ارتقاء بهره‌وری روشنایی پاسیو در ساختمان‌های با زمین محدود

(موردپژوهی: ساختمان‌های مسکونی میان‌مرتبه ارومیه)

سحر رستم زاد[1] و محمدعلی خانمحمدی[2]

تاریخ دریافت: 1399/03/02
تاریخ پذیرش: 1399/09/20

چکیده: امروزه رشد جمعیت در شهرهای بزرگ و افزایش قیمت زمین منجر به احداث ساختمان‌های چند طبقه و فشرده شده است. با توجه به الگوی قطعه‌بندی و ضوابط شهرداری در طراحی معماری، یکی از مسائل مهم در این ساختمان‌ها تأمین روشنایی طبیعی مناسب برای همه فضاهاست. استفاده از پاسیو راه‌حلی است که به‌طور گسترده در این ساختمان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. این پاسیوها، به دلیل محدودیت زمین و الزام به استفاده از ابعاد حداقل، به ویژه در مناطق با عرض جغرافیایی بالا، بهره‌وری روشنایی مناسبی ندارند. هدف اصلی این تحقیق، بهبود عملکرد روشنایی پاسیو با ثابت نگه داشتن مجموع مساحت آن در طبقات است. به این منظور، تأثیر فرم مقطع افقی و عمودی پاسیو بر عملکرد روشنایی آن در شهر ارومیه، از جمله شهرهای با عرض جغرافیایی بالا (37.5 درجه) در ایران، مورد بررسی قرار گرفته است. مدل‌سازی توسط ابزار طراحی پارامتریک گرس هاپر (افزونه‌ای بر راینو)، استخراج داده‌های آب و هوایی و موقعیت خورشید توسط پلاگین لیدی باگ، آنالیز نور توسط پلاگین هانی بی بر اساس شاخص روشنایی مفید نور روز (UDI 100-2000) صورت گرفته است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که پاسیوهای با سطح مقطع افقی مستطیلی با جهت شرقی-غربی عملکرد بهتری دارند. و در مقایسه با پاسیوهای قائم، پاسیوهای مایل به سمت جنوب باعث کاهش بهره‌وری روشنایی و پاسیوهای بازشونده به سمت بالا سبب بهبود عملکرد روشنایی می‌شوند. به‌طور کلی، جهت‌گیری شرقی-غربی در مقطع افقی و بازشوندگی رو به بالا در مقطع عمودی به میزان 20-15٪ باعث افزایش روشنایی مفید نور روز می‌شوند.

واژگان کلیدی: فرم پاسیو، ساختمان‌های میان مرتبه، زمین محدود، بهره‌وری روشنایی، نور روز.

[1] **کارشناسی ارشد،** مهندسی معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.
[2] **دانشیار،** دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران. (نویسنده مسئول)، khanmohammadi@iust.ac.ir

1- مقدمه

بخش قابل توجهی از کل مصرف انرژی در بیشتر کشورهای جهان، مربوط به بخش ساختمان است (Aldawoud, 2013). جایگزینی نور طبیعی به جای نور مصنوعی می‌تواند باعث کاهش هزینه‌های مربوط به سرمایش شود؛ زیرا نور روز نسبت به چراغ‌های مصنوعی گرمای کمتری را به ازای هر واحد شدت روشنایی تولید می‌کند (Lim, 2011). بنابراین، نور روز به یک استراتژی طراحی متداول به منظور ارتقاء بهره‌وری ساختمان مبدل شده است (Tang and Chin, 2013). علاوه بر این، استفاده از نور روز به عنوان یک استراتژی روشنایی، یکی از مؤلفه‌های مهم رویکرد پایداری در طراحی معماری است. نور روز نه تنها باعث کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها می‌شود، بلکه شرایط بصری مناسبی را نیز برای کاربران فراهم می‌کند (Li and Lam, 2001; Doulos et al., 2008; Li et al., 2014).

استفاده از نور روز از طریق پاسیوها یکی از بهترین راه‌های افزایش بهره‌وری انرژی در ساختمان‌ها است. مهم‌ترین مزیت یک پاسیو در این است که نور روز را به عمق ساختمان می‌رساند (Samant, 2011a). ساختمان‌های با پلان عمیق به ساختمانی اطلاق می‌شود که در آن فاصله افقی از دیوار خارجی بسیار بیشتر از ارتفاع فضا باشد. نور روز مناسب از پنجره در حدود 7-5 متر (2 تا 2/5 برابر ارتفاع کف تا سقف) به داخل ساختمان نفوذ می‌کند (RIBA, 2007). بهره‌وری یک پاسیو در صرفه‌جویی مصرف انرژی، بستگی به میزان تأمین نور روز در فضاهای مجاور آن جهت جایگزینی یا کاهش مصرف روشنایی مصنوعی دارد. همچنین کمیت و کیفیت روشنایی طبیعی در فضاهای مجاور یک پاسیو بستگی به شرایط محیط داخلی و خارجی دارد (Hung and Chow, 2001).

در مطالعه موردی این پژوهش، ساختمان‌های چند طبقه شهر ارومیه که در زمین‌های محدود و فشرده ساخته می‌شوند، پاسیو به طور گسترده برای نوررسانی به فضاهای فرعی و اصلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به افزایش قیمت زمین و تفکیک قطعات به ابعاد کوچک، الزام به رعایت حداکثر سطح اشغال و داشتن فقط یک یا دو بر نورگیر، از جمله عواملی هستند که استفاده از پاسیو در ساختمان‌ها را ناگزیر می‌کنند. این پاسیوها، به دلیل داشتن ابعاد کوچک (معمولا 12 مترمربع و در مواردی 18 مترمربع)، معمولا بهره‌وری روشنایی مناسبی ندارند. از این رو، تحقیق حاضر با ثابت نگه داشتن مجموع مساحت پاسیو در طبقات، به بررسی تأثیر فرم مقطع افقی و عمودی آن در بهبود بهره‌وری روشنایی می‌پردازد.

1-1- سوألات و فرضیات

سوألات اصلی تحقیق به قرار زیر است:

- آیا می‌توان در زمین‌های محدود، بهره‌وری روشنایی پاسیوهای متداول را با تغییر در فرم، در عین ثابت نگه‌داشتن مجموع مساحت آن‌ها در طبقات ارتقاء بخشید؟
- آیا با تغییر در مقطع افقی و عمودی پاسیو، رفع مشکل کمبود روشنایی در طبقات پایین آن امکان‌پذیر است؟

بنابراین فرضیه تحقیق را می‌توان به این صورت بیان کرد:

- به نظر می‌رسد با تغییر در فرم مقطع افقی و عمودی پاسیو بدون افزایش مجموع مساحت آن در طبقات، بتوان بهره‌وری روشنایی پاسیوها را مخصوصا در طبقات پایین ارتقاء بخشید.

1-2- پیشینه تحقیق

یک پاسیو با طراحی مؤثر می‌تواند علاوه بر کاهش مصرف انرژی، از طریق تأمین نور روز مزایای متعددی از جمله ارتقاء آسایش بصری، بهبود وضعیت روحی و افزایش رضایت کاربران را به همراه داشته باشد (Mohsenin and Hu, 2015; Hussain and Oosthuizen, 2012). با این حال، پاسیوهایی که به درستی طراحی نشوند ممکن است منجر به نارضایتی بصری، خیرگی و به تبع آن کاهش تمرکز، رضایتمندی و بهره‌وری کاربران شوند (Moosavi et al., 2014; Berardi and Wang, 2014; Sharples and Lash, 2007). مسأله مهم در رابطه با پاسیو، توزیع نامتوازن نور خورشید در طبقات و جهت‌های متفاوت فضاهای مجاور آن است (Samant, 2011a; Samant, 2011b). اتاق‌هایی که در طبقه‌های بالا قرار دارند نور بیش از حد دریافت می‌کنند و با مشکل خیرگی مواجه می‌شوند، در حالی که ممکن است میزان روشنایی در طبقات پایین به خصوص در ساختمان‌های بلند مناسب نباشد (Sharples and Lash, 2007; Li et al., 2014).

عوامل اصلی تأثیرگذار بر میزان نور روز ورودی به فضاهای مجاور پاسیو، خصوصیات فیزیکی (اندازه، شکل، جهت‌گیری و هندسه)، پیکربندی سقف، جنس جداره‌ها و ویژگی‌های فضاهای مجاور می‌باشند (Sharples and Lash, 2007; WBDG, 2017). هندسه پاسیو و ضریب انعکاس سطوح از ویژگی‌های بسیار مهمی هستند که تأثیر مستقیمی بر بهره‌وری روشنایی می‌گذارند (Sharples and Lash, 2007; Du and Sharples, 2009). یکی از عوامل مؤثر در روشنایی جداره‌های پاسیو، شاخص چاه[1] است که وابسته به پارامترهای ارتفاع، طول و عرض پاسیو است. هر چه مقدار این شاخص بزرگ‌تر شود، سطح نور در جداره‌های پاسیو کمتر خواهد بود (Iyer-Raniga, 1994; Aldawoud and Clark, 2008; Samant and Yang, 2007). در مطالعات مربوط به پاسیو به دلیل دریافت نور غیر مستقیم، جنس شیشه پنجره فضاهای مجاور پاسیو معمولا شیشه معمولی با ضریب انتقال[2] 80٪ در نظر گرفته شده است. ضریب انتقال یک جسم نشان دهنده مقدار نوری است که از آن عبور می‌کند و ضریب 100٪ نشان دهنده این است که تمامی نوری که به سطح یک جسم تابانده می‌شود، از جسم عبور کرده و به سطح دیگر رسیده است (Ghiabaklou, 2013: 7).

