مطالعات محیطی هفت حصار شماره چهل‌وچهارم/ سال یازدهم/ تابستان ۱۴۰۲
صفحات ۹۶-۷۷

ارزیابی آسایش حرارتی فضای باز مساجد سنتی خراسان بزرگ بر مبنای شاخص PMV (مطالعه موردی: شهرهای قوچان، مشهد، سبزوار و طبس)

سیده مهسا موسوی*، مهدی حمزه‌نژاد**، محبوبه زمانی***

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱۲/۱۳
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۳/۱۱

چکیده

آسایش حرارتی یکی از دغدغه‌های اصلی معماران به دلیل تاثیرگذاری بر سلامت انسان در قرن اخیر بوده است. مطالعات زیادی در رابطه با آسایش حرارتی در فضای داخل صورت گرفته است، اما آسایش حرارتی در فضای باز با وجود اهمیت فراوان، تا کنون کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است. معماری گذشته ایران، بیانگر انطباق بناهای معماری با ویژگی‌های اقلیمی و زیست محیطی می‌باشد. وجود تفاوت‌ها در معماری هر منطقه، بیانگر وجود تمهیدات مختلف طراحی منطبق با اقلیم می باشد، که باعث ارتقاء کیفیت محیطی از لحاظ آسایش حرارتی گشته است. یکی از این مولفه‌ها که در گونه‌های معماری مناطق گرم و خشک بارز است، فضای باز می‌باشد. با این باورکه مساجد سنتی ایران به دلیل ایمان وکارایی معماران، در تمامی زمینه‌های معماری به خصوص تطبیق با اقلیم از تکامل برخوردار بوده است، پژوهش حاضر با رویکرد آسایش حرارتی که از یک سو به اقلیم به عنوان پدیده ناپایدار و از سوی دیگر با انسان مرتبط است، صحن مساجد سنتی خراسان را مورد ارزیابی قرار داد. هدف پژوهش تعیین فرم بهینه و مناسب برای صحن مساجد معاصر از بین فرم های موجود در مساجد سنتی خراسان بود. محدوده پژوهش خراسان بزرگ (فارغ از مرز بندی‌های خراسان شمالی، خراسان رضوی و خراسان جنوبی) است، که چهار شهر قوچان، مشهد، سبزوار و طبس به عنوان نمونه موردی، تحلیل گشت. صحن این مساجد بر اساس تناسبات طول و عرض به سه الگو مستطیل شکل با کشیدگی در راستای قبله، مستطیل شکل عمود بر راستای قبله و مربع شکل تقسیم شد. به این ترتیب اثر هندسه صحن از حیث آسایش حرارتی به وقت نماز ظهر در فصل تابستان در چهار پهنه اقلیمی حاکم بررسی شد. آسایش حرارتی در فضای باز در منطقه محصور شده به صورت عددی با نرم افزار ENVI-MET4 و بر مبنای شاخص PMV مورد تحلیل واقع گشت. نتایج پژوهش حاصل از آنالیزهای آسایش حرارتی تناسبات و فرم حیاط را در اقلیم کوهپایه‌های مرتفع مربع شکل، در اقلیم کوهپایه‌های کم ارتفاع مستطیل شکل هم راستا با قبله، در اقلیم دشتی، مستطیل شکل عمود بر راستای قبله و در اقلیم کویری مستطیل شکل هم راستا با قبله نشان داد.

واژگان کلیدی

آسایش حرارتی، فضای باز، مساجد خراسان، نرم افزار ENVI-MET4، شاخص PMV.

* فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد، دانشکده هنر ومعماری، دانشگاه بین‌المللی امام رضا، مشهد، ایران. m.mousavi1370@yahoo.com
** دانشیار گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران. hamzenejad@iust.ac.ir
*** دانشجوی دکتری معماری، دانشکده هنر و معماری، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران. (نویسنده مسئول) m_zamani@mshdiau.ac.ir

مقاله پژوهشی- مورد پژوهی
©: IAUH
ISSN: 2322-5602

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2023-11-18]

مقدمه

در فرآیند توسعه همگام با محیط زیست، مطالعات محیطی نقش بسزایی را ایفا می‌کنند، که تحلیل شرایط حرارتی از زیر مجموعه‌های مطالعات زیست اقلیمی پایه و اساس فعالیت‌های معماری، شهرسازی، جهانگردی، و غیره می‌باشد (Lauren, 2003: 28). هم‌چنین آسایش حرارتی همواره از اهداف ابتدایی طراحی معماری بوده است (Auliciems & Szokolay, 1997). اگر اقلیم را به منزله نقش محوری در تعریف فعالیت‌ها و تعریف کاربری‌ها در فضای باز بدانیم، باید چگونگی تاثیر عواملی محیطی در جهت افزایش آسایش حرارتی که مبنای برنامه‌ریزی با رویکرد اقلیمی است را شناسایی کنیم (Scudo, 2005: 259). تا کنون تحقیقات در رابطه با آسایش حرارتی فضای داخلی به مراتب بیشتر از تحقیقات آسایش حرارتی در فضای باز بوده است (Girling, 1994: 30). علاوه بر این تحقیقاتی که در خصوص تحلیل آسایش حرارتی فضای باز صورت گرفته، بیشتر فضاهای باز شهری را مد نظر قرار داده است و مباحث شهری و شهرسازی مورد تاکید بوده است. اما در پژوهش حاضر فضای باز در بنای معماری مورد بحث واقع شده است.

مسجد جزء مهم‌ترین ابنیه مسلمانان و از نخستین جایگاه‌های نمود جماعت و یا به تعبیر دقیق‌تر، امت است (سلمانی و همکاران، ۱۳۹۴: ۳۴) و از چنان اهمیتی برخوردار بوده است که، در میان اندام‌های درونی هر شهر و روستا جایگاه ویژه‌ای داشته (پیرنیا، ۱۳۸۶: ۳۷) و از اساسی‌ترین عناصر بافت شهر بوده است (پیرنیا، ۱۳۷۹: ۴). با گسترش اسلام در قرون اولیه هجری، مساجد بسیاری در خراسان بزرگ ساخته شد که، متاسفانه امروزه ردپای آن‌ها را تنها در متون تاریخی یا حفاری‌های باستان‌شناسی می‌توان یافت (حسینی، ۱۳۹۳: ۴۵). اما با این حال هنوز مساجد سنتی که میراث گرانقدر گذشته تاریخی ایران هستند در خراسان به جا مانده است و منبع ارزشمندی جهت شناسایی و الگوبرداری برای معماری معاصر مساجد نیز می‌باشد.

قابل بیان است که، فضای باز در ساختار فضایی معماری سنتی ایرانی چه در کاربری‌های عمومی (مسجد، مدرسه، کاروانسرا و ...) و چه در کاربری‌های غیر عمومی، از جایگاه ویژه‌ای برخوردار بوده است (Hassan & Halbouni, 2013) و فضای باز در مسجد از اهمیت خاصی برخوردار بوده است (کیانی، ۱۳۸۵: ۱۸-۱۹). آن‌گونه که از شواهد برمی‌آید از ابتدا فضای باز در مسجد، یکی از بخش‌های اصلی کالبدی بوده است و از نخستین مسجد تا دوران معاصر حضور چشمگیری داشته است (سلمانی و همکاران، ۱۳۹۴: ۳۵). فضاهای مساجد را با دیدگاه کلی می‌توان به سه بخش فضای باز، نیمه باز و بسته تقسیم نمود. باید گفت نقش فضای باز در مسجد چنان چشمگیر است که اگر از میانه برخیزد همه‌چیز فرو می‌پاشد (نوایی و حاجی قاسمی، ۱۳۹۰: ۲۴). فضاهای باز در معماری مساجد هر منطقه برگرفته از مبانی اقلیمی بوده است. با در نظر گرفتن پیشینه تاریخی حضور فضای باز در مساجد و عملکرد مناسب آسایش حرارتی آن مشخص می‌گردد که، می‌توان با بهره‌گیری صحیح از الگوهای هندسی حاکم بر آن‌ها به ارتقاء کیفیت محیطی دست یافت. عمده مطالعات در این حوزه، بر روی حیاط‌های اقلیم گرم و خشک بوده و فضاهای باز بناها در اقلیم‌های دیگر همچون خراسان و بناهایی همچون مساجد مغفول مانده است، که خود بیانگر اهمیت پژوهش در این باب می‌باشد.

اهمیت پژوهش را در چند مورد می‌توان ذکر نمود. در ابتدا باید بیان نمود، که پیش‌بینی آسایش حرارتی در یک محیط ساخته شده مهم است، زیرا مدل آسایش حرارتی پتانسیل زیادی برای صرفه‌جویی در انرژی دارد. از طریق مدل آسایش حرارتی می‌توان محیط راحت را برای محیط‌های مختلف پیش‌بینی کرد (Lai et al., 2014). علاوه بر این، شهرنشینی سریع اثر جزیره گرمایی شهری UHI را بیشتر تقویت کرده و وقوع مکرر رویدادهای آب و هوایی شدید را ترویج کرده است (Hammond et al., 2015; Wang et al., 2019)، که با رعایت مبانی آسایش حرارتی می‌توان باعث کاهش مشکلات زیست‌محیطی برای توسعه پایدار شهری موفق در آینده گردید (Kenworthy, 2006). هم‌چنین اطمینان از رفاه و آسایش حرارتی یک شاخص اساسی برای هدف توسعه پایدار در خصوص سکونتگاه های انسانی است که توسط مجمع عمومی سازمان ملل متحد در سال ۲۰۱۵ ایجاد شد (Mahmoud and Gan, 2018) و باید مورد تاکید معماران معاصر نیز قرار گیرد.

علاوه بر این، دلایل بسیاری نیز بر ضرورت انجام تحقیقات در این زمینه دلالت دارند. قرارگیری بدن انسان در اختلالات شدید حرارتی باعث از تعادل خارج شدن، تنظیم بدن انسان می شود، هنگامی که دمای بدن در مدت زمان طولانی از حد معینی فراتر رود (بیش از ۱ ساعت و بالاتر از ۳۸.۵ درجه سانتی‌گراد یا کمتر از ۳۵ درجه سانتی‌گراد)، بدن انسان تا حد معینی آسیب می‌بیند (Boregowda et al., 2012) و هوای بسیار گرم با خطرات زیادی برای سلامت قلب و عروق همراه است، به ویژه برای بزرگسالانی که بیماری‌های قلبی عروقی از قبل موجود دارند (Chaseling et al., 2021). هم‌چنین از طریق مکانیسم‌های مختلف، این تغییرات آب‌وهوایی بر سلامت انسان، گردشگری و فعالیت‌های خارج از منزل و فضای باز تأثیر می‌گذارد (McMichael and Lindgren, 2011; Hein et al., 2009). بنابراین کیفیت فضاهای باز بر کیفیت زندگی ساکنان و سلامت آن‌ها تأثیر زیادی می‌گذارد (Lai et al., 2014).

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2023-11-18]

خطه بزرگ خراسان بدون در نظر گرفتن مرزبندی‌های آن، دارای معماری غنی و همساز با اقلیم می‌باشد و بهره‌گیری از فضای باز از اولویت‌های طراحی معماری مساجد خراسان بوده است. مساجد خراسان در دو دوره سبک خراسانی و سبک آذری الگوی مساجد معماری ایران بودند و در هر دو دوره، فضای باز در الگوهای آن نقش اصلی را داشته است. از آنجا که تحقق بومی این الگو در منطقه خراسان دارای تنوع قابل توجهی است، الگو شناسی دقیق و خلاق این نمونه‌ها برای هر نوع تداوم هویتی اهمیت بالایی دارد. بنابراین تعیین مشخصات فیزیکی مطلوب فضای باز با استفاده از روش شبیه‌سازی شرایط واقعی در حیاط‌های مرکزی کم عمق، از نظر دستیابی به حدود دمای آسایش حرارتی در چهار پهنه اقلیمی منطقه خراسان از اهداف اصلی این پژوهش است. لذا سوالات پژوهش به صورت زیر قابل بیان است: محدوده آسایش حرارتی فضای باز مساجد خراسان بر مبنای شاخص PMV به چه میزان بوده است؟ و الگوی بهینه هندسه حیاط مساجد در خطه خراسان جهت دستیابی به آسایش حرارتی کدام هستند؟ در راستای پاسخ به سوالات از نرم افزار شبیه‌سازی ENVI-MET4 استفاده شده است. نتایج پژوهش بهینه‌ترین هندسه صحن مسجد را ارائه نموده است.

پیشینه پژوهش

مدل‌سازی آب‌وهوای شهری، شبیه‌سازی، رابطه بین ساختمان‌ها و محیط اطراف یک مبحث بین رشته‌ای است که معماران، مهندسان شهری و هواشناسان آن را به چالش می‌کشند. مهندسان شهری بیشتر به تاثیر آب‌وهوا در طراحی شهری، علاقه دارند و معماران بیشتر آسایش حرارتی داخل ساختمان و نیازهای انرژی آن را مطالعه می‌کنند، و مطالعه آسایش حرارتی در فضای باز مورد اغفال قرار گرفته است. در این میان مطالعات خارج از ایران سهم بیشتری از این زمینه مطالعاتی را به خود اختصاص داده‌اند و مطالعات داخل ایران محدودتر می‌باشد. در ادامه مطالعات خارج کشور به صورت جدول و تفکیک مولفه و نتایج ارائه شده است.

