Downloaded from necjournals.ir at 14:32 +0430 on Sunday September 5th 2021

فصلنامه علمی انرژی ایران

دوره ۲۴، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰، صفحه ۱۰۰ – ۶۷

عوامل مؤثر بر کاهش میزان مصرف انرژی در ساختمان: مطالعه موردی ساختمان‌های بلندمرتبه منطقه ۲۲ شهر تهران

[۱] امان کسمایی، [۲] حسنا ورمقانی*

تاریخ دریافت:
۱۴۰۰ / ۳ / ۲۶

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۰ / ۴ / ۲۷

کلمات کلیدی:
بهینه‌سازی انرژی، رفتار حرارتی، شبیه‌سازی انرژی، ساختمان بلندمرتبه، تهران.

چکیده

اکنون احداث ساختمان‌های بلندمرتبه در حالی رو به گسترش است که ملاحظات اقلیمی مشخصی در طراحی و اجرا پیش‌بینی نمی‌شود و غالباً تصمیمات طراحی، مشابه بناهای میان‌مرتبه و کوتاه‌مرتبه صورت می‌گیرد و از مهم‌ترین دلایل این امر، فقدان پژوهش‌های تخصصی مرتبط در کشور است. هدف تحقیق حاضر تبیین چارچوب‌های اقلیمی به‌منظور گزینش الگوهای بهینه در طراحی بناهای بلندمرتبه با رویکرد کاهش مصرف منابع انرژی در راستای تدوین ضوابط طراحی اقلیمی است. در همین راستا پژوهش حاضر به روش تحلیلی توصیفی با رویکرد کمی هفت شاخص اصلی مؤثر بر کاهش مصرف انرژی شامل فرم ساختمان، فرم و نسبت سطح بازشو، زاویه چرخش، عمق سایه‌بان، نوع و ضخامت عایق حرارتی و جنس شیشه جدار خارجی را در حالت‌های مختلف با کاربرد نرم‌افزار شبیه‌ساز انرژی جهت یافتن حالت بهینه به لحاظ صرفه‌جویی انرژی مورد مقایسه قرار می‌دهد. نتایج تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد نسبت سطوح بازشو، جنس شیشه و عمق سایه‌بان تأثیرگذارترین شاخص‌ها و فرم بنا، جهت چرخش بنا، فرم و ابعاد بازشوها کم اثرترین آن‌ها بر اهداف پژوهش هستند. هم‌چنین ساختمان‌هایی با فرم مستطیل با کشیدگی شرقی غربی و پنجره‌های افقی با سایه‌بان‌های افقی به عمق ۱۰۰ سانتی‌متر در اضلاع جنوبی و شرقی و سایه‌بان‌های عمودی به عمق ۱۵۰ سانتی‌متر در اضلاع شمالی و غربی دارای عملکرد مطلوبی در زیراقلیم مطالعاتی بوده و حداقل مصرف انرژی را دارند.

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.
aman.kasmaei@gmail.com

۲. استادیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران (نویسنده مسئول)
h.varmaghani @qiau.ac.ir

Downloaded from necjournals.ir at 14:32 +0430 on Sunday September 5th 2021

۱. مقدمه[۱]

طبق آمار جهانی، مصرف انرژی در جهان در هر دهه، دو برابر افزایش یافته است؛ در این گزارش، بیش‌ترین میزان مصرف انرژی به کشورهای درحال‌توسعه ازجمله ایران اختصاص دارد که متوسط مصرف سالانه انرژی در آن از رشد ۱۰ درصدی برخوردار است (فرخی و همکاران، ۱۳۹۷، ۱۲۸). به همین ترتیب قیمت واحدهای انرژی در جهان به‌طور فزاینده‌ای رو به افزایش است. در مطالعه مؤسسه اطلاعات انرژی آمریکا نشان داده شد که هزینه‌های انرژی در سال ۲۰۳۰ نسبت به سال ۱۹۷۰ به میزان ۷۶۴ درصد افزایش خواهد یافت (Eddy & Bradley, 2015). بنابراین بشر با بحران‌های متعددی ازجمله محدود بودن و قیمت منابع انرژی روبه‌رو است. در این میان، بخش زیادی از انرژی‌های تولیدشده جهان در صنعت ساختمان مصرف می‌شود. «اکنون ساختمان‌ها بیش از ۲۰/۱ ٪ کل انرژی مصرفی جهان را به خود اختصاص داده‌اند که دراین‌بین حدود ۶۰ ٪ این میزان انرژی صرف تهویه، سرمایش و گرمایش ساختمان‌ها می‌شود» (سلیقه و سعادت‌جو، ۱۳۹۹، ۱۳۸). با این اوصاف به نظر می‌رسد رابطه معناداری میان این بحران‌ها و کاربرد گسترده سوخت‌های فسیلی و نیز بی‌توجهی به راهکارهای طراحی اقلیمی جهت تأمین آسایش حرارتی در ساختمان‌ها وجود دارد. لذا پرداختن به شاخص‌های اصلی مؤثر بر کاهش میزان مصرف انرژی در طرح کلی ساختمان‌ها و تعیین الگوهای پایه اقلیمی برای انواع مختلف ابنیه از ضروریات است. طراحی بنای بلندمرتبه امر پیچیده‌ای است که بایستی اهداف متعدد و متناقض مانند حداکثر آسایش در عین کم‌ترین مصرف انرژی را پوشش دهد. در این مقاله سعی بر آن است تا با بهره‌گیری از نوع و میزان مناسب شاخص‌های اصلی طراحی ابنیه از قبیل فرم بنا، فرم و سطوح بازشو، جهت چرخش بنا، عمق سایه‌بان، جنس شیشه و ضخامت عایق حرارتی در بناهای بلندمرتبه مسکونی، میزان مصرف انرژی را به حداقل رساند. از اهداف این تحقیق می‌توان به تبیین چارچوب‌های اقلیمی به منظور گزینش بهینه خصوصیات پوسته خارجی در بناهای بلندمرتبه مسکونی با رویکرد کاهش مصرف

۱. این مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد امان کسمایی با عنوان «طراحی برج مسکونی در محدوده دریاچه چیتگر با رویکرد کاهش مصرف انرژی» است که به راهنمایی دکتر حسنا ورمقانی در دانشگاه آزاد قزوین انجام گرفته است.

Downloaded from necjournals.ir at 14:32 +0430 on Sunday September 5th 2021

منابع سوخت فسیلی در کشور به منظور تدوین ضوابط طراحی اقلیمی برای ساخت‌وساز اشاره کرد. پرسش‌های تحقیق شامل موارد ذیل است:

- شاخص‌های اصلی مؤثر بر کاهش میزان مصرف انرژی در ساختمان‌های بلندمرتبه منطقه ۲۲ شهر تهران چگونه اولویت‌بندی می‌شود و صرفه‌جویی هرکدام به چه میزان است؟
- با توجه به رفتار حرارتی ساختمان‌های مسکونی بلندمرتبه در منطقه ۲۲ شهر تهران، هریک از شاخص‌های فرم بنا، فرم و نسبت سطح بازشوها، عمق سایه‌بان، جهت چرخش بنا، عایق حرارتی و جنس شیشه چه تأثیری در میزان صرفه‌جویی مصرف انرژی دارد؟
- الگوی بهینه فرم بنا، ابعاد و فرم بازشوها و... برای ساختمان‌های مسکونی بلندمرتبه در منطقه ۲۲ شهر تهران کدام است و میزان صرفه‌جویی انرژی در این الگو به چه میزان است؟

در این مقاله جهت پیشبرد پژوهش، پس از مطالعه ادبیات تحقیق، ابتدا عوامل اقلیمی منطقه مورد مطالعه به طور دقیق اندازه گیری شد و سپس جهت پاسخ به پرسشهای تحقیق، تأثیر شاخص‌های طراحی بر میزان مصرف انرژی مورد تحلیل قرار گرفت. این مراحل به کمک نرم‌افزارهای تحلیل اقلیمی و شبیه‌ساز انرژی صورت گرفته است.

۲. پیشینه تحقیق

تاکنون تحقیقات بسیاری برای کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌های بلند انجام شده است که می‌توان آن‌ها را در دو گروه عمده معرفی کرد. گروه اول، واقعیت‌ها و گروه دوم، راهکارها را مورد بررسی قرار داده‌اند. به عبارتی میزان مصرف انرژی در ساختمان‌های بلندمرتبه از یک سو و راهکارهای کاهش میزان مصرف از سوی دیگر بررسی شده است. به عنوان مثال، اولد فیلد[1] و همکاران (۲۰۰۹) ساختمان‌های بلندمرتبه را به لحاظ میزان مصرف انرژی به پنج دوره زمانی دسته‌بندی کرده‌اند: دوره اول از ۱۸۸۵ آغاز شد که شامل فرم‌های ساختمانی متراکم با حداقل سطح پوسته خارجی به‌منظور ایجاد شرایط آسایش در زمستان و بهره‌گیری مناسب از نور طبیعی بود. در دوره دوم با پیشرفت تکنولوژیکی در سیستم‌های تأسیساتی و تولید نور مصنوعی، کاربرد فرم‌های هرمی، مصرف انرژی گرمایشی را افزایش داد. دوره سوم

1 Oldfield

Downloaded from necjournals.ir at 14:32 +0430 on Sunday September 5th 2021

بلوک‌های مکعبی با سطوح وسیع شیشه تک جداره موجب جذب و اتلاف انرژی حرارتی از پوسته خارجی ساختمان‌ها شد. در دوره چهارم هم‌زمان با آغاز بحران انرژی (۱۹۷۳)، قوانین صرفه‌جویی انرژی توسط کشورهای توسعه‌یافته وضع شد که کاربرد شیشه‌های دوجداره و کاهش بهره‌گیری از نور مصنوعی ازجمله آن بود. در دوره پنجم هم‌زمان با آغاز نگرش‌های زیست‌محیطی و پایداری (۱۹۹۷)، نگاهی جدید در طراحی ساختمان‌های بلندمرتبه با رویکرد کاهش حداکثری میزان مصرف انرژی با بهره‌گیری از راهکارهای ایستا شکل گرفت (اولدفیلد و همکاران، ۲۰۰۹، ۶۱۳-۵۹۱). ساروگلو[1] و همکاران (۲۰۱۷) چهار متغیر اصلی در ساختمان بلند را در رابطه با میزان مصرف انرژی مورد توجه قرار داده‌اند: اول استراتژی طراحی با توجه به محیط نزدیک ساختمان (جهت‌گیری و بادهای غالب)؛ دوم خصوصیات حرارتی پوسته ساختمان؛ سوم تأثیر ارتفاع بر عملکرد انرژی؛ و چهارم گرمای داخلی ساختمان (به‌عنوان‌مثال ساختمان مسکونی در مقابل اداری) (ساروگلو و همکاران، ۲۰۱۷، ۳). کازاکوا[2] و همکاران (۲۰۱۹) به اختلاف بین میزان مصرف پیش‌بینی‌شده انرژی قبل از اجرا و پس از بهره‌برداری توجه می‌کنند. در نظر آن‌ها بناهای بلند به‌طور قابل‌توجهی بیش‌ازحد پیش‌بینی‌شده انرژی مصرف می‌کنند. یکی از دلایل این اختلافات می‌تواند کمبود اطلاعات کافی در شبیه‌سازی‌های مربوط به استفاده از تجهیزات و یا اطلاعات خاص در مورد کاربران ساختمان و استفاده آن‌ها از آن باشد. بنابراین در فرایند به حداقل رساندن تغییرات انرژی بین مراحل طراحی و بهره‌برداری از یک ساختمان، سطح پیشرفته بازخورد بین ساختمان موجود و ساختمان پیشنهادی بسیار مهم است (کازاکوا و همکاران، ۲۰۱۹، ۱).

سسلسکی و میر[3] (۲۰۱۴) خصوصیات پوسته خارجی را عامل تعیین‌کننده در میزان مصرف انرژی دانسته و معتقدند باید توجه ویژه‌ای به روند طراحی ساختمان بلندمرتبه و به‌طور خاص، به طراحی پوسته خارجی ساختمان داشت. پوسته ساختمان به‌عنوان واسطه بین شرایط داخلی و خارجی عمل می‌کند و تأثیر بسزایی در مصرف انرژی دارد. با ایجاد یک طرح واکنش‌پذیر ازنظر آب و هوایی که در آن محیط ساختمان به‌طور مناسب با شرایط آب و هوایی ارتباط برقرار کند، می‌توان از تکنیک‌های گرمایش و خنک‌سازی غیرفعال

1 Saroglou
2 Kuzhakova
3 Cicelsky & Meir

Downloaded from necjournals.ir at 14:32 +0430 on Sunday September 5th 2021

بهره برد (سسلسکی و میر، ۲۰۱۴، ۲۸۵). التفی[1] و همکاران (۲۰۱۵) چندین عامل را بر مصرف انرژی در ساختمان‌های بلند اثرگذار می‌دانند. درجه اهمیت این عوامل میان ساختمان‌های مختلف متفاوت است و به‌طورکلی به پارامترهای معماری، انسانی، تکنولوژی و طبیعی دسته‌بندی می‌شود. عوامل معماری که به طراحی ساختمان و اجزای آن مرتبط‌اند شامل عملکردهای ساختمان، روابط فضایی، شکل ساختمان، ارتفاع و پوسته خارجی بناست (التفی و همکاران، ۲۰۱۵، ۱۳۶۰).