مطالعات مروری (Wright and Letherman, 1998; Omrany et al., 2019) نشان دادند که بیشتر تحقیقاتی که در مورد نور روز در پاسیو انجام شده‌اند بیشتر بر سنجش میزان روشنایی در کف و دیواره‌های پاسیو تمرکز دارند و به میزان روشنایی در فضاهای مجاور پاسیو کمتر پرداخته شده است. بیکر و همکاران با بررسی و اندازه‌گیری میزان روشنایی در یک پاسیو مربع شکل، نشان دادند که طبقه همکف عمدتاً نور منعکس شده از دیوار و کف را دریافت می‌کنند، در حالی که طبقات بالا بیشترین نور را مستقیماً از آسمان دریافت می‌کنند (Baker et al., 2013). یکی از روش‌های افزایش سطح نور در طبقات پایین پاسیو، افزایش تدریجی ابعاد پنجره‌ها از بالا به پایین است، به این صورت که طبقه بالا حداکثر سطح جداره منعکس کننده و طبقه پایین حداکثر سطح بازشو را داشته باشند (Samant, 2011b; Matusiak et al., 1999; Cole, 1990). نفوذ نور خورشید به سطوح پایین‌تر و فضاهای مجاور به‌طور قابل توجهی به میزان ضریب انعکاس سطوح پاسیو بستگی دارد. این مسأله در شرایط آب و هوایی گرم که مشکل نفوذ گرمای بیش از حد وجود دارد اهمیت بیشتری پیدا می‌کند (Samant and Yang, 2007). اگرچه مصالح منعکس کننده آینه‌ای ممکن است روشنایی بیشتری را تأمین کنند، ولی احتمال بروز خیرگی را افزایش می‌دهند (Sharples and Lash, 2007). بوگیت و همکاران در مناطق با عرض جغرافیایی متفاوت (59-0 درجه شمالی)، به بررسی تأثیر ضریب انعکاس سطوح پاسیو (جداره‌های روشن، تیره و آینه‌ای) در میزان روشنایی فضاهای مجاور آن پرداختند (Bugeat et al., 2020). علاوه بر این، پارامترهای طراحی جداره پاسیو شامل اندازه و موقعیت بازشو نیز در میزان نفوذ نور روز به فضاهای مجاور تأثیر می‌گذارند (Szerman, 1992). دو و شارپلس تأثیر هندسه، ضریب انعکاس سطح و پیکربندی جداره پاسیو را بر میزان بهره‌وری روشنایی آن بررسی کردند (Du and Sharples, 2011a). افزایش ضریب انعکاس کف باعث افزایش قابل توجه میزان روشنایی در طبقات پایین می‌شود (Boubekri, 1995; Lau and Duan, 2008; Du and Sharples, 2012a). استفاده از مصالح کف براق مانند سنگ مرمر به عنوان ابزاری برای افزایش ضریب انعکاس بجای فضای سبز و پوشش گیاهی توصیه می‌شود (Baker et al., 2013). تأثیر ضریب انعکاس جداره‌های پاسیو در طبقات بالا بیشتر از طبقات پایین است (Du and Sharples, 2012a; Du and Sharples, 2012b).

با هدف بررسی تأثیر ابعاد پاسیو در تأمین روشنایی مناسب در شهر قزوین، 10 ساختمان 5 طبقه با پاسیوهایی به مساحت 50-5٪ مساحت کف طبقات توسط نرم افزار دیزاین بیلدر شبیه سازی شدند. با توجه به نتایج این مطالعه، نسبت مناسب مساحت پاسیو به مساحت کف طبقات به میزان 20-15٪ توصیه می‌شود (Gorji Mahlabani et al., 2019). لی و همکاران در پاسیوهای با ارتفاع متفاوت، به بررسی تأثیر پارامترهایی از قبیل مساحت نورگیر (شیشه) پاسیو در بام و فرم پاسیو (مربع، مستطیل و دایره) در میزان آسایش بصری پرداختند (Li et al., 2019). سامانت و یانگ نشان دادند

که پاسیو چهار ضلعی بیشترین کارآیی را در بین سایر هندسه‌ها دارد و ضریب انعکاس جداره‌ها تأثیر محدودی در توزیع نور روز در کف پاسیو می‌گذارد (Samant and Yang, 2007). دو و شارپلس با استفاده از نرم‌افزار رادیانس[3] برای یک پاسیو مربع شکل، تأثیر هندسه پاسیو (شاخص چاه از 0/25 (پاسیو کم عمق) تا 2/00 (پاسیو عمیق)) و الگوهای مختلفی از نوارهای سیاه و سفید در دو حالت افقی و عمودی بر روی جداره‌ها را در میزان نور منعکس شده مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه، نوارهای عمودی تأثیر ناچیز و نوارهای افقی تأثیر بیشتری را در توزیع نور داشتند (Du and Sharples, 2011b). دو و شارپلس به‌طور مشابه تأثیر هندسه پاسیو و ضریب انعکاس سطوح را بر میزان روشنایی دیوارها در یک پاسیو مربع شکل بررسی کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که افزایش ضریب انعکاس دیواره باعث بهبود چشمگیر سطح نور روز بر روی جداره‌ها می‌شود و افزایش ضریب انعکاس کف می‌تواند سطح نور روز بر روی جداره‌ها را در ارتفاعات پایین افزایش دهد (Du and Sharples, 2012). در یک مطالعه دیگر، دو و شارپلس از یک پاسیو مستطیل شکل برای بررسی تأثیر پارامترهای مشابه، یعنی هندسه پاسیو و ضریب انعکاس سطوح در میزان روشنایی دیوارها استفاده کردند. نتایج نشان داد که برای پاسیو مستطیل شکل با ثابت نگه داشتن شاخص SAR[4] (نسبت ارتفاع به طول پاسیو)، کاهش شاخص PAR[5] (نسبت عرض به طول پاسیو) می‌تواند میزان روشنایی جداره‌ها را مخصوصاً در قسمت‌های پایین پاسیو بهبود بخشد. برای پاسیو مستطیل شکل کم عمق (SAR < 1/5)، کاهش PAR منجر به افزایش میزان روشنایی در منطقه مرکزی روی دیواره بلند، به‌ویژه برای پاسیوهایی با PAR < 0/8 می‌شود. برای پاسیو عمیق (SAR > 2)، اثر مشابه با توجه به کاهش PAR تنها در بالا و پایین جداره‌ها قابل مشاهده است (Du and Sharples, 2012). یی و همکاران در شرایط آب و هوایی نیمه گرمسیری، تأثیر پارامترهای هندسی دو نوع پاسیو محصور میانی و نیمه محصور طولی با جهت شرقی-غربی را در میزان روشنایی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که ضریب نور روز[6]، رابطه تقریبا خطی با SAR یا شاخص چاه در پاسیو محصور دارد، در حالی که ضریب نور روز برای پاسیو نیمه محصور طولی همبستگی تقریباً خطی با PAR دارد (Yi et al., 2009). رستگاری و همکاران به ارزیابی تجربی بهره‌وری روشنایی ساختمان اداری شیشه کاوه (شاخص چاه: 1/8 و نسبت عرض به ارتفاع : 0/34) در تهران پرداختند و سپس از طریق شبیه سازی رایانه‌ای، مقدار بهینه برای شاخص چاه و نسبت عرض به ارتفاع آن را به ترتیب 1/3 و 0/5 محاسبه کردند (Rastegari et al., 2020). در تحقیقی عوامل مؤثر بر بهره‌وری روشنایی یک پاسیو با بالکن داخلی مورد بررسی قرار گرفتند. در ابتدا ضریب نور روز، شاخص چاه و پیکر بندی بالکن داخلی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج بدست آمده با یک پاسیو بدون بالکن داخلی مقایسه شد. با توجه به نتایج این مطالعه، شاخص چاه و عمق بالکن مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر بر بهره‌وری روشنایی پاسیوهای با بالکن داخلی هستند (Kim and Kim, 2010). در مطالعه‌ای دیگر در تهران، تأثیر عمق بالکن داخلی در آسایش بصری و حرارتی فضاهای مجاور پاسیو مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه 4 نمونه پاسیو بدون بالکن و پاسیو با بالکن در 3 حالت (نسبت عمق بالکن به ارتفاع طبقه: 0/5، 1 و 1/5) شبیه‌سازی شدند. نتایج تحقیق حاکی از آن است که در جبهه شمالی، برای طبقات پایین و میانی، حذف بالکن و برای طبقات بالایی، عمق بالکن برابر با ارتفاع طبقه مناسب است. و در جبهه جنوبی، برای طبقات پایین و میانی، حذف بالکن و برای طبقات بالایی، عمق بالکن برابر با نصف ارتفاع طبقه مناسب است (CheshmehNoor et al., 2020). الرددادی بهره‌وری روشنایی یک پاسیو با جداره صاف شمالی و جداره پله پله‌ای عقب رونده در جبهه جنوبی با پنجره‌های ردیفی فوقانی[7] رو به شمال را مورد بررسی قرار داد. مدل‌های اندازه‌گیری تجربی برای هر دو پاسیو متداول با جداره‌های صاف و پاسیو با مقطع طراحی شده در این پژوهش ساخته شدند. نتایج نشان داد که پاسیو پیشنهادی می‌تواند به‌طور مؤثری سطح روشنایی را به‌ویژه در طبقه فوقانی بهبود بخشد (Alraddadi, 2004). وانگ و همکاران به بهینه‌سازی بهره‌وری انرژی یک پاسیو در آب و هوای گرمسیری با الحاق یک سیستم سایه‌انداز

