

## طراحی یکپارچه سایبان‌های پوسته جنوبی ساختمان خوابگاهی در شهر تهران؛ بررسی چندجانبه سرمایه‌های گرمایش، روشنایی و برداشت آباران

افشین رزمی<sup>۱</sup>، عباس ترکاشوند<sup>۲</sup>، مرتضی رهبر<sup>۳</sup>، احمد اخلاصی<sup>۴\*</sup>

<sup>۱</sup>پژوهشگر دکتری تخصصی مهندسی معماری، گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

<sup>۲</sup>استادیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

<sup>۳</sup>استادیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

<sup>۴</sup>دانشیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

(تاریخ دریافت مقاله ۹۸/۰۸/۱۲؛ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۱/۳۱)



### چکیده

یافتن متوازن‌ترین گزینه طراحی ضمن در نظر گرفتن چندین عملکرد، مسئله این پژوهش است که می‌تواند در فرآیند طراحی یکپارچه تحقق یابد. بنابراین هدف این مطالعه راه‌اندازی یک فرآیند طراحی یکپارچه است که در روند آن به جنبه‌های سرمایه‌های گرمایش، روشنایی و برداشت آباران در خصوص طراحی سایبان‌های جنوبی یک ساختمان خوابگاهی مرسوم پرداخته شود و نهایتاً متوازن‌ترین گزینه که جوانب نام‌برده را به تعادلی نسبی می‌رساند، توسط معمار انتخاب شود. برای تحقق این مهم، از روش شبیه‌سازی و نرم‌افزار انرژی پلاس با رویکردی کمی، ابتدا رفتار حرارتی، برودتی و روشنایی موردها بررسی شده و سپس در بخش توسعه، توانمندی بهره‌وری از سامانه فوتولتائیک و جمع‌آوری آباران به‌صورت متغیری مستقل واکاوی شده است. از شش گزینه طراحی، نمونه سایبانی که با منطق حداکثر سایه‌اندازی در روز-طرح تابستان دارای ۳۵ درجه شیب با عمق ۶۵ سانتی‌متر بوده و پیش‌آمدگی‌های شرقی-غربی مثلثی داشته؛ عملکرد به نسبت بهینه‌تری را در کسب نور روز مفید و کاهش بار سرمایشی دارد. به‌علاوه مستعدترین هندسه را به لحاظ جذب تابش خورشید برای تولید برق و نیز جمع‌آوری آباران دارد. اگرچه بار گرمایشی این نمونه نسبتاً بالا گزارش شده اما با توجه به چالش شهر مورد مطالعه (تهران) در تأمین انرژی سرمایشی، می‌توان اذعان داشت در مقایسه با دیگر گزینه‌ها ضمن در نظرگیری جوانب نام‌برده در خلال یک فرآیند یکپارچه، متوازن‌ترین پاسخ در چندین بُعد است.

### واژه‌های کلیدی

طراحی یکپارچه، بررسی چندجانبه، انرژی و نور روز، سامانه‌های فوتولتائیک و جمع‌آوری آباران، سایبان جنوبی.

## مقدمه

سرمایشی کاهش دهند اما می‌بایست در نظر داشت که متقابلاً مصرف انرژی گرمایشی افزایش زیادی را تجربه نکند و در واقع نوسانات مصرف هر دو به نحو کنترل شده‌ای باشد. همچنین باید توجه داشت طراحی سایبان، پاسخی مناسب برای میزان دریافت نور روز داشته باشد. این مسئله حائز اهمیت است که طراحی جزئیات و عناصر مختلف ساختمان، چندجانبه و متوازن صورت پذیرد. هدف این پژوهش به این صورت است که مدل‌هایی متداول از طراحی سایبان را در جداره جنوبی ساختمان از لحاظ مصرف انرژی سرمایشی، گرمایشی و نور روز به صورت چندجانبه بررسی کند تا علاوه بر واکوی تأثیر یکپارچه این جوانب بر هم، متوازن‌ترین پاسخ طراحی را برای شهر تهران برگزیند. به منظور تحقق این موضوع، فضایی با کاربری خوابگاه دانشجویی، با استفاده از تنظیمات شبیه‌سازی مطالعات اعتبارسنجی شده‌ی پیشین، تا حد نزدیک به واقعیت در نرم‌افزار انرژی پلاس مدل‌سازی انرژی شده است تا با الحاق سایبان‌های متفاوت به پنجره جنوبی آن، رفتار حرارتی و روشنایی آن مورد تجزیه و تحلیل واقع شود. لازم به ذکر است که عنصر سایبان در روند تکامل و توسعه فرآیند طراحی، می‌تواند کاربردهای دیگری چون تولید برق از یکپارچه‌سازی فتوولتائیک و یا جمع‌آوری آب باران را تحقق ببخشد که این پژوهش نه به‌طور تفصیلی بلکه اجماً به آن پرداخته است. بدیهی است نتایج این پژوهش صرفاً برای یک واحد دارای یک پنجره جهت مقایسه گونه‌ها صورت گرفته است. بنابراین در صورتی که مثلاً یک سایبان در یک ساختمان بلندمرتبه چندین مرتبه تکرار شود؛ مقیاس تأثیرگذاری آن نیز چندین مرتبه افزایش می‌یابد.

بحران حال حاضر در حوزه انرژی و تغییرات اقلیمی، نگرانی‌های روبه‌رشدی در باب پایداری در سراسر دنیا به دنبال داشته است. ساختمان‌ها یکی از بزرگ‌ترین واحدهای مصرف‌کننده از کل انرژی جهانی هستند که به طرز قابل توجهی به این بحران دامن می‌زنند (Conti et al., 2016). طی سال‌های گذشته در ایران، بخش ساختمانی حدود ۳۵ درصد از مصرف کل انرژی کشور را به خود اختصاص داده است (سازمان بهره‌وری انرژی ایران، ۱۳۹۲). بخش عمده‌ای از این میزان انرژی توسط سامانه‌های گرمایشی و سرمایشی مصرف می‌شود تا محیط راحتی را برای آسایش کاربران ساختمان فراهم کند (Yousefi et al., 2017). کاهش مصرف انرژی حرارتی مسئله مهمی است که امروزه صنعت ساختمان با آن روبرو است. یکی از راه‌کارهای این مسئله در نظر گرفتن اقدامات صحیح طراحی در پوسته ساختمان است و باید در نظر داشت که اقدامات طراحی پوسته ساختمان، فضای محیط داخلی ساختمان را نیز دستخوش تغییرات قرار می‌دهد. فضای محیط داخلی ساختمان‌ها ارتباط بسیار نزدیکی با سلامت و بهره‌وری ساکنان دارند (Edwards and Torcellini, 2002). از این رو توسعه ساختمان‌های سبز با کارایی بالا، در حال تبدیل به یک موضوع تحقیقاتی برجسته است. این مسئله بسیار مهم است که برای به حداقل رساندن مصرف انرژی، مقوله سلامت و راحتی فضای محیط داخلی فدا نشود (Fang and Cho, 2019). بازشوها و به‌خصوص آن دسته‌ای که در جبهه جنوبی پوسته ساختمان واقع شده‌اند، نقش اساسی‌ای در میزان مصرف انرژی ایفا می‌کنند. سایبان‌ها طراحی می‌شوند تا این مصرف را از نوع

### ۱- پیشینه پژوهش

#### ۱-۱. طراحی یکپارچه

HVAC، روشنایی، نور روز و غیره دیگر به صورت خطی ساخته نمی‌شود بلکه این تصمیمات طراحی از طریق یک سلسله حلقه‌های بازگشتی (شامل بررسی چندجانبه متغیرهای طراحی) تعیین می‌شوند (Hao et al., 2019). علاوه بر این، اهداف عملکردی در کل مراحل طراحی توسط طراح و یا تیم طراحی در نظر گرفته می‌شود. به‌طور کلی رویکرد طراحی یکپارچه که اساس شکل‌گیری این مقاله است، می‌تواند به‌عنوان یک ساختار تکرارشونده بر خلاف یک ساختار خطی تعریف شود. یک روش انعطاف‌پذیر، یک رویکرد غیرقابل پیش‌بینی و یک فرآیند تکرارشونده‌ی همراه با یادگیری مداوم و ویژگی‌های نوظهور است تا در تقابل با فرآیندی تعریف شود که دنباله‌ای از رویدادهای از پیش تعیین شده است.

