



تحلیل اثر هندسه پنجره بر عملکرد حرارتی جبهه شمالی و جنوبی مسکن شهری اقلیم سرد شهر همدان

حجت قیاسوند^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۱۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۹/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۵

نوع مقاله: پژوهشی

صفحه ۱۶۷ تا ۱۹۳

چکیده

در اقلیم سرد، تعیین صحیح پارامترهای هندسه پنجره، جهت دسترسی به نور خورشید و ارتقای عملکرد حرارتی ضروری است. پنجره یکی از اصلی‌ترین عواملی است که می‌تواند تقاضای انرژی سرمایشی در تابستان را افزایش و انرژی گرمایشی را در زمستان کاهش دهد؛ لذا هدف، بررسی اثر پارامترهای هندسه پنجره (WWR, U, SHGC, Shading) بر مصرف انرژی، جهت تعیین مقدار سطح بهینه پنجره مسکن شهری اقلیم سرد شهر همدان است؛ بنابراین نسبت سطح پنجره به دیوار و پارامترهای هندسی آن، به‌عنوان متغیر مستقل، و میزان مصرف انرژی، متغیر وابسته است. نوع تحقیق کمی و بر اساس داده‌های عددی سطح پنجره به دیوار (WWR) و شبیه‌سازی انرژی است و در تحلیل یافته‌ها از روش‌های آماری استفاده شده است. در تحلیل داده‌ها از تحلیل ضریب همبستگی پیرسون، تحلیل مقایسه واریانس و آزمون‌های تعقیبی برای تعیین رابطه بین متغیرها و تعیین سطح بهینه (WWR) بهره گرفته شده است. این مطالعه در چهار مرحله؛ بررسی نسبت سطح پنجره به دیوار (WWR) خانه‌های سنتی، اثر WWR جبهه روبه‌شمال و جنوب مسکن معاصر بر انرژی ساختمان، بهینه‌سازی WWR بر اثر متغیرهای (U, SHGC, SHADING) و تعیین سطح بهینه، انجام شده است. جامعه آماری این پژوهش در بخش اول خانه‌های منتخب مسکن سنتی شهر همدان و برای شبیه‌سازی مسکن معاصر، الگوی قطعات شمالی و جنوبی در بافت جدید (الگوی متعارف خطی) است. یافته‌ها نشان داد؛ خانه‌های سنتی شهر همدان در جبهه جنوبی به دلیل دریافت تابش نور بیشتر خورشید در اقلیم سرد، دارای WWR بیشتری نسبت به جبهه روبه‌شمال و در حدود ۶۵/۴ درصد، سطح جدار شیشه‌ای بیشتری دارد. در بافت معاصر شهر همدان، افزودن پنجره‌ها به دیوارهای روبه جنوب باعث کاهش انرژی گرمایشی، روشنایی و نهایی و دیوارهای روبه‌شمال افزایش انرژی سرمایشی، گرمایشی و نهایی می‌گردد. جبهه رو به جنوب نسبت به جبهه روبه‌شمال با کاهش انرژی نهایی (۲۱/۵۵-٪) عملکرد حرارتی بهتری دارد. در اقلیم سرد هرچه مقدار U و SHGC کمتر باشد، مصرف انرژی کمتر و نوع رابطه مستقیم است. برای جبهه شمالی، ایجاد سایه‌بان (Shading) تأثیری در میزان مصرف انرژی ندارد. اما برای جبهه جنوبی سایه‌بان ثابت افقی و ترکیبی مؤثر بوده و باعث کاهش انرژی سرمایشی و افزایش انرژی گرمایشی می‌شود؛ بنابراین برای جلوگیری از افزایش انرژی گرمایشی بر اثر ایجاد سایه‌بان ثابت، می‌توان از سایه‌بان متحرک استفاده کرد یا بهتر است با افزایش فاصله عمودی سایه‌بان از بالای پنجره، میزان مصرف انرژی گرمایشی کاهش یابد. در جبهه جنوبی، سطح بهینه پنجره به دیوار برابر $WWR=۶۰\%$ دارای کاهش بار نهایی به مقدار $۱۸/۵۲-$ درصد و در جبهه روبه‌شمال $WWR=۴۰\%$ دارای کاهش بار نهایی $۸/۳۸-$ درصد است. بر اساس نتایج، پیشنهاد بازنگری در پیوست ۱۰ مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان ارائه شده است.

واژگان کلیدی: پارامترهای هندسی پنجره، جبهه شمالی و جنوبی، عملکرد حرارتی، شهر همدان

۱. مقدمه

مطالعه عملکرد حرارتی ساختمان‌ها، از موضوعات بسیار مهمی در محافل علمی و پژوهشی است. اهداف اصلی این مطالعات؛ کاهش مصرف انرژی (سرمایشی، گرمایشی و روشنایی)، کاهش انتشار کربن، کاهش هزینه انرژی و توسعه منابع انرژی پایدار است. در اکثر مطالعات آمده است که؛ مصرف انرژی در ساختمان، سهم مهمی از تقاضای انرژی در جهان را دارد (Alghoul et al, 2017). به طوری که مصرف انرژی توسط ساختمان‌های مسکونی و تجاری در کشورهای پیشرفته ۲۰ تا ۴۰ درصد و در بعضی از کشورهای در حال توسعه بیش از ۴۰ درصد است

(Alghoul et al, 2016). انتظار می‌رود تقاضای انرژی ساختمان در دهه‌های آینده باتوجه به توسعه شهرها، افزایش یابد. علاوه بر این، همه‌گیری کووید ۱۹ و تغییر در زمان‌بندی اشغال ساختمان باعث تأثیر مستقیم بر مصرف انرژی ساختمان شده است (Sadooghi, 2022)؛ بنابراین، توجه بیشتر به پتانسیل‌های صرفه‌جویی انرژی در ساختمان‌ها از طریق بهبود کارایی اجزای ساختمان برای به‌دست‌آوردن تقاضای کم‌انرژی ضروری است. در ساختمان‌های مسکونی، عملکرد انرژی ساختمان‌ها، به‌شدت به مشخصات پوسته خارجی، از جمله؛ به هندسه پنجره‌ها بستگی دارد، به طوری که قسمت قابل‌توجهی از انرژی خورشیدی (روشنایی روز و گرمایش طبیعی)، از طریق پنجره‌ها در ساختمان مبادله می‌شود. همچنین پنجره‌ها حدود ۲۰ تا ۴۰ درصد از دست‌دادن انرژی را بر عهده دارند (Lee et al, 2013)؛ بنابراین، پنجره یکی از اصلی‌ترین عواملی است که می‌تواند تقاضای انرژی سرمایشی در تابستان را افزایش و انرژی گرمایشی را در زمستان کاهش دهد. نسبت سطح پنجره به دیوار بستگی زیادی به نظر طراح معماری و خواسته‌های کارفرمایان دارد. از یک طرف؛ توجه به سطح زیاد شیشه در طراحی نما در سراسر جهان با رضایت ذهنی، محبوب شده و از طرف دیگر این نسبت تأثیر عمیقی بر تعادل بین نور روز و انرژی داشته (Shen and Tzempelikos, 2013) و از مؤثرترین عواملی است که بر نتایج شبیه‌سازی انرژی (عملکرد حرارتی) تأثیر می‌گذارد. در بیشتر مناطق گرم و سرد، پنجره‌ها عملکرد متضاد بین نور روز و عملکردهای انرژی را پیش‌بینی می‌کنند. در آب‌وهوای سرد بیش از ۶۰ درصد از کل انرژی از دست‌رفته ساختمان از طریق پنجره‌ها است؛ بنابراین، پنجره‌ها بالاترین پتانسیل را برای بهبود عملکرد کلی انرژی ساختمان‌های جدید و مقاوم‌سازی ساختمان‌ها ارائه می‌دهند؛ لذا

طراحی پنجره باید با برنامه‌ریزی مناسب در جهت اهداف؛ تأمین روشنایی طبیعی و نمای خارجی و همچنین حفظ عملکرد انرژی در ساختمان‌ها باشد. از آنجا که تصمیمات طراحی اتخاذ شده در مراحل اولیه طراحی به طور قابل‌توجهی بر عملکرد حرارتی ساختمان تأثیر می‌گذارد، باتوجه به اینکه سیاست‌گذاری و تصمیم‌گیری در مراحل اولیه طراحی بیشترین تأثیر را با کمترین هزینه بر عملکرد حرارتی ساختمان‌ها دارد، مقدار مناسب سطح پنجره در دیوار باید برای نما و پیکربندی حجم ساختمان در این مرحله انتخاب شود (Cerezo et al, 2014). استفاده از تکنیک‌های شبیه‌سازی پارامتریک می‌تواند تیم طراحی را در مراحل اولیه طراحی هدایت کند؛ لذا، مطالعه فوق بر پایه شبیه‌سازی انرژی انجام شده است. هدف از این پژوهش توجه به یکی از موارد طراحی در نمای مسکن شهری همدان است که در قالب تأثیر نسبت سطح پنجره به دیوار دو جبهه رو به جنوب و شمال بر میزان مصرف انرژی مطرح می‌گردد. به عبارتی اثر نسبت‌های مختلف (WWR)^۲ بر عملکرد حرارتی مجتمع‌های مسکونی در جهت کاهش مصرف انرژی چگونه است؟ برای رسیدن به پاسخ پرسش، سه پرسش فرعی پژوهش بیان می‌گردد. پرسش اول: آیا تفاوتی در نسبت سطح پنجره (WWR) به دیوار در نماهای رو به جنوب و شمال خانه‌های سنتی شهر همدان وجود دارد؟ پرسش دوم: تفاوت اثر (WWR) نمای جبهه رو به جنوب و شمال بافت معاصر بر مصرف انرژی سرمایشی، گرمایشی و روشنایی چگونه است؟ پرسش سوم: نسبت بهینه (WWR) در جبهه روبه‌شمال و جنوب اقلیم سرد شهر همدان چه مقدار است؟ پاسخ‌گویی به پرسش اول، باتوجه به بازدید میدانی و بررسی نقشه‌ها و ترسیم نماها از خانه‌های منتخب سنتی شهر همدان انجام شده است. در پرسش دوم، نسبت‌های مختلف سطح پنجره به دیوار، با استفاده از شبیه‌سازی انرژی مورد بررسی و تحلیل آماری و مقایسه با الگوی بدون باز شو قرار گرفته و الگوی مطلوب تعیین می‌گردد. پاسخ به پرسش سوم، با شبیه‌سازی سطح مطلوب پنجره به دیوار (منتخب مرحله قبل) با جای‌گشت‌های متغیرهای مستقل مختلف؛ مشخصات شیشه و سایه‌سازها (بدنه ساختمان، سایه‌بان دور پنجره) در نسبت‌های مختلف (WWR) و تحلیل آماری، نسبت بهینه برای هر یک از انواع پنجره‌ها به دست می‌آید و پاسخ به این پرسش می‌تواند کمک فراوانی در طراحی سطح پنجره در نمای شهری باشد؛

بنابراین نسبت سطح پنجره به دیوار و پارامترهای هندسی آن، به‌عنوان متغیر مستقل، و میزان مصرف انرژی، متغیر وابسته است.

۲. پیشینه پژوهش

بر اساس مطالعات انجام شده، محققان و پژوهشگران در بررسی و تبیین شاخص‌های مؤثر بر عملکرد حرارتی ساختمان بلوک‌های شهری، متغیرهای مختلفی را باتوجه‌به مقیاس پژوهش (کلان، میانی و خرد) مورد بررسی قرار داده‌اند. این متغیرها در مقیاس خرد (تک‌بنا)، شامل: شکل ساختمانی، مصالح جداره‌ها، سطح بازشوها به دیوار و جانمایی فضاها بر اساس چرخه خورشیدی، قابل تفکیک هستند. از بین این موارد ویژگی‌های مولفه‌ی پنجره در مطالعات مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است. در این مطالعات؛ شاخص (WWR) (Goia, 2016)؛ Mester et al, 2020؛ Phillipset al, 2020؛ Chi et al, 2020؛ Xue et al, 2019؛ 2021؛ اثر ویژگی‌های پنجره (U، SHGC)؛ VLt (Bhatia et al, 2019)؛ Carlos & Corvacho, 2015؛ Gastines & Elvira.Pattini, 2020؛ تأثیر جهت خورشیدی انتخاب شده (Rizki et al, 2016؛ Master et al, 2015)؛ Monteiro et al, 2021؛ Alghual et al, 2020؛ Chi et al, 2020؛ Danis et al, 2022؛ Zhao & Du, 2017؛ سایه‌اندازی (Zheng et al, 2020، 2020)؛ در اقلیم‌های متفاوت برای کاربری‌های اداری، مسکونی، تجاری و آموزشی مورد بررسی قرار گرفته است. در میان همه عناصر دخیل در طراحی نما، نسبت پنجره به دیوار (WWR) -نسبت بین سطح شفاف و سطح کل نما- پارامتری است که تأثیر عمیقی بر تعادل بین نور روز و انرژی دارد (Shen & Tzempelikos, 2013). در مطالعه نسبت مطلوب پنجره به دیوار (WWR) در ساختمان اداری برای جبهه رو به شرق ۴۴/۴۷٪، برای جبهه رو به جنوب ۵۰/۵۸٪، جبهه رو به غرب ۴۴/۳۷٪ و جبهه رو به شمال ۴۰/۹۵٪ تعیین گردید (Yeom et al, 2020). فلاح در مطالعه خود نسبت بهینه پنجره به دیوار در جبهه جنوبی دیوار در شهر کرمان، در صورت استفاده از شیشه‌های تک‌جداره برابر ۱۵٪ و در صورت استفاده از پنجره دوجداره برابر ۳۰٪ برای ساختمان‌های آموزشی تعیین کرد (Fallah, 2019). شنگ و همکارانش در مطالعه خود برای شهر سردسیر شینانگ نسبت سطح پنجره به دیوار برای جهت شرقی (غربی) بین ۱۰٪-۱۵٪، و جنوب و شمال را بین ۱۰٪-۲۲/۵٪، به دست آوردند. مطابق با نتایج پژوهش گویا و همکاران، زمانی که WWR برای چهار نما در محدوده بهینه ۴۵-۳۵ درصد باشند مصرف انرژی ساختمان

به حداقل می‌رسد (Goia et al, 2013). کریه‌پور و همکاران نسبت بهینه پنجره به دیوار راه برای شهر تهران در جهت شمالی، شرقی، جنوبی و غربی با استفاده از انواع شیشه‌ها (تک‌جداره و سه‌جداره) به ترتیب ۵ الی ۱۰ درصد، ۱۵ الی ۲۰ درصد، ۲۵ الی ۴۵ درصد و ۱۰ الی ۲۰ درصد به دست آوردند (Karimpour, et al, 2019). ریزکی و همکارانش (Rizki, et al, 2016) در مطالعه خود بهترین WWR را ۳۰٪ و در جبهه جنوب برای عملکرد بهینه ساختمان می‌داند. ژيو و همکارانش در مطالعه دریافتند که سایبان‌های آفتابگیر افقی و عمودی بهترین عملکرد انرژی را دارند. با یک سایه‌بان ۱/۸ متری WWR برای واحدهای غربی، شمالی، شرقی و جنوبی می‌تواند به ترتیب به ۵۶٪، ۱۶٪، ۷۸٪ و ۷۸٪ برسد (Xue et al, 2019). منگکوتو و همکاران تأثیر WWR و جهت پنجره را بر معیارهای مختلف نور روز و تقاضای انرژی روشنایی بررسی کرده و بهترین راه‌حل ترکیبی از (WWR=۰/۳) و جهت جنوبی یافت شد (Mangkuto et al, 2016). فنگ و همکاران تأثیر WWR را برای ساختمان‌های صفر انرژی مطالعه کرده‌اند و نتایج نشان داد که سطح تأثیر WWR بر مصرف انرژی به ترتیب در جهت‌های شرق غرب جنوب و شمال است (Feng et al, 2017). آنچه به نظر می‌رسد تفاوت سطح بهینه در جبهه شمالی با جنوبی است (جدول ۱). طبق تحلیل آماری میانگین (WWR) در مطالعات گذشته برای جبهه رو به جنوب ۴۵٪ و در محدوده ۱۵-۷۸ درصد و جبهه رو به شمال ۲۲٪ و در محدوده ۴-۶۰ درصد است. آزمون تی مستقل نشان داد؛ تفاوت معنی‌داری در بین مقدار (WWR) در دو جبهه شمال و جنوبی وجود دارد (P=۰/۰۰۶ و df=۳۲-۱ و t=-۸/۶۸) جبهه رو به جنوب نسبت به جبهه رو به شمال افزایش دو برابری (WWR) را دارد. همچنین این اختلاف باتوجه‌به مطالعات و بررسی این شاخص‌ها در بنای منفرد و بدون در نظر گرفته مجاورت و همسایگی در مدلسازی است. لذا در این مطالعه اثر مجاورت و همسایگی در نظر گرفته شده است.