طراحی شده برای کاهش درجه حرارت داخل ساختمان ضمن تأمین روشنایی طبیعی مناسب در فضاهای پاسیو پرداختند. آن‌ها تأثیر استفاده از سیستم سایه‌انداز را در آسایش محیط داخلی و همچنین هزینه‌های اقتصادی آن را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج نشان داد که سایه انداز در ارتفاع پایین که 5-3 متر با سقف شیشه‌ای فاصله دارد در مقایسه با سایه انداز در ارتفاع بالا و نزدیک به سقف شیشه‌ای، در تأمین روشنایی طبیعی مؤثرتر است (Wang et al., 2014). چو و همکاران به آنالیز تجربی بهره‌وری انرژی یک پاسیو واقع در هنگ کنگ پرداختند. نتایج نشان داد که استفاده از پاسیو می‌تواند صرفه اقتصادی ناشی از مصرف انرژی الکتریکی و کاهش آلاینده‌های زیست محیطی مانند کربن دی اکسید، گوگرد دی اکسید و نیتروژن دی اکسید را به همراه داشته باشد (Chow et al., 2013). شر و همکاران نیز بهره‌وری انرژی پاسیوها را به شیوه شبیه سازی رایانه‌ای مورد بررسی قرار دادند. با توجه به نتایج این مطالعه، ساختمان‌های دارای پاسیو، تا 16% مصرف انرژی کمتری نسبت به ساختمان‌های بدون پاسیو دارند (Sher et al., 2019). صنایعیان به تحلیل چگونگی و میزان تأثیر پارامترهایی از جمله نسبت طول به عرض، ارتفاع و جهت گیری فضای نیمه باز درون ساختمان بر میزان مصرف انرژی، جذب انرژی خورشیدی و تهویه آن پرداخته است (Sanaieian, 2014). برخی از مطالعات نیز به بررسی تأثیر میزان گرما و موقعیت منبع آن، سرعت هوا، ابعاد و پیکربندی پاسیو بر سرعت جریان، دما و الگوی جریان هوا در پاسیوها پرداخته‌اند (Kotani et al., 1996; Kotani et al., 1997; Kotani et al., 2003).

با توجه به مرور ادبیات، عمده این مطالعات به بررسی تأثیر برخی خصوصیات هندسی (ابعاد، تناسبات و ارتفاع) و ضریب انعکاس جداره‌ها بر بهره‌وری روشنایی پاسیوها پرداخته‌اند. بر اساس یافته‌های این مطالعات، بهره‌وری روشنایی یک پاسیو وابسته به پارامترهای مختلف فیزیکی و هندسی مانند شاخص چاه، ضریب انعکاس سطوح، ارتفاع پاسیو، SAR و PAR است. در این میان، شاخص چاه بیشترین تأثیر را دارد، هر چه مقدار این شاخص بزرگ‌تر شود، سطح نور در جداره‌های پاسیو کمتر خواهد بود، به این معنی که هر چه پاسیو مرتفع‌تر و سطح مقطع افقی کوچک‌تری داشته باشد، کارایی کمتری خواهد داشت. تأثیر این شاخص در عرض‌های جغرافیایی بالاتر محسوس‌تر است؛ زیرا در آن مناطق زاویه تابش خورشید کمتر است و نسبت به مناطق با عرض جغرافیایی پایین، نور کمتری به عمق پاسیو نفوذ می‌کند. در اغلب مطالعات، مساحت و تناسبات مقطع افقی به عنوان متغیر، جهت بهبود بهره‌وری روشنایی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. از این رو، تغییر در فرم مقطع افقی و عمودی، بدون افزایش مجموع مساحت پاسیو در طبقات (به دلیل محدودیت زمین)، ایده‌ای است که در مطالعه موردی این پژوهش، ساختمان‌های چند طبقه شهر ارومیه با عرض جغرافیایی 37/5 درجه، مورد بررسی قرار گرفته است.

3-1- مبانی نظری

دو شاخص استقلال فضایی نور روز[8] (sDA300/50٪) و روشنایی مفید نور روز[9] (UDI 100-2000) به دلیل استفاده از داده‌های هواشناسی سالانه، در زمینه آنالیز روشنایی سالانه کاربرد بسیاری دارند. شاخص استقلال فضایی نور روز به درصدی از ساعات اشغالی در طول سال گفته می‌شود که در آن ساعات، حداقل نور روز طبیعی دریافتی از 300 لوکس بیشتر باشد و حداقل میزان قابل قبول آن 50٪ است (Liu, 2011). ایراد این شاخص این است که در آن، آستانه حداکثر برای شدت روشنایی لحاظ نشده است و با توجه به استاندارد لید[10]، شدت روشنایی بیش از 2000 لوکس آزاردهنده و نامناسب تلقی می‌شود (USGBC, 2015, 128). از این رو، استفاده از آن به تنهایی و بدون در نظر گرفتن شاخص‌های دیگر و تبعات روشنایی بیش از حد، مناسب نیست.

برای شاخص روشنایی مفید نور روز محدوده روشنایی مناسب تعریف شده است، هنگامی که خارج از این محدوده باشد، چه بیشتر و یا چه کمتر از آن باشد، بر روی آسایش بصری کاربر تأثیر می‌گذارد و باعث ناراحتی خواهد شد. روشنایی مفید نور روز به درصدی از ساعات اشغالی در طول سال اطلاق می‌شود که در آن ساعات، روشنایی 2000-100 لوکس دریافت می‌کنند (Carlucci

et al., 2015). بنابراین هرچه میزان شاخص روشنایی مفید نور روز (UDI 100-2000) یک فضا بیشتر باشد، بهره‌وری روشنایی بهتری دارد.

2- روش تحقیق

2-1- شیوه شبیه سازی

در این پژوهش از شبیه‌سازی رایانه‌ای استفاده شده است. راینو[11] برای مدل سازی، گرس هاپر[12] به عنوان ابزار پارامتریک، لیدی باگ[13] برای وارد کردن داده‌های آب و هوایی و مختصات خورشید و هانی بی[14] برای آنالیز نور روز مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

2-2- تنظیمات مدل

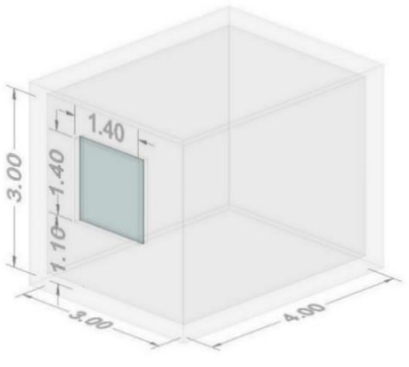
در طراحی نمونه شبیه سازی، الزامات مقررات ملی ساختمان در رابطه با پاسیوها در نظر گرفته شده است؛ مطابق با بند 5-3-8-5-4 مبحث چهارم مقررات ملی ساختمان، در ساختمان‌های گروه 1 تا 5 (تا حداکثر 4 طبقه)، پاسیوهایی که برای تأمین نور و تهویه فضاهای اقامت یا اشتغال در طبقات پیش‌بینی می‌شوند، باید دارای حداقل مساحت 12 متر مربع با عرض حداقل 3 متر باشند. و مطابق با بند 10-3-8-5-4 مبحث چهارم مقررات ملی ساختمان، در مواردی که فضاهایی از دو تصرف مستقل از یک پاسیو نور و هوا می‌گیرند، فاصله دیوارهای پنجره‌های مقابل آن‌ها از هم نباید در هیچ شرایطی کمتر از 3 متر باشد (Institute of National Building Regulations, 2018).

