رابطه مصرف انرژی و نسبت بازشو در ساختمان‌های بلند مرتبه اداری

محمدمهدی غیایی[۱] و علی حسین‌پور حجار[۲]

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۲/۲۷
تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۰/۱۸

چکیده: با توجه به رشد و گسترش ساختمان‌های بلند مرتبه در ایران و مصرف زیاد انرژی آنها، باید راه‌کارهای کاهش مصرف انرژی در آنها مورد استفاده قرار گیرد. پوسته و اجزاء آن از مهمترین عناصر تأثیر گذار در انرژی مصرفی این ساختمان‌ها هستند. با توجه به این اهمیت، پژوهش حاضربه رابطه نسبت بازشو و انرژی مصرفی در ساختمان‌های بلند مرتبه در شرایط اقلیمی تهران پرداخته است. در این پژوهش، با بهره‌گیری از نرم‌افزار eQuest، مدل تحقیق از لحاظ مصرف انرژی سالانه، شبیه سازی شده است. در این فرآیند، نسبت بازشو در مدل پایه تحقیق، ۱۰۰٪ درنظر گرفته شد و سپس، آزمون‌های تحقیق در نسبت‌های ۸۰٪، ۶۰٪، ۴۰٪ و۲۰٪ هم به صورت کلی و هم به صورت جهت به جهت انجام شد. نتایج آزمون‌های تحقیق نشان داد که نسبت بازشو و انرژی مصرفی سالانه مدل تحقیق، رابطه مستقیمی دارند. به طوری‌که کاهش نسبت بازشو تا ۲۰٪ می‌تواند به میزان ۱۷٪ مصرف انرژی سلانه در مدل پایه تحقیق را کاهش دهد. همچنین نتایج تحقیق نشان داد که میزان تأثیر گذاری نسبت بازشو در جهات مختلف ساختمان در مصرف انرژی با یکدیگر متفاوت است. از این لحاظ، به ترتیب جهات چهارگانه جنوب، شرق، غرب و شمال به ترتیب در اولویت هستند.

واژگان کلیدی: ساختمان بلند مرتبه، انرژی مصرفی، شبیه سازی مصرف انرژی، نسبت بازشو.

Archive of SID

[۱] **استادیار،** دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد امام (ره)، (نویسنده مسئول)،
پست الکترونیکی: Mahdi.ghiaee@gmail.com
[۲] **استادیار،** دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد امام (ره)

www.SID.ir

۱– مقدمه

ساخت بناهای بلند مرتبه از ابتدای شکل گیری تمدن-های بشری تا کنون، توجه انسان را به خود معطوف داشته است. به ویژه در قرن بیستم میلادی مسائلی از قبیل افزایش جمعیت، نیاز به اسکان بیشتر مردم در شهرها، ضرورت استفاده بیشتر از زمین در مراکز پرتراکم شهرها، ضرورت بازسازی و نوسازی در مناطق شهری، تقاضای مردم برای سکونت و یا کار در مراکز شهرها، ضرورت کاهش هزینه‌های ناشی از گسترش افقی شهرها و پیشرفت‌های عظیم تکنولوژیکی جزء عواملی بوده است که، ساخت بناهای بلند را به عنوان یک ضرورت در شهرهای بزرگ جهان مطرح نموده است. اما طی یک قرن گذشته که استفاده از ساختمان‌های بلند با شیوه امروزی در جهان معمول گردیده است، این ساختمان‌ها همواره با مشکلات و نارسایی‌هایی نیز مواجه بوده‌است که از میان آنها می‌توان غفلت از هماهنگی بین ساختمان و طبیعت، آلودگی جدی محیطی و مصرف بیش از حد منابع طبیعی انرژی را نام برد. کن ییِنگ[۱] در پژوهشی با عنوان «طراحی آسمان‌خراش‌های اکولوژیک» این تأثیرات منفی را ناشی از عوامل زیر معرفی می‌داند:

- مصرف زیاد انرژی و منابع تجدیدناپذیر، چه در مرحله ساخت و چه در مرحله بهره‌برداری و حتی تخریب
- استفاده از مصالح بیشتر در سیستم‌های سازه‌ای برای مقاومت در مقابل نیروهای جانبی (خمش، باد و ...)
- استفاده بیشتر از انرژی جهت حمل و نقل افراد و پمپاژ مواد به طبقات بالاتر بر خلاف جاذبه زمین (Yeang, 2007: 411)

از آنجا که ساختمان‌های بلند مرتبه بر اساس ضرورت‌های موجود در جوامع، حضور دائمی خود را به اثبات رسانده‌اند و حضور، رشد و گسترش روزافزون آنها مشاهده می‌شود، لذا لازم است تا با به کارگیری راه-کارها و الگوهای مناسب، اثرات زیان‌بار زیست-محیطی آنها تا حد امکان تعدیل شود. از آن‌جایی که صنعت ساختمان میزان قابل توجهی از انرژی مصرفی در جهان را به خود اختصاص می‌دهد، لذا مباحث صرفه جویی و انرژی- کارایی[۲] با توجه به محدودیت منابع فسیلی در مقیاس ساختمان‌ها و به ویژه سازه‌های بلند مرتبه در حیطه دانش معماری، از حساسیت بسیار زیادی برخوردار است.

این مسأله در کشور خصوصا از زمان حذف یارانه‌ها و آزاد شدن قیمت حامل‌های انرژی، اهمیت بسیار زیادی یافته است. تلاش‌هایی که در کشور در خصوص ساختمان‌های بلند مرتبه صورت گرفته است، عمدتا به صورت ضوابطی کلی در خصوص مکان‌یابی و ویژگی‌های سیمای شهری و حوزه دانش طراحی شهری بوده است و جنبه-های مختلف و مرتبط با این گونه مهم ساختمانی را خصوصا در حیطه مصرف انرژی در بر نمی‌گیرد و نوعی خلاء در شناخت جایگاه معماری به منظور کاهش مصرف انرژی را نمایان می‌سازد. راه‌کارهایی که خصوصا در بخش‌های اجرایی ساختمان در راستای کاهش مصرف انرژی پیش رو قرار دارد، عمدتا راه‌کارهای معمارانه نبوده است و به عنوان عناصر الحاقی در مراحل اجرایی ساختمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده از این عناصر زمانی می‌تواند راه‌گشا و دارای تأثیر مناسبی در پی باشد، که ساختمان بر اساس الگو و ضوابط اقلیمی طراحی شده باشد. آنچه که فقدان آن در مباحث و عرصه‌های معماری و طراحی معماری به خوبی مشهود است.

پژوهش حاضر در نظر دارد، تا با توجه به فقدان ضوابط طراحی اقلیمی در خصوص طراحی ساختمان‌های بلند مرتبه، به ارائه الگوهایی برای طراحی این گونه ساختمانی، با کاربری اداری در پهنه اقلیمی شهر تهران بپردازد و راه‌کارهایی را به طور اخص، در خصوص طراحی بازشو در ساختمان‌های بلند، با فرم‌های با قاعده به منظور کاهش مصرف انرژی ارایه نماید.

۱-۱- پیشینه پژوهشی

پژوهش‌های صورت گرفته در خصوص ویژگی‌های پوسته خارجی ساختمان و مصرف انرژی در گونه ساختمانی بلندمرتبه، هریک جنبه‌هایی را مد نظر قرارداده‌اند و به ندرت پژوهش‌هایی همه جانبه‌گرا دیده می‌شود. در نگاه اول به پژوهش‌های این حوزه آنچه به چشم می‌آید، بررسی اثر یک یا دو جزء از اجزاء پوسته خارجی

Archive of SID
www.SID.ir

ساختمان و بلند مرتبه و رابطه آن با مصرف انرژی است. به طور مثال «بوجیک»[۳] در پژوهش خود اثر محل عایق حرارتی به عنوان یکی از اجزاء پوسته بیرونی ساختمان را بر بارهای سرمایشی ساختمان‌های بلند مرتبه کشور هنگ‌کنگ مورد مطالعه قرار داده است (Bojic, 2002: 347-355). همچنین او در پژوهش دیگر خود در سال ۲۰۰۲ عملکرد حرارتی پنجره در ساختمان‌های بلند مرتبه در کشور هنگ‌کنگ را بررسی نموده است (Bojic et al., 2002: 71-82).