جدول ۱- پیشینه مطالعات خارج از ایران سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۰

نتایج	مولفه مطالعه	نرم افزار/ شاخص	نویسنده
همبستگی میان بازتاب نمای ساختمان و روند دما، تاثیر کم بر میکرو اقلیم فضای باز تا ۱ درجه سانتی‌گراد	بستگی روند افزایش دمای بیرون به نسبت نمای ساختمان و تغییرات رنگ و بازتاب آن در ایتالیا	ENVI-met / PMV	Fabbri et al., (2020)
سایه شهری به عنوان تنها استراتژی برای بهبود حس حرارتی برای عابران پیاده باشد.	راه‌حل‌های فنی برای بهبود آسایش حرارتی شهروندان میدان میرتی در منطقه سنتوسل	ENVI-met / PMV	Battist et al., (2019)
کاهش ساعات ناخوشایند در تابستان گرم با رشد درختان	بررسی بهبود محیط ساخته شده، در یک منطقه پردیس واقع در شمال غربی چین	ENVI-met V4.0 / PET	Liang et al., (2019)
طراحی مؤثر فضاهای بیرونی در مناطق استوایی، از طریق توجه به تأثیرات قابل توجه سایه‌اندازی و پوشش گیاهی در سطح آسایش	اندازه‌گیری‌های میدانی و شبیه‌سازی‌های پارامتری برای ارزیابی ویژگی‌های ریزاقلیمی در یک محوطه دانشگاهی در آب و هوای گرمسیری کوالالامپور	Envi-met and IES-VE / PMV	Ghafarian Hoseini et al., (2019)
تاثیر پارامتر متغیر سطحی و حضور درختان بر اقلیم کوچک شهری	ارائه ارزیابی اثرات استراتژی‌های مختلف شهری بر اقلیم کوچک محله در پراگ جمهوری چک	SOLENE-microclimat / PMV	Imbert et al., (2018)
بهبود شرایط آسایش با سطوح سبز در فضای باز در مقایسه با سطوح سنگفرش شده	ارزیابی اثرات بالقوه راه‌حل‌های طراحی جایگزین با عناصر سبز مختلف بر اقلیم فضای باز	ENVI-met / PMV	Gaspari et al., (2018)
سایه در ضلع شرقی و غربی نسبت به ضلع شمالی آسایش بیشتری دارد	ارزیابی جنبه‌های اثر تنش حرارتی، در هنگام قرار گرفتن افراد در معرض آن، و آسیب‌پذیری محلی	ENVI-met / PET	Huang et al., (2018)
افزایش آسایش حرارتی با درختان، توجه به جریان هوا و نیاز به ترکیب مدل‌های CFD و انرژی	روشی برای برآورد دقیق آسایش حرارتی فضای باز، میانگین دمای تابشی، مدل‌سازی، شبیه‌سازی اثرات فرم و پوشش گیاهی بر ریزاقلیم شهرها	ENVI-met and TRNSYS / PMV	Perini et al., (2017)
تأثیر سرعت باد بر درک حرارتی عابران پیاده	درک چگونگی تأثیر باد بر تبادل انرژی حرارتی و تعیین کمیت تأثیر آن بر احساس حرارتی در فضای باز مورد	CitySim and RayMan / PET	Coccolo et al., (2017)
ارائه ابزار روش‌شناختی با امکان تجزیه و تحلیل منطقه‌ای ساده، سریع و آسان با در نظر گرفتن مهم‌ترین پارامترهای ریزاقلیمی و نحوه ایجاد فضاهای شهری در فضای باز «بیوکلیماتیک»	معرفی رویکردی جدید در طراحی فضای باز شهری با پیروی از فرآیند طراحی متفاوت و تنظیم پالت جدیدی از ابزارهای طراحی	ENVI-met / PMV	Tsitoura et al., (2017)

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2023-11-18]

در ایران مطالعات محدودتری در خصوص آسایش حرارتی فضای باز انجام گرفته است. حیدری (۱۳۸۸) در مقاله "دمای آسایش حرارتی مردم شهر تهران" با استاندارد اشری تخمین دمای راحتی مردم در شهر تهران مورد بررسی قرار داده است. منعام (۱۳۹۰) در رساله دکتری "آسایش محیطی در فضاهای باز شهری – ارزیابی آسایش حرارتی در بوستان‌های منتخب شهر تهران" ارتقاء آسایش محیطی با تاکید بر ویژگی‌های محیطی بوستان‌های شهری را مورد بررسی قرار داده است و جایگاه هر یک از مؤلفه‌های آسایش محیطی را به روش تحلیل کمی تعیین نموده است. رضازاده و آقاجان بیگلو (۱۳۹۰) در مقاله "الگوی پیشنهادی برای توده‌گذاری در قطعات مسکونی ردیفی بررسی تطبیقی دو الگوی توده گذاری در بلوک‌های مسکونی با معیار آسایش حرارتی" دو نوع الگوی توده‌گذاری بلوک‌های مسکونی در ایجاد آسایش حرارتی را بررسی نموده است.

بیش‌ترین مطالعات صورت گرفته بر روی بناهای دارای حیاط مرکزی در ایران است. در خارج کشور نیز به طور وسیع بر مطالعات کمی خانه‌های دارای حیاط مرکزی پرداخته شده است. عموماً هر یک از محققین یک یا چند معیار تاثیر گذار بر عملکرد حرارتی خانه‌های حیاط مرکزی را بررسی نموده‌اند و در این راستا با تغییر شاخص‌های تاثیر گذار بر هر یک از این معیارها آنها را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. به طور کلی استراتژی‌هایی برای بهبود راحتی در حیاط‌ها برای حیاط‌های خاصی در سراسر جهان پیشنهاد شده است.که بیشتر آنها به صورت آزمایشگاهی تعیین شده‌اند. در راستای بررسی مطالعات پیشین در حوزه عملکرد حرارتی حیاط مرکزی می‌توان به مطالعات استاد پیرنیا، محمود توسلی (۱۳۸۱) و همچنین مستندسازی‌ها و گونه‌شناسی‌های صورت گرفته توسط غلامحسین معماریان و بررسی اقلیمی بناهای دارای حیاط مرکزی توسط وحید قبادیان (۱۳۷۷)، مرتضی کسمایی (۱۳۷۸)، فرهاد احمدی(۱۳۸۴) به صورت کیفی، نام برد. در این روند مطالعاتی می‌توان به خلا مطالعات صورت گرفته در حوزه بررسی کمی عملکرد حرارتی بناهای دارای حیاط مرکزی را مشاهده نمود. فرزانه سفلایی (۲۰۰۵) در مقاله "سیستم‌های خنک کننده طبیعی در معماری سنتی پایدار ایران" با تمرکز بر نتایج ایجاد پایداری به وسیله سامانه سرمایش طبیعی در معماری سنتی ایران قصد دارد تا نقش آن‌ها را در اقلیم گرم‌وخشک و مرطوب تشریح کند. در سال‌های اخیر نیز مقالات متعددی از ایشان در حوزه عملکرد حرارتی حیاط مرکزی به چاپ رسیده است. ازجمله مقاله "حیاط سنتی خانه به عنوان مدلی برای طراحی پایدار" در سال ۲۰۱۷ و تاثیر انواع طرح‌های حیاط مرکزی بر عملکرد سایه در آب‌وهوای گرم در ایران می‌توان نام برد.

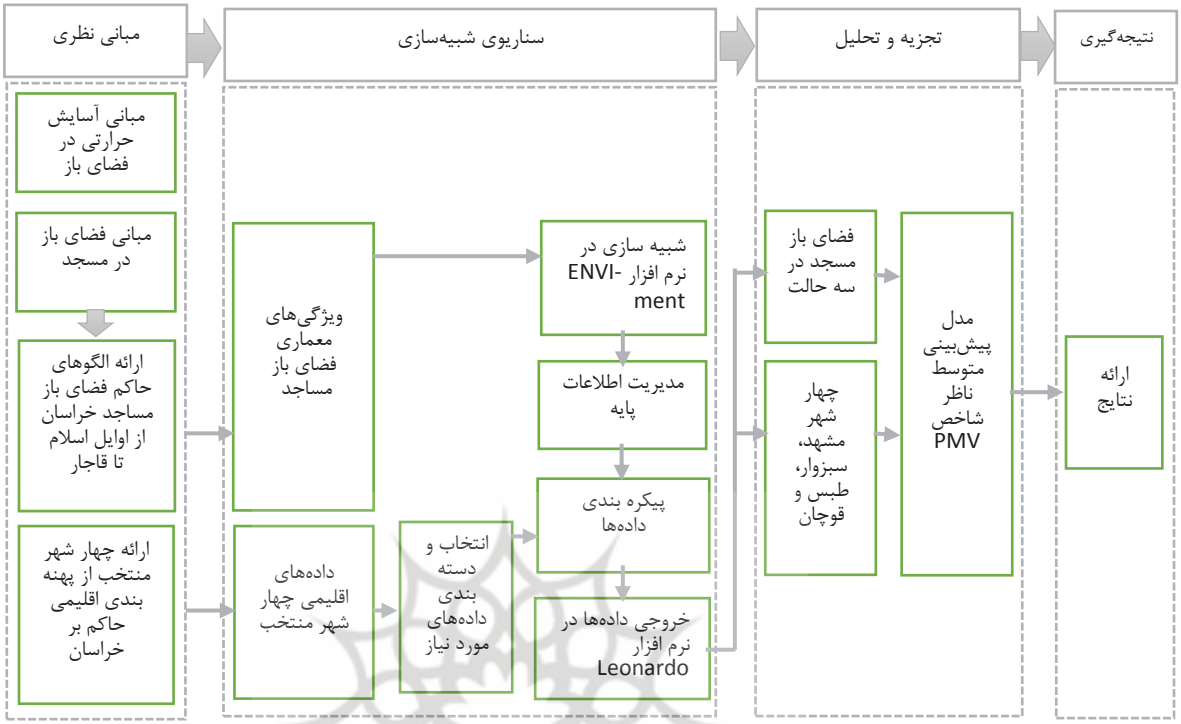
روش تحقیق

رویکرد پژوهش حاضر به لحاظ هدف از نوع تحقیقات کاربردی بوده و از نظر روش‌شناسی کمی است. در ابتدا پس از شناخت مبانی آسایش حرارتی در فضای باز، مساجد سنتی دارای حیاط و ارزشمند ثبت شده در میراث را که از نظر زمانی متعلق به قرون اولیه اسلامی تا دوره قاجاراست، از نظر فرم، ابعاد و تناسبات حیاط و درصد فضای باز به بسته اندازه‌گیری و مورد مطالعه قرار گرفته شده است. در این بخش از پژوهش که به روش تحلیلی و با استناد به مطالعات کتابخانه‌ایی صورت گرفت به دسته‌بندی حیاط‌های مساجد سنتی پرداخته شده است که، در نهایت الگوهای حاکم بر آن‌ها استخراج شده و مبنای ارزیابی آسایش حرارتی قرار گرفت. از این‌رو به منظور تعیین مشخصات فیزیکی مطلوب حیاط مرکزی در این منطقه از روش شبیه‌سازی استفاده می‌گردد. از آن‌جا که منطقه خراسان دارای ۴ پهنه اقلیمی است از هر پهنه اقلیمی یک شهر به عنوان نمونه انتخاب شده است. برای اقلیم کوهپایه‌های مرتفع (پهنه اقلیمی ۳) شهر قوچان، برای اقلیم کوهپایه‌های کم ارتفاع (پهنه اقلیمی ۴) شهر مشهد، اقلیم دشتی (پهنه اقلیمی ۵) شهر سبزوار و اقلیم کویری (پهنه اقلیمی ۶) شهر طبس انتخاب شده است.

شبیه‌سازی در این پژوهش در روز ۲۳ جولای در انقلاب تابستانی برای چهار شهر به نمایندگی از چهار پهنه اقلیمی در منطقه خراسان در نرم‌افزار ENVI-ment 4 صورت گرفت و نتایج شبیه سازی در نرم افزار Leonardo مصور و تحلیل گردید. در این پژوهش از شاخص آسایش حرارتی PMV به دلیل اعتبار قابل قبول، جامعیت و سهولت استفاده در جهت آنالیز آسایش حرارتی استفاده شد. شاخص PMV نوعی تقسیم‌بندی احساس حرارتی ۷ درجه‌ای است که دامنه آن از (۳- بسیار سرد) تا (۳+ بسیار گرم) تغییر می‌کند. صفر در این مقیاس نشانگر احساس حرارتی خنثی است. این هفت درجه توسط سازمان ASHRAE ارائه شده و به وسیله فنگر مورد استفاده قرار گرفته است. از آن‌جا که در این روش بسیاری از معیارهای آسایش از قبیل متغیرهای اقلیمی، نوع پوشاک و فعالیت با هم مورد استفاده قرار می‌گیرند، یکی از کامل‌ترین و دقیق‌ترین روش‌های تخمین محدوده آسایش شناخته شده است. در این معیار اعدادی که کمی بالاتر از (۱+) و یا اندکی پایین‌تر از (۱-) باشند، موجبات بروز نارضایتی را فراهم می‌نماید. بنابراین محدوده آسایش شامل 1- < PMV <1 خواهد بود (قیابکلو،۱۳۸۰، ۷۳). البته شاخص PMV تابع آب‌وهوای محلی است و می‌تواند به مقدار بالاتر یا پایین‌تر ۳- و۳+ نیز برسد (Berkovic et al., 2012). یعنی شرایط آسایش حرارتی از شخصی به شخص دیگر و از منطقه‌ای به منطقه‌ی دیگر متفاوت است. فردی که در اقلیم سردوخشک زندگی

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2023-11-18]

می‌کند، نسبت به فردی که در اقلیم گرم‌وخشک است، تحمل سرمایی بیشتری دارد. چنین تفاوت‌های منطقه‌ای تأثیر قابل توجهی در مصـرف انرژی دارند. به طور کلی فرآیند پژوهش حاضر طبق تصویر ۱ صورت گرفته است.