دسته دوم از تحقیقات به مطالعه راهکارهای کاهش مصرف انرژی در بناهای بلندمرتبه پرداخته‌اند. در این تحقیقات، شرایط موجود ساختمان‌های بلندمرتبه و ویژگی‌های پوسته خارجی آن‌ها بررسی شده و مصرف انرژی با استانداردهای موجود مورد سنجش قرار گرفته است. به عنوان مثال، غیایی و حسین‌پور (۱۳۹۳)، رابطه مصرف انرژی و چهار نسبت بازشو در ساختمان‌های بلند مرتبه اداری را مورد بررسی قرار داده و بیان کرده‌اند که میزان تأثیر نسبت بازشو در جهات مختلف ساختمان در مصرف انرژی با یکدیگر متفاوت است. هم‌چنین با کاهش نسبت بازشو تا ۲۰٪ می‌توان به میزان ۱۷٪ مصرف انرژی سالانه را کاهش داد. یانگ[2] (۲۰۱۸) عملکرد انرژی پوسته‌های ساختمانی در مناطق اقلیمی چین را از طریق مقایسه میزان مصرف انرژی ساختمان‌های بلندمرتبه با استانداردهای موجود در چین و استاندارد اشری بررسی کرده و به ارایه راهکار در این خصوص پرداخته است. حافظی و همکاران (۱۳۹۸) به تحلیل انرژی در مراحل اولیه طراحی ساختمان‌های بلندمرتبه اداری در شهر تهران پرداخته و به این نتیجه رسیده‌اند که درصد پنجره، نوع شیشه و فرم ساختمان، تأثیرگذارترین شاخص‌ها و جرم حرارتی و عایق حرارتی، کم‌اثرترین آن‌ها بر مصرف انرژی است. بوجیک[3] (۲۰۱۷) اثر عایق حرارتی بر بار سرمایشی و نیز عملکرد حرارتی پنجره را در ساختمان‌های بلندمرتبه هنگ‌کنگ بررسی کرده است. مهدوی‌نیا و خیاط (۱۳۹۷) تأثیر نوع و ضخامت عایق جداره‌های خارجی بناهای بلندمرتبه اداری شهر تهران را بررسی کرده و با ثابت نگهداشتن ضخامت دیوار، تأثیر افزایش ضخامت عایق را بیش از افزایش ضخامت بلوک‌های دیوار در کاهش مصرف انرژی تخمین زده‌اند. کالوگیرو (۲۰۱۹) در تحقیقی با هدف بررسی جرم حرارتی دیوارها و عایق حرارتی بام بر بارهای سرمایش و گرمایش، در نهایت جرم حرارتی سنگین را برای دیوارهای

1 Elotefy
2 Yang
3 Bojic

Downloaded from necjournals.ir at 14:32 +0430 on Sunday September 5th 2021

نمای جنوبی ساختمان‌ها و عایق حرارتی را برای بام توصیه می‌کند (کالوگیرو و تسو[1]، ۲۰۱۹). شفیعی و همکاران (۱۳۹۲) با شناسایی فرم‌های هندسی متداول ساختمان‌های بلند، به بررسی میزان انرژی تابشی دریافتی و تحلیل فرم مناسب ساختمان بلند در تهران پرداخته‌اند. از دیگر تحقیقات انجام شده می‌توان به بررسی رابطه فرم و مصرف انرژی (براتی و سردره،۱۳۹۲)، بررسی و امکان‌سنجی تأثیر فرم و تراکم بلوک مسکونی بر مصرف انرژی (رفیعیان، فتح جلالی و داداش‌پور، ۱۳۹۳) و بررسی رابطه فرم ساختمان‌های مسکونی با میزان مصرف انرژی آن‌ها در اقلیم گرم و خشک (ضرغامی، جهانبخش و طحانیان، ۱۳۹۴) اشاره کرد. تحقیق حاضر قصد دارد از بین عوامل متعدد مؤثر بر رفتار ساختمان‌های بلند، به اصلی‌ترین شاخص‌های طراحی اقلیمی اثرگذار بر کاهش مصرف انرژی و اولویت‌سنجی آن‌ها بپردازد و به‌منظور رسیدن به طرح بهینه، در حالت‌های مختلف با یکدیگر مقایسه نماید.

۳. مبانی نظری

بررسی اقلیم و عوامل اقلیمی بحث بسیار مهمی پیش از احداث ساختمان بوده که وابسته به موقعیت جغرافیایی بناست. این عوامل شامل تابش آفتاب، دما، رطوبت، میزان بارندگی و وزش باد، تعیین کننده طرح کلی و اجزاء ساختمان است (سان و یو،[2] ۲۰۲۱) که بایستی متناسب با هر منطقه اقلیمی طراحی شود (الاوبیدی[3] و همکاران، ۲۰۱۴، ۲۸۳-۲۳۳). به عنوان مثال، جهت‌گیری ساختمان و وجود بازشوهای مناسب برای نورگیری، شاخص بسیار مهمی در میزان بهره‌گیری از انرژی خورشیدی است. هم‌چنین بهترین فرم ساختمان، فرمی است که پایین‌ترین اتلاف حرارت در زمستان و کم‌ترین دریافت حرارت در تابستان را از آفتاب و محیط موجب شود (تولوپاکی و تئودوسیو،[4] ۲۰۱۷). طراحی ایستای سرمایش مستلزم محدود کردن ورود گرما به ساختمان توسط تمام اجزاء اصلی بناست و در طراحی ایستای گرمایش نیز تمامی اجزاء و عناصر، فضای درونی ساختمان را در برابر سرمای زمستان گرم نگه می‌دارند (Taleb, 2014, 154-161). جهت‌گیری مطلوب در کنار اندازه و شکل مناسب ساختمان‌ها، از عوامل مهم بهره‌گیری مؤثر از گرمایش،

1 Kalogirou & Tassou
2 Sun & Yu
3 Al-Obaidi
4 Touloupaki & Theodosiou

Downloaded from necjournals.ir at 14:32 +0430 on Sunday September 5th 2021

سرمایش و نور طبیعی است (کیم[1] و دیگران، ۲۰۱۶) که منجر به کاهش مصرف انرژی، ارتقای آسایش و کاهش هزینه‌ها شده و فضای زندگی راحت‌تر و ارزان‌تری فراهم می‌سازد. جهت‌گیری بهینه حالتی است که در آن مجموع بار کل سرمایش و گرمایش ساختمان نسبت به سایر حالت‌ها کمتر باشد و جهتی است که بیش‌ترین گرما را در روزهای سرد و کم‌ترین گرما را در روزهای گرم از آن دریافت کند. این جهت را می‌توان جهت بهینه نامید (البتین[2] و دیگران، ۲۰۱۸). الگوی طرح پلان در اندازه سطح پوسته خارجی ساختمان تأثیر دارد و ازآن‌جاکه اضلاع مختلف بنا ازنظر کسب انرژی با یکدیگر متفاوت‌اند، نقش مهمی در نورگیری و کسب انرژی ساختمان دارند (کسمایی، ۱۳۹۲). همچنین در مرحله طراحی هندسه و فرم بنا می‌توان بر اساس هندسه پیشنهادی، زوایای مختلفی برای هر وجه ساختمان تعیین نمود که این تغییر جهت‌گیری در سطح اجزاست. اما پس از تعیین گزینه بهینه هندسه و فرم، در مقیاس کلی نیز می‌توان جهت چرخش بنا و زاویه بهینه را تعیین کرد (مونترو، فریر و سوارس،[3] ۲۰۲۱).

تأثیر فرم و تناسبات ساختمان بر رفتار حرارتی آن نخستین بار در سال ۱۹۶۳ توسط ویکتور اولگی[4] مطرح و بررسی شد (اولگی، ۱۹۶۳). نظریه‌های مختلفی در خصوص رابطه بین شکل ساختمان و انرژی مصرفی آن وجود دارد. چنین بیان شده است که انتخاب فرم بهینه، جهت‌گیری و پیکربندی مطلوب بنا می‌تواند مصرف انرژی را حدود ۴۰ ٪ کاهش دهد (وانگ،[5] ۲۰۰۶ به نقل از قدسی و همکاران، ۱۳۹۷، ۱۴۴). به‌طورکلی فرم مناسب خورشیدی آن است که سطح پوسته جنوبی آن زیاد باشد، قابلیت سایه‌اندازی در فصل تابستان روی خود را داشته باشد و از فرم‌های مقعر و محدب پرهیز شود. طول و عرض بنا و شکل هندسی آن ازجمله مواردی است که بر میزان مصرف انرژی موردنیاز ساختمان اثرگذار است. به این معنا که «با تغییر در ابعاد، اندازه و شکل پلان، عمق نفوذ نور خورشید تغییر یافته و به همین ترتیب، انرژی موردنیاز جهت گرمایش و روشنایی در ساختمان تغییر می‌یابد» (رفیعیان و همکاران، ۱۳۹۳). جهت‌گیری ساختمان نیز رابطه مستقیمی با دریافت انرژی خورشیدی و میزان مصرف انرژی موردنیاز جهت گرمایش، سرمایش و روشنایی دارد. «ساده‌ترین روش استفاده از انرژی خورشید، بررسی اقلیمی و

1 Kim
2 Albatayneh
3 Monteiro, Freire & Soares
4 Olgay
5 Wang

Downloaded from necjournals.ir at 14:32 +0430 on Sunday September 5th 2021

اجرای نورگیری مناسب در ساختمان است» (سادتی و ادواردز،[1] ۲۰۱۹). زاویه‌ای که ساختمان نسبت به محور شمال جنوب داراست، با توجه به عرض جغرافیایی محل، بر میزان ساعات دسترسی به نور مستقیم روز اثرگذار بوده و درنتیجه، میزان انرژی موردنیاز ساختمان را تغییر می‌دهد (بیدولف،[2] ۲۰۱۷، ۹۳-۹۰). پوسته خارجی بنا در طراحی اقلیمی از اهمیت بسیاری برخوردار است زیرا از سویی در ارتباط مستقیم با هوای کنترل نشدهٔ بیرون ساختمان در معرض هوای سرد زمستان و هوای گرم تابستان قرار دارد و از سوی دیگر، همین جزء از بنا در ارتباط با تابش خورشید قرار داشته و تعیین‌کننده میزان جذب انرژی تابشی و بهره‌گیری از نور خورشید است (اودل،[3] ۲۰۱۵، ۴۸). این پوسته به عنوان جداکننده فضای داخلی و محیط خارجی ساختمان نقش مهمی در رفتار حرارتی ساختمان دارد (دو و همکاران،[4] ۲۰۲۱). گفته می‌شود حدود ۷۰ درصد از هدررفت انرژی‌های مصرفی در ساختمان، از جداره‌های خارجی است (الاوبیدی و همکاران، ۲۰۱۴) که از این میان ۲۰ الی ۴۰ درصد مربوط به پنجره‌هاست (اردم و ریفات،[5] ۲۰۱۵). این بخش از ساختمان به عنوان مهم‌ترین منبع دریافت نور و انرژی خورشیدی، تأثیر بر گرمایش و سرمایش، تهویه، کنترل آلودگی صوتی و کیفیت طراحی و اجرا، تأثیر قابل توجهی در میان سایر اجزا ساختمان دارد (الیسیری و سب،[6] ۲۰۲۱). در ایده‌های نوین طراحی، پوسته ساختمان به عنوان حائلی جهت ایجاد تعادل بین فضای داخلی و محیط خارجی ساختمان است برخلاف شکل سنتی که آن را حائلی جهت تفکیک فضای داخلی و شرایط آب و هوایی متغیر خارجی می‌دانست (بات[7] و دیگران، ۲۰۲۱).