جدول ۱. نمونه‌هایی از مطالعات پیشینه در تعیین WWR بهینه نمای ساختمان

(نگارنده)

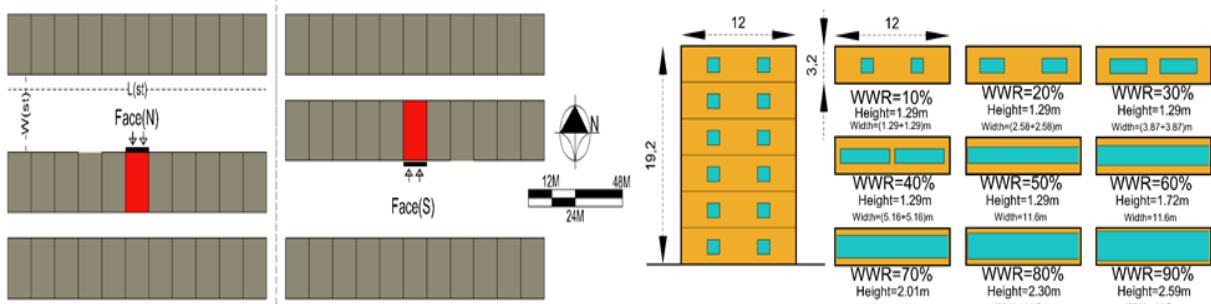
WWR(%)				عنوان پژوهش	نویسندگان
۳۰	۴۸	۱۰	۴۴		
-	-	۴۸	۳۰	Thermal zoning and window optimization framework for high-rise buildings	Meseret T.Kahsaya, Girma T.Bitsuamlaka, FitsumTarikub
۳۷	۴۴	۵۸	۹۵	Determining the optimal window size of office buildings	Seungkeun Yeom, Hakpyeong

-	-	۱۹	۴	بهینه‌سازی ابعاد پنجره باتوجه به عوامل نور و حرارت در ساختمان‌های مسکونی اقلیم سرد؛ مورد مطالعاتی: شهر ایلام	میلاذ حیرانی پور، ریما فیاض، مجتبی مهدوی‌نیا	considering the workers' task performance and the building's energy consumption	Kim, Taehoon Hong, Minhyun Lee
-	-	۳۰	-	Design optimization for window size, orientation, and wall reflectance about various daylight metrics and lighting energy demand: A case study of buildings in the tropics	Rizki A. Mangk uto Mardiyah tu r Rohmah Anind ya Dian Asri	Optimization of window-to-wall ratio with sunshades in China low latitude region considering daylighting and energy-saving requirements	Peng Xue, Qian Li, Jingchao Xie, Mengjing Zhao, Jiaping Liu
-	-	۳۵	۲۰	Application of the multi- objective genetic algorithm to optimize efficiency and thermal comfort in building design.	Yu W, Li B, Jia H, Zhang M, Wang D.	تحلیل‌های اقتصادی و ارزیابی میزان مصرف انرژی بر اساس نوع و نسبت پنجره‌ها با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی مطالعه موردی: ک واحد مسکونی نمونه در شهر تهران	علیرضا کریم‌پور، درباب دبی، ایرج اعتصام
-	-	۳۵	-	Search for the Optimal Window-to- wall Ratio in Office Buildings in Different European Climates and the Implications on Total Energy Saving Potential	Goia, F	تعیین نسبت بهینه پنجره به دیوار در جبهه جنوبی ساختمان‌های آموزشی در کرمان	حسین فلاح
-	-	۴۵	-			ارزیابی کاهش مصرف انرژی در ساختمان مسکونی باتوجه به جهت‌گیری بهینه و درصد بازشوها در شهر انزلی	سپیده راستی، محسن روشن

۳. روش پژوهش

کولموگروف - اسمیرنوف^۸، رابطه خطی (بررسی ضریب همبستگی پیرسون) و یکسانی پراکندگی داده‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای بررسی تفاوت میانگین بین انواع متغیرها با هم و آزمون تعقیبی^۹، از آزمون؛ پراکندگی داده‌ها استفاده‌اش که در صورت برابری واریانس‌ها^{۱۰} از آزمون؛ تعقیبی توکی^{۱۱} و در صورت نابرابری واریانس‌ها؛ آزمون جیمز هوئل^{۱۲} استفاده شده است. جامعه آماری این پژوهش در بخش اول خانه‌های منتخب مسکن سنتی شهر همدان (اواخر قاجار و پهلوی اول) و برای شبیه‌سازی مسکن معاصر، الگوی قطعات شمالی و جنوبی در بافت جدید (الگوی متعارف خطی) با مساحت ۲۴۰ مترمربع در هر قطعه و سطح اشغال ۱۶۴ مترمربع است (تصویر ۱).

باتوجه به ماهیت کاربردی این مطالعه، نوع پژوهش را باید در حوزه پژوهش‌های کاربردی و بازنگری ضوابط کمیته سیما و منظر شهرداری، در راستای برنامه‌ریزی نمای شهر دانست. نتیجه این مطالعه می‌تواند راهنمای مناسبی برای طراحان معماری شهر همدان در جهت ارائه طرح نمای ساختمان‌ها با مشخصات مقدار جداره شیشه به کمیته سیما و منظر شهرداری باشد. نوع مطالعه کمی و بر اساس داده‌های عددی سطح پنجره به دیوار (WWR) و داده‌های عددی شبیه‌سازی انرژی است. در تحلیل داده‌ها از تحلیل ضریب همبستگی پیرسون^۶، تحلیل مقایسه^۷ واریانس^۷ و آزمون‌های تعقیبی برای تعیین رابطه بین متغیرها و تعیین سطح بهینه (WWR) بهره گرفته شده است. جهت بررسی و تحلیل نتایج شبیه‌سازی، پیش‌فرض‌های آماری همچون؛ نرمال بودن (آزمون



تصویر ۱. سمت راست: مشخصات هندسی سطح پنجره به دیوار (H/W) - سمت چپ: مشخصات هندسه بستر شبیه‌سازی (نگارنده)

مراحل پژوهش، در پنج بخش اصلی و یازده مرحله است (تصویر ۲). در این پژوهش، برای تهیه اسناد نمای خانه‌های تاریخی از نرم‌افزار اتوکد^۳، تحلیل اقلیمی شهر همدان نرم‌افزار کلایمت کانسالتنت^۴، مطالعات شبیه‌سازی انرژی نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر^۵ نسخه (۱۴۸، ۵، ۰، ۴، ۰) و برای ترسیم نمودارها و تحلیل‌های آماری از نرم‌افزار اکسل و اس پی اس بهره گرفته شده است. در بافت جدید (معاصر) شهر همدان، ساختمان مجاور خیابان ۱۰ متری (با بیشترین فراوانی ۵۹/۸ درصد) با ارتفاع ۶ طبقه

مرحله سوم: بررسی محدوده مورد مطالعه: شهر همدان
مرحله چهارم: تحلیل اقلیمی شهر همدان (دما و تابش)
مرحله پنجم: سطح پنجره به دیوار در جبهه شمالی و جنوبی مسکن سنتی
مرحله ششم: تعیین مدل و الگو برای شبیه‌سازی بافت جدید شهر همدان



تصویر ۲. مراحل انجام پژوهش (نگارنده)

در اقلیم گرم، تا ۵۰ درصد از بار سرمایشی ساختمان می‌تواند از مقدار زیادی انرژی خورشیدی عبوری از شیشه‌های پنجره ناشی شود و در اقلیم سرد بیش از ۶۰ درصد از کل انرژی از دست‌رفته ساختمان به پنجره‌ها نسبت داده می‌شود. بنابراین، پنجره‌ها بالاترین پتانسیل را برای بهبود عملکرد کلی انرژی ساختمان‌های جدید را فراهم می‌کنند، لذا پژوهش‌ها برای یافتن پیکربندی بهینه پنجره و تأثیر آن بر عملکرد انرژی ساختمان از مدت‌ها پیش، توسط محققان زیادی انجام شده است (Aburas

۴. مبانی نظری پژوهش (شاخص‌های پارامتر پنجره)

پنجره‌ها، زیبایی ساختمان (جلوه بیرونی) را شکل می‌دهند، نور روز را پذیرفته، چشم‌اندازها را فراهم می‌کنند. پنجره‌ها به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اجزای ساختمان به دلیل، تأثیر مثبت آنها بر سلامتی و رفاه ساکنان ساختمان شناخته می‌شوند. علاوه بر این، پنجره‌ها نه تنها در تأمین نور روز و منظره، بلکه در شکل‌دهی به کل انرژی موردنیاز ساختمان‌ها نیز نقش مهمی ایفا می‌کنند.

شرایط اقلیمی منطقه، جهت استقرار جغرافیایی دیوار و مشخصات هندسه پنجره (U-SHGC-Tv) است (Banihashemi et al, 2015; Alwetaishi, 2019; Goia, 2016; Pai & Siddhartha, 2015). در بعضی مناطق باتوجه به جهت استقرار جغرافیایی، مقدار کم (WWR) و بعضی مناطق، مقدار زیاد (WWR)، دارای عملکرد بهینه‌تر است. در جدول ۲ شاخص‌ها و معیارهای هندسی پنجره، مؤثر بر عملکرد حرارتی قطعات مسکونی، باتوجه به تحلیل پیشینه و مبانی نظری آمده است.

جدول ۲. شاخص‌ها و معیارهای هندسی پنجره (نگارنده)

معیار	شاخص	نام‌گذاری
مقیاس کل	جهت جغرافیایی جبهه نمای شمالی	F(N)
	جهت جغرافیایی جبهه نمای شمالی	F(S)
	درصد سطح باز شو در نما	WWR
مقیاس جزء	موقعیت پنجره در ضخامت دیوار سایه بان افقی - عمودی - ترکیبی	S.W.W Shading.Hor-Ver-Com
	فاصله استقرار سایه بان افقی بالای پنجره	d.sha.hor-ver-com
	ضریب انتقال حرارت شیشه	U-Value
	جذب تابش خورشیدی	SHGC
	ضریب انتقال روشنایی	L.Ttra

۵. یافته‌ها

۵-۱. بررسی مقدار سطح پنجره به دیوار (WWR) در جبهه شمالی و جنوبی خانه‌های سنتی شهر همدان

خانه‌های موجود در محدوده تاریخی شهر به‌عنوان نمونه‌های مورد مطالعه انتخاب گردیده است. تعداد خانه‌های تاریخی موجود در شهر همدان ۹۰ مورد می‌باشد که بعضی بدون نقشه و اسناد بوده و متأسفانه مورد تخریب قرار گرفته است لذا با حذف تعدادی از فهرست اولیه، در نهایت تعداد ۳۳ خانه که قدمت آن‌ها به دوره قاجار و پهلوی اول می‌رسد انتخاب و باتوجه به سطح اشغال؛ یک، دو، سه و چهار جبهه ساخت و دارای یک جبهه نما الی ۴ جبهه نما هستند. در این مطالعه

(Liu et al., 2021; Ferla et al., 2020; et al., 2021; Saadatian et al., 2021). مطالعات قبلی نشان داده‌اند که: طراحی و انتخاب یک سیستم پنجره مناسب، یکی از استراتژی‌های غیرفعال ضروری برای، صرفه‌جویی در انرژی ساختمان‌ها است. پنجره نوع خاصی از اجزا پوسته ساختمانی است که، ضریب انتقال حرارت کلی آن حدود، پنج برابر بیشتر از سایر اجزای پوشش ساختمان است و تا ۶۰ درصد از کل انرژی مصرفی یک ساختمان را برای روشنایی روز و افزایش جذب تابش خورشیدی بر عهده دارد (Lee et al, 2013). برای به حداقل رساندن مصرف انرژی یک ساختمان، یک پنجره باید تابش خورشید را در تابستان به حداقل برساند، اما افزایش گرمای خورشیدی را در زمستان به حداکثر رسانده و به طور همزمان، نور روز و تهویه طبیعی مناسب را تامین کند. نسبت پنجره به دیوار (WWR) در بسیاری از ویژگی‌ها ساختمان از جمله؛ اندازه پنجره (ارتباط فیزیکی / بصری با نمای بیرونی)، انتقال حرارت (هدایت)، افزایش گرمای خورشیدی (تابش)، نشت‌هوا یا تهویه (نفوذ) و روشنایی روز (جبران تقاضای روشنایی) بر مصرف انرژی ساختمان اثر می‌گذارد (Islam et al, 2014). برای تعیین میزان تأثیر WWR بر انرژی، کتاب اشری یک معادله سه بعدی ساده، برای محاسبه جریان انرژی از طریق پنجره‌ها، بر اساس ترکیبی از خواص فیزیکی پنجره از جمله؛ ضریب افزایش حرارت خورشیدی (SHGC)، انتقال بصری (Tv) و رسانایی حرارتی (U-value) و شرایط آب و هوایی ارائه می‌دهد (ASHRAE, 2017). هر معادله تابعی است که بر یک نوع انرژی ساختمان تاکید می‌کند و شرایط اقلیمی محل بر آن مؤثر است. با این حال پژوهش‌های متعدد مبتنی بر شبیه‌سازی، برای تعیین WWR مطلوب در شرایط مختلف، تلاش کرده‌اند و برخی از WWR پیشنهادی، کمتر از ۴۰٪، مصرف انرژی را به حداقل می‌رسانند. اما با این وجود، WWR همچنان یک موضوع مهم در طراحی و بهره‌برداری ساختمان است. پیشنهادات برای حداکثر WWR در پژوهش‌های مختلف با اختلاف نظرهایی روبرو شده است که ماحصل بررسی انواع شاخص‌ها و معیارها است. عمده این اختلاف‌ها مربوط به

فضاهایی که از یک جبهه نور میگیرند مدنظر بوده، لذا تعداد ۲۰ خانه که دارای جبهه روبه‌شمال و جنوب هستند از سه دسته یک، دو و سه جبهه ساخت انتخاب شده است. مشخصات هندسه پنجره روبه‌شمال و جنوب بر مبنای منابع مرتبط و اسناد کتابخانه‌ای، نقشه‌های سازمان میراث‌فرهنگی و برداشت‌های میدانی استخراج و تدوین گردیده است (جدول ۳). باتوجه به شاخص‌های آماری استخراج از داده‌های به‌دست‌آمده، مشاهده می‌گردد برای جبهه رو به جنوب، (WWR) در ۱۸ باب خانه، دارای بیشترین مقدار ۵۳ درصد و کمترین؛ ۲۹/۲ درصد و مقدار میانگین ۳۹/۷ درصد و جبهه روبه‌شمال در ۱۰ باب خانه دارای بیشترین مقدار ۳۳ درصد و کمترین مقدار ۱۴/۹ درصد و مقدار میانگین ۲۶ درصد است. انحراف استاندارد نشان‌دهنده عدم تفاوت دامنه پراکندگی سطح پنجره به دیوار WWR در هر دو جبهه را نشان می‌دهد، اما اختلاف میانگین هر دو جبهه مقدار ۱۳/۷ است همان‌طور که مشاهده می‌گردد جبهه جنوبی به دلیل دریافت تابش نور بیشتر خورشید در اقلیم سرد شهر همدان دارای WWR بیشتر نسبت به جبهه روبه‌شمال و در حدود ۶۵/۴ درصد سطح جدار شیشه‌ی بیشتری دارد.

