

ارزیابی تاثیر روش های رایج اجرای نمای ساختمان های مسکونی شهر تهران در مصرف انرژی

امین اله احدی*

تاریخ دریافت مقاله:

۱۴۰۱/۰۱/۰۱

تاریخ پذیرش مقاله:

۱۴۰۲/۰۴/۰۷

چکیده

در این پژوهش که با تمرکز بر مناطق شرق، غرب و جنوب شهر تهران انجام شده، میزان بار سرمایشی و گرمایشی در ساختمان های رو به جهات مختلف جغرافیایی مقایسه شده و در رابطه با بخش صلب جداره، در میان مصالح و روش های ساخت متداول، جنس نما و جزئیات ساخت مناسب جداره های جداکننده خارجی در هر جهت جغرافیایی مشخص شده است. به این منظور از ابزار شبیه سازی با استفاده از نرم افزار Energy plus با واسطه گرافیکی Design builder جهت تحلیل حرارتی و مصرف انرژی ساختمان استفاده شده است. نتایج این پژوهش نشان می دهد که واحدهای جنوبی کمترین مجموع بار سرمایشی و گرمایشی مصرفی را دارند و بعدازآن به ترتیب واحدهای شرقی (۱۶ درصد بیشتر از واحدهای جنوبی)، غربی (۱۷ درصد بیشتر واحدهای جنوبی) و شمالی (۲۰ درصد بیشتر از واحدهای جنوبی) قرار دارند. نتایج شبیه سازی در نماهای مختلف نشان می دهد که به طور کلی، بار گرمایشی ساختمان در واحد شمالی ۳۰ تا ۴۰ درصد در نماهای دارای مصالح مختلف بیشتر از واحد جنوبی است. این درصد در واحدهای غربی ۲۰ تا ۲۵ درصد و در واحدهای شرقی ۱۹ تا ۲۲ درصد بیشتر از واحد جنوبی است. در واحدهای رو به شمال باتوجه به نوع نما بار سرمایشی ساختمان ۵/۰ تا ۵/۷ درصد در نماهای با مصالح مختلف بیشتر از واحد جنوبی است. این درصد در واحدهای غربی ۵/۶ تا ۷ درصد و در واحدهای شرقی ۵/۱۰ تا ۱۱ درصد بیشتر از واحد جنوبی است. علاوه بر این تأثیر استفاده از انواع مختلف مصالح رایج در نماهای شهر تهران شامل نماهای کامپوزیت فلزی، سرامیک با روش اتصال خشک، سرامیک با روش اتصال چسبیده، سیمانی، پانل های بتنی با روش اتصال خشک، آجری با روش اتصال خشک، آجری با روش اتصال چسبیده، سنگی با روش اتصال خشک (سنگ گرانیست، مرمر، کوارتزیت و ماسه سنگ)، سنگی با روش اتصال چسبیده بر مصرف انرژی ساختمان بررسی شده و نتایج تحقیق نشان می دهد که بهترین مصالح نما در میان مصالح متداول، آجر و بعدازآن پانل بتنی و بهترین نحوه اجرا، اجرای خشک این مصالح است.

کلمات کلیدی: ساختمان های مسکونی، جداره های خارجی ساختمان، کاهش مصرف انرژی، شهر تهران.

* استادیار، گروه معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد پرند، پرند، ایران. a.ahadi@pia.ac.ir