تصویر ۱- فرآیند تحقیق

معیارها و مبانی نظری

آسایش حرارتی در فضای باز: در مطالعات گوناگون، برای آسایش حرارتی تعاریف مختلفی ارائه گردیده است. برخی از مطالعات عوامل درونی و رفتارهای انسانی را معیار آسایش حرارتی دانسته‌اند (Limb, 1998). مکین تایر (۱۹۸۲) معتقد است معیاری برای سنجش آسایش حرارتی وجود ندارد و شاخصه برای هر فرد با توجه به عوامل روحی متفاوت، مختلف می‌باشد (Mclntyre, 1982). هم‌چنین تعریف آسایش حرارتی بر مبنای استاندارد اشری این‌گونه می‌باشد: «شرایط ذهنی که رضایت از محیط حرارتی را بیان می‌نماید» (ASHRAE, 2004). در این راستا هیجر (۱۹۹۴) تعریف اشری را ناقص دانسته است و معتقد است که اگر آسایش حرارتی مقوله‌ای ذهنی باشد، غیر قابل اندازه‌گیری است و عوامل متعددی باعث تغییر آن خواهد شد (Hejis, 1994). علاوه بر این حیدری (۱۳۸۸) آسایش حرارتی را شرایطی از ادراک می‌داند، که محیط اطراف از لحاظ حرارتی رضایت‌بخش باشد (حیدری، ۱۳۸۸). بنابراین عوامل محیطی و اختصاصی فراوانی در به‌وجود آمدن آسایش حرارتی دخیل است که، تعریف آن ساده نیست. جیونی (۱۹۷۶) معتقد است، از منظر زیستی، محدوده آسایش حرارتی به محدوده‌ای اطلاق می‌گردد که دما و رطوبت در شرایطی باشد که سازوکار تنظیم حرارتی بدن در حداقل فعالیت قرار داشته باشد (Giovoni, 1976: 78). موضوع آسایش حرارتی در فضای باز با تبیین رابطه‌ها در برخی از تحقیقات مورد بررسی قرار گرفته است (Olgyay, 1963; Givoni, 1976; Fanger, 1972; Penwarden, 1973) و مشخص شده است که تئوری آسایش حرارتی در فضای باز و بسته یکسان است، عوامل موثر آن نیز در هر دو فضا یکسان بوده است و تنها حذف یا تغییر برخی از مولفه‌ها در آن‌ها متغیر است.

مولفه‌های موثر در آسایش حرارتی فضای باز: چهار مولفه اصلی دمای هوا، دمای تابشی، رطوبت و جریان هوا بر آسایش حرارتی انسـان تاثیر مستقیم دارد. با اضافه نمودن دو مولفه، نوع فعالیت و لباس، شش مولفه معین می‌گردد. این شش مولفه در فضای بـاز و بسـته از نظـر شـدت متفاوت می‌باشند. همچنین قابلیت سازگاری از عوامل معلوم در آسایش حرارتی در فضای باز می‌باشند که دارای اهمیـت فراوانـی هسـتند. عوامـل دیگری هم‌چون قرارگیری فرد، رفتار، جنس، سن، فرم بدن، غذای مصرفی، فرهنگ اقتصاد و غیـره نیـز ار درجـه تـاثیر بـالایی برخـوردار هسـتند (Szokolay, 2004: 96). تئوری و عوامل تاثیرگذار بر آسایش حرارتی در فضای باز و بسته یکسان مـی‌باشـد، امـا آن‌چـه آسـایش حرارتـی در

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2023-11-18]

فضای باز و بسته را از هم متمایز می‌کند، حذف یا تغییر در شدت برخی مولفه‌ها می‌باشد. طبق جدول ۲، آسایش حرارتی در دو دسته عواملی اقلیمی-محیطی و عوامل انسانی قابل تقسیم می‌باشد. عوامل اقلیمی-محیطی، مولفه‌های محیط تاثیر گذار بر جذب و دفع حرارت بدن انسان در فضای باز می‌باشد. عوامل انسانی به سه متغیر ویژگی‌های شخصیتی، نوع لباس و فعالیت و قابلیت سازگاری تقسیم می‌گردد.

جدول ۲- عوامل تاثیرگذار آسایش حرارتی

عامل	محقق	معیار		توضیحات
اقلیمی	Fanger, 1972 Giovoni, 1963	دمای هوا		دمای اطراف بدن انسان که می‌تواند بیانگر شرایط حرارتی محیط و میزان ورود و خروج آن از بدن باشد.
		جریان هوا		اگر دمای هوا از دمای سطح خارجی لباس، قسمت‌های عریان بدن صورت و گردن و... کمتر باشد، اتلاف گرمای بدن بر اثر سرعت جریان هوا جبران می‌گردد.
		رطوبت نسبی		رطوبت نسبی بر آسایش حرارتی موثر بوده، رطوبت نسبی کمتر از۳۰ درصد باعث خشکی پوست و بالای ۶۰ درصد باعث رشد کپک و مشکلات حساسیتی می‌گردد (De Dear, 1998).
		دمای تابشی		دمای تابشی، رابطه میان تشعشع و سطوح اطراف بوده و بر آسایش حرارتی موثر است (De Dear & Brager, 2002).
فردی	هدانگ و اشری	نوع فعالیت	سن غذا و نوشیدنی جنسیت ساختار کالبدی/ فرم بدن چربی زیر پوستی	فعالیت عامل مهم در برنامه‌ریزی فضای باز است. فعالیت‌های اجتماعی، فرهنگی یا استراحت و فراغت در مقابل سایر فعالیت‌ها به شرایط گرم‌تری نیاز دارد (Katzschner, 2006: 141). بیشترین حرارت از طریق پوست با محیط تبادل می‌شود و به چربی بستگی دارد (حیدری‌نژاد، ۱۳۸۸: ۴۹). نرخ فعالیت تابع سن می‌باشد و نوع غذا نیز موثر بوده است.
		نوع لباس		ارزش نرخ لباس در تبادل حرارتی بدن انسان تاثیرگذار می‌باشد (De Dear & Brager, 2002).
کیفی	Marcus, 1995	ویژگی‌های شخصیتی		احساس گرما و سرما میان مرد و زن متفاوت است. در حین پایداری حرارتی افراد، مطلوبیت بین افراد مختلف متفاوت است (Kok, 2001: 16).
		سازگاری	سازگاری رفتاری	شامل تمامی تغییرات فرد در راستای همساز نمودن خود با محیط اطراف یا تغییرات در محیط در راستای نیازهای خود است و به نوع سازگاری واکنشی و سازگاری تعاملی تقسیم می‌گردد.
			سازگاری فیزیولوژیک	تغییرات در پاسخ‌های فیزیولوژیکی در نتیجه قرارگیری در معرض یک محرک، منجر به کاهش فشارهای ناشی از قرارگیری می‌شود. خو گرفتن با آب و هوا نامیده می‌شود (Nikolpoulou, 2001).
			سازگاری روانشناختی	سازگاری روانشناختی تاثیر زیادی بر ادراک حرارتی افراد می‌گذارد. پاسخ انسان به محرک فیزیکی، رابطه مستقیم با «اطلاعات» کسب شده از موقعیت خاص، بستگی داشته است (Nikolpoulou, 2001).
		فرهنگ		فرهنگ عامل موثر در آسایش حرارتی در فضای باز و بسته است. در فضای باز به دلیل تعاملات چندگانه، تاثیر فرهنگ اهمیت فراوانی پیدا می‌کند (Scudo, 2005: 406).
		انتظارات		نوع انتظارات از فضا تاثیر زیادی بر احساس آسایش حرارتی دارد.

شرایط آسایش حرارتی بسته به فعالیت‌ها می‌توانند متفاوت باشند. اندازه‌گیری‌ها و مصاحبه‌ها نشان دهنده این موضوع است که در فعالیت‌های آرام مانند نشستن و آهسته قدم زدن شرایط خنثی مقدار pet[1] (Oke, 1989) معادل ۱۸-۲۱ درجه سانتی‌گراد و مقدار دمای هوا معادل ۱۹-۲۱ درجه سانتی‌گراد دارد. شرایط حرارتی در فضاهای باز و بسته باتوجه به فعالیت صورت پذیرفته در آن‌ها می‌تواند متفاوت باشد. کاشنر[2] جدولی برای فعالیت‌های مختلف در این فضاها و شرایط حرارتی مناسب آن‌ها در شهر کاسل بر اساس اندازه‌گیری‌ها و مصاحبات ارائه داد. علاوه بر این، او به پدیده‌های مشابه در پروژه Ruros[3] اشاره نموده است، که دلایل متفاوت استفاده از فضاها در آن قطعاً نیازمند شرایط حرارتی متفاوتی بوده و چنین اظهار می‌دارد که فعالیت‌های اجتماعی، فرهنگی یا استراحت و فراغت نسبت به سایر فعالیت‌ها به شرایط گرم‌تری نیاز دارد (Katzschner, 2006). شاخص‌های حرارتی و فعالیت‌های حاصل از اندازه‌گیری در جدول ۳ مشخص شده است.

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2023-11-18]

جدول ۳- شاخص حرارتی و فعالیت‌های حاصل از اندازه گیری و مصاحبه‌ها (Katzschner, 2006)

فعالیت ها	شرایط حرارتی مورد نیاز برای استفاده از فضای باز	PET^{0} C
نشستن	گرم	۳۰
فعالیت های آرام	نسبتا گرم	۲۶-۳۲
بازی بچه ها	نسبتا گرم	۲۴-۲۶
تفریحی	خنثی	۱۶-۲۴
حرکت سبک	خنثی	۱۶-۲۶
خرید کردن	نسبتا گرم	۲۶-۳۲
حرکت	نسبتا خنک	۱۴-۲۴
حرکت شدید	خنک تا سرد	۱۲-۲۴
فعالیت های باغبانی	نسبتا خنک	۱۲-۲۴
کار در فضای باز	خنثی تا سرد	۱۶-۲۲

شاخصه‌های آسایش حرارتی در فضای باز: تنها یک خصوصیت اقلیم، بیان کننده‌ی میزان آسایش حرارتی از محیط نیست (Scudo, 2005: 259)، بلکه آسایش حرارتی متاثر از شاخصه‌های اقلیمی محاط بر انسان می‌باشد. تحقیقات مختلفی برای بیان یک عدد شاخص آسایش که بیانگر تلفیقی از چهار متغیر باشد، صورت پذیرفته است. طبق جدول ۴ شاخصه‌های حرارتی به طور عمده در دو دسته تجربی و تحلیلی قابل دسته بندی می‌باشند.

جدول ۴- شاخص‌های حرارتی در دو دسته عمده (Ashrae, 2001)

تجربی	ET	Effective Temp
	RT	Resultant Temp
	HOP	Humid Operative Temp
	OP	Operative Temp
	WCI	Wind Chill Index
تحلیلی	ITS	Index of Thermal Stress
	HIS	Heat Stress Index
	ET	New Effective Temp
	SET	Stand. Effective Temp
	OUT_SET	Out. Stand. Eff. Temp
	PMV	Predicted mean vote
	PT	Perceived Temp
	PET	Physiol. Equiv. Temp

در تحقیقات اخیر، شاخصه‌های آسایش حرارتی در فضای باز نیز مورد بررسی قرار گرفته است که در جدول ۵ به آن‌ها اشاره شده است.

جدول ۵- شاخصه‌های آسایش حرارتی در فضای باز (Nagano & Horikoshi, 2011a)

شاخص		صاحب نظر	ویژگی‌های شاخص
شاخصه "یو.تی.سی.آی"	UTCI	Blazejczyk et al., 2012	آسایش حرارتی در فضای باز با در نظر گرفتن حرارت هدایتی و عدم در نظر گرفتن فضاهای غیر یکنواخت
شاخصه "ای.تی.وی.ا"	ETVO	Nagano & Horikoshi, 2011b	فضاهای خارجی با تابش مستقیم آفتاب بر روی انسان و عدم در نظر گرفتن هدایت حرارتی و فضاهای غیر یکنواخت
شاخصه "ای.تی.اف"	ETF	Kurazumi et al, 2011	آسایش حرارتی در فضای باز با در نظر گرفتن حرارت هدایتی و عدم در نظر گرفتن فضاهای غیر یکنواخت

با توجه به محدودیت‌های شاخص‌های مطرح شده، و تحقیقات اخیر که نشان‌دهنده تاثیر مولفه‌هایی همچون "دمای موثر استاندارد"[۴] و "دمای معادل فیزیولوژیکی"[۵] در آسایش حرارتی فضای باز (Monteiro & Alucci, 2009) شاخص‌هایی هم‌چون "پیش‌بینی متوسط ناظر"[۶]، "دمای موثر استاندارد" و "دمای معادل فیزیولوژیک" جهت سنجش آسایش حرارتی در فضای باز ارائه شده است (Honjo, 2009: 44).