جدول ۳. نام و مشخصات کالبدی خانه‌های منتخب تاریخی شهر همدان (نگارنده)

ردیف	خانه	تعداد پنجره	WWR				نسبت عرض به ارتفاع بازشوها	تناسب بازشوها	دوره ساخت	نوع الگو ساختمان
			شمالی	جنوبی	شرقی	غربی				
۱	خانه انتظام	۲	-	۰/۴۲	۰/۲۳	۰/۱۲-۰/۰۷	عمودی - افقی	قاجار	دو طرف ساخت	
۲	خانه پرسپاوشان	۲	۰/۲۵	۰/۲۹	-	۰/۴۵	عمودی	قاجار	سه طرف ساخت	
۳	خانه تاج‌بخشیان	۳	-	۰/۲۹	-	۰/۱-۰/۵۵	عمودی - افقی	پهلوی اول	دو طرف ساخت	
۴	خانه سماوات	۲	-	۰/۴۷	-	۰/۵	عمودی	قاجار	یک طرف ساخت	
۵	خانه شه‌بازیان	۲	۰/۲۶	۰/۲۹	۰/۱۹	۰/۶۵-۰/۵۵	عمودی	قاجار	دو طرف ساخت	
۶	خانه عراقچی	۳	۰/۲۸	۰/۴۵	۰/۰۷	۰/۲-۰/۵۵	عمودی - افقی	پهلوی اول	یک طرف ساخت	
۷	خانه غسنفری	۳	-	۰/۲۴	-	۰/۴-۰/۵۵	عمودی - افقی	قاجار	دو طرف ساخت	
۸	خانه نراقی	۳	۰/۲۷	۰/۲۸	۰/۳	۰/۹-۰/۵۵	عمودی	قاجار	چهار طرف ساخت	
۹	خانه ناییبی	۳	۰/۲۹	۰/۳۷	۰/۸	۰/۶۵	عمودی	پهلوی اول	دو طرف ساخت	
۱۰	خانه فیضی	۲	-	۰/۲۸	-	۰/۵۵	عمودی	پهلوی اول	دو طرف ساخت	
۱۱	خانه عبادی	۳	۰/۲۳	۰/۲۰	۰/۲۸	۰/۸-۰/۵۵	عمودی	قاجار	برون‌گرا (وسط زمین)	
۱۲	خانه ضرابی	۳	۰/۳۳	۰/۳۳	-	۰/۶۵-۰/۵	عمودی	پهلوی اول	دو طرف ساخت	
۱۳	خانه صابریون	۲	-	۰/۲۴	۰/۰۸	۰/۶۵	عمودی	قاجار	برون‌گرا (وسط زمین)	
۱۹	خانه شریفی	۲	-	۰/۲۳	-	۰/۵۵	عمودی	قاجار	یک طرف ساخت	

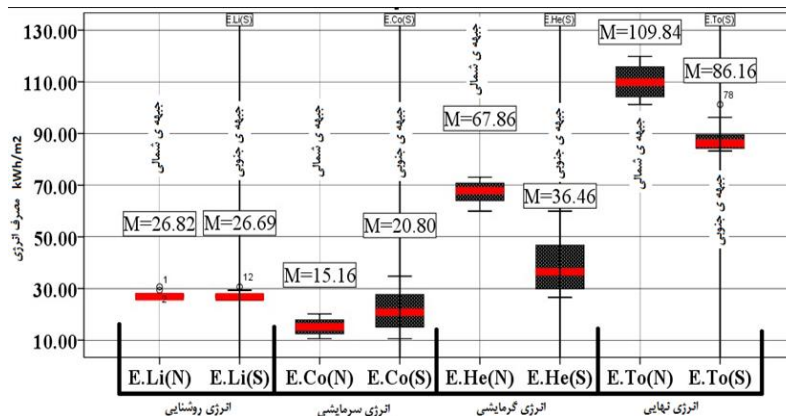
۱۴	خانه ابراهیم شرفی	۲	-	۰/۳۶	-	-	۰/۸-۰/۶	عمودی	قاجار	یک طرف ساخت
۱۵	خانه سیفی	۲	-	۰/۵۲	-	-	۰/۶	عمودی	قاجار	دو طرف ساخت
۱۶	خانه خلبنی	۲	۰/۲	۰/۳۸	۰/۱۴	-	۰/۸-۰/۶	عمودی	پهلوی اول	سه طرف ساخت
۱۷	خانه بیژن	۲	-	۰/۵۳	-	-	۰/۶۵-۰/۴	عمودی	قاجار	یک طرف ساخت
۱۸	خانه احمدی	۲	-	۰/۴۷	-	-	۱/۲-۰/۶	عمودی - افقی	قاجار	یک طرف ساخت
۱۹	خانه چیت‌ساز	۳	۰/۱۴۹	۰/۳۷	-	-	۰/۵-۰/۶	عمودی	پهلوی اول	یک طرف ساخت

۲-۵. مطالعات شبیه‌سازی WWR در جبهه

روبه‌شمال و جنوب مسکن معاصر

در روند شبیه‌سازی، عوامل مداخله‌گر مانند: سیستم گرمایش و سرمایش، نوع روشنایی مصنوعی و مصالح ساختمانی جداره‌ها، در تمام مدل‌ها، یکسان وارد شده و داده‌های اقلیمی شهر همدان بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده سه‌ساعته سازمان هواشناسی برای دوره ۱۹۹۷-۲۰۱۷ شهر همدان (۲۱ سال) تهیه شده است. ابتدا شبیه‌سازی مدل‌ها در دو جهت نمای روبه‌شمال و جنوب انجام پذیرفت و بر اساس نتایج این مرحله، بهینه‌سازی (WWR) در دو جبهه بر اساس شاخص‌های سایه-اندازی و مشخصات جداره شیشه در هر دو جبهه جهت تعیین سطح بهینه انجام پذیرفت. با شبیه‌سازی دو جبهه نمای؛ روبه‌شمال ($F(N)$) و جنوب ($F(S)$) در نسبت‌های مختلف سطح پنجره به دیوار (۱۰۰٪ الی ۰٪) ($WWR=%$) (تصویر ۳) مقدار مصرف انرژی گرمایشی (E_{HE})، سرمایشی (E_{CO})، روشنایی (E_{LI}) و نهایی (E_{TO}) بر اساس کیلووات-ساعت بر مترمربع در سال تعیین گردید. طبق نمودار، میانگین انرژی روشنایی در هر دو جبهه بسیار به همدیگر نزدیک هست (۲۶/۶۹، $M(E_{LI})=۲۶/۸۲$). آزمون t مستقل نشان داد تفاوت معنی‌داری در بین

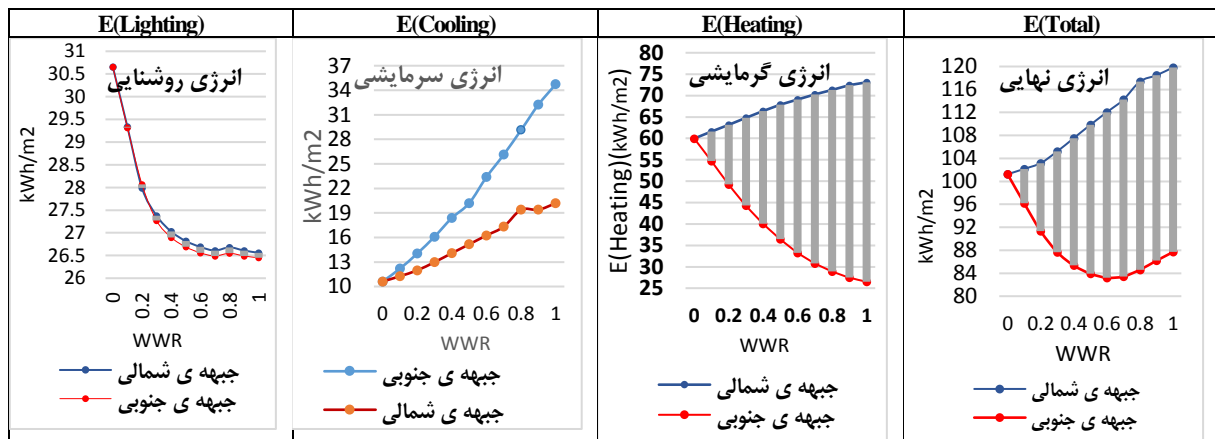
مصرف انرژی روشنایی در دو جبهه وجود ندارد ($P=۰/۸۸۸$ و $df=۲۰$ و $t=۱/۴۳$) لذا جهت جغرافیایی استقرار جبهه نما، تأثیری در میزان مصرف انرژی روشنایی ندارد. برای انرژی سرمایشی، گرمایشی و نهایی انحراف استاندارد نشان‌دهنده تفاوت دامنه پراکندگی داده‌ها بیشتر در جبهه رو به جنوب نسبت به شمال را نشان می‌دهد ($S_{std}(CO)=۸/۲-۳/۳۳$ - $S_{std}(het)=۱۱/۴۷-۴/۴۶$) آزمون t مستقل نشان داد؛ تفاوت معنی-داری در بین مصرف انرژی سرمایشی، گرمایشی و نهایی در دو جبهه شمال و جنوبی وجود دارد ($P=۰/۰۳۳$ و $df=۱۳/۲۰۹$ و $t=-۲/۳۸۴$) - E_{CO} : ($P=۰/۰۰$ و $df=۱۲/۹۶$ و $t=۷/۵۵$) - E_{HE} : ($P=۰/۰۰۰$ و $df=۲۰$ و $t=۸/۱۳۱$) E_{TO} : جبهه رو به جنوب نسبت به جبهه روبه‌شمال برای انرژی سرمایشی افزایش ۳۷/۲٪ و با اختلاف $(kWh/m^2)=۵/۶۴$ انرژی گرمایشی کاهش ۴۶/۲٪ و با اختلاف $(kWh/m^2)=۳۱/۴$ ، انرژی نهایی با کاهش ۲۱/۵۵ و با اختلاف $(kWh/m^2)=۲۳/۶۸$ است. علت افزایش انرژی سرمایشی جبهه جنوبی، فرارگرفتن در معرض تابش مستقیم بیشتر در تابستان هست. با بررسی جذب تابش خورشید در این نما مشخص گردید در جبهه رو به جنوب میانگین جذب تابش خورشیدی در سال $(Wh/m^2.Y)=۷۶۸۸۳$ و جبهه روبه‌شمال $(Wh/m^2.Y)=۲۷۵۶۷$ است که ۱۷۸٪ بیشتر است.



تصویر ۳. دامنه تغییرات مصرف انرژی قطعات شمالی و جنوبی بر اثر تغییرات شاخص (WWR) (نگارنده)

پنجره به دیوار WWR میزان مصرف انرژی گرمایشی، سرمایشی و انرژی نهایی افزایش یافته و نوع رابطه همبستگی مثبت (مستقیم) و با شدت بسیار زیاد و برای انرژی روشنایی همبستگی منفی (معکوس) و با شدت زیاد برقرار است (جدول ۴). در جبهه رو به جنوب با افزایش نسبت سطح پنجره به دیوار WWR میزان مصرف انرژی گرمایشی، روشنایی و انرژی نهایی کاهش یافته و نوع رابطه همبستگی منفی (معکوس) و با شدت بسیار زیاد و برای انرژی سرمایشی همبستگی مثبت (مستقیم) و با شدت زیاد طبق جدول ۴ برقرار است. در این جبهه (جنوبی) با افزایش WWR میزان جذب تابش در زمستان و تابستان افزایش یافته در نتیجه باعث کاهش مصرف انرژی گرمایشی در زمستان و افزایش مصرف سرمایشی در تابستان می‌گردد. به طوری که جذب تابش در زمستان و تابستان برای (WWR=۰/۱) به ترتیب مقدار 4309 Wh/m^2 و 2874 و برای (WWR=۰/۹) مقدار 46888 Wh/m^2 و 31298 و حدود ده برابر است؛ بنابراین افزایش سطح جدار پنجره برای زمستان و توجه به سایه‌سازها برای تابستان ضروری است. میانگین جذب تابش سالانه در جبهه جنوبی به مقدار 84581 Wh/m^2 نسبت به جبهه شمالی به مقدار 30327 Wh/m^2 دارای ۱۷۸ درصد جذب بیشتر تابش خورشیدی است. در نهایت نتایج بیان می‌دارد که شاخص جهت جغرافیایی نما، برای انرژی روشنایی و سرمایشی شبیه هم بوده است و ضریب همبستگی در هر دو با همدیگر با شدت بسیار زیاد است. ولی در انرژی گرمایشی و نهایی باتوجه به تفاوت رابطه ضریب همبستگی، به صورت معکوس است. به عبارتی با افزایش سطح WWR انرژی گرمایشی و نهایی در جبهه رو به جنوب کاهش و در جبهه روبه شمال افزایش می‌یابد (جدول ۴).

باتوجه به اختلاف بین انرژی گرمایشی و سرمایشی دیده شد؛ انرژی گرمایشی ۵/۵۶ برابر انرژی سرمایشی و نسبت به آن دارای ۴۵۶ درصد اهمیت بیشتری داشته، لذا تفاوت مصرف انرژی گرمایشی نشان دهنده‌ی توجه به جذب تابش مستقیم به خصوص در جبهه رو به جنوب در فصل زمستان و اثر آن بر کاهش مصرف گرمایشی است (تصویر ۳). جهت بررسی رابطه بین تغییرات WWR با میزان مصرف انرژی ابتدا به بررسی وجود رابطه خطی (تصویر ۴) پرداخته و سپس از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شده است. مقدار ضریب تعیین R^2 برای ارتباط خطی بین (WWR) و مصرف انرژی روشنایی، سرمایشی و گرمایشی در جبهه روبه شمال به ترتیب (۰/۶۹، ۰/۹۹ و ۰/۹۸) $(R^2=)$ و جبهه رو به جنوب (۰/۷۰، ۰/۹۹، ۰/۹۵) $(R^2=)$ است. در جبهه شمالی به ازای افزایش هر ۰/۱ مقدار WWR (افزایش سطح پنجره)، برای انرژی روشنایی مقدار $(0/33 \text{ kWh/m}^2)$ کاهش مصرف انرژی رخ می‌دهد $(Y=3/384x+29/18)$. برای انرژی سرمایشی و گرمایشی به ترتیب $(1/03, 1/33 \text{ kWh/m}^2)$ افزایش مصرف انرژی روی داده و رگرسیون خطی این نتیجه را در سطح بالاتر از ۰/۹۵ درصد، معنی‌دار برآورد می‌کند $(Y=10/032x+10/22)$ و $(Y=13/387x+60/5)$. در جبهه جنوبی به ازای افزایش هر ۰/۱ مقدار WWR (افزایش سطح پنجره)، برای انرژی روشنایی و گرمایشی مقدار $0/35$ و $0/33 \text{ kWh/m}^2$ کاهش مصرف انرژی رخ می‌دهد $(Y=-3/53x+29/17)$ - $(Y=-3/37x+59/47)$. برای انرژی سرمایشی $(0/1 \text{ kWh/m}^2)$ افزایش مصرف انرژی روی داده و رگرسیون خطی این نتیجه را در سطح بالاتر از ۰/۹۵ درصد، معنی‌دار برآورد می‌کند $(Y=1/03x+9/21)$. نتایج ضریب همبستگی نشان می‌دهد؛ در جبهه شمالی با افزایش نسبت سطح



تصویر ۴. نمودار مصرف انرژی ساختمان دارای نمای جبهه شمالی و جنوبی بر اثر تغییرات شاخص (WWR) (نگارنده)

۰/۱ الی ۱ افزایش مصرف انرژی به مقدار ۰/۹ الی ۱/۴ درصد رخ می‌دهد که تفاوت بین ۰/۱ الی ۰/۲ بسیار کم است. طبق تحلیل یافته‌ها مشخص گردید در جبهه شمالی با افزایش WWR مقدار اتلاف انرژی گرمایشی در زمستان از جداره شفاف پنجره بیشتر می‌شود به طوری که برای WWR از مقدار ۰/۱ الی ۱ مقدار ۶۱/۵۷ به ۳۳/۱ می‌رسد. و همچنین میزان مصرف انرژی سرمایشی از ۱۱/۲۶ به ۲۰/۱۸ افزایش می‌یابد که اتلاف انرژی سرمایشی داخل در تابستان را نشان می‌دهد؛ لذا جهت کاهش اتلاف انرژی توجه به جزئیات مشخصات شیشه پنجره بسیار ضروری است و در بهینه‌سازی باید به نوع مشخصات هندسه شیشه و تعداد لایه‌ها و فاصله بین آنها توجه کرد، بنابراین در مرحله بعد (مطالعات بهینه‌سازی) موارد فوق در هر دو جبهه مورد تحلیل قرار می‌گیرد.