در این پژوهش، فرم مقطع افقی و عمودی پاسیو به عنوان متغیرهای مستقل و روشنایی مفید نور روز در فضاهای مجاور آن به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شدند. و به دلیل بررسی تأثیر فرم پاسیو، سایر پارامترها (با توجه به تیپ غالب کالبدی ساختمان‌های مسکونی در شهر ارومیه) از قبیل ارتفاع پاسیو، ابعاد فضاهای مجاور و پنجره آن‌ها، ضریب انعکاس سطوح و ... به عنوان متغیرهای کنترل، ثابت در نظر گرفته شدند. بنابراین، نمونه مورد مطالعه یک ساختمان با پاسیو 4 طبقه در شهر ارومیه است. با توجه به الزام حداقل بعد پاسیو به 3 متر و ثابت نگه داشتن مجموع مساحت پاسیو در طبقات، ابعاد مقاطع افقی گزینه‌های شبیه سازی مطابق با جدول 1 انتخاب شدند. پاسیوها به ارتفاع 12 متر هستند و در شکل 1، هر پاسیو فقط با فضاهای مجاور آن نشان داده شده است. در حالت جداره‌های مایل به سمت جنوب به دلیل ملاحظات سازه‌ای، حداکثر میزان جابجایی افقی 2 متر در نظر گرفته شده است. در این مطالعه، پاسیوهای قائم (a1, b1, c1) به منزله پاسیوهای رایج در ساختمان-های موجود محسوب می‌شوند. فضاهای مجاور، اتاق‌هایی به عرض 3 متر، طول 4 متر و ارتفاع 3 متر هستند و پنجره‌های آن‌ها با ارتفاع 1/10 متر از کف و ابعاد 1/40×1/40 متر در نظر گرفته شده‌اند (شکل 2).

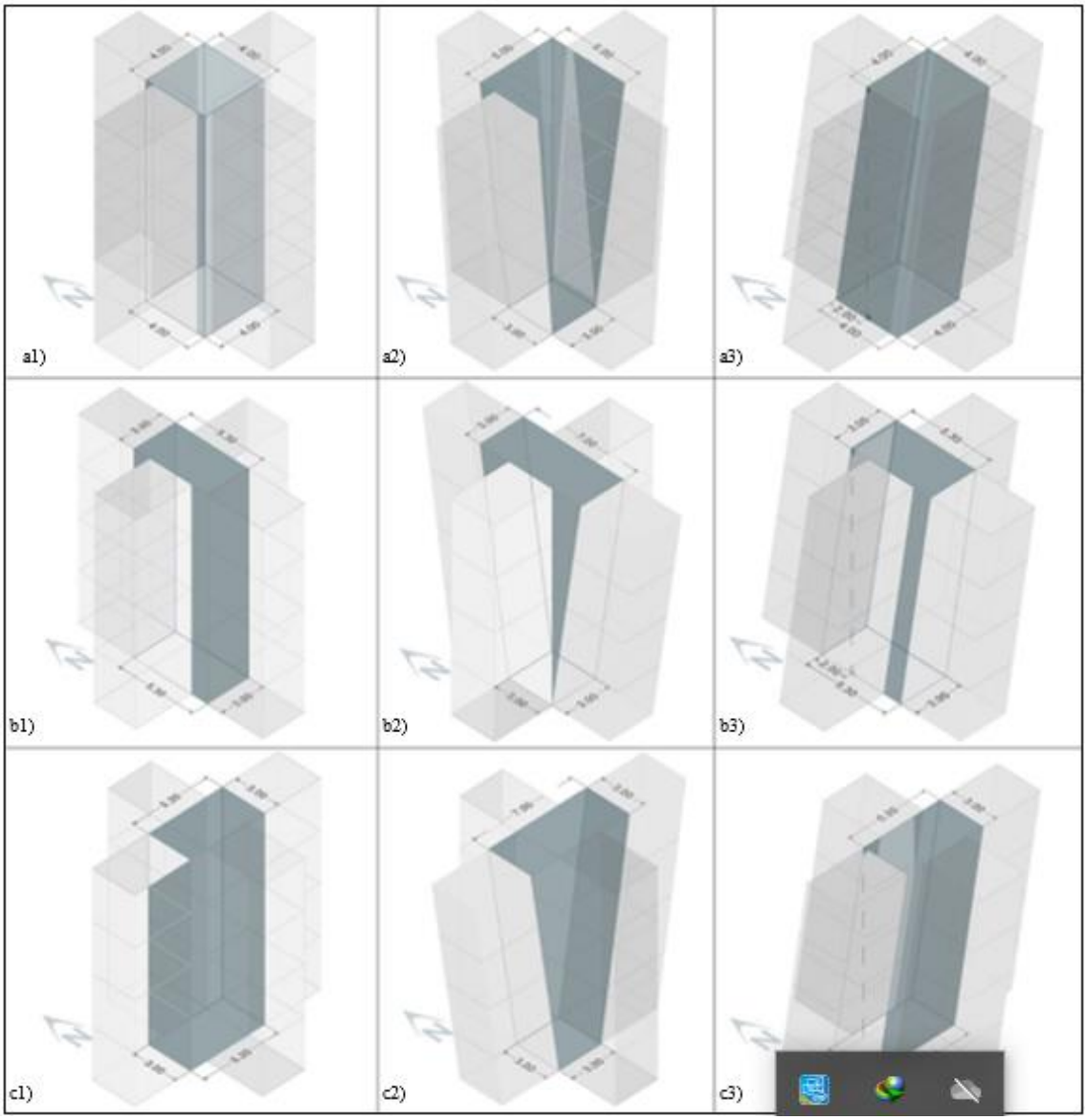
بر اساس استاندارد اشری[15]، ضریب انعکاس دیوار 60٪، سقف 80٪ و کف 20٪ فرض شده است (ASHRAE, 2009). برای پنجره‌ها شیشه دوجداره معمولی با ضریب انتقال 80٪ در نظر گرفته شده است. نقاط تست در فواصل 0/5 متری و در ارتفاع 0/8 متری از کف طبقات (ارتفاع میز کار) در نظر گرفته شده‌اند. در این پژوهش، از آنالیز روشنایی سالانه و شاخص روشنایی مفید نور روز (UDI 100-2000) به دلیل اینکه آستانه حداقل و حداکثر شدت روشنایی را در نظر می‌گیرد و نمایانگر روشنایی مطلوب است، استفاده شده است.

جدول 1- ابعاد مقاطع افقی پاسیوها (بر حسب متر)
Tab .1- Horizontal dimensions of light-wells (meter)

مقطع عمودی / مقطع افقی	مایل به سمت جنوب	بازشونده به سمت بالا		قائم
		بزرگترین مقطع	کوچکترین مقطع	
مربع	4×4	5×5	3×3	4×4
مستطیل	3×5/3	3×7	3×3	3×5/3



شکل 2- نمونه اتاق مجاور پاسیو
Fig. 2-Typical room adjacent to light-well



شکل 1-گزینه‌های شبیه سازی
Fig. 1-Simulation alternatives

2-3-اطلاعات آب‌وهوایی و مدل آسمان

داده‌های آب‌وهوایی سالانه ثبت شده در ایستگاه هواشناسی ارومیه توسط ابزار لیدی باگ اعمال شد تا بر اساس موقعیت خورشید در هر ساعت و میانگین روزهای ابری و آفتابی در هر ماه، آنالیزهای سالانه صورت گیرد. شکل 3، گراف تابش سالانه و شرایط آسمان از نظر ابرناکی را برای شهر ارومیه نشان می‌دهد.

2-4-اعتبارسنجی نرم‌افزار

لیدی باگ و هانی بی از ابزارهای پرکاربرد و با قابلیت بالا در زمینه شبیه سازی هستند و خرواری در یک مطالعه جامع و معتبر به اعتبارسنجی این ابزارها پرداخته است (kharvari, 2020). برای اطمینان بیشتر، نتایج یک بخش از آنالیز حاصل از ابزار هانی بی با نتایج ابزار دیوا[16] مورد مقایسه قرار گرفت. ابزار دیوا افزونه‌ای بر گرس هاپر است و توسط مطالعات معتبری اعتبارسنجی شده است (Jakubiec and Reinhart, 2011; Jones, 2017). شکل

4، نتایج آنالیز طبقه همکف پاسیو قائم c2 را نشان می‌دهد که تصویر سمت راست، حاصل از هانی بی و تصویر سمت چپ، حاصل از دیوا است. قابل مشاهده است که در میانگین روشنایی مفید نور روز (UDI 100-2000) برای جهت‌های متناظر، 5-2٪ اختلاف وجود دارد که خطای قابل چشم پوشی است. بنابراین می‌توان صحت نرم‌افزارهای هانی بی و لیدی باگ را در شبیه-سازی تأیید نمود.