علی‌رغم چالش‌های پیش روی ساختمان‌های بلند، جوامع امروزی هرکدام به‌نوعی ساختمان‌های بلند را در فضاهای شهری و برون‌شهری خود پذیرا شده‌اند. بااین‌حال ساختمان‌های بلندمرتبه به علت داشتن زیربنای زیاد و تعداد زیاد افراد ساکن، مصرف انرژی بیش‌تری نسبت به ابنیه متداول دارند. ازآن‌جاکه انرژی مصرفی در بناهای بلند عمدتاً از طریق سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شود، بناهای مزبور

1 Sadati & Edwards
2 Biddulph
3 Odell
4 Du
5 Erdem & Riffat
6 Al-Yasiri & Szab
7 Butt

Downloaded from necjournals.ir at 14:32 +0430 on Sunday September 5th 2021

در آلودگی محیطزیست نیز مؤثرند. هرچند طرح یک ساختمان بلند حاصل نهایی فرایند پیچیده‌ای است که عناصر آن بر هم تأثیر متقابل دارند و عوامل متعددی در آن مؤثرند، اما با رعایت اصول و معیارهای حاصل از پژوهش‌های بنیادی و کاربردی می‌توان امکان طراحی بهینه را فراهم ساخت. به‌طورکلی استفاده مناسب و البته مشروط از ساختمان‌های بلند را می‌توان راه‌حلی واقع‌گرایانه و مطلوب جهت اسکان مردم و تأمین سایر نیازها در شهرهای بزرگ دانست. «به‌کارگیری فرم‌های ساده و منظم علاوه بر کمک به پایداری و ایستایی ساختمان سبب افزایش ایمنی در بناهای بلند می‌گردد. تقارن، تعادل و وحدت از عوامل مؤثر در ایجاد فرم و نمای بصری مطلوب بناهای بلند است. استفاده از فرم‌های متمرکز نسبت به فرم‌های نواری از مزایای بیش‌تری برخوردار است» (گلابچی، ۱۳۸۰، ۶۱). تعیین شاخص‌های اصلی مؤثر بر کاهش میزان مصرف انرژی در ساختمان و میزان اهمیت هریک از آن‌ها در کاهش انرژی مصرفی، مسأله اصلی پژوهش است و این موضوع در ساختمان‌های بلندمرتبه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

٤. روش تحقیق

پژوهش حاضر در دو مرحله کلی با رویکرد کمی و روش توصیفی- تحلیلی با کاربرد نرم‌افزارهای اقلیمی و شبیه‌ساز انرژی انجام شده است و برای پیشبرد اهداف خود، در هر مرحله از روند پژوهش، راهبردها و به تناسب آن، ابزار و روش موردنیاز را به کار می‌گیرد. در گام اول، هریک از عوامل اقلیمی شامل دمای هوا، تابش آفتاب، رطوبت نسبی و باد در زیراقلیم موردمطالعه یعنی منطقه ۲۲ در غرب تهران به‌طور دقیق اندازه‌گیری شد و تأثیر آن بر رفتار حرارتی ساختمان‌های مسکونی بلندمرتبه تحلیل گردید. از آن‌جا که ایستگاه آب و هواشناسی فرودگاه مهرآباد نزدیک‌ترین ایستگاه به سایت موردمطالعه است، درنتیجه اطلاعات لازم طبق آمار ۱۵ ساله موجود (از سال ۲۰۰۴ تا سال ۲۰۱۸) از ایستگاه موردنظر جمع‌آوری شد. برای این منظور ابتدا فایل‌های آب و هوایی موردنیاز از سایت معتبر کلایمت وان‌بیلدینگ[1] و طول و عرض دقیق جغرافیایی از سایت فری‌مپ‌تولز[2] دریافت شده و در مرحله بعدی تحلیل این داده‌ها توسط نرم‌افزار تخصصی کلایمت کانسالتنت[3] نسخه ۶ صورت گرفت. هم‌چنین از استاندارد اشری نسخه ۹۰.۱

1 climate.onebuilding.org
2 www.freemaptools
3. Climate Consultant

Downloaded from necjournals.ir at 14:32 +0430 on Sunday September 5th 2021

در نرم‌افزار کلایمت کانسالتنت استفاده شد. در گام دوم جهت دستیابی به الگوهای پایه فرم بنا، ابعاد و مدل بازشوها، عمق سایبان، نوع عایق حرارتی و جنس شیشه‌ها در طرح اقلیمی، با کمک نرم‌افزار ایکوئست[1] نسخه ۳.۶۵ که یک نرم‌افزار مدل‌ساز انرژی است، تأثیر این شاخص‌های طراحی بر میزان مصرف انرژی مورد تحلیل قرار گرفت. برای این کار ابتدا یک مدل اولیه پایه در نظر گرفته شد و سپس تأثیر عوامل مذکور بر روی مدل اولیه و صرفه‌جویی در میزان مصرف انرژی بررسی شد. در نرم افزار ایکوئست، دو روش مدل‌سازی انرژی شامل SD (طراحی شماتیک)[2] و DD (طراحی توسعه‌یافته)[3] وجود دارد. از آن‌جاکه هدف پژوهش، بررسی اولویت‌های طراحی اقلیمی در شهر تهران و تعیین تأثیر هریک از شاخص‌های اصلی طراحی در صرفه‌جویی انرژی است، از روش SD بهره گرفته شد.

۱-٤. معرفی مشخصات مدل پایه

مدل اولیه، مربعی به ابعاد ۳۵*۳۵ متر با سطح اشغال ۱۲۲۵ مترمربع است. این مدل دارای ۲ طبقه زیرزمین و ۲۵ طبقه بالای زمین و زیربنای کل ۳۳۰۷۵ مترمربع با جهت‌گیری شرقی غربی بدون چرخش است. ارتفاع کف تا کف هر طبقه ۴ متر و کف تا زیر سقف کاذب ۳ متر است. بام، کف و دیوارها در مدل اولیه فاقد عایق بوده و پنجره‌ها تک‌جداره با قاب آلومینیومی و بدون سایه‌بان در نظر گرفته شده‌اند. بام از جنس بتن به ضخامت ۲۰/۳۲ سانتی‌متر با ضریب هدایت حرارت ۰/۵۱۲ $btu/h.ft^2.°F$ و دیوارها از بلوک سیمانی به ضخامت ۲۰/۳۲ سانتی‌متر با ضریب هدایت حرارت ۰/۰۸۶ $btu/h.ft^2.°F$ و پنجره‌ها با شیشه معمولی با ضریب هدایت حرارتی ۱/۰۴۰ $btu/h.ft^2.°F$ بوده و سطح بازشوها در هر ضلع ساختمان ۳۰ درصد درنظر گرفته شده است. اگرچه توجه به سیستم‌های مکانیکی جهت بررسی میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی بسیار مهم است؛ اما باتوجه به هدف تحقیق یعنی بررسی عوامل اقلیمی و طرح معماری در میزان مصرف انرژی، از بررسی سیستم‌های متنوع مکانیکی در پژوهش حاضر صرف‌نظر شده است.

1 eQUEST
2 Schematic Design
3 Design Development

Downloaded from necjournals.ir at 14:32 +0430 on Sunday September 5th 2021

۲-٤. اعتبارسنجی داده‌ها

نرم‌افزارهای گوناگون شبیه‌ساز انرژی با قابلیتهای مختلف به منظور بررسی شاخص‌های مؤثر بر میزان مصرف انرژی در تحقیقات علوم ساختمانی کاربرد دارند که می‌بایست توسط تحقیقات میدانی و آزمایشگاهی اعتبارسنجی شوند. نرم‌افزار ایکوئست که به طور گسترده در کشورهای اروپایی و بخصوص در آمریکا مورد استفاده قرار می‌گیرد، ابزاری حرفه‌ای با کاربری آسان است. موتور محاسباتی این نرم‌افزار، DOE-2.2 است که در طول دو دهه گذشته به‌صورت گسترده در سراسر دنیا مورد استفاده قرار گرفته است. ایکوئست حاصل اضافه کردن لایه واسط کاربری گرافیکی به همراه هدایتگرهای طراحی بر روی نسخه توسعه‌یافته DOE-2 است که کاربر را گام‌به‌گام در طراحی ساختمان هدایت می‌کند. از قابلیت‌های این نرم‌افزار که در پژوهش حاضر به کار گرفته شده است، توانایی مقایسه میان گزینه‌های مختلف طرح[1] ازلحاظ میزان مصرف انرژی ماهانه و سالانه است.

با استفاده از قدرت تحلیل این شبیه‌ساز می‌توان با اعمال هزینه‌های ناچیز و معقول در طراحی به تغییرات بزرگ در مصرف انرژی دست یافت. این نرم‌افزار حاصل ترکیب ابزاری برای طراحی بنا، ابزار تعیین کارایی انرژی و یک ماژول نمایشگر گرافیکی نتایج است (هیرش،[2] ۲۰۰۹). سایت وزارت انرژی ایالات متحده آمریکا، این برنامه را با توجه به سرعت و دقت بالا، عملکرد ساده و خروجی‌های مناسب و صحت عملکرد، مورد تأیید استاندارد اشری ۱۴۰ قرار داده است. هم‌چنین استاندارد لید که یکی از ۵ استاندارد معتبر دنیاست، اعتبار این نرم‌افزار را مورد تأیید قرار داده است. به‌طوری‌که به عنوان اولین نرم‌افزار مورد تأیید در سامانه لید[3] به پروژه‌هایی که با این برنامه ارزیابی شده باشند، گواهینامه اعطا می‌کند (لید، ۲۰۱۹).

مینگ سون و همکاران با استفاده از این نرم‌افزار، عوامل مؤثر بر مصرف انرژی در یک ساختمان اداری را موردبررسی قرار داده و نتایج آن را پس از کالیبره کردن نرم‌افزار، با مقادیر مصرف واقعی ساختمان مقایسه کرده‌اند. بر اساس نتایج این تحقیق، با استفاده از نرم‌افزار ایکوئست میتوان مصرف

1 Multiple Alternative Simulation Cases
2 Hirsch
3 LEED

Downloaded from necjournals.ir at 14:32 +0430 on Sunday September 5th 2021

انرژی ساختمان را با خطای ۰/۳۷٪ تخمین زد (قنبران و حسین‌پور، ۱۳۹۵، ۵۳). لیگید[1] و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی به مقایسه سه نرم‌افزار ایکوئست،ترین تریس ۷۰۰ و انرژی پلاس[2] پرداخته و به این نتیجه رسیده‌اند که خطای محاسبه مصرف انرژی در این برنامه بسیار کمتر ازترین تریس ۷۰۰[3] اما تا حدودی بیش از انرژی پلاس است.

۵. توصیف داده‌ها

۱-۵. شناخت منطقه مطالعاتی

تهران در پهنه‌ای بین دو وادی کوه و کویر و در دامنه‌های جنوبی البرز گسترده شده است. از سمت جنوب به کوه‌های ری و بی‌بی‌شهربانو و دشت‌های هموار شهریار و ورامین و از شمال به‌واسطه کوهستان محصور شده است (شهبازی، ۱۳۹۴). تهران دارای تابستان گرم به‌ویژه در مناطق جنوب و مرکز شهر و هوای معتدل در شمال شهر است. در زمستان مرکز شهر، معتدل اما بخش‌های شمالی شهر سرد است و دما بارها به زیر صفر می‌رسد. تهران در فصول سرد سال تحت تأثیر سیستم‌های پرفشار شمالی (سیبری) قرار گرفته و دارای زمستان سرد و خشک و عموماً آلوده است و در ماه‌های گرم سال متأثر از سیستم‌های کم‌فشار حرارتی کویر مرکزی واقع شده و دارای تابستانی گرم و خشک است. حداکثر دمای هوای تهران ۴۳+ درجه و حداقل ۱۵- درجه سانتی‌گراد اعلام شده است (تهران‌مت،[4] ۲۰۲۱) در نقشه پهنه‌بندی اقلیمی ایران مسکن و محیط‌های مسکونی که توسط مرتضی کسمایی ارائه شده است (مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۷۰) کشور ایران به ۸ گروه اقلیمی تقسیم‌بندی شده که هرکدام از این گروه‌ها، زیرگروه‌های جداگانه‌ای نیز دارند. در این نقشه شهر تهران در گروه اقلیمی ۵ و زیرگروه ۲ قرار گرفته که در این ریز اقلیم زمستان‌ها نسبتاً سرد و تابستان‌ها نیمه گرم و خشک است.

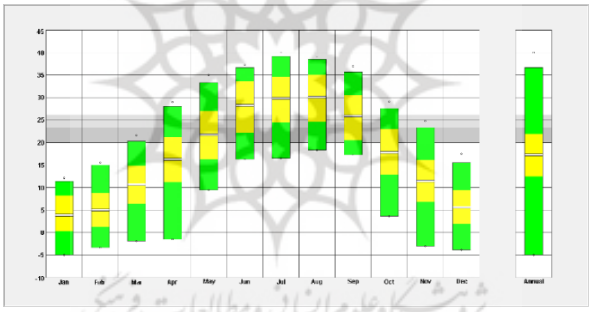
1 Ligade
2 Energy Plus
3 Trane Trace 700
4 http://www.tehranmet.ir

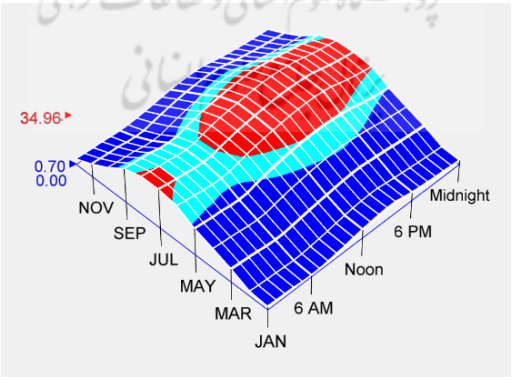
Downloaded from necjournals.ir at 14:32 +0430 on Sunday September 5th 2021

۲-۵. تفسیر اطلاعات آب و هوایی منطقه ۲۲ و تأثیر آن بر رفتار حرارتی ابنیه

دمای هوا

شکل ۱ نشان می‌دهد که تغییرات دمای هوای سالانه در منطقه ۲۲ بسیار زیاد و حدود ۴۵ درجه سانتی‌گراد است، به‌طوری‌که بیش‌ترین دمای هوا مربوط به ماه جولای (تیر) حدود ۴۰ درجه و کم‌ترین دمای هوا به ماه ژانویه (دی) حدود ۵- درجه تعلق دارد. میانگین دمای هوا در سردترین ماه سال (دی) ۴ درجه سانتی‌گراد و در گرم‌ترین ماه سال (مرداد) ۳۰ درجه است. میانگین دمای هوا در ماه‌های می(اردیبهشت) و سپتامبر (شهریور) در محدوده آسایش قرار داشته و میانگین دمای هوای سالانه ۱۷ درجه است. هم‌چنین بررسی شکل ۲ نشان می‌دهد که در این منطقه حدود ۵۸ درصد از سال دمای هوا پایین‌تر از محدوده آسایش قرار دارد و حدود ۲۵ درصد از سال دمای هوا بالاتر از محدوده‌ی آسایش است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در سایت مطالعاتی جهت تأمین آسایش حرارتی نیاز به گرمایش وجود دارد.