در گام بعدی و مطالعه دقیق‌تر پژوهش‌های مرتبط، برخی از محققین به بررسی شرایط موجود ساختمان‌های بلند مرتبه و ویژگی‌های پوسته خارجی آنها پرداخته‌اند و مصرف انرژی ساختمان‌های مورد مطالعه را با استانداردهای موجود مورد سنجش قرار داده‌اند و نقش پوسته ساختمان را در این مصرف بررسی و به ارائه راه-کارهایی کلی در رابطه با ویژگی‌های پوسته خارجی ساختمان پرداخته‌اند. «یانگ»[۴] و همکاران در سال ۲۰۰۸ تحقیقی با عنوان «عملکرد انرژی پوسته‌های ساختمانی در مناطق مختلف اقلیمی‌چین» انجام داده‌اند. آنها در پژوهش خود در ابتدا نمونه‌های موجودی از ساختمان‌های بلند مرتبه را در شرایط اقلیمی کشور چین انتخاب کرده و میزان مصرف آنها را با استانداردهای موجود کشور چین و استاندارد ASHRAE مورد مقایسه قرار داده‌اند و نقش پوسته ساختمان‌ها را برای کاهش مصرف انرژی ساختمان‌ها و نزدیک نمودن به استانداردهای موجود بیان کرده و راه‌کارهایی کلی ارائه نموده‌اند (Yang et al., 2008: 800-817). در ادامه بررسی پژوهش‌های مرتبط، برخی از پژوهش‌ها نیز سعی کرده‌اند با نگاهی دقیق‌تر به نقش پوسته ساختمانی در بناهای بلند مرتبه و تأثیر ویژگی‌های آن بر مصرف انرژی داشته باشند پژوهش‌هایی که «چانگ»[۵]، «اسکین»[۶] و «یو»[۷] به ترتیب در سال‌های ۲۰۰۵ ، ۲۰۰۸ ، ۲۰۰۸ انجام داده‌اند از این دسته هستند که تا حدی همه جانبه‌گرا تر بوده و در ادامه به طور کامل به آنها پرداخته خواهند شد (Cheung et al., 2005: 37-48)، (Eskin et al., 2008: 763-773) و (Yu et al., 2008: 1536-1546).

آنچه در بررسی پژوهش‌های مرتبط با موضوع به چشم می‌خورد، محدودیت‌های این تحقیقات در حوزه‌های مختلف است که تا حدی از اعتبار آنها می‌کاهد. عموم تحقیقات انجام شده در حوزه پوسته ساختمان‌های بلند مرتبه و رابطه آن با مصرف انرژی که به برخی از آنها اشاره شد، اکثرا در شرایط اقلیمی گرم و مرطوب و خصوصا کشور هنگ‌کنگ انجام شده است که از این دست پژوهش‌ها می‌توان به پژوهش‌های «لام»[۸]، «هیگز»[۹] و «لیونگ»[۱۰] اشاره کرد (Lam, 1993: 157-162)، (Higgs, 1994: 91-95) و (Leung et al., 2005: 147-156). نکته قابل توجه دیگر در پژوهش‌های حاضر آنست که این پژوهش‌ها عموما در خصوص ساختمان‌های بلند مرتبه مسکونی انجام شده است و کاربری غالب با این گونه ساختمانی است. پژوهش‌های «بوجیک» در سال‌های ۲۰۰۱ ، به نقش تأثیر پوسته و محل عایق حرارتی در بارهای سرمایشی ساختمان‌های بلند مرتبه در شرایط اقلیمی هنگ‌کنگ می‌پردازد (Bojic et al., 2001: 569-581). «یو» در سال ۲۰۰۸ «ویژگی‌های طراحی پوسته‌های ساختمان‌های مسکونی در کشور چین» را مورد مطالعه قرار می‌دهد (Yu et al, 2008,1536-1548) و «چانگ» نیز در سال ۲۰۰۵ «طراحی پوسته‌های انرژی کار را برای مجتمع‌های مسکونی بلند مرتبه در هنگ‌کنگ» را موضوع پژوهش خود قرار می‌دهد (Cheung et al., 2005: 76-84).

با توجه به آنکه مصرف انرژی و رابطه آن به نسبت بازشو در ساختمان بلند مرتبه اداری، هدف اصلی پژوهش حاضر است، بررسی در پژوهش‌های مرتبط نشان می‌دهد که عمده پژوهش‌های انجام شده چه پژوهش‌هایی که جزئی بوده و چه آنهایی که تا حدی همه‌جانبه‌گرا هستند، تنها صورتی از اشکال مختلف انرژی مصرفی را مورد مطالعه قرار داده‌اند. به طور مثال «بوجیک» در پژوهش ود در سال‌های ۲۰۰۲، تنها بارهای سرمایشی را ملاک تأثیر اجزاء پوسته بر مصرف انرژی قرار داده است (Bojic et al., 2002: 347-355) همچنین «اسیکن» و «یو» در سال ۲۰۰۸ مبنای محاسباتی خود برای شناخت رابطه اجزء پوسته و مصرف انرژی را بر میزان بارهای

Archive of SID

www.SID.ir

گرمایشی، سرمایشی و مجموع آنها به عنوان انرژی مصرفی قرارداده‌اند (Eskin et al., 2008: 763-773) و (Yu et al. 2008: 1536-1546). که این مسأله نیز در پژوهش «چانگ» نیز که تنها بارهای سرمایشی را ملاک عمل قرار می‌دهد، مشهود است. همچنین نکته مهمی که پژوهش های دیگر به آن نپرداخته و این پژوهش سعی در بررسی آن دارد، اولویت بندی نسبت بازشو بر اساس جهت گیری پوسته ساختمانی و تأثیر آن بر مصرف انرژی است.

۲- روش تحقیق

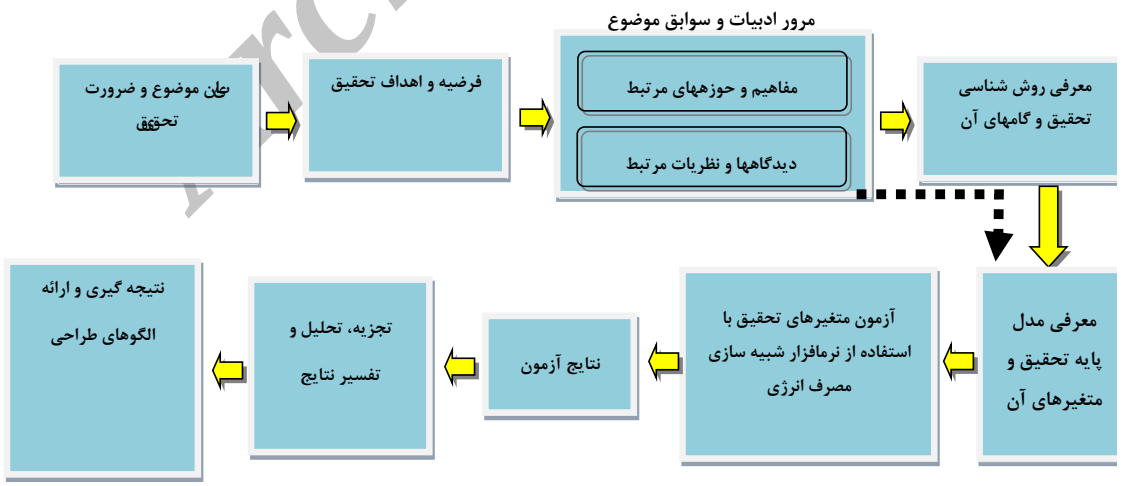
پژوهش حاضر با توجه به نقشه راه پیشنهادی، گام‌های مختلفی را تا حصول نتیجه طی می‌نماید و در هریک از این گام‌ها، راهبردی را مورد استفاده قرار می‌دهد. تحقیق حاضر یک تحقیق کمی است که به دنبال رابطه مصرف انرژی و نسبت بازشو در ساختمان بلند مرتبه اداری است. در این تحقیق که رویکرد توضیحی و همبستگی دارد از راهبردهای تفسیری- تاریخی در گام مرور ادبیات موضوع، شبیه سازی در گام آزمون متغیر و استدلال منطقی و آمار توصیفی در گام تحلیل آزمون متغیر و ارایه نتیجه تحقیق بهره می گیرد.