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2023-11-18]

مبنای شاخصه‌های تحلیلی بر طبق تعادل انرژی (انرژی اتلافی و انرژی تولیدی در انسان) می‌باشد (حیدری و منعام، ۱۳۹۲: ۱۹۹). اساس شاخصه‌های منطقی بر طبق تعادل انرژی (انرژی اتلافی و تولیدی در انسان) می‌باشد. دو شاخصه اصلی مبتنی بر احساس حرارتی افراد در فضای باز " نظر احساس واقعی" (Nikolopoulou, 2001: 290) و " احساس حرارتی" (Givoni, 1976: 39) بوده است و پیش‌بینی از احساس رضایت یا نارضایتی در فضای باز بر مبنای مقیاس ۵ گانه و ۷ گانه را ارائه می‌نماید. هر دو این شاخصه‌ها بر طبق رابطه‌ای تجربی بین داده‌های اقلیمی محسابه می‌گردد که از میزان همبستگی احساس آسایشی افراد با مولفه‌های اقلیمی به دست آمده است (Hein, 2009: 174). تحقیقات مختلف در ارتباط با اعتبارسنجی شاخصه‌ها بیان می‌کند که نمونه‌هایی هم‌چون "دمای موثر استاندارد" و "دمای معادل فیزیولوژیکی" رابطه همبستگی بالای ۹۸٪ در ارتباط با آسایش حرارتی فضای باز دارند (Monteiro, 2006: 126). در تحقیقات اخیر برای سنجش دمای آسایش در فضای باز از "پیش‌بینی متوسط ناظر"، "دمای موثر استاندارد" و "دمای معادل فیزیولوژیکی" استفاده نموده‌اند (Hoppe, 2002: 662).

شاخص PMV: " پیش‌بینی متوسط ناظر" در سال ۱۹۷۴ میلادی به وسیله فانگر در جهت تعیین شاخصه ارزیابی میزان آسایش حرارتی افرادی که دارای فعالیت‌ها و پوشش‌های متنوع می‌بانشند، در فضای داخلی، ارائه داده است (Fanger, 1972). در تحقیقات بعدی، جهت ارزیابی فضای باز با بهره‌گیری این شاخصه، مولفه‌ی تابش‌های محیطی را اضافه شد و الگوی کلیما مایکل را ارائه گردید (Jendritzky & Nubler, 1981). این روش یکی از دقیق‌ترین روش‌ها برای تخمین محدوده آسایش حرارتی مطرح گردیده است. در روش پیش‌بینی متوسط ناظر، بسیاری از مولفه‌های آسایش هم‌چون، اقلیم، نوع لباس و فعالیت با یکدیگر مورد بررسی قرار گرفته است و توسط فانگر در سال ۱۹۷۰ پیشنهاد شده است و بر طبق محاسبه میزان تبادل حرارت بدن انسان و محیط اطراف استوار می‌باشد (Fanger, 1970: 126).

متغیرهایی که در این محاسبات مورد استفاده قرار می‌گیرند، شامل میزان حرارت تولید شده در اثر متابولیزم (W)، ضریب (IcI) مقاومت یا نارسایی لباس (clo)، دمای خشک (0C) ، متوسط دمای تشعشعی (0C)، سرعت جریان هوا (m/s)، فشار بخار آب (mmHg) بوده وطبق جدول ۶ به منظور سنجش احساس حرارتی، هفت درجه متفاوت اشری، به وسیله فانگر مورد استفاده قرار گرفته می‌گیرد.

جدول ۶- میزان شاخص آسایش حرارتی فنگر PMV و ارتباط آن با درجه تنش فیزیولوژیک و حساسیت حرارتی (Olesen & Brager, 2004)

درجه تنش فیزیولوژیک	حساسیت حرارتی	PMV
تنش سرمایی شدید	سرد	-۳/۵
تنش سرمایی متوسط	خنک	-۲/۵
تنش سرمایی اندک	کمی خنک	-۱/۵
بدون تنش سرما	راحت	-۰/۵
تنش گرمایی اندک	کمی گرم	۰/۵
تنش گرمایی متوسط	گرم	۱/۵
تنش گرمایی شدید	خیلی گرم	۲/۵
تنش گرمایی بسیار شدید	داغ	۳/۵

مقدار PMV بر اساس رابطه زیر به دست می‌آید:

$$PMV = (0.352_e - 0.042(m / A_{DU}) + 0.032)(M / A_{D.U}(1-\eta) -$$
$$0.35(43 - 0.061M / A_{DU}(1-\eta) - p_a) - 0.42(M / A_{DU}(1-\eta) - 50) - 0.0023M / A_{DU}$$
$$(1 - p_a) - 0.0014M / A_{DU}(34 - t_a) - 3.410^0 f_{cl}((t_c + 273)^4 - (t_{mrt} + 273)^4) - f_{cl} j_c(L_{CL} - L_A))^1$$

فضای باز مساجد: صحن یا حیاط یکی از خصوصیات اصلی نقشه مسجد، مدرسه و کاروان‌سرا است (طهوری، ۱۳۹۱: ۱۵۸). یکی از مهم‌ترین دلایل حضور فضای باز در مسجد عبادت در آن می‌باشد (سلمانی و همکاران، ۱۳۹۴: ۲۷). علاوه بر این با تعمیق در نمونه‌های تاریخی و احکام ساخت مسجد، این موضوع برداشت می‌شود که فضای باز در مسجد، چیزی بیش از یک فضای تقسیم و یا صرفاً تنوع معمارانه است و چه بسا نتوان آن را تنها یک میراث معماری محلی به شمار آورد؛ چنان‌چه اضافه نمودن حیاط به بسیاری از نیایش‌گاه‌های ماقبل اسلام که بعد از ظهور اسلام تغییر کاربری یافته و به مسجد تبدیل شده‌اند،

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2023-11-18]

دلیلی بر این مدعا است (نقره‌کار، ۱۳۷۸). مسجد پیامبر(ص) بنابر اقوال مشهور محققین مستشرق و علمای اسلام بر مبنای فضای باز محصور شکل می‌گیرد و اضافاتی بر آن به فضای باز محصور شکل می‌گیرد و اضافاتی بر آن به عنوان بخش‌هایی برای صرف سایه‌اندازی عارض می‌شود. در سیره‌ی عملی به عنوان یکی از منابع مرجع جهت استنباط احکام از «فضای باز» سخن می‌گوید (سلمانی و همکاران، ۱۳۹۴: ۲۵). علاوه بر این مستشرقی هم‌چون هیلن براند (۱۳۹۰) آن را یکی از اجزای مسجد معرفی می‌کند؛ اما برای آن تنها نقشی واسط قائل می‌باشد (هیلن براند، ۱۳۹۰: ۱۰۲). فضای باز در مساجد هم‌چون دیگر فضاهای معماری سنتی ایران باعث تعدیل شرایط حرارتی و ایجاد خرد اقلیم می‌شده است و این موضوع بر کسی پوشیده نیست، اما علاوه بر آن نقش‌های دیگری هم چون نقش مذهبی، عملکردی و کارکردی نیز داشته است که این موضوع بیانگر اهمیت فضای باز مساجد است.

۱)نقش مذهبی فضای باز مسجد: فضای باز مساجد که عموماً حیاط نامیده می‌شود؛ در اسلام و بازتاب آن در تاریخ معماری مسجد، عنصری غیرقابل انکار می‌باشد (حجت و ملکی، ۱۳۹۱). حیاط از ابتدا، یکی از بخش‌های اصلی کالبد مسجد بوده است و از نخستین مسجد اسلام تا کنون حضور چشمگیری داشته است. حتی معماران تمهیداتی برای عبادت در فضای باز به کار برده‌اند که صفه‌های حیاط مساجدی هم‌چون حکیم و جامع عتیق اصفهان و بسیاری موارد مشابه دیگر تاکیدی بر امر عبادت در فضای باز مسجد را دارند. علاوه بر این، عبادت در فضای باز جنبه‌ی از یاد رفته‌ی مسجد است که تاکید بر وجود فضای باز در آیینه شریعت، سیطره عملی و روایات نیز مشهود می‌باشد (سلمانی و همکاران، ۱۳۹۴). نقش مذهبی فضای باز مسجد در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول ۷- تاکید بر وجود فضای باز در آیینه شریعت، سیطره عملی و روایات (سلمانی و همکاران، ۱۳۹۴)

فضای باز در آیینه‌ی شریعت	انجام برخی احکام در فضای باز	بیشتر اعمال حج به عنوان یکی از اعمال اجتماعی اسلام در فضای باز انجام می‌شود.
	به پا داشتن برخی از نمازها در فضای باز	« نماز عید را در فضای باز بخوانند نه زیر سقف» (بنی‌هاشمی خمینی، ۱۳۷۸: ۸۵۶).
		نماز استسقا، « درخواست باران از خداوند هنگام بروز خشکسالی، با اقامه نماز استسقاء، دعا کردن در خطبه‌های نماز جمعه، عید قربان و فطر، پس از نمازهای واجب روزانه و یا بیرون رفتن امام با مردم به صحرا و دعا کردن، مستحب است» (النجفی، بدون تاریخ، ج.۱۲: ۱۵۲).
	اعمال روز عرفه	«پس از نماز ظهر و عصر و پیش از اشتغال به دعا، دو رکعت نماز در زیر آسمان به جا آورد» (مشکینی، ۱۳۸۱: ۴۶۱).
فضای باز در سیطره عملی		تمامی اقوال تاریخی در دسترس، تاکید دارند که اصولاً مسجد اولیه‌ای که پیامبر(ص) بنا نمودند یک چهار دیواری بدون هیچ‌گونه سقف بوده است و این فضای باز در اقلیم بیابانی عربستان شکل گرفته است و طبق روایات منقول از امام صادق با سپری شدن ایام و به اصرار یاران اجازه ساخت سایه‌انداز در بخشی از مسجد داده شد. این موضوع در رابطه با مسجدالحرام که کهن‌تر از مسجد پیامبر است صدق می‌کند.
فضای باز در روایات	تاکید بر حفظ فضای باز تحت عنوان احکام تسقیف مسجد	استحباب: «مستحب است مساجد بی‌سقف باشد و روباز و در صورت عدم نیاز بدون سایبان تا به فعل پیامبر اکرم(ص) تاسی شده باشد» (النجفی، بدون تاریخ، ج.۱۴: ۷۵).
		کراهت: «مکروه است مسقف بودن مساجد، اما سایبان اشکالی ندارد» (القمی، ۱۴۱۸: ۲۳۵).

۲) نقش عملکردی فضای باز مسجد: فضای باز در ساختار فضایی معماری مسجد، علاوه بر کاربردهای اقلیمی، از منظر عملکردی نیز حائز اهمیت فراوانی می‌باشد. در معماری گذشته ایران، فضای باز در ساختار فضایی مسجد از اهمیت بالایی برخوردار بوده است (کیانی، ۱۳۸۵: ۱۸-۱۹). فضای باز در مسجد نه تنها عنصر پایه در ساختار هندسی و فضایی مسجد بوده است، بلکه عنصری وحدت بخش و فضایی جهت حضور و تعامل مردم به عنوان یک فضای شهری نیز بوده است (حیدری و همکاران، ۱۳۹۴: ۹۲). همچنین فضای باز به عنوان یک فضای خالی در تعامل با توده فضا، ضمن ایجاد گشایش فضایی و افزایش نورگیری آن، امکان ادراک کلیت فضا را برای کاربر فراهم آورده و این موضوع، دسترسی به بخش‌های مختلف بنا و استفاده‌پذیری بیشتر از آن را فراهم می‌آورد، که طبق جدول ۸ مجموع این عوامل باعث افزایش راندمان عملکردی در ارتباط با شاخص‌های همپیوندی، ارتباط، انتخاب و عمق در مساجد حیاط‌دار نسبت به مساجد فاقد حیاط می‌شود (همان: ۱۰۳).

