DOI: 10.30495/HOVIATSHAHR.2022.66460.12197

صفحات ۹۲ -۷۷

ارزیابی نقش جهت‌گیری، نوع مصالح و اجرای نما بر مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی در تهران

دکتر امین اله احدی*

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۳/۱۲ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۱/۰۷/۱۰

چکیده

غالب ساختمان‌های امروزی به علت نداشتن طراحی اقلیمی، ناگزیر از مصرف بالای انرژی جهت تهویه، گرمایش، سرمایش، روشنایی و آسایش حرارتی هستند. این پژوهش به این سؤال پاسخ می‌دهد که در بین مصالح و جزییات اجرائی رایج نماسازی در شهر تهران، حالت بهینه در کاهش مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی چیست و تأثیر جهت‌گیری نما در مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی چقدر است. به این منظور، شبیه‌سازی با نرم‌افزار Energy plus v8.6 جهت تحلیل حرارتی و مصرف انرژی ساختمان انجام‌شده است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که در میان ۱۳ نوع نمای رایج، بهترین مصالح نما در میان مصالح متداول، آجر و پانل بتنی و بهترین نحوه اجرا، اجرای خشک این مصالح می‌باشد. واحدهای جنوبی کمترین مجموع بار سرمایشی و گرمایشی مصرفی رادارند و بعدازآن به ترتیب واحدهای شرقی (۱۶٪ بیشتر از واحدهای جنوبی)، غربی (۱۵ تا ۱۷٪ بیشتر واحدهای جنوبی) و شمالی (۱۸ تا ۲۰٪ بیشتر از واحدهای جنوبی) قرار دارند.

واژه‌های کلیدی

ساختمان‌های مسکونی، جداره‌های خارجی ساختمان، کاهش مصرف انرژی، شهر تهران.

* استادیار و عضو هیئت‌علمی تمام‌وقت، گروه معماری، واحد پرند، دانشگاه آزاد اسلامی، پرند، ایران. Email: a.ahadi@piau.ac.ir

مقدمه

در رابطه بااهمیت موضوع، غالب ساختمان‌های امروزی به علت عدم تطابق با استانداردهای مصرف، ناگزیر از مصرف بیش‌ازحد انرژی برای ایجاد شرایط آسایش حرارتی می‌باشند. جداره خارجی در ساختمان، کارآمدی انرژی و آسایش محیطی را تحت تأثیر قرارداده و درعین‌حال بزرگ‌ترین عناصر اتلاف حرارتی نیز محسوب می‌گردند (کریم پور و همکاران، ۱۳۹۸)؛ بنابراین توجه به طراحی مناسب نما و جداره خارجی به‌عنوان عامل اصلی اتلاف انرژی ساختمان نقش مهمی در صرفه‌جویی مصرف انرژی ساختمان دارد. به‌خصوص آنکه بخش ساختمان به دلیل طراحی و ساخت نامناسب، مصالح و تجهیزات غیراستاندارد و مواد به‌کاررفته در ساختمان‌ها و انتخاب نامناسب پوشش ساختمان‌ها اعم از پنجره‌ها و سیستم عایق‌کاری، بزرگ‌ترین مصرف‌کننده انرژی در مقایسه با سایر بخش‌های اقتصادی کشور است (وزارت نیرو، ۱۳۹۲، ۶۳). در سال‌های اخیر مصرف انرژی در این بخش به دلایل متعدد ازجمله افزایش جمعیت کشور، ازدیاد نرخ رشد جمعیت شهرنشین، ورود لوازم و تجهیزات مصرف‌کننده انرژی، بالا رفتن نسبی سطح رفاه جامعه، تلفات بالای مصرف انرژی در ساختمان‌ها و تأسیسات، ارزان بودن نرخ و تعرفه‌های انرژی و غیره، افزایش هم یافته است (وزارت نیرو، ۱۳۹۹، ۶۷). بیشترین سهم در مصرف منابع انرژی در ساختمان به مصرف انرژی الکتریکی جهت روشنایی، سرمایش و تهویه اختصاص دارد. با توجه به اینکه جریان حرارت از میان پوسته‌های خارجی ساختمان عامل اصلی تغییرات دمای هوای داخل است و به‌طور مستقیم بر بار گرمایشی و سرمایشی و آسایش حرارتی فضای داخلی مؤثر می‌باشد (شریفی و قبادیان، ۱۳۹۶)، انتخاب مناسب مصالح ساختمانی متناسب با شرایط اقلیمی هر منطقه می‌تواند منجر به صرفه‌جویی مصرف انرژی در ساختمان گردد. یکی از عواملی که می‌تواند تأثیر بسزایی بر میزان دریافت انرژی خورشیدی توسط ساختمان داشته باشد، جنس مصالح بکار رفته در نمای خارجی ساختمان است. همچنین جزییات ساخت جداره خارجی ساختمان (سقف و دیوار بیرونی) و اندازه بازشوها از دیگر عوامل مؤثر می‌باشند (مداحی و توانائی، ۱۳۹۸). با توجه به مباحث صرفه‌جویی در مصرف انرژی و ویژگی‌های اقلیمی شهر تهران، این پژوهش به این پرسش پاسخ می‌دهد که درمیان مصالح و جزییات اجرائی رایج، جنس مصالح مناسب در نمای ساختمان‌های مسکونی در تهران چیست و جزییات اجرایی بهینه جداره‌های خارجی ساختمان‌های مسکونی در مناطق شرق و غرب و جنوب تهران در جهت صرفه-جویی در مصرف انرژی چگونه است. همچنین تأثیر جهت‌گیری ساختمان بر میزان بار سرمایشی و گرمایشی در ساختمان‌های مسکونی موردمطالعه قرارگرفته است. در رابطه به‌ضرورت انجام این پژوهش، بررسی ادبیات موضوع نشان می‌دهد که تاکنون تحقیقاتی موردی در رابطه با تأثیر جنس نمابر مصرف انرژی ساختمان انجام‌شده است، ازجمله پژوهش ذوالفقاری و همکاران که در آن اثر جنس نماهای مختلف بر میزان مصرف انرژی ساختمان در شهر تهران، تبریز و بندرعباس موردبررسی قرارگرفته است و استفاده از نمای آجری را پیشنهادشده است (ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۹۳) و نیز بررسی تأثیر هم‌زمان درصد سطوح شفاف نما و جهت‌گیری بنابر میزان مصرف انرژی مدارس در اقلیم معتدل و مرطوب ایران (امیری فرد و همکاران، ۱۳۹۹). همچنین بررسی نحوه رفتار گونه‌های مختلف دیوار که از ترکیب بلوک‌های سفالی، لیکا، هبلکس و عایق، حرارتی ساخته‌شده و در ساختمان‌های مسکونی شهر تهران متداول‌اند و انتخاب دیوار ساخته‌شده از دو ردیف بلوک لیکای ۱۰ سانتیمتری با ۵ سانتیمتر عایق در میانه آنها به‌عنوان حالت بهینه در پژوهشی که لایه‌های پشت نمای ساختمان را بررسی کرده است (محمد، ۱۳۹۲)، در پیشینه این پژوهش دیده می‌شود. بااین‌وجود پژوهشی که تأثیر هم‌زمان جهت‌گیری، جنس مصالح رایج نما و نحوه اجرای نما را موردبررسی قرار داده باشد و الگوهایی اجرایی برای ساختمان‌های شهر تهران ارائه کند، انجام‌نشده و پرداختن به این مسئله که موضوع اصلی این پژوهش می‌باشد، ضروری می‌نماید. هدف کلی این پژوهش توجه به شرایط اقلیمی شهر تهران در انتخاب مصالح نمای ساختمان و نحوهٔ اجرای آن در ساختمان و نیز تعیین دقیق و عددی تأثیر جهت‌گیری نما در میزان مصرف انرژی و درنهایت رسیدن به یک الگوی بهینه در طراحی‌های جدید یا بهینه‌سازی نماهای موجود می‌باشد. در این راستا، این پژوهش به این سؤال پاسخ می‌دهد که در بین مصالح و جزییات اجرائی رایج نماسازی در شهر تهران، حالت بهینه در کاهش مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی چیست؟ تفاوت دقیق درصدی استفاده از هریک از این نماها با یکدیگر در میزان انرژی مصرفی ساختمان چه میزان است؟ و تأثیر جهت‌گیری نما در مصرف انرژی گرمایشی و سرمایشی و مجموع انرژی مصرفی سالیانه ساختمان‌های مسکونی به تفکیک هرکدام از نماها و جزییات اجرایی موردبررسی چقدر است؟