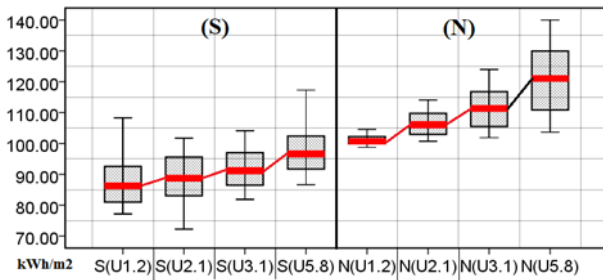
جهت تعیین سطح بهینه WWR در هر یک از جبهه‌ها، میزان مصرف انرژی نهایی با حالتی که مقدار $WWR=0$ باشد مورد مقایسه قرار گرفت. برای جبهه رو به جنوب مقدار $WWR=60\%$ با کمترین میزان مصرف انرژی و با کاهش ۱۸/۰۲ درصد وجود دارد. طبق تحلیل‌ها آنچه در این جبهه (جنوبی) برای بهینه‌سازی مهم است کاهش مصرف انرژی سرمایشی به دلیل جذب مستقیم تابش نور خورشید در تابستان است به طوری که با WWR از مقدار ۰/۱ الی ۱ مقدار مصرف انرژی سرمایشی از ۱۲/۱۸ الی ۳۴/۳۳ افزایش می‌یابد طبق مطالعات پیشین سایه‌زنی یکی از رایج‌ترین استراتژی‌هایی است که طراحان برای بهبود عملکرد نما، در کاهش جذب تابش خورشید استفاده می‌کنند، لذا در بخش بهینه‌سازی توجه به سایه‌سازها برای جبهه جنوبی مورد بررسی و شبیه‌سازی قرار می‌گیرد. برای جبهه روبه‌شمال با افزایش WWR میزان مصرف انرژی افزایش می‌یابد و برای مقدار WWR با مقدار

جدول ۴. ضریب همبستگی و تفسیر آن بین مصرف انرژی قطعات شمالی و جنوبی با تغییرات شاخص (WWR) (نگارنده)

متغیر مستقل	متغیر وابسته	جبهه روبه‌شمال (N)	جبهه رو به جنوب (S)	هر دو جبهه با هم (N,S)
نسبت پنجره به دیوار WWR(%)	انرژی روشنایی	ضریب همبستگی	ضریب همبستگی	ضریب همبستگی
	انرژی گرمایشی	ضریب همبستگی	ضریب همبستگی	ضریب همبستگی
	انرژی سرمایشی	ضریب همبستگی	ضریب همبستگی	ضریب همبستگی
	انرژی نهایی	ضریب همبستگی	ضریب همبستگی	ضریب همبستگی
		رابطه و شدت	رابطه و شدت	رابطه و شدت
		معمکوس و بسیار قوی	معمکوس و بسیار قوی	معمکوس و بسیار قوی
		مستقیم و بسیار قوی	معمکوس و بسیار قوی	معمکوس و ناچیز
		مستقیم و بسیار قوی	مستقیم و بسیار قوی	مستقیم و بسیار قوی
		مستقیم و بسیار قوی	معمکوس و قوی	مستقیم و ناچیز

سرمایشی در تابستان، از سایه‌بان دور پنجره: (افقی، عمودی و ترکیبی) مورد بررسی قرار می‌گیرد. طبق مطالعات پیشین، سه پارامتر کلیدی برای ارزیابی عملکرد جدار شیشه پنجره شامل: میزان انتقال نور مرئی (TV)،

۳-۵. بهینه‌سازی WWR در جبهه روبه‌شمال و جنوب
بهینه‌سازی (WWR) در دو مرحله شکل می‌گیرد. در مرحله اول؛ مشخصات نوع شیشه و در مرحله دوم، جهت کاهش مصرف انرژی



تصویر ۵. نمودار جعبه‌دانه تغییرات انرژی برای هر یک از ضریب انتقال حرارت پنجره‌ها ($U=1/2-2-1-3/1-5/8$) در جبهه روبرو شمال و جنوب بر اساس تغییرات ($WWR=0$ الی 1.0) (نگارنده)

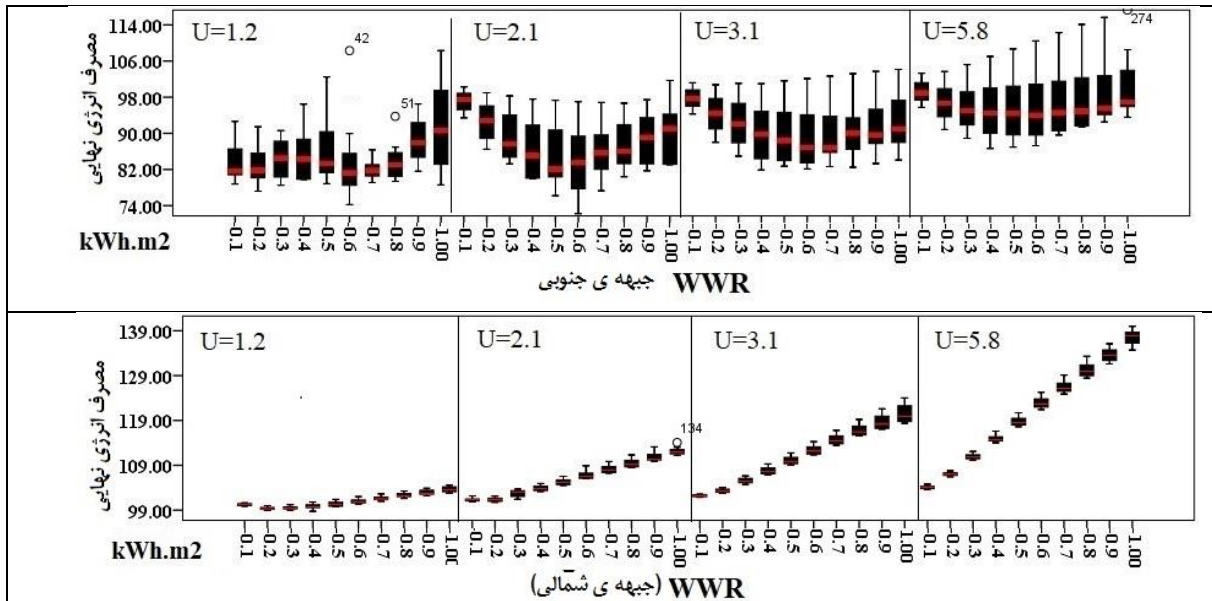
برای جبهه شمالی در ۴ نوع پنجره با ضریب انتقال حرارت متفاوت، بین انواع سطح پنجره به دیوار (WWR) دارای میانگین متفاوتی در مصرف انرژی نهایی هستند ($P=0.000 < 0.01$) (تصویر ۶). با آزمون تعقیبی جیمز هوئل در پنجره ($U=1/2-2/1$)، سطح پنجره به دیوار (0.1 الی 0.3) ($WWR=0.1$) با آزمون توکی در پنجره با ($U=3/1$) سطح پنجره به دیوار ($WWR=0.2, 0.1$) میانگین متفاوتی در میزان مصرف انرژی وجود نداشته و کمترین میزان مصرف انرژی را داراست. در پنجره با ($U=5/8$) این آزمون، نشان می‌دهد که در بین انواع سطح پنجره به دیوار تفاوت معنی‌دار آماری هست. نمودار میانگین مصرف انرژی نشان می‌دهد که ($WWR=0.1$) کمترین میزان مصرف انرژی را دارد (تصویر ۶). در جبهه جنوبی داده‌های آماری انحراف استاندارد ($6/54$ الی $7/17$) نشان می‌دهد که؛ مقدار دامنه پراکندگی داده‌ها در تمام پنجره‌ها به هم نزدیک و یکسان است. پنجره‌ها دارای میانگین مصرف انرژی متفاوتی هستند ($P=0.000$ و $df(276-3)=30/9$) (تصویر ۶). آزمون تعقیبی جیمز هوئل نشان داد تفاوت معنی‌داری در بین مصرف انرژی برای دو نوع پنجره با ضریب انتقال حرارت ($U=2/1-1/2$) وجود ندارد. نمودار میانگین مصرف انرژی نشان داد پنجره با ($U=1/2$) کمترین میانگین مصرف انرژی را داراست. پنجره با ضریب انتقال حرارت ($U=5/8$) نسبت به پنجره با ضریب انتقال حرارت ($U=1/2$) با اختلاف ($10/48$) دارای افزایش مصرف $12/03$ درصد است. نمودار میانگین مصرف انرژی نشان داد پنجره با ($U=1/2$)، ($U=2/1$)، ($U=3/1$) با $WWR=0.6$ و ($U=5/7$) با $WWR=0.4$ کمترین میانگین مصرف انرژی را داراست (تصویر ۷)؛ بنابراین در اقلیم سرد شهر همدان برای جبهه جنوبی تفاوتی در ضریب انتقال حرارتی بین ($U=2/1-1/2$) وجود ندارد و هرچه

ضریب انتقال حرارت (U) و ضریب افزایش گرمای خورشیدی ($SHGC$) است. ضریب انتقال حرارت (U)، میزان اتلاف حرارت از پنجره را نشان می‌دهد. ضریب افزایش گرمای خورشیدی ($SHGC$)، میزان انرژی خورشیدی منتقل شده به صورت مستقیم و غیرمستقیم به داخل ساختمان بوده و عددی بین 0 و 1 است. هرچه این مقدار، بیشتر باشد حرارت بیشتری از خورشید به داخل انتقال می‌یابد. با در نظر گرفتن جای گشت‌های مربوط به ضریب افزایش گرمای خورشیدی (7 حالت؛ 0.2 الی 0.8)، ضریب انتقال حرارت پنجره در چهار حالت ($1/2, 2/1, 3/1, 5/8$) در 10 نسبت مختلف پنجره به دیوار (10 الی 100 درصد) ($WWR=$)، 280 مدل مختلف برای هر جبهه نما و در مجموع در دو جبهه 560 مرتبه شبیه‌سازی انجام شد. با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، مقدار sig برای نتایج مصرف انرژی ساختمان حاصل از تغییرات هر یک از متغیرهای، ضریب انتقال حرارت پنجره (U)، ضریب جذب تابش خورشیدی ($SHGC$) در نسبت‌های مختلف سطح پنجره به دیوار (WWR) بیش از 0.001 است، در نتیجه نرمال بودن داده‌ها مورد تأیید قرار گرفت. همچنین با ترسیم نمودار پراکندگی متغیرها به صورت دوه‌دو، رابطه خطی داده‌ها (نوع، جهت و شدت رابطه) مشخص گردید که در بررسی ضریب همبستگی بین (U)، ($SHGC$) و (WWR) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

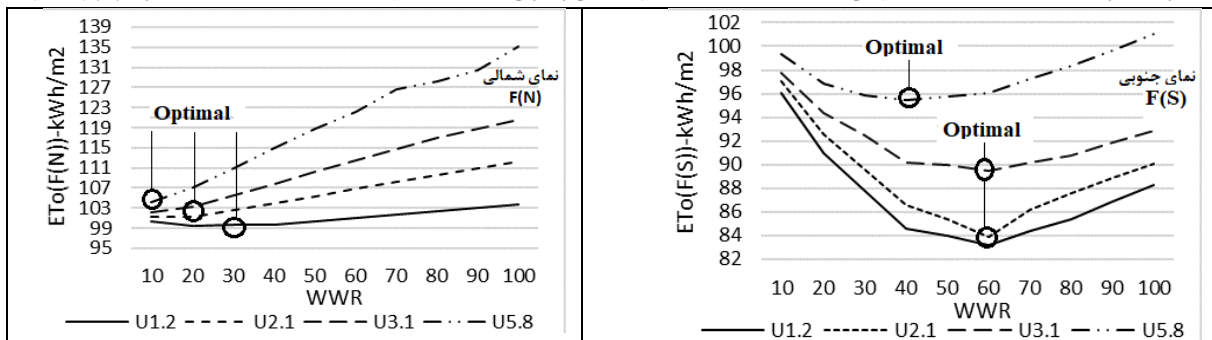
۵-۳-۱. بررسی اثر (U)

نمودار جعبه‌دانه تغییرات انرژی برای هر دو جبهه شمالی و جنوبی در تصویر ۵ آمده است. در جبهه شمالی، داده‌های آماری انحراف استاندارد، نشان می‌دهد که؛ تفاوت دامنه پراکندگی مصرف انرژی، در تمام چهار نوع ضریب انتقال حرارتی پنجره وجود دارد و با افزایش مقدار ضریب انتقال حرارت، بیشتر می‌گردد ($10/98$ الی $1/51$) ($S_{id.D}$). آزمون توکی نشان داد تفاوت معنی‌داری در بین مصرف انرژی برای چهار نوع پنجره وجود دارد ($P=0.000$ و $df(3,276)=110/09$) (تصویر ۶). پنجره با ضریب انتقال حرارت ($U=5/8$) نسبت به پنجره با ضریب انتقال حرارت $1/2, 2/1$ و $3/1$ به ترتیب دارای میانگین افزایش مصرف انرژی $19/38, 13/86$ و $8/47$ درصد است؛ بنابراین در اقلیم سرد شهر همدان برای جبهه شمالی هرچه مقدار ضریب انتقال حرارت پنجره (U)، عدد کمتری باشد مصرف انرژی کمتر است.

مقدار ضریب انتقال حرارت پنجره (U)، از ۲/۱ بیشتر باشد مصرف انرژی بیشتر می‌گردد.



تصویر ۶. نمودار جعبه تغییرات مصرف انرژی نهایی بر اثر تغییرات WWR در جبهه شمالی و جنوبی برای هر یک از پنجره‌ها با ضریب انتقال حرارت متفاوت (U) (نگارنده)



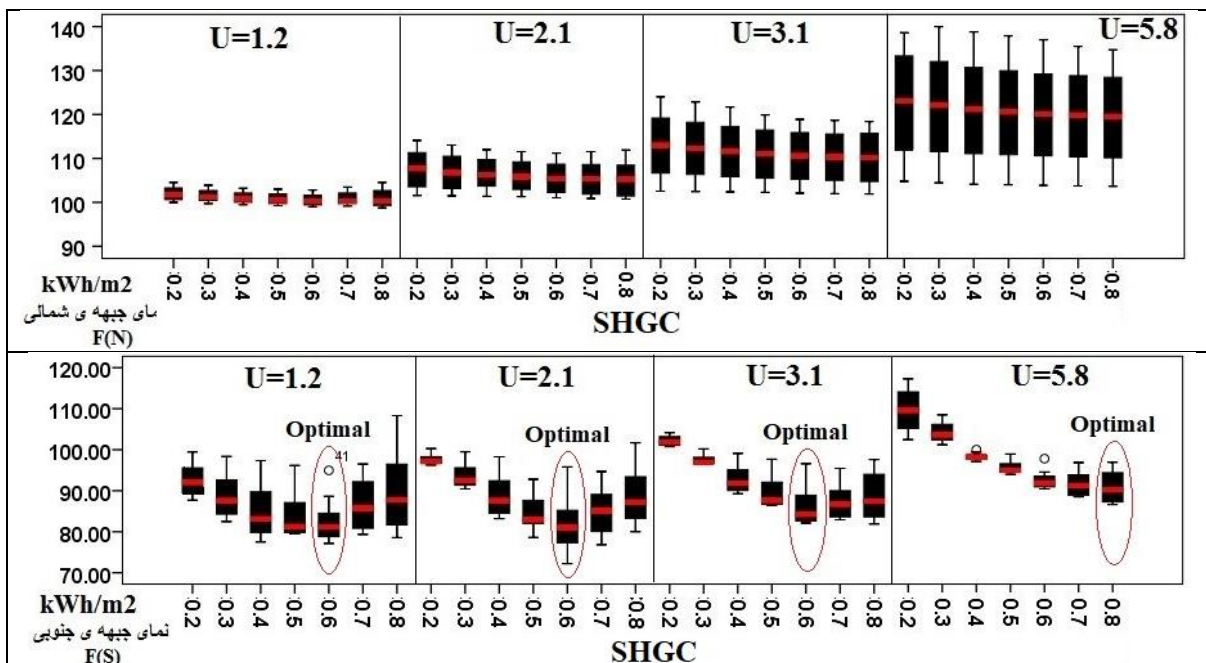
تصویر ۷. نمودار خطی تغییرات مصرف انرژی نهایی بر اثر تغییرات WWR در جبهه شمالی و جنوبی برای هر یک از انواع ضریب انتقال حرارت (U) پنجره‌ها (نگارنده)

بار گرمایشی ۱۷/۸۰ و سرمایشی ۵/۱۶ و در (WWR=۰/۸۰) برای بار گرمایشی ۴۲/۶۱ و سرمایشی ۲۹/۲۵ است؛ لذا مشاهده می‌گردد تغییرات با افزایش SHGC شدت بیشتری می‌گیرد. به‌منظور بررسی معنی‌داری وجود اختلاف، در بین میانگین‌های مصرف انرژی نهایی انواع سطح پنجره به دیوار WWR برای شاخص SHGC در دو جبهه شمالی و جنوبی از آزمون تحلیل واریانس استفاده شد. برای جبهه جنوبی در هر چهار نوع پنجره با ضریب انتقال حرارت متفاوت (۲/۱، ۱/۲، ۳/۱ و U=۵/۸) در شاخص (SHGC) بین انواع سطح پنجره به دیوار میانگین متفاوتی در مصرف انرژی نهایی وجود دارد ($P=0.000 < 0.01$) (تصویر

۵-۳-۲. بررسی اثر (SHGC)

مقدار SHGC بالا به این معنی است که ساختمان مقدار قابل توجهی از گرمای خورشیدی را از طریق سیستم پنجره خود دریافت می‌کند که در کاهش بار گرمایشی در فصل زمستان تأثیر مثبت و بر کاهش بار سرمایشی در تابستان تأثیر منفی دارد. در جبهه جنوبی در هر چهار نوع پنجره برای هر نسبت سطح پنجره به دیوار، با افزایش SHGC مقدار بار گرمایش کاهش و بار سرمایش افزایش می‌یابد. شدت تغییرات با افزایش WWR بیشتر می‌شود به‌طوری‌که در پنجره با (U=۱/۲) برای (WWR=۰/۲۰) اختلاف بارن‌هایی بین (SHGC=۰/۸، ۰/۲) برای

۸. آزمون تعقیبی جیمز هوئل (نابرابری واریانس) در پنجره ($U=1/2$) نشان می‌دهد ضریب افزایش گرمای خورشیدی شیشه در مقدارهای $0/4$ ، $0/5$ و $0/6$ میانگین متفاوتی در میزان مصرف انرژی وجود نداشته و کمترین میزان مصرف انرژی را داراست. نمودار میانگین مصرف انرژی نشان می‌دهد که در $SHGC=0/6$ کمترین میزان مصرف انرژی را دارد. در پنجره با ($U=2/1$) آزمون توکی، نشان می‌دهد ضریب افزایش گرمای خورشیدی در مقدارهای $0/4$ الی $0/8$ میانگین متفاوتی در میزان مصرف انرژی وجود نداشته (کمترین میزان انرژی) و طبق نمودار میانگین در تصویر ۸ ($SHGC=0/6$) کمترین میزان مصرف انرژی را دارد. در پنجره با ($U=3/1$) $SHGC$ در مقدارهای $0/5$ الی $0/8$ در پنجره (تصویر ۸).