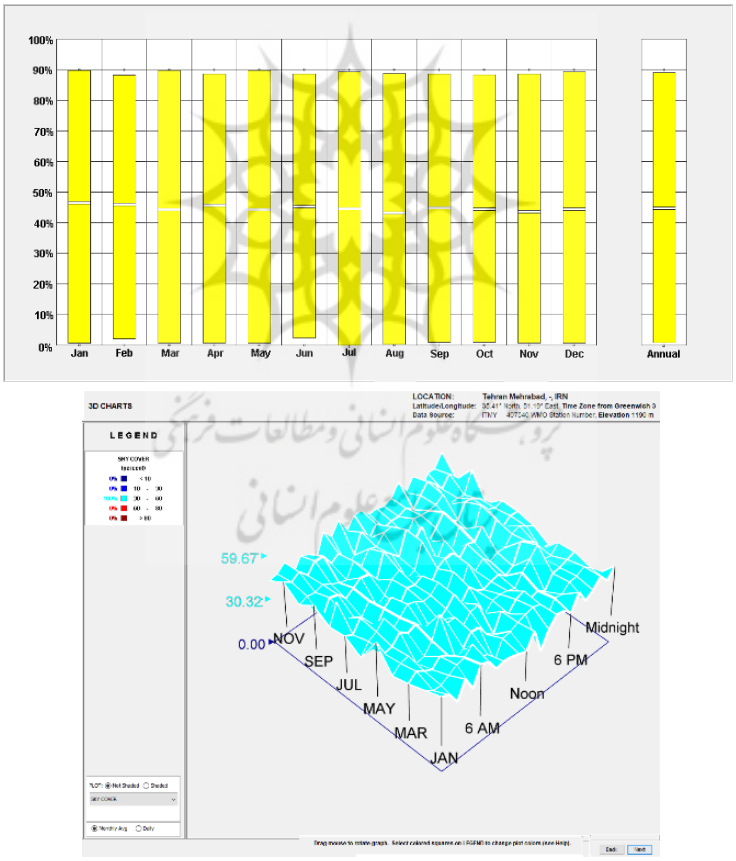
شکل ۱. میانگین دمای هوا؛ شکل ۲: چارت ۳ بعدی دمای هوای ماهانه

(نگارندگان، از نرم‌افزار کلایمت کانسالتنت)

Downloaded from necjournals.ir at 14:32 +0430 on Sunday September 5th 2021

تابش آفتاب

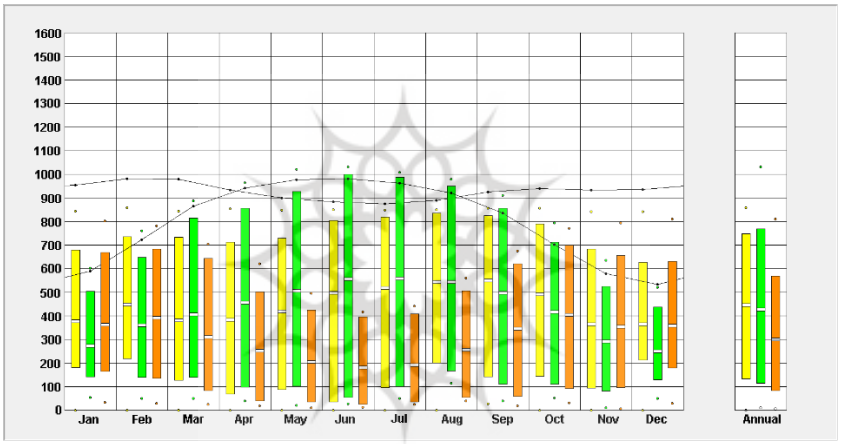
تابش آفتاب از دو جهت در طراحی اقلیمی حائز اهمیت است که شامل میزان دریافت انرژی خورشیدی و استفاده از نور طبیعی روز جهت روشنایی فضاهاست. این دو عامل به شاخص‌های دیگری نظیر میزان ابری یا صاف بودن آسمان نیز بستگی دارد، بررسی شکل ۳ مشخص می‌کند که به‌طور میانگین حدود ۴۵ درصد از آسمان شهر تهران در طول سال ابری است. میزان ابری بودن آسمان در ماه‌های مختلف سال تفاوت زیادی با یکدیگر نداشته و غالباً کمتر از ۵۰ درصد است. همچنین در کل سال میزان ابری بودن آسمان هیچ‌گاه کمتر از ۳۰ درصد و بیش از ۶۰ درصد نخواهد بود.



شکل ۳. میزان صاف یا ابری بودن آسمان (نگارندگان، از نرم‌افزار کلایمت کانسالتنت)

Downloaded from necjournals.ir at 14:32 +0430 on Sunday September 5th 2021

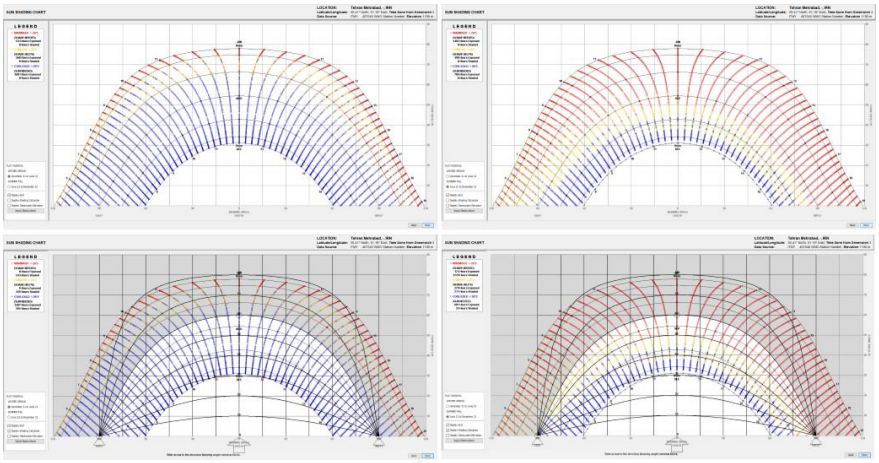
در شکل ۴ ملاحظه می‌شود که در شهر تهران میزان دریافت انرژی خورشیدی از تابش آفتاب بر روی سطوح قائم در ماه‌های سرد سال، حدود ۴۰۰ وات بر مترمربع در هرساعت بوده که این مقدار بیش از میزان این انرژی در ماه‌های گرم سال (حدود ۲۰۰ وات بر مترمربع در ساعت) است. با توجه به موارد فوق می‌توان نتیجه گرفت که تهران توانایی بالایی جهت استفاده از انرژی خورشیدی دارد، نتیجتاً در طراحی بایستی تمهیداتی اندیشید تا بتوان حداکثر استفاده از انرژی خورشیدی را در ماه‌های سرد سال داشت و هم‌چنین از گرم شدن بیش از حد فضاها در فصول گرم سال نیز جلوگیری کرد. میانگین دریافت انرژی خورشیدی در سطوح قائم در کل سال برابر با ۳۰۰ وات بر مترمربع در ساعت است.



شکل ۴. میزان دریافت تابش خورشیدی (نگارندگان، از نرم‌افزار کلایمت کانسالتنت)

نمودارهای خورشیدی، این نتیجه را به دست می‌دهد که در فصول گرم سال در منطقه، حدود ۱۴۰۳ ساعت آفتاب به درون ساختمان نفوذ کرده و باعث گرم شدن بیش‌ازحد دمای فضاهای داخلی ساختمان می‌شود؛ بنابراین پیش‌بینی سایبان‌های عمودی و افقی برای پنجره‌ها امری ضروری است، اما نکته حائز اهمیت این است که در فصول سرد سال نیز حدود ۱۶۰۱ ساعت نیاز به تابش آفتاب جهت گرم کردن فضاهای داخلی وجود دارد و درنتیجه سایه‌بان‌ها باید طوری طراحی شوند که مانع دریافت انرژی خورشیدی در زمستان نشوند. با طراحی سایه‌بان افقی با زاویه‌ای در حدود ۶۰ درجه می‌توان ۱۲۲۹ ساعت جلوی نفوذ آفتاب به فضاهای داخلی را گرفت و هم‌چنین ۱۲۰۷ ساعت از نیاز فصل زمستان به آفتاب را نیز تأمین نمود. شکل ۵ بیانگر مطالب فوق است.

Downloaded from necjournals.ir at 14:32 +0430 on Sunday September 5th 2021

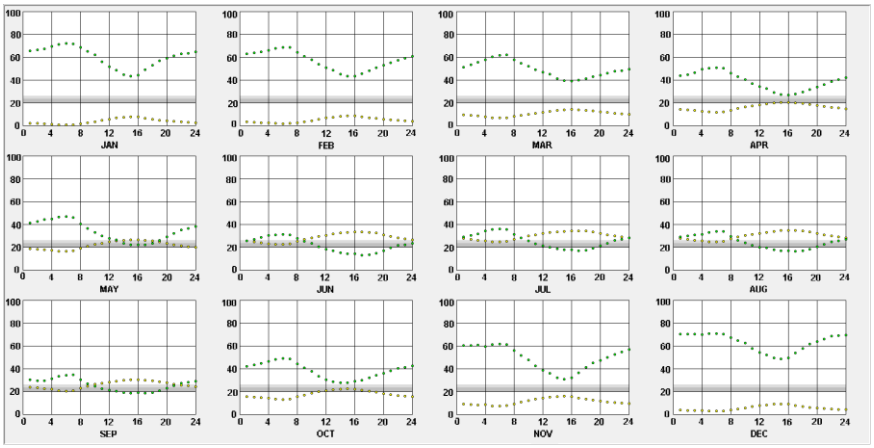


شکل ۵. بالا: دیاگرام خورشیدی؛ از چپ به راست: فصول گرم و سرد سال.
پایین: تأثیر سایه‌بان؛ از چپ به راست: فصول گرم و سرد (نگارندگان، از نرم‌افزار کلایمت کانسالتنت)

رطوبت نسبی

با توجه به اینکه شهر تهران از سطح دریا فاصله دارد و رشته‌کوه‌های البرز نیز حائل میان تهران و دریاست؛ درنتیجه مقدار رطوبت پایین بوده و در منطقه خشک واقع است. شکل ۶ نشان می‌دهد که رطوبت نسبی در تهران در اکثر ماه‌های سال از حد مطلوب پایین‌تر بوده و مستلزم افزایش میزان رطوبت نسبی در فضای داخلی ساختمان‌هاست. داده‌ها نشان داد که منطقه موردمطالعه در ۱۰ درصد از سال رطوبت نسبی کمتر از ۲۰ درصد را تجربه می‌کند که این میزان رطوبت کم در فصول گرم سال بوده و شرایط نامناسبی را فراهم می‌کند. هم‌چنین در ۴۱ درصد از سال رطوبت نسبی بین ۲۰ تا ۴۰ درصد؛ در ۳۳ درصد از سال بین ۴۰ تا ۶۰ درصد و در ۱۷ درصد از سال بین ۶۰ تا ۸۰ درصد است که این مقدار رطوبت بالا در بیشتر موارد در فصول سرد و قبل از طلوع خورشید اتفاق می‌افتد.