#### ۱-۲. بارهای حرارتی، تهویه مطبوع و روشنایی

ساختمان‌های مسکونی یکی از مهم‌ترین مصرف‌کننده‌های انرژی در جهان هستند (Yan et al, 2015) و این در حالی است که مصرف انرژی در بخش ساختمان در کشور ایران، بسیار بیشتر از متوسط جهانی است (Ebrahimpour and Marefat, 2011). به‌منظور کاهش دادن مصرف انرژی، پوسته خارجی ساختمان باید هماهنگ با شناسه ارائه‌شده توسط صنعت ساختمان در ایران طراحی شود (مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، ۱۳۸۹). متغیرهای مختلفی بر بازده نهایی انرژی در پوسته ساختمان تأثیر می‌گذارند. براساس عملکرد پوسته

به‌منظور حل مسائل مربوط به فرآیند طراحی مرسوم و ارتقاء و بهبود آن، پژوهشگران و همچنین تدوین‌گران قراردادهای تحقیقاتی (Larsen et al., 2014; son, 2009; IWBDG, 2017; Braganca et al., 2017) وارد کردند و راه‌حلی را ارائه دادند. از این رو فرآیند طراحی یکپارچه (IDP, 2017) مطرح شد. در واقع فرآیند طراحی یکپارچه دارای بدعت خاصی نیست و مؤلفه‌های جدیدی را شامل نمی‌شود که مزاد بر روش‌های مرسوم باشند؛ بلکه در ذات خود، رویکردهای اثبات‌شده‌ی منطقی‌ای را در یک روند کاملاً سامان‌یافته در قیاس با فرآیند طراحی مرسوم، یکپارچه‌سازی می‌کند (Larsson, 2009). دو پیشرفت مهم در فرآیند طراحی یکپارچه، در ابتدا، به جلوتر انداختن حجم کار از مراحل پایانی طراحی به مراحل ابتدایی‌تر طراحی است (Serginson et al., 2013) و در گام دوم، جایگذاری یک سلسله حلقه‌های فعالیت تکرارشونده در روند طراحی ساختمان است (IDP, 2017). این دو طرح توسعه اصلاحاتی که از ارکان اساسی شکل‌گیری روند طراحی یکپارچه به‌شمار می‌آیند، کیفیت محصول نهایی در طراحی معماری را در حوزه انرژی ساختمان بهبود می‌بخشند. در این روند طراحی ساختمان، تصمیمات طراحی برای سازه ساختمان، پوسته ساختمان، سامانه

گرفته و توجه به متغیرهای اساسی‌ای چون الگوی سبک زندگی، برنامه زمان‌بندی و نوع فعالیت‌های کاربران و همچنین میزان باز و بسته کردن پنجره را اصل واقعی‌سازی مدل انرژی پژوهش خود در نظر دارند (Yan et al., 2015; Ebrahimpour et al., 2012; Ding et al., 2019). اکثر مطالعات یا بر آسایش ساکنین یا بر مصرف انرژی یا به ترکیبی از هر دو تمرکز دارند. تحقیقات اندکی هستند که رویکرد جامعی شامل دیگر جوانب محیط‌زیستی همچون جمع‌آوری و بهره‌وری از آباران را مورد بررسی قرار داده باشند (Santin and Tweed, 2015).

از مطالعه ادبیات پژوهش، می‌توان این مهم را دریافت که یکی از تأثیرگذارترین عناصر پوسته ساختمان در کارایی انرژی و نور روز، پنجره‌ها و نوع عملکرد آن‌ها است. این در حالی است که جداره جنوبی حساس‌ترین جداره در ترکیب‌بندی بازشوها به حساب می‌آید. ادبیات پژوهش در این عرصه اشاره دارد که استفاده از «شیشه‌های پیشرفته» علی‌رغم اینکه گاهی به نسبت سایبان، بسیار خوب عملکرد انرژی پنجره را بهینه می‌کنند اما به سه علت عدم صرفه اقتصادی، عدم تعدیل کیفیت نور روز و نهایتاً عدم عملکرد یکپارچه و چندجانبه؛ غالباً نسبت به سایبان‌ها گزینه مناسبی نیستند. منظور از «شیشه‌های پیشرفته» در این مقاله، صنعت شیشه‌های چندلایه با پوشش‌های مختلف و پر شده با گاز آرگون است که معمولاً ممکن است هزینه‌های نسبتاً بالایی را به ساختمان تحمیل می‌کند اما به لحاظ انتقال حرارت می‌تواند کارایی خوبی را ارائه دهد. بنابراین این پژوهش سعی بر آن دارد تا با توجه به مقررات ملی صنعت ساختمان کشور ایران، تأثیر سایبان‌های کاربردی را بر بارهای گرمایشی-سرمایشی و همچنین کیفیت نور روز در اقلیم تهران بررسی کند و توانمندی عملکردهای یکپارچه و چندجانبه این عنصر ساختمانی را واکاوی و محاسبه کند.

## ۲- روش پژوهش

به‌طور متداول، مطالعات بهینه‌سازی عملکرد انرژی ساختمان، معمولاً این‌گونه صورت می‌پذیرد که هندسه ثابتی از ساختمان به کار گرفته می‌شود تا متغیرهای در نظر گرفته‌شده اعم از خصوصیات فیزیکی مصالح و یا پیکربندی‌های مختلف از سامانه‌های متفاوت ساختمانی بهینه‌سازی شوند (Azari et al., 2016, Gossard et al., 2013). فرآیند بهینه‌سازی عملکرد ساختمان و ابزارهای استفاده‌شده در این پژوهش در تصویر (۱) ارائه شده است. در این رویکرد یک حلقه تکرارشونده با دیدگاه فرآیند طراحی یکپارچه صورت گرفته است که شامل ۴ مرحله است. پس از یافتن زاویه سمت (azimuth) و زاویه ارتفاع (altitude) موقعیت بیشترین دریافت انرژی خورشیدی از سطح پنجره در جبهه جنوبی؛ در مرحله اول، مدل هندسه سایبان بهینه برای پنجره طراحی می‌شود (با پنج مرتبه تکرار حلقه طراحی یکپارچه، ۵ مدل هندسه حاصل شده است). در مرحله دوم، مدل انرژی هندسه‌های مختلف توسعه می‌یابد. در مرحله سوم، میزان بار سرمایش و گرمایش و میزان نور روز برای مدل انرژی برآورد می‌شود. در مرحله چهارم، با توسعه تکمیلی مدل انرژی توسط نرم‌افزار، میزان توانمندی تولید برق و جمع‌آوری آباران برای گزینه‌ی مدل هندسی مستعد، برآورد و در بازه کل سال محاسبه می‌شود. در این فرآیند، طراحی یکپارچه سایبان جنوبی پوسته ساختمانی صورت گرفته است که به‌طور هم‌زمان سرمایش، گرمایش، روشنایی و برداشت آباران را بررسی می‌کند تا

ساختمان، این متغیرها را می‌توان در چهار گروه شامل: طراحی، مصالح و نوع ترکیب‌بندی آن‌ها، متغیرهای سایت و رفتار کاربران طبقه‌بندی کرد (Raji et al., 2016, Yousefi et al., 2017). از متغیرهای طراحی می‌توان به فرم، جهت‌گیری ساختمان، نسبت پنجره به دیوار و سایه‌اندازی اشاره کرد. در زمره مصالح و عناصر ساختمانی؛ انواع مواد و شیشه‌ها و همچنین خصوصیات حرارتی آن‌ها، لایه‌بندی‌ها، ضخامت و میزان نفوذپذیری آن‌ها را می‌توان نام برد. از عواملی چون بستر محیطی که به خود ساختمان مربوط نمی‌شوند اما میزان تقاضای انرژی را تحت تأثیر قرار می‌دهند؛ می‌توان متغیرهای مختلفی از جمله ویژگی‌های اقلیمی، موقعیت جغرافیایی و شکل ساختمان همسایگی را برشمرد. آخرین گروه متغیرها که در پژوهش‌های اخیر علوم بین‌رشته‌ای و یا تخصصی خاص مورد توجه قرار گرفته است، رفتار ساکنان است که از لحاظ مفهومی، متغیرهایی متفاوت هستند و عمدتاً به رفتار کاربران حاضر در ساختمان در قالب سبک زندگی ایشان بستگی دارد. رفتار کاربران را می‌توان به‌عنوان «میزان حضور افراد در ساختمان و اقداماتی که برای تأثیرگذاری بر محیط داخلی انجام می‌دهند» تعریف کرد (Hose et al., 2009). این رفتارهای تعاملی شامل باز و بسته کردن پنجره‌ها، تنظیم چراغ‌ها و استفاده از وسایل برقی منزل و میزان حضور افراد است (Yan et al. & Gaetani et al., 2016). لازم به ذکر است که دو متغیر نور روز و توانمندی تولید انرژی توسط پوسته ساختمان در قالب واژه روشنایی مطرح شده است که در روند طراحی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. طراحی یک پوسته ساختمانی کارآمد که عوامل نور روز، سایه‌اندازی و تهویه طبیعی را یکپارچه می‌کند؛ دارای توانمندی قابل توجهی برای کاهش مصرف انرژی در عملکرد آن است (Sadini et al., 2011). همچنین با بهبود هندسه و زوایای قرارگیری بهینه سایبان، توانمندی تولید انرژی پوسته ساختمان نیز ارتقاء می‌یابد.

## ۱-۳. سایبان بازشوها

یکی از مهم‌ترین تصمیمات طراحی در پوسته ساختمان طراحی مناسب سایه‌اندازها است، چراکه طبق پژوهش این مقاله به‌طور مؤثری هم‌زمان بر دو متغیر بارهای سرمایشی-گرمایشی و کیفیت نور روز اثر می‌گذارد. نور روز فاکتوری اساسی برای تأمین سلامت و آسایش ساکنین در کیفیت فضای داخلی ساختمان است و همچنین دستورالعملی مؤثر و پایدار برای ارتقاء عملکرد انرژی ساختمان به حساب می‌آید (Edwards and Torcellini, 2002). علی‌رغم اینکه مطالعات گسترده‌ای در حوزه بهینه‌سازی عملکرد انرژی صورت گرفته است اما کمتر تحقیقاتی به کیفیت نور روز ضمن بهره‌وری انرژی پرداخته‌اند. مطالعاتی که به عملکرد نور روز در ساختمان پرداخته‌اند، متغیرهایی همچون جهت‌گیری، نسبت پنجره به دیوار، مصالح پنجره و ابعاد سایبان را بررسی کرده‌اند (Carlucci et al., 2015; Lartigue et al., 2013). برخی مطالعات تحلیل انرژی ساختمان به رفتار حرارتی بازشوها با بررسی متغیرهایی همچون کارایی انرژی و بهره‌وری اقتصادی نماهای شیشه‌ای دوپوسته، میزان بار سرمایشی در ارتباط با هندسه سایه‌بان و نسبت نرخ مصرف انرژی با پوشش‌های متفاوت شیشه پرداخته‌اند (Ikbal, 2005, Milorad, 2006; Singh, 2009). مطالعاتی نیز با رویکرد کیفی-کمی در حوزه بهره‌وری انرژی در ساختمان صورت گرفته است که با تمرکز بر رفتار حرارتی کاربر شکل

در انتها با مقایسه مدل‌های طراحی با هم، گزینه‌ای که عملکردی چندجانبه داشته و متغیرهای وابسته در آن موازنه شده‌اند، توسط طراح انتخاب شود.