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2023-11-18]

جدول ۸- افزایش راندمان عملکردی مسجد با وجود فضای باز (حیدری و همکاران، ۱۳۹۴)

راندمان عملکردی	همپیوندی	همپیوندی یا میزان ادغام یک نقطه، نشانگر میزان پیوستگی یا جدا افتادگی یک نقطه از سیستم کلی یا سیستم پایین‌تر می‌باشد (عباس‌زادگان، ۱۳۸۱: ۶۸).	فضای باز باعث همپیوندی مناسب میان عملکردهای مختلف در مسجد می‌گردد.
	ارتباط	شاخص ارتباط به معنی رابطه بین فضاها است که در کاربری‌های جمعی از اهمیت خاصی برخوردار است (Hillier, 2007: 202; Penn et al., 1999).	وجود فضای باز مسجد باعث افزایش ارتباط میان فضاها می‌شود و قابلیت بهره‌گیری توسط اقشار مختلف، به دلیل استفاده‌پذیری بیشتر فضاها، گردش فضایی مطلوب و میزان نفوذ پذیری مناسب به فضاها را بالا می‌برد.
	انتخاب	مفهوم انتخاب، هم‌تراز با واژه تعدد است، به این معنی که هرگاه حق انتخاب در ارتباط با یک پدیده برای فرد وجود دارد، بدان معنی است که بیش از یک روش جهت دست یافتن به هدف وجود خواهد داشت (Jun & Gero, 1998: 153).	در کاربری جمعی مانند مسجد، هرچه میزان انتخاب مسیر جهت دست یافتن به یک فضا بیشتر باشد، تجمع و تخلیه آن فضا آسان‌تر خواهد گردید ،که وجود فضای باز در مسجد چنین قابلیتی را ایجاد می‌کند.
	عمق	در تئوری نحو فضا، عمق به معنی تعداد مراحلی است که فرد در جهت رسیدن به یک فضا باید طی نماید، در نتیجه هرچه عمق فضا بیشتر باشد درجه خصوصی بودن فضا نیز افزایش خواهد یافت (Mostafa et al., 2010: 160).	افزایش عمق در کاربری‌های عمومی باعث کاهش دسترسی، حضورپذیری و نفوذپذیری به فضا می‌گردد، لذا فضای باز در مسجد باعث کاهش عمق در فضاهای اصلی مسجد می‌گردد.

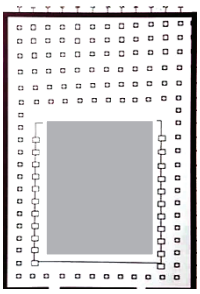
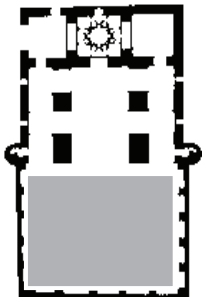
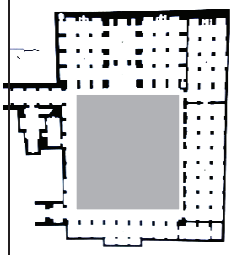
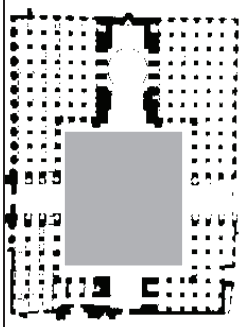
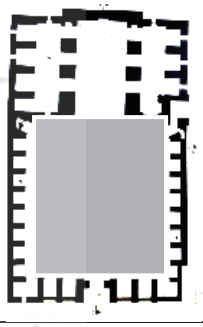
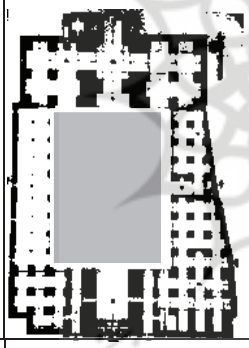
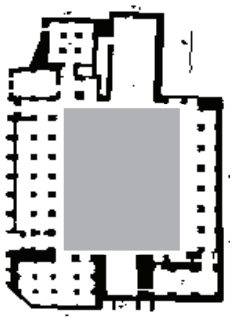
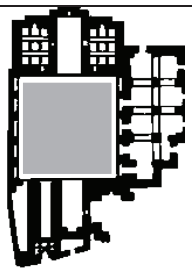
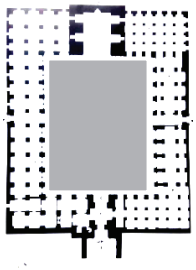
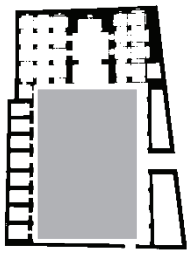
۳)نقش کارکردی فضای باز مسجد: علاوه بر موارد فوق حیاط دارای جایگاه ارتباطی ممتازی در فضای شهری بوده است که فضای باز مساجد در زمره و ادامه فضای شهری محسوب می‌شده است که دارای مولفه‌های مختلف هم‌چون، نقش ارتباطی (ارتباط دو گذر یا مسیر)، نقش اجتماعی، تعدد گروه کاربران مانند همه مذاهی نه فرقه‌ای خاص (فضایی عام، مانند فضای شهری)، تعدد ورودی‌ها، وجود ورودی از جهات مختلف، ارتباط با کاربری‌های مجاور (بازار و بافت شهری و گذرها)، داشتن کاربری‌های مکمل و جاذب داخلی (مدرسه و ...) و ۲۴ ساعته بودن و امکان حضور در تمامی ساعات اشاره نمود (همتی و همکاران، ۱۳۹۲).

شناخت مساجد خراسان بزرگ: با تعمق در اسناد و مدارک مشاهده می‌شود که بیش از ۸۵ درصد مساجد سنتی خراسان دارای صحن و حیاط هستند (رنه دالمانی، ۱۳۳۵: ۱۸۲) و تنها حدود ۱۵ درصد مساجد سنتی بدون صحن می‌باشند و مهم‌ترین اندام‌های این مساجد به ترتیب شبستان، ایوان و گنبدخانه است، که با ترکیب‌بندی مختلفشان گونه‌های مساجد بدون صحن را شکل داده‌اند (حجت و ملکی، ۱۳۹۰: ۹) که این مساجد شامل: مسجد مصلای طرق، جامع ازغد، هندولان و مسجد شاه (هفتاد دوتن) می‌باشد.

با مشاهده پلان ها به وضوح فضای باز، در تمامی این مساجد به عنوان نقطه مشترک، با تناسبات مختلف وجود دارد. شکل و تناسبات فضای باز (صحن) مسجد عامل مهمی در ایجاد عظمت و شکوه این مکان مقدس است. که می‌توان آن را به سه الگو شکلی تقسیم کرد (الگو صحن مستطیل شکل با کشیدگی در راستای قبله، الگو صحن مستطیل شکل عمود بر راستای قبله و الگو صحن مربع شکل) (موسوی و حمزه نژاد، ۱۳۹۸: ۱۰). با مشاهده پلان‌ها به وضوح فضای باز، در تمامی این مساجد به عنوان نقطه مشترک، با تناسبات مختلف وجود دارد. شکل و تناسبات فضای باز (صحن) مسجد عامل مهمی در ایجاد عظمت و شکوه این مکان مقدس است. که می‌توان آن‌ها را به سه الگوی شکلی تقسیم نمود (صحن مستطیل شکل با کشیدگی در راستای قبله، صحن مستطیل شکل عمود بر راستای قبله و الگو صحن مربع شکل). همان‌طور که بیان گردید، فضای باز در مساجد به عنوان فضایی غیر قابل اجتناب در کالبد غالب مسجد می‌باشد و حدوداً بین ۲۰ تا ۶۳ درصد مساحت مساجد سنتی خراسان به فضای باز اختصاص یافته است که نسبت طول به عرض آن‌ها بین ۱ تا ۱/۷ می‌باشد (موسوی و حمزه نژاد، ۱۳۹۸: ۱۱).

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2023-11-18]

جدول ۹- بررسی شکلی فضای بازونیمه باز مساجد خراسان در پهنه زمانی(قرن پنجم تا قاجار) –پهنه مکانی (خراسان بزرگ)

بررسی شکلی فضای باز و نیمه باز مساجد خراسان در پهنه زمانی(قرن پنجم تا قاجار) –پهنه مکانی (خراسان بزرگ)					
پلان					
تناسبات	صحن	۱–۱.۲	۱–۱.۲	۱–۱	۱–۱.۱
	ایوان	–	۱–۱.۴	۱–۱	۱–۱.۲–۱.۴،۱–۱.۹–۱.۳ ۱–۰.۹–۱.۷
درصد نسبی فضاها	صحن	۲۳	۴۰	۳۷	۲۸
	ایوان	–	۲۰	۴	۱۳
	گنبدخانه	–	۵	۶	۴
	شبستان	۶۶	۳۵	۴۹	۵۳
نام		مسجد جامع تابران توس	مسجد جامع افین	مسجد جامع طبس	مسجد جامع سبزوار
پلان مسجد					
تناسبات	صحن	۱–۱.۱	۱–۱.۴	۱–۱.۳	۱–۱.۲
	ایوان	۱–۱.۷– ۱.۴	۱–۱.۲–۱.۲،۱–۱.۲–۱.۲	۱–۱.۲–۱.۴ ،۱–۰.۴–۱.۴	۱–۱.۳–۱.۳،۱–۲–۱.۴
درصد نسبی فضاها	صحن	۴۵	۲۲	۲۱	۳۸
	ایوان	۱۵	۱۵	۸	۱۰
	گنبدخانه	–	–	۴	–
	شبستان	۲۶	۵۸	۶۷	۴۳
نام مسجد		مسجد جامع قاین	مسجد کبود گنبد کلات نادری	مسجد جامع سبزوار	مسجد جامع گناباد
پلان مسجد					

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2023-11-18]

تناسبات	صحن	۱-۱	۱-۱.۳	۱-۱	۱-۱.۳
	ایوان	۱-۱.۷،۱-۱.۹	۱-۱.۶-۱.۴	۱-۱.۴	۱-۱.۲- ۱.۴
درصد نسبی فضاها	صحن	۲۹	۳۷	۴۰	۴۸
	ایوان	۱۱	۶	۱۸	۸
	گنبدخانه	-	-	۲۷	
	شبستان	۵۵	۵۳	۱۵	۳۰
نام مسجد		مسجد جامع بجستان	مسجد جامع نیشابور	مسجد مرندیز	مسجد جامع سنگان
نتیجه گیری فضای باز	تناسبات شکلی فضای باز	a>b		a=b	a<b

شبیه سازی و معرفی نرم‌افزار ENVI-MET4: تمرکز پژوهش حاضر بر روی آسایش حرارتی و عوامل موثر آن در فضای باز می‌باشد. از آن‌جا که نرم‌افزار ENVI-ment توانایی شبیه‌سازی عوامل آسایش حرارتی هم‌چون دمای هوا، جریان باد، رطوبت نسبی و دمای متوسط تابشی را دارد، جهت ارزیابی آسایش حرارتی انتخاب گردید. این مدل یک برنامه ۳ بعدی اقلیمی برای شبیه‌سازی تاثیرات متقابل بین سطوح، گیاهان و هوا در محیط‌های شهری است، و توسط پروفسور مایکل بروس در دانشگاه ماینز آلمان طراحی شده و درحال توسعه است (Bruse,1999). نرم‌افزار ENVI-met تنها نرم‌افزاری است که تمامی فاکتورهای مؤثر در آسایش حرارتی مانند سرعت و جهت باد، دمای متوسط تابشی، دمای هوا و غیره را به صورت یکپارچه با شاخص‌های آسایش حرارتی شبیه سازی می‌نماید (Lenzholzer, 2012: 42). برتری این نرم‌افزار آن است که فعل و انفعالات اصلی جو را که بر اساس قوانین فیزیکی (قوانین دینامیک سیالات و ترمودینامیک) بر فضای باز تاثیر گذارند را شبیه‌سازی می‌کند (Bruse, 1999).

نرم افزار ENVI-met برای محاسبه شاخص PMV از معادله جندریتزکی برای شبیه‌سازی استفاده می‌نماید؛ بنابراین با توجه به جامعیت ENVI-met و هم‌چنین قابلیت شبیه‌سازی شاخص PMV به عنوان یکی از معتبرترین شاخص‌های سنجش آسایش حرارتی در فرایند شبیه‌سازی از این نرم‌افزار استفاده شد. نرم‌افزار ENVI-met پیش‌تر در شرایط آب‌وهوایی مختلف و کشورهای گوناگون از جمله آلمان، چین، سنگاپور، ژاپن، مراکش، آمریکا و امارات متحده عربی اعتبارسنجی شده است. حداکثر تفاوت ۴ تا ۲ درجه سانتی‌گرادی در نتایج حاصل از شبیه‌سازی و برداشت‌های میدانی به دلیل عدم محاسبه امواج طول موج بلند عمودی در این نرم‌افزار است. بنابراین نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی در روزهای آفتابی از دقت کافی برخوردار است و می‌توان به نتایج حاصل از نرم افزار اعتماد نمود.

فرآیند شبیه سازی

سه فرم صحن مربع و مستطیل شکل با کشیدگی در راستای قبله و مستطیل شکل با کشیدگی در جهت عمود بر قبله با مساحت ثابت در نظر گرفته شده است. ابعاد صحن مربع شکل ۱۲ در ۱۲ است و ابعاد صحن مستطیل شکل ۱۰ در ۱۴ است که مساحت با تقریب ثابت فرض شده است. ارتفاع هر سه حیاط ۷ متر (دو طبقه) در نظر گرفته شده است، که در واقع حیاط مرکزی کم عمق محسوب می‌شوند. شبیه‌سازی برای چهار شهر (قوچان، مشهد، سبزوار، طبس) به نمایندگی از ۴ پهنه اقلیمی صورت می‌گیرد. به این ترتیب سه بنای مفروض به طور جداگانه برای هر چهار شهر در روز ۱ مرداد ماه در انقلاب تابستانی در ساعت ۱۲ ظهر (اذان ظهر) با نرم افزار ENVI-ME شبیه‌سازی شده‌اند.

