ISSN: 2008-5079 / EISSN: 2538-2365
DOI: 10.22034/AAUD.2021.174175.1822

بررسی تأثیر ابعاد پنجره بر نورگیری طبیعی و مصرف انرژی در مجموعه‌های مسکونی اقلیم گرم و خشک ایران، مورد مطالعاتی: شهر اصفهان*

مهدی اخترکاوان[1] - **سمانه شفیعی[2]**

۱. استادیار گروه معماری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران (نویسنده مسئول).
۲. کارشناسی ارشد معماری، دانشکده معماری و هنر، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۱۵ تاریخ اصلاحات: ۱۳۹۹/۱۰/۱۹ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۹/۱۰/۲۸ تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۳/۳۱

چکیده

پژوهش حاضر با هدف نورگیری طبیعی و مصرف انرژی بهینه در ساختمان‌های مسکونی انجام پذیرفته است. در این پژوهش، منطقه چهار اصفهان به عنوان یکی از شهرهای اقلیم گرم و خشک برای مطالعه انتخاب گردید. به منظور بررسی تأثیر ابعاد پنجره از تلفیقی از روش انجام پژوهش شبیه‌سازی روشنایی و انرژی با استفاده از پلاگین‌های دیوا[1]، هانی بی[2] و لیدی باگ[3] و با کمک موتور شبیه‌سازی انرژی‌پلاس[4] استفاده شده است، به طوری که ابتدا با در نظر گرفتن درصد پنجره به مساحت دیوار جنوبی به عنوان متغیر، درصد بهینه پنجره از منظر بهره‌مندی از نور روز و عملکرد انرژی تعیین و سپس به نقش شکل و تناسبات پنجره در نورگیری طبیعی پرداخته شد. هدف از این بررسی، فراهم کردن خطوط راهنمایی به منظور کمک به معماران در تعیین ابعاد و تناسبات مناسب پنجره‌ها در مجتمع‌های مسکونی اقلیم گرم و خشک ایران می‌باشد. نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهد که افزایش ابعاد و تناسبات پنجره موجب افزایش درصد بهره‌مندی از نور روز به همان میزان نمی‌گردد. از این رو، هرچند افزایش مساحت پنجره موجب کاهش در مصرف روشنایی الکتریکی می‌شود اما، افزایش بیش از اندازه مساحت پنجره، تأثیر قابل توجهی در افزایش صرفه‌جویی روشنایی الکتریکی ندارد. به علاوه، با توجه به بار سرمایشی تحمیلی توسط روشنایی الکتریکی نباید توقع داشت که پنجره‌های بسیار کوچک، مصرف انرژی سرمایشی ساختمان را کاهش دهند. از سوی دیگر با توجه به اتلاف گرما از طریق پنجره‌ها نباید توقع داشت که پنجره‌های بسیار بزرگ، مصرف انرژی گرمایشی ساختمان را کاهش دهند. از بررسی نتایج حاصل از پژوهش مساحت حدود ۳۰ درصد بهینه‌ترین ابعاد پنجره برای جبهه جنوبی ساختمان به دست آمد. با این وجود، اگر چه ابعاد به دست‌آمده به شرایط طراحی ساختمان مانند پلان، ساختمان‌های اطراف و سایر عوامل نیز بستگی دارد، برای هر ساختمان بهتر است به طور جداگانه تعیین گردد.

واژگان کلیدی: اتونومی نور روز فضایی[5]، دریافت سالیانه نور مستقیم خورشید[6]، مصرف انرژی روشنایی الکتریکی[7]، مصرف انرژی سرمایشی[8]، مصرف انرژی گرمایشی[9].

* این مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد نویسنده دوم با عنوان « طراحی مجموعه مسکونی در مقیاس محله با رویکرد نورگیری طبیعی بهینه در شهر اصفهان» است که با راهنمایی نویسنده اول در سال ۱۳۹۸ انجام گرفته است.

** E-mail: m.akhtarkavan@qom.ac.ir

۱. پرسش‌های پژوهش

۱. ابعاد و تناسبات پنجره چه تأثیری بر بهره‌مندی از نور روز و عملکرد انرژی در مجموعه‌های مسکونی اقلیم گرم و خشک ایران دارد؟
۲. چگونه می‌توان ابعاد و تناسبات بهینه پنجره را با درنظرگیری همزمان نورگیری طبیعی و مصرف انرژی در مجموعه‌های مسکونی اقلیم گرم و خشک ایران تعیین نمود؟

۲. مقدمه

نورگیری طبیعی یکی از عملکردهای اساسی پنجره‌ها است و پنجره‌ها به عنوان مهم‌ترین منابع تأمین شدت روشنایی در فضای داخلی ساختمان‌ها به‌شمار می‌روند. ویژگی‌های پنجره مانند موقعیت پنجره، جهت‌گیری، ابعاد و تناسبات، شفافیت شیشه و ابزارهای سایه‌اندازی به‌کار رفته در تعیین کمیت و کیفیت نور در فضای داخلی نقش دارند. انتخاب ویژگی‌های پنجره یک گام کلیدی در طراحی ساختمان است. طراحی صحیح پنجره‌ها علاوه بر بهره‌مندی بیش‌تر ساختمان از روشنایی بهتر نسبت به تجهیزات نور الکتریکی، موجب ذخیره انرژی نیز می‌گردد. این موضوع در طراحی مجتمع‌های مسکونی دارای اهمیتی دوچندان است، چرا که خانه مکانی است که بیش‌ترین زمان ساکنین در آن برای رسیدن به آرامش و آسایش سپری می‌شود. این در حالی است که مطالعات در مورد ویژگی‌های پنجره‌ها و نورگیری طبیعی اغلب به کاربری اداری پرداخته‌اند و پژوهش‌های بسیار کمی در مورد پنجره‌های مجتمع‌های مسکونی انجام یافته است. از جمله محدود مطالعاتی که در این حوزه انجام شده است می‌توان به پژوهش‌های صورت پذیرفته توسط لارتیج[۱۰] و همکارانش، ملندو و راچ[۱۱]، منتصر کوهساری[۱۲] و همکارانش، دب و دانگر[۱۳] و سوناون و ماسکه[۱۴] اشاره نمود. لذا، در پژوهش حاضر، پنجره‌های فضای مسکونی به عنوان متغیرهای پژوهش مورد بررسی و تجزیه و تحلیل واقع شدند. یکی از موضوعات اصلی در طراحی پنجره، تعیین ابعاد و تناسبات آن‌ها است. با توجه به این نکته که ابعاد پنجره علاوه بر تأثیر بر میزان بهره‌مندی از نور روز، بار گرمایشی و سرمایشی محیط را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد، برای رسیدن به تناسبات و ابعاد بهینه آن به غیر از توجه به میزان بهره‌مندی از نور روز و میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی، باید تأثیرات انرژی صرف‌شده جهت گرمایش و سرمایش محیط را نیز مدنظر قرار داد. از سوی دیگر، انتخاب ابعاد بهینه برای پنجره به شرایط غالب آسمان در اقلیم مورد نظر نیز بستگی دارد. بنابراین، برای تعیین ابعاد مناسب پنجره‌ها باید شرایط اقلیمی محل ساختمان مورد بررسی قرار گیرد. در اقلیم گرم و خشک با آسمان غالباً صاف، کسب گرما از طریق پنجره‌ها مسئله‌ساز است. پنجره‌های بزرگ اگرچه اجازه ورود روشنایی طبیعی بیش‌تری را به فضا می‌دهند، اما با کسب تابش گرمایی بیش‌تر، منجر به گرم شدن بیش از حد فضا نیز می‌شوند؛ از این جهت، در این مقاله به بررسی تأثیر ابعاد پنجره بر میزان بهره‌مندی از نور روز و عملکرد انرژی در اقلیم گرم و خشک ایران (منطقه ۴ شهر اصفهان به عنوان یکی از شهرهای این اقلیم) پرداخته شد.