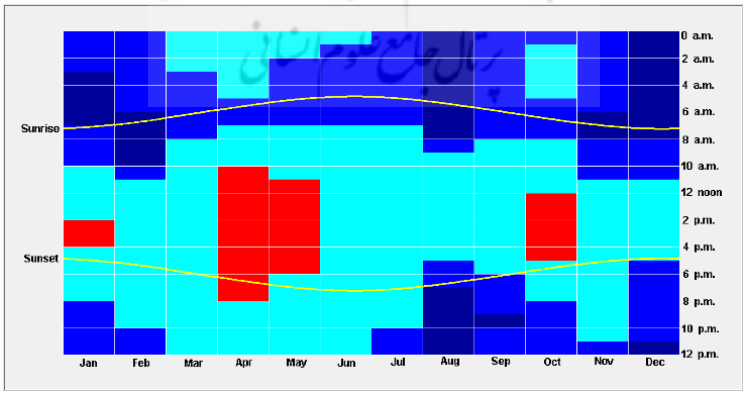
Downloaded from necjournals.ir at 14:32 +0430 on Sunday September 5th 2021



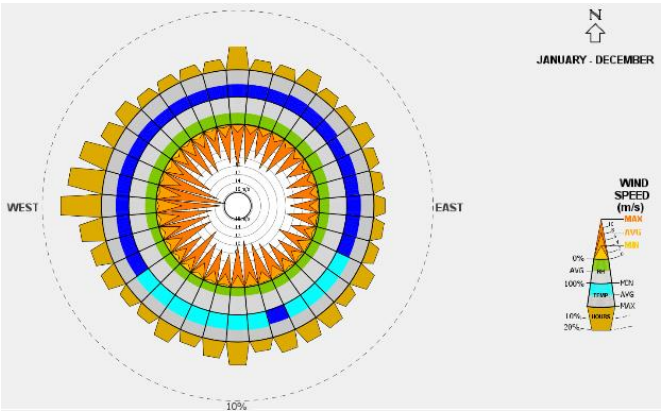
شکل ۶. مقایسه میزان رطوبت نسبی در ماه‌های مختلف سال (نگارندگان، از نرم‌افزار کلایمت کانسالتنت)

باد

تحلیل‌ها نشان داد بیش‌ترین سرعت وزش باد ثبت شده را مربوط به ماه اکتبر (مهر) و حدود ۱۶ متر بر ثانیه، میانگین بیش‌ترین سرعت وزش باد در طول سال را ۶ متر بر ثانیه و میانگین سرعت وزش باد سالانه را حدود ۳ متر بر ثانیه نشان می‌دهد. در شکل ۷ نیز ملاحظه می‌شود که سرعت وزش باد در ۳۱ درصد از سال بین ۲ تا ۳ متر بر ثانیه و در ۴۹ درصد از سال بین ۳ تا ۵ متر بر ثانیه است. در شکل ۸ مشخص است که جهت وزش باد غالب در منطقه از غرب به شرق و دارای سرعت زیاد، رطوبت حدود ۳۰ درصد و دمای بین ۰ تا ۲۰ درجه است.



شکل ۷. میزان سرعت و درصد وزش باد در ماه‌های مختلف شکل

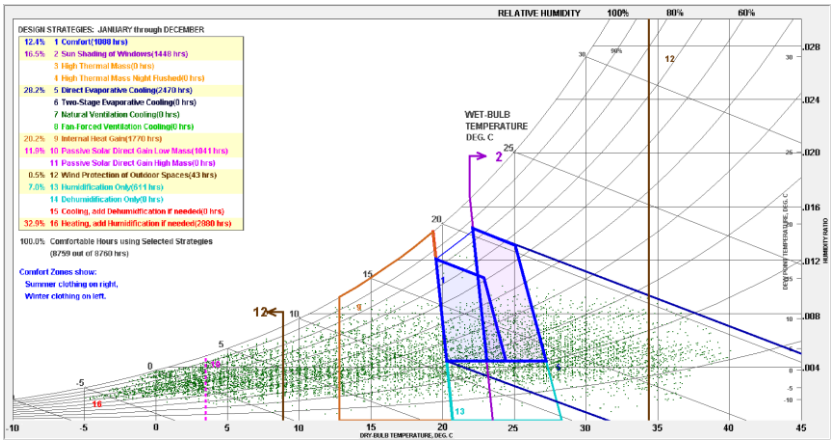


شکل ۸. جهت وزش باد غالب در سال (نگارندگان، از نرم‌افزار کلایمت کانسالتنت)

یافته‌ها نشان می‌دهد جهت داشتن طراحی اقلیمی مناسب در شهر تهران باید به مواردی نظیر بهره‌گیری از انرژی خورشیدی در زمستان جهت بالا بردن دمای هوای داخلی، بالابردن رطوبت هوا و همچنین محافظت ساختمان در برابر بادهای نامطلوب توجه داشت. در نمودار سایکرومتریک تهران مشاهده می‌شود که ۱۲/۴ درصد از مواقع سال شهر تهران در محدوده آسایش قرار دارد ولی می‌توان با لحاظ کردن تمهیداتی نظیر سایه‌اندازی بر روی پنجره‌ها، سرمایش تبخیری، بالا بردن دمای هوای داخلی در زمستان، استفاده از انرژی غیرفعال خورشیدی، محافظت از ساختمان در برابر بادهای مزاحم و...، این محدوده آسایش را گسترش داد (شکل ۹).

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

Downloaded from necjournals.ir at 14:32 +0430 on Sunday September 5th 2021



شکل ۹. نمودار سایکرومتریک شهر تهران (نگارندگان، از نرم‌افزار کلایمت کانسالتنت)

برای دستیابی به حداکثر میزان انرژی خورشیدی می‌توان با ایجاد بازشوهای بیشتر در جبهه‌ی جنوبی ساختمان انرژی موردنیاز در زمستان را دریافت کرد ولی باید به این نکته نیز توجه داشت که این بازشوها باید توسط سایه‌بان‌های افقی محافظت شوند به‌طوری‌که در طول تابستان و فصول گرم، کل سطح شیشه‌خور بازشوها سایه داشته باشند. هم‌چنین بهتر است از شیشه‌های دوجداره با کارآیی بالا (Low-E) در جبهه‌های غرب، شرق و شمال استفاده شود؛ اما در جبهه جنوبی می‌توان از شیشه‌های شفاف بهره برد. در این اقلیم استفاده از کولرهای تبخیری جهت بالا بردن رطوبت هوا حائز اهمیت است. همچنین کاربرد مصالح با ظرفیت حرارتی بالا می‌تواند انرژی خورشیدی را در زمستان ذخیره کند و همچنین در تابستان گرمای ذخیره‌شده در طول روز را به محیط خارجی برگرداند. بعلاوه بهتر است با ایجاد فضاهایی نظیر انبار در برابر بادهای نامطلوب و سرد از ساختمان محافظت کرد.

Downloaded from necjournals.ir at 14:32 +0430 on Sunday September 5th 2021

Downloaded from necjournals.ir at 14:32 +0430 on Sunday September 5th 2021

٦. یافته‌های تحقیق

٦-١. بررسی شاخص‌های مؤثر بر طرح اقلیمی ساختمان بلندمرتبه در منطقه ۲۲

با مدل‌سازی انرژی در نرم‌افزار و تحلیل مدل اولیه مشخص می‌گردد که این ساختمان حدود ۲۹۴۶۴/۶ مگابی‌تی‌یو[1] انرژی (۸۶۳۵/۲۲ مگاوات ساعت) مصرف می‌کند (جدول ۱). لازم به توضیح است که میزان انرژی مصرفی فوق مربوط به یک سال است. هم‌چنین مبدأ انرژی یعنی هزینه تولید و انتقال انرژی تا مکان پروژه نیز در نظر گرفته شده است.

جدول ۱. محاسبه میزان انرژی مصرفی مدل اولیه (نگارندگان، از نرم‌افزار ایکوئست)

مبدأ انرژی	تولید و انتقال انرژی	تهویه	سرمایش	گرمایش	روشنایی	
۲۹۴۶۴/۶	۱۲۶۰۶/۶	۱۹۱۳	۲۷۲۱	۰	۱۵۵۲	برق
		۰	۰	۲۱۶۵	۰	گاز طبیعی
		۱۹۱۳	۲۷۲۱	۲۱۶۵	۱۵۵۲	مجموع

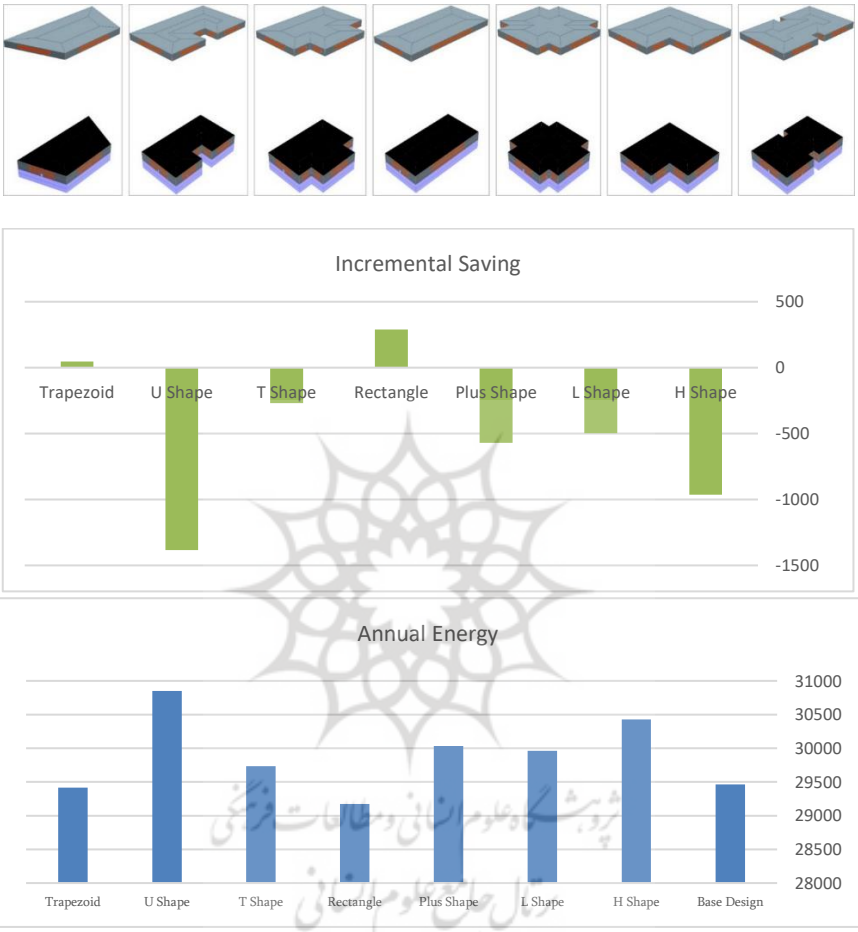
٦-٢. تأثیر فرم بنا

فرم مناسب ساختمان بلند ازنظر دریافت تابش خورشیدی فرمی است که بیشترین میزان تابش دریافتی در فصل زمستان و کم‌ترین را در فصل تابستان داشته باشد و البته با توجه به راهکارهای سامانه‌های غیرفعال، میزان دریافت در فصل زمستان در اولویت است (شفیعی و همکاران، ۱۳۹۲، ۵۹). به‌منظور بررسی تأثیر عامل فرم بر کاهش مصرف انرژی، فرم‌های اچ، ال، صلیبی، مستطیل، تی، یو و ذوزنقه مدل‌سازی شده و تأثیر هر فرم بر میزان مصرف انرژی مشخص شد. با مدل کردن این هفت فرم طراحی، مشاهده شد که فرم مستطیل بهترین فرم در این اقلیم و فرم یو بدترین فرم ازنظر میزان مصرف انرژی است. با تبدیل مربع به مستطیل، ۲۸۹ مگابی‌تی‌یو (۸۴/۶۹ مگاوات ساعت) در مصرف انرژی صرفه‌جویی خواهد شد. لازم به ذکر است با توجه به نتایج تحقیقات پیشین (شفیعی و همکاران، ۱۳۹۲ و اکبری، ۱۳۹۰)، بسیاری از فرم‌های متداول یا نامتداول اما نامطلوب به لحاظ میزان مصرف انرژی حذف شدند.

---

۱. واحد حرارتی بریتانیا (Mbtu)

Downloaded from necjournals.ir at 14:32 +0430 on Sunday September 5th 2021



شکل ۱۰. مقایسه میزان انرژی مصرفی فرم‌های هفتگانه نسبت به فرم پایه و میزان صرفه‌جویی مصرف انرژی

۳-۶. تأثیر ابعاد و مدل پنجره‌ها

برای مشخص شدن تأثیر ابعاد و مدل پنجره‌ها، ۳ حالت زیر در نظر گرفته شده است. در هریک از این سه حالت، مدل پنجره برای هر ۴ جهت یکسان در نظر گرفته شده است. از آن‌جاکه هدف، اولویت‌بندی شاخص‌هاست، از گزینه‌های متعدد ترکیب این حالات با جهت پنجره (که ۵۴ ترکیب خواهد شد) صرف‌نظر شده است.