## ۱-۲. مدل شاهد

خصوصیات و پیکربندی مدل شاهد در نظر گرفته شده برای اعمال هندسه‌های مختلف سایبان جنوبی، یک اتاق به ابعاد ۶ متر طول، ۴ متر عرض و ۳/۲ متر ارتفاع است. راهرو آن به صورت فضای نیمه‌باز بالکنی با کاربری سکونتی (یک واحد از خوابگاه دانشجویی) است (تصویر ۲). بازشوهای آن شامل یک پنجره به ابعاد ۲ متر طول و ۱/۹ متر عرض در جداره جنوبی (30%WWR) اتاق و یک درب در جداره شمالی آن به ابعاد ۲/۱ متر در ۱/۱ متر است. جبهه شمالی از طریق یک فضای نیمه‌باز و جبهه جنوبی از طریق پوسته جنوبی شامل سایبان و پنجره در معرض مستقیم شرایط جوی است، اما با فرض قرار گرفتن این واحد خوابگاهی در طبقه دوم و در بخش میانی (چنانچه در تصویر ۴ می‌بینید) وجوه شرقی، غربی، کف و سقف آن به گونه‌ای شبیه‌سازی شده که انتقال حرارت از این جداره‌های نامبرده صورت نگیرد و صرفاً توجه بر روی سطوح مورد مطالعه یعنی جبهه‌های شمالی-جنوبی ساختمان باشد در حالی که ظرفیت حرارتی مصالح آن‌ها فعال و کارا بماند. مشخصات لایه‌بندی جداره‌ها و خصوصیات حرارتی آن‌ها همراه با بازشوها (درب و پنجره) در جدول (۱) ارائه شده است.

## ۲-۲. فرآیند طراحی سایبان

در پژوهش حاضر، طی پنج مرحله فرآیند تکرارشونده طراحی یکپارچه، تأثیرات سایه‌انداز خارجی پنجره جداره جنوبی برای ۶ مورد به تفصیل زیر بررسی شده است.

(۱) بدون در نظر گرفتن هیچ‌گونه سایبان؛

← منطق انتخاب بدون سایبان، مقایسه گزینه مرجع است.

(۲) سایه‌بان بهینه بر اساس قانون مقررات ملی (عمق=۴۲سانتی‌متر)؛

← منطق انتخاب این سایبان بر اساس رابطه (۱) است. در رابطه (۱)، (h) ارتفاع سایه‌ی سایبان بر روی شیشه با واحد متر، (Z) جهت تابش خورشید (یا زاویه سمت) با واحد درجه، (N) زاویه مابین خط عمود بر پنجره و جنوب جغرافیایی با واحد درجه و (B) زاویه تابش آفتاب بر سطح افق (یا همان زاویه ارتفاع) با واحد درجه است. این رابطه که عمق سایبان بهینه را مشخص می‌کند برای دو روز ۲۰۱۹/۰۶/۲۲ و ۲۰۱۹/۱۲/۲۲ (WDD, SDD) به ترتیب انقلاب بهاری و انقلاب پاییزی در ساعتی که پنجره بیشترین دریافت انرژی خورشیدی را دارد، برآورد شده‌اند. (D) عمق سایبان با واحد متر است. (۳) سایه‌بان بهینه بر اساس قانون مقررات ملی (عمق=۴۲سانتی‌متر) با پیش‌آمدگی شرقی-غربی مستطیلی؛

← منطق انتخاب این نوع سایبان، بررسی میزان تأثیر پیش‌آمدگی‌های شرقی-غربی است.

(۴) سایه‌بان بهینه بر اساس قانون مقررات ملی (عمق=۴۲سانتی‌متر) با پیش‌آمدگی شرقی-غربی مثلثی؛

← منطق انتخاب این نوع سایبان، بررسی میزان تأثیر نوع هندسه پیش‌آمدگی‌های شرقی-غربی است.

(۵) سایه‌بان با شیب ۳۵ درجه و عمق ۰/۶۵ متر با پیش‌آمدگی شرقی-غربی مثلثی؛

← منطق انتخاب شیب این سایبان بر این اساس است که زاویه بهینه جایگذاری فتولتائیک به صورت ثابت در شهر تهران ۳۵/۷ است (Safdarian)

(and Nazari, 2015). برآورد عمق ۰/۶۵ متر در واقع انتخاب بهینه مابین سه گزینه سایبان با شیب ۳۵ درجه ثابت است؛ گزینه اول، طبق رابطه (۲) با عمق که برابر ۰/۵۲ متر است. گزینه دوم، طبق رابطه (۳) یعنی  $D_1 = D + 0.13(F(3))$  که برابر ۰/۶۵ متر و گزینه سوم، طبق رابطه (۴) یعنی  $D_4 = D + 0.23(F(4))$  که برابر ۰/۷۵ متر است. این انتخاب بهینه به لحاظ تعادل بار سرمایشی و گرمایشی و نور روز انجام گرفته است.

(۶) سایبان لوور با ۱۰ پره و عمق ۰/۲ متر؛

← منطق انتخاب این سایبان بر اساس برتری گزینه بهینه به لحاظ تعادل بار سرمایشی و گرمایشی و نور روز مابین سه گزینه سایبان نوع لوور است. (گزینه اول؛ عمق ۰/۱۵ متر-۱۰ پره) گزینه دوم؛ (عمق ۰/۲۰ متر-۱۰ پره) گزینه سوم؛ (عمق ۰/۲۵ متر-۱۰ پره)

## ۳-۲. مفروضات شبیه‌سازی

پیکربندی دیوارها، سقف و کف، طبق مبحث ۱۹ مقررات ملی (مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، ۱۳۸۹) در نظر گرفته شده که در جدول ۱ ارائه شده است. در خصوص تنظیمات ترموستات جهت محدوده آسایش حرارتی، مطالعات پیشین و همچنین شناسه‌های استاندارد در این بخش بررسی شده است. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی ایران حدود آسایش ۲۰-۲۳ برای زمستان و ۲۴-۲۸ درجه را برای تابستان در نظر گرفته است (سازمان بهره‌وری انرژی ایران، ۱۳۹۲). درعین حال شرایط آسایش دیگری برای مردم شهر تهران با محدوده ۲۰-۲۳/۵ برای زمستان و ۲۱/۵ الی ۲۷ برای تابستان مشخص شده است (Hariri and Fayaz, 2002). از سوی دیگر حیدری (حیدری، ۱۳۸۸) یک نمودار ماهانه برای تغییرات طبیعی دمای تهران بین ۲۲ درجه و ۲۸ درجه ارائه داده است و همچنین درجه حرارت ۲۲/۵ درجه سلسیوس و ۲۷/۵ درجه سلسیوس را به‌عنوان حد آسایش گرمایش و سرمایش برای مردم تهران پیشنهاد کرده است (حیدری، ۱۳۸۸) که در این پژوهش با توجه به مطالعه عمیق، آزمایش‌های میدانی دقیق و اخیر ایشان، همین محدوده، مورد استفاده فرض سامانه تأمین آسایش حرارتی قرار گرفته است. ورود هوای ناخواسته بر اساس نرخ تخمین‌زده شده استاندارد آشری برای خانه‌های متوسط مسکونی، مقدار ۱ مرتبه تعویض هوا در هر ساعت برای کل سال (Ashrae, 2012) با توجه به رابطه پیش‌فرض نرم‌افزار در نظر گرفته شده است. نرخ گردش هوای طبیعی که غالباً با بازوبسته کردن بازشوها توسط کاربران حاصل می‌شود بر اساس تعریف تغییرات برنامه زمانی ساعتی از مشاهدات میدانی یوسفی و همکاران در شهر تهران برای یک ساختمان مشابه (Yousefi et al., 2017) حاصل شده است. یوسفی و همکاران (Yousefi et al., 2017) این نتیجه را در پی داشتند که در نظر گرفتن میزان ۲ مرتبه تعویض هوا در هر ساعت برای کل سال نشان‌گر تعامل زیاد کاربران با پنجره (باز و بسته کردن زیاد پنجره) است. بنابراین در این مطالعه، همین میزان برای نرخ تعویض هوا در هر ساعت برای کل سال استفاده شد تا ضمن هماهنگی آن با رابطه تجربی پیش‌فرض نرم‌افزار،

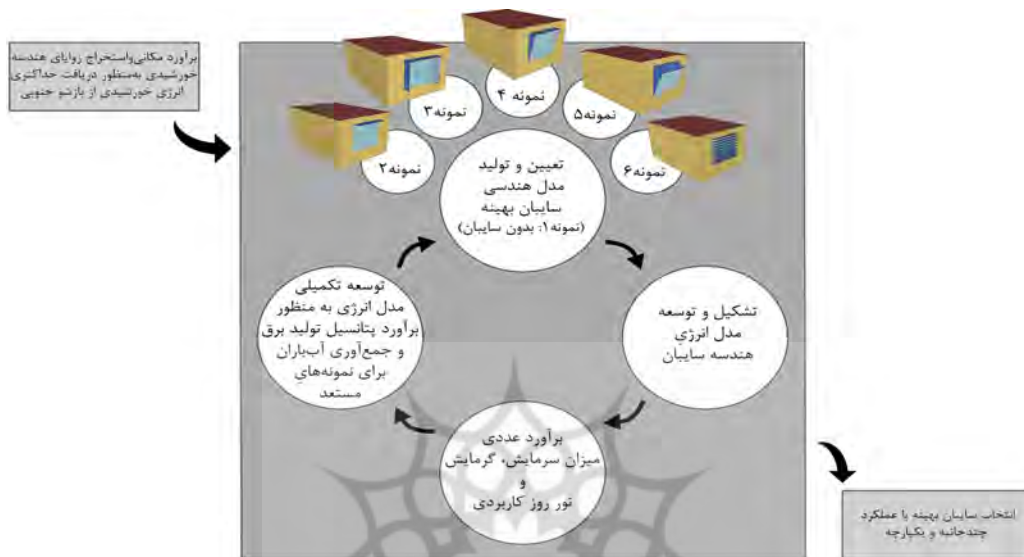
طراحی یکپارچه سایبان‌های پوسته جنوبی ساختمان خوابگاهی در شهر تهران؛ بررسی چندجانبه سرمایه‌ش، گرمایش، روشنایی و برداشت آب باران