مقدمه

یکی از مسائل پیش روی طراحان و معماران، مصرف انرژی ساختمان در دوره ساخت است. انرژی مصرف شده در فرایند ساخت یک بنا مقدار زیادی از منابع را دریافت می کند، بنابراین از طریق ارزیابی انرژی زمان ساخت که انرژی نهفته نامیده می شود، می توان با انتخاب مناسب ترین مصالح و راهکارها در مصرف انرژی صرفه جویی کرد (زینلی و همکاران؛ ۱۴۰۰). بخش ساختمان به دلیل طراحی و ساخت نامناسب، مصالح و تجهیزات غیراستاندارد و مواد به کاررفته در ساختمان ها و انتخاب نامناسب پوشش ساختمان ها اعم از پنجره ها و سیستم عایق کاری، بزرگ ترین مصرف کننده انرژی در مقایسه با سایر بخش های اقتصادی کشور است (وزارت نیرو، ۱۳۹۲: ۶۳). میزان مصرف انرژی در بخش ساختمان در ایران ۲/۵۸ برابر متوسط جهانی است (وزارت مسکن و شهرسازی، ۱۳۸۸). فعالیت های بهینه سازی در بخش ساختمان دربرگیرنده فعالیت های مرتبط با پوسته و معماری ساختمان، تأسیسات گرمایش و سرمایش، سیستم های روشنایی و سیستم های کنترل هوشمند تجهیزات انرژی بر خانگی است (وزارت نیرو، ۱۳۹۶: ۷۹). آخرین آمار مصرف انرژی در ایران تا زمان نگارش این پژوهش (ترازنامه انرژی ایران در سال ۱۳۹۴) نشان می دهد که سهم مصرف انرژی در بخش ساختمان، ۳۴ درصد از کل انرژی کشور (بخش صنعت ۲۳/۵، بخش حمل و نقل ۲۵/۶ و بخش کشاورزی ۳/۸۹ درصد) است (وزارت نیرو، ۱۳۹۶: ۱۲۸). این رقم در سال ۱۳۶۹، ۳۰ درصد و در سال ۱۳۸۳، ۴۰ درصد بوده است (وزارت نیرو، ۱۳۸۵). ۴۹ درصد از انرژی برق و ۴۷ درصد از گاز طبیعی کشور در بخش ساختمان مصرف می شود (وزارت نیرو، ۱۳۹۶: ۱۲۸). بیشترین سهم در مصرف منابع انرژی در ساختمان به مصرف انرژی الکتریکی جهت روشنایی،

سرمایش و تهویه اختصاص دارد. باتوجه به اینکه جریان حرارت از میان پوسته های خارجی ساختمان عامل اصلی تغییرات دمای هوای داخل است و به طور مستقیم بر بار گرمایشی و سرمایشی و آسایش حرارتی فضای داخلی مؤثر است (شریفی و قبادیان، ۱۳۹۶)؛ انتخاب مناسب مصالح ساختمانی متناسب با شرایط اقلیمی هر منطقه می تواند منجر به صرفه جویی مصرف انرژی در ساختمان گردد. یکی از عواملی که می تواند تأثیر بسزایی بر میزان دریافت انرژی خورشیدی توسط ساختمان داشته باشد، جنس مصالح به کاررفته در نمای خارجی ساختمان است (بهیار و همکاران، ۱۳۸۱). همچنین جزئیات ساخت جداره خارجی ساختمان (سقف و دیوار بیرونی) و اندازه بازشوها از دیگر عوامل مؤثر هستند. باتوجه به مباحث صرفه جویی در مصرف انرژی و ویژگی های اقلیمی شهر تهران، این پژوهش به این پرسش پاسخ می دهد که در میان مصالح، جنس مصالح مناسب در نمای ساختمان های مسکونی در تهران چیست و جزئیات اجرایی جداره های خارجی ساختمان های مسکونی در مناطق شرق و غرب و جنوب تهران در جهت صرفه جویی در مصرف انرژی چگونه است؟ همچنین تأثیر جهت گیری ساختمان بر میزان بار سرمایشی و گرمایشی در ساختمان های مسکونی مورد مطالعه قرار گرفته است.

مروری بر پیشینه پژوهشی

تاکنون تحقیقات زیادی در زمینه بررسی میزان اثرگذاری جنس نمای خارجی بر مصرف انرژی ساختمان انجام شده است. در پژوهشی در فنلاند در سال ۲۰۰۴، لیندبرگ^۱ و همکاران، به مدت پنج سال با برداشت میدانی میزان دریافت انرژی خورشیدی در دیوارهای دارای نماهای آجری و چوبی را به صورت تجربی مورد مطالعه قرار دادند (Lindberg et al., 2004). نتایج این تحقیق از تأثیر قابل توجه جنس نمای