Downloaded from necjournals.ir at 14:32 +0430 on Sunday September 5th 2021

- حالت اول : پنجره مربع به ابعاد ۱۵۰*۱۵۰
- حالت دوم : پنجره افقی به ابعاد ۱۲۰*۱۸۰
- حالت سوم : پنجره عمودی به ابعاد ۱۸۰*۱۲۰

جدول ۲ نشان می‌دهد استفاده از پنجره‌های افقی در این اقلیم مناسب‌تر است. بااین‌حال، ابعاد آن‌ها با توجه به طرح و نمای بنا می‌تواند متغیر باشد. با تغییر ابعاد و فرم پنجره ۱۵۲ مگابی‌تی‌یو علاوه بر ۲۸۹ مگابی‌تی‌یو مربوط به تغییر فرم ساختمان و جمعاً ۴۴۱ مگابی‌تی‌یو (۱۲۹/۲۴ مگاوات ساعت) صرفه‌جویی حاصل شده است. در مدل‌سازی نرم‌افزار، انرژی مصرفی ساختمان بدون احتساب هزینه تولید و انتقال انرژی،[1] انرژی مصرفی جهت روشنایی،[2] انرژی مصرفی جهت سیستم‌های مکانیکی[3] و میزان اوج مصرف انرژی[4] نیز مشخص شده است؛ با این حال ازآن‌جاکه هدف پژوهش بررسی تأثیر شاخص‌های طراحی بر میزان کاهش مصرف انرژی است، از این موارد صرف‌نظر شده و تنها به تحلیل مبدأ انرژی[5] پرداخته شده است.

جدول ۲. محاسبه میزان انرژی مصرفی برای سه مدل کلی بازشو (نگارندگان، از نرم‌افزار ایکوئست)

مدل بازشو	۱۵۰*۱۵۰	۱۸۰*۱۲۰	۱۲۰*۱۸۰
انرژی مصرفی سالانه	۲۹/۱۰۴	۲۹/۰۲۴	۲۹/۱۳۳
میزان صرفه‌جویی انرژی	۷۲	۱۵۲	۴۲
درصد صرفه‌جویی	۰/۲۰(۰٪)	۰/۴۳(۱٪)	۰/۱۲(۰٪)

٤-٦. تأثیر نسبت سطوح بازشوها در اضلاع مختلف ساختمان

مطابق مطالعات اقلیمی، بهتر است جبهه جنوبی ساختمان بیشترین سطح بازشو و اضلاع شرقی و غربی کمترین سطح بازشو را در این اقلیم داشته باشد. بر این مبنا برای مقایسه نسبت بازشوها در جبهه‌های مختلف ساختمان، حالت‌های متعددی در نظر گرفته شد که در آنها ضلع جنوبی بیش‌ترین سطح و اضلاع غربی و شرقی کم‌ترین سطح بازشو را دارا بودند. بررسی این حالات نشان داد که در سطوح بیش از ۳۰٪ برای ضلع جنوبی و بیش از

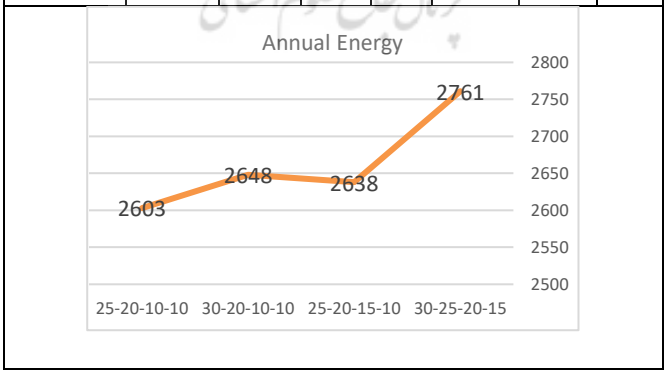
1 Site Energy
2 Lighting
3 HVAC Energy
4 Peak
5 Source Energy

Downloaded from necjournals.ir at 14:32 +0430 on Sunday September 5th 2021

۲۰٪ برای اضلاع شرقی و غربی، مقادیر مصرف انرژی با افزایش زیادی همراه است. لذا ۴ گزینه از ترکیب درصد بهینه سطوح در اضلاع چهارگانه ساختمان به عنوان حالت‌های بهینه برگزیده شد که بین ۱۰ تا ۳۰ درصد از سطح هریک از جبهه‌های ساختمان را می‌پوشانند. ارقام جدول ۳ نشان می‌دهد که حالت ۴، ۲، ۳ و ۱ به ترتیب کم‌ترین تا بیش‌ترین میزان مصرف انرژی را دارند. هم‌چنین ملاحظه می‌شود که هرچه نسبت بازشوها در جبهه‌های شرقی و غربی کمتر باشد، مصرف انرژی به‌طور چشم‌گیری کاهش می‌یابد، بنابراین حالت چهارم بهینه است. به‌این‌ترتیب طراحی ساختمان بایستی به‌گونه‌ای صورت گیرد که اضلاع شرقی و غربی کم‌ترین سطح بازشو را داشته باشند. با تغییرات ایجادشده ۲۹۹۴ مگابی‌تی‌یو مصرف انرژی کاهش یافته و جمع این مقدار به ۳۴۳۴ مگابی‌تی‌یو (۱۰۰۶/۴ مگاوات ساعت) خواهد رسید.

جدول ۳. مقادیر میزان انرژی مصرفی در چهار حالت بهینه سطوح بازشوها در اضلاع مختلف ساختمان

ردیف	ضلع جنوبی	ضلع شمالی	ضلع شرقی	ضلع غربی	میزان کاهش مصرف	مصرف انرژی کل	درصد صرفه‌جویی انرژی
					Mwh	Mwh	
۱	۳۰ ٪	۲۵ ٪	۲۰ ٪	۱۵ ٪	۱۴۱۰	۲۷۶۱	۵٪
۲	۲۵ ٪	۲۰ ٪	۱۵ ٪	۱۰ ٪	۲۶۴۳	۲۶۳۸	۹٪
۳	۳۰ ٪	۲۰ ٪	۱۰ ٪	۱۰ ٪	۲۵۴۴	۲۶۴۸	۹٪
۴	۲۵ ٪	۲۰ ٪	۱۰ ٪	۱۰ ٪	۲۹۹۴	۲۶۰۳	۱۰٪



Downloaded from necjournals.ir at 14:32 +0430 on Sunday September 5th 2021

۵-٦. تأثیر سایه‌بان‌ها

مطابق با پیوست ۱۰ از مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان و بر اساس داده‌های ایستگاه مهرآباد، در شهر تهران اضلاع شمالی و غربی ساختمان‌ها نیاز به سایه‌بان عمودی و اضلاع شرقی و جنوبی نیاز به سایه‌بان افقی دارند. جهت طراحی سایه‌بان مؤثر، عمق، عرض و زاویه سایه‌بان بسیار حائز اهمیت است؛ بااین‌حال از آن‌جا که هدف پژوهش، بررسی داده‌های نرم‌افزاری است، چهار حالت از عمق سایه‌بان‌های جنوبی، شمالی، شرقی و غربی با ثابت نگه داشتن عرض و زاویه (۹۰ درجه) فرض شده تا بتوان داده‌های حاصل را با یکدیگر مقایسه کرد. عرض سایه‌بان افقی مطابق با عرض پنجره و ارتفاع سایه‌بان عمودی مطابق با ارتفاع پنجره در نظر گرفته شده است. در حقیقت هدف، مقایسه عمق سایه‌بان و نه عرض و زاویه آن است. به‌علاوه در روش SD در نرم‌افزار ایکوئست که این پژوهش از آن بهره برده است، زاویه سایه‌بان ثابت در نظر گرفته می‌شود. جهت محاسبه محدوده عمق سایه‌بان، از روش مذکور در کتاب اقلیم و معماری (کسمایی، ۱۳۸۴، ۵۳) استفاده شده تا با تغییر این مقادیر، نتایج به‌دست‌آمده مورد مقایسه قرار گیرند.

$$D = \frac{h\,Cos\,(Z+N)}{\tan\beta}$$

طبق محاسبات انجام گرفته پنجره‌های ضلع شمالی نیاز به سایه‌بان‌هایی به عمق ۱۴۰ سانتیمتر، ضلع جنوبی ۵۰ سانتیمتر، ضلع شرقی ۴۰ سانتیمتر و ضلع غربی ۱۵۰ سانتیمتر دارند. جدول ۴، چهار حالت فرض را معرفی می‌کند:

جدول ۴: چهار حالت از عمق سایه‌بان‌ها در مدل موردمطالعه (نگارندگان)

	ترکیب ۱: عمق (cm)	ترکیب ۲: عمق (cm)	ترکیب ۳: عمق (cm)	ترکیب ۴: عمق (cm)
ضلع جنوبی (افقی)	۵۰	۱۰۰	۵۰	۱۵۰
ضلع شمالی (عمودی)	۱۴۰	۱۵۰	۱۰۰	۱۵۰
ضلع شرقی (افقی)	۴۰	۱۰۰	۵۰	۱۵۰
ضلع غربی (عمودی)	۱۵۰	۱۵۰	۱۰۰	۱۵۰

باتوجه به جدول ۵ ملاحظه می‌شود که با دو برابر کردن عمق سایه‌بان‌های افقی، بازدهی سایه‌بان‌ها بیشتر شده است و اگر این مقدار بیشتر شود تأثیر زیادی نخواهد داشت، بنابراین حالت دوم بهینه است.

Downloaded from necjournals.ir at 14:32 +0430 on Sunday September 5th 2021

با طراحی سایه‌بان مناسب برای پنجره‌ها ۱۱۹۵ مگابی‌تی‌یو صرفه‌جویی خواهد شد که جمع این مقدار به ۴۶۳۰ مگابی‌تی‌یو (۱۳۵۶/۹۱ مگاوات ساعت) می‌رسد.

جدول ۵. محاسبه میزان مصرف انرژی در عمق مختلف سایه‌بان‌ها (نگارندگان، از نرم‌افزار ایکوئست)

عمق سایه‌بان‌ها	۵۰*۱۴۰*۴۰*۱۵۰	۱۰۰*۱۵۰*۱۰۰*۱۵۰	۵۰*۱۰۰*۵۰*۱۰۰	۱۵۰*۱۵۰*۱۵۰*۱۵۰
انرژی مصرفی سالانه	۲۵۱۸۸	۲۴۸۳۵	۲۵۱۷۸	۲۴۸۷۹
میزان صرفه‌جویی انرژی	۸۴۳	۱۱۹۵	۸۵۲	۱۱۵۱
مجموع صرفه‌جویی انرژی	۴۲۷۷	۴۶۳۰	۴۲۸۶	۴۵۸۶
درصد صرفه‌جویی کل	۱۱/۷۶ (۱۴٪)	۱۲/۷۵ (۱۵٪)	۱۱/۷۸ (۱۴٪)	۱۲/۶۳ (۱۵٪)

۶-۶. جهت چرخش ساختمان

برای بررسی جهت چرخش ساختمان ۴ حالت در نظر گرفته شده است. در اولین حالت ساختمان ۲۲/۵ درجه به سمت جنوب شرقی چرخیده است و در حالت دوم این چرخش به ۴۵ درجه می‌رسد؛ در حالت سوم ۲۲/۵ درجه چرخش به سمت جنوب غربی و در حالت چهارم ۴۵ درجه به سمت جنوب غربی است. با توجه به جدول ۶ و ازآن‌جاکه ساختمان موردنظر در هر چهار ضلع خود دارای بازشو است، ملاحظه می‌گردد که هرچه ساختمان چرخش بیشتری به سمت شرق یا غرب داشته باشد، انرژی بیشتری مصرف خواهد کرد. درنتیجه بهترین جهت قرارگیری، کشیدگی شرقی غربی است.

جدول ۶. مقایسه میزان مصرف انرژی در چهار حالت زاویه چرخش بنا (نگارندگان، از نرم‌افزار ایکوئست)

میزان و جهت چرخش	۲۲/۵ درجه جنوب شرقی	۴۵ درجه جنوب شرقی	۲۲/۵ درجه جنوب غربی	۴۵ درجه جنوب غربی
انرژی مصرفی سالانه	۲۵۰۸۰	۲۵۶۳۵	۲۵۰۹۰	۲۵۶۳۱
میزان صرفه‌جویی انرژی	-۲۴۵	-۸۰۰	-۲۵۵	-۷۹۷
مجموع صرفه‌جویی انرژی	۴۳۸۵	۳۸۳۰	۴۳۷۵	۳۸۳۳
درصد صرفه‌جویی کل	۱۲/۰۶ (۱۵٪)	۱۰/۵۰ (۱۳٪)	۱۲/۰۳ (۱۵٪)	۱۰/۵۱ (۱۳٪)

Downloaded from necjournals.ir at 14:32 +0430 on Sunday September 5th 2021

۶-۷. تأثیر عایق حرارتی در بام

چنانچه ذکر گردید، مدل اولیه فاقد عایق حرارتی در بام و دیوارهاست. برای بررسی تأثیر عایق حرارتی در بام، ضخامت‌های مختلفی از عایق پلی یورتان به کار رفته و با یکدیگر مقایسه شدند. لازم به توضیح است که برای این منظور از عایق پلی‌استایرن نیز می‌توان استفاده کرد؛ اما ازآن‌جاکه پلی یورتان به دلیل وجود خلل و فرج عایق حرارتی مناسب‌تری است، این نوع عایق به کار گرفته شد. با بررسی جدول ۷ مشخص شد هرچه ضخامت عایق بیشتر باشد مصرف انرژی کمتر خواهد شد ولی این تغییرات محسوس نیست. ازآن‌جاکه با افزایش ضخامت عایق، ضخامت بام نیز افزایش می‌یابد؛ استفاده از عایق‌های با ضخامت بالا صرفه اقتصادی نخواهد داشت. بنابراین عایق حرارتی با ضخامت ۵ سانتی‌متر کاراتر است. با استفاده از عایق حرارتی در بام ۷۷۴ مگابی‌تی‌یو صرفه‌جویی داشته و با رعایت کلیه موارد فوق ۵۴۰۴ مگابی‌تی‌یو (۱۵۸۳/۷۵ مگاوات ساعت) صرفه‌جویی در مصرف انرژی صورت خواهد گرفت. در این حالت، بام به همراه عایق دارای ضریب هدایت حرارتی ۰/۰۶۹ $btu/h.ft^2.°F$ است.