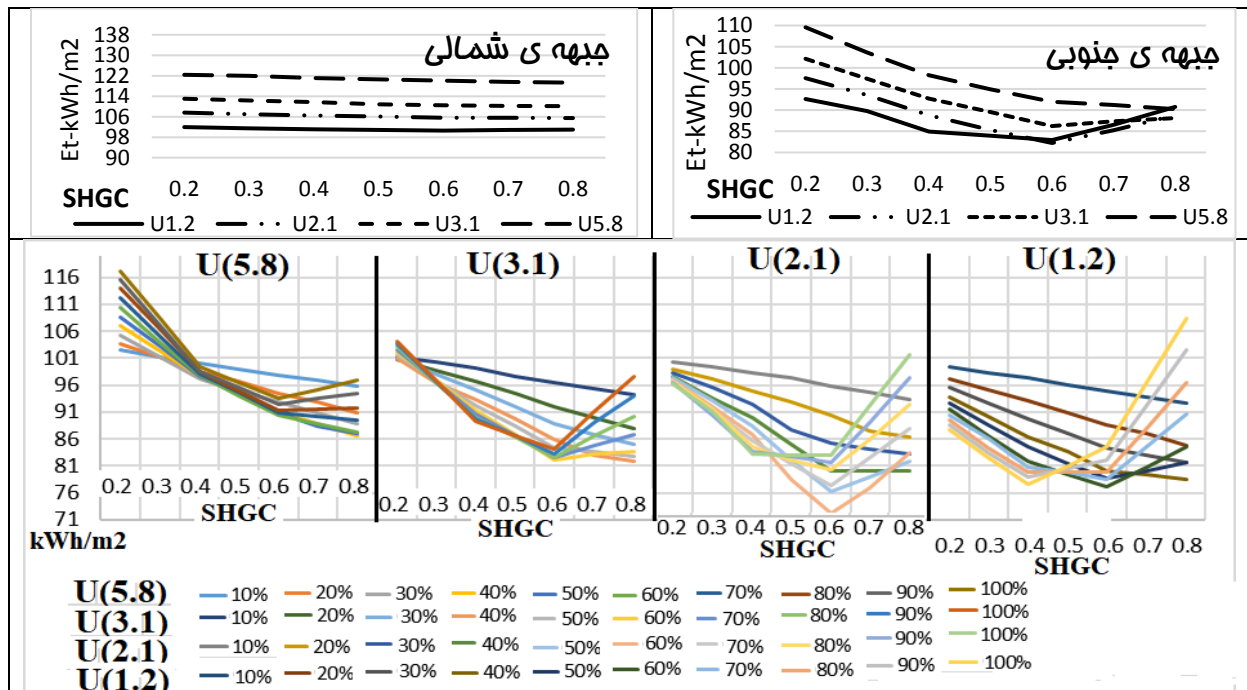
تصویر ۸. نمودار جعبه تغییرات مصرف انرژی نهایی بر اثر تغییرات $SHGC$ در جبهه شمالی و جنوبی (نگارنده)

نشان می‌دهد که رابطه بین $SHGC$ و بار نهایی به صورت معکوس (منفی) اما با تغییرات کم و تغییرات نمودار به صورت خطی افقی است. به عبارتی با افزایش مقدار $SHGC$ بار نهایی ساختمان با مقدار بسیار کمی کاهش می‌یابد. برای جبهه جنوبی در تمام پنجره با داشتن $SHGC$ برابر الگوی یکسانی را در روند میانگین بار نهایی ساختمان را نشان می‌دهد به طوری که رابطه بین $SHGC$ و بار نهایی به صورت معکوس (منفی) و برای پنجره با $U=1/2$ با شدت ضعیف (نمودار غیر خطی $t=-0/08$) و

برای جبهه شمالی در تمام پنجره (چهار پنجره با U متفاوت) با داشتن $SHGC$ برابر الگوی یکسانی را در روند میانگین بار نهایی ساختمان را نشان می‌دهد (تصویر ۹) به طوری که رابطه بین $SHGC$ و بار نهایی به صورت معکوس (منفی) و برای پنجره با $U=1/2$ با شدت متوسط ($t=-0/57$) و برای پنجره با $U=2/1$ ، $3/1$ ، $5/8$ رابطه با شدت زیاد ($t=-0/98$ ، $-0/92$) اما با اختلاف میانگین کم ($2/36$) است. برای هر یک از تناسب WWR به صورت جداگانه در جبهه شمالی نتایج نمودارها

برای پنجره با $U=2/1$ ، $3/1$ ، $5/8$ ، $8/10$ رابطه با شدت متوسط و زیاد ($0/80$ تا $0/52$) اما با اختلاف میانگین $6/36$ برابر بیشتر از جبهه شمالی ($15/02$) است. به عبارتی اثر SHGC در جبهه جنوبی (در معرض تابش مستقیم آفتاب در تابستان و زمستان) بر خلاف جبهه شمالی، بر عملکرد حرارتی بسیار مؤثر است. برای هر یک از تناسب WWR به صورت جداگانه نتایج نمودارها نشان می‌دهد که برای جبهه جنوبی در پنجره با ضرایب حرارتی ($2/1$ و $1/2$) با داشتن SHGC برابر از الگوی یکسانی با بار نهایی سالانه پیروی میکند. به طوری که برای $WWR=0/4$ الی $0/8$ و $WWR=0/5$ الی $0/1$ تا $WWR=0/10$ الی $0/9$ و بعد صعودی و در نهایت $0/9$ الی $0/10$ تا $WWR=0/4$ الی $0/1$ و بعد صعودی است. در پنجره با ضرایب حرارتی ($3/1$) برای $WWR=0/5$ الی $0/1$ کاملاً نزولی و $0/6$ الی $0/10$ تا $WWR=0/10$ الی $0/6$ و بعد صعودی است. در پنجره با ضرایب حرارتی ($5/8$) برای $WWR=0/8$ الی $0/1$ کاملاً نزولی و $0/9$ الی $0/10$ تا $WWR=0/10$ الی $0/6$ و بعد صعودی است (تصویر ۹)؛ بنابراین وابستگی بهینه پنجره به دیوار علاوه بر WWR برای جبهه جنوبی در مشخصات U و SHGC و در جبهه شمالی در مشخصات U است.

برای پنجره با $U=2/1$ ، $3/1$ ، $5/8$ ، $8/10$ رابطه با شدت متوسط و زیاد ($0/80$ تا $0/52$) اما با اختلاف میانگین $6/36$ برابر بیشتر از جبهه شمالی ($15/02$) است. به عبارتی اثر SHGC در جبهه جنوبی (در معرض تابش مستقیم آفتاب در تابستان و زمستان) بر خلاف جبهه شمالی، بر عملکرد حرارتی بسیار مؤثر است. برای هر یک از تناسب WWR به صورت جداگانه نتایج نمودارها نشان می‌دهد که برای جبهه جنوبی در پنجره با ضرایب حرارتی ($2/1$ و $1/2$) با داشتن SHGC برابر از الگوی یکسانی با بار نهایی سالانه پیروی میکند. به طوری که برای $WWR=0/4$ الی $0/8$ و $WWR=0/5$ الی $0/1$ تا $WWR=0/10$ الی $0/9$ و بعد صعودی و در نهایت $0/9$ الی $0/10$ تا $WWR=0/4$ الی $0/1$ و بعد صعودی است. در پنجره با ضرایب حرارتی ($3/1$) برای $WWR=0/5$ الی $0/1$ کاملاً نزولی و $0/6$ الی $0/10$ تا $WWR=0/10$ الی $0/6$ و بعد صعودی است. در پنجره با ضرایب حرارتی ($5/8$) برای $WWR=0/8$ الی $0/1$ کاملاً نزولی و $0/9$ الی $0/10$ تا $WWR=0/10$ الی $0/6$ و بعد صعودی است (تصویر ۹)؛ بنابراین وابستگی بهینه پنجره به دیوار علاوه بر WWR برای جبهه جنوبی در مشخصات U و SHGC و در جبهه شمالی در مشخصات U است.



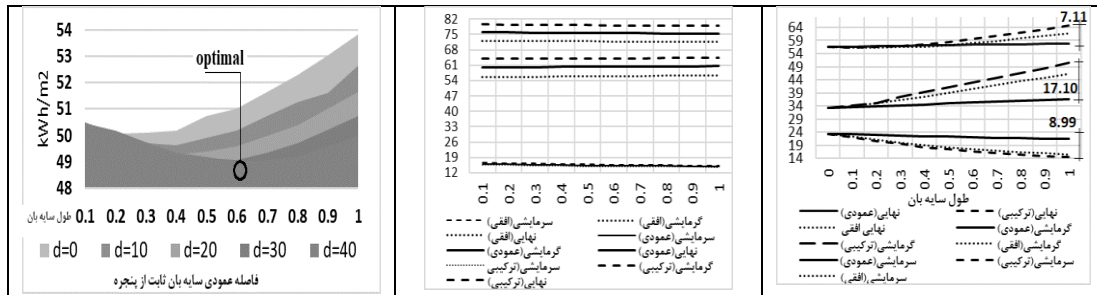
تصویر ۹. ردیف اول: اثر شاخص SHGC برای هر یک از پنجره‌ها در جبهه شمالی و جنوبی. ردیف دوم: اثر شاخص SHGC برای هر یک از $(WWR=10\% \text{ الی } 100\%)$ در انواع پنجره‌ها در جبهه جنوبی (نگارنده)

انرژی برای تمام انواع پنجره‌ها عدد $0/21$ الی $0/59$ است که نشان دهنده تغییرات بسیار ناچیز دامنه داده‌های عددی مصرف انرژی است. طبق تصویر ۱۰، مصرف انرژی در این جبهه دارای نمودار خطی افقی است و تغییرات در آن بسیار کم است. به‌عنوان مثال پنجره با ضریب حرارتی $3/1$ بدون سایه‌بان، دارای مصرف انرژی سرمایشی، گرمایشی و نهایی به ترتیب: $16/67$ ، $55/34$ و $72/01$ و با سایه‌بان یک متری به ترتیب $15/3$ ، $56/34$ و $71/64$ است؛ لذا همان‌طور که مشاهده می‌گردد ایجاد سایه‌بان تأثیری در میزان مصرف انرژی جبهه روبه‌شمال ندارد. برای

۳-۳-۵. اثر عملکرد سایه‌سازها (Shading) جهت کاهش مصرف انرژی سرمایشی در تابستان، از سایه‌بان دور پنجره (افقی، عمودی و ترکیبی) برای هر دو جبهه شمالی و جنوبی استفاده می‌گردد. برای جبهه شمالی (FN) و جنوبی (FS) با در نظر گرفتن جای‌گشت‌های مربوط به ضرایب مختلف انتقال حرارتی (۴ حالت)، در ۱۰ حالت طول سایه‌بان (هر ۱۰ سانت یکبار) برای سه حالت استقرار سایه‌بان (افقی، عمودی و ترکیبی) ۱۲۰ و در مجموع ۲۴۰ مرتبه شبیه‌سازی انجام شد. در جبهه‌ی روبه‌شمال (FN) انحراف استاندارد مصرف

کاهش ۳۳/۹۶ درصدی انرژی سرمایشی از ۳۳/۳۸ به ۱۵/۴۴ با اختلاف (۷/۹۴) شده، اما افزایش (۳۹/۱۵) درصدی انرژی گرمایشی از ۳۳/۲۸ به ۴۳/۲۱ با اختلاف ۱۳/۰۳ شده است. جهت جلوگیری از افزایش انرژی گرمایشی بر اثر ایجاد سایه بان (ثابت) به ارزیابی فاصله عمودی سایه بان از بالای پنجره اقدام شد، لذا در این بخش برای هر یک از انواع ضریب انتقال پنجره (U) ارزیابی اثر فاصله عمودی (d) از بالای پنجره انجام پذیرفت. با در نظر گرفتن جای گشت‌های مربوط به متغیرهای سایه‌ساز فاصله عمودی سایه بان از بالای پنجره (۴۰cm) (d=۱۰) سایه بان افقی با افزایش هر ۱۰ سانت یکبار تا یک متر (۱ متر الی ۰/۱ متر) (Lsh=) برای پنجره (U۱/۲) در نسبت‌های بهینه منتخب مرحله قبل، در مجموع ۴۰ مدل برای جبهه جنوبی شبیه‌سازی انجام شد. استقرار با فاصله‌های مختلف سایه بان از بالای پنجره (۴/۰-۳/۰-۲/۰-۱/۰) دارای میانگین متفاوت مصرف انرژی گرمایشی و نهایی است (p<۰/۰۰۰) و تعقیبی توکی نشان داد که فاصله سایه بان پنجره در حالت‌های ۲۰ الی ۴۰ سانت تفاوت مصرف انرژی با حالت بدون فاصله و فاصله ۱۰ سانت وجود دارد نمودار میانگین مصرف انرژی نشان داد که فاصله (d=۰/۴m) را کمترین میزان مصرف انرژی گرمایشی (۲۸/۶۹) و نهایی (۴۹/۵۶) را دارد و با افزایش فاصله سایه بان ثابت میزان مصرف انرژی کاهش می‌یابد (تصویر ۱۰).