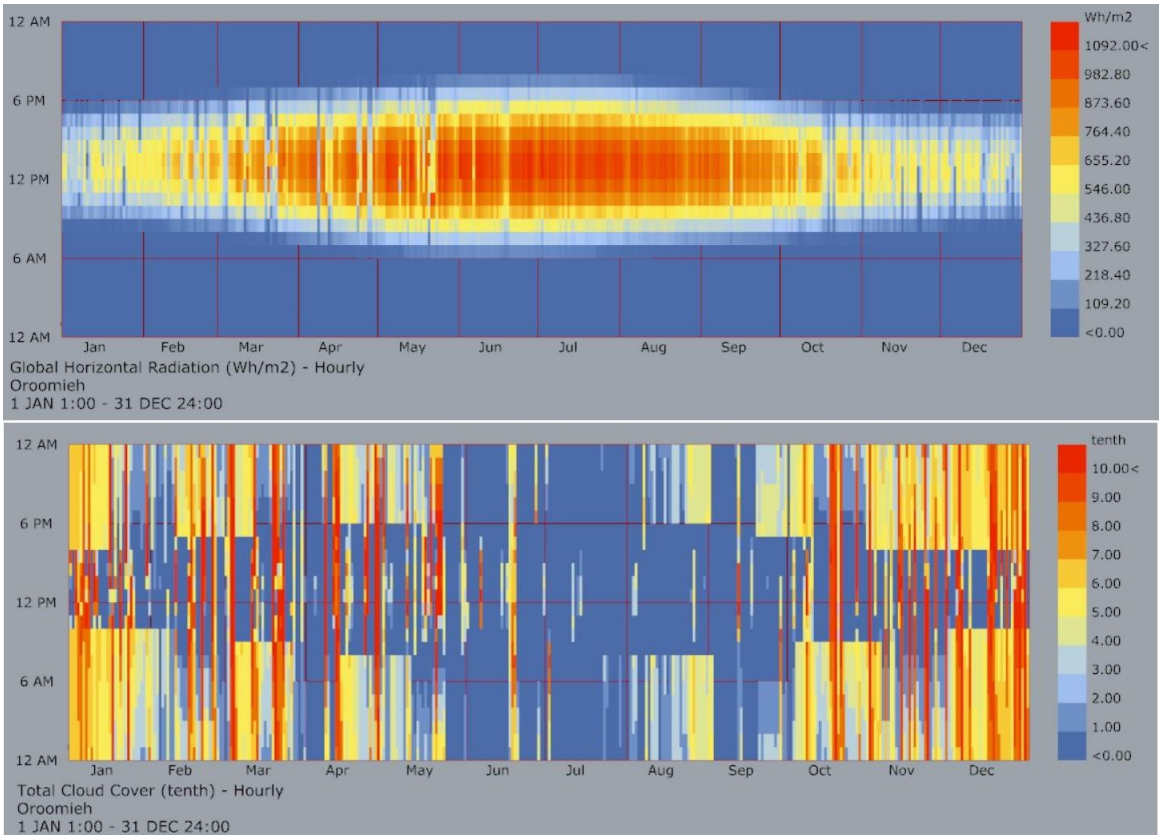
3- نتایج و بحث

در این پژوهش، برای هر کدام از گزینه‌های طراحی معرفی شده در شکل 1، آنالیز روشنایی سالانه صورت گرفت. میانگین روشنایی مفید نور روز (UDI 100-2000) حاصل از نقاط تست برای هر اتاق به تفکیک طبقه و جهت‌گیری آن در جدول 2 آمده است که در ردیف آخر آن، میانگین روشنایی مفید نور روز تمام اتاق‌های مجاور هر پاسیو نمایش داده شده است. با بررسی این جدول مشاهده می‌شود که پاسیوهای a2، c1 و c2 بهره‌وری روشنایی بالاتری نسبت به بقیه دارند. و در میان پاسیوهای قائم (a1, b1, c1)، پاسیو c1 عملکرد بهتری دارد. و به‌طور کلی، در مقایسه با پاسیوهای متداول قائم (a1, b1, c1)، پاسیوهای با مقطع عمودی بازشونده به سمت بالا (a2, b2, c2)، عملکرد روشنایی بهتر و پاسیوهای مایل به سمت جنوب (a3, b3, c3)، عملکرد روشنایی ضعیف‌تری دارند.

شکل 5 حاصل از جدول 2، عملکرد روشنایی انواع پاسیوها را در جهات مختلف مقایسه می‌کند. در اکثر موارد، فضاهای جنوبی و شرقی نسبت به فضاهای شمالی و غربی روشنایی مطلوب‌تری دارند. در تمامی جهات، پاسیوهای a2، c1 و c2 بهره‌وری روشنایی بالاتری نسبت به بقیه گزینه‌ها دارند و پاسیوهای مایل به سمت جنوب نسبت به پاسیوهای قائم و پاسیوهای بازشونده به سمت بالا عملکرد روشنایی ضعیف‌تری دارند.

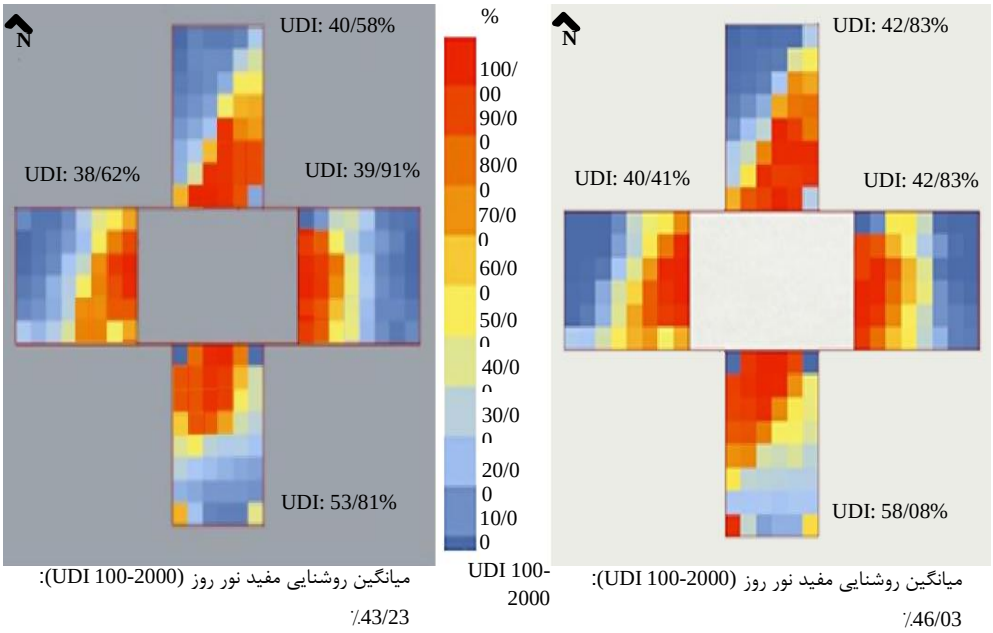
شکل 6 حاصل از جدول 2، عملکرد روشنایی انواع پاسیو-ها را در طبقات مختلف مقایسه می‌کند. فرم پاسیو در طبقه بالا تأثیر قابل توجهی در عملکرد روشنایی ندارد و همه پاسیوها از سطح روشنایی مطلوبی برخوردار هستند. در طبقه دوم نیز همه پاسیوها از سطح روشنایی نسبتا مطلوبی برخوردار هستند و پاسیوهای a2 و c2 بهره‌وری روشنایی بالاتری نسبت به بقیه دارند. در طبقه اول، پاسیو c2 و در طبقه همکف، پاسیوهای c1 و c2 تا حدود 30٪ باعث افزایش روشنایی مفید نور روز (UDI 100-2000) می‌شوند. و در اکثر طبقات، در پاسیوهای با مقطع افقی یکسان، پاسیوهای با مقطع عمودی بازشونده به سمت بالا (a2, b2, c2) نسبت به پاسیوهای متداول قائم (a1, b1, c1)، بهره‌وری روشنایی بهتری دارند.

یک مسأله مهم در پاسیوها، توزیع ناهمگن نور در طبقات و روشنایی کم در طبقات پایین است. با توجه به شکل 6 مشاهده می‌شود که با تغییر در فرم پاسیو می‌توان بهره‌وری روشنایی را در طبقات پایین افزایش داد. در شکل 7 جهت درک بهتر، گراف‌های آنالیز روشنایی سالانه برای طبقه همکف گزینه‌های مورد مطالعه نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در طبقه همکف، گزینه‌های c1 و c2 با 46 و 44 درصد، میزان بالاتری از روشنایی مفید نور روز (UDI 100-2000) را دارند و در درجه دوم گزینه a2 با 38 درصد نسبت به بقیه گزینه‌ها عملکرد روشنایی بهتری دارد.



شکل 3- گراف تابش سالانه (بالا) و شرایط آسمان از نظر ابرناکی (پایین) برای شهر ارومیه

Fig. 3- Global Horizontal Radiation (up) and Total Cloud Cover (down) of Oroomieh



میانگین روشنایی مفید نور روز (UDI 100-2000): ٪43/23

میانگین روشنایی مفید نور روز (UDI 100-2000): ٪46/03

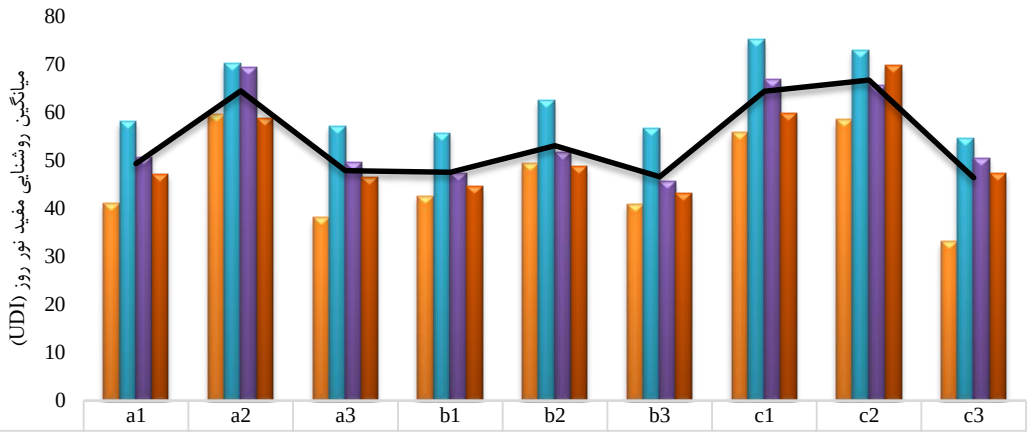
شکل 4- مقایسه نتایج ابزارهای هانی بی (سمت راست) و دیوا (سمت چپ)