جدول ۷. مقایسه میزان مصرف انرژی در پنج ضخامت متفاوت عایق حرارتی بام (نگارندگان، از نرم‌افزار ایکوئست)

ضخامت عایق حرارتی بام	۵	۷	۱۰	۱۲	۱۵
انرژی مصرفی سالانه	۲۴۰۶۱	۲۴۰۴۰	۲۳۹۹۹	۲۳۹۷۲	۲۳۹۵۲
میزان صرفه‌جویی انرژی	۷۷۴	۷۹۵	۸۳۶	۸۶۳	۸۸۳
مجموع صرفه‌جویی انرژی	۵۴۰۴	۵۴۲۵	۵۴۶۵	۵۴۹۲	۵۵۱۲
درصد صرفه‌جویی کل	۱۴/۹۲ (۱۸٪)	۱۴/۹۸ (۱۸٪)	۱۵/۱۰ (۱۸٪)	۱۵/۱۷ (۱۸٪)	۱۵/۲۳ (۱۸٪)

۶-۸. تأثیر عایق حرارتی در دیوارهای خارجی

داده‌های حاصل از مقایسه تأثیر عایق حرارتی در دیوارهای خارجی (جدول ۸) شباهت زیادی به تأثیر عایق حرارتی در بام دارد. بنابراین برای دیوارهای خارجی نیز از عایق حرارتی با ضخامت ۴ سانتی‌متر استفاده خواهد شد که به همراه سازه بتن بام دارای ضریب هدایت حرارتی ۰/۰۴۸ $btu/h.ft^2.°F$ است.

Downloaded from necjournals.ir at 14:32 +0430 on Sunday September 5th 2021

با کاربرد عایق حرارتی در دیوارهای خارجی ۷۳۲ مگابی‌تی‌یو صرفه‌جویی شده و جمع این مقدار به ۶۱۳۵ مگابی‌تی‌یو (۱۷۹۷/۹۹ مگاوات ساعت) می‌رسد.

جدول ۸. مقایسه میزان انرژی مصرفی در پنج ضخامت متفاوت عایق حرارتی دیوارهای خارجی (نگارندگان، از نرم‌افزار ایکوئست)

ضخامت عایق حرارتی دیوار	۳	۴	۵	۷
انرژی مصرفی سالانه	۲۳۳۸۹	۲۳۳۲۹	۲۳۲۸۱	۲۳۲۰۷
میزان صرفه‌جویی انرژی	۶۷۲	۷۳۲	۷۸۰	۸۵۳
مجموع صرفه‌جویی انرژی	۶۰۷۶	۶۱۳۵	۶۱۸۴	۶۲۵۷
درصد صرفه‌جویی کل	۱۶/۸۱ (۲۰٪)	۱۶/۹۸ (۲۱٪)	۱۷/۱۲ (۲۱٪)	۱۷/۳۲ (۲۱٪)

۹-٦. تأثیر تعداد جداره و جنس شیشه پنجره‌ها

در تحلیل اقلیمی ذکر گردید که در این اقلیم استفاده از پنجره‌های ۲ جداره با کارآیی بالا (Low-E) الزامی است. طبق محاسبات نرم‌افزار (جدول ۹) با تغییر پنجره‌ها از تک جداره به دوجداره و پر کردن بین جداره‌ها با گاز آرگون و کاربرد فریم فایبرگلاس به‌جای فریم آلومینیومی، مصرف انرژی به میزان ۱۳۳۳ مگابی‌تی‌یو کاهش می‌یابد. ضریب هدایت حرارتی شیشه دوجداره در حالت بهینه، ۰/۲۷۰ $btu/h.ft^2.°F$ است.

جدول ۹. محاسبه میزان انرژی مصرفی با دوجداره کردن پنجره‌ها و تغییر نوع جنس شیشه و قاب (نگارندگان، از نرم‌افزار ایکوئست)

نوع شیشه پنجره‌ها	انرژی مصرفی سالانه	میزان صرفه‌جویی انرژی	مجموع صرفه‌جویی انرژی	درصد صرفه‌جویی کل
Window Glass Type EEM	۲۱۹۹۶	۱۳۳۳	۷۴۶۹	۲۰/۷۳ (۲۵٪)

Downloaded from necjournals.ir at 14:32 +0430 on Sunday September 5th 2021

مقایسه شاخص‌های تحقیق به لحاظ میزان و درصد صرفه‌جویی انرژی در جدول ۱۰ ارایه شده است.

جدول ۱۰. تأثیر شاخص‌های طراحی در میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی به ترتیب اولویت

اولویت	عامل مؤثر	میزان صرفه‌جویی انرژی		درصد صرفه‌جویی عامل از مصرف کل
		Mbtu	Mwh	
۱	کاهش سطوح بازشو در اضلاع شرقی و غربی و قراردادن بیشترین سطوح بازشو در ضلع جنوبی	۲۹۹۴	۸۷۷/۴۵	۱۰٪
۲	کاربرد شیشه با کارآیی بالا (Low-E)	۱۳۳۳	۳۹۰/۶۶	۵٪
۳	کاربرد سایه‌بان‌های مؤثر جهت سایه‌اندازی بر روی پنجره‌ها	۱۱۹۵	۳۵۰/۲۱	۴٪
۴	کاربرد عایق حرارتی با ضخامت مناسب در بام	۷۷۴	۲۲۶/۸۳	۳٪
۵	کاربرد عایق حرارتی با ضخامت مناسب در دیوارهای خارجی	۷۳۲	۲۱۴/۵۲	۲٪
۶	فرم و جهت‌گیری مناسب ساختمان	۲۸۹	۸۴/۶۹	۱٪
۷	طراحی فرم و شکل مناسب بازشوها	۱۵۲	۴۴/۵۴	۱٪
جمع کل		۷۴۶۹	۲۱۸۸/۹۴	۲۶٪

همان‌طور که در جدول ۱۱ نشان داده شده است، با بررسی شاخص‌های هفتگانه تحقیق، دو حالت بیشینه و کمینه میزان مصرف انرژی در دو راهبرد طراحی متفاوت از میان حالت‌های فرض ارایه شده است. بر این اساس، ترکیب مناسب بهره‌گیری از شاخص‌ها قابل مشاهده و نتیجه‌گیری است.

Downloaded from necjournals.ir at 14:32 +0430 on Sunday September 5th 2021

جدول ۱۱. مقایسه شاخص‌های تحقیق در حالت بیشینه و کمینه میزان مصرف انرژی

ردیف	عامل مؤثر	ترکیب بیشینه مصرف	ترکیب کمینه مصرف	تفاوت مصرف (Mbtu)
۱	سطوح بازشو	(W)۱۵-(E)۲۰-(N)۲۵-(S)۳۰	(W)۱۰-(E)۱۰-(N)۲۰-(S)۲۵	۱۵۸۴
۲	جنس شیشه	تک‌جداره با شیشه معمولی	دوجداره با کارآیی بالا (Low-E)	۷۴۱۹
۳	سایه‌بان	(S)۵۰-(N)۱۴۰-(E)۴۰-(W)۱۵۰	(S)۱۰۰-(N)۱۵۰-(E)۱۰۰-(W)۱۵۰	۳۵۳
۴	عایق حرارتی بام	پلی استایرن به ضخامت ۱۵ سانتی‌متر	پلی استایرن به ضخامت ۵ سانتی‌متر	۱۰۹
۵	عایق حرارتی دیوار خارجی	پلی استایرن به ضخامت ۳ سانتی‌متر	پلی استایرن به ضخامت ۴ سانتی‌متر	۱۸۲
۶	فرم بنا	مستطیل	U شکل	۱۶۷۳
۷	فرم و شکل بازشو	پنجره عمودی به ابعاد ۱۸۰*۱۲۰	پنجره افقی به ابعاد ۱۲۰*۱۸۰	۱۰۹

۷. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

این تحقیق با هدف شناخت و اولویت‌سنجی تأثیر شاخص‌های مهم مؤثر بر میزان مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی بلندمرتبه شهر تهران، شرایط گوناگون حاصل از تغییر شاخص‌ها را به کمک شبیه‌سازی در نرم‌افزار ایکوئست مورد آزمون قرار داد و تأثیر همزمان به کارگیری آن‌ها بر میزان مصرف انرژی در مراحل مختلف مورد مقایسه و تحلیل قرار گرفت. تحلیل داده‌ها نشان داد با استفاده از روش‌های ساده مورد تأکید در طراحی اقلیمی، می‌توان گام مهمی در بهینه‌سازی مصرف انرژی برداشت؛ به‌طوری‌که در پژوهش حاضر، میزان انرژی مصرفی از ۲۹۴۶۴.۶ مگابی‌تی‌یو (۸۶۳۵/۲۲ مگاوات ساعت) در مدل اولیه به ۲۱۹۹۶ مگابی‌تی‌یو (۶۴۴۶/۳۹ مگاوات ساعت) در مدل تصحیح‌شده یعنی به مقدار ۷۴۶۹ مگابی‌تی‌یو (۲۱۸۸/۹۴ مگاوات ساعت) کاهش یافت. این میزان صرفه‌جویی بدون در نظر گرفتن سیستم‌های مکانیکی است و در صورت طراحی سیستم‌های مکانیکی بهینه، میزان مصرف انرژی بازهم کمتر خواهد شد.

در طراحی ساختمان‌های بلند در نظر گرفتن مسائلی مانند ضوابط و مقررات بالادستی و همچنین توجه به زیبایی ساختمان نیز حائز اهمیت است؛ برای مثال جهت انتخاب فرم بهینه ساختمان بلند باید عوامل اقلیمی و معماری و شهرسازی را نیز مدنظر قرار داد. ممکن است عملکرد فرم به لحاظ انرژی خورشیدی و

Downloaded from necjournals.ir at 14:32 +0430 on Sunday September 5th 2021

باد متفاوت باشد. بااین‌وجود می‌توان به قطعیت گفت در منطقه موردمطالعه با رعایت مواردی نظیر قراردادن بیش‌ترین سطح بازشو در جبهه‌ی جنوبی و کمترین سطح بازشو در جبهه‌های شرقی و غربی، استفاده از پنجره‌های دوجداره با کارآیی بالا که به‌وسیله‌ی سایه‌بان‌های مؤثر محافظت شده‌اند، استفاده از عایق حرارتی با ضخامت مناسب در بام و دیوارهای خارجی، استفاده از فرم و جهت‌گیری مناسب ساختمان و همچنین استفاده از پنجره‌های با شکل و ابعاد مناسب، می‌توان به طرحی دست یافت که مصرف انرژی کمتری نسبت به سایر ساختمان‌ها داشته باشد. مقایسه گزینه‌های فرم بنا نشان می‌دهد که عواملی نظیر افزایش سطح پوسته خارجی فرم ساختمان و سایه‌اندازی بنا بر روی خود موجب مصرف بیش‌تر انرژی جهت گرمایش ساختمان خواهد شد. هم‌چنین مجموع مصرف انرژی سالانه در احجام ساده کمتر از احجام مرکب است؛ به طوری که احجام H و پس از آن (+) بیش‌ترین مصرف انرژی و مستطیل و پس از آن ذوزنقه با فشردگی نسبی بیش‌تر در جهت شرقی غربی پایین‌ترین مصرف انرژی را دارند. هم‌چنین براساس نتایج، ساختمان‌ها در جهت‌گیری شرقی غربی، مناسب‌ترین رفتار حرارتی را دارند. اولویت‌سنجی داده‌های حاصل نشان داد که درنظر داشتن نسبت مناسب سطوح بازشو با ۱۰ درصد صرفه جویی از مصرف کل انرژی دارای بیش‌ترین تأثیر بوده و طراحی فرم مناسب و جهت‌گیری مطلوب ساختمان و نیز طراحی فرم و شکل مناسب بازشوها با ۱ درصد صرفه‌جویی، کم‌ترین اثرگذاری را خواهد داشت.