با کاربری سرای دانشجویی در نظر گرفته شده که با توجه به سرانه متوسط ۴ مترمربع به ازای هر نفر، توانمندی مصرف انرژی بالایی دارد، به‌خصوص وقتی به‌صورت آپارتمانی در یک ساختمان چندین طبقه تکرار می‌شود. نرم‌افزار انرژی‌پلاس (EnergyPlus-Version 9.1.0. Berkely., 2019) برای شبیه‌سازی و تحلیل انرژی این فضای ساختمانی با به‌کارگیری داده‌های آب و هوایی سالانه اقلیم تهران (En-ergyPlus Weather Data Sources, 2019) انتخاب شده است. این

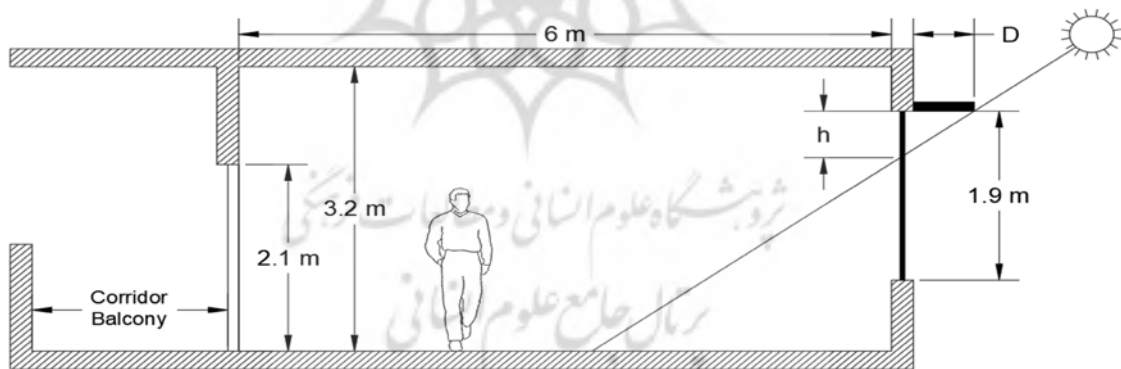
شبیه‌سازی به واقعیت هرچه نزدیک‌تر باشد. برنامه زمان‌بندی حضور افراد (۶ نفر) با ضریب ۰/۰۷ نفر به مترمربع و برنامه زمان‌بندی دیگر تجهیزات خوابگاه (اعم از روشنایی و وسایل الکتریکی) با ضریب ۲۰ وات بر مترمربع در نظر گرفته شده است.

### ۲-۴. ابزار و تنظیمات شبیه‌سازی

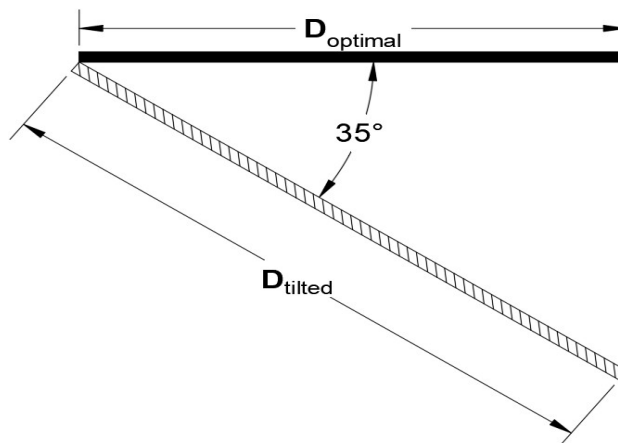
برای محاسبه تأثیرات متقابل متغیرهای نام‌برده، یک فضای متداول



تصویر ۱- فرآیند طراحی یکپارچه و چندجانبه پژوهش.



تصویر ۲- مقطع فضا.

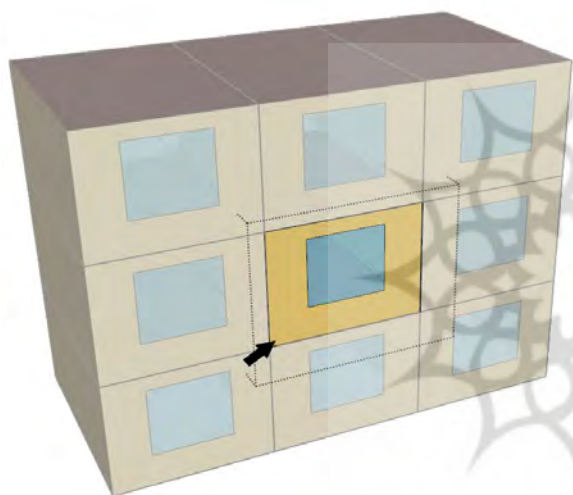


تصویر ۳- مقطع سایبان شیب‌دار.

درصد بیان می‌شود (Nabil and Mardaljevic, 2005) که معیار مناسبی برای عملکرد نمونه‌ها به لحاظ تأمین روشنایی محیط داخل به حساب می‌آید. در بخش پایانی، مدل‌های مستعد به لحاظ توانمندی تولید برق و جمع‌آوری آب‌باران در راستای توسعه تکمیلی مدل انرژی تحلیل می‌شوند. رویکرد حائز اهمیت است که کمتر به آن توجه شده است، نحوه استفاده از آب‌های سطحی، آب‌باران و ارتقاء ظرفیت ساختمان‌ها در این حوزه است که موضوعی بسیار نوین در حال مطالعه شناخته می‌شود (Bream, 2008, Santin and Tweed, 2015). به این ترتیب با بررسی‌های صورت گرفته، فارغ از نتایج به دست آمده، هدف پژوهش ارائه‌ی روشی است که برای این گزینه‌ها چندهدفه با یافتن پاسخی متوازن در نظر گرفته شده است.

### ۳-۱. سرمایه‌ش و گرمایش

به منظور تحلیل و واکاوی تأثیر همدسه سایبان بر سرمایه‌ش و گرمایش، ۲۴ ساعت روز-طرح زمستان و روز-طرح تابستان در نظر



تصویر ۴- موقعیت مکانی.

جدول ۱- مشخصات پیکربندی و خصوصیات حرارتی جداره‌ها و بازوها.

| دیوارها               |                   |                 |               |
|-----------------------|-------------------|-----------------|---------------|
| جنس لایه              | ظرفیت گرمایی      | دانشسته         | ضرب هدایت     |
| از خارج به داخل       | ژول/کیلوگرم.کلوین | کیلوگرم/مترمکعب | وات/متر.کلوین |
| آجرنما                | ۹۲۰               | ۲۰۰۲/۳          | ۱/۳           |
| بلوک بتنی سبک         | ۸۴۰               | ۶۰۸/۷           | ۰/۳۸          |
| لایه هوا              | ۱۰۰۰              | ۱/۱۷۰           | ۰/۰۲۵         |
| تخته گچی              | ۱۰۹۰              | ۸۰۰/۹           | ۰/۱۵۲         |
| سقف و کف              |                   |                 |               |
| روسازی                | ۱۵۱۰              | ۱۱۲۱/۳          | ۰/۰۵۹         |
| بتن                   | ۱۰۰               | ۱۴۰۰            | ۰/۵۳          |
| بلوک سبک ۱۸ اینچی     | ۸۴۰               | ۶۰۸/۷           | ۰/۵۷          |
| پنجره                 |                   |                 |               |
| شیشه شفاف ۳ میلی متری | ۷۵۰               | ۲۵۰۰            | ۱/۴۰          |
| لایه ۶ میلی متری هوا  | ۱۰۰۰              | ۱/۱۷۰           | ۰/۰۲۵         |
| شیشه شفاف ۳ میلی متری | ۷۵۰               | ۲۵۰۰            | ۱/۴۰          |
| درب                   |                   |                 |               |
| چوب ۷ سانتی متر       | ۱۱۷۰              | ۵۹۲             | ۰/۰۹          |

نرم‌افزار بیشتر به این خاطر که قابلیت شبیه‌سازی انرژی ساختمان به شرایط هر چه واقعی‌تر را دارد، در میان پژوهشگران شناخته شده‌تر از دیگر نرم‌افزارهای مشابه خود است. حکم تأیید و اعتبارسنجی این ابزار در چندین مطالعات پیشین مورد ارزیابی قرار گرفته است (Henninger et al., 2003, Witte et al., 2004, Zhao et al., 2013, Mateus et al., 2014). در فرآیند طراحی یکپارچه، شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای نه تنها در مرحله نهایی به کار گرفته می‌شوند تا اهداف ارائه را محقق کنند بلکه به عنوان یک ابزار برای طراح به کار گرفته می‌شوند تا گزینه‌های مختلف طراحی و سامانه‌های تکنولوژیکی را در طول فرآیند طراحی تحلیل و مقایسه کرده تا نهایتاً تصمیمات بهینه‌ای برای طراحی اتخاذ شود (Zimmerman, 2006). همچنین در این مقاله از نرم‌افزار اپن استودیو اسکچ‌آپ (Google Sketchup Plug-in, 2011) بهره گرفته شده تا داده‌های هندسی مورد نیاز انرژی پلاس تولید شود.