مروری بر پیشینه پژوهش

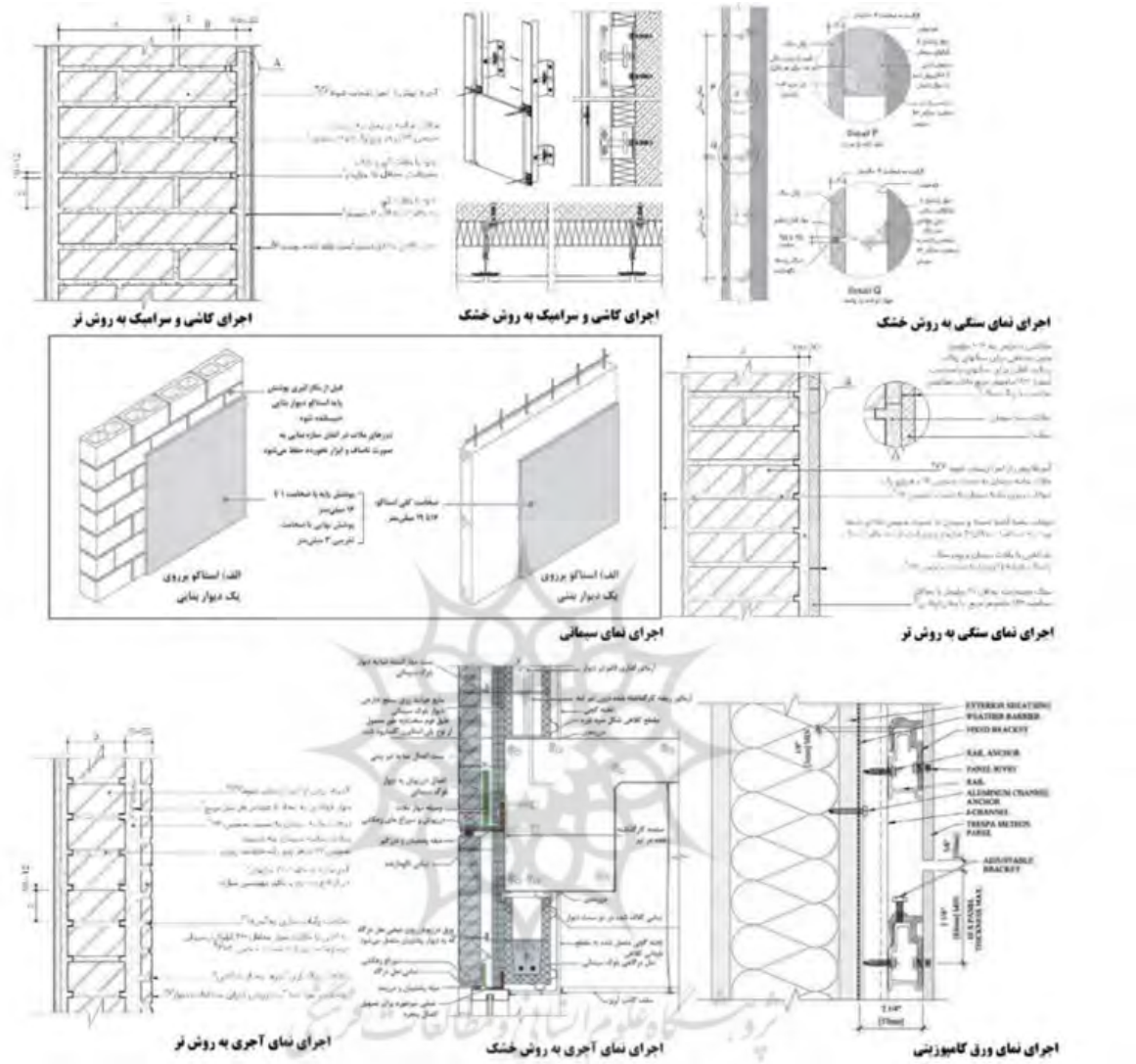
تاکنون تحقیقات زیادی درزمینه بررسی میزان اثرگذاری جنس نمای خارجی بر مصرف انرژی ساختمان انجام پذیرفته است. تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که مصالح مورداستفاده در نما در پدیده جزیره گرمایی و آسایش حرارتی در محیط بیرون نیز مؤثر هستند (Wonorahardjo et al., 2022). در این رابطه با اندازه‌گیری‌های میدانی، تأثیر استفاده

از آجر، بتن، شیشـــه، پانل کامپوزیت آلومینیومی (ACP) و شیشـــه شـــفاف بر گرما در محیط‌های داخلی و خارجی ساختمان بررسی‌شده و درنتیجه دیـــوار آجری دمای هوای داخل را بـــه میزان قابل‌توجهی کاهش می‌دهد اما دمای هوای بیرون راکمی افزایش داده اســـت. این مطالعه نشان می‌دهد که چگونه دستگاه‌های مختلف نمای ساختمان‌ها به‌طـــور قابل‌توجهی بر محیط‌های داخلی و خارجـــی تأثیر می‌گذارد. صنعت ســـاختمان مصرف انرژی بالایی دارد که منجر به کاهش منابع طبیعی، کاربری زمین، تخریب اکوسیســـتم، آلودگی جو و بســـیاری دیگر از اثرات زیســـت‌محیطی می‌شـــود؛ بنابراین، در ساخت‌وسازهای مدرن، ضمن حفظ محیط داخلی رضایت‌بخش و راحت، مصرف کمتر انرژی و اســـتفاده بهینه از منابع، هدف اصلی طراحی ساختمان است. بااین‌وجود تاکنـــون تحقیقات زیادی جهت انتخاب و نحوه به‌کارگیری بهینه مصالح در نمای ســـاختمان‌های مسکونی شهر تهران انجام‌نشده است. تحقیقات (Jalali et al., 2019) نشان می‌دهد که علی‌رغم نبود مطالعات کافی در انتخاب مصالح، سنگ تراورتن به‌عنوان پرمصرف‌ترین مصالح نما در تهران در ۱۰ ســـال گذشته در میان سایر مصالح متداول می‌باشـــد (Jalali et al., 2019). در تهران نیز آجر از نماهای متداول می‌باشـــد که انجام تحقیقاتی مشابه در این زمینه قابل‌توجه است. در پژوهشـــی که چرخه زندگی (LCE)، ارزیابـــی چرخه عمر (LCA) و هزینه‌یابی چرخه عمر (LCC) را برای ارزیابی عملکرد پایداری نماهای ســـاختمان در برزیل، برای انتخاب آنها موردبررسی قرار داده است، با در نظر گرفتن اثرات زیســـت‌محیطی، مصرف انرژی، اثرات اجتماعی و اقتصادی چهار نمای ساختمان (نماهای آجری، گرانیتی، آلومینیومی و شیشـــه‌ای) انتخاب و با اســـتفاده از تحلیل تصمیم چند معیاره و بر اساس تجزیه‌وتحلیل‌های متعدد، نمای آجری به‌عنوان پایدارترین نما در ســـناریوی اقتصادی بودن شناسایی شد (Saleem et al., 2018). در پژوهشـــی دیگر در قزاقستان، عملکرد حرارتی ساختمان‌های دارای نماهای آجری، ســـنگی و سیمانی با شبیه‌ســـازی در نرم‌افزار دیزاین بیلدر موردبررســـی قرارگرفته اســـت و نتایج تحقیق نشان می‌دهد که ســـاختمان‌های با نماهای آجرکاری (آجرهای ســـفالی) و سنگ‌کاری (تراورتن) ازنظر هزینه ســـاخت و هزینه‌های مصـــرف انرژی عملکرد کارآمدتری داشتند و ساختمان‌های با پانل‌های کامپوزیت آلومینیومی و نماهای گچی تزئین شده عملکرد نامناسبی دارند (Tokbolat et al., 2020). در ســـال ۲۰۱۲، لوباکارو و همکاران با استفاده از شبیه‌سازی عددی به تحلیل میزان اثرات جنس نمای خارجی ساختمان بر میزان مصرف انرژی سالانه ساختمان در اقلیم میلان ایتالیا پرداختند. در این پژوهش، نماهای بتنی، نماهای آلومینیمی، نماهای شیشه‌ای و نماهای دارای پوشش گیاهی را موردمطالعه قرار گرفت (Lobaccaro et al., 2012). همچنین در سال ۲۰۱۳، سوسوروا و همکاران تأثیر استفاده از پوشش‌های گیاهی بر روی جدار خارجی ساختمان را به‌صورت عددی و تجربی بررسی نمودند (Susorova et al., 2013). نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از پوشش‌های گیاهی موجب کاهش جذب انرژی خورشیدی و کاهش بار سرمایشی می‌شود، این در حالی است که این امر می‌تواند بار گرمایش ساختمان را افزایش دهد. در ایران، در مبحث ۱۹ مقررات ملی ســـاختمان، مطالعات وســـیعی درزمینه ویژگی‌های حرارتی و ســـایر خصوصیات مصالح ســـاختمانی که در صرفه‌جویی در مصرف انرژی ساختمان مؤثر است، ارائه‌شده است. بااین‌وجود چگونگی اســـتفاده از این مصالح در قالب دیتیل‌های ســـاختمانی بهینه، معرفی راهکارهایی درزمینه طراحی نماهای اداری و تجاری و اســـتفاده بهینه از مصالـــح رایج برای نمـــای این کاربری‌ها، پژوهـــش درزمینه مصالح جدید، ارزیابی عملکرد حرارتی نماهای ســـاختمان‌های ساخته‌شـــده و نیز مقایســـه میزان تأثیرات به‌کارگیـــری مصالح متداول برای نما در اقلیم‌های مختلف ایران (مانند اقلیم شهر تهران در این پژوهش)، کمتر موردتوجه قرارگرفته است؛ که در این پژوهش به آن پرداخته می‌شود. شایان‌ذکر است که مناسب بودن مصالح بکار رفته در نما کاملاً به شرایط آب و هوایی منطقه وابســـتگی دارد. از طرفی جدیدترین پژوهش‌های انجام‌گرفته در رابطه با مصالح ساختمانی پوسته خارجی بنا بر استفاده از مصالح هوشـــمند و نیز مصالح تغییر فاز دهنده متمرکزشـــده است. اگرچه استفاده از مصالح هوشمند در نمای ساختمان‌ها می‌تواند کمک شـــایانی به اهداف معماری پایدار کند، اما مطالعات بسیار محدودی در خصوص این مواد انجام‌شـــده است. علاوه بر این، مطالعات موجود تنها تعدادی از مواد هوشمند را به‌طور هم‌زمان موردبررسی قرار داده‌اند. در پژوهشی در شهر شـــیراز باهدف انجام مطالعه گسترده‌تر، شناسایی و اولویت‌بندی مناســـب‌ترین مصالح هوشمند نمای ساختمان با توجه به اهداف توسعه پایدار که برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از آزمون فریدمن و تحلیل سلســـله مراتبی (AHP) استفاده کرده است، مواد فتوولتائیک، مواد ترموکرومیک و مواد فتو تراکتور بهترین جایگزین‌ها برای استفاده در نمای ســـاختمان معرفی‌شـــده‌اند (Balali & Valipour, 2020). انجـــام مطالعات امکان‌ســـنجی و بررســـی صرفه اقتصـــادی و قابلیت صرفه‌جویی در مصرف انرژی با اســـتفاده از مصالح تغییر فاز دهنده و مصالح هوشمند در تحقیقات آینده پیشنهاد می‌گردد. عامل تأثیرگذار مهـــم دیگر جهت‌گیری نمای ســـاختمان می‌باشـــد. در این رابطه در پژوهشـــی در استرالیا تأثیر جهت‌گیری نمای ســـاختمان مسکونی بر مصرف انرژی ســـالیانه مورد ارزیابی قرارگرفته اســـت (Albatayneh et al., 2018). نتایـــج این پژوهش که از طریق شبیه‌ســـازی رایانه‌ای انجام‌شده است، نشـــان می‌دهد که در نمونه موردی موردبررسی و در