Fig. 4- Result comparison of Honeybee (right) and Diva (left)

جدول 2- میانگین روشنایی مفید نور روز (UDI 100-2000) گزینه‌های طراحی برای هر اتاق (بر حسب درصد)

Tab. 2- Average useful daylight illuminance (UDI 100-2000) for every room of design alternatives (%)

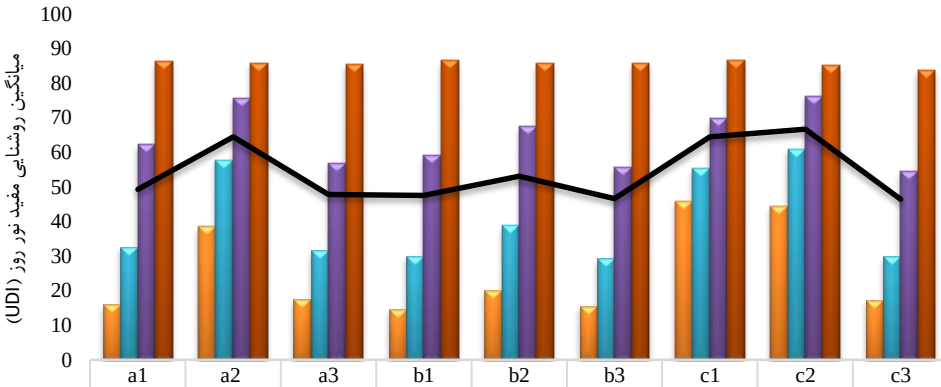
جهت-گیری	نوع پاسیو طبقه	c3	c2	c1	b3	b2	b1	a3	a2	a1
شمال	همکف	7.25	41.66	42.83	12.33	17.08	13.58	10.51	38	**12.25**
جنوب	همکف	22.41	49.91	58.08	20.75	25.5	17.08	22.25	41.16	**20.58**
شرق	همکف	20	39.83	42.83	15.16	20	14.66	19.23	41.33	**15.75**
غرب	همکف	19.58	46.75	40.41	14.25	18.41	12.58	18.41	34.25	**15.25**
شمال	اول	18.91	54.16	49.08	21.83	33.88	23	22.66	56.66	**24.25**
جنوب	اول	37.83	65.75	66.58	39.66	49.66	38.33	41.58	61.25	**41.66**
شرق	اول	32.83	56.55	56.75	28.25	36.33	30	31.91	64.16	**33.66**
غرب	اول	29.9	67.66	48.91	27.91	35.5	28.66	30.41	49.33	**31.16**
شمال	دوم	34.75	63.16	56.66	48.66	69.75	54.41	41.5	68.16	**50.91**
جنوب	دوم	65.51	81	80	72.5	81.08	72.08	70.5	82.5	**74.91**
شرق	دوم	61.08	78.66	75.91	52.83	61.83	56.5	59.75	82.75	**64**
غرب	دوم	57.66	82.58	66.66	49.41	58.08	53.66	55.58	69.75	**59.41**
شمال	سوم	72.08	75.16	74.91	81.25	77	79.41	77.75	76.16	**77.41**
جنوب	سوم	92.58	95.5	96.25	93.83	94.16	95.5	94.58	96.08	**95.5**
شرق	سوم	88.51	87.83	92	86.41	88.75	88.5	87.83	89.25	**89.75**
غرب	سوم	82.51	82.08	83.83	81.41	83.08	83.33	81.91	81.91	**83.25**
همه جهات	همه طبقات	46.46	66.76	64.48	46.65	53.13	47.58	47.89	64.54	**49.35**



	a1	a2	a3	b1	b2	b3	c1	c2	c3
North	41.2	59.74	38.1	42.6	49.42	41.01	55.87	58.53	33.24
South	58.16	70.24	57.22	55.74	62.6	56.68	75.22	73.04	54.58
East	50.79	69.37	49.68	47.41	51.72	45.66	66.87	65.71	50.6
West	47.26	58.81	46.57	44.55	48.76	43.24	59.95	69.76	47.41
all	49.35625	64.54375	47.8975	47.58	53.130625	46.6525	64.480625	66.765	46.461875

شکل 5- مقایسه میانگین روشنایی مفید نور روز (UDI 100-2000) در جهات مختلف

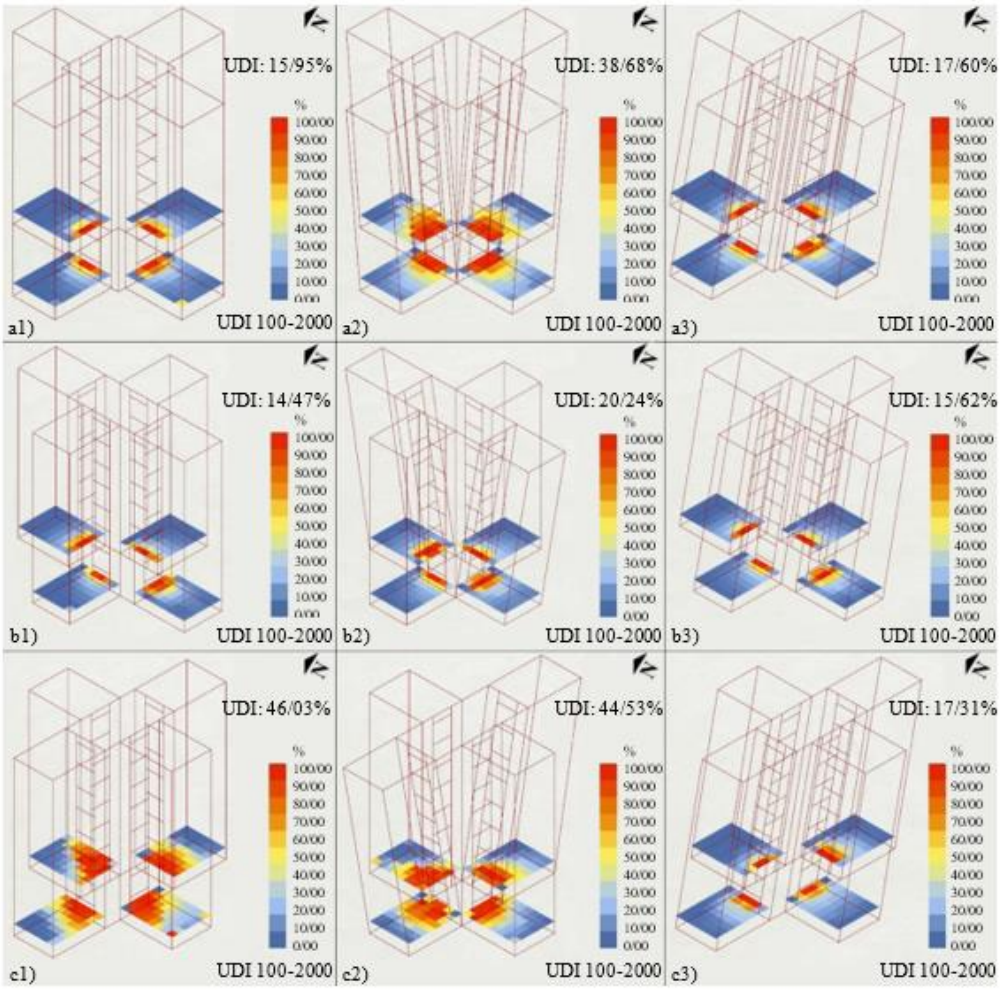
Fig. 5- Comparison results of useful daylight illuminance (UDI 100-2000) for different orientations



	a1	a2	a3	b1	b2	b3	c1	c2	c3
طبقه همکف	15.9575	38.685	17.6	14.475	20.2475	15.6225	46.0375	44.5375	17.31
طبقه اول	32.6825	57.85	31.64	29.9975	38.8425	29.4125	55.33	61.03	29.8675
طبقه دوم	62.3075	75.79	56.8325	59.1625	67.685	55.85	69.8075	76.35	54.75
طبقه سوم	86.4775	85.85	85.5175	86.685	85.7475	85.725	86.7475	85.1425	83.92
همه طبقات	49.35625	64.54375	47.8975	47.58	53.130625	46.6525	64.480625	66.765	46.461875