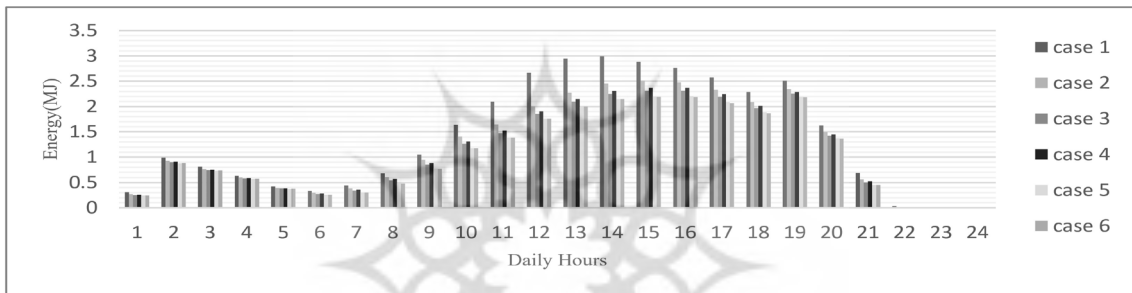
### ۳-۲ یافته‌ها و تحلیل نتایج

یافته‌ها و نتایج حاصله از روند پژوهش و مدل‌سازی در چند بخش اصلی قابل ارائه است. نخست نتایج مربوط به میزان بار سرمایه‌ش و گرمایشی به صورت مقایسه‌ای برای هر کدام از طراحی گونه‌های سایبان بررسی می‌شود. در ادامه برای فهم و مقایسه دقیق‌تر تأثیر مستقیم همدسه سایبان بر مصرف انرژی، تغییرات دمای هوا در ۲۴ ساعت شبانه‌روز بدون سامانه HVAC واکاوی می‌شود. بررسی‌های نام‌برده به صورت مقایسه‌ای در روز-طرح تابستان و روز-طرح زمستان صورت گرفته‌اند. در بخش بعدی، به مطالعه و بررسی میزان نور روز پرداخته شده که در این مسیر، چگونگی و یکنواختی پخش نور در فضا و میزان نور کاربردی (UDI) در روز-طرح تابستان و روز-طرح زمستان برای هر مدل سایبان بررسی شده و همچنین به بررسی مقایسه با دیگر موردها نیز پرداخته می‌شود (Useful Daylight Illuminance). نسبتی از ساعات در طول سال است که محدوده روشنایی در بازه کاربردی مناسبی (۱۰۰-۲۰۰ لوکس) قرار دارد و به صورت

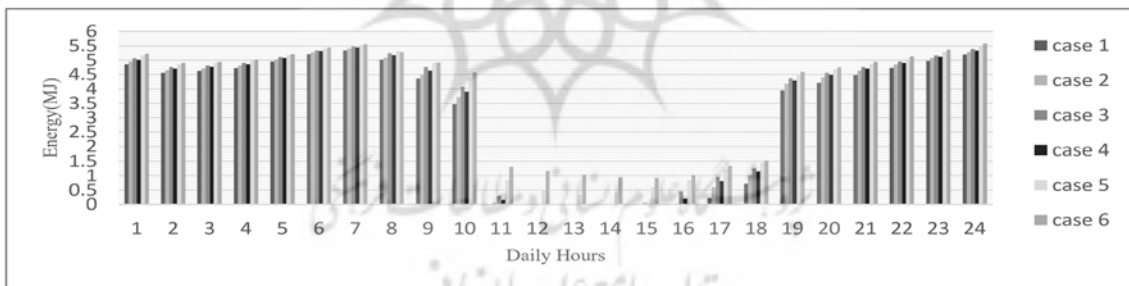
باز کردن زیاد پنجره باعث گردش هوا شده که نتیجه آن فاصله گرفتن از دمای ایدئال ترموستات بوده و سامانه HVAC در پی جبران سرمایه‌ش از دست رفته است. به‌طور کلی مورد ۵ و ۶ با توجه به هندسه خاصی که دارند، تا میزان زیادی از ورود مستقیم نور خورشید جلوگیری می‌کنند. بعد از این دو گونه، مورد ۳ از بقیه رفتاری با نوسان کم‌تر را دارد و میزان انرژی سرمایه‌ش کمتری را نسبت به مورد های ۱، ۲ و ۴ طلب می‌کند، چراکه عمده‌ترین دلیل آن می‌تواند کنترل ورود نور خورشید در ساعات طلوع تا قبل از ظهر و بعدازظهر تا غروب است. این در حالی است که با توجه به نمودار (۲) رفتار متوازنی نیز در مصرف گرمایشی نشان می‌دهد. نمودار (۲) نشان از آن دارد که بین ساعات ۱۰ تا ۱۷ گرمای ناشی از تابش می‌تواند مصرف انرژی گرمایشی را تا حد صفر کاهش دهد و چنانچه مشخص است ظرفیت حرارتی مصالح تحت تابش، میزان مصرف انرژی ساعات ۱۸ تا ۲۴ را مورد اثر قرار می‌دهند به نحوی که شیب ملایم صعودی نمودار در این بخش (ساعات ۱۸-۲۴) گویای این مطلب است. بنابراین با توجه به جدول (۲) و همچنین بررسی هم‌زمان

گرفته شده است. زیرا علی‌رغم اینکه محدوده مطالعه، بخش سایبان باز شو پوسته ساختمان است و کاربرد آن در حذف‌های زمانی طلوع و غروب آفتاب تعریف می‌شود اما می‌بایست در نظر داشت که به‌منظور بررسی تأثیر خواص حرارتی مصالح ساختمان که در طول روز مورد تابش قرار گرفته و در شب رفتار انتقال حرارت را در پی دارند، بهتر است بازه زمانی را کل روز (یعنی ۲۴ ساعت) قرار داد.

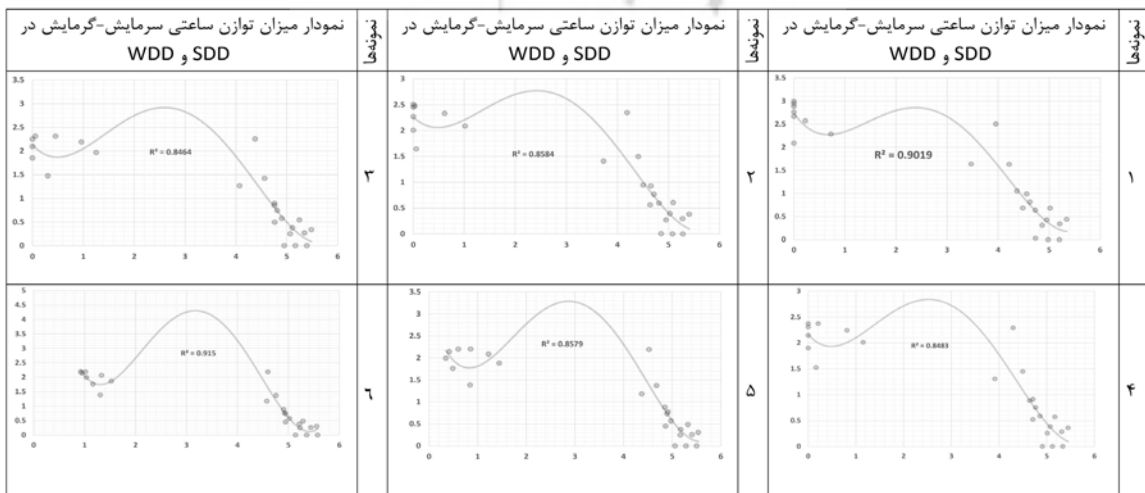
چنانچه نمودار (۱) نمایش می‌دهد؛ در روز تابستان در بازه زمانی ۱۱ تا ۱۹ بیشترین مصرف انرژی سرمایه‌ش رصد می‌شود و این در حالی است که عدم وجود سایبان (مورد ۱) به طرز قابل توجهی مصرف بالاتری از انرژی سرمایه‌ش را طلب می‌کند. با توجه به جدول (۲)، مورد هایی که کنترل نور بهتری داشته، مصرف بهینه‌تری از سرمایه‌ش را ارائه می‌دهند اما باید در نظر داشت که کنترل نور مستقیم به میزانی کاهش نیابد که با توجه به نمودار (۲)، مصرف گرمایشی افزایش زیادی را تجربه کند. تغییرات موضعی بین ساعات ۱۸ تا ۲۰ نشان از حضور افراد در این ساعات را دارد که تعامل‌شان با پنجره زیاد است و با



نمودار ۱- میزان مصرف انرژی سرمایه‌ش در روز- طرح تابستان.



نمودار ۲- میزان مصرف انرژی سرمایه‌ش در روز- طرح زمستان.



نمودار ۳- مقایسه نمودارهای میزان توازن ساعتی بار سرمایه‌ش و گرمایش در روز- طرح تابستان و روز- طرح زمستان.