شرایط یکسان، میزان انرژی کلی مصرفی ساختمان در ساختمان رو به شمال، شرق، غرب و جنوب به ترتیب برابر با ۲۴، ۵۷، ۵۴ و ۷۸ MJ/m^2 بوده است که نشان‌دهنده تأثیر قابل‌توجه جهت‌گیری ساختمان بر مصرف انرژی ساختمان دارد. در پژوهش دیگری که در شهر لندن با شبیه‌سازی رایانه‌ای در نرم‌افزار گرین بیلدینگ استودیو (Green Building Studio) انجام‌شده است، تأثیر جهت‌گیری ساختمان با تغییر ۴۵ درجه در هر مرحله بر مصرف گاز و برق ساختمان‌های مسکونی در این منطقه بررسی‌شده است. نتایج این شبیه‌سازی نشان‌دهنده تفاوت حدود ۱۰ درصدی بین بهترین جهت‌گیری (۱۸۰ درجه از شمال) با بدترین حالت دارد (Abanda & Byers, 2016). در پژوهش دیگری در شهر سلیمانیه عراق تأثیر تغییر ۵ درجه‌ای جهت‌گیری یک نمونه ساختمان بلندمرتبه (درمجموع ۱۸ حالت بررسی‌شده است) بر مصرف انرژی سالیانه آن موردبررسی قرارگرفته است (Jamal Jalal & Bani, 2017). در این پژوهش جهت‌گیری‌های ۷۰°–۱۶۰°, ۱۶۰°–۲۵۰° و ۲۵۰°–۳۴۰° به‌عنوان حالت بهینه معرفی‌شده است. در ایران، کسمایی، ۱۳۹۱، جهت‌گیری بهینه ساختمان برای مناطق مختلف ایران را بیان نموده است (کسمائی، ۱۳۹۱، ۲۰۶-۱۹۵). بااین‌وجود پژوهشی درزمینه میزان تأثیر جهت‌گیری‌های مختلف ساختمان بر بار سرمایش، گرمایش و مجموع بار سرمایش و گرمایش ساختمان به‌خصوص در ساختمان‌های مسکونی شهر تهران انجام‌نشده است. در رابطه با تأثیر جهت‌گیری بر میزان مصرف انرژی ساختمان مطالعه‌ای در شهر تبریز انجام‌شده است که در آن، زوایای ۱۳۵ درجه تا ۲۰۰ درجه در جهت عقربه‌های ساعت از شمال موردبررسی قرارگرفته‌اند (Karimimoshaver & Samadpour Shahrak, 2022). در این مطالعه برای شبیه‌سازی سناریوهای مختلف، از انوی مت (Envi-met) و ری من (Rayman) استفاده‌شده و سه عامل دمای هوا (Ta)، میانگین دمای تابشی (Tmrt) و شاخص دمای معادل فیزیولوژیکی (PET) به‌عنوان عوامل ضروری آسایش حرارتی موردبررسی قرار گرفتند. نتایج این نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن وضعیت متغیرها در تابستان و زمستان، زاویه ۱۳۵ درجه از شمال مناسب‌ترین حالت برای این شهر می‌باشد. در مطالعه دیگری در هند با تجزیه‌وتحلیل کارایی انرژی یک ساختمان بر اساس موقعیت مکانی (شهرهای هند) و جهت‌گیری آن در شهرهای انتخاب‌شده بمبئی، شیلونگ، دهلی، چنای، برخی از پارامترهای رایجی که بر مصرف انرژی منبع ساختمان تأثیر می‌گذارند مانند ارتفاع ساختمان، ساختمان‌های همسایه، مصالح سقف، مساحت پنجره، متریال پنجره و برآمدگی‌ها در نظر گرفته‌شده است و تأثیر جهت‌گیری در آنها دیده‌شده است (Renuka et al., 2022). نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که بیشترین کاهش درصد در مصرف انرژی در دهلی با جهت ساختمان رو به شمال (۲۶.۴۲٪) و پس‌ازآن چنای با جهت ساختمان رو به شمال (۲۰.۹۰٪) وجود دارد. از تجزیه‌وتحلیل به این نتیجه می‌رسد که اجرای پارامترهای بهینه یافت شده در این مطالعه با توجه به موقعیت مکانی (شهرهای هند) و جهت‌گیری آن می‌تواند مصرف انرژی ساختمان در هند را کاهش دهد. هدف از این پژوهش بهینه‌سازی نما در جهت کاهش مصرف انرژی می‌باشد. بهینه‌سازی به مجموعه تلاش‌هایی اطلاق می‌شود که به‌منظور کمینه یا بیشینه‌سازی یک تابع هدف صورت می‌پذیرد. در مباحث انرژی، کمینه کردن تابع مصرف انرژی موردنظر است که در آن باید تأمین آسایش حرارتی، تأمین آسایش بصری، تأمین آسایش تنفسی در کنار کمینه کردن زمان بازگشت هزینه اولیه مدنظر باشد (ذوالفقاری، ۱۳۹۳). در این پژوهش به حداقل رساندن مجموع بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان از طریق انتخاب بهینه مصالح، روش ساخت جداره خارجی و جهت‌گیری ساختمان موردنظر می‌باشد. در مقایسه با تحقیقات پیشین، در این پژوهش سعی شده است که تمامی انواع نماهای رایج در شهر تهران در چهار جهت اصلی مورد ارزیابی قرار گیرد و علاوه بر ارائه درصد دقیقی از تأثیر متغیرهای مختلف موردنظر این پژوهش، بر انرژی سالیانه ساختمان، تأثیر جهت‌گیری ساختمان نیز در این متغیرها دیده شود. در این رابطه بررسی نمونه‌های موجود در شهر تهران (محدوده‌ی موردمطالعه) نشان می‌دهد که دیوارهای پشتیبان نما در دو حالت دیوارهای بنایی (بلوک‌های سفالی و سیمانی یا آجر) و دیوارهای پیش‌ساخته، ساخته می‌شوند. همچنین نماها بر اساس مصالح به‌کاررفته در آنها به انواع نمای سنگی، نمای آجری، نمای سیمانی و بتنی، نمای سرامیک و نمای کامپوزیت فلزی تقسیم می‌شوند که به دو روش خشک و تر اجرا می‌شود (سازمان برنامه‌وبودجه ایران، ۱۳۹۵، ۶۷). شکل ۱ جزئیات اجرایی این نماها را نشان می‌دهد. این جزئیات (چگونگی اتصال نما به دیوار پشتیبان یکسان) جهت ساخت مدل‌های شبیه‌سازی این پژوهش مورداستفاده قرارگرفته است.