بررسی محدوده‌های مورد مطالعه: شهرستان قوچان با وسعت تقریبی ۳۹۸۱ کیلومتر مربع در طول جغرافیایی ۳۰ و ° ۵۸ و عرض جغرافیایی ۱۱ و ° ۳۸ واقع گشته است. از شمال‌شرق به درگز، از جنوب به نیشابور، از غرب به فاروج و از شرق به چناران محدود است و از لحاظ اقلیمی نیمه خشک سرد می‌باشد (کامیابی، ۱۳۹۵: ۹۶). شهر مشهد بالغ بر ۱۰۳۲۹ کیلومتر مربع وسعت دارد. مرکز استان خراسان رضوی بوده و در طول جغرافیایی ۱۵ و ° ۵۹ تا ۳۶ و ° ۶۰ و عرض جغرافیایی ۴۳ و ° ۳۵ تا ۸ و ° ۳۷ واقع گشته است. این شهر از جنوب به ارتفاعات بینالود، از شمال به کوه‌های هزار مسجد، از شرق به شهرستان سرخس و از غرب به شهرستان نیشابور و چناران محدود می‌شود (حسینی، ۱۳۸۷) و طبق پژوهش‌های انجام شده اقلیم این شهر از ۴۰ سال گذشته تا کنون نیمه گرم‌وخشک است (فیضی و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۲۴).

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2023-11-18]

شهر سبزوار به عنوان دومین شهر بزرگ خراسان رضوی در فاصله ۲۴۰ کیلومتری غرب شهر مشهد قرار دارد، این شهر در عرض جغرافیایی ۳۶ و ° ۱۲ و طول جغرافیایی ۵۷ و ° ۴۳ قرار دارد و اقلیم حاکم آن خشک می‌باشد (سبزی‌پرور و همکاران، ۱۳۹۰: ۳۱). شهرستان طبس با ۵۵۴۶۴ کیلومترمربع وسعت در محدوده عرض جغرافیایی ۵ و° ۳۲ تا ۵۰ و ° ۳۲ و طول جغرافیایی ۱۵ و ° ۵۷ تا ۴۵ و ° ۵۶ قرار گرفته است. در شمال طبس، دشت کاملاً هموار و باتلاق‌های نمک قرار گرفته و در مست جنوب، رسوبات تریاس و ژوراسیک، ارتفاعات نه چندان مرتفع را به‌وجود آورده است. شرق این ناحیه به ارتفاعات شتری در حاشیه کویر نمک و غرب آن به ارتفاعات کمر مهدی محدود می‌شود. این منطقه جزء مناطق کویری با آب‌وهوای خشک و قاره‌ای محسوب می‌شود که نوسانات درجه حرارت شبانه‌روزی و ماهیانه آن زیاد است (قضاوی و موسویان، ۱۳۹۶: ۴۳).

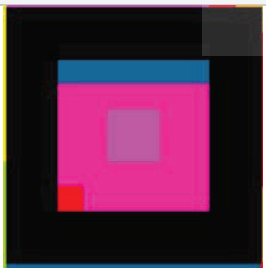
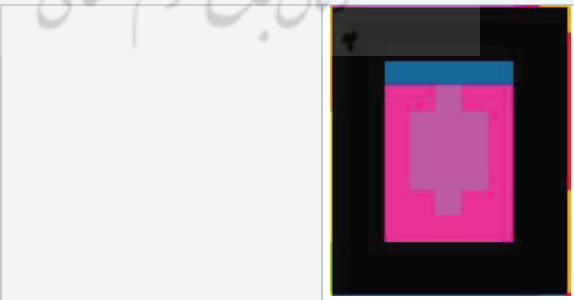
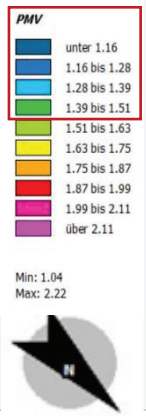
تنظیم شرایط داده‌های اقلیمی: داده‌های اقلیمی چهار شهر منتخب از فایل EPW (فایل آب‌وهوایی) با استفاده از نرم‌افزار meteonorm ساخته شده است، که به صوت آنلاین داده‌ها به‌روز و پشتیبای می‌گردد، استخراج گردیده است. هم‌چنین نرم‌افزار meteonorm با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های آب‌وهوایی آنلاین که در بعضی شهرها موجود است، به صورت میان‌یابی یا درون‌یابی از نزدیک‌ترین پایگاه‌های اطراف شهر و بر حسب طول و عرض جغرافیایی برای شهرهایی که اطلاعات آنها موجود نیست فایل آب‌وهوایی را تنظیم می‌کند.

جهت اعتبارسنجی، داده‌های اقلیمی فایل EPW مستخرج از نرم‌افزار meteonorm، داده‌های اقلیمی کامل شهرهای قوچان، مشهد، سبزوار و طبس از سایت داده‌های هواشناسی در تاریخ ۲۳ ام ماه July سال ۲۰۱۸ دریافت شد و سپس از نرم‌افزار Excel2018 به منظور محاسبه ضرایب همبستگی مقادیر دریافتی از سایت داده‌های هواشناسی کشور و مقادیر به دست آمده از نرم افزار استفاده گردید. وجود ضرایب همبستگی بالا، میان متغیرهای نرم افزار و داده‌های هواشناسی نشان دهنده معتبر و قابل استناد بودن مدل نرم افزاری ساخته شده و شبیه سازی می‌باشد.

یافته‌های تحقیق

در این قسمت از پژوهش در راستای تحلیل آسایش حرارتی شاخص PMV در مدل الگوهای پلانی صحن مسجد در شهر قوچان مورد بررسی قرار گرفت. آسایش حرارتی در این سه گونه صحن مسجد در در ساعت ۱۲ ظهر ۱ مرداد ماه صورت پذیرفته است. همان‌گونه که نتایج آنالیز توسط نرم‌افزار در جدول ۱۰ نشان می‌دهد، شاخص PMV بین ۱.۰۴ و ۲.۲۲ است. با مقایسه تحلیل کمی سه گونه صحن مسجد، در شهرستان قوچان با اقلیم کوهپایه‌های مرتفع (پهنه اقلیمی ۳) می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که، پلان با هندسه مربع شکل عملکرد بهتری برای صحن مساجد دارد. با نزدیک نمودن صحن حیاط مسجد به هندسه مربع و کم نمودن کشیدگی آسایش حرارتی در اقلیم این شهرستان بالاتر خواهد رفت، و این موضوع نتیجه کاهش میزان تابش جذب شده در جداره‌ها می‌باشد.

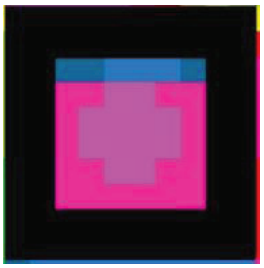
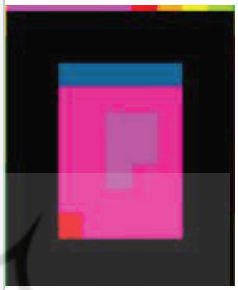
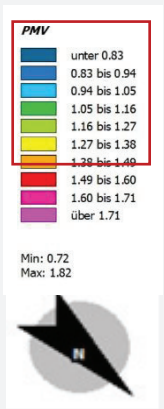
جدول۱۰- آنالیز آسایش حرارتی (با شاخص PMV) الگو های پلانی صحن مسجد درشهر قوچان

آنالیز شکلی صحن مسجد در شهر قوچان			محدوده آسایش
			
a = b =12,h=7	a = 10 ,b =14, h=7	a = 10 ,b =14, h=7	

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2023-11-18]

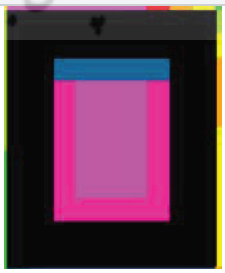
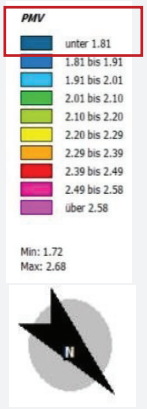
در این مرحله، صحن مساجد در شهر مشهد بر اساس شاخص PMV مورد بررسی قرار گرفت. جدول ۱۱ نتایج تحلیل آسایش حرارتی سه الگوی هندسی صحن مسجد شهر مشهد را در ساعت ۱۲ ظهر ۱ مرداد ماه در نشان می‌دهد. همان‌طور که از نتایج مشخص می‌گردد، شاخص PMV در این سه الگوی صحن بین ۰.۷۲ و۱.۸۲ می‌باشد، که نزدیک بودن به شرایط آسایش را نشان می‌دهد. صحن مستطیل شکل با کشیدگی در راستای قبله از نظر آسایش حرارتی شرایط مناسب‌تری را در شهر مشهد دارد. علت این موضوع را می‌توان این‌گونه بازگو نمود؛ که حیاط‌های شمالی- جنوبی سایه‌اندازی بیشتری در این اقلیم دارند و سطح بیشتری از دیوارها و کف آن‌ها از تابش محفوظ می‌ماند، و از آن‌جایی که جریان باد در این شهر هم راستا با کشیدگی صحن شمالی-جنوبی می‌باشد، باعث افزایش تهویه طبیعی، کاهش دما و نتیجه نزدیک شدن به آسایش حرارتی در فصل مذکور خواهد شد.

جدول ۱۱- آنالیز آسایش حرارتی (با شاخص PMV) الگوهای صحن مسجد در شهر مشهد

آنالیز شکلی صحن مسجد			
			
a = b =12, h=7	a = 10 ,b =14, h=7	a = 10 ,b =14, h=7	

سه الگوی صحن مساجد شهر سبزوار در این قسمت مورد بررسی قرار گرفت. تحلیل آسایش حرارتی این اقلیم نیز در ساعت ۱۲ ظهر ۱ مرداد ماه صورت پذیرفته است. همان‌طور که از نتایج در جدول ۱۲ مشخص می‌گردد، شاخص PMV بین ۱.۷۲ و ۲.۵۸ است که نسبت به شرایط آسایش در دو شهر دیگر بازه‌ایی وسیع‌تر دارد، چرا که دمای هوا و میزان تابش بیشتر می‌شود. همان‌طور که در شکل‌ها دیده می‌شود، در شهر سبزوار پلان مستطیل شکل عمود با جهت قبله عملکرد بهتری برای حیاط مرکزی و صحن دارد. با توجه به این موضوع که، حیاط‌های شرقی- غربی سایه‌اندازی کمتری دارند و سطح بیشتری از دیوارها و کف آن‌ها آفتاب می‌گیرد، اما به علت چرخاندن محور طولی حیاط به سمت جنوب شرقی، این امر سبب تغییر زاویه جهت تابش نور خورشید می‌گردد و باعث می‌شود سطوح مدت کمتری تحت آفتاب قرار گیرد.

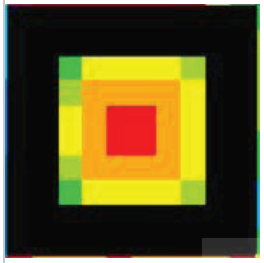
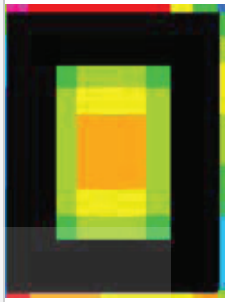
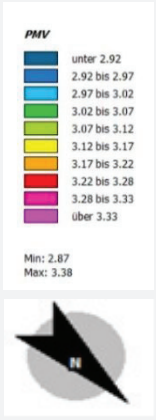
جدول۱۲- آنالیز آسایش حرارتی (با شاخص PMV) الگو های صحن مسجد در شهر سبزوار

آنالیز شکلی صحن مسجد در شهر سبزوار			
			
a = b =12, h=7	a = 10 ,b =14, h=7	a = 10 ,b =14, h=7	

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2023-11-18]

آسایش حرارتی سه الگوی صحن مسجد شهر طبس را در ساعت ۱۲ ظهر ۱مرداد ماه در جدول ۱۳ نمایش داده شده است. همان‌گونه که از نتایج مشخص می‌گردد، شاخص PMV بین ۲.۸۷ و ۳.۳۸ قرار دارد، که این شرایط خارج از محدوده آسایش می‌باشد، در شهر طبس پلان مستطیل شکل هم‌راستا با جهت قبله عملکرد بهتری برای صحن مسجد دارد. این فرم پلان هم‌راستا با جهت باد غالب است. با توجه به اینکه ارتفاع جداره‌ها در این مدلسازی کم در نظر گرفته شده است. میانگین دمای تابشی در این حیاط‌ها تابع سرعت هوا در این محیط‌ها است لذا سرعت جریان هوا عامل تعیین کننده در حیاط مرکزی کم عمق است.