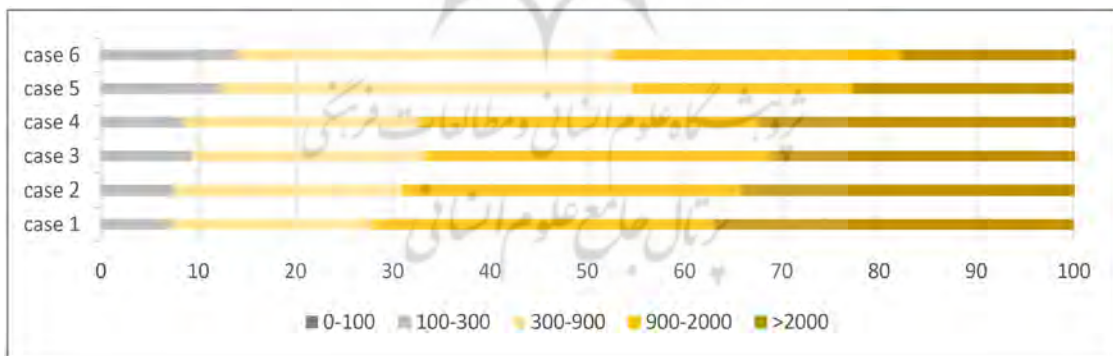


مساحت اتاق و نسبت پنجره به دیوار به نحوی قرارداد شد که فضای تاریک به حداقل رسیده تا پژوهش بر کنترل خیرگی و میزان پخش نور در این بخش متمرکز شود. با این حال مورد ۵ و ۶ با اینکه بهترین بازده نوری را نسبت به بقیه دارند اما رفتار حرارتی خوبی را در خصوص گرمایش از خود نشان نمی‌دهند.

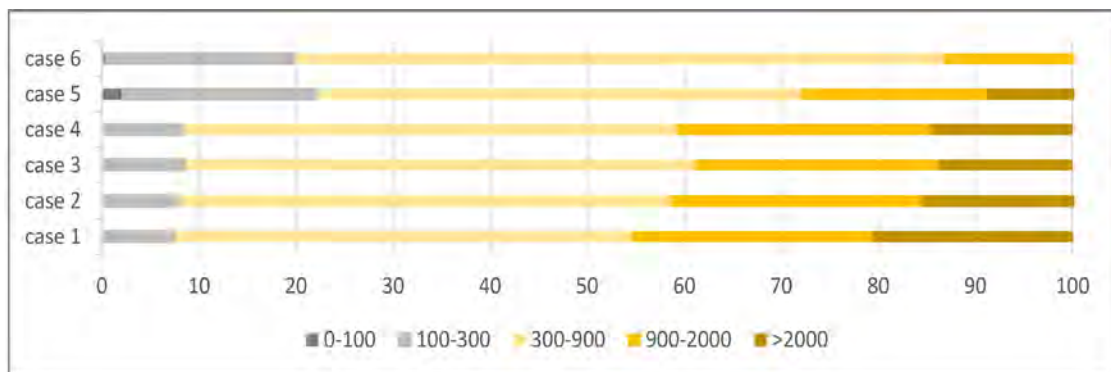
### ۳-۳. جمع‌بندی و توسعه تکمیلی مدل انرژی

نهایتاً در جدول (۳)، تمامی جوانبی که به‌صورت تفصیلی در بخش‌های پیشین مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفتند، گردآوری شده و به ترتیب بهترین عملکرد در هر مورد از ۶ تا ۱ امتیازبندی شده‌اند. در امتیازدهی برای عملکرد هر کدام از جنبه‌ها با توجه به کاربری نام‌برده و عدم تمایز در منطق این پژوهش، ضریب امتیازها همگی یکسان و برابر ۱ لحاظ شده‌اند. در ستون آخر، مجموع امتیازها در واقع اولویت‌بندی انتخاب طراحی یکپارچه و چندجانبه را مشخص می‌کند. در این بخش نتایج حاکی از آن است که در حوزه سرمایه‌ش و گرمایش با توجه به قرابت عددی امتیازها در مورد‌های ۳ و ۴، بهترین توازن مصرفی مشاهده می‌شود اما در مقابل، مورد‌های ۱ و ۶، دارای بیشترین عدم توازن در مصارف سرمایه‌ش-گرمایشی هستند. بهینه‌ترین میزان مصرف کل برای مورد ۴ بوده است و غیربهینه‌ترین برای مورد ۶ است. به نظر می‌رسد این مسئله نشان می‌دهد گزینه‌ای که در مصارف جزء رفتار متوازی دارد؛ می‌تواند در مصرف کل، بهینه‌تر باشد و به عکس (توجه به مورد ۴ و ۶)، در حوزه نور روز و روشنایی، بالاترین ظرفیت متوجه مورد ۶ است و پایین آن را مورد ۱ کسب کرده است. همین مسئله باعث شده است علی‌رغم اینکه مورد ۶ رفتار متوازی در حوزه انرژی حرارتی نداشت اما بیشترین مجموع امتیاز را کسب کند اما بایستی در نظر گرفت که اگر مصرف انرژی کل با ضریب بالاتری مطرح می‌شد؛ این مورد اولویت

مطالعه). چنانچه در نمودارهای (۱، ۲ و ۳) بحث شد؛ بخشی از تابش که به‌صورت مستقیم وارد فضا شده، مصارف سرمایه‌ش و گرمایش را تحت تأثیر قرار می‌دهد. با اینکه تمامی موارد با الگوی بهینه سایبان طراحی شده اما باز هم تأثیرات قابل مشاهده است. بنابراین نکته حائز اهمیت در این بخش صرفاً کنترل خیرگی نیست بلکه یکپارچگی عملکرد آن با دیگر جوانب مدنظر طراح خواهد بود. چنانچه از جدول (۲) و نمودارهای (۴ و ۵) مشخص است، مورد ۶ بهترین حالت پخش نور را داراست و این به دلیل عدم گذار نور مستقیم خورشید به فضای اتاق بوده که چنانچه در نمودارهای قبلی مشاهده شد، تأثیر بسزایی نیز در کاهش مصرف انرژی سرمایه‌ش دارد اما به‌شدت مصرف انرژی گرمایشی را در زمستان افزایش می‌دهد. با توجه اینکه عمق نفوذ نور مستقیم برای روز زمستان از لحاظ کاهش مصرف انرژی گرمایشی کاراست اما درعین حال باعث خیرگی شده و کاربرد نور روز را مختل می‌کند. مورد ۵ رفتار مناسب‌تری را در این خصوص نشان می‌دهد. با اینکه میزان متوسط ۶ درصد کیفیت کمتری از نور روز را نسبت به مورد ۶ دارد اما با دریافت بخش بیشتری از نور مستقیم، میزان مصرف گرمایشی را تا حدود ۵۰ مگاژول نسبت به مورد ۶ کاهش می‌دهد. در مقابل با منطقی مشابه، مورد ۱، ۳، ۴ نامناسب‌ترین توازن نور کاربردی و تأثیر بر مصرف انرژی را دارا هستند بررسی هم‌زمان جدول (۲) و نمودار (۴) به نحوی قیاسی نشان می‌دهند که بیشترین خیرگی با بیش از ۲۰ درصد، مربوط به مورد ۱ است و کم‌ترین آن را مورد ۶ با مقدار نزدیک به ۰ درصد داراست. مورد ۵ علی‌رغم آنکه میزان کمتر از ۱۰ درصد از خیرگی را تجربه می‌کند اما بخشی اندکی از اتاق در طول روز مفید تابستان کم‌نور است که قابل چشم‌پوشی است. در نمودار (۵) در روز زمستان با کم‌شدن زاویه ارتفاع خورشید، نور مستقیم بیشتری وارد فضا شده است و میزان خیرگی تا نزدیک ۲۰ درصد افزایش یافته است. چنانچه پیش‌تر اشاره شد؛ فرض



نمودار ۴ - درصد پخش نور در نمونه‌های مورد‌های مطالعه برای روز-طرح تابستان.

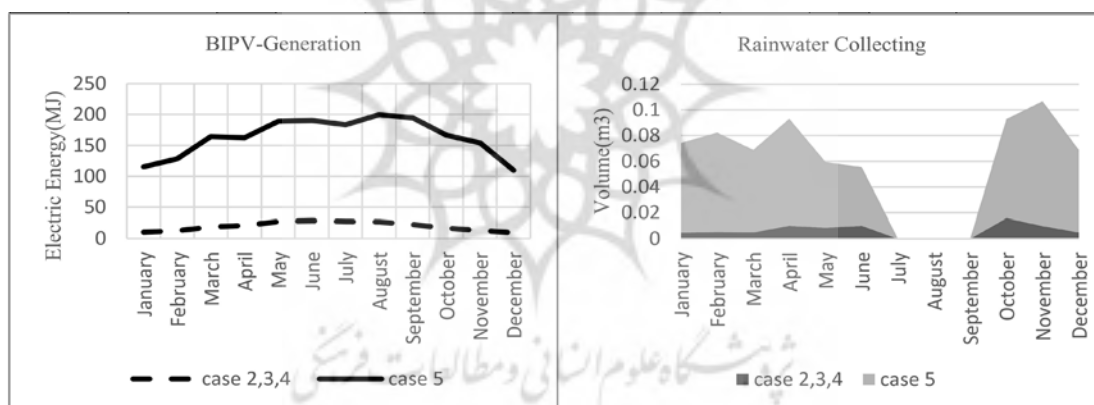


نمودار ۵ - درصد پخش نور در نمونه‌های مورد‌های مطالعه برای روز-طرح زمستان.

به سامانه Rainwater collectors و BIPV بیش از ۸۰ درصد توان تولید برق و جمع‌آوری آب باران را در مقایسه با دیگر گزینه‌ها داراست که نمودار ۶ به تفصیل ماهانه این نتیجه را نشان می‌دهد. مورد ۶ به دلایل سایه‌اندازی پره‌های لوور روی هم و سطح کم یکدست، عملاً توانمندی مجهز شدن به سامانه‌های نام‌برده را نداشته و نهایتاً در نمودار لحاظ نشده است. این پژوهش در بخش جمع‌بندی، امتیازی برای این دو جنبه طراحی نام‌برده قائل نشده است اما بدیهی است در رویکرد طراحی یکپارچه و چندجانبه می‌تواند بسیار حائز اهمیت واقع شود.