۳. پیشینه پژوهش

تأثیر ابعاد پنجره‌ها بر نورگیری طبیعی و مصرف انرژی توسط محققان بسیاری مورد بررسی واقع شده‌اند. لارتیج و همکارانش در مطالعه‌ای تحت عنوان بهینه‌سازی چندمنظوره‌ی بناها جهت مصرف انرژی و نور روز، یک روش‌شناسی با بهره‌مندی از شبیه‌سازی با نرم‌افزارهای دیسیم[۱۵] و ترنسیس[۱۶] را به منظور بهینه کردن پوسته ساختمان با توجه به سه هدف نور روز، بار سرمایشی و بار گرمایشی ارائه نمودند. این مطالعه با هدف دستیابی به شاخص‌های بهینه که منجر به بیشینه‌سازی بهره‌مندی از نور روز و کمینه‌سازی بار انرژی شود انجام یافته است. در این پژوهش چالش‌هایی از جمله معادلات پیچیده، تعدد شاخص‌ها و مدت زمان شبیه‌سازی طولانی به عنوان مشکلاتی در حوزه طراحی نور روز عنوان شده است. همچنین، این مطالعه نشان می‌دهد که در بررسی نور روز نمی‌توان روشنایی طبیعی را مستقل از آسایش حرارتی مورد توجه قرار داد (Lartigue et al. 2013, 71-80). ملندو و راچ در مطالعه‌ای تحت عنوان بررسی تأثیر ابعاد پنجره بر بهره‌مندی نور روز و عملکرد انرژی در ساختمان‌ها، تأثیر ابعاد و تناسبات پنجره‌ها را بر شدت روشنایی و مصرف انرژی با بهره‌گیری از شبیه‌سازی با نرم‌افزار هید[۱۷] بررسی نمودند. طبق نتایج حاصل از بررسی‌های آن‌ها، پنجره‌های بزرگ موجب بهره‌مندی بیش‌تر از نور روز در محیط می‌شوند، اما این پنجره‌ها موجب دریافت گرمای اضافی و اتلاف حرارت نیز می‌شوند که سبب افزایش بار گرمایش و سرمایش ساختمان نیز می‌شود. از این رو، طراحی مناسب پنجره‌ها با در نظر گرفتن تأثیر همزمان شدت روشنایی و دما می‌تواند به میزان قابل توجهی بار سرمایش و مصرف انرژی سیستم تهویه مکانیکی را کاهش دهد و همین‌طور شرایط گرمایی و روشنایی داخلی مناسب‌تری را فراهم آورد (Melendo and Roche 2014, 1-8).
منتصر کوهساری و همکارانش در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر ابعاد و محل قرارگیری پنجره بر میزان مصرف انرژی ساختمان مسکونی پرداختند. در این پژوهش با استفاده از شبیه‌سازی به کمک نرم‌افزارهای رادیانس[۱۸]، دیسیم و انرژی‌پلاس و بهره‌گیری همزمان از تحلیل‌های گرمایی و روشنایی تأثیر ابعاد و تناسبات پنجره بر روشنایی و مصرف انرژی ساختمان مسکونی در اقلیم معتدل و مرطوب بررسی شده است. بر اساس یافته‌های این پژوهش تأثیر ارتفاع پنجره بر بهره‌مندی از نور روز فضای

داخلی و کارائی انرژی بیش‌تر از تأثیر عرض پنجره است. همین‌طور، در این اقلیم به دلیل اتلاف حرارتی کم از طریق پنجره‌ها و ضریب رسانش گرمایی، مصرف و کارائی انرژی روشنایی به عنوان یکی از عوامل مهم تعیین ابعاد پنجره‌ها در محاسبات در نظر گرفته می‌شود (Montaser Koohsari et al. 2015, 187-194).

دب و دانگر در پژوهشی دیگر به بررسی و تجزیه‌وتحلیل عملکرد نور روز در واحد مسکونی پرداختند و بر اساس شاخص‌های نور روز به بررسی تأثیر ابعاد پنجره و جهت‌گیری ساختمان بر بهره‌مندی از نور روز پرداختند. این پژوهش در اقلیم گرم و خشک و بر روی یک ساختمان مسکونی چندطبقه در شهر ناگپور هند انجام یافته و در آن آسایش بصری با در نظر داشتن تأمین همزمان آسایش حرارتی با کمک شبیه‌سازی با نرم‌افزارهای اکوتکت[۱۹] و دیسیم بررسی شده است (Dabe and Dongre 2016, 1-14).

سوناون و ماسکه در مطالعه‌ای به بررسی و آنالیز بهره‌مندی از نور روز در بناهای آپارتمانی مسکونی با استفاده از جی. آی. اس[۲۰] می‌پردازند. آن‌ها در این مطالعه با کمک نرم‌افزارهای ریلوکس[۲۱] و گرام تو پلاس[۲۲]، یک روش تحلیلی ساده‌سازی‌شده بر اساس جی. آی. اس را به منظور ارزیابی پتانسیل نور روز فضای داخلی در شرایط آسمان صاف ارائه می‌دهند. این پژوهش با هدف ارزیابی شدت روشنایی داخلی حاصل از شدت روشنایی خارج ساختمان در آپارتمان‌های مسکونی انجام شده است. در این پژوهش یک نمونه آپارتمان مسکونی در شهر پان‌سیتی هند به منظور بررسی تأثیر اقلیم سایت، ابعاد پنجره‌ها و جهت‌گیری آن‌ها بر شدت روشنایی فضای مسکونی بررسی شده است. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، با افزایش ابعاد پنجره، شدت روشنایی به همان میزان افزایش نمی‌یابد. همچنین، پنجره‌های بزرگ‌تر می‌توانند خیرگی بیش‌تری ایجاد نمایند و به سایه‌اندازی بیش‌تری نیز نیاز خواهند داشت (Sonawane and Mhaske 2016, 1-10).

لی[۲۳] و همکارانش نیز در مطالعه‌ای به بررسی و تجزیه و تحلیل نور روز و بهینه‌سازی پنجره ساختمان پرداختند. این پژوهش که در مناطق آسیایی انجام پذیرفته است با بررسی المان‌های نور روز و دریافت حرارت خورشیدی به بهینه‌سازی پارامترهای پنجره به منظور افزایش بهره‌مندی نور روز و کارایی انرژی پرداخته است. در این مطالعه متغیر اصلی پژوهش نسبت مساحت پنجره به مساحت دیوار[۲۴] در نظر گرفته شده است. این پژوهش با روش شبیه‌سازی کامپیوتری با استفاده از نرم‌افزار کامفن[۲۵] پنج کشور آسیایی شامل چین، ژاپن، فیلیپین، تایوان و کره را مورد مطالعه قرار داده است. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش به منظور افزایش بهره‌مندی از نور روز و کارایی انرژی، نسبت مساحت پنجره به مساحت دیوار بایستی حداقل ۲۵ درصد برای نماهای غربی، شرقی و جنوبی در نظر گرفته شود و حداقل ۵۰ درصد برای نمای شمالی لحاظ گردد (Lee et al. 2013, 522-531).

۴. مبانی نظری پژوهش

به منظور ارزیابی نورگیری کافی و مناسب از طریق پنجره‌ها باید شاخص‌های مناسب نور روز انتخاب شوند. در این زمینه، کارلوسی و همکارانش شاخص‌های ارزیابی آسایش بصری و کاربرد آن‌ها را در فرآیندهای بهینه‌سازی طراحی ساختمان‌ها در پژوهشی ارائه نمودند. در این پژوهش شاخص‌هایی مانند شدت روشنایی، درخشندگی، اتونومی نور روز، روشنایی مفید نور روز معرفی شده است (Carlucci et al. 2015, 1016-1033). به منظور ارزیابی نور روز در رابطه با اقلیم، شاخص‌های طولانی مدت که عملکرد نور روز ساختمان را در طول یک سال بررسی می‌کنند بر شاخص‌های کوتاه‌مدت مانند شدت روشنایی ترجیح داده می‌شوند. بنابراین در این تحقیق، شاخص اتونومی نور روز فضایی به منظور ارزیابی کافی بودن نور روز و شاخص دریافت سالیانه نور مستقیم خورشید به منظور ارزیابی مناسب بودن نور روز انتخاب شده‌اند. در ادامه هر یک از این شاخص‌ها معرفی می‌شوند.

۴-۱- اتونومی نور روز (DA)

این شاخص توسط رینهارت و واکنهرست در سال ۲۰۰۱ میلادی معرفی شده است. این شاخص بیانگر درصدی از زمان‌های اشغال یک فضا در طول یک‌سال است که حداقل آستانه شدت روشنایی مورد نیاز به تنهایی از طریق نور روز تأمین شده باشد (Reinhart and Walkenhorst 2001, 7). بر اساس استاندارد بین المللی لید[۲۶] (۲۰۱۴) ۳۰۰ لوکس حداقل شدت روشنایی مورد نیاز برای فضای مسکونی در نظر گرفته شده است (Andersen 2014, 18).

(۱)

$$DA = \frac{\sum_i (wf_i \cdot t_i)}{\sum_i t_i} \in [0,1]$$

$$\text{with} \quad wf_i = \begin{cases} 1 & \text{if} \quad E_{Daylight} \geq E_{limit} \\ 0 & \text{if} \quad E_{Daylight} < E_{limit} \end{cases}$$

۴-۲- اتونومی نور روز فضایی (SDA)

این شاخص مرتبط با شاخص DA است و به صورت درصدی از فضا (سطح کف) در نظر گرفته می‌شود که میزان مشخصی از روشنایی روز (۳۰۰ لوکس) در مدت زمان مشخصی از ساعات اشغال سالیانه فضا تأمین شده باشد (جامعه مهندسی روشنایی[۲۷]، ۲۰۱۲). به عنوان مثال آتانومی نور روز فضایی (۳۰۰ و۵۰ درصد) نشان‌دهنده درصدی از فضا است که سطح روشنایی بیش‌تر از ۳۰۰ لوکس در بیش از ۵۰ درصد از ساعات اشغال سالیانه

فضا باشد. از این رو، این شاخص به صورت $SDA_{300/50\%}$ بیان می‌شود. به موجب این استاندارد، بایستی حداقل ۵۰ درصد از فضا در حداقل ۵۰ درصد از ساعات اشغال در طول یک‌سال، حداقل شدت روشنایی ۳۰۰ لوکس را دریافت کند.

$$sDA_{x/y\%} = \frac{\sum_i (wf_i \cdot DA)}{\sum_i P_i} \in [0,1] \qquad (۲)$$

$$\text{with} \quad wf_i = \begin{cases} 1 & \text{if} \quad DA \geq DA_{limit} \\ 0 & \text{if} \quad DA < DA_{limit} \end{cases},$$

۴-۳- دریافت سالیانه نور مستقیم خورشید (ASE)

شاخص ASE میزان دریافت سالیانه نور مستقیم خورشید را به صورت درصدی از سطح مشخص می‌کند و میزان روشنایی مستقیم بیش از ۱۰۰۰ لوکس را در بیش از ۲۵۰ ساعت از زمان اشغال (تابش مستقیم) بیان می‌کند. حداکثر مقدار ASE قابل قبول به جهت مناسب بودن نور روز، ۱۰ درصد تعیین شده است (ASE1000/250h<10%). یعنی حداکثر ۱۰ درصد از کف فضا باید در حداکثر ۲۵۰ ساعت در طول یک‌سال، شدت روشنایی بیشینه هزار لوکس را دریافت نماید.