روش پژوهش

این پژوهش به لحاظ نوع تحقیق کاربردی است و در رابطه با داده‌های موردبررسی و خروجی پژوهش، کمی است. متغیرهای مستقل پژوهش انواع نماهای ساختمانی و روش‌های اجرای آن‌ها می‌باشد و متغیر وابسته بار گرمایش، سرمایش و مجموع بار گرمایشی و سرمایشی مدل‌های ساختمان‌های مسکونی موردمطالعه می‌باشد. مدل ساخته‌شده شامل ۴ زون ۷۰ مترمربعی در جهات رو به شمال، جنوب، شرق و غرب و در چهار طبقه می‌باشد. کاربری هر زون مسکونی



شکل ۱. جزئیات اجرایی نماهای متداول در شهر تهران (ماخذ : سازمان برنامه‌وبودجه ایران، ۱۳۹۵، ۶۷)

Figure 1. Common construction details of buildings facades in Tehran (Source: Iran Planning and Budget Organization, 2016)

با سیستم پکیج و سیستم سرمایش کولر در نظر گرفته‌شده است. شکل ۲، مدل‌سازی ساختمان در نرم‌افزار دیزاین بیلدر (واسط کاربری نرم‌افزار انرژی پلاس) را نشان می‌دهد.

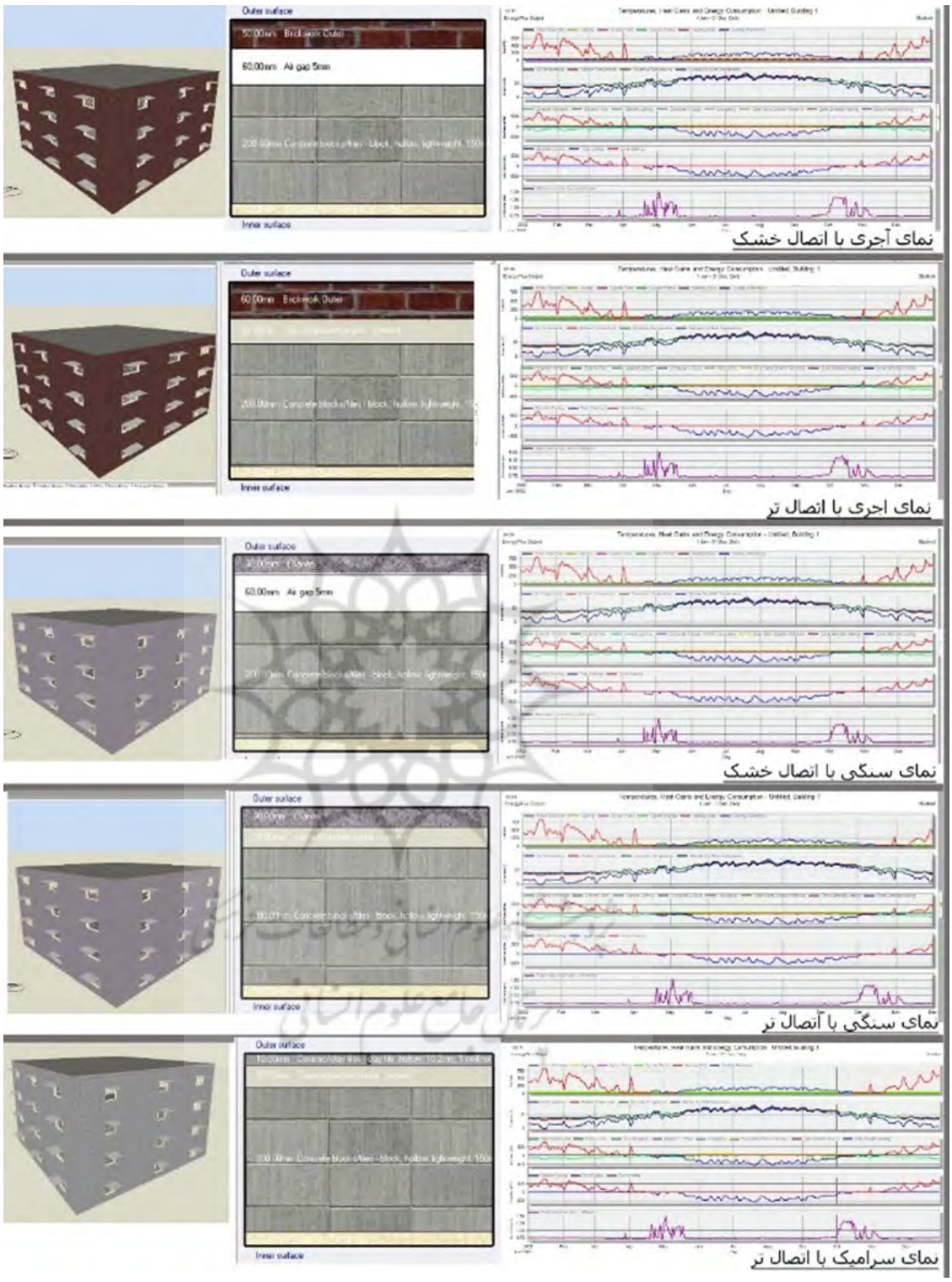
شبیه‌سازی رایانه‌ای ابزار اصلی در این پژوهش می‌باشد. به این منظور از نرم‌افزار دیزاین بیدر جهت تحلیل‌های حرارتی استفاده‌شده است. ازآنجاکه تمامی این تحلیل‌ها بر پایه اطلاعات اقلیمی انجام می‌گردد، اطلاعات اقلیمی در قالب فایل اطلاعات آب و هوایی، از نرم‌افزار متونورم استخراج‌شده و در نرم‌افزار کلایمیت کنسولتنت تحلیل‌شده است. دیزاین بیدر از موتور انرژی پلاس جهت تحلیل‌های حرارتی ساختمان استفاده می‌کند. پژوهش‌های میدانی متعددی دقت و کارایی بالای این نرم‌افزار را در شبیه‌سازی ساختمان نشان داده است (Abba et al., 2022; Fathalian & Kargarsharifabad, 2018). دقت این نرم‌افزار در مقایسه با مقادیر به‌دست‌آمده از پژوهش‌های میدانی، حداکثر ٪ ۱۳± تفاوت داشته است که مقدار قابل قبولی است (Neto & Fiorelli, 2008). مدل‌سازی شبکه جریان هوای نرم‌افزار انرژی پلاس با استفاده از مقایسه نتایج مدل‌سازی با سری زیادی از

شکل ۲. مدل‌سازی ساختمان در نرم‌افزار دیزاین بیلدر
Figure 2. Modeling of building in Design builder software.

اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی باکیفیت بالا توسط لابراتوری ملی اواک ریگ اعتبارسنجی شده است. اعتبارسنجی مدل‌سازی شبکه جریان هوای نرم‌افزار انرژی پلاس همچنین با استفاده از اطلاعات اندازه‌گیری شده توسط لابراتوری علوم ساختمانی در مرکز انرژی خورشیدی فلوریدا انجام‌شده است (Lixing, 2007). با توجه به انواع پوشش‌های متداول بکار رفته در نما در محدوده‌ی موردمطالعه و جزییات اجرایی این نماها، به‌منظور ارزیابی عملکرد حرارتی این نماها و انتخاب نمای بهینه، تأثیر استفاده از مصالح مختلف در نمای ساختمان در دمای تابشی سطوح و بار سالانه سرمایش و مجموع بار حرارتی ساختمان، شبیه‌سازی رایانه‌ای در نرم‌افزار دیزاین بیلدر ورژن ۵/۰۱، در طول یک سال با در نظر گرفتن فایل اطلاعات اقلیمی مناطق جنوب، شرق و غرب تهران که از سرور انرژی پلاس و ایستگاه‌های هواشناسی مرتبط دریافت شده است، در ۱۳ حالت انجام‌شده است (شکل ۳). نماهای کامپوزیت فلزی، سرامیک با روش اتصال خشک، سرامیک با روش اتصال چسبیده، سیمانی، پانل‌های بتنی با روش اتصال خشک، آجری با روش اتصال خشک، آجری با روش اتصال چسبیده، سنگی با روش اتصال خشک (سنگ گرانیت، مرمر، کوارتزیت و ماسه‌سنگ)، سنگی با روش اتصال چسبیده. به این منظور، جنس دیوار پشتیبان در تمامی حالات بلوک سیمانی سبک در نظر گرفته‌شده است. شکل ۳، مدل‌سازی انجام‌شده و نتایج شبیه‌سازی را برای نماهای مختلف نشان می‌دهد.