(Zengin, 2021). نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که بتن هواده‌ی شده از نظر بازیافت، پایداری و انرژی مصرف‌شده برای تولید مصالح و نیز مصرف انرژی ساختمان کارایی بالاتری را دارد. در ایران، در زمینه ۱۹ مقررات ملی ساختمان، مطالعات وسیعی در زمینه ویژگی‌های حرارتی و سایر خصوصیات مصالح ساختمانی که در صرفه‌جویی در مصرف انرژی ساختمان مؤثر است، ارائه شده است. با این وجود، چگونگی استفاده از این مصالح در قالب جزئیات ساختمانی بهینه، معرفی راهکارهایی در زمینه طراحی نماهای اداری و تجاری و استفاده بهینه از مصالح رایج برای نمای این کاربری‌ها، پژوهش در زمینه مصالح جدید، ارزیابی عملکرد حرارتی نماهای ساختمان‌های ساخته‌شده و نیز مقایسه میزان تأثیرات به‌کارگیری مصالح متداول برای نما در اقلیم‌های مختلف ایران (مانند اقلیم شهر تهران در این پژوهش)، کمتر مورد توجه قرار گرفته است که در این پژوهش به آن پرداخته می‌شود. شایان ذکر است که مناسب بودن مصالح به‌کاررفته در نما کاملاً به شرایط آب و هوایی منطقه وابستگی دارد. علاوه بر این طاهباز و جلیلیان (۱۳۸۴)، ویژگی‌های کلی جداره خارجی شامل ظرفیت حرارتی، ضریب انتقال حرارت، زمان تأخیر، رنگ و بافت مصالح نمای را برای پهنه‌های مختلف اقلیمی در ایران مشخص نموده‌اند. در این پژوهش‌ها علاوه بر ارائه اطلاعات کلی، به تأثیر جهت‌گیری ساختمان در موارد پیشنهادی توجه نشده است. جهت‌گیری دیوارهای ساختمان، روی میزان انرژی تابشی برخوردی به آن دیوارها کاملاً مؤثر است. می‌توان از جهت ساختمان به‌عنوان یک عامل طراحی اقلیمی در جهت کاهش مصرف انرژی سالیانه بهره‌برد و تمهیداتی در جهت افزایش انرژی دریافتی (در مناطق سردسیر) و یا

ساختمان بر میزان مصرف انرژی ساختمان (با وجود عایق‌بندی در دیوارها) حکایت داشت. بادیسکو و استایکویچی^۲ در سال ۲۰۰۶، آثار ذخیره انرژی خورشیدی در جدار خارجی ساختمان را بر کاهش مصرف انرژی در اقلیم سرد مورد بررسی قرار دادند (Badescu & Staicovici, 2006). در همان سال، پراگر^۳ و همکاران به تحلیل تجربی میزان تأثیر ضریب انعکاس خورشیدی نماهای رنگ‌شده بر بار حرارتی ساختمان پرداختند (Prager et al., 2006). نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که اگر نمای خارجی ساختمان با رنگ خاکستری پوشش داده شود، بار گرمایشی ساختمان نسبت به حالت نمای پوشش داده‌شده با رنگ سفید کاهش و بار سرمایشی آن افزایش می‌یابد. در سال ۲۰۱۲، لوباکارو^۴ و همکاران با استفاده از شبیه‌سازی عددی به تحلیل میزان آثار 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 مورد مطالعه قرار دادند (Lobaccaro et al., 2012). همچنین در سال ۲۰۱۳، سوسورووا^۵ 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 پژوهشی دیگر در ترکیه تأثیر استفاده از سه مصالح رایج در نمای ساختمان‌های این کشور (آجر، بتن هواده‌ی شده و بلوک‌های سیمانی) در مصرف انرژی ساختمان مورد بررسی قرار گرفته است (Usta &