جبهه جنوبی (FS) نتایج نشان داد انحراف استاندارد بار گرمایشی و سرمایش و نهایی در سایه بان عمودی به ترتیب ۱/۰۲، ۰/۶ و ۰/۴۲ و دامنه تغییرات بیش از دو سوم در (۳۶/۱ الی ۳۴/۰۶) و (۲۲/۷۹ الی ۲۱/۵۹) و (۵۷/۷ الی ۵۶/۹۴) با تغییرات بسیار کم است لذا سایه بان عمودی در جبهه رو به جنوب دارای تغییرات ناچیز بوده و بر میزان مصرف انرژی مؤثر نیست. برای سایه بان افقی و ترکیبی، انحراف استاندارد بار گرمایشی و سرمایش و نهایی به هم نزدیک و بزرگتر از سایه بان عمودی است. انحراف استاندارد در سایه بان افقی؛ در محدوده (۲ الی ۴/۲) و ترکیبی (۲/۵۹ الی ۵/۶) است که نشان دهنده؛ گستردگی دادها با تغییرات اندازه سایه بان است به صورتیکه؛ دامنه تغییرات بیش از دو سوم در سایه بان افقی برای انرژی گرمایشی، (۳۵/۷ الی ۴۴/۱۰) با اختلاف (۸/۴)، سرمایشی (۱۵/۹۸ الی ۲۰/۶۰) با اختلاف (۴/۶۲) و نهایی (۵۶/۶۰ الی ۶۰/۱۸) با اختلاف (۳/۵۸) و در سایه بان ترکیبی (۳۵/۷ الی ۴۴/۱۰) با اختلاف (۱۵/۹۸ الی ۲۰/۶۰) و (۵۶/۶۰ الی ۶۰/۱۸) است لذا نمودار خطی بر اثر سایه بان به صورت افقی نیست و نشان دهنده تغییرات مصرف انرژی است (تصویر ۱۰) لذا سایه بان افقی و ترکیبی بر میزان بار حرارتی در این جبهه مؤثر است که اثر سایه بان ترکیبی به دلیل وجود سایه بان افقی است، بنابراین در ادامه به بررسی و تحلیل سایه بان افقی پرداخته می‌شود. نتایج بیان می‌دارد که سایه بان افقی (ثابت) باعث کاهش انرژی سرمایشی و افزایش انرژی گرمایشی و نهایی میشود به طوری که در مقایسه شبیه‌سازی پنجره بدون سایه بان با سایه بان یک‌متری، باعث



تصویر ۱۰. نمودار تغییرات مصرف انرژی بر اثر سایه بان افقی، عمودی و ترکیبی در جبهه جنوبی (راست) - شمالی (وسط) - نمودار خطی اثر فاصله عمودی سایه بان افقی از پنجره جبهه جنوبی بر مجموع انرژی گرمایشی و سرمایشی (چپ). (نگارنده)

در دو جبهه شمالی و جنوبی تعیین کرد. با بررسی U و SHGC نتایج مشخص کرد که در جبهه جنوبی کمترین میزان مصرف انرژی برای پنجره با (U۱/۲) و (U۲/۱) با مشخصات (WWR=۶۰٪) و (SHGC=۰/۶) و بیشترین مصرف انرژی نهایی با مشخصات (۱۰۰)

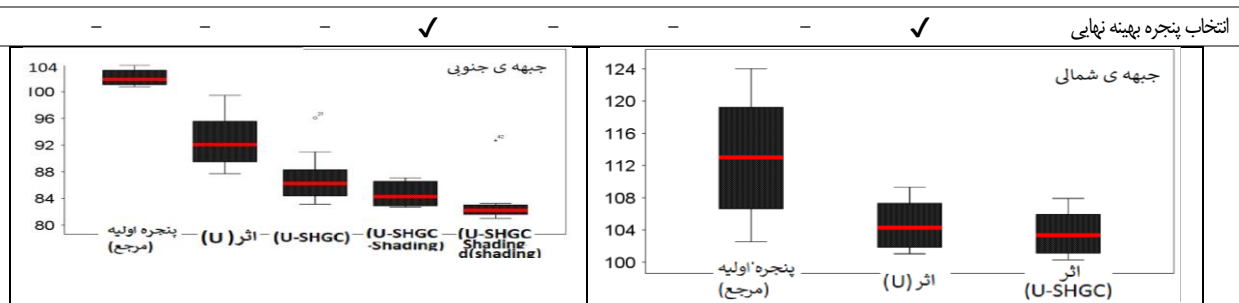
۴-۵. تعیین سطح بهینه WWR برای هر یک از انواع ضرایب مختلف پنجره (U) در دو جبهه شمالی و جنوبی با ترکیب نتایج اثر U، SHGC و WWR و SHADING و با بررسی دامنه تغییرات (تصویر ۱۱)، می‌توان سطح بهینه پنجره به دیوار را

$U=5/8$ مشخصات سایه‌بان بهینه (متر $L=0/4$ و $d=0/4$) است که در مقایسه بین چهار نوع پنجره در نهایت پنجره با $U=1/2$ و $SHGC=0/6$ و $WWR=60\%$ همراه با سایه‌بان (متر $L=0/6$ و $d=0/4$) بهترین گزینه است. در جبهه شمالی سطح بهینه WWR برای پنجره با ضریب انتقال حرارتی $1/2$ ، $2/1$ ، به ترتیب برابر $(WWR=30\%-20\%)$ و $(SHGC=0/8, WWR=40\%)$ و برای $3/1$ و $5/8$ برابر $(WWR=20\%)$ ، $(SHGC=0/8)$ است. در مقایسه بین هر یک از ضریب حرارتی پنجره بهترین نسبت سطح بهینه پنجره به دیوار برابر 40% با مشخصات $(U=1/2$ و $SHGC=0/8)$ است. طبق تصویر ۱۱ با ارزیابی و مقایسه میانگین مصرف انرژی نهایی مرجع اولیه با شاخص‌های بهینه‌سازی مشاهده گردید؛ در جبهه جنوبی بر اثر ترکیب شاخص U و $SHGC$ و $Shading$ و $d.sha.hor$ (فاصله سایه‌بان افقی از پنجره) به ترتیب؛ $9/03$ ، $14/59$ ، $17/16$ و $18/52$ درصد کاهش مصرف انرژی نهایی و در جبهه شمالی بر اثر ترکیب شاخص U و $SHGC$ به ترتیب؛ $7/37$ و $8/38$ درصد کاهش مصرف انرژی نهایی رخ می‌دهد.

است. در پنجره با $(U=3/1)$ و $(U=5/8)$ کمترین میزان مصرف انرژی با مشخصات $(WWR=40\%$ و $SHGC=0/8)$ و بیشترین مصرف انرژی نهایی با مشخصات $(WWR=20\%$ و $SHGC=0/2)$ است. جدول ۵ درصد صرفه‌جویی انرژی با بررسی U و $SHGC$ و WWR همراه با سایه‌بان ($SHADING$) را نسبت به مدل منتخب (مرجع اولیه) نمایش می‌دهد. همان‌طور که بیان شده است؛ در پنجره با $U=1/2$ با اصلاح مشخصات شیشه $(SHGC)$ کاهش بار گرمایشی و سرمایشی و نهایی به مقدار $18/29$ ، $2/68$ و $7/56$ درصد و در صورت به‌کار بردن سایه‌بان کاهش بار گرمایشی و سرمایشی و نهایی به ترتیب به مقدار $14/47$ ، $16/06$ و $9/8$ درصد است. در پنجره با $U=2/1$ با اصلاح مشخصات شیشه $(SHGC)$ کاهش بار گرمایشی و سرمایشی و نهایی به مقدار $4/34$ ، $10/15$ و $4/78$ درصد و در صورت به‌کار بردن سایه‌بان کاهش بار گرمایشی و سرمایشی و نهایی به ترتیب به مقدار $3/15$ ، $21/77$ و $6/29$ درصد است. در جبهه جنوبی برای پنجره با $U=2/1$ مشخصات سایه‌بان بهینه (متر $L=0/6$ و $d=0/4$) و $3/1$ ،

جدول ۵ درصد صرفه‌جویی انرژی با بررسی U و $SHGC$ و WWR همراه با سایه‌بان ($SHADING$) نسبت به مدل منتخب (مرجع اولیه) (نگارنده)

انواع پنجره	جبهه رو به جنوب				جبهه رو به شمال			
	$U=1/2$	$U=2/1$	$U=3/1$	$U=5/8$	$U=1/2$	$U=2/1$	$U=3/1$	$U=5/8$
تعیین سطح WWR	0/6	0/6	0/4	0/4	0/4	0/4	0/4	0/4
بهینه‌سازی اصلاح شیشه	-14/59	-4/78	-2/3	+4/1	-18/29	-2/68	-7/56	+3/14
پنجره (%) ایجاد سایه‌بان بهینه	-18/29	-6/29	-5/07	+1/2	-	-	-	-
مشخصات پنجره بهینه	$WWR=0/6$ $SHGC=0/8$ $d=0/4-L=0/6$	$WWR=0/6$ $SHGC=0/8$ $d=0/4-L=0/6$	$WWR=0/6$ $SHGC=0/8$ $d=0/4-L=0/4$	$WWR=0/6$ $SHGC=0/8$ $d=0/4-L=0/4$	$WWR=0/4$ $SHGC=0/8$	$WWR=0/4$ $SHGC=0/8$	$WWR=0/6$ $SHGC=0/8$	$WWR=0/6$ $SHGC=0/8$



تصویر ۱۱. دامنه تغییرات و میانگین مصرف انرژی نهایی در نسبت‌های مختلف (WWR) بر اثر ترکیب شاخص U و $SHGC$ و $Shading$ و L (فاصله سایه‌بان از پنجره) جبهه جنوبی و اثر ترکیب شاخص U و $SHGC$ برای جبهه شمالی (نگارنده)

۵. بحث

در این مطالعه، تأثیر هندسه پنجره ساختمان (جبهه رو به جنوب و شمال) در ساختار بافت جدید شهر همدان بر میزان مصرف سالانه انرژی سرمایش، گرمایش، روشنایی و نهایی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج ارائه شده برای یک ساختمان مسکونی مجاور معبر ۱۲ متری در شهر همدان با آب‌وهوای سرد و نیمه خشک و با استفاده از نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر با موتور انرژی پلاس به دست آمد. این مطالعه، در مرحله اول نشان داد که؛ افزودن پنجره‌ها به دیوارهای جنوبی باعث افزایش مصرف انرژی سرمایشی شده در حالی که مصرف انرژی گرمایشی را کاهش می‌دهد. به طوری که سطح پنجره به دیوار با ۱۰٪ نسبت به دیوار با ۹۰٪ مصرف انرژی سرمایشی ۱۶۴ درصد افزایش، انرژی گرمایشی، روشنایی و نهایی به ترتیب: ۴۹/۷۶، ۹/۶۵ و ۸/۱۵ درصد کاهش می‌یابد. این نتیجه منطبق بر نتایج مطالعه الغول و همکارانش است. افزودن پنجره‌ها به دیوارهای روبه‌شمال، باعث افزایش مصرف انرژی سرمایشی و برخلاف دیوارهای جنوبی باعث افزایش انرژی گرمایشی و نهایی می‌گردد به طوری که با سطح پنجره به دیوار ۱۰٪ نسبت به دیوار با ۹۰٪ مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی و نهایی به ترتیب ۷۳، ۱۷/۷۰، ۱۵/۹۳ درصد افزایش می‌یابد. بر اساس نتایج به دست آمده در مرحله اول، به بهینه‌سازی سطح پنجره در مرحله دوم پرداخته و در نهایت با ترکیب نتایج تحلیل‌های بهینه‌سازی، سطح بهینه WWR مشخص گردید. باتوجه به میانگین اختلاف تغییرات بین انرژی گرمایشی و سرمایشی ($5-64 \text{ kWh/m}^2$)، $M=36/5$ دیده شد؛ انرژی گرمایشی ۶/۴۸ برابر انرژی سرمایشی و نسبت به آن دارای ۴۵۶٪ اهمیت بیشتری داشته است، که نشان دهنده‌ی؛ حداکثر جذب تابش مستقیم در جبهه رو به جنوب در فصل زمستان و اثر آن بر کاهش مصرف گرمایشی است؛ بنابراین جبهه رو به جنوب دارای عملکرد حرارتی بهتری نسبت به جبهه روبه‌شمال است؛ لذا باتوجه به تفاوت مصرف انرژی ساختمان در جبهه روبه‌شمال با جبهه رو به جنوب بهتر است در کمیته سیما و منظر شهری همدان مقدار متفاوت WWR مورد توجه قرار گیرد. مطالعات انجام شده در سطح جهان از جمله؛ گویا (۲۰۱۶)، پی و همکارش (۲۰۱۵)، سوسوروا و همکاران (۲۰۱۳)، نتیجه این مطالعه را تأیید می‌کنند و بیان می‌دارند مقدار (WWR) جبهه رو به جنوب بزرگتر از جبهه روبه‌شمال است و بهترین عملکرد حرارتی برای جبهه‌های رو به جنوب در مقدار (۰/۸) الی

($WWR=0/5$) و برای جبهه روبه‌شمال با پنجره‌های کوچک شکل می‌گیرد. کاهسای و همکارانش (۲۰۲۱) همسو با این مطالعه به این نتیجه رسیدند که انتخاب پنجره اغلب دارای یک هدف متضاد در مورد عملکرد گرمایش، سرمایش، و نورپردازی است. پنجره کوچک‌تر در کنترل اتلاف گرما در زمستان و افزایش گرمای خورشیدی در تابستان عملکرد بهتری دارد، در حالی که پنجره بزرگ‌تر در تامین چشم‌انداز، روشنایی روز و افزایش گرمای خورشیدی در زمستان عملکرد بهتری دارد (Kahsay et al, 2021). ژی و همکارانش در مطالعه خود بیان میدارد که مقدار WWR (بیش از ۷۰٪) باتوجه به تابش خورشیدی زیاد در زمستان و کاهش بار گرمایشی مزایای بیشتری نسبت به مقدار پایین WWR (کمتر از ۳۰٪) دارد و این مسئله در تابستان با سایه-سازهای مناسب حل شود بنابراین، ساختمان‌هایی با WWR بالا پتانسیل بالایی برای دستیابی به آسایش حرارتی و کاهش بار حرارتی در طول سال خواهند داشت (Xie et al, 2022). که همسو با نتیجه این مطالعه در جبهه جنوبی است. در جبهه جنوبی اختلاف میزان مصرف انرژی نهایی پنجره با ضریب انتقال حرارت ($U=5/8$) نسبت به پنجره با ضریب انتقال حرارت ($U=1/2$) دارای افزایش مصرف ۱۲/۰۳ درصد است. در ویرایش چهارم مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، SHGC در طراحی در نظر گرفته شده و در فصل پنجم این شاخص باتوجه به اثر گذاری زیاد آن در جبهه رو به جنوب لحاظ گردیده و برای جبهه شمالی در نظر گرفته نشده است و برای شهر همدان با نیاز غالب گرمایی مقدار SHGC حداقل و حداکثر بین ۰/۴ الی ۰/۶ برای جبهه جنوبی در نظر گرفته شده که همسو با نتیجه مطالعه حاضر است. در پیوست ۱۰ مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان توصیه به استفاده از سایبان افقی در جبهه‌ی شمالی (با زاویه خارجی ۶۰ درجه) برای شهر همدان شده است که مغایرت با نتیجه این پژوهش (عدم تأثیر بر عملکرد حرارتی) است. در جدول پیشنهادی واتسون و همکار (۱۳۸۲) برای عرض جغرافیایی شهر همدان سایه‌بان شمالی توصیه نمی‌شود که همسو با مطالعه حاضر است. حقانی و همکارانش (۱۳۹۶) اثر سایه‌بان کرکری خارجی در جبهه شمالی برای ساختمان اداری در تهران را ۲ درصد به دست آوردند که نشان‌دهنده تغییر ناچیز سایه‌بان جبهه شمالی است، لذا لزوم بازنگری این بخش در مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان بسیار مهم است. برای جبهه جنوبی (FS) با ایجاد سایه‌بان عمودی، تغییرات در مصرف انرژی ناچیز

اداری، آموزشی و مسکونی به صورت محدود انجام شده است. به عنوان مثال؛ فلاح (۱۳۹۸) به اثر شاخص شیشه (SHGC) بر تعیین سطح پنجره پرداخته که نتیجه آنها همسو با مطالعه حاضر است. در مطالعه فیاض، ۱۳۹۲؛ کریم‌پور و همکاران، ۱۳۹۸ تعیین سطح بهینه پنجره برای تهران و اردبیل بدون توجه به جهت‌نما انجام شده و ساختمان به صورت منفرد و بدون اثر همسایگی مورد بررسی قرار گرفته است. آنچه مشخص است اینکه مدل مورد بررسی باتوجه به بافت معاصر و ضوابط شهرسازی برای قطعات شمالی و جنوبی انجام نشده است. وجه تمایز این مطالعه، نسبت به مطالعات دیگر، توجه به استقرار ردیف ساختمان‌ها در دو سوی معابر شهری به صورت جداگانه (اثر همسایگی و شاخص هندسه معابر (H/W))، آب هوای سرد (فایل اقلیمی EPW(cold)) و بررسی و تحلیل سطح پنجره به دیوار (WWR) برای قطعات شمالی و جنوبی جهت دیوار، (O(N)-O(S)) باتوجه به بهینه‌سازی مشخصات شیشه و پنجره (U-SHGC) و سایه‌بان (SHADING_(Ho-Ve-Co)) است که کمتر در مطالعات به صورت همه جانبه‌نگری مورد بررسی قرار گرفته است. برای اعتبار سنجی یک قطعه شمالی که در مرحله قبل شبیه‌سازی شده بود دوباره با نرم‌افزار کریر شبیه‌سازی انجام پذیرفت تا نتایج هر دو نرم‌افزار با هم مقایسه گردد. در هر دو نرم‌افزار برای ۸ حالت متفاوت نسبت سطح پنجره به دیوار (۰/۸ الی ۰/۱ WWR) شبیه‌سازی انجام پذیرفت. مقایسه نتایج در هر دو نرم‌افزار نشان می‌دهد که؛ به ترتیب در مصرف انرژی گرمایشی، سرمایشی و نهایی برای نسبت‌های مختلف (WWR) در حدود ۴/۲۵، ۵/۵۵ و ۲/۳۵ درصد اختلاف وجود دارد. آزمون t مستقل نشان داد که تفاوت معنی‌داری در میزان مصرف انرژی (سرمایشی، گرمایشی و نهایی) در بین نرم‌افزار دیزاین بیلدر و کریر وجود ندارد (p(heting)=۰/۶۷۷ p(coling)=۰/۶۷۲). میانگین انرژی گرمایشی نرم‌افزار دیزاین بیلدر و کریر (۳۹/۶۵) و (۳۷/۷)، انرژی سرمایشی (۱۹/۹۲) و (۲۱/۲۴) و انرژی کل (۵۹/۵۹) و (۵۸/۹۷) است و این تفاوت از جنبه آماری معنی‌دار نیست (جدول ۶). باتوجه به این نتیجه، تغییرات قابل قبول و اعتبارسنجی مورد تأیید قرار گرفت.

