashan and zinatolmolk house in shiraz). *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 201:342, 2015.

[14] M. Baran, M. Yildirim, A. Yilmaz. Evaluation of ecological design strategies in traditional houses in diyarbakir. *Cleaner Production*, 19:609, 2011.

[15] Foruzanmehr, A. Summer-time thermal comfort in vernacular earth dwellings in yazd, iran. *Sustainable Design*, 2:609–619, 2012.

[16] Foruzanmehr, A. Thermal comfort and practicality: separate winter and summer rooms in iranian traditional houses. *Architectural Science Review*, 59:37–41, 2014.

[17] G. Manioglu, Z. Yilmaz. Energy efficient design strategies in the hot dry area of turkey. *Building and Environment*, 43:1301–1309, 2008.

[18] Foruzanmehr, A. People's perception of the loggia: A vernacular passive cooling system in iranian architecture. *Sustainable Cities and Society*, 19:61–67, 2015.

[19] A. Atrvash, R. Fayaz. The effect of orsis on the air in the interior (case study: zinat almolk of shiraz). *Archit. Urban Plan*, 9:19–26, 2015.

[20] S.H. Hosseini, E. Shokry, A.J.A. Hosseini G. Ahmadi J.K. Calautit. Evaluation of airflow and thermal comfort in buildings ventilated with wind catchers: Simulation of conditions in yazd city, iran. *Energy for Sustainable Development*, 35:7–24, 2016.

[21] A. Sohani, H. Sayyaadi, N. Mohammadhosseini. Comparative study of the conventional types of heat and mass exchangers to achieve the best design of dew point evaporative coolers at diverse climatic conditions. *Energy Conversion and Management*, 158:327–345, 2018.

[22] A. Sohani, M. Zabihigivi, M.H. Moradi H. Sayyaadi H.H. Balyani. A comprehensive performance investigation of cellulose evaporative cooling pad systems using predictive approaches. *Applied Thermal Engineering*, 110:1589–1608, 2017.

[23] M.H. Fathollahzadeh, G. Heidarinejad, H. Pasdarshahri. Prediction of thermal comfort, iaq, and energy consumption in a dense occupancy environment with the under floor air distribution system. *Building and Environment*, 90:96–104, 2015.

[24] G. Heidarinejad, M.H. Fathollahzadeh, H. Pasdarshahri. Effects of return air vent height on energy consumption, thermal comfort conditions and indoor air quality in an under floor air distribution system. *Energy and Buildings*, 97:155–161, 2015.

[25] S.H. Hosseini, P. Ghobadi, T. Ahmadi J.K. Calautit. Numerical investigation of roof heating impacts on thermal comfort and air quality in urban canyons. *Applied Thermal Engineering*, 123:310–326, 2017.

[26] Nasrollahii, F. *Office buildings energy efficient: energy efficiency with the architectural design.* berlin university, 2015.

[27] DesignBuilder Software Ltd - Home, (n.d.). https://www.designbuilder.co.uk. Accessed: 2017-04-16.