۵. روش پژوهش

در این پژوهش به جهت بررسی میزان بهره‌مندی از نور روز و کارایی انرژی در مجتمع‌های مسکونی، از روش انجام شبیه‌سازی استفاده گردیده است. برای این منظور از پلاگین‌های هانی بی و لیدی باگ در محیط گرسهاپر در نرم‌افزار راینو و موتور شبیه‌سازی انرژی پلاس برای شبیه‌سازی انرژی و از پلاگین دیوا برای شبیه‌سازی نور روز استفاده شده است. بدین منظور، شهر اصفهان به عنوان یکی از شهرهای اقلیم گرم و خشک ایران برای بررسی تأثیر ابعاد پنجره‌ها بر نورگیری طبیعی و عملکرد انرژی در این اقلیم انتخاب شد. برای انجام شبیه‌سازی، از فرمت ای پی دبلیو[۲۸] داده‌های آب و هوایی شهر اصفهان استفاده شد. برای تعیین نمونه مطالعاتی، منطقه چهار شهر اصفهان انتخاب گردید و یک نمونه مطالعاتی مشابه با فرم ساختمان‌های غالب منطقه مدل‌سازی شد.

۵-۱- معرفی اقلیم اصفهان

شهر اصفهان با عرض جغرافیائی ۳۲ درجه و ۳۸ ثانیه و در طول جغرافیائی ۵۱ درجه و ۳۹ دقیقه در فلات مرکزی ایران واقع شده است. طبق تقسیمات اقلیمی کوپن، اصفهان در ناحیه گرم و خشک کشور ایران (BWK) قرار گرفته است. تابش مستقیم آفتاب در این اقلیم بسیار شدید است و در هر ساعت در هر متر مربع در حدود ۷۰۰ الی ۸۰۰ کیلو کالری ($k.cal/m^2$) در سطوح افقی انرژی تولید می‌کند که با افزایش پرتو بازتاب شده از سطوح بایر زمین، شدت آن بیش‌تر هم می‌گردد. آسمان این مناطق، در بیش‌تر مواقع از سال بدون ابر است (Kasmai 2003, 84).

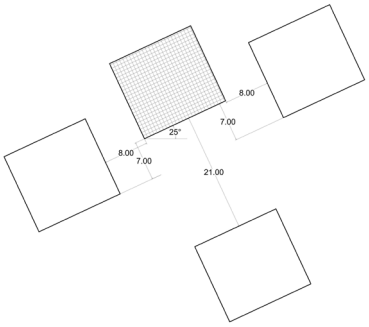
۶. روند پژوهش

در این پژوهش به جهت ارزیابی تأثیر ابعاد پنجره بر میزان بهره‌مندی از نور روز و عملکرد انرژی ساختمان، در مرحله نخست میزان اثرات درصد پنجره به مساحت دیوار وجه جنوبی ساختمان (WWR) ارزیابی گردید. در این مرحله، WWR به عنوان متغیر و سایر عوامل ثابت فرض گردید و بر اساس نتایج شبیه‌سازی‌های نور روز و عملکرد انرژی، WWR بهینه تعیین شد. در مرحله بعد، میزان تأثیر تناسبات و شکل پنجره بر بهره‌مندی از نور روز مورد تحلیل واقع شد. به این صورت که یک بار تناسبات پنجره و یک بار شکل آن‌ها مورد بررسی واقع شدند. در شکل ۱ ابعاد و پلان فضای مورد مطالعه نشان داده شده است. این فضا با ارتفاع ۲.۸ متر و کاربری مسکونی در طبقه اول یک ساختمان با چرخش ۲۵ درجه نسبت به جنوب به سمت شرق در نظر گرفته شده است. این جهت‌گیری، بر اساس تابش آفتاب و جهت‌گیری بهینه اقلیم گرم و خشک ایران انتخاب شد تا ضلع جنوبی بیش‌ترین تابش آفتاب در فصل زمستان و کم‌ترین تابش را در فصل تابستان دریافت نماید (Ibid). همچنین، انتخاب طبقه اول به این علت که طبقات پایین‌تر در مقایسه با طبقات بالاتر، شدت روشنایی کم‌تر و با کیفیت ضعیف‌تر دریافت می‌کنند و در طول روز نیازمند روشنایی الکتریکی بیش‌تری هستند انتخاب شد.

شکل ۱: پلان مدل

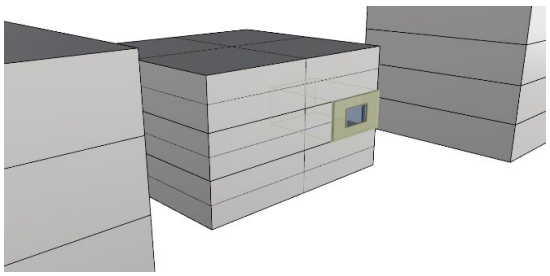
در شکل ۲ واحدهای همسایگی و فواصل آن‌ها با ساختمان مورد مطالعه نشان داده شده است.

شکل ۲: همسایگی‌های ساختمان

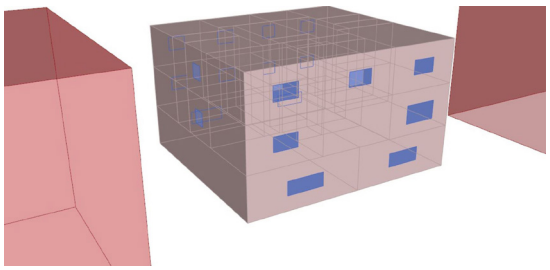


با توجه به این که اتاق‌های مجاور و طبقات بالا و پایین نیز بر بار انرژی ساختمان تأثیرگذار خواهند بود، لذا این فضاها نیز در شبیه‌سازی انرژی مدلسازی و مورد ارزیابی واقع شدند (شکل ۳ و ۴).

شکل ۳: مدل شبیه‌سازی روشنایی طبیعی



شکل ۴: مدل شبیه‌سازی انرژی



۶-۱- تأثیر ابعاد پنجره بر بهره‌مندی از نور روز و عملکرد انرژی ساختمان

به جهت بررسی میزان تأثیر ابعاد پنجره بر میزان بهره‌مندی از نور روز و عملکرد انرژی، ابتدا داخل نرم‌افزار بر روی مدل ترسیم‌شده‌ی یک شبکه ۲۵ در ۲۵ سانتیمتری در ارتفاع سطح کار (۷۰ سانتیمتری از کف) تعریف شد و درصد مساحت پنجره به دیوار خارجی (WWR) برابر با ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰، ۴۵، ۵۰ و ۵۵ درصد به‌عنوان متغیر تحقیق به نرم‌افزار اعمال گردید. سپس به ازای هر یک از مقادیر تعریف‌شده تغییرات شاخص‌های دریافت سالیانه نور مستقیم خورشید و اتونومی نور روز فضایی در پلاگین دیوا در سطح شبکه تعریف‌شده محاسبه گردید. سپس به کمک پلاگین لیدی باگ ساعات طلوع تا غروب خورشید برای محاسبه شاخص‌های نور روز به‌عنوان ساعات اشغال فضا تعریف و تحت عنوان برنامه‌ی زمان‌بندی به پلاگین دیوا اختصاص یافت. همچنین، با استفاده از پلاگین هانی بی برای هر یک از مقادیر WWR مصرف انرژی گرمایشی، سرمایشی و روشنایی الکتریکی به منظور ارزیابی عملکرد انرژی ساختمان محاسبه گردید. برای این منظور، از استاندارد ارائه‌شده در راهنمای مبحث نوزده مقررات ملی ساختمان ایران برای تعیین مصالح استفاده شد و برای انجام محاسبات از مقادیر درصد بازتاب سطوح و ضرایب انتقال حرارت مصالح مطابق با جدول ۱ استفاده گردید. همین‌طور، درصد عبور نور مرئی توسط شیشه در داخل نرم افزار ۰.۷۸ در نظر گرفته شد.

جدول ۱: درصد بارتاب تعریف‌شده برای شبیه‌سازی نور روز در نرم‌افزار دیوا و ضرایب انتقال حرارت برای شبیه‌سازی انرژی در نرم‌افزار هانی بی

سطح	دیوارهای خارجی	دیوارهای داخلی	کف	سقف	فریم	پنجره
درصد انعکاس	۰.۳	۰.۵	۰.۲	۰.۷	۰.۵	
ضریب انتقال حرارت	۱.۰۱	۱.۰۱	۱.۸۳	۰.۶۳	-	۳/۴

۶-۲- تأثیر شکل و تناسبات پنجره بر بهره‌مندی از نور روز ساختمان

دو متغیر تناسبات و شکل پنجره برای ارزیابی نقش تناسبات پنجره در بهره‌مندی از نور روز ساختمان تعریف شد و تحلیل بهره‌مندی از نور روز برای هر یک از متغیرها بر اساس نتایج شبیه‌سازی نور روز انجام پذیرفت.