کاهش آن (در مناطق گرمسیر) پیشنهاد نمود (سبزپوشانی و همکاران، ۱۳۸۵). در این رابطه در پژوهشی در استرالیا، تأثیر جهت‌گیری نمای ساختمان مسکونی بر مصرف انرژی سالیانه مورد ارزیابی قرار گرفته است (Albatayneh et al., 2018). نتایج این پژوهش که از طریق شبیه‌سازی رایانه‌ای انجام شده است، نشان می‌دهد که در نمونه مورد بررسی 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/m² بوده که نشان‌دهنده تأثیر قابل توجه جهت‌گیری ساختمان بر مصرف انرژی ساختمان است. در پژوهش دیگری که در شهر لندن با شبیه‌سازی رایانه‌ای در نرم‌افزار Green Building Studio انجام شده است، تأثیر جهت‌گیری ساختمان با تغییر ۴۵ درجه در هر مرحله بر مصرف گاز و برق ساختمان‌های مسکونی در این منطقه بررسی شده است. نتایج این شبیه‌سازی نشان‌دهنده تفاوت حدود ۱۰ درصدی بین بهترین جهت‌گیری (۱۸۰ درجه از شمال) با بدترین حالت است (Abanda & Byers, 2016). در پژوهش دیگری در شهر سلیمانیه عراق تأثیر تغییر ۵ درجه‌ای جهت‌گیری یک نمونه ساختمان بلندمرتبه (در مجموع ۱۸ حالت بررسی شده است) بر مصرف انرژی سالیانه آن مورد بررسی قرار گرفته است (Jamal & Bani, 2017). در این پژوهش جهت‌گیری‌های ۷۰-۱۶۰، ۱۶۰-۲۵۰، ۲۵۰-۳۴۰ به عنوان حالت بهینه معرفی شده است. در ایران، کسمایی (۱۳۹۱)، جهت‌گیری بهینه ساختمان برای مناطق مختلف ایران را بیان نموده است. با این وجود پژوهشی در زمینه میزان تأثیر جهت‌گیری‌های مختلف ساختمان بر بار سرمایش، گرمایش و مجموع بار سرمایش و گرمایش ساختمان به‌خصوص در

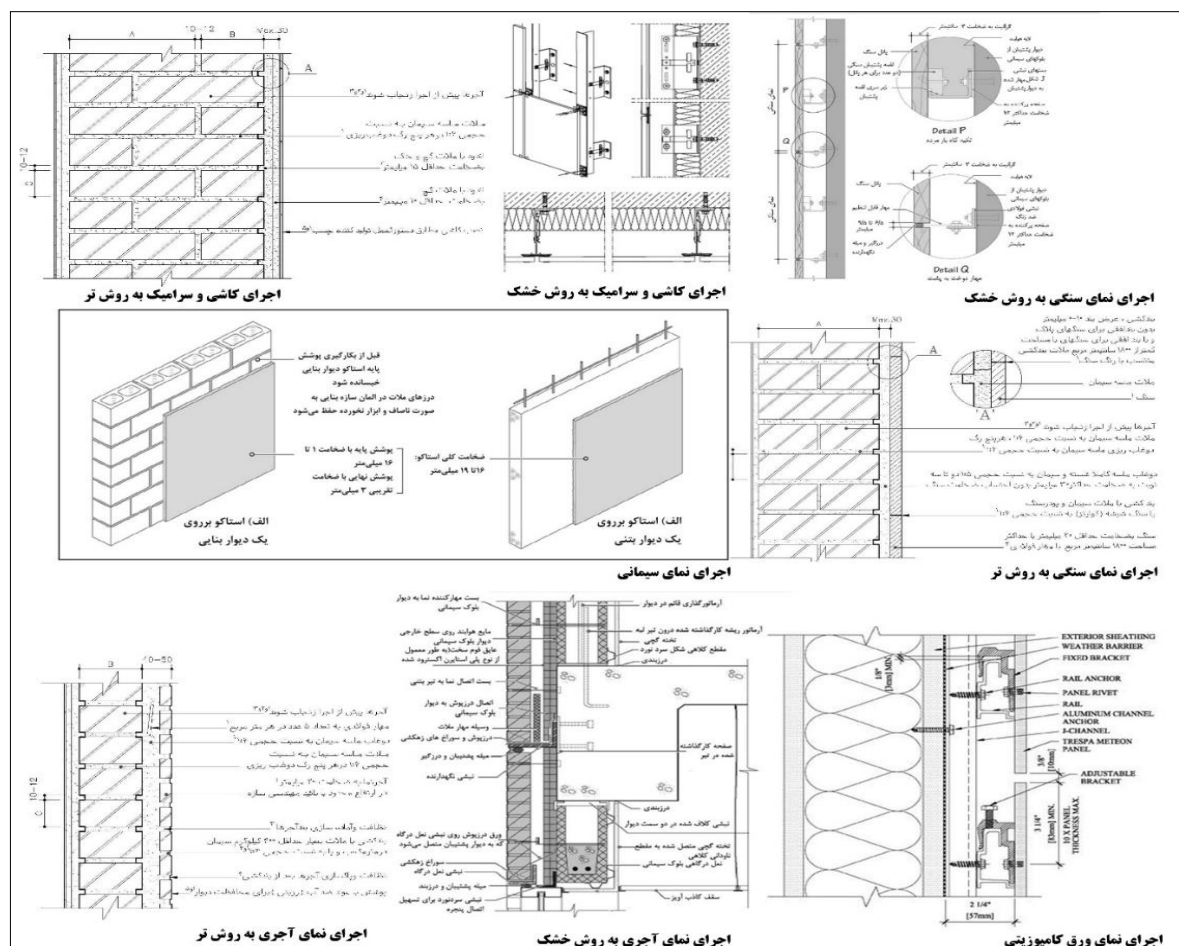
ساختمان‌های مسکونی شهر تهران انجام نشده است.