جدول ۳- جمع‌بندی نتایج جوانب طراحی و ارزیابی امتیازی.

| مورد           | مصرف گرمایی (MJ/M <sup>2</sup> ) | مصرف سرمایه‌ش (MJ/M <sup>2</sup> ) | امتیاز | مصرف کل (MJ/M <sup>2</sup> ) | امتیاز | درصد نور روز مفید (زمستان) | امتیاز | درصد نور روز مفید (تابستان) | امتیاز | مستوسط نور روز مفید | امتیاز | جمع امتیاز |
|----------------|----------------------------------|------------------------------------|--------|------------------------------|--------|----------------------------|--------|-----------------------------|--------|---------------------|--------|------------|
| ۱- بدون سایبان | ۴۲۵/۵۵                           | ۲۸۴/۲۷                             | ۶      | ۷۰۹/۸۲                       | ۲      | ۶۳/۱۱                      | ۲      | ۷۹/۲۷                       | ۲      | ۷۱/۱۹               | ۱      | ۱۳         |
| ۲              | ۴۵۲/۱۷                           | ۲۳۴/۴۸                             | ۵      | ۶۸۶/۶۵                       | ۵      | ۶۵/۷۷                      | ۳      | ۸۴/۲۷                       | ۳      | ۷۵/۰۲               | ۳      | ۲۰         |
| ۳              | ۴۸۲/۴۲                           | ۲۰۷/۳۶                             | ۳      | ۶۸۹/۷۸                       | ۴      | ۶۸/۸۸                      | ۵      | ۸۶/۱۸                       | ۵      | ۷۷/۵۳               | ۴      | ۲۴         |
| ۴              | ۴۶۸/۳۴                           | ۲۱۷/۵۴                             | ۴      | ۶۸۵/۸۸                       | ۳      | ۵۹                         | ۶      | ۸۵/۳۶                       | ۱      | ۷۲/۱۸               | ۲      | ۱۹         |
| ۵              | ۵۱۵/۳۱                           | ۱۸۴/۷۴                             | ۲      | ۷۰۰/۰۵                       | ۳      | ۶۸/۲۲                      | ۴      | ۸۸/۷۲                       | ۴      | ۷۸/۴۷               | ۵      | ۲۴         |
| ۶              | ۵۶۱/۷۸                           | ۱۷۱/۷                              | ۱      | ۷۳۳/۴۸                       | ۱      | ۷۲/۷۷                      | ۶      | ۹۹/۶۳                       | ۶      | ۸۶/۲۰               | ۶      | ۲۶         |



نمودار ۶. مقایسه توانمندی تولید برق و جمع‌آوری آب باران منتج از بخش توسعه مدل انرژی مورد طراحی.

## نتیجه

داشته باشد، برای بهینه‌سازی انرژی از با تمرکز بر جداره‌های شفاف ساختمان، گزینه بهره‌وری از شیشه‌های پیشرفته را با وجود گزینه سایبان، احتمالاً انتخاب خواهد کرد چراکه گزینه شیشه‌های پیشرفته به همه یا اغلب جوانب طراحی پاسخ درخوری نخواهند داد و عملاً کاربردی تک‌بعدی را ارائه می‌دهند. همچنین این نتایج، گاه در راستای با برخی محققین نام‌برده در ادبیات و بعضاً در تقابل با برخی دیگر، ادعان دارد پژوهش اگر سمت و سویی یکپارچه و چندجانبه با اصول توسعه پایدار در ساختمان داشته باشد؛ آن‌گاه دیگر به نوسان متغیرهایی چون اندازه‌های طول و عرض یک سایبان بسنده نخواهد کرد، بلکه در روند واکاوی در پی هندسه‌ای خواهد بود که به تمامی جوانب مدنظر به گونه‌ای یکپارچه پاسخ دهد. به بیانی دیگر پژوهشگر یا طراح زمانی ارزش متغیر هندسه در طراحی یکپارچه سایبان را درک می‌کند که به این عنصر ساختمانی، نگاهی چندبعدی داشته باشد. چنانچه که

مطالعه و بررسی رفتار حرارتی، برودتی و روشنایی ساختمان از اساسی‌ترین حوزه‌های فیزیک ساختمان است اما باید در نظر داشت در طراحی با محوریت انرژی می‌بایست رویکردی یکپارچه، همه‌جانبه و متوازن داشت تا نتایجی پایدار منتج شود. این پژوهش که اساس شکل‌گیری آن مبتنی بر طراحی یکپارچه صورت گرفت؛ با بررسی ادبیات موضوع در بخش اول، فرآیندی پاسخ‌گو به رویکرد مدنظر را برای دست‌یابی به اهداف شکل داد (تصویر ۱). در بخش روش‌شناسی این پژوهش که می‌تواند قالبی مناسب برای پژوهشگران این عرصه باشد، شبیه‌سازی بر اساس دستورالعمل‌های ساختمانی کشور و شرایط نزدیک به واقعیت صورت گرفت تا یافته‌های پژوهش، قابل تعمیم در عرصه صنعت باشند.

نتایج این پژوهش در تقابل با برخی تحقیقات نام‌برده در ادبیات نشان می‌دهد؛ اگر طراح در روند طراحی، رویکردی یکپارچه و چندبعدی

طراحی یکپارچه سایبان‌های پوسته جنوبی ساختمان خوابگاهی در شهر تهران؛ بررسی چندجانبه سرمایه‌ش، گرمایش، روشنایی و برداشت آب باران

روز طرح تابستان دارای ۳۵ درجه شیب با عمق ۶۵ سانتی‌متر بوده و پیش‌آمدگی‌های شرقی-غربی مثلی داشته؛ علی‌رغم اینکه کاهش بار سرمایشی نسبتاً بسیار خوبی را ارائه داده، دارای ظرفیت بالایی در کسب نور روز مفید است و بهترین عملکرد را به لحاظ جذب تابش خورشید برای تولید برق و جمع‌آوری آب باران نسبت به سایر موارد دارد. اگرچه بار گرمایشی این نمونه نسبتاً بالا گزارش شده است اما معمولاً چالش شهر مورد مطالعه (تهران)، بیشتر تأمین نوع انرژی سرمایشی در فصل گرم است. از این رو می‌توان اذعان داشت در مقایسه با دیگر موردها ضمن در نظرگیری کلیه جوانب، بهترین عملکرد را در ایجاد یکپارچگی، رویکرد چندبعدی و متوازن را داراست. مطالعات آتی می‌تواند در حوزه بررسی دقیق عناصر ساختمانی و یا طراحی نمونه‌های پژوهشی با در نظر گرفتن هندسه‌های بهینه با این روش‌شناسی و فرآیند پیشنهادی صورت پذیرد.

این پژوهش نشان داد؛ صرفاً با تغییرات جزئی هندسه الگوی سایبان در نمای ساختمان ضمن فرآیند تفکر طراحی یکپارچه، دستاوردهای نام‌برده به طرز قابل توجهی حاصل می‌شوند. از دیگر نتایج این پژوهش که قابلیت تعمیم در مکان‌ها، اقلیم‌ها و کاربری‌های متفاوت را داراست؛ می‌توان به این موارد اشاره کرد که پس از جمع‌بندی یافته‌ها و توجه به نتایج حاصله از طرح توسعه مدل انرژی، گزینه نهایی مناسب می‌بایست با اعمال ضریب امتیاز بالاتر برای اولویت‌های طراح و بستر صورت پذیرد. برای مثال اگر در بستر خاصی تأمین انرژی گرمایشی چالش مهمی برای طراح است؛ می‌بایست ضریب بالاتری از امتیاز برای آن لحاظ شود. در واقع این رویکرد طراحی دید وسیع‌تر و منطقی‌تری را در بخش‌گزینه‌ها طرح نهایی به طراح ارائه می‌دهد. در نهایت با بررسی‌هایی که بر چندین نمونه سایبان با هندسه‌های متفاوت صورت گرفت و جوانب آن‌ها مورد تحلیل واقع شد؛ مورد ۵، نمونه‌ای که با منطق حداکثر سایه‌اندازی در