جدول ۱۳- آنالیز آسایش حرارتی(با شاخص PMV) الگو های صحن مسجد درشهر

آنالیز شکلی صحن مسجد در شهر طبس			
			
a = b =12, h=7	a = 10 ,b =14, h=7	a = 10 ,b =14, h=7	

بحث و نتیجه‌گیری

مقاله حاظر به بررسی آسایش حرارتی در الگوهای مختلف صحن‌های مساجد خطه خراسان، پرداخت. نتایج نشان داد که با تجزیه‌وتحلیل و توجه به ویژگی‌های خرد اقلیم‌ها و پهنه‌بندی‌های اقلیمی و رفتار حرارتی آنها می‌توان شرایط آسایش حرارتی را فراهم نمود و در نتیجه باعث ارتقا کیفیت فضایی گردید. بر خلاف مطالعات قبلی که فقط بر روی یک پهنه اقلیمی تمرکز داشتند این پژوهش مربوط به آسایش حرارتی صحن و فضای باز مساجد و اثرات پارامترهای هندسی در آب‌وهوا در تابستان‌های گرم در۴ پهنه‌بندی اقلیمی در منطقه خراسان مورد تحلیل قرار گرفت. این مطالعه با هدف ارزیابی و طبقه‌بندی صحن مساجد سنتی خراسان بیش از ۴۰ نمونه مسجد سنتی دارای حیاط را بررسی نمود. در معماری مساجد، فضای باز همواره جزئی جدایی ناپذیر بوده است. دیدگاه‌های مختلفی هم‌چون مباحث عملکردی، فرهنگی و یا معنوی به عنصر حیاط در مساجد بوده است که تمامی آن‌ها تاکیدی بر لزوم حضور فضای باز در مساجد داشته‌اند. طبق موارد بیان شده حضور فضای باز در ۸۵ درصد مساجد خراسان دیده می‌شود و بیان کننده اهمیت آن در مساجد خراسان می‌باشد.

در پژوهش حاضر شاخص PMV در شهرهای قوچان، مشهد، سبزوار و مشهد مورد سنجش قرار گرفت. تحلیل در ساعت ۱۲ و روز ۱ مرداد ماه به وسیله نرم افزار ENVI-MET4 و طبق داده‌های اقلیمی هر منطقه صورت گرفته است. در این راستا ۱۲ مسجد که در خطه خراسان واقع شده بودن که همگی در طیف زمانی قرن پنجم تا قاجار قرار داشتند مورد بررسی قرار گرفتند و سه گونه غالب فضای باز هندسی صحن مربع شکل، صحن مستطیل شکل با کشیدگی در راستای قبله و صحن مستطیل شکل عمود بر راستای قبله در این مناطق شناسایی گردید. و توسط نرم افزار ENVI-MET4 بر مبنای شاخص PMV آنالیز شد. طبق نتایج آنالیز سه گونه صحن مسجد شهر قوچان، بر مبنای شاخص PMV و مقایسه ساختارهای پلان بیانگر این موضوع است که پلان با هندسه مربع نزدیک به محدوده آسایش حرارتی می‌باشد. نتایج آنالیز در شهر مشهد و مقایسه گونه‌های مختلف صحن مساجد نشان دهنده آن است که صحن مستطیل شکل با کشیدگی در راستای قبله بهترین گزینه جهت دستیابی به آسایش حرارتی در فضای باز است. آنالیز گونه‌های مسجد شهر سبزوار، پلان مستطیل شکل عمود بر جهت قبله و آنالیز در گونه‌های مسجد شهر طبس پلان مستطیل شکل هم‌راستا با جهت قبله، به عنوان بهترین الگو نزدیک به آسایش حرارتی مشخص گردید. به نوعی می‌توان این‌گونه بیان نمود که تناسبات و فرم حیاط را در اقلیم کوهپایه‌های مرتفع مربع شکل، در اقلیم کوهپایه‌های کم

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2023-11-18]

ارتفاع مستطیل شکل هم‌راستا با قبله، در اقلیم دشتی، مستطیل شکل عمود بر راستای قبله و در اقلیم کویری مستطیل شکل هم‌راستا با قبله می‌باشد. با توجه به این‌که نسبت ارتفاع به عرض در این فرم‌ها ۰.۵ و۰.۷ است با افزایش دمای هوا در پهنه‌های مختلف شرایط آسایش کاهش می‌یابد از این‌رو تنظیم و کنترل تابش مستقیم خورشیدی به عنوان استراتژی اصلی برای بهبود راحتی حرارتی در تابستان ضروری است اما در یک پهنه‌بندی با توجه به ارتفاع جداره‌ها در حیاط‌های مرکزی کم عمق میزان میانگین دمای تابشی در این‌گونه محیط علاوه بر میزان تابش و میانگین دمای تابشی آن‌ها تابعی از سرعت هوا در این محیط‌ها می‌باشد لذا تهویه طبیعی و سرعت جریان هوا عامل تعیین کننده در حیاط‌های مرکزی کم عمق می‌باشند. با توجه به اصالت عبادت در فضای باز لازم و ضروری می‌باشد که صحن و یا حیاط مرکزی به گونه طراحی شود که بتواند به عنوان یک خرده اقلیم شرایط آسایش به طور ویژه در تابستان را فراهم نماید. از این‌رو توجه به پارامترهای هندسی در مراحل اولیه طراحی، می‌تواند شرایط حرارتی حیاط‌ها را در هر فصلی به طور قابل توجهی بهبود بخشد.

پی‌نوشت

۱- physiological equivalent temperature

۲- Katzschner

۳- پروژه رووز یک پروژه گسترده با هدف ارزیابی میدانی فضاهای شهری بود که زیر نظر برنامه زیر بنایی پنجم اتحادیه اروپا از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۲ هدایت شد و در آن هفت شهر بزرگ اروپایی مورد بررسی قرار گرفتند.

۴- SET

۵- PET

۶- PMV

منابع

- احمدی، ف. (۱۳۸۴). شهر – خانه حیاط مرکزی (شهر – خانه پایدار، شهر – خانه آیینی)، نشریه صفه، ۴۱ (۱۵): ۹۰-۱۱۳.
- القمی، ا. (۱۴۱۸ ه.ق). غنایم الایام فی مسائل الحلال و الحرام، ج ۲، مرکز النشر التابع لمکتب العالم الاسلامی، قم.
- النجفی، م. ح. (بدون تاریخ). جواهر الکلام، ج ۱۲ و ۱۴، دار احیاء التراث العربی، بیروت.
- بنی‌هاشمی خمینی، م. ح. (۱۳۷۸). توضیح‌المسائل مراجع، ج۱، اسلامی، قم.
- پیرنیا، م. ک. (۱۳۷۹). معماری ایران دوره اسلامی: مساجد، تدوین محمدیوسف کیانی، انتشارات جهاد دانشگاهی، تهران.
- پیرنیا، م. ک. (۱۳۸۶). آشنایی با معماری اسلامی ایران، تدوین غلامحسین معماریان، انتشارات سروش، تهران.
- توسلی، م. (۱۳۹۱). ساخت شهر و معماری در اقلیم گرم و خشک ایران، محمود توسلی، تهران.
- سبزی‌پرور، ع. ا.، میرگلوبیات، ر.، و قیامی شمامی، ف. (۱۳۹۰). ارزیابی روند احتمالی تغییرات اختلاف دمای شبانه‌روزی در برخی اقلیم‌های خشک کشور طی پنج دهه‌ی گذشته، مجله‌ی پژوهش فیزیک ایران، ۱ (۱۱): ۲۷-۳۷.
- حجت، ع.، و ملکی، م. (۱۳۹۱). هم‌گرایی سه گونه‌ی بنیادین هندسی و پیدایش هندسه‌ی مسجد ایرانی، نشریه هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی، ۱۷ (۴): ۵-۱۶.
- حسینی، م. (۱۳۹۳). مساجد تاریخی خراسان، بنیاد پژوهش‌های اسلامی، مشهد.
- حسینی، ع. (۱۳۸۷). بررسی گسترش افقی شهر مشهد در چند دهه اخیر و تاثیر آن بر منابع آب و خاک، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
- حیدری، ش. (۱۳۸۸). دمای آسایش حرارتی مردم شهر تهران، نشریه هنرهای زیبا-معماری و شهرسازی. ۳۸ (۱): ۵-۱۴.
- حیدری، ع. ا.، پیوسته‌گر، ی.، و کیایی، م. (۱۳۹۴). بررسی نقش حیاط در ارتقای راندمان عملکردی مساجد با استفاده از روش چیدمان فضا، نشریه هنرهای زیبا، ۳ (۲۲): ۹۱- ۱۰۴.
- حیدری‌نژاد، ق.، دلفانی، ش.، زنگنه، م. ا.، و حیدری‌نژاد، م. (۱۳۸۸). آسایش حرارتی، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران.
- رضازاده، ر.، و آقاجان بیگلو، ع. (۱۳۹۰). الگوی پیشنهادی برای توده گذاری در قطعات مسکونی ردیفی بررسی تطبیقی دو الگوی توده‌گذاری در بلوک های مسکونی با معیار آسایش حرارتی، نشریه نامه معماری و شهرسازی، ۷ (۴): ۱۶۵-۱۸۴.

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2023-11-18]

- رنه دالمانی، ه. (۱۳۳۵). سفرنامه از خراسان تا بختیاری، ج۱، انتشارات امیر کبیر، تهران.
- سلمانی، ا.، رحیمی، م. ح.، و خاک‌زند، م. (۱۳۹۴). بررسی اهمیت، اولویت و اصالت فضای باز در مسجد، فصلنامه پژوهش‌های معماری اسلامی، ۳ (۴): ۳۴-۴۸.
- عباس‌زادگان، م. (۱۳۸۱). روش چیدمان فضا در فرآیند طراحی شهری با نگاهی به شهر یزد، فصلنامه مدیریت شهری، ۹ (۳): ۶۴-۷۵.
- فیضی، م.، مهدیزاده سراج، ف.، و ثابتی اشجعی، ش. (۱۳۹۳). ارائه راهکارهای مورد نیاز در معماری همساز با اقلیم در شهر مشهد در جهت نیل به آسایش حرارتی، نشریه خراسان بزرگ، ۱۵ (۵): ۱۲۱-۱۳۱.
- قبادیان، و. (۱۳۷۷). تحلیل اقلیمی ساختمان های پایدار سنتی در ایران، موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- قضاوی، ر.، و موسویان، م. م. (۱۳۹۶). بررسی ناهنجاری‌های اقلیم با استفاده از مدل ریز مقیاس نمایی SDSM در شهرستان طبس، مجله تحقیقات منابع طبیعی تجدیدشونده، ۲۷ (۸): ۴۱-۵۴.
- قمی، ع. (۱۳۸۰). کلیات مفاتیح‌الجنان، ترجمه کمرهای، انتشارات صبا، تهران.
- طهوری، ن. (۱۳۹۱). ملکوت آیینه‌ها، انتشارات علمی و فرهنگی، تهران.
- کامیابی، س. (۱۳۹۵). تطبیق سستم طبقه‌بندی اقلیمی بر معماری شهرهای استان خراسات رضوی، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، ۵۰ (۱۳): ۹۱- ۱۰۵.
- کسمایی، م. (۱۳۷۸). اقلیم و معماری، شرکت خانه‌سازی ایران، بازتاب، تهران.
- کیانی، م. ی. (۱۳۸۵). تاریخ هنر معماری ایران در دوره اسلامی، چاپ هشتم، سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت)، تهران.
- مشکینی، ع. (۱۳۸۱). مفتاح الجنان، انتشارات الهادی، تهران.
- منعام، ع. (۱۳۹۰). آسایش محیطی در فضاهای باز شهری ارزیابی آسایش حرارتی در پارک‌های منتخب شهر تهران، رساله‌ی دکتری، دانشگاه علم و صنعت، تهران.
- موسوی، م.، و حمزه نژاد، م. (۱۳۹۸). گونه شناسی مساجد سنتی خراسان (شمالی- رضوی- جنوبی) بر مبنای فضای باز و نیمه باز، پژوهشنامه خراسان بزرگ، ۳۶ (۱۰): ۱-۱۷.
- نقره‌کار، ع. (۱۳۷۸). درآمدی بر هویت اسلامی در معماری و شهرسازی، وزارت مسکن و شهرسازی، تهران.
- نوایی، ک.، و حاجی قاسمی، ک. (۱۳۹۰). خشت و خیال، شرح معماری اسلامی ایرانی، انتشارات سروش، تهران.
- همتی، ش.، ذبیحی، ح.، و کاملی، م. (۱۳۹۲). تحلیلی بر نقش حیاط مسجد در شهرهای اسلامی به عنوان فضای شهری مطالعه موردی: صحن انقلاب اسلامی، حرم حضرت معصوم (س) قم، نشریه شهر ایرانی اسلامی، ۱۴: ۴۳-۵۰.
- هیلن براند، ر. (۱۳۹۰). معماری اسلامی، ترجمه‌ی ایرج اعتصام، انتشارات سازمان فناوری اطلاعات‌وارتباطات شهرداری تهران، تهران.
- Ashrae. (2001). *Ashrae Fundamentals Handbook 2001*; Atlanta, Ga., American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers.
- ASHRAE. (2004). S tandard 55-2004: *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Atlanta: Author.
- Auliciems, A., & Szokolay, S.V. (1997). *Thermal comfort In A. Auliciems (Ed.), PLEA notes: Passive and Low Energy Architecture International Design tools and techniques thermal* (Vol.5, pp. 1–66). Brisbane: University of Queensland.
- Berkovic, S., Yezioro, A., & Bitan, A. (2012). Study of thermal comfort in courtyards in a hot arid climate. *Solar Energy*, *86*(5), 1173-1186.
- Blazejczyk, K., Epstein, Y., Jendritzky, G., Staiger, H., & Tinz, B. (2012). Comparison of UTCI to selected thermal indices. *International journal of biometeorology*, *56*, 515-535.
- Boregowda, S. C., Choate, R. E., & Handy, R. (2012). Entropy generation analysis of human thermal stress responses. *International Scholarly Research Notices*, 2012.