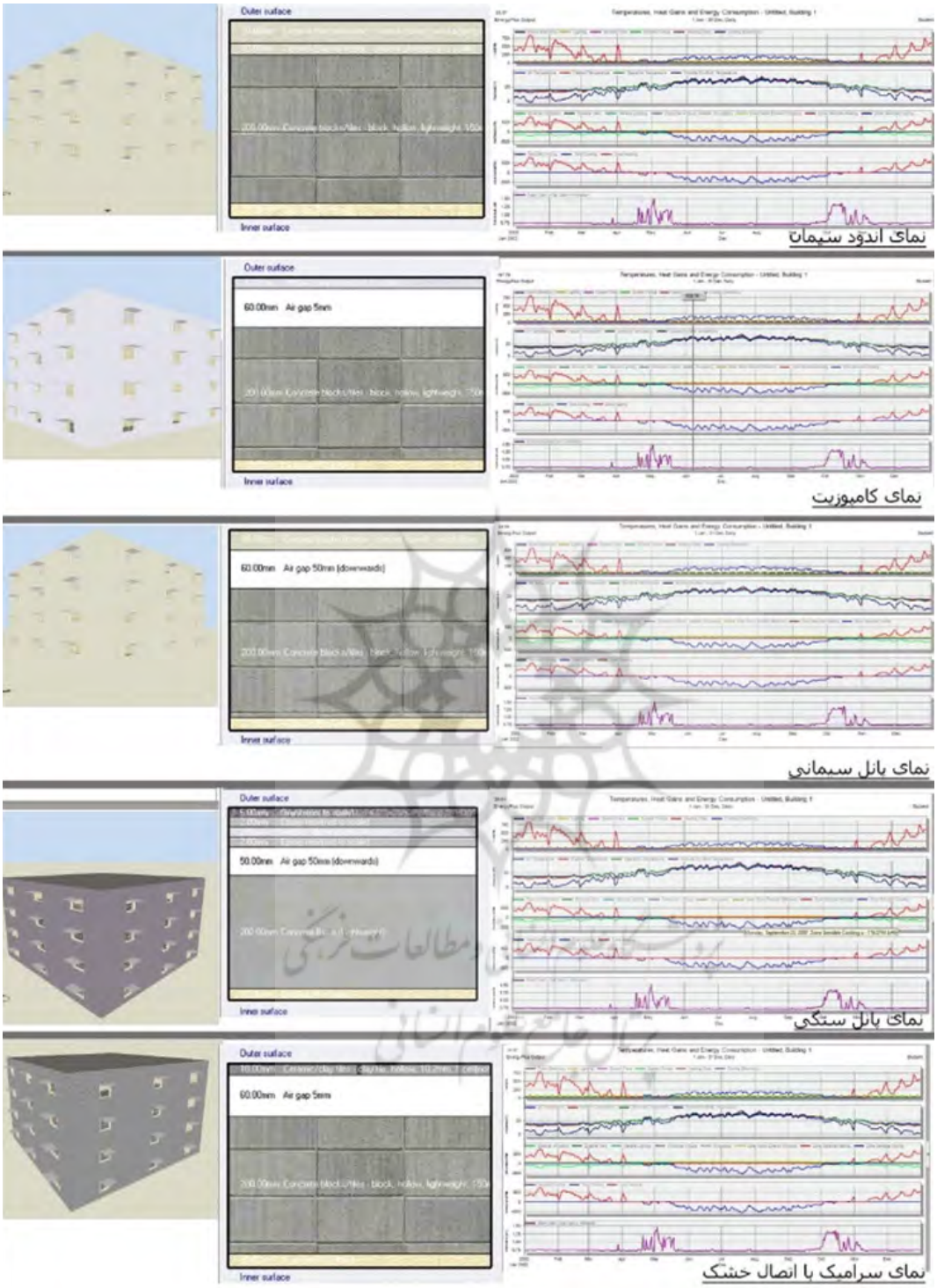
بحث

در ادامه با توجه به نتایج حاصل از شبیه‌سازی رایانه‌ای، عملکرد حرارتی ۱۳ نوع نمای موردبررسی با توجه به بار سرمایشی، بار گرمایشی و مجموع بار مصرف انرژی سالانه ارائه‌شده و نماها و نحوه‌ی اجرای بهینه نما با توجه به ایجاد کمترین بار گرمایشی و سرمایشی در ساختمان، اولویت‌بندی شده است. شکل ۴، مقایسه انرژی مصرفی در ساختمان‌های رو به جنوب، شکل ۵، مقایسه انرژی مصرفی در ساختمان‌های رو به شمال، شکل ۶، مقایسه انرژی مصرفی در ساختمان‌های رو به غرب و شکل ۷، مقایسه انرژی مصرفی در ساختمان‌های رو به شرق با انواع مختلف نماسازی ر ا نشان می‌دهند. مقادیر نشان داده‌شده در شکل برحسب گیگا ژول می‌باشد (1GJ = ۲۷۷/۷۷۷۷۷۷۸ kWh). در واحدهای رو به جنوب، به ترتیب، کمترین بار گرمایشی مربوط به نمای آجری با روش اتصال خشک، پانل‌های بتنی با روش اتصال خشک و نمای آجری با روش اتصال



شکل۳. جزییات مدل‌سازی و نتایج مربوط به شبیه‌سازی رایانه‌ای عملکرد حراراتی نمای آجری با اتصال خشک و تر، نمای سنگی با اتصال خشک و تر و نمای سرامیک با اتصال تر، نمای سیمانی، کامپوزیت، پانل سیمانی، پانل سنگی و سرامیکی با اتصال خشک

Figure 3. The details of modeling and the results of simulations of thermal performance of brick, stone, composite panel, cement panel, stone panel and ceramic facade with dry and wet joint.



ادامه شکل۳. جزییات مدل‌سازی و نتایج مربوط به شبیه‌سازی رایانه‌ای عملکرد حراراتی نمای آجری با اتصال خشک و تر، نمای سنگی با اتصال خشک و تر و نمای سرامیک با اتصال تر، نمای سیمانی، کامپوزیت، پانل سیمانی، پانل سنگی و سرامیکی با اتصال خشک

Continiue of Figure 3. The details of modeling and the results of simulations of thermal performance of brick, stone, composite panel, cement panel, stone panel and ceramic facade with dry and wet joint.

شکل ۴. مقایسه انرژی مصرفی در ساختمان‌های رو به جنوب با انواع مختلف نماسازی.
Figure 4. The comparison of energy consumption in south-facing buildings with different facades.

شکل ۵. مقایسه انرژی مصرفی در ساختمان‌های رو به شمال با انواع مختلف نماسازی.
Figure 5. The comparison of energy consumption in north-facing buildings with different facades.

چسبیده می‌باشد و نماهای سنگی با روش اتصال چسبیده بدترین عملکرد را دارد و بعدازآن نماهای سیمانی و نمای سرامیک با روش اتصال چسبیده عملکرد حرارتی نامناسبی دارند. نحوه‌ی اتصال و جرای نما تأثیر قابل‌توجهی دربار گرمایشی ساختمان دارد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که در نماهای با مصالح یکسان، اجرای نما با اتصال خشک تا ۱۲٪ دربار گرمایشی و ۳/۵ تا ۷/۵٪ دربار سرمایشی ساختمان‌های رو به جنوب صرفه‌جویی ایجاد می‌کند. کمترین بار سرمایشی مربوط به پانل‌های بتنی با روش اتصال خشک و نمای سنگ بارنگ روشن با روش اتصال چسبیده می‌باشد و نماهای سیمانی بدترین عملکرد را دارد و بعدازآن نماهای سرامیکی، سنگی و آجری با روش اتصال چسبیده عملکرد حرارتی نامناسبی دارند. کمترین بار کلی انرژی مربوط به نمای آجری با روش اتصال خشک، پانل‌های بتنی با روش اتصال خشک و نماهای سنگی با روش اتصال خشک می‌باشد. نماهای سیمانی بدترین عملکرد را دارد و بعدازآن نماهای سرامیکی، سنگی و آجری با روش اتصال چسبیده عملکرد حرارتی نامناسبی دارند. نمای کامپوزیت فلزی که عملکرد بهتری از نماهای سنگی، سرامیکی و آجری با روش اتصال چسبیده دارد ولی عملکرد همین نماها با روش اتصال خشک بهتر از نماهای کامپوزیت فلزی است.

در واحدهای رو به شمال نماهای آجری با روش اتصال خشک، پانل‌های بتنی با روش اتصال خشک و نمای سنگ ماسه‌سنگی با روش اتصال خشک به ترتیب کمترین بار گرمایشی و نمای سیمانی، نماهای سنگی با روش اتصال چسبیده، نمای سرامیک با روش اتصال چسبیده، نمای آجری با روش اتصال چسبیده و نمای کامپوزیت فلزی بیشترین به ترتیب بار گرمایشی را داشته‌اند. در نماهای با مصالح یکسان، اجرای نما با اتصال خشک ۱۲ تا ۱۳٪ درصد در نمای شمال نسبت به اجرای نما به‌صورت چسبیده و با ملات، دربار گرمایشی و ۳/۵ تا ۴/۵٪ دربار سرمایشی ساختمان صرفه‌جویی ایجاد می‌کند. در واحدهای رو به شمال کمترین بار سرمایشی مربوط به پانل‌های بتنی با روش اتصال خشک و نمای سنگ بارنگ روشن با روش اتصال چسبیده می‌باشد و نماهای سیمانی بدترین عملکرد را دارد و بعدازآن نماهای سرامیکی، سنگی و آجری با روش اتصال چسبیده عملکرد حرارتی نامناسبی دارند. کمترین بار کلی انرژی مربوط به واحدهای با نمای آجری با روش اتصال خشک، پانل‌های بتنی با روش اتصال خشک و نماهای سنگی با روش اتصال خشک می‌باشد. نماهای سیمانی بدترین عملکرد را دارد و بعدازآن نماهای سرامیکی، سنگی و آجری با روش اتصال چسبیده عملکرد حرارتی نامناسبی دارند. نمای کامپوزیت فلزی

شکل ۶. مقایسه انرژی مصرفی در ساختمان‌های رو به غرب با انواع مختلف نماسازی.
Figure 6. The comparison of energy consumption in west-facing buildings with different facades.