۱-۲-انرژی و مصرف آن در ساختمان‌های بلند مرتبه

پیشرفت‌های اقتصادی، افزایش جمعیت، جهانی شدن و ارتقاء سطح زندگی درکشورهای در حال توسعه، باعث بهره‌گیری بیشتر از منابع انرژی شده است. آمارهای آژانس بین‌المللی انرژی نشان می‌دهد که در دو دهه اخیر، مصرف انرژی حدودا به میزان ۵۰٪ و نسبت به دهه هفتاد حدود ۷۰٪ افزایش یافته است.

با توجه به روند حاضر پیش‌بینی می‌شود که مصرف انرژی در کشورهای درحال توسعه مانند خاورمیانه تا سال ۲۰۲۰، ۳۲٪ افزایش یابد (Perez- Lombard et al., 2008: 394).

انرژی مصرفی در جهان در حوزه‌های مختلفی که مهم‌ترین آنها عبارتند از صنعت، حمل و نقل و ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرد. آمارها نشان می‌دهد که سهم عمده‌ای از مصرف انرژی مربوط به حوزه ساختمان است. به طوری که حدود ۳۰٪ مصرف انرژی در بخش صنعت، ۲۸٪ در بخش حمل و نقل و ۴۲٪ در بخش ساختمان است (Perez- Lombard et al., 2008: 396). درباره مصرف انرژی در حوزه س اختمان، کاربری ساختمان تأثیر به سزایی در میزان مصرف انرژی دارد. به طور مثال کاربری اداری حدود ۲۰٪ از انرژی مصرفی ساختمان را به خود اختصاص داده است.



شکل۱- روند پیشنهادی تحقیق

Archive of SID
www.SID.ir

بررسی مصرف انرژی در حوزه ساختمان از منظری دیگر نشان می‌دهد که سرانه مصرف انرژی در حوزه ساختمان نیز تحت تأثیر کاربری ساختمان است.

با آنکه تحقیقات مختلف و وسیعی در رابطه با ساختمان‌های بلند مرتبه از جمله عملکرد، سبک معماری، راهبردهای سازه‌ای و ... انجام شده، اما تحقیقات بسیار کمی به عملکرد انرژی مصرفی این گونه ساختمانی پرداخته است و عوامل مؤثر در انرژی مصرفی مانند فرم، شکل، بهره‌گیری از نور طبیعی، راه کارهای تهویه و ... را مورد توجه قرار نداده است. در مجموعه پژوهش‌های اندکی که در این حوزه صورت گرفته، پژوهش «اولدفید» و همکارانش تا حدی هدفمندتر و جامع‌تر بوده است. آنها در پژوهش خود ساختمان‌های بلند مرتبه را بر اساس ویژگی‌ها و کارکردهای مصرف انرژی به پنج دوره تقسیم بندی کرده‌اند (Oldfield et al., 2009: 591-613).

دوره اول: از آغاز شکل‌گیری ساختمان‌های بلند مرتبه در سال ۱۸۸۵ تا سال ۱۹۱۶ (فرم‌های ساختمانی در این دوره متراکم و با حداقل سطح پوسته خارجی به منظور ایجاد شرایط آسایش در زمستان و بهره‌گیری مناسب از نور طبیعی طراحی می‌شده است).

دوره دوم: از سال ۱۹۱۶ و هم‌زمان با وضع قانون نیویورک تا توسعه نماهای شیشه‌ای در سال ۱۹۱۵ (در این دوره با توجه به پیشرفت‌های تکنولوژیکی در سیستم‌های تأسیساتی و تولید نور مصنوعی، بهره‌گیری از فرم هرمی برای ساختمان، مصرف انرژی گرمایشی را افزایش می‌داد که به تبع آن میزان انرژی مصرفی ساختمان را نیز افزایش می‌داد).

دوره سوم: از سال ۱۹۱۵ تا شروع بحران انرژی در سال ۱۹۷۳ (ساختمان‌های بلند مرتبه بلوک‌های مکعبی با سطوح وسیعی از فضاهای کار در طبقات بود که به علت بهره‌گیری از نماهای شیشه‌ای تک جداره در سطح وسیع، باعث شد تا جذب و اتلاف انرژی حرارتی از طریق پوسته خارجی ساختمان افزایش یابد و انرژی مصرفی ساختمان را افزایش می‌داد).

دوره چهارم: از سال ۱۹۷۳ تاکنون (استفاده وسیع از نماهای شیشه‌ای یک جداره تحت تأثیر بحران انرژی قرار گرفت. در همین راستا، قوانینی برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی توسط کشورهای توسعه یافته وضع شد که استفاده از شیشه‌های دوجداره را در نمای ساختمان توصیه می‌نمود. همچنین استانداردهای بهره‌گیری از نور مصنوعی در فضاهای اداری نیز تغییر کرد و کاهش یافت).

دوره پنجم: از آغاز نگرش‌های زیست‌محیطی و پایداری در سال ۱۹۹۷ تا کنون (با توجه به رعایت اصول دوره چهارم، نگاهی جدید در طراحی ساختمان‌های بلند مرتبه شکل گرفت و تعداد زیادی ساختان بلند مرتبه با هدف کاهش حداکثری در میزان انرژی مصرفی طراحی و ساخته شدند که با بهره‌گیری از راه‌کارهای ایستا به هدف خود نزدیک می‌شدند).

۲-۲- شبیه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان و نرم‌افزارهای کاربردی

از میان این ابزارها که در اختیار افراد و کارشناسان درگیر با حیطه فرآیند طراحی (معماران و مهندسان) قرار دارد، کارآترین آنها در زمینه ارزیابی رفتار انرژی، نرم‌افزارهای شبیه سازی انرژی هستند. این نرم‌افزارها با ایجاد محیط مجازی ساختمان، این امکان را فراهم می‌نماید تا پیش‌بینی عملکردی ساختمان تا حد ممکن نزدیک به واقعیت باشد و همچنین طراح با بهینه سازی و بهبود طرح خود، تکنولوژی‌های جدید صرفه جویی و انرژی کارایی را معرفی نماید (Henseen, 2002: 1-14).

با توجه به پیشرفت‌های فنی در عرصه‌های مختلف، در حیطه تکنولوژی شبیه سازی نیز، گسترش رو به رشد نرم‌افزارهای شبیه سازی در دو سطح ارتقای کیفیت و توسعه قابلیت‌های نرم‌افزاری موجود و همچنین افزایش کمیت و تعداد آنها مشاهده می‌شود (Henseen et al., 2004: 122-128). به عنوان نمونه، سایت اینترنتی رسمی وزارت انرژی آمریکا[11] به معرفی نرم‌افزارهای منتخب شبیه ساز اختصاص یافته است. بیش از ۳۳۰ نرم‌افزار شبیه سازی مصرف انرژی، معرفی شده است. این نرم‌افزارها در زمینه‌های مختلف سنجش میزان انرژی کارآیی، انرژی‌های قابل بازیافت و جنبه‌های دیگر شبیه سازی منجر به پایداری کارآیی دارند. توضیح مختصری از هریک از نرم‌افزارها با توضیح تخصص‌های مورد نیاز،

Archive of SID
www.SID.ir

نوع ورودی‌ها و خروجی‌ها و نقاط ضعف و قوت نرم‌افزارها در سایت اینترنتی فوق موجود است. با توجه به مقایسه تطبیقی قابلیت‌های نرم‌افزارهای شبیه ساز انرژی از حیث قابلیت‌های مورد نیاز در حوزه معماری، می‌توان نرم-افزارها را به ترتیب زیر انتخاب نمود (غیایی و همکاران، ۱۳۹۲).