۶-۲-۱- تأثیر شکل پنجره بر بهره‌مندی از نور روز

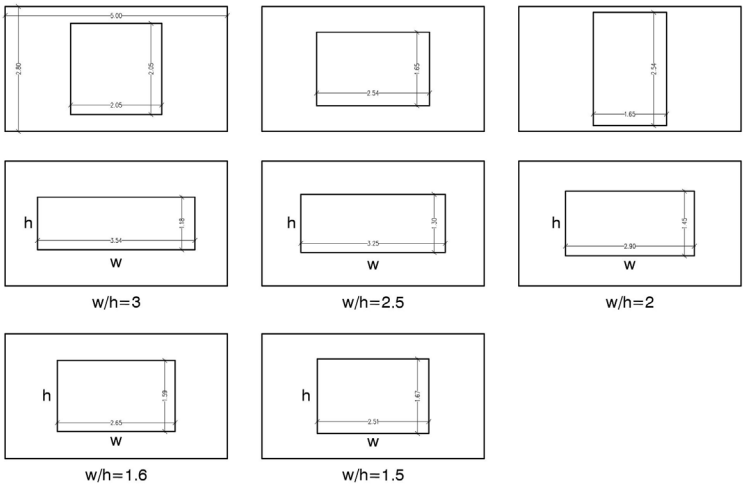
در این بخش از مطالعه برای ارزیابی شکل پنجره بر میزان بهره‌مندی از نور روز، سه تیپ شکل پنجره عمودی، افقی و مربع در نظر گرفته شد به نحوی که بر اساس نتیجه درصد بهینه مساحت پنجره به دیوار خارجی (WWR) که از مرحله قبل به دست آمد، مساحت هر سه شکل پنجره برابر با ۳۰ درصد دیوار جنوبی در نظر گرفته شد. بر اساس نتایج مطالعات انجام‌شده، برای بهبود آسایش بصری لازم است از خیره‌گی نیز پرهیز گردد. خیره‌گی از طریق پنجره‌ها می‌تواند زمانی به‌وجود بیاید که درخشندگی نور واردشده در مقایسه با روشنایی کلی فضای داخلی بسیار بیش‌تر باشد. در این حالت، فضای مجاور پنجره‌ها در نتیجه کنتراست بالاتر و به دلیل شدت روشنایی بیش‌تر موجب خستگی مکانیسم ادراک بینایی و در نتیجه خیره‌گی (چشم‌زدگی) می شوند. از این جهت، به منظور کاهش خیره‌گی و بهبود آسایش بصری در فضاها، سعی معمار باید در توزیع یکنواخت نور در فضا باشد، به نحوی که کنتراست میان حداقل و حداکثر روشنایی

در فضا تا حد امکان کم باشد (Qiyabaklo 2013, 66). لذا، بهترین شکل پنجره، حالتی است که ضمن ایجاد خیره‌گی کم‌تر، یکنواختی شدت روشنایی بیش‌تری در سطح کار ایجاد نماید. بر این اساس، به منظور تعیین شکل بهینه پنجره، یک شبکه ۲۵ در ۲۵ سانتی‌متری و ارتفاع ۷۰ سانتیمتری از سطح کف در ساعت ۱۲ ظهر اول دی‌ماه با کمک شبیه‌سازی در پلاگین دیوا تعریف و یکنواختی توزیع شدت روشنایی شکل‌گرفته بر روی آن بررسی گردید.

۶-۲-۲- تأثیر تناسبات پنجره بر بهره‌مندی از نور روز

در این مرحله از پژوهش، برای ارزیابی تأثیر تناسبات پنجره بر میزان بهره‌مندی از نور روز، نسبت عرض به ارتفاع پنجره شامل ۳، ۲.۵، ۲، ۱.۶ و ۱.۵ به‌عنوان پنج متغیر پژوهش در نظر گرفته شد و تأثیر این تناسبات در دستیابی به درصد بهینه WWR به‌دست آمده از مراحل قبل تحقیق مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج مراحل قبل که شکل افقی پنجره را شکل مناسب‌تر برای توزیع نور یکنواخت به‌دست آورده بود، شکل همه پنجره‌ها در این مرحله به صورت افقی و مساحت همگی برابر با سی درصد از مساحت نمای جنوبی در نظر گرفته شد. همین‌طور، ارتفاع آستانه همه پنجره‌ها برابر با ۸۵ سانتیمتر در نظر گرفته شد. سپس مقادیر شاخص‌های بهره‌مندی از نور روز برای هر یک از مقادیر متغیر با استفاده از پلاگین دیوا در راینو محاسبه شد. متغیرهای در نظر گرفته‌شده برای تناسبات و شکل پنجره (شکل ۵) نشان داده شده است.

شکل ۵: متغیرهای در نظر گرفته‌شده برای شکل و تناسبات پنجره



۷. تحلیل اطلاعات

نتایج حاصل از انجام شبیه‌سازی‌های نور روز و عملکرد انرژی برای درصدهای مختلف مساحت پنجره به دیوار وجه جنوبی ساختمان در جدول ۲ نشان داده شده است. لازم به توضیح است که سیستم تهویه مکانیکی استفاده‌شده برای ارزیابی عملکرد انرژی، سیستم بارهای هوایی ایده آل[۲۹] در نظر گرفته شد به نحوی که این سیستم غیر واقعی و فقط برای مقایسه موتور شبیه‌سازی انرژی پلاس به‌کار برده شده است.

جدول ۲: مقادیر شاخص‌های نور روز و عملکرد سالیانه انرژی برای درصدهای مختلف پنجره به مساحت دیوار وجه جنوبی ساختمان

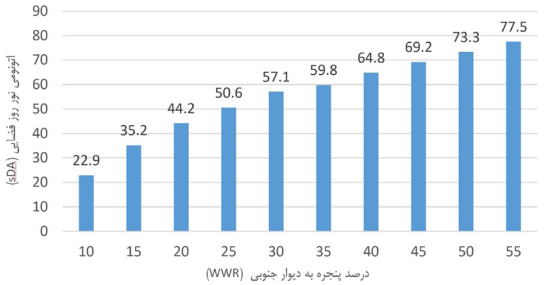
درصد پنجره به دیوار جنوبی	اتونومی نور روز فضایی	دریافت سالیانه نور مستقیم خورشید	مصرف سالیانه انرژی روشنایی الکتریکی	هزینه مصرف سالیانه انرژی روشنایی الکتریکی	مصرف سالیانه انرژی سرمایشی	هزینه مصرف سالیانه انرژی سرمایشی	مصرف سالیانه انرژی گرمایشی	هزینه مصرف سالیانه انرژی گرمایشی	مجموع مصرف سالیانه انرژی سرمایشی و گرمایشی	مجموع هزینه مصرف سالیانه انرژی سرمایشی و گرمایشی	مجموع مصرف سالیانه انرژی	مجموع هزینه مصرف سالیانه انرژی
(WWR)	(SDA)	(ASE)	(kwh/m²)	($/m²)	(kwh/m²)	($/m²)	(kwh/m²)	($/m²)	(kwh/m²)	($/m²)	(kwh/m²)	($/m²)
۱۰	۲۲.۹	۱۶.۵	۵۹.۲۷۲	۱.۸۹۴	۷۳.۸۱	۲.۳۶۳	۱۸.۱۳۴	۰.۵۸۰	۹۱.۹۴۴	۲.۹۴۶	۱۵۱.۲۱۶	۴.۸۳۷
۱۵	۳۵.۲	۲۲.۱	۴۷.۸۷۳	۱.۵۲	۷۱.۰۰۷	۲.۲۷۰	۱۸.۰۳۲	۰.۵۷۷	۸۹.۰۳۹	۲.۸۵۲	۱۳۶.۹۱۲	۴.۳۶۷

مجموع هزینه مصرف سالیانه انرژی	مجموع مصرف سالیانه انرژی	مجموع هزینه مصرف سالیانه انرژی سرمایشی و گرمایشی	مجموع مصرف سالیانه انرژی سرمایشی و گرمایشی	هزینه مصرف سالیانه انرژی گرمایشی	مصرف سالیانه انرژی گرمایشی	هزینه مصرف سالیانه انرژی سرمایشی	مصرف سالیانه انرژی سرمایشی	هزینه مصرف سالیانه انرژی روشنایی الکتریکی	مصرف سالیانه انرژی روشنایی الکتریکی	دریافت سالیانه نور مستقیم خورشید	اتونومی نور روز فضایی	درصد پنجره به دیوار جنوبی
($/m²)	(kwh/m²)	($/m²)	(kwh/m²)	($/m²)	(kwh/m²)	($/m²)	(kwh/m²)	($/m²)	(kwh/m²)	(ASE)	(SDA)	(WWR)
۴.۰۹۷	۱۲۷.۲۲۲	۲.۸۷۸	۸۷.۰۳۸	۰.۵۷۱	۱۷.۸۳۶	۲.۲۱۶	۶۹.۲۰۲	۱.۳۱	۴۰.۱۸۴	۲۷.۷	۴۴.۲	۲۰
۳.۸۶۴	۱۲۰.۸۶۲	۲.۷۲۴	۸۵.۰۶۱	۰.۵۶۸	۱۷.۷۴۹	۲.۱۵۶	۶۷.۳۱۲	۱.۱۴	۳۵.۸۰۲	۳۱.۹	۵۰.۶	۲۵
۳.۷۵۸	۱۱۷.۶۱۸	۲.۷۲۸	۸۵.۱۸۳	۰.۵۶۷	۱۷.۷۰۷	۲.۱۶۱	۶۷.۴۷۶	۱.۰۳	۳۲.۴۳۵	۳۶.۷	۵۷.۱	۳۰
۳.۷۹۰	۱۱۸.۵۳۵	۲.۸۱۰	۸۷.۷۸	۰.۵۷۸	۱۸.۰۶۹	۲.۲۳۲	۶۹.۷۱۱	۰.۹۸	۳۰.۷۵۶	۴۰	۵۹.۸	۳۵
۳.۸۲۷	۱۲۰.۵۶۸	۲.۹۰۷	۹۰.۸۳۲	۰.۵۸۸	۱۸.۳۷۹	۲.۳۱۹	۷۲.۴۵۳	۰.۹۲	۲۹.۷۳۶	۴۲.۷	۶۴.۸	۴۰
۳.۹۲۲	۱۲۲.۷۹۱	۳.۰۰۲	۱۹۳.۷۲۹	۰.۶۰۱	۱۸.۷۴۷	۲.۴۰۱	۷۴.۹۸۲	۰.۹۲	۲۹.۰۶۲	۴۵.۲	۶۹.۲	۴۵
۴.۰۳۵	۱۲۶.۱۰۷	۳.۱۲۶	۹۷.۶۸۳	۰.۶۱۶	۱۹.۲۲۵	۲.۵۱۰	۷۸.۴۵۹	۰.۹۰۹	۲۸.۴۲۴	۴۷.۹	۷۳.۳	۵۰
۴.۱۰۶	۱۲۸.۴۰۷	۳.۲۰۸	۱۰۰.۳۲	۰.۶۲۸	۱۹.۶۱	۲.۵۸۰	۸۰.۷۱۱	۰.۸۹۸	۲۸.۰۸۶	۴۹.۲	۷۷.۵	۵۵