شکل ۷. مقایسه انرژی مصرفی در ساختمان‌های رو به غرب با انواع مختلف نماسازی.
Figure 7. The comparison of energy consumption in east-facing buildings with different facades.

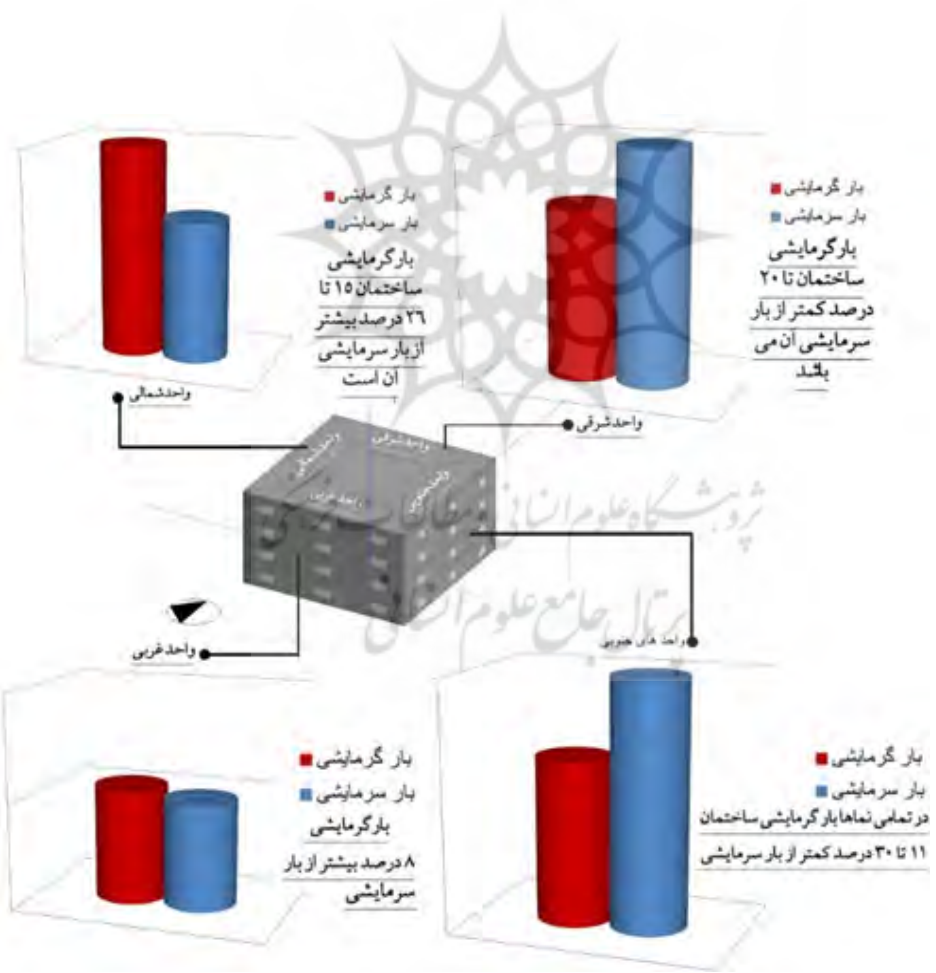
عملکرد بهتری از نماهای سنگی، سرامیکی و آجری با روش اتصال چسبیده دارد ولی عملکرد همین نماها با روش اتصال خشک بهتر از نماهای کامپوزیت فلزی است.

بهترین جنس نما به‌منظور کاهش بار گرمایشی ساختمان در واحدها و جداره‌های رو به غرب، نماهای آجری با روش اتصال خشک و پانل‌های بتنی با روش اتصال خشک می‌باشد. در این رابطه نامناسب‌ترین نما، نمای سیمانی می‌باشد.

نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که در نماهای با مصالح یکسان، اجرای نما با اتصال خشک تا ۱۴ درصد در نماهای غربی نسبت به اجرای نما به‌صورت چسبیده و با ملات، دربار گرمایشی و ۳/۵ تا ۷٪ دربار سرمایشی ساختمان صرفه‌جویی ایجاد می‌کند. بهترین جنس نما به‌منظور کاهش بار سرمایشی ساختمان در واحدها و جداره‌های رو به غرب، نمای پانل بتنی و نماهای سنگی بارنگ روشن (مانند سنگ مرمری) با روش اتصال خشک می‌باشد. در این رابطه نامناسب‌ترین نما، نمای سیمانی است. بهترین جنس نما به‌منظور کاهش بار کلی انرژی ساختمان در واحدها و جداره‌های رو به غرب، پانل‌های بتنی با روش اتصال خشک، نمای آجری با روش اتصال خشک و نماهای سنگی با روش اتصال خشک می‌باشند. در این رابطه نامناسب‌ترین نما، نمای سیمانی و نماهای سنگی و سیمانی با روش اتصال با ملات می‌باشد. در واحدهای رو به شرق نمای آجری با روش اتصال خشک، پانل‌های بتنی با روش اتصال خشک و نمای سنگ ماسه‌سنگی با روش اتصال خشک به ترتیب کمترین بار گرمایشی و نماهای سنگی با روش اتصال چسبیده، نمای سیمانی، نمای سرامیک با روش اتصال چسبیده، نمای آجری با روش اتصال چسبیده و نمای کامپوزیت فلزی به ترتیب بیشترین بار گرمایشی رادارند. اجرای نما با اتصال خشک تا ۱۴٪ در نماهای شرقی نسبت به اجرای نما به‌صورت چسبیده و با ملات، دربار گرمایشی و ۴ تا ۷٪ دربار سرمایشی ساختمان صرفه‌جویی ایجاد می‌کند. در واحدهای رو به شرق، به ترتیب، کمترین بار سرمایشی مربوط به پانل های بتنی با روش اتصال خشک و نمای سنگ بارنگ روشن با روش اتصال چسبیده می‌باشد و نماهای سیمانی بدترین عملکرد را دارد و بعدازآن نماهای سرامیکی، سنگی و آجری با روش اتصال چسبیده عملکرد حرارتی نا-مناسبی دارند. در واحدهای رو به

شـــرق ترتیب نماها در کاهش بار کلی انرژی ســـاختمان، نمای آجری با روش اتصال خشـــک، نماهای ســـنگی با روش اتصال خشک، نمای سرامیک با روش اتصال خشک و پانل‌های بتنی با روش اتصال خشک می‌باشد. میزان مصرف انرژی نماهای سنگی، سرامیکی و بتنی با روش اتصال خشـــک در واحدهای رو به شـــرق به هم نزدیک است. در این واحدها نماهای ســـیمانی، سرامیک و سنگ با روش اتصال چسبیده به ترتیب بدترین عملکرد رادارند. با توجه به نتایج ارائه‌شـــده در شکل ۵ تا ۸، در واحدهای رو به غرب، به‌طورکلی بار گرمایشـــی ساختمان تا ۸ درصد بیشتر از بار سرمایشـــی آن می‌باشد بااین‌وجود در واحدهای با نمای آجری با روش اتصال خشک بار سرمایشی بیشتر از بار گرمایشی بوده اســـت. در واحدهای رو به جنوب، در تمامی نماها بار گرمایشـــی ســـاختمان ۱۱ تا ۳۰ درصد کمتر از بار سرمایشـــی آن می‌باشـــد. در واحدهای رو به شـــمال، به‌طورکلی بار گرمایشی ساختمان ۱۵ تا ۲۶ درصد بیشـــتر از بار سرمایشـــی آن می‌باشد. در واحدهای رو به شرق، به‌طورکلی بار گرمایشـــی ساختمان تا ۲۰ درصد کمتر از بار سرمایشی آن می‌باشـــد. تنها در نماهای ســـیمانی بار سرمایشی اندکی کمتر از گرمایشی است. شکل ۸، مقایسه نسبت بار گرمایشی به سرمایشی در نماهای مختلف را نشان می‌دهد.