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2023-11-18]

- Bruse, M. (1999). *The influences of local environmental design on microclimate-development of a prognostic numerical Model ENVI-met for the simulation of Wind, temperature and humidity distribution in urban structures*. Temperature and Humidity Distribution in Urban Structures.
- Błażejczyk, K., Broede, P., Fiala, D., Havenith, G., Holmér, I., Jendritzky, G., ... & Kunert, A. (2010). Principles of the new Universal Thermal Climate Index (UTCI) and its application to bioclimatic research in European scale. *Miscellanea Geographica*, 14(1), 91-102.
- Brown, R. D., & Gillespie, T. J. (1995). *Microclimatic landscape design: creating thermal comfort and energy efficiency* (Vol. 1). New York: Wiley.
- Chaseling, G. K., Iglesies-Grau, J., Juneau, M., Nigam, A., Kaiser, D., & Gagnon, D. (2021). Extreme heat and cardiovascular health: what a cardiovascular health professional should know. *Canadian Journal of Cardiology*, 37(11), 1828-1836.
- De Dear, R. J. (1998). A global database of thermal comfort field experiments. *ASHRAE transactions*, 104, 1141.
- De Dear, R. J., & Brager, G. S. (2002). Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. *Energy and buildings*, 34(6), 549-561.
- Ferrucci, L., Gonzalez-Freire, M., Fabbri, E., Simonsick, E., Tanaka, T., Moore, Z., ... & de Cabo, R. (2020). Measuring biological aging in humans: A quest. *Aging cell*, *19*(2), e13080.
- Fanger, P. O. (1970). *Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering*. Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering.
- Fanger, P. O., 1972, *Thermal comfort*. New York: McGraw Hill
- Givoni, B. M. (1976). *Climateand Architecture*. London: Applied Science publishers.
- Givoni, B., (1963). *Urban Design in Different Climates*, USA: World Meteorological Organization.
- Girling, C. L., & Helphand, K. I. (1996). *Yard, street, park: the design of suburban open space*. John Wiley & Sons.
- Hammond, M. J., Chen, A. S., Djordjević, S., Butler, D., & Mark, O. (2015). Urban flood impact assessment: A state-of-the-art review. *Urban Water Journal*, 12(1), 14-29.
- Hassan, M. K., & Halbouni, S. S. (2013). Corporate governance, economic turbulence and financial performance of UAE listed firms. *Studies in Economics and Finance*, *30*(2), 118-138.
- Heijs, W. J. M. (1994). *The dependent variable in thermal comfort researchsome psychological considerations*. In Thermal comfortpast present and future: Proceedings of the conference of june 1993 (pp. 40-51). Watford Building Research Establishment.
- Hein, L., Metzger, M. J., & Moreno, A. (2009). Potential impacts of climate change on tourism; a case study for Spain. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 1(2), 170-178.
- Heijs, W.J.M. (1994). *The dependent variable in thermal comfort researchsome psychological considerations*. In N. Oseland & M. Humphreys (Eds.), Thermal comfortpast present and future, Proceedings of the conference of june 1993, (pp. 40-51). Garston: Watford Building Research Establishment.
- Hillier, B. (2007). *Space is the Machine: A Configurational Theory of Architecture*, Space Syntax Laboratory, London.
- Honjo, T. (2009). Thermal comfort in outdoor environment. *Global environmental research*, 13(2009), 43-47.

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2023-11-18]

- Höppe, P. (2002). Different aspects of assessing indoor and outdoor thermalcomfort, *Energy and Buildings*, 34, 661-665.
- Jendritzky, G., & Nübler, W. (1981). Model analysing the urban thermal environment in physiologically significant terms. *Arch. Meteorol., Geophys. Bioklimatol., Ser. B;(Austria)*, *29*(4).
- Jo, J. H., & Gero, J. S. (1998). Space layout planning using an evolutionary approach. *Artificial intelligence in Engineering*, *12*(3), 149-162.
- Katzschner, Lutz. (2006). *Behaviors of people in open spaces in dependence of thermal comfort conditions*. Geneva, Switzerland: Paper presented at the 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture.
- Kenworthy, J. R. (2006). The eco-city: ten key transport and planning dimensions for sustainable city development. *Environment and urbanization*, *18*(1), 67-85.
- Kurazumi, Y., Fukagawa, K., Yamato, Y., Tobita, K., Kondo, E., Tsuchikawa, T., ... & Matsubara, N. (2011). Enhanced conduction-corrected modified effective temperature as the outdoor thermal environment evaluation index upon the human body. *Building and Environment*, *46*(1), 12-21.
- Kok.G., (2001). *Health education and health promotion. Journal of Behaviour* .sciences, Vol. 14, pp: 4-18.
- Kwon, J., & Parsons, K. (2009, August). Evaluation of the PMV thermal comfort index in outdoor weather conditions. In *Proceedings of the 13th International Conference on Environmental Ergonomics* (pp. 132-136).
- Lai, D., Zhou, C., Huang, J., Jiang, Y., Long, Z., & Chen, Q. (2014). Outdoor space quality: A field study in an urban residential community in central China. *Energy and Buildings*, *68*, 713-720.
- Lenzholzer, S. (2012). Research and design for thermal comfort in Dutch urban squares. *Resources, conservation and recycling*, *64*, 39-48.
- Li, B., Yao, R., Wang, Q., & Pan, Y. (2014). An introduction to the Chinese Evaluation Standard for the indoor thermal environment. *Energy and Buildings*, *82*, 27-36.
- Limb, M. J. (1998). BIB 08: An Annotated Bibliography: Passive Cooling Technology for Office Buildings in Hot Dry and Temperate Climates.
- Matzarakis, A., & Mayer, H. (1997). Heat stress in Greece. *International Journal of Biometeorology*, *41*, 34-39.
- Mahmoud, S. H., & Gan, T. Y. (2018). Long-term impact of rapid urbanization on urban climate and human thermal comfort in hot-arid environment. *Building and Environment*, *142*, 83-100.
- Mclntyre D. A (1982). Chamber studies – reductioad absurum. *Energy and Buildings*, (5), 89-96.
- McMichael, A. J., & Lindgren, E. (2011). Climate change: present and future risks to health, and necessary responses. *Journal of internal medicine*, *270*(5), 401-413.
- Monteiro, L. M., & Alucci, M. P. (2009, June). Thermal comfort index for the assessment of outdoor urban spaces in subtropical climates. In *The seventh International Conference on Urban Climate, Yokohama, Japan*.
- Mustafa, F. A., Hassan, A. S., & Baper, S. Y. (2010). Using space syntax analysis in detecting privacy: a comparative study of traditional and modern house layouts in Erbil city, Iraq. *Asian Social Science*, *6*(8), 157.

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2023-11-18]

- Mustafa, F. A., & Hassan, A. S. (2013). Mosque layout design: An analytical study of mosque layouts in the early Ottoman period. *Frontiers of Architectural Research*, *2*(4), 445-456.
- Monteiro, L., & Alucci, M. P. (2006). Outdoor thermal comfort: comparison of results of empirical field research and predictive models simulation. *Comfort and energy use in buildings. Windsor: Nceub*.
- Nagano, K., & Horikoshi, T. (2011a). New index indicating the universal and separate effects on human comfort under outdoor and non-uniform thermal conditions. *Energy and Buildings*, *43*(7), 1694-1701.
- Nagano, K., & Horikoshi, T. (2011b) New index indicating the universal and separate effects on human comfort. *Energy and Buildings*, *37*(3), 287-294.
- Nikolopoulou, M., Baker, N., & Steemers, K. (2001). Thermal comfort in outdoor urban spaces: understanding the human parameter. *Solar energy*, *70*(3), 227-235.
- Oke, T. R. (1989). The micrometeorology of the urban forest. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, *Biological Sciences*, 324(1223), 335-349.
- Olesen, B. W., & Brager, G. S. (2004). A better way to predict comfort: The new ASHRAE standard 55-2004.
- Olgyay V. (1963). *Design with climate, bioclimatic approach and architectural regionalism*. Princeton (NJ): Princeton University Press.
- Penn, A., Desyllas, J., & Vaughan, L. (1999). The space of innovation: interaction and communication in the work environment. *Environment and planning B: Planning and design*, *26*(2), 193-218.
- Penwarden, A. D. (1973). Acceptable wind speeds in towns. *Building Science*, 8(3), 259-267.
- Scudo, G. (2005). Environmental comfort in green urban spaces: an introduction to design tools. *Available via COST Action C11–greenstructure and urban planning. Available via http://www. cost. esf. org*.
- Soflaee, F., & Shokouhian, M. (2005, May). Natural cooling systems in sustainable traditional architecture of Iran. In *Printed in Proceeding of the International Conference on Passive and Low Energy Cooling For The Built Environment (PALENC 2005), Greece, Santorini*.
- Szokolay, S. V. (2004). *Architecture*, science and technology.
- Taleghani, M., Kleerekoper, L., Tenpierik, M., & Van Den Dobbelsteen, A. (2014). Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands. *Building and environment*, *83*, 65-78.
- Thorsson, S., Lindqvist, M., & Lindqvist, S. (2004). Thermal bioclimatic conditions and patterns of behaviour in an urban park in Göteborg, Sweden. *International journal of biometeorology*, *48*, 149-156.
- Wang, D., Lau, K. K. L., Ren, C., Goggins, W. B. I., Shi, Y., Ho, H. C., ... & Ng, E. (2019). The impact of extremely hot weather events on all-cause mortality in a highly urbanized and densely populated subtropical city: A 10-year time-series study (2006–2015). *Science of the Total Environment*, *690*, 923-931.
- Zambrano, L., Malafaia, C., & Bastos, L. E. (2006, September). Thermal comfort evaluation in outdoor space of tropical humid climate. In *23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture. Geneva, Switzerland*.

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2023-11-18]

Evaluation of the outdoor space thermal comfort in traditional mosques of Khorasan province based on the PMV index (Case study: the Cities of Qouchan, Mashhad, Sabzevar and Tabas)

Seyedeh Mahsa mousavi, Master's degree, Faculty of Art and Architecture, Imam Reza International University, Mashhad, Iran.
Mehdi Hamzehnezhad, Faculty of Architecture, University of Science and Technology, Tehran, Iran.
Mahbubeh Zamani*, Ph.D. Student of Architecture, Art and Architecture Faculty, Mashhad branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran.

Received: 2022/3/4 *Accepted: 2022/6/1*

Introduction: Thermal comfort has always been one of the primary goals of architectural design. Many studies have addressed indoor thermal comfort. However, less attention has been paid to outdoor thermal comfort. Outdoor spaces need to be equally emphasized because of the occurrence of daily activities in them. Open spaces play a unique role in the spatial structure of traditional Iranian architecture. Mosques are among the most important buildings in the history of Iranian architecture. With the spread of Islam in the early centuries of Hijri, many mosques were constructed in the great province of Khorasan, some of which are still standing. Most of these mosques have open spaces that are built based on the climate; therefore, they are among the best sources of modeling for contemporary architecture to achieve thermal comfort. Thus, the research questions of the present study can be expressed as follows: What is the range of thermal comfort in the open spaces of Khorasan mosques based on the PMV index? What are the optimal geometry patterns of mosque courtyards in the Khorasan region to achieve thermal comfort? In order to answer the questions, ENVI-MET4 simulation software was used.
Methodology: The approach of the current study in terms of its purposes and methodology is applied research and quantitative respectively. In the first stage of the study, the form, dimensions, and proportions of the yard and the percentage of open to closed spaces of the traditional mosques of Khorasan province were analyzed through an analytical method, based on library studies. The courtyards of the traditional mosques were categorized, the patterns governing them were extracted, and thermal comfort was evaluated. Four sample cities were selected based on four different climatic zones. In the second stage, using the simulation method, the models were made on July 23rd during the summer solstice for the four cities in the ENVI-MENT 4 software. The simulation results were illustrated and analyzed in the Leonardo software, and the PMV thermal comfort index was used.
Results: Three types of mosque courtyards in the mentioned cities were analyzed. Based on the PMV index and the comparison of plan structures, the results revealed that in Qochan City, the plan with a square geometry is close to the thermal comfort range. In Mashhad, a rectangular courtyard with an extension in the direction of the Qibla is the best option to achieve thermal comfort in open spaces. Moreover, in the city of Sabzevar, the rectangular plan perpendicular to the Qibla direction, and in the city of Tabas, the rectangular plan parallel to the Qibla direction were identified as the best models of thermal comfort.
Conclusion: The proportions and forms of the courtyards are square in the high foothills; rectangular in line with the Qibla in the low foothills; rectangular in the direction of the Qibla in the plains, and rectangular in the direction of the Qibla in the desert climate. Considering the joy of outdoor worship, it is necessary to design the courtyard in such a way that it can provide comfortable conditions as a sub-climate, particularly during hot summer days.
Keywords: outer space, Thermal comfort, mosque, PMV index, Khorasan Province.

* Corresponding Author's E-mail: m_zamani@mshdiau.ac.ir

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2023-11-18]