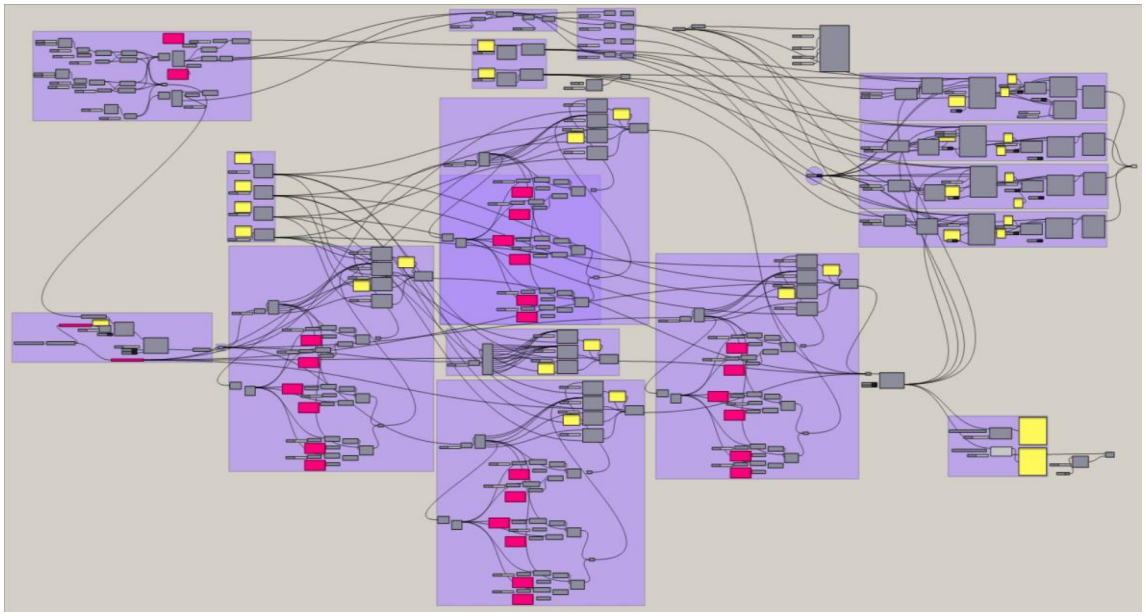
شکل 6- مقایسه میانگین روشنایی مفید نور روز (UDI 100-2000) در طبقات مختلف

Fig. 6- Comparison results of useful daylight illuminance (UDI 100-2000) for different floors



شکل 7- گراف‌های آنالیز روشنایی سالانه برای طبقه همکف گزینه‌های طراحی

Fig. 7- Comparison results of useful daylight illuminance for ground floors of design alternatives



شکل 8- الگوریتم گرس هاپر
Fig. 8- Grasshopper Algorithm

4- نتیجه‌گیری

افزایش تقاضای مسکن و ارزش قیمت اراضی شهری موجب احداث ساختمان‌های چند طبقه و فشرده شده است. به کارگیری پاسیوها یک امر متداول در ساختمان‌ها برای تأمین روشنایی طبیعی فضاهای بدون جداره خارجی است. نور طبیعی نه تنها باعث کاهش استفاده از نور مصنوعی می‌شود بلکه باعث بهبود کیفیت فضای داخلی از نظر روان شناختی و ارگونومیک نیز می‌شود. در حالی که پاسیو می‌تواند به عنوان منبع نور طبیعی مورد استفاده قرار گیرد، در صورت عدم طراحی صحیح، می‌تواند باعث کاهش بهره‌وری انرژی شود.

انتخاب نمونه با توجه به تیپ غالب ساختمان‌های موجود در شهر ارومیه که در زمین‌های محدود و فشرده ساخته می‌شوند، صورت گرفته است. این پاسیوها، به دلیل داشتن ابعاد کوچک، معمولاً بهره‌وری روشنایی مناسبی ندارند. از این رو، در تحقیق حاضر با رعایت حداقل بعد پاسیو به 3 متر و ثابت نگه داشتن مجموع مساحت پاسیو در طبقات، تأثیر فرم مقطع افقی و عمودی آن در بهبود بهره‌وری روشنایی مورد بررسی قرار گرفتند. در این پژوهش، آنالیز روشنایی سالانه با استفاده از نرم‌افزارهای رایانه‌ای شبیه سازی (راینو و گرس هاپر) و آنالیز روشنایی (لیدی باگ و هانی بی) صورت گرفته است و از شاخص روشنایی مفید نور روز (UDI 100-2000) که بیانگر سطح روشنایی مطلوب است، استفاده شده است.

نتایج آنالیز نشان داد که در رابطه با مقطع افقی پاسیو، مستطیلی با جهت شرقی-غربی، بهترین کارایی و مستطیلی با جهت شمالی-جنوبی، ضعیف‌ترین کارایی را دارد و در رابطه با مقطع عمودی پاسیو، پاسیو مایل به سمت جنوب، ضعیف‌ترین کارایی و پاسیو بازشونده به سمت بالا، بهترین کارایی را دارد. می‌توان نتیجه گرفت که در طراحی پاسیوها به جای مساحت ثابت در تمام طبقات، مساحت کمتر در طبقه پایین و مساحت بیشتر در طبقه بالا باعث ایجاد سطح بازشو بزرگ‌تری رو به آسمان و در نتیجه نفوذ نور بیشتری می‌شود. و به‌طور کلی، در پاسیوهای با مقطع افقی یکسان، پاسیوهای با مقطع عمودی بازشونده به سمت بالا (a2, b2, c2)، نسبت به پاسیوهای متداول قائم (a1, b1, c1)، بهره‌وری روشنایی بهتری دارند.

در رابطه با جهت‌گیری فضاها نسبت به پاسیو، در اکثر موارد، فضاهای جنوبی و شرقی نسبت به فضاهای شمالی و غربی روشنایی مطلوب‌تری دارند. در رابطه با طبقات مختلف، با توجه به اینکه مشکل مهم در نورگیری از پاسیوهای متداول، توزیع ناهمگن نور در فضاهای داخلی است، و در حالی که طبقات بالای پاسیو در معرض نور و

گرمای بیش از حد و خیرگی قرار دارند، طبقات پایین نور کافی دریافت نمی‌کنند، نتایج این پژوهش گزینه‌های مناسبی را جهت رفع این مشکل ارائه می‌دهند. با توجه به نتایج شبیه سازی، فرم پاسیو در طبقات بالا تغییر قابل توجهی در عملکرد روشنایی به‌وجود نمی‌آورد ولی در طبقات پایین به‌طور قابل ملاحظه‌ای مؤثر است. در طبقه دوم و سوم تقریبا همه پاسیوها سطح روشنایی مطلوبی را تأمین می‌کنند. ولی در طبقه اول، پاسیو c2 (مقطع افقی: مستطیلی با جهت شرقی-غربی، مقطع عمودی: بازشونده به سمت بالا) و در طبقه همکف، پاسیوهای c1 (مقطع افقی: مستطیلی با جهت شرقی-غربی، مقطع عمودی: قائم) و c2 (مقطع افقی: مستطیلی با جهت شرقی-غربی، مقطع عمودی: بازشونده به سمت بالا) تا حدود 30٪ باعث افزایش روشنایی مفید نور روز (UDI 100-2000) می‌شوند.

در بین همه گزینه‌های بررسی شده، پاسیوهای c1 (مقطع افقی: مستطیلی با جهت شرقی-غربی، مقطع عمودی: قائم)، c2 (مقطع افقی: مستطیلی با جهت شرقی-غربی، مقطع عمودی: بازشونده به سمت بالا) و a2 (مقطع افقی: مربعی، مقطع عمودی: بازشونده به سمت بالا) بهره‌وری مناسب برای پاسیوهای متداول پیشنهاد می‌شوند. در یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت، جهت گیری شرقی-غربی در مقطع افقی و بازشوندگی رو به بالا در مقطع عمودی، بهره‌وری روشنایی را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهند و توصیه می‌شود رعایت این موارد در طراحی پاسیوها مورد توجه قرار گیرد. علاوه بر این، یافته‌های این پژوهش می‌تواند در رابطه با ضوابط طراحی نورگیرها در مباحث مقررات ملی ساختمان لحاظ شود.

پی‌نوشت

[1] Well Index
[2] Visible Transmittance
[3] Radiance
[4] Section aspect ratio
[5] Plane aspect ratio
[6] Daylight Factor
[7] Clerestory
[8] Spatial Daylight Autonomy
[9] Useful Daylight Illuminance
[10] Leadership in Energy and Environmental Design, (LEED)
[11] Rhinoceros
[12] Grasshopper
[13] Ladybug
[14] Honeybee
[15] ASHRAE
[16] Diva

منابع

Aldawoud, A., Clark, R. (2008). Comparative analysis of energy performance between courtyard and atrium in buildings. Energy and Buildings, 40, 209–214.

Aldawoud, A. (2013). The influence of the atrium geometry on the building energy performance. Energy and Buildings, 57, 1–5.

Alraddadi, T. A. (2004). The Effect of the Stepped Section Atrium on Daylighting Performance. Architectural Science Review, 47, 303–310.

ASHRAE. (2009). Handbook of Fundamentals. Atlanta, Georgia: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.

Baker, N. V., Fanchiotti, A., and Steemers, K. (2013). Daylighting in Architecture: A European Reference Book. London: Routledge.

Berardi, U., and Wang, T. (2014). Daylighting in an Atrium Type High Performance House. Building and Environment, 76, 92–104.

Boubekri, M. (1995). The effect of the cover and reflective properties of a four-sided atrium on the behavior of light. Architectural Science Review, 38, 3–8.