نتایج شبیه‌سازی در نماهای مختلف نشان می‌دهد که به‌طورکلی، بار گرمایشی ساختمان در واحد شـــمالی ۳۰ تا ۴۰٪ در نماهای مختلف بیشتر از واحد جنوبی می‌باشـــد. این درصد در واحدهای غربی ۲۰ تا ۲۵ درصد و در واحدهای شـــرقی ۱۹ تا ۲۲٪ بیشـــتر از واحد جنوبی اســـت؛ بنابراین بهترین جهت‌گیری ســـاختمان در شهر تهران جهت کاهش بار گرمایشـــی ســـاختمان به ترتیب واحدهـــای رو به جنوب،



شکل ۸. مقایسه نسبت بار گرمایشی به سرمایشی در نماهای مختلف.

Figure 8. The comparison of heating to cooling building energy consumption in different facades orientations.

شکل ۹. مقایسه جداگانه بار گرمایشی، سرمایشی و مجموع بار سرمایشی و گرمایشی در نماهای مختلف.

Figure 8. The separate comparison of annual heating, cooling and total cooling and heating energy consumption in different facades orientations.

شرق، غرب و شـــمالی می‌باشد. سرمایشی ساختمان در واحد جنوبی کمتر از ســـایر جهات اســـت. در واحدهای رو به شمال با توجه به نوع نما بار سرمایشـــی ســـاختمان ۰/۵ تا ۷/۵ درصـــد در نماهای مختلف بیشـــتر از واحد جنوبی می‌باشد. این درصد در واحدهای غربی ۶/۵ تا ۷٪ و در واحدهای شـــرقی ۱۰/۵ تا ۱۱٪ بیشتر از واحد جنوبی است؛ بنابراین بهترین جهت‌گیری ساختمان در شهر تهران جهت کاهش بار سرمایشـــی ساختمان به ترتیب واحدهای رو به جنوب، شمال، غرب و شرقی می‌باشد. در واحدهای رو به شمال با توجه به نوع نما مجموع بار سرمایشی و گرمایشی ساختمان ۱۸ تا ۲۰٪ در نماهای مختلف بیشتر از واحد جنوبی می‌باشـــد. این درصد در واحدهای غربی ۱۵ تا ۱۷٪ و در واحدهای شـــرقی حدود ۱۶٪ بیشتر از واحد جنوبی است؛ بنابراین بهترین جهت‌گیری ســـاختمان در شـــهر تهران جهت کاهش مصرف انرژی در ســـاختمان به ترتیب واحدهای رو به جنوب، شرقی، غربی و شـــمالی می‌باشد. شکل ۹، مقایسه جداگانه بار گرمایشی، سرمایشی و مجموع بار سرمایشی و گرمایشی در نماهای مختلف را نشان می‌دهد. در این رابطه در نظر گرفتن ضریب انتقال انرژی متفاوت و متناسب در نماهای رو به جهت‌های مختلف ضروری می‌باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش که به‌منظـــور انتخاب جنس و نحوه اجرای مصالح مناســـب در نمای ساختمان‌های مســـکونی در تهران، درمیان مصالح متـــداول و نیز ارزیابـــی تأثیر جهت‌گیری ســـاختمان بـــر میزان بار سرمایشـــی و گرمایشی در ساختمان‌های مســـکونی انجام‌شده است، نشان می‌دهد که بار گرمایشی ساختمان‌های مسکونی در تهران نسبت به بار سرمایشی در واحدهای غربی و شمالی و بار سرمایشی ساختمان نســـبت به بار گرمایشی در واحدهای جنوبی و شرقی بیشتر است. این موضـــوع می‌تواند در انتخاب جهت‌گیری ســـاختمان‌ها با توجه به نوع کاربری آن (برای مثال کاربری‌هایی که بیشـــتر در روز فعال هستند و در بیشـــتر زمان‌ها انرژی گرمایشی کمتری نسبت به کاربری‌هایی که شـــبانه‌روز فعال هســـتند نیاز دارند) تأثیرگذار باشد. در این رابطه بار گرمایشی در واحدهای رو به غرب، ۸٪ و در واحدهای رو به شمال ۱۵ تا ۲۶٪ بیشتر از بار سرمایشی آن می‌باشد. در واحدهای رو به جنوب، بار گرمایشـــی ســـاختمان ۱۱ تا ۳۰٪ و در واحدهای رو به شـــرق، بار گرمایشی ساختمان تا ۲۰٪ کمتر از بار سرمایشی آن می‌باشد. مقایسه بار گرمایشی در واحدهای جنوبی، شمالی، شرقی و غربی نشان می‌دهد که بهترین جهت-گیری ســـاختمان در شـــهر تهران جهت کاهش بار گرمایشـــی ســـاختمان به ترتیب واحدهای رو به جنوب، شرق (۱۹ تا ۲۲٪ بیشـــتر از واحد جنوبی)، غرب (۲۰ تا ۲۵٪ بیشـــتر از واحدهای جنوبی) و شـــمالی (۳۰ تـــا ۴۰٪ در نماهای مختلف بیشـــتر از واحد جنوبی) می‌باشـــد. بهترین جهت‌گیری ساختمان در شهر تهران جهت

کاهش بار سرمایشی ساختمان به ترتیب واحدهای رو به جنوب، شمال (۰٫۵ تا ۷/۵٪ در نماهای مختلف بیشتر از واحد جنوبی)، غرب (۶/۵ تا ۷٪ بیشتر از واحد جنوبی) و شرقی (۱۰/۵ تا ۱۱٪ بیشتر از واحد جنوبی) می‌باشد. به‌طورکلی (مجموع بار سرمایش و گرمایش) بهترین جهت‌گیری ساختمان در شهر تهران جهت کاهش مصرف انرژی در ساختمان به ترتیب واحدهای رو به جنوب، شرقی (حدود ۱۶٪ بیشتر از واحد جنوبی)، غربی (۱۵ تا ۱۷٪ بیشتر از واحدهای جنوبی) و شمالی (۱۸ تا ۲۰٪ در نماهای مختلف بیشتر از واحد جنوبی) هست. اولیت‌های انتخاب مصالح نما و نحوه اجرا در نماهای جنوبی با توجه به کاهش مجموع بار سرمایشی و گرمایشی ساختمان، نمای آجری با روش اتصال خشک، پانل‌های بتنی با روش اتصال خشک و نماهای سنگی با روش اتصال خشک می‌باشد. در واحدهای رو به شمال، این ترتیب شامل نمای آجری با روش اتصال خشک، پانل‌های بتنی با روش اتصال خشک و نماهای سنگی با روش اتصال خشک می‌باشد. بهترین جنس نما به‌منظور کاهش بار کلی انرژی ساختمان در واحدها و جداره‌های رو به غرب، پانل‌های بتنی با روش اتصال خشک، نمای آجری با روش اتصال خشک نماهای سنگی با روش اتصال خشک می‌باشد. در واحدهای رو به شرق ترتیب نماها در کاهش بار کلی انرژی ساختمان، نمای آجری با روش اتصال خشک، نماهای سنگی با روش اتصال خشک، نمای سرامیک با روش اتصال خشک و پانل‌های بتنی با روش اتصال خشک می‌باشد.

نقش نویسندگان

بررسی ادبیات، تعریف مسئله، سؤالات و اهداف، روش تحقیق، مدل‌سازی و شبیه‌سازی و تفسیر نتایج، تدوین و نگارش مقاله توسط نویسنده، امین اله احدی، انجام‌شده است.

تقدیر و تشکر

از نظرات سازنده داوران مقاله و روند پیوسته پذیرش تا چاپ مقاله که توسط تحریریه نشریه هویت شهر صورت گرفت، کمال تشکر و قدردانی رادارم.

تعارض منافع نویسندگان

نویسندگان به‌طور کامل از اخلاق نشر تبعیت کرده و از هرگونه سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پرهیز نموده‌اند و منافعی تجاری در این راستا وجود ندارد و نویسندگان در قبال ارائه اثر خود وجهی دریافت ننموده‌اند

فهرست مراجع

۱. امیری فرد، رضا؛ ثقفی، محمود رضا؛ و طاهباز، منصوره. (۱۳۹۹). بررسی تأثیر هم‌زمان درصد سطوح شفاف نما و جهت‌گیری بنا بر میزان مصرف انرژی مدارس در اقلیم معتدل و مرطوب ایران. *صفه*، ۳۰(۴)، ۴۹-۶۵.

۲. ذوالفقاری، سید علیرضا؛ سعادتی نسب، مهران؛ و نوروزی، الهه. (۱۳۹۳). ارزیابی میزان تأثیر نمای خارجی ساختمان بر مصرف انرژی سالانه در اقلیم‌های مختلف ایران. *انرژی ایران*، ۱۷ (۴)، ۴۵-۵۱.

۳. ذوالفقاری، سید علیرضا. (۱۳۹۳). واکاوی الزامات و قیود بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان. *انرژی‌های تجدید پذیر و نو*، ۱(۱)، ۱۲-۲۳.

۴. سازمان برنامه‌وبودجه ایران. (۱۳۹۵). *دستورالعمل طراحی سازه‌ای و الزامات و ضوابط عملکردی و اجرایی نمای خارجی ساختمان‌ها ضابطه شماره ۷۱۴*. تهران: سازمان مجری ساختمان‌های دولتی و عمومی معاونت برنامه‌ریزی و مهندسی.