۷-۱- بررسی تأثیر مساحت پنجره بر شاخص SDA

نتایج ارزیابی شاخص اتونومی نور فضایی (SDA) نسبت به مساحت پنجره به دیوار وجه جنوبی ساختمان در شکل ۶ نشان داده شده است. با توجه به این نمودار، از نتایج حاصل از پژوهش می‌توان این طور استنباط نمود که با افزایش WWR میزان شاخص SDA افزایش می‌یابد. این نتیجه بیانگر آن است که نور بیش‌تری با افزایش WWR وارد فضای داخلی می‌گردد. بر اساس این نمودار کم‌ترین مقدار شاخص SDA برای پنجره ده درصد برابر با ۲۲.۹ و بیش‌ترین مقدار برای پنجره پنجاه و پنج درصد برابر با ۷۷.۵ استخراج می‌گردد. همین‌طور، از آن‌جا که بر اساس استاندارد لید، حداقل مقدار قابل قبول شاخص اتونومی نور فضایی برابر با ۵۰ درصد است، حداقل WWR که این میزان را به‌دست می‌دهد برابر ۲۵ درصد استخراج می‌گردد.

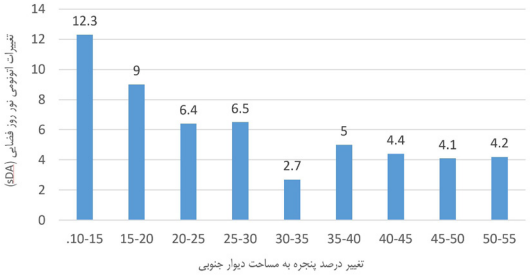
شکل ۶: نسبت SDA به WWR



۷-۲- بررسی تأثیر مساحت پنجره بر شاخص SDA

تغییرات شاخص SDA به ازای هر پنج درصد افزایش WWR در شکل ۷ نشان داده شده است. با توجه به این نمودار، از نتایج حاصل از پژوهش می‌توان استنباط نمود که با افزایش نسبت پنجره به دیوار جنوبی، تغییرات شاخص SDA نسبت به WWR روند کاهشی دارد. به طوری که با افزایش نسبت پنجره به دیوار جنوبی از ده به پانزده درصد، مقدار SDA به میزان ۱۲.۳ افزایش می‌یابد. این در حالی است که با افزایش نسبت پنجره به دیوار جنوبی از پنجاه به پنجاه و پنج درصد، مقدار SDA فقط به میزان ۴.۲ افزایش می‌یابد. از طرفی، به ازای مساحت پنجره بیش‌تر از سی درصد، مقدار تغییرات شاخص SDA چندان قابل توجه نیست. این نتیجه بیانگر آن است که WWR سی درصد، نور کافی را برای محیط تأمین می‌کند و افزایش بیش‌تر مساحت پنجره تأثیر قابل توجهی در کافی بودن نور روز ندارد.

شکل ۷: تغییرات SDA به ازای هر ۵ درصد افزایش WWR

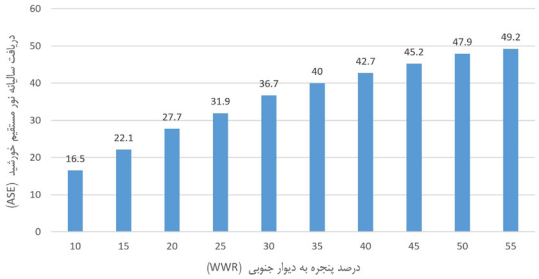


۷-۳- بررسی تأثیر مساحت پنجره بر شاخص ASE

مقادیر دریافت سالیانه نور مستقیم خورشید (ASE) نسبت به WWR در شکل ۸ آورده شده است. با توجه به این نمودار، نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهد که مقدار دریافت سالیانه نور مستقیم خورشید با افزایش

WWR افزایش می‌یابد و این نکته بیانگر آن است که نیاز به کنترل شدت روشنایی بیش از حد از طریق سایه‌اندازی با افزایش مساحت پنجره جنوبی افزایش می‌یابد. مطابق با شکل ۸ کم‌ترین مقدار شاخص ASE برای پنجره ۱۰ درصد و بیش‌ترین مقدار برای پنجره ۵۵ درصد به ترتیب برابر با ۱۶.۵ و ۴۹.۲ به‌دست آمد. از آن‌جا که بر اساس استاندارد لید، ۱۰ درصد به‌عنوان بیش‌ترین مقدار شاخص ASE قابل پذیرش تعریف شده است، برای نمونه مورد مطالعه حتی برای ابعاد کوچک پنجره هم نیاز به کنترل تابش بیش از حد به کمک سایبان وجود دارد.

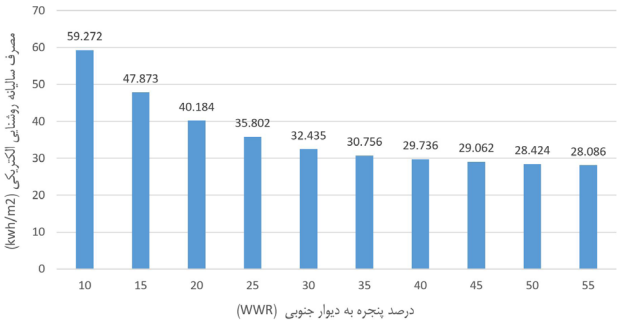
شکل ۸: ASE نسبت به WWR



۴-۷- بررسی تأثیر مساحت پنجره بر مصرف انرژی روشنایی الکتریکی به صورت سالیانه

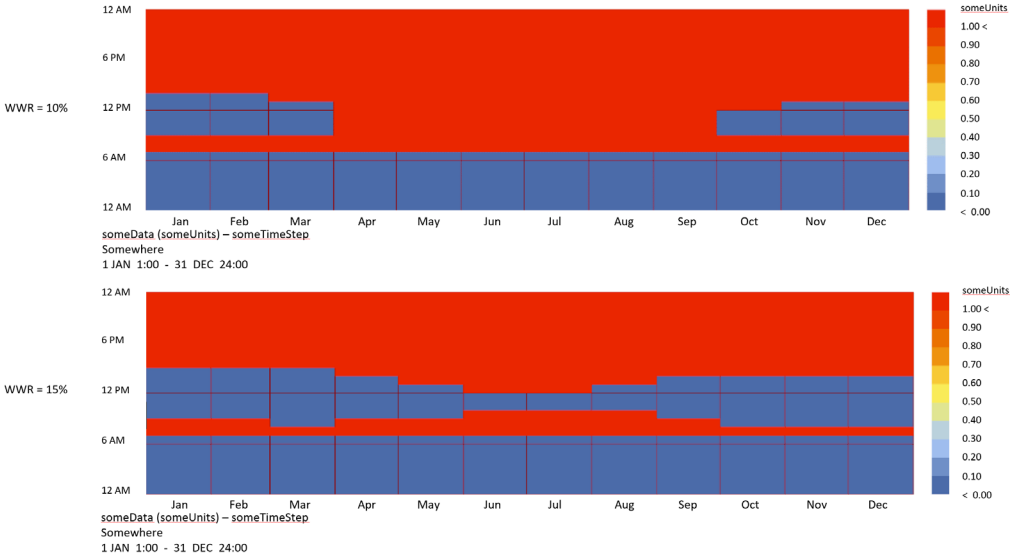
انرژی سالیانه روشنایی الکتریکی (kwh/m^2) و همچنین هزینه مصرف سالیانه روشنایی الکتریکی به دلار به ازای هر متر مربع نسبت به WWR در شکل ۹ آورده شده است. با توجه به این نمودار، از نتایج حاصل از پژوهش می‌توان استنباط نمود که انرژی سالیانه روشنایی الکتریکی با افزایش WWR، روند کاهشی دارد. به نحوی که به ازای نسبت پنجره به دیوار جنوبی برابر ۱۰ درصد مقدار مصرف روشنایی الکتریکی، $59.272\ kwh/m^2$ و به ازای نسبت پنجره به دیوار جنوبی برابر ۵۵ درصد، این مقدار برابر با $28.86\ kwh/m^2$ به دست می‌آید. از این رو، می‌توان نتیجه گرفت که نیاز به روشنایی الکتریکی با افزایش شدت روشنایی فضای داخلی ناشی از افزایش مساحت پنجره کاهشی خواهد بود. در شکل ۱۰ برنامه زمانبندی روشنایی الکتریکی مدل تحقیق برای مقادیر مختلف WWR از ۱۰ تا ۳۰ درصد آورده شده است. در این پژوهش، ساعات اشغال مدل تحقیق از ساعت ۷ صبح تا ۱۲ شب در نظر شده است.