اکنون چنان‌چه بخواهیم فرآیند گزینش نرم‌افزارهای مطلوب برای رشته معماری را دقیق‌تر و با اطمینان بیشتر انجام دهیم، باید نتایج حاصل دو حیطه عملی و نظری مقایسه گردد و در نهایت فصل مشترک آنها، به عنوان گزینه‌های نهایی برگزیده شود. البته با توجه به اینکه اخیرا نقاط ضعف نرم‌افزار TRNSYS را مواردی نظیر مستندات ناقص، نیاز به کامپایلر زبان فرترن و عدم تأمین واحدهای SI برشمرده‌اند، می‌توان در انتها دو نرم‌افزار Ecotect و eQUEST را برای حوزه معماری به عنوان نرم‌افزارهای مطلوب نسبت به سایرین معرفی نمود که نرم‌افزار QUEST به عنوان ابزار شبیه سازی در پژوهش حاضر مورد استفاده قرار خواهد گرفت. موتور محاسباتی این نرم‌افزار "DOE-2.2" است که در طول دو دهه گذشته به صورت گسترده در سراسر دنیا مورد استفاده قرار گرفته است. به بیانی ساده می‌توان گفت "eQUEST"[۱۲] حاصل اضافه کردن لایه واسط کاربری گرافیکی به همراه هدایت‌گرهای طراحی که کاربر را گام به گام در طراحی ساختمان کمک می‌کنند، بر روی نسخه توسعه یافته DOE-2 است.

این نرم‌افزار دو فرایند هدایت مختلف برای کاربران تأمین می‌کند. در این هدایت کننده‌ها گزینه‌های مختلف انتخاب اطلاعات مربوط به طراحی در اختیار کاربر قرار می‌گیرد تا کاربر مرحله به مرحله طراحی خود را تکمیل کند. این نرم‌افزار به گونه‌ای تدوین شده است که خود کاربر را گام به گام برای تأمین اطلاعات موتور محاسباتی DOE-2 مورد پیش می‌برد (الهی‌بخش و شاه محمدی، ۱۳۸۶). اما از دیگر قابلیت‌های این برنامه، مواردی نظیر طراحی ساختار، تجهیزات و تأسیسات مکانیکی، کاربری و اندازه ساختمان، چیدمان لایه‌های طبقات، مصالح ساختمانی، استفاده از سطوح و فضاها و همچنین نورگیری سیستم در این راستا مد نظر است. از قابلیت-های مهم این ابزار که در پژوهش حاضر نیز به کار گرفته شد، توانایی مقایسه میان گزینه‌های مختلف طرح[۱۳] از لحاظ میزان مصرف انرژی ماهانه و سالانه است. بدین منظور، نرم‌افزار به طور کلی از دو روش بهره می‌گیرد (Hirsch & Associates, 2009):

۱) سنجش میزان انرژی- کارایی[۱۴]: برای مدل‌های ساده-تر و محدود به تغییرات خاص

۲) اجرای پارامتری[۱۵]: قابلیت ایجاد تغییرات بیشتر و پیچیده‌تر

۳-۲-معرفی مدل پایه تحقیق

به منظور مطالعه و آزمون متغیر تحقیق، لازم است تا مدل یا نمونه‌ای به عنوان پایه اصلی تحقیق معرفی شود تا رفتار و تأثیر متغیرها نسبت به آن مورد سنجش قرار گیرد (غیایی، ۱۳۹۰). نظر به آنکه تحقیق حاضر در جستجوی ویژگی‌های بهینه اجزاء پوسته خارجی بناهای بلند مرتبه اداری از منظر مصرف انرژی است، لذا مدل پایه تحقیق نیز می‌بایستی یک ساختمان بلند مرتبه با کاربری اداری باشد که تمامی ویژگی‌ها و خصوصیات کالبدی آن به طور کامل مشخص شده باشد. با توجه به آنکه مشخصات چنین بنایی از گستردگی زیادی برخوردار است، به سبب سهولت، این ویژگی‌ها در دو بخش اصلی «مشخصات سازه‌ای- معماری» و «مشخصات تأسیساتی» بیان شده است. در این میان و با توجه به رویکرد تحقیق حاضر که در حوزه معماری است، بیان دقیق ویژگی‌های معماری مدل پایه از اهمیت بیشتری نسبت به ویژگی‌های تأسیساتی برخوردار است. در گام نخست و در بیان مشخصات مشخصات سازه‌ای-معماری مدل پایه لازم است، تا اطلاعاتی درخصوص اسکلت، نوع هسته، تعداد طبقات، سطح زیر بنا، ارتفاع طبقات، اجزاء جداره‌ها و ... معرفی شود تا در ساخت

Archive of SID
www.SID.ir

مدل پایه از آنها استفاده شود. بدین منظور ویژگی‌های فوق در قالب جدول ۱ بیان شده است.

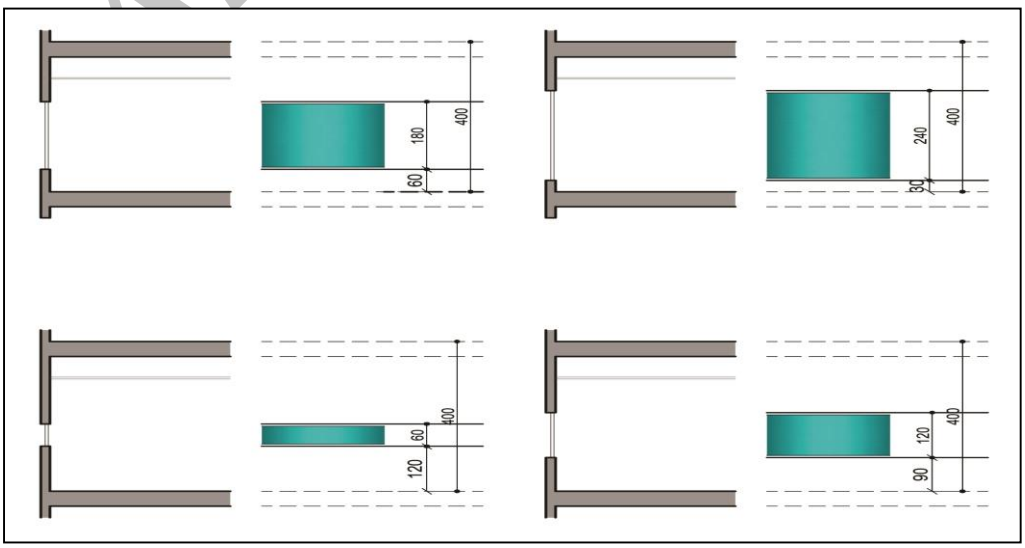
ویژگی‌های تأسیساتی و ابزار مورد استفاده در مدل پایه آزمون، بر اساس پیش فرض‌های موجود در خصوص ساختمان‌های اداری بلند مرتبه با کاربری اداری که در ابزار شبیه سازی تحقیق، یعنی نرم‌افزار eQUEST مورد استفاده قرار می‌گیرد، انتخاب شده است. پس از معرفی ویژگی‌های مدل پایه و به جهت آنکه آزمون متغیرها به طور صحیح انجام پذیرد، لازم است تا برخی از شرایط آزمون که در قالب متغیرهای تعدیل و کنترل قرار می‌گیرد نیز معرفی گردد. به طور مثال، شرایط اقلیمی، تعداد روزها و ساعات استفاده از ساختمان، میزان اشغال توسط کاربران، ابزار مورد استفاده کاربران و ... مجموعه عوامل و شرایطی را تشکیل می‌دهد که درنظر گرفتن آنها به نتایج حاصل اعتبار بیشتری می‌بخشد.