## فهرست منابع

- Ding Z, Hu T, Li M, Xu X, Zou PX. (2019). *Agent-based model for simulating building energy management in student residences*. Energy Build; 198: 11–27.
- Edwards, L., Torcellini, P. (2002). *Literature Review of the Effects of Natural Light on Building Occupants*. Golden, CO. EnergyPlus. Version 9.1.0. Berkeley, (2019, March 26). Available from: <https://energyplus.net/downloads>
- EnergyPlus. Weather Data Sources. (2019, July 31). Available from: <https://energyplus.net/weather>
- Ebrahimpour, A & Marefat, M. (2011, *Application of advanced glazing and overhangs in residential buildings*, Energy Conservation and Management, Vol. 52, pp. 212-219.
- Fang, Y and Cho, S. (2019). *Design optimization of building geometry and fenestration for daylighting and energy performance*, Solar Energy, Vol. 191, pp. 7-18.
- Gossard, D., Lartigue, B., Thellier, F. (2013). *Multi-objective optimization of a building envelope for thermal performance using genetic algorithms and artificial neural network*. Energy Build. 67, 253–260.
- Google Sketchup Plug-in. (2011, July 16). Available from: <https://help.sketchup.com/en/downloading-older-versions>
- I. Gaetani, P.-J. Hoes, J.L. Hensen. (2016). *Occupant behavior in building energy simulation: towards a fit-for-purpose modeling strategy*, Energy Build. 121. pp. 188–204.
- Gao, H; Koch, Ch and Wu, Y. (2019). *Building information modelling based building energy modelling: A review*, Applied Energy, Vol. 238, pp. 320-343.
- P. Hose, J. Hensen, M. Loomans, B(2009) *de Vries, D. Bourgeois*, User behavior in whole building simulation, Energy Build. 41 . 295–302.
- R.H. Henninger, M.J. Witte, D.B. (2003). *Crawley, Experience testing EnergyPlus with the IEA HVAC BESTEST E100-E200 Series*, in: Proceedings of Building Simulation, the Eighth International IBPSA Conference, Netherlands, 2003.
- T. Hariri, R. Faayaz, Thermal comfort condition in Tehran, J. Environ. Stud. 27(28) (2002) 13–17.
- Lartigue, B., Lasternas, B., Loftness, V., 2013. Multi-objective optimization of building envelope for energy consumption
- حیدری، شاهین (۱۳۸۸)، دمای آسایش حرارتی مردم شهر تهران، نشریه هنرهای زیبا - معماری و شهرسازی، شماره ۳۸، صص ۵-۱۴.
- ترازهای انرژی (۱۳۹۰ الی ۱۳۹۲)، سازمان بهره‌وری انرژی ایران.
- مقررات ملی ساختمان (۱۳۸۹)، وزارت مسکن و شهرسازی-معاونت امور مسکن و ساختمان، مبحث نوزدهم.
- Ashrae. (2012). *Ashrae Handbook- Fundamentals* (SI ed.). Ventilation and Infiltration. pp. 16.21-16.22 (Table 3; Chapter 16).
- Azari, R., Garshasbi, S., Amini, P., Rashed-Ali, H., Mohammadi, Y. (2016). *Multi-objective optimization of building envelope design for life cycle environmental performance*. Energy Build. 126, pp. 524–534.
- Building Research Establishment. (2009). *BREEAM Building Research Establishment Environmental Assessment Method*. BRE Environmental & Sustainability Standard BES 5051 Issue 3.0. BREEAM Education, 2008 Assessor Manual, Building Research Establishment, Watford.
- Braganca L, Vieira SM, Andrade JB. (2014). *Early stage design decisions: the way to achieve sustainable buildings at lower costs*. Sci World J .
- Building life cycle and integrated design process (IDP), (2017, September 1). Available from: <https://www.climatetech-wiki.org/technology/building-life-cycle-and-integrated-design-process>
- Ikbāl Cetiner, Ertan Ozkan. An approach for the evaluation of energy and cost efficiency of glass facades. Energy Build 2005; 37 :673–84.
- Conti, J., Holtberg, P., Diefenderfer, J., LaRose, A., Turnure, J.T., Westfall, L. (2016). *International Energy Outlook 2016 With Projections to 2040*. United States.
- Carlucci, S., Cattarin, G., Causone, F., Pagliano, L. (2015). *Multi-objective optimization of a nearly zero-energy building based on thermal and visual discomfort minimization using a non-dominated sorting genetic algorithm (NSGA-II)*. Energy Build. 104, 378–394.

- (2011) *Passive building energy savings: A review of building envelope components*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 15, Issue 8, 2011, Pages 3617-3631, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.07.014>
- Olivia Guerra-Santin. (2015). *Christopher Aidan Tweed, In-use monitoring of buildings: An overview of data collection methods*, Energy and Buildings, Volume 93, Pages 189-207, ISSN 0378-7788.
- Serginson M, Mokhtar G, Kelly G. (2013). *A theoretical comparison of traditional and integrated project delivery design processes on international BIM competitions*. Int J 3-D Inform Model (IJ3DIM) ;2(4):52-64.
- Singh MC, Garg SN. (2009) *Energy rating of different glazings for Indian climates*. Energy; 34:1986-92.
- M.J. Witte, R.H. Henninger, D.B. Crawley. (2004). *Experience testing EnergyPlus with the ASHRAE 1052-RP building fabric analytical tests*, in: Proceedings of the Building Simulation, IBSPA-USA National Conference, Boulder, CO.
- Yousefi, F; Gholipour Y & Yan, W. (2017). *A study of the impact of occupant behaviors on energy performance of building envelopes using occupants' data*, Energy & Buildings, Vol. 148, pp. 182-198.
- D. Yan, W. O'Brien, T. Hong, X. Feng, H.B. Gunay, F. Tahmasebi, A. Mahdavi. (2015). *Occupant behavior modeling for building performance simulation: current state and future challenges*, Energy Build. 10. pp. 264-278.
- Zimmerman A, Eng P. (2006). *Integrated design process guide*. Ottawa: Canada Mortgage and Housing Corporation.
- J. Zhao, K.P.Lam, B.E.Ydstie. (2013). *EnergyPlus model-based predictive control (EPMPC) by using Matlab/Simulink and MLE+*, in: Proceedings of Building Simulation: 13th International IBPSA Conference, France.
- and daylight. Indoor Built Environ. 23, pp. 70-80.
- (IWBDG) *Integrated whole building design guidelines*, (2017, October 1). Available from: <<https://www.mfe.govt.nz/sites/default/files/integrated-building-guidelines.pdf>>
- Larsson N. (2009). *The integrated design process; history and analysis*. International Initiative for a Sustainable Built Environment.
- Mangkuto, R.A., Rohmah, M., Asri, A.D. (2016). *Design optimization 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, pp. 211-219.
- Milorad Boji. (2006). *Application of overhangs and side fins to high-rise residential buildings in Hong Kong*. Civil Eng Environ Syst;23(4): 271-85.
- MPO,(2004) *Health Building Design/Design Guide for Mechanical Services of Medical Surgical Care Unites*, Management and Planning Organization, Islamic Republic of Iran.
- N. Mateus, A. Pinto, G. Grac, A. (2014). *Validation of EnergyPlus thermal simulation of a double skin naturally and mechanically ventilated test cell*, Energy Build. 75.511-522.
- Nabil, A., Mardaljevic, J. (2005). *Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings*. Light. Res. Technol. 37, pp. 41-57.
- B. Raji, M. Tenpierik. (2016). *A. van den Dobbelsteen*, An assessment of energy-savingsolutions for the envelope design of high-rise buildings in temperateclimates: a case study in the Netherlands, Energy Build. 124, pp. 210-221.
- Safdarian, F & Nazari, M. (2015). *Optimal tilt angle and orientation for solar collectors in Iran*, IEEE 10th International Symposium on Diagnostics for Electrical Machines, Power Electronics and Drives.
- Suresh B. Sadineni, Srikanth Madala, Robert F. Boehm,

## Integrated Design of Shading Devices of Southern Building Envelope of a Dormitory in Tehran; Multi-Objective Analysis of Cooling, Heating, Lighting and Rainwater Harvesting

*Afshin Razmi<sup>1</sup>, Abbas Tarkashvand<sup>2</sup>, Morteza Rahbar<sup>3</sup>, Ahmad Ekhlasi<sup>\*4</sup>*

<sup>1</sup>PhD of Researcher-Architectural Engineering, Department of Architecture, School of Architecture and Urban Planning, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

<sup>2</sup>Assistant Professor, Department of Architecture, School of Architecture and Urban Planning, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

<sup>3</sup>Assistant Professor, Department of Architecture, School of Architecture and Urban Planning, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

<sup>4</sup>Associate Professor, Department of Architecture, School of Architecture and Urban Planning, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

(Received: 3 Nov 2019, Accepted: 20 April 2022)

**E**nergy consumption in the building sector accounts for a significant part of the world's total energy. Recent studies in the building and construction, regardless of the results and performance improvements, try to find an optimal way to integrate all factors that affect building behavior in a multi-objective and integrated way. To do so, the integrated and multi-objective analysis approach is the title intended for this purpose. Integrated design is a comprehensive holistic approach to design that brings together specialisms usually considered separately. It attempts to take into consideration all the factors and modulations necessary for a decision-making process. Finding the most balanced design option while considering several functions is the problem of this research, which can be realized in the integrated design process. Therefore, the study aims to generate an integrated design process, in which aspects of cooling, heating, lighting, and rainwater harvesting are addressed in the design of the southern shading devices of a conventional dormitory building. Finally, the most balanced option that provides the mentioned aspects to a relative balance can be chosen by the architect or designer. To achieve this goal, this study decides to use the simulation-based method and EnergyPlus software with a quantitative approach. First, the thermal, cooling, and lighting functions of the cases were evaluated. Then a second step, in the development section, the productivity potential of the photovoltaic system and rainwater collection were analyzed as independent variables. Building envelopes of energy-efficient buildings are not simply barriers between interior and exterior; they are building systems that create comfortable spaces by actively responding to the building's external environment, and substantially reducing the buildings' energy consumption.

shading devices system is one of the important elements of building envelopes. Beyond the six cases of shading devices, that were studied and been analyzed, which were generated in the integrated and multi-objective design process, the case with maximum shading logic on the summer design day that shaped with a 35-degree slope on its overhang and 65-cm depth and triangular east-west fins was the best choice due to this research criterion. This shading control in addition to providing an excellent cooling load relatively had a high potential for useful daylighting. Plus, it had the best performance in terms of absorbing sunlight to generate electricity and collect rainwater as well. Although the heating load of this case is relatively high, with attendance to the challenge of Tehran in providing cooling energy in the warm season, it can be said that compared to other alternatives while considering all aspects, it performs best in presenting an integrated, multidimensional and balanced approach. Other cases have been examined and analyzed in detail in the research process. Although each of the other cases may be performing best in one particular aspect due to its geometry features, in the multi-objective vision it couldn't present an integrated and balanced performance in other aspects. It can be concluded that only with slight variations in the geometry of the shading control pattern in the building's façade, the mentioned aspects have been significantly achieved during the integrated design thinking process.

### Keywords

Integrated Design, Multi-Objective Analysis, Energy and Daylighting, Photovoltaics and Rainwater Harvesting, Southern Shading-Control.

\* Corresponding Author: Tel: (+98-912) 1020528, Fax: (+98-21) 77240468, E-mail: ekhlasi@iust.ac.ir