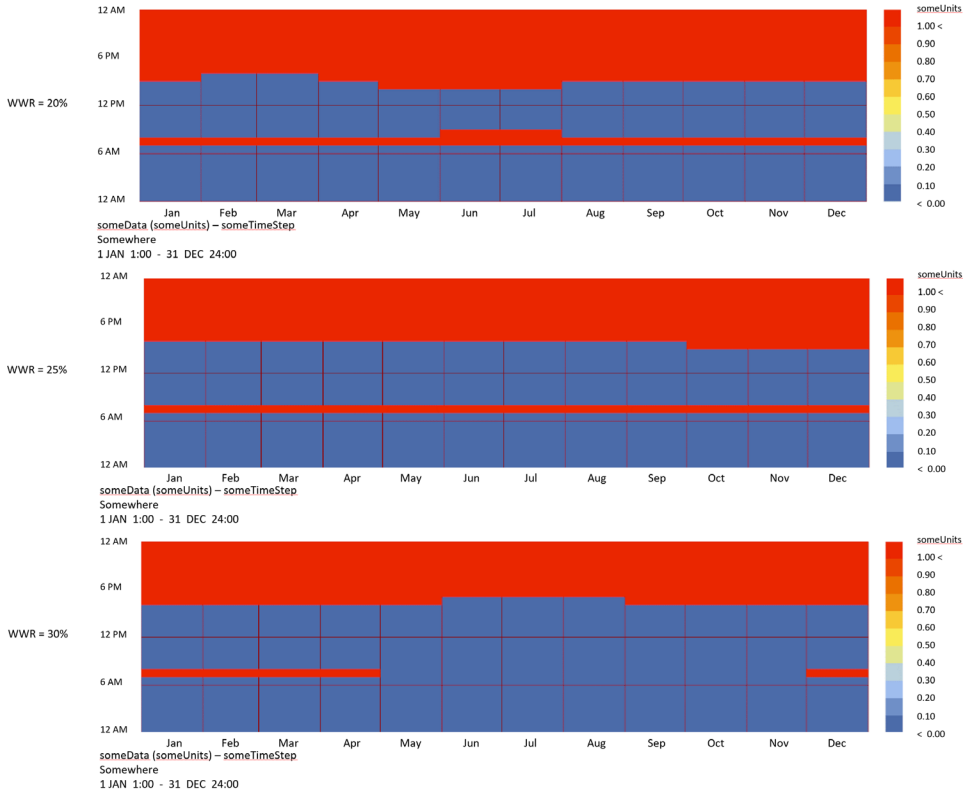
شکل ۹: انرژی سالیانه روشنایی الکتریکی نسبت به WWR



درصد پنجره به دیوار جنوبی (WWR)	مصرف سالیانه انرژی روشنایی الکتریکی (kwh/m2)	هزینه مصرف سالیانه انرژی روشنایی الکتریکی ($/m2)
10	59.272	1.894
15	47.873	1.52
20	40.184	1.31
25	35.802	1.14
30	32.435	1.03
35	30.756	0.98
40	29.736	0.92
45	29.062	0.92
50	28.424	0.909
55	28.086	0.898

شکل ۱۰: برنامه زمانبندی روشنایی الکتریکی مدل تحقیق برای مقادیر مختلف WWR از ۱۰ تا ۳۰ درصد



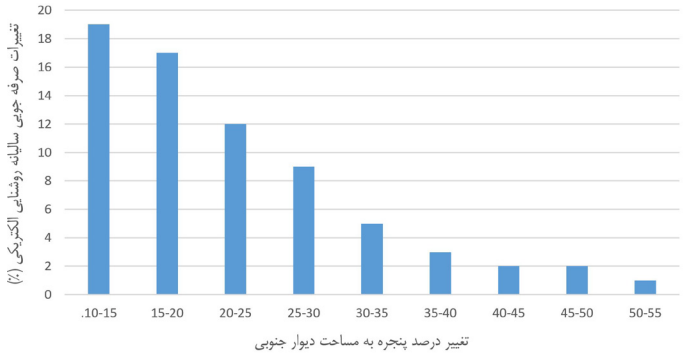


قسمت‌های به رنگ آبی در شکل ۱۰، بیانگر خاموش بودن چراغ‌ها در ساعت‌های مورد نظر است. همان‌طور که در این جدول می‌توان مشاهده کرد، برای ابعاد کوچک پنجره، روشنایی نور روز فضا کافی نبوده و نیاز به روشنایی الکتریکی افزایش می‌یابد.

۷-۵- بررسی تأثیر مساحت پنجره بر تغییرات صرفه‌جویی سالیانه روشنایی الکتریکی

به ازای هر پنج درصد افزایش WWR مقادیر تغییرات صرفه‌جویی در مصرف روشنایی الکتریکی در نمودار شکل ۱۱ آورده شده است. نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهد که با افزایش WWR، میزان تغییر صرفه‌جویی در روشنایی الکتریکی کاهشی است. همچنین، همان‌طور که در شکل ۱۱ قابل مشاهده است با افزایش درصد پنجره از سی درصد به بالا، افزایش WWR تأثیر قابل توجهی در افزایش صرفه‌جویی روشنایی الکتریکی نخواهد داشت. از این رو، از نتایج حاصل می‌توان استدلال کرد که با افزایش WWR تا سی درصد، فضای داخلی به اندازه کافی روشن خواهد شد و افزایش بیش‌تر ابعاد پنجره، تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر صرفه‌جویی در مصرف روشنایی الکتریکی ندارد.

شکل ۱۱: تغییرات صرفه‌جویی در مصرف سالیانه روشنایی الکتریکی به ازای هر پنج درصد افزایش **WWR**



۷-۶- بررسی تأثیر مساحت پنجره بر مصرف سالیانه انرژی سرمایشی

تغییرات مقادیر مصرف سالیانه انرژی سرمایشی (kwh/m^2) و همچنین هزینه مصرف سالیانه انرژی سرمایشی به دلار به ازای هر متر مربع WWR در شکل ۱۲ آورده شده است. با توجه به این نمودار، نتایج حاصل از پژوهش

نشان می‌دهد که با افزایش WWR از ده تا بیست و پنج درصد، مصرف انرژی سرمایشی به میزان ۶.۳۴ kwh/m² برابر با ۸.۸ درصد تقلیل می‌یابد. از این رو، از نتایج حاصل می‌توان استدلال کرد که افزایش بار سرمایشی به دلیل بزرگ شدن اندازه پنجره با تقلیل بار سرمایی تحمیل‌شده توسط چراغ‌ها (به دلیل صرفه‌جویی در مصرف روشنایی الکتریکی) جبران می‌شود. همین‌طور، می توان استنباط نمود که هنگامی که WWR بین ده تا بیست و پنج درصد است، میزان انرژی حرارتی که وارد محیط می‌شود، کافی بوده و محیط بیش از اندازه گرم نمی‌گردد. از سویی دیگر، با افزایش WWR از بیست و پنج درصد تا پنجاه و پنج درصد مصرف انرژی سرمایشی به میزان ۱۳.۴ kwh/m² برابر با بیست درصد افزایش می‌یابد که بیانگر آن است که ورود حرارت بیش‌تر ناشی از تابش خورشید بر کاهش بار سرمایشی به دلیل صرفه‌جویی در روشنایی مصنوعی غلبه دارد. همان‌طور که در نمودار قابل مشاهده است افزایش مصرف انرژی سرمایشی به ازای WWR برابر سی درصد نسبت به بیست و پنج درصد بسیار کم و قابل چشم‌پوشی است.

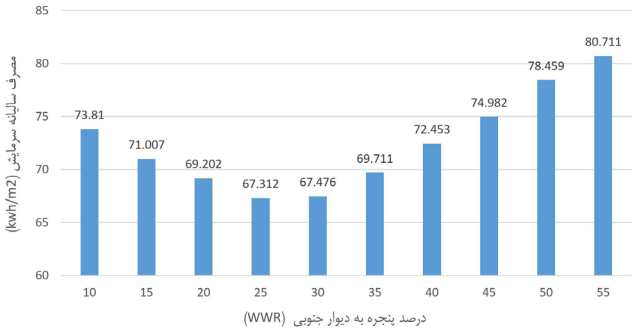
۷-۷- بررسی تأثیر مساحت پنجره بر مصرف انرژی گرمایشی سالیانه

تغییرات سالیانه مصرف انرژی گرمایشی (kwh/m²) و همچنین هزینه مصرف سالیانه انرژی گرمایشی به دلار به ازای هر متر مربع نسبت به WWR در شکل ۱۳ آورده شده است. با توجه به این نمودار، نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهد که با افزایش WWR از ۱۰ تا ۳۰ درصد، مصرف انرژی گرمایشی به میزان ۰.۴۳ kwh/m² کاهش می‌یابد. این کاهش احتمالاً ناشی از ورود حرارت بیش‌تر در اثر افزایش مساحت پنجره است. همین‌طور، با افزایش WWR از ۳۰ درصد تا ۵۵ درصد، مصرف انرژی گرمایشی به میزان ۱.۹۱ kwh/m² افزایش می‌یابد. می‌توان استنباط نمود که این افزایش به آن علت است که با افزایش WWR بالاتر از ۳۰ درصد، به دلیل ورود حرارت بیش‌تر از طریق تابش خورشید اتلاف حرارت از طریق پنجره بر کاهش مصرف انرژی گرمایشی غلبه دارد. همین‌طور، روشن بودن کم‌تر روشنایی‌های الکتریکی به ازای مساحت بزرگ‌تر پنجره موجب افزایش بار گرمایشی می‌گردد.