۴-۲-آزمون متغیر تحقیق

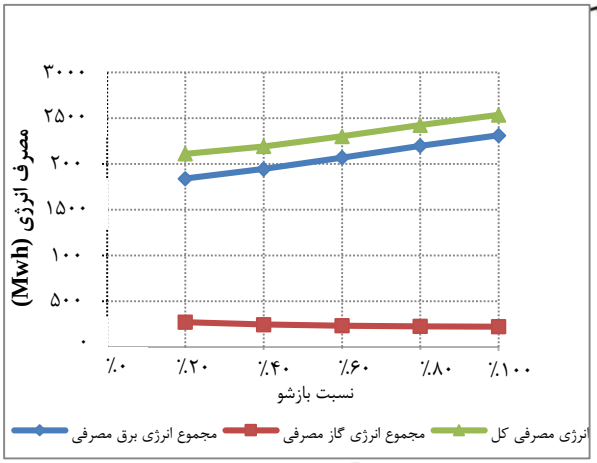
متغیری که به‌عنوان یکی از اجزاء پوسته ساختمان بلند مرتبه اداری در این تحقیق (مدل پایه) مورد آزمون قرار می‌گیرد، نسبت بازشو است. نسبت بازشو در تحقیق حاضر عبارتست از نسبت سطح شفاف (پنجره) به سطح کدر (دیوار خارجی) که در آن سطح کدر حاصل ضرب طول جداره در ارتفاع مفید طبقه (از کف تا زیر سقف کاذب) است. در آزمون متغیر نسبت بازشو، هدف، بررسی رفتار، چگونگی و میزان تأثیر نسبت بازشو بر میزان مصرف انرژی کل در ساختمان نمونه معرفی شده

جدول۱-مشخصات مدل پایه تحقیق

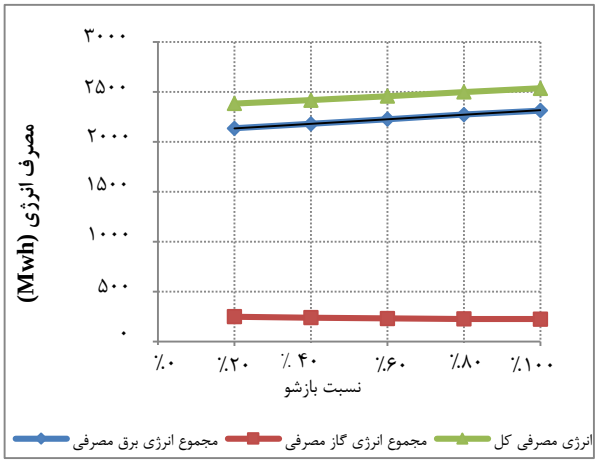
ویژگی‌های معماری – سازه‌ای	ویژگی‌های عمومی	هندسه پلان: مستطیل تناسبات پلان: ۱:۱/۳۵ ابعاد پلان: ۳۵متر* ۲۶ متر چیدمان فضایی پلان: پلان آزاد (Open Space) تعداد طبقات: ۱۵ طبقه + ۳ طبقه زیر زمین ارتفاع طبقات: ۴ متر کف تا کف، (ارتفاع کف تا زیر سقف کاذب ۳ متر، ارتفاع سقف کاذب ۶۰ سانتیمتر) سطح طبقات: سطح خالص هر طبقه ۷۴۵ مترمربع (۸۲٪ سطح کل طبقه)، سطح هسته و بخش‌های خدماتی هر طبقه ۱۶۵ مترمربع جهت چرخش: ۳۰ درجه جنوب‌شرقی در تبریز و ۱۵ درجه جنوب‌شرقی در یزد نوع اسکلت و هسته: اسکلت بتنی و هسته مرکزی با سطح کل ۱۶۵ مترمربع (۱۸٪ سطح هر طبقه)
	ویژگی‌های اجزاء و جداره	ساختار جداره خارجی: پلاستر سیمانی (۲/۵ سانتیمتر)، دیوار بتنی (۱۵ سانتیمتر)، پوشش گچ پرداختی به علاوه رنگ (۲/۵ سانتیمتر) ساختار بام: کفپوش موزاییک (۲/۵ سانتیمتر)، ملات ماسه سیمان (۲/۵ سانتیمتر)، عایق رطوبتی، بتن سبک (۵ سانتیمتر)، سقف سازه‌ای (۲۵ سانتیمتر) ساختار سقف طبقات: کفپوش سنگ (۲/۵ سانتیمتر)، ملات ماسه سیمان (۲/۵ سانتیمتر)، بتن سبک (۵ سانتیمتر)، سقف سازه‌ای (۳۰ سانتیمتر) ساختار جداره زیرزمین: دیوار بتنی (۳۰ سانتیمتر)، عایق رطوبتی رنگ جداره خارجی: رنگ متوسط با ضریب جذب ۰/۶ نوع و جنس بازشو: پنجره آلومینیومی ثابت با پروفیل به ضخامت ۶ سانتیمتر جنس شیشه: شیشه دوجداره شفاف با ضخامت ۶ میلیمتر (Double Clr/Tint) با مشخصات U: 0.54, SHGC: 0.7, VT: 0.79



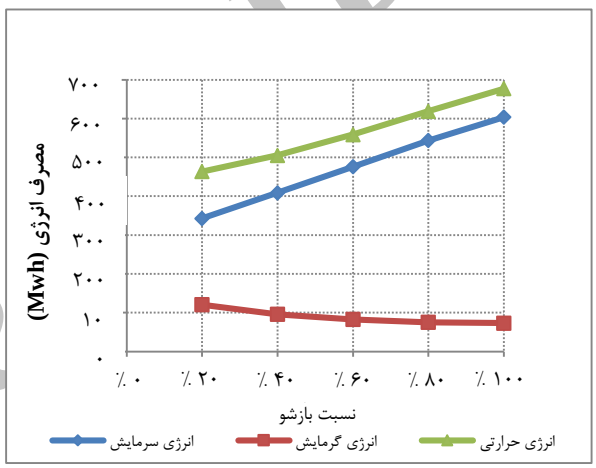
Archive of SID
www.SID.ir



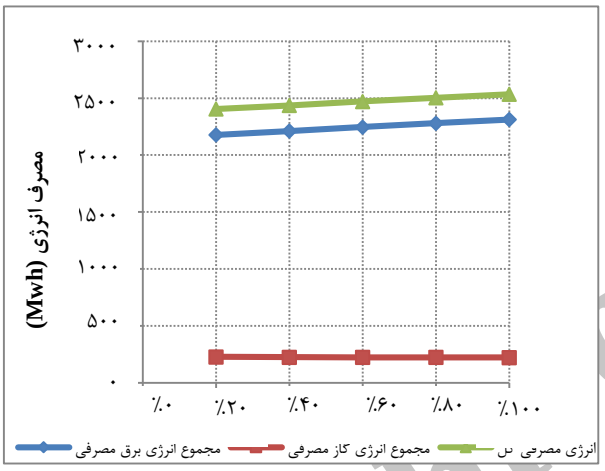
شکل ۲-تغییرات انرژی برق، گاز و انرژی مصرفی کل در نسبت‌های بازشوی مختلف



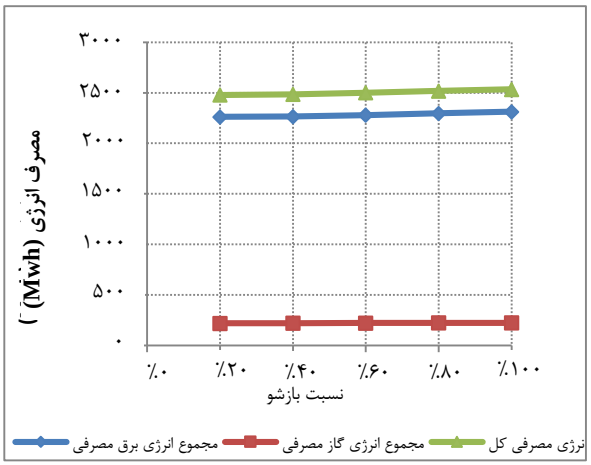
شکل ۵-تغییرات انرژی برق، گاز و انرژی مصرفی کل در نسبت‌های بازشوی مختلف جداره جنوبی