Bugeat, A., Beckers, B., and Fernandez, E. (2020). Improving the daylighting performance of residential light wells by reflecting and redirecting approaches. Solar Energy, 207, 1434–1444.

Carlucci, S., Causone, F., De Rosa, F., Pagliano, L. (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.

CheshmehNoor, M., Mehdizadeh Saradj, F., and YazdanFar, S. A. (2020). The effect of atrium adjoining spaces position in term of light distribution and heat gain Case study:

and Its Effect on the Thermal Comfort Conditions. Applied Thermal Engineering, 40, 358–372.

Institute of National Building Regulations. (2018). National Building Regulations, Part 4: General Building Requirements. Tehran: Road, housing and urban development research center. [in Persian]

Iyer-Raniga, U. (1994). Daylighting in atrium spaces. Architectural Science Review, 37, 195–208.

Jakubiec, J. A., and Reinhart, C. F. (2011). DIVA 2.0: Integrating daylight and thermal simulations using Rhinoceros 3D and Energy Plus. Proceedings of Building Simulation 2011: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney, 14-16 November, 2202-2209.

Jones, N. L. (2017). Validated Interactive Daylighting Analysis for Architectural Design. Massachusetts Institute of Technology, Ph.D. thesis.

Kharvari, F. (2020). An empirical validation of daylighting tools: Assessing radiance parameters and simulation settings in Ladybug and Honeybee against field measurements. Solar Energy, 207, 1021–1036.

Kim, G., and Kim, J. T. (2010). Luminous Impact of Balcony Floor at Atrium Spaces with Different Well Geometries. Building and Environment, 45, 304–310.

Kotani, H., Narasakia, M., Satoh, R., Yamanaka, T. (1996). Natural ventilation caused by stack effect in large courtyard of high-rise building. In: ROOMVENT96, Yokohama, Japan, 299–306.

Kotani, H., Satoh, R., Yamanaka, T. (1997). Stack effect in light well of high-rise apartment building. In: International Symposium on Air Conditioning in High-rise Buildings, Shanghai, China, 628–633.

Kotani, H., Satoh, R., Yamanaka, T. (2003). Natural ventilation of light well in high-rise apartment building. Energy and Buildings, 35, 427–434.

Lau, B., Duan, Z. (2008). The daylight benefit conferred upon adjoining rooms by specular surfaces in top-lit atria. Architectural Science Review, 51, 204–211.

Administrative building of Niroo Research Institute. Journal of Sustainable Architecture and Urban Design, 7(2), 119–134. [in Persian]

Chow, S. K. H., Li, D. H. W., Lee, E. W. M., and Lam, J. C. (2013). Analysis and Prediction of Daylighting and Energy Performance in Atrium Spaces Using Daylight-Linked Lighting Controls. Applied Energy, 112, 1016–1024.

Cole, R. J. (1990). The effect of the surfaces enclosing atria on the daylight in adjacent spaces. Building and Environment, 25, 37–42.

Doulos, L., Tsangrassoulis, A., and Topalis, F. (2008). Quantifying energy savings in daylight responsive systems: the role of dimming electronic ballasts. Energy and Buildings, 40, 36–50.

Du, J., and Sharples, S. (2009). Computational simulations for predicting vertical daylight levels in atrium buildings. In: Building simulation. UK: Glasgow.

Du, J., and Sharples, S. (2011a). The Variation of Daylight Levels Across Atrium Walls: Reflectance Distribution and Well Geometry Effects Under Overcast Sky Conditions. Solar Energy, 85, 2085–2100.

Du, J., and Sharples, S. (2011b). Assessing and Predicting Average Daylight Factors of Adjoining Spaces in Atrium Buildings Under Overcast Sky. Building and Environment, 46, 2142–2152.

Du, J., and Sharples, S. (2012a). The assessment of vertical daylight factors across the walls of atrium buildings, Part 1: Square atria. Lighting Research and Technology, 44, 109–123.

Du, J., and Sharples, S. (2012b). The assessment of vertical daylight factors across the walls of atrium buildings, Part 2: Rectangular atria. Lighting Research and Technology, 44, 1–15.

Ghiabaklou, Z. (2013). Fundamentals of Building Physics 3: Electrical Lighting. Tehran: ACECR Publication, Amirkabir University of Technology Branch. [in Persian]

Hung, W. Y., and Chow, W. K. (2001). A review on architectural aspects of atrium buildings. Architectural Science Review, 44, 285–296.

Hussain, S. H., and Oosthuizen, P. H. (2012). Numerical Investigations of Buoyancy-Driven Natural Ventilation in a Simple Atrium Building

architectural aspects in an office building atrium in Tehran. Journal of Building Engineering, doi: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.10171

Royal Institute of British Architects (RIBA). (2007). The Architects Handbook. UK: RIBA.

Samant, S., Yang, F. (2007). Daylighting in atria: The effect of atrium geometry and reflectance distribution. Lighting Research and Technology, 39, 147–157.

Samant, S. (2011a). A parametric investigation of the influence of atrium facades on the daylight performance of atrium buildings. PhD thesis. University of Nottingham.

Samant, S. (2011b). Atrium and its Adjoining Spaces: A Study of the Influence of Atrium Facade Design. Architectural Science Review, 54, 316–328.

Sanaieian, H. (2014). Investigating the impact of placement of semi-enclosed spaces on thermal performance, solar access and ventilation. Ph.D. thesis. Iran University of Science and Technology. [in Persian]

Sharples, S., and Lash, D. (2007). Daylight in Atrium Buildings: A Critical Review. Architectural Science Review, 50, 301–312.

Sher, F., Kawai, A., Güleç, F., and Sadiq, H. (2019). Sustainable energy saving alternatives in small buildings. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 32, 92–99.

Szerman, M. (1992). Daylighting in adjacent rooms connected to an atrium by artificial sky measurements. Building Research and Information, 20, 357–9.

Tang, C. K., Chin, N. (2013). Building Energy Efficiency Technical Guideline for Passive Design. Malaysia: Building Sector Energy Efficiency Project (BSEEP).

USGBC. (2015). Leadership in Energy and Environmental Design (LEED). U.S: Green Building Council.

Wang, F., Pichatwatana, K., Roaf, S., Zhao, L., Zhu, Z., and Li, J. (2014). Developing a Weather Responsive Internal Shading System for Atrium Spaces of a Commercial Building in Tropical Climates. Building and Environment, 71, 259–274.

Li, D. H. W., Cheung, A. C. K., Chow, S. K. H., and Lee, E. W. M. (2014). Study of Daylight Data and Lighting Energy Savings for Atrium Corridors with Lighting Dimming Controls. Energy and Buildings, 72, 457–464.

Li, D. H. W., Lam, J. C. (2001). Evaluation of lighting performance in office buildings with daylighting controls. Energy and Buildings, 33, 793–803.

Li, J., Ban, Q., Chen, X., and Yao, J. (2019) Glazing Sizing in Large Atrium Buildings: A Perspective of Balancing Daylight Quantity and Visual Comfort. Energies, 12, 701-715.

Lim, Y. W. (2011). Internal shading for efficient tropical daylighting in high-rise open plan office. University Teknology Malaysia, Skudai, Ph.D. thesis.

Liu, K. P. (2011). A Study on the Application of Dynamic Daylight Simulation Software DAYSIM in Natural Lighting Design. A Dissertation Submitted to Nanjing University for Master Degree.

Gorji Mahlabani, Y., Azizzadeh Araei, R., Mofrad Boushehri, A., Motevali Alamuti, Z. (2019). A Study of Optimal Area of Atrium for Daylight Utilization (Case Study: Administrative Building in Qazvin, Iran). International Journal of Architectural Engineering and Urban Planning, 29, 39-46.

Matusiak, B., Aschehoug, M., Littlefair, P. (1999). Daylighting strategies for an infinitely long atrium: An experimental evaluation. Lighting Research and Technology, 31, 23–34.

Mohsenin, M., and Hu, J. (2015). Assessing Daylight Performance in Atrium Buildings by Using Climate Based Daylight Modeling. Solar Energy, 119, 553–560.

Moosavi, L., Mahyuddin, N., Ghafar, N. A., and Ismail, M. A. (2014). Thermal Performance of Atria: An Overview of Natural Ventilation Effective Designs. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 34, 654–670.

Omrany, H., Ghaffarianhoseini, A., Berardi, U., Ghaffarianhoseini, A., and Li, D. H. W. (2019). Is atrium an ideal form for daylight in buildings. Architectural Science Review, 63, 47-62.

Rastegari, M., Pournaseri, S., Sanaieian, H. (2020). Daylight optimization through

Wright, J., Letherman, K. (1998). Illuminance in atria: review of prediction methods. Lighting Research and Technology, 30, 1–10.

Yi, R., Shao, L., Su, Y., and Riffat, S. (2009). Daylighting Performance of Atriums in Subtropical Climate. International Journal of Low-Carbon Technologies, 4, 230–237.

WBDG (2017). Atria Systems. Building envelope design guide. U.S.: The National Institute of Building Sciences. Accessed March 20, 2020. https://www.wbdg.org/systems-specifications/buildingenvelopedesign-guide/atria-systems.