۸-۷- بررسی تأثیر مساحت پنجره بر مجموع مصرف سالیانه انرژی گرمایشی و سرمایشی

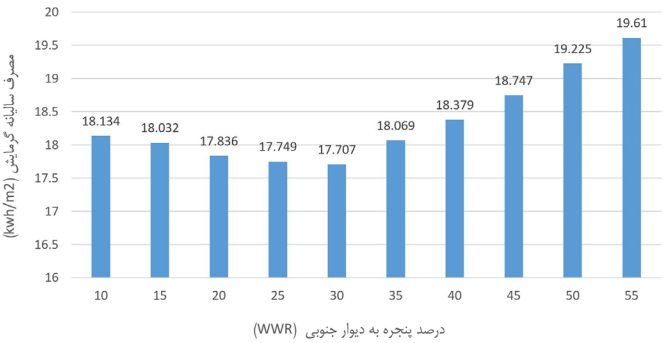
تغییرات مجموع مصرف سالیانه انرژی گرمایشی و سرمایشی (kwh/m²) و همچنین مجموع هزینه مصرف سالیانه انرژی سرمایشی و گرمایشی به دلار به ازای هر متر مربع نسبت به WWR در شکل ۱۴ آورده شده است. با توجه به این نمودار، نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهد که با افزایش WWR از ۱۰ تا ۲۵ درصد، مجموع مصرف انرژی گرمایشی و سرمایشی تقلیل و بعد از آن روند افزایشی می‌یابد، هر چند میزان این افزایش به ازای پنجره ۳۰ درصد نسبت به ۲۵ درصد غیر قابل توجه است.

شکل ۱۲: مصرف سالیانه انرژی سرمایشی نسبت به WWR



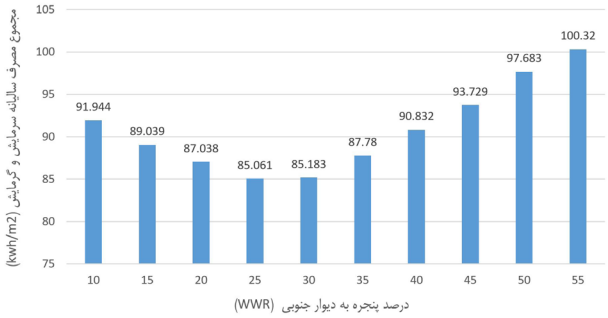
درصد پنجره به دیوار جنوبی (WWR)	مصرف سالیانه انرژی سرمایشی (kwh/m2)	هزینه مصرف سالیانه انرژی سرمایشی ($/m2)
10	73.81	2.363
15	71.007	2.27
20	69.202	2.216
25	67.312	2.156
30	67.476	2.161
35	69.711	2.232
40	72.453	2.319
45	74.982	2.401
50	78.459	2.51
55	80.711	2.58

شکل ۱۳: مصرف سالیانه انرژی گرمایشی نسبت به WWR



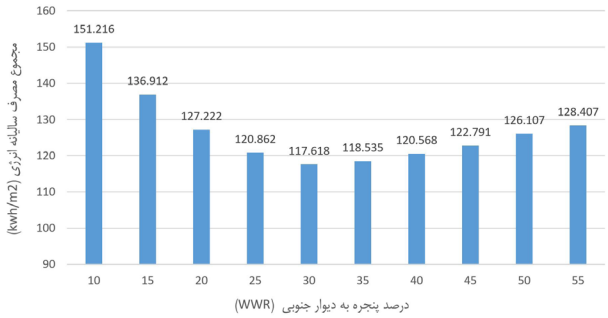
درصد پنجره به دیوار جنوبی (WWR)	مصرف سالیانه انرژی گرمایشی (kwh/m2)	هزینه مصرف سالیانه انرژی گرمایشی ($/m2)
10	18.134	0.58
15	18.032	0.577
20	17.836	0.571
25	17.749	0.568
30	17.707	0.567
35	18.069	0.578
40	18.379	0.588
45	18.747	0.601
50	19.225	0.616
55	19.61	0.628

شکل ۱۴: مجموع مصرف سالیانه انرژی سرمایشی و گرمایشی نسبت به WWR



درصد پنجره به دیوار جنوبی (WWR)	مجموع مصرف سالیانه انرژی سرمایشی و گرمایشی (kwh/m2)	مجموع هزینه سالیانه انرژی سرمایشی و گرمایشی ($/m2)
10	91.944	2.946
15	89.039	2.852
20	87.038	2.878
25	85.061	2.724
30	85.183	2.728
35	87.78	2.81
40	90.832	2.907
45	93.729	3.002
50	97.683	3.126
55	100.32	3.208

شکل ۱۵: مجموع مصرف سالیانه روشنایی الکتریکی، انرژی سرمایشی و گرمایشی نسبت به WWR



درصد پنجره به دیوار جنوبی (WWR)	مجموع مصرف سالیانه انرژی (kwh/m2)	مجموع هزینه سالیانه انرژی ($/m2)
10	151.216	4.837
15	136.912	4.367
20	127.222	4.097
25	120.862	3.864
30	117.618	3.758
35	118.535	3.79
40	120.568	3.827
45	122.791	3.922
50	126.107	4.035
55	128.407	4.106

۷-۹- بررسی تأثیر مساحت پنجره بر مجموع مصرف سالیانه روشنایی الکتریکی و مصرف سالیانه انرژی گرمایشی و سرمایشی

همان‌طور که در شکل ۱۵ قابل مشاهده است نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهد که مجموع مصرف سالیانه انرژی روشنایی الکتریکی، گرمایشی و سرمایشی، با افزایش WWR از ده تا سی درصد به میزان ۳۳.۶ kwh/m^2 کاهش می‌یابد و پس از آن با افزایش مساحت پنجره، این میزان افزایش می‌یابد. لذا، کم‌ترین مصرف مجموع انرژی به ازای WWR برابر سی درصد نتیجه می‌شود. از این رو، در مدل تحقیق این پژوهش، درصد بهینه پنجره از لحاظ بهره‌مندی از نور روز و کارایی انرژی برای وجه جنوبی ساختمان سی درصد به‌دست می‌آید.

۷-۱۰- ارزیابی داده‌های مرتبط با شکل پنجره

یافته‌های شبیه‌سازی‌های روشنایی نور روز مرتبط با شکل پنجره در جدول ۳ آورده شده است. همان‌طور که در شبیه‌سازی ارائه‌شده در این جدول قابل مشاهده است توزیع شدت روشنایی از سمت راست به چپ کاهش می‌یابد. یعنی بهترین شدت روشنایی برای شکل پنجره افقی و بدترین برای شکل پنجره عمودی به‌دست آمد. از این رو، می‌توان استدلال کرد که پنجره افقی، یکنواختی روشنایی مناسب‌تری نسبت به سایر اشکال ایجاد می‌نماید.

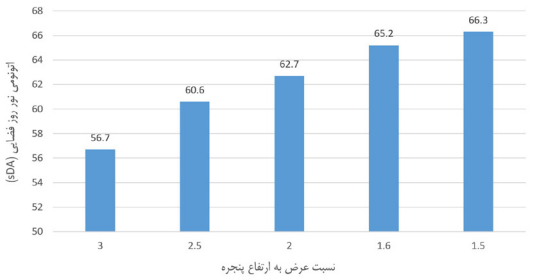
۷-۱۱- ارزیابی داده‌های مرتبط با تناسبات پنجره

نتایج شبیه‌سازی روشنایی نور روز مرتبط با تناسبات پنجره در جدول ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که در نتایج قابل مشاهده است با کاهش نسبت عرض به ارتفاع پنجره افقی، مقدار شاخص اتونومی نور فضایی (SDA) و مقادیر دریافت سالیانه نور مستقیم خورشید (ASE) افزایش می‌یابد. لذا، می‌توان استنباط کرد که با کاهش نسبت عرض به ارتفاع پنجره، روشنایی نور روز تا عمق بیش‌تری وارد فضا می‌شود، هرچند برای کنترل شدت روشنایی بیش از حد نیاز به سایه اندازی بیش‌تری وجود خواهد داشت. شکل‌های ۱۶ و ۱۷ مقادیر اتونومی نور فضایی (SDA) و دریافت سالیانه نور مستقیم خورشید (ASE) را بر اساس تناسبات پنجره نشان می‌دهند.