بوده و بر میزان مصرف انرژی مؤثر نیست این نتیجه منطبق با پیوست مبحث ۱۹ مقررات ملی است در این مبحث توصیه به استفاده از سایه‌بان عمودی در جبهه جنوبی نیامده است ولی برای جبهه جنوبی سایه‌بان افقی و ترکیبی بر میزان بار حرارتی در این جبهه مؤثر است که اثر سایه‌بان ترکیبی به دلیل وجود سایه‌بان افقی است. سایه‌بان افقی ثابت در جبهه جنوبی، باعث کاهش انرژی سرمایشی و افزایش انرژی گرمایشی و نهایی می‌شود به طوری که در مقایسه شبیه‌سازی پنجره بدون سایه‌بان با سایه‌بان ۱ متری باعث کاهش ۳۳/۹۶ درصدی انرژی سرمایشی و افزایش (۳۹/۱۵) درصدی انرژی گرمایشی شده است؛ لذا برای جلوگیری از افزایش انرژی گرمایشی بر اثر ایجاد سایه‌بان ثابت، می‌توان از سایه‌بان هوشمند یا متحرک استفاده کرد یا بهتر است با افزایش فاصله عمودی سایه‌بان افقی از بالای پنجره، میزان مصرف انرژی گرمایش کاهش یابد همان‌طور که در تحلیل سایه‌بان برای جبهه جنوبی مشاهده گردید، نتایج بیان می‌دارد؛ سایه‌بان به طول ۶۰ سانت و فاصله ارتفاع عمودی آن به میزان ۴۰ سانت از بالای پنجره باعث کاهش ۱۹ درصدی انرژی گرمایشی و ۳ درصدی انرژی نهایی شده است، بنابراین در سایه‌بان ثابت توجه به فاصله عمودی بسیار با اهمیت است. این مسئله در مبحث ۱۹ مقررات ملی نیامده لذا توجه به این مسئله برای سایه‌بان ثابت، بسیار ضروری است. با ارزیابی و مقایسه میانگین مصرف انرژی نهایی مرجع اولیه با شاخص‌های بهینه‌سازی، مشاهده گردید در جبهه جنوبی بر اثر ترکیب شاخص U، SHGC، Shading و d.sha.hor به ترتیب؛ ۹/۰۳، ۱۴/۵۹، ۱۷/۱۶ و ۱۸/۵۲ درصد و در جبهه شمالی بر اثر ترکیب شاخص U و SHGC به ترتیب؛ ۷/۳۷ و ۸/۳۸ درصد، کاهش مصرف انرژی نهایی رخ می‌دهد. مطالعات محققان ایرانی، در زمینه شاخص پنجره در عملکرد حرارتی ساختمان بسیار محدود است. در این مطالعات اثر گازه‌های مختلف در پنجره‌های چند جداره (باقری اسفه و همکار، ۱۳۹۸؛ پیله‌چی و همکاران، ۱۴۰۰) اثر سایه‌بان داخلی و خارجی (حقانی و همکاران، ۱۳۹۸؛ کریم‌پور و همکاران، ۱۳۹۶؛ ابراهیم‌پور و همکاران، ۱۳۹۰؛ مهدوی‌نیا و وهابی، ۱۴۰۰) تعیین سطح بهینه پنجره (کریم‌پور و همکاران، ۱۳۹۸؛ فلاح، ۱۳۹۸؛ فیاض، ۱۳۹۲) برای ساختمان‌های

جدول ۶ مقایسه میزان مصرف انرژی گرمایشی، سرمایشی و نهایی قطعات شمالی الگوی اول در معبر ۱۰ متری با دو نرم‌افزار دیزاین بیلدر و کریر در نسبت‌های مختلف سطح پنجره به دیوار (WWR=۰/۸-۰/۱) (نگارنده)

نسبت سطح پنجره به دیوار (WWR)	انرژی سالانه (Kwh/m ²)							
	۰/۸	۰/۷	۰/۶	۰/۵	۰/۴	۰/۳	۰/۲	۰/۱
	۲۸/۹۳	۳۰/۸۱	۳۳/۲۸	۳۶/۴۴	۴۰/۰۷	۴۴/۳۱	۴۹/۳۳	۵۴/۷
	۲۹/۱۳	۲۶/۱۳	۳۳/۳۸	۲۰/۸	۱۸/۳۸	۱۶/۰۹	۱۴/۰۳	۱۲/۱۸
	۵۸/۰۶	۵۶/۹۴	۵۶/۶۶	۵۶/۵۲	۵۸/۴۵	۶۰/۴۰	۶۳/۲۶	۶۶/۵
	۲۷/۱۴	۲۸/۹۱	۳۱/۱۵	۳۴/۲۱	۳۸/۵۷	۴۲/۴۵	۴۷/۳۱	۵۲/۱
	۳۱/۰۵	۲۷/۹۱	۲۴/۰۵	۲۲/۰۱	۱۹/۵۱	۱۷/۱۲	۱۵/۲۱	۱۳/۰۷
	۵۸/۱۹	۵۶/۸۲	۵۵/۲۰	۵۶/۲۲	۵۸/۰۸	۵۹/۵۷	۶۲/۵۲	۶۵/۱۷
	۶/۱۸ درصد	۸/۱۵ درصد	۶/۴ درصد	۶/۱ درصد	۳/۷۱ درصد	۴/۶ درصد	۳/۹ درصد	۴/۷ درصد
	۶/۵۹ درصد	۶/۸۱ درصد	۲/۸۶ درصد	۵/۸۱ درصد	۶/۱۴ درصد	۶/۴ درصد	۸/۴۱ درصد	۷/۳ درصد
	۰/۲۲ درصد	۰/۲۴ درصد	۲/۵۷ درصد	۰/۵۳ درصد	۰/۶۳ درصد	۱/۳ درصد	۱/۱۶ درصد	۲ درصد

۶. نتیجه‌گیری

جبهه‌ی رو به جنوب نسبت به جبهه‌ی روبه‌شمال دارای افزایش ۳۷/۲۰٪ مصرف انرژی سرمایشی و کاهش ۴۶/۲٪ انرژی گرمایشی و ۲۱/۵۵٪ انرژی نهایی است.

باتوجه به میانگین اختلاف تغییرات بین انرژی گرمایشی و سرمایشی نور خورشید) دارای عملکرد حرارتی بهتری نسبت به جبهه‌ی روبه‌شمال دارد.

باتوجه به تفاوت مصرف انرژی ساختمان در جبهه‌ی روبه‌شمال با جبهه‌ی رو به جنوب بهتر است در اقلیم سرد مقدار متفاوت WWR مورد توجه قرار گیرد.

در اقلیم سرد شهر همدان برای جبهه‌ی شمالی هرچه مقدار ضریب انتقال حرارت پنجره (U)، عدد کمتری باشد مصرف انرژی کمتر است. برای جبهه‌ی جنوبی تفاوت آماری در ضریب انتقال حرارتی بین (U=۲/۱-۱/۲) وجود ندارد و هرچه مقدار ضریب انتقال حرارت پنجره، از ۲/۱ بیشتر باشد مصرف انرژی بیشتر می‌گردد.

در جبهه‌ی روبه‌شمال شاخص SHGC در میزان مصرف انرژی تأثیر بسیار کمتری نسبت به جبهه‌ی رو به جنوب دارد. رابطه بین SHGC و بار نهایی به صورت معکوس (منفی) است. این مسئله وابستگی بهینه نسبت پنجره به دیوار در شاخص SHGC را برای جبهه‌ی جنوبی نشان می‌دهد.

برای جبهه‌ی شمالی (FN) ایجاد سایه‌بان تأثیری در میزان مصرف انرژی ندارد.

در بخش اول باتوجه به بازدید میدانی و بررسی نقشه‌ها و ترسیم نماها از خانه‌های منتخب سستی شهر همدان به بررسی تفاوت در نسبت سطح پنجره به دیوار (WWR) در نماهای رو به جنوب و شمال پرداخته شد. در پاسخ به پرسش اول فرعی، نتایج بیان داشت؛ خانه‌های سستی شهر همدان در جبهه‌ی جنوبی به دلیل دریافت تابش نور بیشتر خورشید در اقلیم سرد، دارای WWR بیشتری نسبت به جبهه‌ی روبه‌شمال و در حدود ۶۵/۴ درصد، سطح جدار شیشه‌ی بیشتری دارد. در بخش دوم این مطالعه، به بررسی اثر هندسه پنجره‌ها (بافت جدید شهر همدان) بر میزان مصرف انرژی با استفاده از شبیه‌سازی انرژی پرداخته شد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در مرحله اول این بخش، بهینه‌سازی سطح پنجره در مرحله دوم انجام گردید. در این مرحله، طبق تحلیل‌های مرحله قبل، اثر مشخصات شیشه پنجره و سایه‌بان در هر دو جبهه مورد بررسی قرار گرفت، و در نهایت با ترکیب نتایج تحلیل‌های بهینه‌سازی، سطح بهینه WWR مشخص گردید. در ادامه مهم‌ترین نتایج به شرح زیر آمده است:

در پاسخ به پرسش دوم (تفاوت اثر (WWR) بر نمای جبهه رو به جنوب و شمال)، مشخص گردید افزودن پنجره‌ها به دیوارهای جنوبی باعث کاهش انرژی گرمایشی، روشنایی و نهایی و افزایش انرژی سرمایشی می‌گردد. اما در دیوارهای روبه‌شمال، باعث افزایش مصرف انرژی سرمایشی، گرمایشی و نهایی و کاهش روشنایی می‌گردد.

مشخص گردید برای جلوگیری از افزایش انرژی گرمایشی بر اثر ایجاد سایه‌بان افقی ثابت در جبهه جنوبی، بهتر است با افزایش فاصله عمودی سایه‌بان افقی ثابت از پنجره، میزان مصرف انرژی گرمایش کاهش یابد، بنابراین در سایه‌بان ثابت، اثر فاصله عمودی سایبان از پنجره جهت بهبود عملکرد حرارتی دیده شود.

در پاسخ به پرسش فرعی سه با جای گشت‌های متغیرهای مستقل مختلف هندسه پنجره مشتمل بر: مشخصات شیشه و سایه‌سازها (بدنه ساختمان، سایه‌بان دور پنجره) در نسبت‌های مختلف (WWR) و تحلیل آماری، نتایج بیان نمود که؛ برای جبهه جنوبی؛ پنجره با مشخصات

مشخص گردید برای جلوگیری از افزایش انرژی گرمایشی بر اثر ایجاد سایه‌بان افقی ثابت در جبهه جنوبی، بهتر است با افزایش فاصله عمودی سایه‌بان افقی ثابت از پنجره، میزان مصرف انرژی گرمایش کاهش یابد، بنابراین در سایه‌بان ثابت، اثر فاصله عمودی سایبان از پنجره جهت بهبود عملکرد حرارتی دیده شود.

در پاسخ به پرسش فرعی سه با جای گشت‌های متغیرهای مستقل مختلف هندسه پنجره مشتمل بر: مشخصات شیشه و سایه‌سازها (بدنه ساختمان، سایه‌بان دور پنجره) در نسبت‌های مختلف (WWR) و تحلیل آماری، نتایج بیان نمود که؛ برای جبهه جنوبی؛ پنجره با مشخصات

جدول ۷. مقایسه بین نتایج تحقیق و مبحث ۱۹ مقررات ملی (ویرایش چهارم) (نگارنده)

توضیحات	جبهه جنوبی		جبهه مالی		شاخص‌ها
	نتیجه پژوهش (اقلیم سرد)	مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان	نتیجه پژوهش (اقلیم سرد)	مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان	
باتوجه به جبهه نما اصلاحات انجام و پیشنهادها ارائه گردد	اثر جهت جغرافیایی بر سطح بهینه پنجره به دیوار جنوبی (۰/۶۰)	۲۵ درصد (ویرایش ۸۹) و ۴۰ درصد (ویرایش چهارم ۹۹) - بدون توجه به جهت‌نما	اثر جهت جغرافیایی بر سطح بهینه پنجره به دیوار - شمالی (۰،۴۰)	۲۵ درصد (ویرایش ۸۹) و ۴۰ درصد (ویرایش چهارم ۹۹) - بدون توجه به جهت‌نما	WWR
اصلاح پیوست ۱۰	مؤثر است و ضروری	ضروری و با زاویه ۷۰ درجه	مؤثر نیست	ضروری و با زاویه ۶۰ درجه	سایه‌بان افقی
-	بدون تأثیر	لازم نیست	بدون تأثیر	لازم نیست	سایه‌بان عمودی
در نظر گرفتن این شاخص در جبهه رو به جنوب	در کاهش انرژی گرمایشی و نهایی برای سایه‌بان ثابت مؤثر است	اشاره نشده است	در کاهش انرژی گرمایشی و نهایی برای سایه‌بان ثابت مؤثر است	اشاره نشده است	فاصله عمودی سایه‌بان افقی ثابت از پنجره
-	در جبهه جنوبی مؤثرتر از شمالی	ویرایش ۸۹ اشاره ی نشده و پیش‌نویس ۹۸ آمده است (۳-/۸۱)	در جبهه جنوبی مؤثرتر از شمالی است	ویرایش ۸۹ اشاره‌ی نشده و پیش‌نویس ۹۸ آمده است (۳-/۸۱)	اثر SHGC
-	در طراحی ضروری است	مورد توجه قرار گرفته	در طراحی ضروری است	مورد توجه قرار گرفته	اثر U

سایه‌بان (Shading)

حاضر، می‌تواند نقطه شروعی برای برنامه‌ریزی ضوابط کمیته سیما و منظر شهری معاونت شهرسازی شهرداری شهر همدان باشد. در این مطالعه، تأثیر جزیره حرارتی و اثر ایجاد فضای سبز (درختان) در سطح معابر شهری بر عملکرد بار سرمایشی در نظر گرفته نشده است. در نهایت

آنچه از مطالعه حاضر قابل استنتاج است، این است که؛ تحقق کاهش مصرف انرژی در حوزه ضوابط کمیته سیما و منظر شهری و تدوین ضوابط کارآمد نمای ساختمان، مطالعه جامع سطح بهینه پنجره به دیوار در تمام جبهه‌های نمای شهری است که؛ پژوهش‌هایی به شکل مطالعه

۴. Solar Heat Gain Coefficient	پیشنهاد می‌گردد پژوهشی برای بررسی ترکیب انواع گونه‌های نمای
۵. Visible transmittance	شهری، باتوجه‌به الگوهای مختلف شبکه‌ی معابر شهری برای اقلیم سرد و
۶. Pearson's coefficient of correlation	همچنین اثر فضای سبز (نوع درختان و فاصله بین آنها) در کاهش بار
۷. ANOVA	سرمایشی ساختمان‌ها در تابستان و اثر شاخص هندسه خیابان بر جذب
۸. Kolmogorov-Smirnov test	تابش خورشیدی سطح پنجره در جهات مختلف جغرافیایی مورد بررسی
۹. Post Hoc	قرار گیرد.
۱۰. Variances	تعارض منافع
۱۱. Test-Tukey	نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافی برای اعلام ندارند.
۱۲. Games-Howell	پی‌نوشت‌ها
۱۳. Auto Cad	۱. Covid 19
۱۴. ClimateConsultant	۲. عبارت است از میزان نسبت بین سطح پنجره به سطح دیوار
۱۵. DesignBuilder	۳. Thermal transmittance

منابع

- ابراهیم‌پور، عبدالسلام، محمدکاری، بهروز. (۱۳۹۰). روشی جدید برای طراحی پنجره باتوجه‌به مصرف انرژی. مجله مهندسی مکانیک مدرس، ۱۱(۱)، ۷۷-۸۸.
- باقری اسفه، حامد، شهریار، مصطفی. (۱۳۹۸). تأثیر استفاده از گازهای مختلف در پنجره‌های چندجداره به‌منظور کاهش تلفات حرارتی ساختمان. مهندسی مکانیک مدرس. ۱۹(۶)، ۱۴۰۹-۱۴۱۶.
- پیله‌چی‌ها، پیمان، بیات، محسن، قاسمی نسب، مریم. (۱۴۰۰). بهینه‌سازی پارامترهای مؤثر بر کارایی انرژی پنجره‌های دوجداره در اقلیم گرم و خشک (مطالعه موردی: جبهه جنوبی ساختمان اداری در شهر تهران). هویت شهر، ۱۵(۳)، ۱۴-۵.
- حقانی، معصومه، محمدکاری، بهروز، فیاض، ریما. (۱۳۹۶). بررسی تأثیر سایه‌بان‌های کرکره‌ای در صرفه‌جویی مصرف انرژی ساختمان‌های اداری تهران. مجله مهندسی مکانیک، ۱۷(۴)، ۱۷-۲۸.
- فلاح، حسین. (۱۳۹۸). تعیین نسبت بهینه پنجره به دیوار در جبهه جنوبی ساختمان‌های آموزشی در کرمان. نقش جهان - مطالعات نظری و فناوری‌های نوین معماری و شهرسازی. ۹(۲)، ۱۰۵-۱۱۵.
- فیاض، ریما. (۱۳۹۲). سطح بهینه پنجره ساختمان‌های مسکونی در اردبیل و تهران. نامه معماری و شهرسازی، ۵(۱۰)، ۱۰۵-۱۱۹.
- کریم‌پور، علیرضا، دیبا، داراب، اعتصام، ایرج. (۱۳۹۸). تحلیل‌های اقتصادی و ارزیابی میزان مصرف انرژی بر اساس نوع و نسبت پنجره‌ها با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی (مورد مطالعه: یک واحد مسکونی نمونه در شهر تهران). هویت شهر، ۱۳(۳)، ۱۹-۳۴.
- کریم‌پور، مهندس علیرضا، دیبا، داراب، اعتصام، ایرج. (۱۳۹۶). تحلیل تأثیر آفتاب‌گیرهای داخلی بر مصرف انرژی با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی (مطالعه موردی: واحد مسکونی در تهران). هویت شهر، ۱۱(۲)، ۱۷-۳۰.