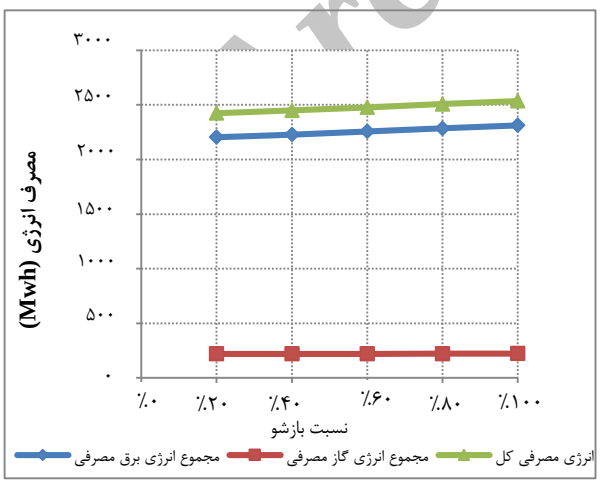
شکل ۳-تغییرات انرژی گرمایش، سرمایش و انرژی حرارتی در نسبت‌های بازشوی مختلف



شکل ۶- تغییرات انرژی برق، گاز و انرژی مصرفی کل در نسبت‌های بازشوی مختلف جداره شرقی



شکل ۴-تغییرات انرژی برق، گاز و انرژی مصرفی کل در نسبت‌های بازشوی مختلف جداره شمالی



شکل ۷ - تغییرات انرژی برق، گاز و انرژی مصرفی کل در نسبت‌های بازشوی مختلف جداره غربی

www.SID.ir

تحقیق است که در آن نسبت بازشو ۱۰۰٪ در نظر گرفته شده است. این نسبت به مفهوم آن است که در هر جبهه از جداره خارجی ساختمان، سطح شفاف (پنجره) به طول جداره مورد نظر و ارتفاع ۳ متر است.

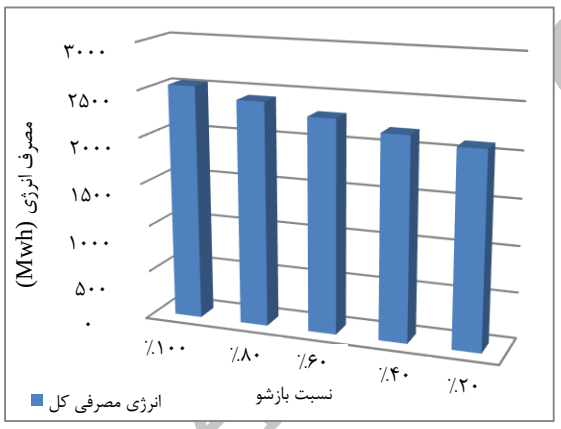
روش آزمون متغیر نسبت بازشو و تأثیر آن بر میزان انرژی مصرفی کل در دو بخش اصلی صورت می‌پذیرد. در بخش اول و به صورت کلی، نسبت بازشو مدل پایه در تمامی جداره‌ها (شمالی، جنوبی، شرقی و غربی) به ترتیب از میزان ۱۰۰٪ به ۸۰٪، ۶۰٪، ۴۰٪ و ۲۰٪ تغییر می‌یابد (شکل ۱-۴). در بخش دوم، تغییر نسبت بازشو به صورت مجزا در هر جهت مورد آزمون قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر در هر مرحله از آزمون تنها نسبت بازشو در یک جهت تغییر می‌کند و در دیگر جهات نسبت بازشو به همان اندازه مدل پایه، یعنی ۱۰۰٪ باقی می‌ماند. در انتها نیز نتایج حاصل از آزمون در شرایط اقلیمی کلان-شهر تهران بیان می‌شود.

نکته قابل توجه در آزمون نسبت بازشو آن است که با توجه به محدودیت‌های نرم‌افزاری و سهولت در محاسبات، بازشوها (پنجره‌ها) به‌صورت نواری در نظر گرفته شده است. ضمنا در نسبت‌های بازشوی مختلف به لحاظ توجه به کاربردی بودن فضا از لحاظ کیفیت معماری، فاصله بازشو از سقف و کف به یک میزان کاهش یافته است.

شکلهای فوق در خصوص نتایج حاصل از آزمون متغیر نسبت بازشو به صورت کلی در شرایط اقلیمی شهر تهران است. در ادامه به بیان و ارایه نتایج این آزمون به صورت جزئی و جهت به جهت پرداخته می‌شود. پس از بیان نتایج آزمون متغیرهای تحقیق، لازم است تا این نتایج مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند و احکام کلی از آنها استخراج شود. در این بخش به ترتیب نتایج مربوط به آزمون نسبت بازشو به طور جداگانه در شرایط اقلیمی تهران مورد ارزیابی و تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است که ملاک عمل در بررسی و دسته‌بندی نتایج، میزان تأثیر بر انرژی مصرفی کل است. اما در این بین، مطالعه رفتار حرارتی نیز می‌تواند کمک شایانی در دسته‌بندی صحیح نتایج نماید.

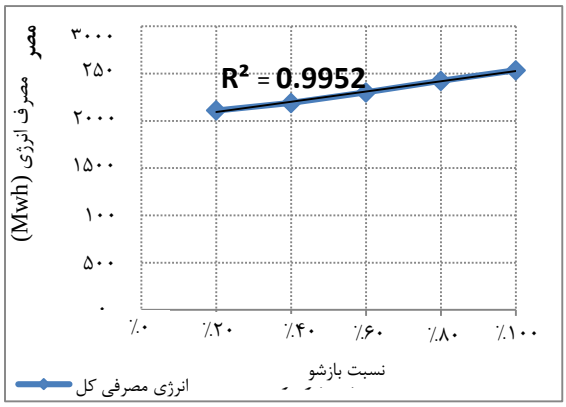
۳- یافته‌های پژوهش

در بخش اول آزمون نسبت بازشو که در آن نسبت فوق به صورت یکسان در تمامی جهات تغییر می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد که با کاهش نسبت بازشو میزان انرژی مصرفی کل در شهر تهران کاهش می‌یابد (شکل ۸). این روند کاهشی در شهر تهران به کاهش حداکثری ۱۷٪ در انرژی مصرفی کل می‌انجامد. بررسی تأثیر نسبت بازشو بر عملکرد حرارتی مدل پایه، روند مشابه تأثیر آن را بر انرژی مصرفی نشان می‌دهد به طوری که کاهش نسبت بازشو به کاهش مصرف انرژی حرارتی می‌انجامد (شکل ۱۱). لازم به ذکر است که با توجه به آنکه ضریب همبستگی (R^2) در خصوص رابطه بین نسبت بازشو و انرژی مصرفی به عدد ۱ بسیار نزدیک است. این دو عامل رابطه مستقیم با درجه همبستگی بالا دارند (شکل ۹). همچنین نتایج حاصل از شکل فوق بیانگر آن است که بیشترین کاهش مصرف در شرایط اقلیمی شهر تهران در نسبت‌های بازشو بین ۲۰٪ تا ۴۰٪ اتفاق می‌افتد.

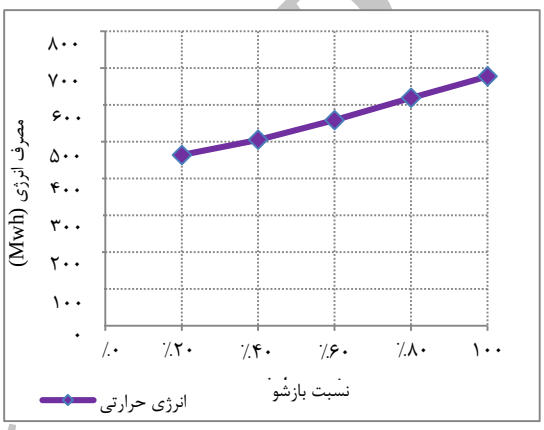


شکل ۸- انرژی مصرفی کل در نسبت‌های بازشوی مختلف در شهر تهران

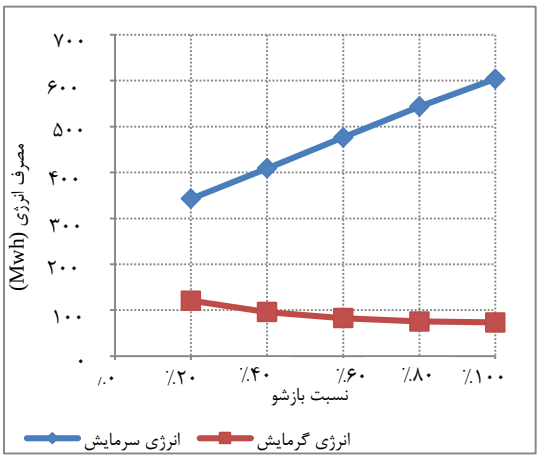
Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۹- میزان همبستگی بین نسبت بازشو و انرژی مصرفی کل در شهر تهران