۵. شریفی، مهدی؛ و قبادیان، وحید. (۱۳۹۶). بررسی تأثیر خصوصیات فیزیکی پوسته‌های ساختمان‌ها بر زمان تأخیر و ضریب کاهش انتقال حرارت (نمونه‌ی موردی: ساختمان‌های بلندمرتبه‌ی شهر همدان). *علوم و فنّاوری محیط‌زیست*. ۱۹(۴)،۱۶۷-۱۷۸.

۶. کریم پور، علیرضا؛ دیبا، داراب؛ و اعتصام، ایرج. (۱۳۹۸). تحلیل‌های اقتصادی و ارزیابی میزان مصرف انرژی بر اساس نوع و نسبت پنجره‌ها با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی (موردمطالعه: یک واحد مسکونی نمونه در شهر تهران). *هویت شهر*. ۱۳(۳)، ۱۹-۳۴.

۷. کسمائی، مرتضی. (۱۳۹۱). *اقلیم و معماری*. تهران: شرکت سرمایه‌گذاری خانه‌سازی ایران.

۸. محمد، شقایق. (۱۳۹۲). مطالعه رفتار حرارتی مصالح رایج در ساخت دیوار (مطالعه موردی: ساختمان‌های مسکونی شهر تهران). *معماری و شهرسازی (هنرهای زیبا)*. ۱۸(۱)، ۶۹-۷۸.

۹. مداحی، سید مهدی؛ و توانائی، فهیمه. (۱۳۹۸). بهینه‌سازی عملکرد حرارتی جداره‌های خارجی یک ساختمان مسکونی میان مرتبه در اقلیم سرد و خشک با بهره‌گیری از نرم‌افزار شبیه‌ساز انرژی (نمونهٔ موردی: شهر مشهد). *مهندسی و مدیریت انرژی*. ۹(۳)، ۱۰۸-۱۲۱.

۱۰. وزارت نیـــرو. (۱۳۹۲). *ترازنامه انرژی ایران ســـال ۱۳۹۱*. تهران: معاونت امور برق و انرژی. دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی.
۱۱. وزارت نیـــرو. (۱۳۹۹). *ترازنامه انرژی ایران ســـال ۱۳۹۷*. تهران: معاونت امور برق و انرژی. دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی.

12. Abanda, F.H., & Byers, L. (2016). An investigation of the impact of building orientation on energy consumption in a domestic building using emerging BIM (Building Information Modelling). *Energy*, 97(c), 517-527.

13. Abba, H. Y., Majid, R. A., Ahmed, M. H., & Ayegbusi, O. G. (2022). Validation of Design builder Simulation Accuracy Using Field Measured Data of Indoor Air Temperature in A Classroom Building. *Journal of Tourism Hospitality and Environment Management*, 7 (27), 171-178.

14. Albatayneh, A., Alterman, D., Page, A., & Moghtaderi, B . (2018). The Significance of the Orientation on the Overall buildings Thermal Performance-Case Study in Australia. *Energy Procedia*, 152, 377-372.

15. Balali, A., & Valipour, A. (2020). Identification and selection of building façade's smart materials according to sustainable development goals. *Sustainable Materials and Technologies*, 26(4), 213-224.

16. Eskin. N., & Turkmen. H. (2008). Analysis of Annual Heating and Cooling Energy Requirements for Office Buildings in Different Climates in Turkey. *Journal of Energy and Building*, 40(5), 763-773.

17. Fathalian, A., & Kargarsharifabad, H. (2018). Actual validation of energy simulation and investigation of energy management strategies (Case Study: An office building in Semnan, Iran). *Case Studies in Thermal Engineering*, 12, 510-516.

18. Jalali, S., Parapari, D. M., & Mahdavinejad, M. J. (2019). Analysis of Building Facade Materials Usage Pattern in Tehran. *Advanced Engineering Forum*, 31, 46–62.

19. Jamal Jalal, Sh., & Bani, R. (2017). Orientation modeling of high-rise buildings for optimizing exposure/ transfer of insolation, case study of Sulaimani, Iraq. *Energy for Sustainable Development*, 41, 157-164.

20. Karimimoshaver, M., & Samadpour Shahrak, M. (2022). The effect of height and orientation of buildings on thermal comfort. *Sustainable Cities and Society*, 79, 103-117.

21. Lixing, G. (2007). Airflow Network Modeling in EnergyPlus. *Conference Proceedings 10th International Building Performance Simulation Association Conference and Exhibition*. September 6-3, Beijing: China.

22. Lobaccaro, G., Fiorito, F., Masera, G., & Poli, T. (2012). District geometry simulation: a study for the optimization of solar facaded in urban canopy layers. *Energy Procedia*, 30, 1163-1172.

23. Neto. Av., & Fiorelli. F. (2008). Comparison between detailed model simulation and artificial neural network for forecasting building energy consumption. *Journal of Energy and Building*, 40(12), 2169-2176.

24. Renuka, S.M., Maharani, C.M., Nagasudha,S., & Raveena Priya, R. (2022). Optimization of energy consumption based on orientation and location of the building. *Materials Today: Proceedings*, 65(2), 527-536.

25. Saleem, M., Chhipi-Shrestha, G., Barbosa Andrade, M., Dyck, R., Ruparathna, R, Hewage, K., & Sadiq, R. (2018). Life Cycle Thinking–Based Selection of Building Facades. *Journal of Architectural Engineering*, 24(4), 1-13.

26. Susorova, I., Angulo, M., Bahrami, P., & Stephens, B. (2013). A model of vegetated exterior facades for evaluation of wall thermal performance. *Building and Environment*, 67, 1-13.

27. Tokbolat, S., Karaca, F., Durdyev, S., & Calay, RK. (2020). Construction professionals' perspectives on

drivers and barriers of sustainable construction. *Environ Dev Sustain,* 22, 4361–4378.

28. Wonorahardjo, S., Sutjahja, I., Mardiyati, Y., Andoni, H., Amalia Achsani, R., Steven, S., Thomas, D., Tunçbilek, E., Arıcı, M., Rahmah, N., & Tedja, S. (2022). Effect of different building façade systems on thermal comfort and urban heat island phenomenon: An experimental analysis. *Building and Environment,* 217, 109-113.

COPYRIGHTS

©2022 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

ISSN 17359562 DOI: 10.30495/hoviatshahr.2022.66460.12197

The Assessment of Role of Orientation, Type of Materials and Facade Construction Details on the Energy Consumption of Residential Buildings in Tehran

Amin alah Ahadi*, *Assistant Professor, Department of Architecture, College of Architecture, Parand Branch, Islamic Azad University, Parand, Iran.*

Abstract

In this research, focusing on the East, West and South regions of Tehran, the cooling and heating load in residential buildings in different geographical directions has been compared, and concerning the building façade material and construction details, optimal choices have been proposed. This study answers these questions, which of the typical façade materials and construction detail in Tehran city have the best performance in reducing the energy consumption of residential buildings, and what is the effect of facade direction on heating and cooling energy consumption of residential buildings. For this purpose, the simulation tool has been utilized using Energy plus software with a design-builder interface for thermal analysis. The results of this study show that the heating load of residential buildings in Tehran is higher than the cooling load in the western and northern units and the cooling load of the building is higher than the heating load in the southern and eastern units. In this regard, the heating load in the west facing units is 8%, and in the north units, it is 15 to 26% more than the cooling load. In south-facing units, the heating load of the building is 11 to 30%, and in east-facing units, the heating load of the building is up to 20% less than the cooling load. Comparison of heating load in southern, northern, eastern and western units shows that the best orientation of the building in Tehran to reduce the heating load of the building are respectively south-facing, east-facing (19 to 22% more than the southern unit), west-facing (20 to 25% more than southern units) and north-facing (30 to 40% more than southern units). The best orientation of the building in Tehran to reduce the cooling load of the building are the units facing south, north (0.5 to 7.5% more than the southern unit), west (6.5 to 7% more than the southern unit) and east (10.5 more than the southern unit) respectively. Regarding total cooling and heating load, the best orientation of the building in Tehran to reduce energy consumption are respectively south and then east facing units (about 16% more than southern units), west (15 to 17% more than southern units) and north (18 to 20% more in different views than southern units). The priorities of selection of facade materials and construction details in southern facades are brick facades with dry connection method, concrete panels with dry connection method and stone facades with dry connection method. In north-facing units, this arrangement includes a brick facade with a dry connection method, concrete panels with a dry connection method and stone facades with a dry connection method. In the west facing units, concrete panels with dry connection method, brick facades with dry connection method, and stone facades with dry connection method are the best. In the east facing units, brick facades with dry connection method, stone facades with dry connection method, ceramic facades with dry connection method and concrete panels with dry connection method have better performance in reducing the energy consumption of the building.

Keywords: Residential buildings, Buildings envelop, Saving energy consumption, Tehran City

* Corresponding Author Email: ahadi6688@yahoo.com