- مهدوی‌نیا، مجتبی، وهابی، ویدا. (۱۴۰۰). بررسی تأثیر سایه‌بان‌های متحرک الحاقی به فضاهاى نیمه‌باز بر مصرف انرژی سالانه ساختمان‌های مسکونی تهران. نامه معماری و شهرسازی، ۱۳(۳۰)، ۴۱-۳۳.
- Aburas, M., Ebendorff, H., Lei, L., Li, M., Zhao, J., Williamson, T., Wu, Y., Soebarto, V. (2021). Smart windows – Transmittance tuned thermochromic coatings for dynamic control of building performance. *Energy and Buildings*, (15)235, 110717.
- Alghoul, S.K., Rijabo, H.G., Mashena, H.G. (2017). Energy consumption in buildings: A correlation for the influence of window to wall ratio and window orientation in Tripoli. *Journal of Building Engineering*, 11, 82-86.
- Alghoul, S.K., Gwesh, A.O., Naas, A.M. The Effect of Electricity Price on Saving Energy Transmitted from External Building Walls. *Energy Research Journal* 2016.
- Alwetaishi, M. (2019). Impact of glazing to wall ratio in various climatic regions: a case study, *J. King Saud Univ. - Eng. Sci.* (n.d.), 31(1), 6-18.
- ASHRAE, 2017 ASHRAE Handbook - Fundamentals, I-P, ASHRAE, Atlanta, GA, 2017.
- Bagheri-Esfe H, Shahriar M. (2019). Effect of Using Different Gases in Multi-glazed Windows to Reduce Building Heat Losses. *Modares Mechanical Engineering*. 19 (6):1409-1416. [Persian]
- Banihashemi, P., Golizadeh, H., Reza Hosseini, M. Shakouri, M. (2015). Climatic, parametric and non-parametric analysis of energy performance of double-glazed windows in different climates, *Int. J. Sustain. Built Environ*, 4 307–322.
- Bhatia, A., Abhilash, S., Sangireddy, R., Garg, V. (2019). An approach to calculate the equivalent solar heat gain coefficient of glass windows with fixed and dynamic shading in tropical climates. *Journal of Building Engineering*, 22, Pages 90-100.
- Blanco JM, Buruaga A, Roje E, Cuadrado J, Pelaz B. Energy assessment and optimization of perforated metal sheet double skin facades through Design Builder; A case study in Spain. *Energy and Buildings*. 2016; 111: 326–336.
- Carlos, J.S & Corvacho, H. (2015). Evaluation of the performance indices of a ventilated double window through experimental and analytical procedures: SHGC-values. *Energy and Buildings*, 86, 886-897.
- Cerezo, C., Dogan, T., Reinhart, T. (2014). Towards standardized building properties template files for early design energy model generation, in 2014 ASHRAE/IBPSA-USA: Building Simulation Conference, Atlanta, GA, 25–32.
- Chi, F., Yonghe, W., Ruonan, W., Gaomei, Li., Changhai, P. (2020). An investigation of optimal window-to-wall ratio based on changes in building orientations for traditional dwellings. *Solar Energy*, 195, 64-81.
- Danis, J., Mishra, S., Rempel, A.R. (2022). Direct heat flux sensing for window shading control in passive cooling systems. *Energy and Buildings* Available online 22 February 2022, 111950 In Press, Journal Pre-proof
- Ebrahimpor, A., Kari B. A new method to designing window based on energy consumption. *Modares Mechanical Engineering* 2011; 11 (1):77-88. [Persian]

- Fallah H. (2019). Determining the Most Efficient Window-to-Wall Ratio in Southern Façade of Educational Buildings in Kerman. *Naqshejahan- Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning*, 9(2):105-115. [Persian]
- Fayaz, R. (2012). The optimal window level of residential buildings in Ardabil and Tehran. *Journal of Architecture and Urbanism*, 5(10), 105-115. [Persian]
- Feng G, Chi D, Xu X, Dou B, Sun Y, Fu Y. Study on the influence of window-wall ratio on the energy consumption of nearly zero energy buildings. *Proc Eng* 2017;205:730-7
- Ferla, F., Ana-Acha-Roman, C., Calzada, J. (2020). Radiant glass façade technology: Thermal and comfort performance based on experimental monitoring of outdoor test cells. *Building and Environment*, 182, 107075.
- Goia F, Haase M, Perino M. 2013 Optimizing the configuration of a façade module for office buildings by means of integrated thermal and lighting simulations in a total energy perspective. *Appl Energy*;108:515-27.
- Goia, F. (2016). Search for the optimal window-to-wall ratio in office buildings in different European climates and the implications on total energy saving potential. *Solar Energy*. 132 467-492.
- Grinberg, M Rendek, A. (2013). Architecture & energy in practice: implementing an information sharing workflow, in *Proceedings of BS 2013: 13th Conference of International Building Performance Simulation Association*, Chambéry, France, 121-128.
- Haghani M, Kari B, Fayaz R. The Assessment of Window Blinds effect on Conserving Energy Consumption of Office Building in Tehran. *Modares Mechanical Engineering* 2017; 17 (4):17-28 [Persian]
- Islam, H., Jollands, M., Setunge, S., Ahmed, I., Haque, N. (2014). Life cycle assessment and life cycle cost implications of wall assemblages designs, *Energy Build*, 84, 33-45.
- Kahsay, M.T., Bitsuamlak, G.T., Tariku, F. (2021). Thermal zoning and window optimization framework for high-rise buildings. *Applied Energy*. 292, 116894.
- Karimpour, A., Diba, D., Eteessam, I. (2017). Assessing Energy Performance of Simulation-powered Internal Sun Shading Devices for Residential Buildings in Tehran. *Hoviat Shahr* 11(30), 17-30. [Persian]
- Karimpour, A., Diba, D., Eteessam, I. (2019). Economic Analysis and Assessing Energy Performance of Simulation-Powered Optimal Window Type and Window to Wall Ratio for Residential Buildings in Tehran. *HOVIATSHAHR*, 13(3), 19-34. [Persian]
- Kersken, M. (2021). Method for the climate-independent determination of the solar heat gain coefficient (SHGC; g-value) of transparent façade and membrane constructions from in situ measurements. *Energy and Buildings*, 239, 110866.
- Lee, J.W., Jung, H.J., Park, J.Y., Lee, J.B., Yoon, Y., (2013). Optimization of building window system in Asian regions by analyzing solar heat gain and daylighting elements. *Renew. Energy* 50, 522-531.
- Liu, c., Lyu, Y., Li, Ch., Li, L., Zhuo, K., Su, H. (2021). Thermal performance testing of triple-glazing water flow window in cooling operation. *Solar Energy*, 218, 108-116.

- Loughner, C.P., Allen, D.J., Zhang, D.L., Pickering, K.E., Dickerson, R.R., & Landry, L. (2012). Roles of urban tree canopy and buildings in urban heat island effects: Parameterization and preliminary results. *Applied Meteorology and Climatology*, 51(10), 1775-1793. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-11-0228.1>
- Mahdavinia, M., Vahabi, V. (2019). An Analytic Study of the Effect of the Movable Shading Devices Attached to Semi-Open Spaces on the Annual Energy Consumption: A Case Study of Residential Buildings in Tehran. *Letter of Architecture and Urbanism*, 13(30), 23-41. [Persian]
- Mangkuto RA, Rohmah M, Asri AD. (2016). Design optimisation for window size, orientation, and wall reflectance with regard to various daylight metrics and lighting energy demand: a case study of buildings in the tropics. *Appl Energy* 164:211–219.
- Mohajeri N, Gudmundsson A, Kunckler T, Upadhyayd, G, Assoulinea, D., Kampfe, J.H., & Scartezzini, J.L. (2019). A solar-based sustainable urban design: The effects of city-scale street-canyon geometry on solar access in Geneva, Switzerland. *Applied Energy*, 240(15), 173-190. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.02.014>
- Monteiro, H., Fausto, F., Nelson, S. (2021). Life cycle assessment of a south European house addressing building design options for orientation, window sizing and building shape. *Journal of Building Engineering*, 39, 102276.
- Pai, M.Y., Siddhartha, D. (2015). Effect of building orientation and window glazing on the energy consumption of hvac system of an office building for different climate zones. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 4(9).
- Parsaee, P., Demersa, C.M.H., Potvina, A., Lalondeb, J.F., Hébert, M.M. (2021). Biophilic photobiological adaptive envelopes for sub-Arctic buildings: Exploring impacts of window sizes and shading panels' color, reflectance, and configuration. *Solar Energy*, 220, 802-827.
- Phillips, R., Troup, L., Fannon, D., Eckelman, M.J. (2020). 10 Questions Triple bottom line sustainability assessment of window-to-wall ratio in US office buildings. *Building and Environment*, 182, 107057.
- Pilechiha, P., Mohsen Bayat, M., Ghasemi Nasab, M. (2020). Energy Optimization of Double Glazed Window Parameters in Hot and Arid Climate (Case Study: the Southern Front of an Office Building in Tehran). *Hoviat Shahr*, 15(47), 5-14. [Persian]
- Ran J, Tang M. Passive cooling of the green roofs combined with night- time ventilation and walls insulation in hot and humid regions. *Sustain Cities Society*. 2018; 38: 466- 75.
- Rizki A.M., Mardliyahtur, R., Anindya, D.A. (2016). Design optimisation for window size, orientation, and wall reflectance with regard to various daylight metrics and lighting energy demand: A case study of buildings in the tropics. *Applied Energy*, 164, 211-219.
- Rubeis Td, Nardi I, Ambrosini D, Paoletti D. Is a self-sufficient building energy efficient? Lesson learned from a case study in Mediterranean climate. *Apply Energy*. 2018; 218:131-145.

- Saadatian, Sh, Freire, F., Simões, N. (2021). Embodied impacts of window systems: A comparative assessment of framing and glazing alternatives. *Journal of Building Engineering*, 35, 102042.
- Sadooghi, P. (2022). HVAC electricity and natural gas saving potential of a novel switchable window compared to conventional glazing systems: A Canadian house case study in city of Toronto. *Solar Energy*, 231, 129-139.
- Sarralde J.J., Quinn D.J., Wiesmann, D., & Steemers K. (2015). Solar energy and urban morphology: Scenarios for increasing the renewable energy potential of neighbourhoods in London. *Renewable Energy*, 73, 10-17. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.06.028>
- Shen H, Tzempelikos A. Sensitivity analysis on daylighting and energy performance of perimeter offices with automated shading. *Build Environ* 2013;59:303–314.
- Xie, X., Chen, X., Xu, B., Pei, G. (2022). Investigation of occupied/unoccupied period on thermal comfort in Guangzhou: Challenges and opportunities of public buildings with high window-wall ratio. *Energy*, 224(PartB), 123186.
- Yeom, S., Kim, H., Hong, T., Lee, M. (2020). Determining the optimal window size of office buildings considering the workers' task performance and the building's energy consumption. *Building and Environment*, Volume 177, 106872
- Zhao, J., Du, Y. (2020). Multi-objective optimization design for windows and shading configuration considering energy consumption and thermal comfort: A case study for office building in different climatic regions of China. *Solar Energy*, 206, 997-1017.
- Zheng, X., Dai, D., Tang, M. (2020). An experimental study of vertical greenery systems for window shading for energy saving in summer. *Journal of Cleaner Production*, 259, 120708.

Analysis of the effect of window geometry on the thermal performance of the north and south facades of urban housing in the cold climate of Hamedan City

Hojjat Ghiyasvand¹

(Receive Date: 03 November 2023 Revise Date: 08 December 2023 Accept Date: 15 January 2024)

Research Article

Extended Abstract

Introduction: In a cold climate, it is necessary to correctly determine the window geometry parameters in order to access sunlight and improve thermal performance. The window is one of the main factors that can increase the demand for cooling energy in summer and reduce heating energy in winter. Therefore, the goal is to investigate the effect of window geometry parameters (WWR, U, SHGC, Shading) on energy consumption, in order to determine the optimal window level of the cold climate urban housing of Hamedan city. The ratio of the surface of the window to the wall and its geometric parameters, as an independent variable, and the amount of energy consumption, is a dependent variable.

Methodology: The type of research is quantitative and based on the numerical data of the window-to-wall surface (WWR) and energy simulation, and statistical methods have been used in the analysis of the findings. In the data analysis, Pearson's correlation coefficient analysis, variance comparison analysis and follow-up tests were used to determine the relationship between the variables and determine the optimal level (WWR). This study in four stages; Investigating the window-to-wall surface ratio (WWR) of traditional houses, the effect of the WWR of the north and south facades of contemporary housing on building energy, the optimization of WWR due to variables (U, SHGC, SHADING) and the determination of the optimal level have been carried out. The statistical population of this research is in the first part of the selected houses of traditional housing in Hamadan city and to simulate contemporary housing, of the northern and southern parts in the new texture (conventional linear pattern) with an area of 240 square meters in each plot.

Results: the results showed that; The southern front of traditional housing has 55.69% more glass wall surface than the north-facing front. In the contemporary context of Hamadan city, adding windows to the south-facing walls reduces the heating, lighting and final energy, and the north-facing walls increase the cooling, heating and final energy. The south-facing front has a better thermal performance than the north-facing front with a decrease in final energy (-21.55%). In cold climate, the lower the value of U and SHGC, the lower the energy consumption and the type of relationship is direct. For the north face, shading has no effect on energy consumption. But for the southern front, horizontal and combined fixed shading are effective and reduce cooling energy and increase heating energy, so to prevent the increase of heating energy due to the creation of fixed shading, movable shading can be used, Or it is better to reduce the amount of heating energy consumption by increasing the vertical distance of the awning from the top of the window.

Conclusion: On the south front, the optimal window-to-wall level equal to 60% WWR has a final load reduction of -18.52%, and on the north facing front, WWR = 40% has a final load reduction of -8.38%. Based on the results, a revision proposal has been presented in Appendix 10, Topic 19 of the National Building Regulations.

Conflict of interest: None declared.

Keywords: Geometrical parameters of window, north and south front, thermal performance, Hamadan city

¹ Department of Architecture, Malayer Branch, Islamic Azad University, Malayer, Iran.(Corresponding Author)ho.ghiasvand@iau.ac.ir