شکل ۱۰- انرژی حرارتی کل در نسبت‌های بازشوی مختلف در شهرتهران



شکل ۱۱- انرژی سرمایشی و گرمایشی در نسبت‌های بازشوی مختلف در شهرتهران

مطالعه رفتار بارهای حرارتی نیز رابطه مستقیم آن را با تغییر نسبت بازشو نشان می‌دهد. تغییر نسبت بازشو می‌تواند در شهر تهران به میزان ۳۲٪ مجموع بارهای حرارتی را کاهش دهد. نکته قابل توجه که در بررسی رفتار گرمایشی و سرمایشی حاصل از تغییر نسبت بازشو مشهود است، عملکرد رفتاری متفاوت بارهای گرمایشی و سرمایشی در رابطه با تغییر نسبت بازشو است. به طوری‌که کاهش نسبت بازشو به افزایش بارهای گرمایشی می‌انجامد در حالی که بارهای سرمایشی را کاهش می‌دهد (شکل ۱۱).

در گام بعدی آزمون و در مطالعه تأثیر نسبت بازشو و از آزمون آن به صورت جهت به جهت در جداره‌ها مختلف نیز، تأثیر کاهش نسبت بازشو بر کاهش انرژی مصرفی کل به وضوح قابل مشاهده است. اما نکته قابل تأمل آن است که آیا این میزان تأثیر در جهات مختلف در شهر تهران یکسان است؟ پاسخ این پرسش منوط به تحلیل نتایج حاصل از آزمون نسبت بازشو به صورت جهت به جهت است.

در جبهه شمالی جداره بیرونی ساختمان در شهر تهران کاهش نسبت بازشو تا نسبت بازشوی ۴۰٪ بازشو روند نزولی در میزان انرژی مصرفی کل ایجاد می‌نماید و سپس این روند تا نسبت بازشو ۲۰٪ آهنگ کندتری به خود می‌گیرد. این تغییرات در نسبت بازشوی جداره شمالی حداکثر به میزان ۲٪ مصرف کل را کاهش می‌دهد. به عبارتی می‌توان چنین بیان کرد که میزان تأثیر نسبت بازشو در جبهه شمالی تا نسبت بازشوی ۴۰٪ محسوس می‌شود و پس از آن تأثیر کاهش نسبت بازشو بر انرژی مصرفی کل تأثیر نامحسوسی دارد (شکل ۴-۱۴).

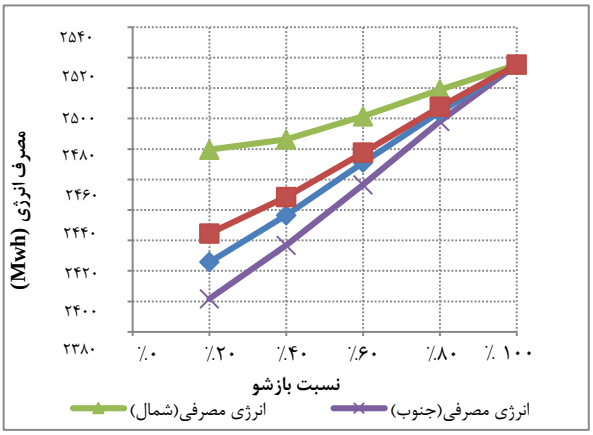
در جبهه جنوبی روند کاهش انرژی مصرفی کل با کاهش نسبت بازشو در شهر تهران به وضوح قابل مشاهده است. این کاهش با توجه به شیب شکل آهنگ یکسانی دارد و هرچه نسبت بازشو کاهش می‌یابد، مصرف انرژی نیز کم می‌شود. این کاهش در مقایسه با تأثیر نسبت بازشو در جداره شمالی به میزان قابل توجهی بیشتر است، به طوری‌که با تغییر نسبت بازشو تا ۲۰٪، مصرف انرژی در حدود ۷۰٪ نسبت به مدل پایه کاهش می‌یابد. همچنین بیشترین کاهش مصرف در نسبت بازشوی بین ۴۰٪ - ۲۰٪ درجه جنوبی ایجاد شده است. در جداره‌های شرقی و غربی نیز کاهش نسبت بازشو منجر به کاهش مصرف انرژی کل خواهد شد. به طوری که کمترین میزان مصرف

Archive
www.SID.ir

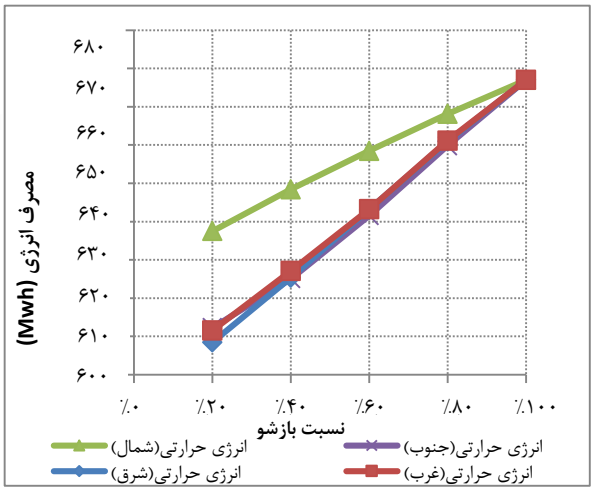
درنسبت بازشو ۲۰٪ اتفاق می‌افتد. تغییر نسبت بازشو در جبهه شرقی هم به میزان ۵٪ و در جبهه غربی به میزان ۴٪ بر انرژی مصرفی کل تأثیرگذار است.

بررسی جهت به جهت نسبت بازشو مؤید این مطلب است که تأثیر نسبت بازشو در جداره‌های مختلف بر میزان انرژی مصرفی کل یکسان نیست و این تأثیر در نسبت‌های بازشوی کمتر محسوس‌تر است. در شرایط اقلیمی تهران نسبت‌های بازشو در جهات شمال و جنوب ۲٪، ۷٪، شرق ۵٪ و غرب ۴٪ موجب کاهش انرژی مصرفی کل خواهند شد. از مقایسه نتایج فوق می‌توان این نکته را استنباط نمود که تأثیر نسبت بازشو در جهت جنوب بسیار زیاد بوده است و به ترتیب جهات شرق، غرب و شمال در اولویت‌های بعدی قرار دارد (شکل ۱۲).

بررسی تأثیر نسبت بازشو به صورت جهت به جهت در جداره‌های شمالی، جنوبی، شرقی و غربی مدل پایه در شهر تهران بیانگر کاهش مصرف انرژی حرارتی با کاهش نسبت بازشو است. نتایج نشان می‌دهد که تأثیر نسبت بازشو در جهات مختلف به یک میزان بر انرژی حرارتی مصرفی تأثیر نمی‌گذارد. به طوری که در اولویت در کاهش مصرف انرژی حرارتی مربوط به جهات شرق و غرب بوده و جهات جنوب و شمال در اولویت‌های بعدی است (شکل ۱۳).



شکل ۱۲- انرژی مصرفی کل در نسبت‌های بازشوی مختلف در جداره‌های جهات مختلف شهر تهران



شکل ۱۳- انرژی حرارتی کل در نسبت‌های بازشوی مختلف در جداره‌های جهات مختلف شهر تهران

۴- نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده و تجزیه و تحلیل آنها مؤید این مطلب است که متغیر آزمون یعنی نسبت بازشو، تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر انرژی مصرفی کل و انرژی حرارتی در ساختمان‌های بلند مرتبه اداری، در شرایط اقلیمی شهر تهران را به دنبال دارند. همان‌طور که در جدول زیر نیز دیده می‌شود با کاهش نسبت بازشو مصرف انرژی در ساختمان نیز کاهش می‌یابد. این کاهش مصرف هم در انرژی مصرفی کل و هم در انرژی حرارتی به خوبی مشهود است.