مقایسه نتایج تحقیق با تحقیق دیگری که مصرف سالانه انرژی را برای مدارس تهران محاسبه کرده است (قنبران و حسین پور، ۱۳۹۵)، تفاوت اولویت شاخصها در ساختمانهای بلندمرتبه و کوتاه مرتبه را مشخص می‌کند. زیرا عایق بام در اولویت بالاتری نسبت به سطوح بازشو و جنس شیشه قرار دارد. از آن‌جاکه در ساختمان بلندمرتبه سطح بیش‌تری از جداره‌های خارجی نسبت به بام در معرض عوامل آب و هوایی قرار دارند، لذا جنس شیشه پنجره ها، سطوح شیشه و سایبان تأثیر بسیار بیشتری در صرفه جویی انرژی خواهد داشت. همچنین مقایسه نتایج با تحقیق دیگری برای ساختمان‌های مسکونی میان مرتبه اقلیم گرم و خشک (عرب انواری و فیاض، ۱۳۹۸)، اهمیت بیشتر مولفه‌های مرتبط با دیوارها نسبت به بام را نشان می‌دهد. به این معنی که با افزایش ارتفاع ساختمان، سطوح بازشو و جنس شیشه از اهمیت نسبی بالاتری برخوردارند. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت از مهم‌ترین مؤلفه‌ها در ساخت و ساز بلندمرتبه که حجم زیادی از مصرف مواد و مصالح و هم‌چنین افزایش بار مرده را به دنبال دارد، جداره خارجی است که ویژگی‌های فیزیکی، رفتارها و واکنش‌های محیطی- حرارتی و میزان مصرف انرژی را

Downloaded from necjournals.ir at 14:32 +0430 on Sunday September 5th 2021

تحت تأثیر قرار می‌دهد. در راستای تکمیل مطالعات پیشنهاد می‌شود مدل ساختمان بلند در الگوهای بافت شهری نیز مورد بررسی قرار گیرد. زیرا در صورت عدم کنترل و هماهنگی ارتفاع ابنیه بلندمرتبه و عدم توجه به عامل مکانیابی و فاصله، میزان دسترسی ساختمانها به نور خورشید به عنوان یکی از منابع تجدیدپذیر انرژی و شکل و میزان سایه‌اندازی ساختمان‌ها بر یکدیگر تغییر می‌کند. به تبع همین تغییر، ساختمان‌ها انرژی بیش‌تری را صرف تأمین روشنایی و گرم کردن فضای داخلی می‌کنند. نتایج این مطالعه می‌تواند اطلاعات بیش‌تری را برای طراحی فرم، جهت‌یابی و خصوصیات پوسته خارجی ساختمان‌های بلندمرتبه مسکونی به معماران و طراحان ساختمان ارایه نماید. هم‌چنین، ساختمان‌های موجود نیز می‌توانند مطابق دستورالعمل نتایج تحقیق، بازطراحی و بهینه‌سازی گردند. با توجه به شرایط آب و هوایی نسبتاً مشابه، انتظار می‌رود که نتایج تحقیق حاضر برای ساختمان‌های بلند سایر مناطق در تهران نیز تعمیم‌پذیر باشد.

منابع

اکبری، حسین. ۱۳۹۰. طراحی ساختمان اداری با صرفه جویی انرژی با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه ساز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر تهران.

براتی، ناصر و سردره، علی‌اکبر. ۱۳۹۲. تأثیر شاخص‌های فرم شهری بر میزان استفاده از اتومبیل شخصی و مصرف انرژی در مناطق شهر تهران. باغ نظر، ۱۰: ۱۲-۳.

حافظی، محمدرضا؛ تحصیل‌دوست، محمد؛ زمردیان، زهراسادات و نصیری، یاسمین، ۱۳۹۸، تحلیل پارامتریک انرژی در مراحل اولیه طراحی ساختمان‌های اداری بلندمرتبه در شهر تهران، فصلنامه پژوهش‌های سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی، ۵(۱۴)، صص ۱۶۷-۱۴۳.

رفیعیان، مجتبی؛ فتح جلالی، آرمان؛ داداش‌پور، هاشم، ۱۳۹۳، بررسی و امکان‌سنجی تأثیر فرم و تراکم بلوک مسکونی بر مصرف انرژی، فصلنامه آرمان‌شهر، ۴ (۶): ۱۱۶-۱۰۷.

سلیقه، الهام و سعادت جو، پریا، ۱۳۹۹، بررسی نقش تناسبات حیاط مرکزی بر سرمایش ایستای ساختمان در اقلیم گرم و مرطوب (نمونه موردی: ساختمان‌های یک‌مرتبه شهر بندرعباس)، فصلنامه نقش جهان، ۱۰(۲): ۱۵۲-۱۳۷.

شفیعی، مریم؛ فیاض، ریما و حیدری، شاهین، ۱۳۹۲، فرم مناسب ساختمان بلند برای دریافت انرژی تابشی در تهران، نشریه انرژی ایران، دوره ۱۶، شماره ۴، صص ۶۰-۴۷.

شهبازی، داریوش، ۱۳۹۴، تهران‌نامه (دانشنامه تاریخی جغرافیایی تهران)، تهران: داریوش شهبازی.

Downloaded from necjournals.ir at 14:32 +0430 on Sunday September 5th 2021

ضرغامی، اسماعیل؛ جهانبخش، حیدر و طحانیان، امیرحسین، ۱۳۹۴، بررسی رابطه فرم ساختمان‌های مسکونی با میزان مصرف انرژی آن‌ها در اقلیم گرم و خشک شهر سمنان. نشریه انرژی ایران، ۱۸(۴): ۷۶-۶۳.

غیایی، محمدمهدی و حسین‌پور حجار، علی، ۱۳۹۳، رابطه مصرف انرژی و نسبت بازشو در ساختمان‌های بلند مرتبه اداری، نشریه معماری و شهر پایدار، ۲(۱)، صص ۶۹-۵۷.

فرخی، مریم؛ ایزدی، محمدسعید؛ کریمی مشاور، مهرداد، ۱۳۹۷، تحلیل کارایی انرژی در مدل‌های بافت شهری اقلیم گرم و خشک، نمونه موردی: شهر اصفهان، فصلنامه مطالعات معماری ایران، ۷(۱۳)، صص ۱۴۸-۱۲۷.

قدسی، مهرنوش؛ دانشجو، خسرو؛ مفیدی شمیرانی، سیدمجید، ۱۳۹۷، تبیین شاخص‌های هندسی مؤثر بر رفتار حرارتی ساختمان‌های مسکونی در اقلیم گرم و خشک (نمونه موردی: یزد)، فصلنامه نقش جهان، ۸(۳): ۱۴۸-۱۴۳.

قنبران، عبدالحمید و حسین‌پور، محمدامین، ۱۳۹۵، بررسی عوامل مؤثر در بهره‌وری انرژی در فضاهای آموزشی در اقلیم شهر تهران، نقش جهان، ۳(۶)، صص ۶۲-۵۱.

کسمایی، مرتضی، ۱۳۹۲، اقلیم و معماری، اصفهان: نشر خاک.

گلابچی، محمود، ۱۳۸۰، معیارهایی برای طراحی و ساخت بناهای بلند، فصلنامه هنرهای زیبا، دوره ۹، صص ۶۲-۵۲.

مهدوی‌نیا، مجتبی و خیاط، ایمان، ۱۳۹۷، بررسی تحلیلی تأثیر نوع و ضخامت عایقکاری جداره‌های خارجی در بناهای بلندمرتبه اداری در کلان شهر تهران، نشریه نامه معماری و شهرسازی، شماره ۲۰، صص ۱۶۰-۱۴۷.

Albatayneh, Aiman, Alterman, Dariusz, Page, Adrian & Moghtaderi, Behdad. 2018. The Significance of the Orientation on the Overall buildings Thermal Performance-Case Study in Australia. CUE2018-Applied Energy Symposium and Forum 2018: Low carbon cities and urban energy systems, 5-7 June 2018, Shanghai, China, Energy Procedia. 152: 372-377.

Al-Obaidi KM, et.al. 2014. Passive cooling techniques through reflective and radiative roofs in tropical houses in Southeast Asia: A literature review, Frontiers of Architectural Research, Vol. 3, Issue 3, September 2014, pp. 283–297.

Al-Obaidi KM, Ismail, M., Rahman, A.M.A., 2014. Design and performance of a novel innovative roofing system for tropical landed houses. Energy Convers Manage. Vol. 85: 488-504 .

Downloaded from necjournals.ir at 14:32 +0430 on Sunday September 5th 2021

Al-Yasiri, Qudama & Szabo, M´arta. 2021. Incorporation of phase change materials into building envelope for thermal comfort and energy saving: A comprehensive analysis. Journal of Building Engineering, 36, N 102122: 1-23.

Biddulph, M. 2017. Introduction to Residential Layout. Oxford : Elsevier.

Bojic, M. 2017. Energy performance of windows in high-rise residential buildings in Hong Kong. Energy and Buildings, Elsevier Ltd, 34, 71-82.

Butt, Afaq A., de Vries, Samuel B., Loonen, Roel C.G.M. & Jan L.M. Hensen. 2021. Investigating the energy saving potential of thermochromic coatings on building envelopes. *Applied Energy*. 291, N116788 : 1-13.

Cicelsky, A. & Meir, I.A. 2014. Parametric analysis of environmentally responsive strategies for building envelopes specific for hot hyperarid regions, Sustain. Cities Soc. 13: 279–302.

Du, Tiantian, Jansen, Sabine, Turrin, Michela & van den Dobbelsteen, Andy. 2021. Effect of space layouts on the energy performance of office buildings in three climates. *Journal of Building Engineering*, 39, N 102198: 1-14.

Eddy, K., Bradley, N., 2015. Green BIM: successful sustainable design with building information modelling, Wiley Publishing .

Elotefy, H.; Khaled S.S. A., Morghany, E. & Tarek M.F. A., 2015. Energy-efficient Tall buildings design strategies: A holistic approach, International Conference on Technologies and Materials for Renewable Energy, Environment and Sustainability, TMREES15, pp. 1358 – 1369.

Erdem, C., Riffat, S.B., 2015. A state of the art review of innovative glazing technologies. Renew. Sust. Energy. Vol. 41: 695-714 .

Hirsch, James J. (2009). equest introductory tutorial, accessed by http://www.doe2.com/download/equest/eQUESTv-3Overview.pdf

Kalogirou S. & Tassou S. 2019. Energy analysis of buildings employing thermal mass in Cyprus, Renewable Energy, 27: 353-368.

Kim, Soojung, Zadeh, Puyan A., Staub-French, Sheryl, Froese, Thomas & Cavka, Belgin Terim. 2016. International Conference on Sustainable Design, Engineering and Construction. Procedia Engineering, 145: 1424-1431.

Kuzhakova, A.; Kolgashkina, V. & Shilkin, N. 2019. Architectural and engineering solutions for high-rise residential buildings with nearly zero energy balance. International Conference on Sustainability and Climate Change. Pp 1-5.

LEED, 2019, http://www.usgbc.org/leed

Ligade, J., Sebastian, D., & Razban, A. (2019). Challenges of Creating a Verifiable Building Energy Model. ASHRAE Transactions, 125(1), 20–29.

Monteiro, Helena; Freire, Fausto & Soares, Nelson. 2021. Life cycle assessment of a south European house addressing building design options for orientation, window sizing and building shape. Journal of Building Engineering. Volume 39, Article 102276.

Odell, P. R. 2015. The Western European Energy Economy-Challenges and Opportunities. The Stamp Memorial Lecture. Athlone Press, London.

Olgay V. Design with Climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism. New Jersey: Princeton University Press; 1963.

Sadati, Saba; Edwards, Rodger. 2019. Incorporating solar energy sources in low energy buildings in two major cities in Iran, 2018 5th International Conference on Power and Energy Systems Engineering, Energy Procedia, Elsevier ,156,85-89.

Saroglou, T; Isaac A. Meir, I.A.; Theodosiou, T. & Givoni, B. 2017. Towards energy efficient skyscrapers. Energy and Buildings. 149: 1-13.

Sun, Fukang & Yu, Junqi. 2021. Improved energy performance evaluating and ranking approach for office buildings using Simple-normalization, Entropy-based TOPSIS and K-means method. Energy Reports, 7 : 1560–1570.

Taleb HM. 2014. Using passive cooling strategies to improve thermal performance and reduce energy consumption of residential buildings in U.A.E. buildings, Frontiers of Architectural Research, Vol. 3, Issue 2, pp. 154-165.

Tehranmet, 2021, http://www.tehranmet.ir

Wang W, Rivard H, Zmeureanu R. 2006. Floor Shape Optimization for Green Building Design. Adv Eng Inform. 20(4):363-78.

Yang, Liu, Lamb, Joseph, C., & Tsang, C.L. 2018. Energy performance of building envelopes in different climate zones in China. Applied energy, Elsevier Ltd, 85, 800-817.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

Downloaded from necjournals.ir at 14:32 +0430 on Sunday September 5th 2021