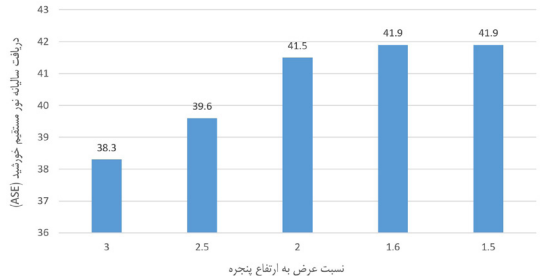
جدول ۳: شبیه‌سازی شاخص ASE و SDA برای تناسبات مختلف پنجره افقی

دریافت سالیانه نور مستقیم خورشید (ASE)	اتونومی نور روز فضایی (SDA)	نسبت عرض به ارتفاع پنجره
۳۸.۳	۵۶.۷	۳
۳۹.۶	۶۰.۶	۲.۵
۴۱.۵	۶۲.۷	۲
۴۱.۹	۶۵.۲	۱.۶
۴۱.۹	۶۶.۳	۱.۵

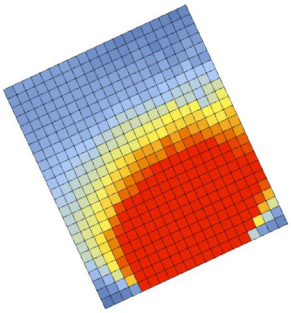
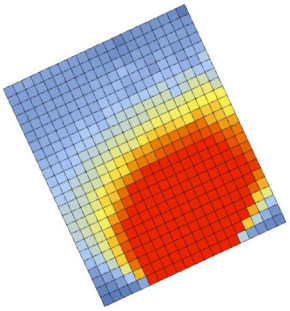
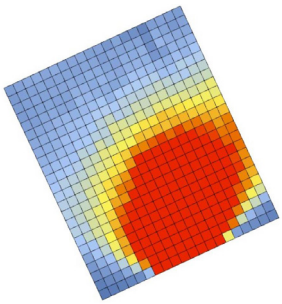
شکل ۱۶: شاخص SDA به ازای نسبت عرض به ارتفاع پنجره



شکل ۱۷: شاخص ASE به ازای نسبت عرض به ارتفاع پنجره



جدول ۴: نتایج شبیه‌سازی توزیع شدت روشنایی پنجره‌های افقی، عمودی و مربع

شبیه‌سازی توزیع شدت روشنایی برای پنجره افقی	شبیه‌سازی توزیع شدت روشنایی برای پنجره مربع	شبیه‌سازی توزیع شدت روشنایی برای پنجره عمودی
		

۸. نتیجه‌گیری

در این پژوهش، تأثیر ابعاد پنجره بر بهره‌مندی از نور روز و عملکرد انرژی در مجتمع‌های مسکونی اقلیم گرم و خشک (شهر اصفهان) بررسی شد و برای انجام پژوهش از روش شبیه‌سازی‌های کامپیوتری استفاده گردید. در ابتدا اتاق نشیمن یک واحد ساختمانی جهت انجام تحلیل شبیه‌سازی مدل‌سازی شد. پس از آن، برای انجام ارزیابی میزان بهره‌مندی از نور روز، شاخص‌های SDA برای کافی بودن نور و ASE برای مناسب بودن نور روز انتخاب شدند. نتایج بررسی شاخص SDA نشان می‌دهد که افزایش مساحت پنجره، میزان نور روز را به همان میزان افزایش نمی‌دهد. از این رو، هر چند با افزایش مساحت پنجره، مصرف روشنایی الکتریکی تقلیل می‌یابد اما، افزایش بیش از حد مساحت پنجره، تأثیر قابل توجهی در افزایش صرفه‌جویی روشنایی الکتریکی ندارد. از طرفی، برای تعیین ابعاد بهینه پنجره باید میزان مصرف انرژی گرمایشی و سرمایشی مورد نیاز نیز علاوه بر تأمین نور روز کافی و صرفه‌جویی در مصرف روشنایی الکتریکی مورد بررسی و تحلیل قرار گیرد. نتایج به‌دست آمده از پژوهش نشان می‌دهد که هر چند گمان می‌گردد که پنجره‌های بسیار کوچک، میزان مصرف انرژی سرمایشی را تقلیل می‌دهند، اما این کاهش مصرف انرژی سرمایشی با بار سرمایشی تحمیل‌شده توسط افزایش مصرف روشنایی الکتریکی جبران می‌گردد. همین‌طور، هر چند با افزایش مساحت پنجره، مصرف انرژی گرمایشی به دلیل افزایش میزان تابش خورشیدی ورودی تقلیل می‌یابد، اما با افزایش بیش از حد مساحت پنجره، مصرف انرژی گرمایشی به دلیل اتلاف بیش‌تر حرارت از طریق پنجره افزایش خواهد یافت. در این مطالعه، نتایج به‌دست آمده از بررسی داده‌های مرتبط با انجام شبیه‌سازی‌های نور روز و کارایی انرژی نشان می‌دهد که درصد پنجره به مساحت دیوار جبهه جنوبی (WWR) برابر ۳۰ درصد، درصد بهینه از لحاظ بهره‌مندی از نور روز و کارایی انرژی می‌باشد. همچنین، از بررسی نتایج شبیه‌سازی نور روز استدلال گردید که پنجره‌های افقی، یکنواختی روشنایی بهتری نسبت به سایر اشکال پنجره در فضای داخلی فراهم می‌آورند. همین‌طور، با افزایش نسبت ارتفاع به عرض پنجره، میزان شاخص‌های SDA و ASE در فضای داخلی افزایش می‌یابد که بیانگر این نکته است که نور روز تا عمق بیش‌تری وارد فضا می‌گردد، هر چند برای کنترل شدت روشنایی بیش از حد نیاز به سایه‌اندازی بیش‌تر وجود خواهد داشت.

در انتها، لازم به یادآوری است که هدف از انجام پژوهش حاضر، بررسی تأثیر تناسبات و ابعاد پنجره بر بهره‌مندی از نور روز و کارایی انرژی در مجتمع‌های مسکونی بوده نه تعیین ابعاد بهینه پنجره، و ابعاد بهینه برای هر پروژه بایستی به طور جداگانه محاسبه گردند. لذا، روش ارائه‌شده در این پژوهش برای تعیین ابعاد بهینه می‌تواند در موارد مشابه نیز کاربرد داشته باشد.

پی‌نوشت

1. Diva
2. Honeybee
3. Ladybug
4. Energy Plus
5. Spatial Daylight Autonomy (SDA)
6. Annual Sunlight Exposure (ASE)
7. Electrical Lighting Use
8. Cooling Use
9. Heating Use
10. Lartigue
11. Melendo and Roche
12. Montaser Koohsari
13. Dabe and Dongre
14. Sonawane and Mhaske
15. Daysim
16. Trnsys
17. Heed
18. Radiance
19. Ecotect
20. GIS
21. Relux
22. Gramm ++
23. Lee
24. window Wall Ratios (WWR)
25. Comfen
26. LEED
27. Illuminating Engineering Society (IES)
28. EPW
29. Ideal Air Loads

فهرست منابع

- Carlucci, Salvatore, Francesco Causone, Francesco De Rosa, and Lorenzo Pagliano. 2015. "A review of indices for assessing visual comfort with a view to their use in optimization processes to support building integrated design." *Renewable and sustainable energy reviews* 47: 1016-1033. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.062
- Dabe, Trupti J., and Alpana R. Dongre. 2018. "Analysis of performance of the daylight into critical liveable area of 'type design'dwelling unit on the basis of daylight metrics for hot and dry climate." *Indoor and Built Environment* 27(1): 129-142. DOI: 10.1177/1420326X16669844
- Kasmai, Morteza. 2003. *Climate and architecture*. Isfahan: Nashre Khak. [in Persian]
- Kubba, Sam. 2014. *LEED v4 Practices, Certification, and Accreditation Handbook*. Butterworth-Heinemann.
- Lartigue, B., B. Lasternas, and V. Loftness. 2014. "Multi-objective optimization of building envelope for energy consumption and daylight." *Indoor and built environment* 23(1): 70-80. https://doi.org/10.1177/1420326X1348022
- Lee, Jae-Wook, Hyung-Jo Jung, Ji-Young Park, J. B. Lee, and Yoonjin Yoon. 2013. "Optimization of building window system in Asian regions by analyzing solar heat gain and daylighting elements." *Renewable energy* 50: 522-531. https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.07.029
- Melendo, Jose Manuel Almodóvar, and P. Roche. 2017. "Effects of window size in daylighting and energy performance in buildings." In *Proceedings of the PLEA*. https://www.researchgate.net/publication/228471133.
- Montaser Koohsari, Ayda, Rima Fayaz, and Behrouz Mohammad Kari. 2015. "The influence of window dimensions and location on residential building energy consumption by integrating thermal and lighting analysis in a mild and humid climate." *BRIS Journal Of Advances in Science and Technology* 3: 187-194.
- Qiyabaklo, Zahra. 2013. *Fundamentals of Building Physics 5 Daylight*. Tehran: Jihad University, Amirkabir Industrial Unit. [in Persian]
- Sonawane, Mahesh B., and Sumedh Y. Mhaske. 2016. "Daylighting estimation and analysis in residential apartment building: GIS based approach." In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 37(1), p. 012024.

نحوه ارجاع به این مقاله

اخترکاوان، مهدی، و سمانه شفیعی. ۱۴۰۲. بررسی تأثیر ابعاد پنجره بر نورگیری طبیعی و مصرف انرژی در مجموعه‌های مسکونی اقلیم گرم و خشک ایران، مورد مطالعاتی: شهر اصفهان. *نشریه معماری و شهرسازی آرمان‌شهر* ۱۶(۴۲): ۱۷-۳۰.

DOI: 10.22034/AAUD.2021.174175.1822

URL: https://www.armanshahrjournal.com/article_173180.html

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the Armanshahr Architecture & Urban Development Journal. This is an open- access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License.

http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/