بررسی جهت به جهت متغیرهای آزمون نیز اولویت اجزاء پوسته در میزان تأثیرگذاری بر مصرف انرژی کل را نشان می‌دهد. همان طور که در شکل‌های ذیل دیده می‌شود در هر یک از جهات شمالی، جنوبی، شرقی و غربی جداره خارجی ساختمان اولویت‌بندی اجزاء پوسته بر مصرف انرژی کل با یکدیگر متفاوت است.

جدول ۲- میزان تأثیر نسبت بازشو بر انرژی مصرفی کل و حرارتی

ردیف		تغییرات انرژی مصرفی کل	تغییرات انرژی حرارتی
۱	نسبت بازشو ٪۸۰	٪۴	٪۹
۲	نسبت بازشو ٪۶۰	٪۹	٪۱۷
۳	نسبت بازشو ٪۴۰	٪۱۴	٪۲۵
۴	نسبت بازشو ٪۲۰	٪۱۷	٪۳۲

Archive of SID
www.SID.ir

با توجه به نکات فوق و نتایج آزمون متغیرها، می‌توان احکام طراحی به شرح زیر را برای نسبت بازشو ارایه نمود:

- نسبت بازشو و انرژی مصرفی کل با یکدیگر رابطه مستقیم دارند یعنی با کاهش نسبت بازشو میزان مصرف انرژی کل کاهش می‌یابد. این رابطه در هر دو شهر مورد مطالعه در تحقیق، رابطه‌ای مستقیم با درجه همبستگی بالا ($R^2 \approx$ ۱) است. همچنین کاهش نسبت بازشو باعث افزایش مصرف گرمایش و کاهش مصرف سرمایش خواهد شد.

- اثر نسبت بازشو در تناسب‌های کوچک‌تر بسیار محسوس‌تر است. در آزمون نسبت بازشو که در نسبت‌های ۱۰۰٪ (مدل پایه)، ۸۰٪، ۶۰٪، ۴۰٪ و ۲۰٪ انجام شده، بیشترین تأثیر در کاهش مصرف مربوط به نسبت‌های ۴۰٪ -۲۰٪ است.

- تغییر نسبت بازشو به صورت کلی و در تمام جهات، کاهشی معادل ۱۷٪ در شهر تهران را نشان می‌دهد که بیانگر نقش مهم نسبت بازشو در انرژی مصرفی کل ساختمان است.

- بررسی و آزمون جهت به جهت نسبت بازشو در جبهه‌های مختلف ساختمان نشان می‌دهد که میزان تأثیر جهات مختلف در کاهش مصرف با یکدیگر یکسان نبود و اولویت جهات به صورت جنوب، شرق، غرب و شمال است.

- از مقایسه نتایج شکل‌ها و یافته‌ها می‌توان همچنین بیان کرد که نسبت بازشوی مناسب برای جداره‌های شمالی و جنوبی حدود ۴۰٪ و برای جداره‌های شرقی و غربی بین ۴۰٪-۲۰٪ (متمایل به ۳۰٪) است.

پی‌نوشت

[1] Kean Yeang
[2] Energy-efficiency
[3] Bojic
[4] Yang
[5] Cheung
[6] Eskin
[7] Yu
[8] Lam
[9] Higgs
[10] Leung
[11] WWW.Energytoolsdirectory.gov
[12] EQUEST = enhanced DOE-2 + Wizards + Graphics
[13] Multiple Alternative Simulation Cases
[14] Energy Efficiency Measures (EEM)
[15] Parametric Run

منابع

الهی بخش، امیرحسین و شاه محمدی، فاطمه. (۱۳۸۶). انتخاب نرم‌افزار شبیه سازی مصرف انرژی برای توسعه در کشور، بیست و دومین کنفرانس بین المللی برق، تهران، ایران، ۱۵- ۲۲.

غیایی، محمدمهدی؛ مهدوی نیا، مجتبی؛ طاهباز، منصوره و مفیدی شمیرانی، مجید. (۱۳۹۲). روش شناسی گزینش نرم افزارهای کاربردی شبیه سازی انرژی در حوزه معماری. هویت شهر، ۱۳، ۴۵-۵۴.

غیایی، محمدمهدی. (۱۳۹۰). تبیین اصول طراحی پوسته ساختمان‌های بلند مرتبه ایران. رساله دکتری معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات.

Bojic, M., Yik, F., & Sat, P. (2001). Influence of thermal insulation position on the space cooling of high-rise residential buildings in Hong Kong. *Energy and Buildings*, Elsevier Ltd, 33, 569-581.

Bojic, M., Yik, F., Wan, K., & Burnett, J. (2002). Influence of envelope and partition characteristics on the space cooling of high-rise residential buildings in Hong Kong. *Building and Environment*, Elsevier Ltd, 37, 347-355.

Bojic, M., Yik, F., & Sat, P. (2002). Energy Performance of windows in high-rise residential buildings in Hong Kong. *Energy and Buildings*, Elsevier Ltd, 34, 71-82.

Bojic, M., Yik, F., & Leung, W. (2002). Thermal insulation of cooled space in high-rise residential buildings in Hong Kong. *Energy Conservation and management*, Pergamon, 43, 165-183.

Cheung, C.K., Fuller, R.J., & Luther, M.B. (2005). Energy-efficient envelope design for high-rise apartments, *Energy and Buildings*, Elsevier Ltd, 37, 37-48.

Cheung, C.K., Fuller, R.J., & Luther, M.B. (2005). Low-Energy Strategies for high-rise apartments in Hong Kong. *Australian and New Zealand Architectural Science Association Conference*, 1, 76-84.

Eskin, N., & Turkmen, H. (2008). Analysis of Annual Heating and Cooling Energy Requirements for Office Buildings in Different Climates in Turkey

Archive of SID
www.SID.ir

Energy and Buildings, 40, 763-773.
Hensen, J. (2002). Simulation for performance based building and systems design: some issues and solution directions. *6th International Conference on Design and Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning*, Amsterdam, Netherlands, 30-44.
13-Hensen, J. (2005). Towards more effective use of building energy performance simulation in design. *Center for Buildings and Systems TNO-TU/e*, 1-14.
Higgs, F.S. (1994), Assessing the impact of solar penetration on the thermal performance of Hong Kong Public Housing. *ANZAScA Conference*, Hong Kong, China, 91-95.
Hirsch, J. (2009). eQUEST Modeling Procedure and Quick Reference Guide, CA, US.
Lam, J.C. (1993). Energy-efficient measures and life cycle costing of a residential building in Hong Kong. *Archives of Science Review*, 36, 157-162.
Oldfield, P., Trabucco, D., & Wood, A. (2009). Five energy generations of tall buildings: an historical analysis of energy consumption in high-rise buildings. *Journal of Architecture*, Routledge Ltd, 14, 591-613.
Pokharel, N., & Mahendran, M. (2003). Experimental investigation and design of sandwich panels subject to local buckling effects. *Journal of Constructional Steel Research*, 59 (12), 1533–1552.
Pe´rez-Lombard, Luis, Ortiz, Jose, & Pout, Christine. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, Elsevier Ltd, 40, 394-398.
Yang, Liu, Lamb, Joseph, C., & Tsang, C.L. (2008). Energy performance of building envelopes in different climate zones in China. *Applied energy*, Elsevier Ltd, 85, 800-817.
Yeang, Ken. (2007). Designing The Eco-skyscrapers: Premises for Tall Building Design, The Structural Design of Tall and Special Buildings. *Wiley Inter science*, 16, 411-427.
Yeang, Ken. (2002). Reinventing the Skyscraper: A Vertical Theory of Urban Design. *Academy Press*, Washington DC.
Yeang, Ken. (2006). Ecodesign: A Manual for Ecological Design. *Academy Press*, Washington DC.
Yu, Jinghua, Yang, Changzhi, & Tian, Liwei. (2008). Low-energy envelope design of residential building in hot summer and cold winter zone in China, *Energy and Buildings*, 40, 1536-1546.

Archive of SID

www.SID.ir