ادبیات موضوع

بهینه‌سازی به مجموعه تلاش‌هایی اطلاق می‌شود که به منظور 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: ۵۰). 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 است. در این رابطه آنچه اهمیت دارد این است که مصالح چگونه (هالگر کوخ، ۱۳۸۵) گرما را بازمی‌تابانند، جذب می‌کنند، گسیل می‌کنند، از جریان گرما می‌کاهند و گرما را آزاد یا ذخیره می‌کنند. بررسی نمونه‌های موجود در شهر تهران (محدوده مورد مطالعه) 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 به کاررفته 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 برنامه‌بودجه ایران، ۱۳۹۵). تصویر شماره ۱، جزئیات اجرایی این نماها را نشان می‌دهد. این جزئیات (چگونگی اتصال نما به دیوار پشتیبان یکسان) جهت ساخت مدل‌های شبیه‌سازی این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است. مناطق واقع در اقلیم ۴ و ۵ و ۶ که شامل تهران نیز می‌شود (کسمائی، ۱۳۷۲)، دارای معدل حداقل سردترین ماه بین صفر و ۵- درجه و معدل حداکثر دمای گرم‌ترین ماه بین ۳۴ تا

انرژی ۱/۰۲ تا ۱/۲۲ $\text{C}^2\text{W}/\text{m}$ و دیوارها ۰/۸۵ تا ۱/۵ $\text{C}^2\text{W}/\text{m}$ باشد. استفاده از رنگ روشن برای بام ضروری است. رنگ تیره برای دیوارهای جنوبی، شرقی و غربی به شرط تأمین سایه در مواقع گرم، بلامانع است. بافت سطوح خارجی باید زبر و ناهموار باشد. از عایق رطوبتی باید در جداره‌های زیرزمین و پشت‌بام و از پوشش‌های مقاوم رطوبت در سطوح داخلی جداره‌ها بهره گرفت. قسمت پایین جداره‌های خارجی که در تماس با زمین قرار دارد، حداقل تا ارتفاع متعارف برف منطقه باید با مصالح نفوذناپذیر در مقابل رطوبت ساخته شود (طاهباز و جلیلیان، ۱۳۸۴).

۳۸ هستند، معمولاً دارای ۳ تا ۵ ماه با معدل دمای حداکثر ۳۰ درجه است. همه ماه‌ها نوسان دمای روزانه بیشتر از ۱۰ درجه و گاه بالاتر از ۱۵ درجه را دارند. در این ایستگاه‌ها شب‌ها بین ۱ تا ۳ ماه حتماً و ۳ تا ۵ ماه احتمالاً میعان می‌افتد. بروز پدیده شرجی در این اقلیم مشاهده نمی‌شود. در حدود ۱/۵ تا ۳/۵ ماه از سال یخ‌بندان وجود دارد. باتوجه به این توضیحات مشکل این مناطق گرما و سرمای نسبی و یخ‌بندان و میعان در پاره‌ای از ایام زمستان است. در چنین شرایطی جداره‌ها باید علاوه بر ظرفیت حرارتی زیاد (خازن)، از مصالح با ضخامتی ساخته شود که سقف دارای ضریب انتقال

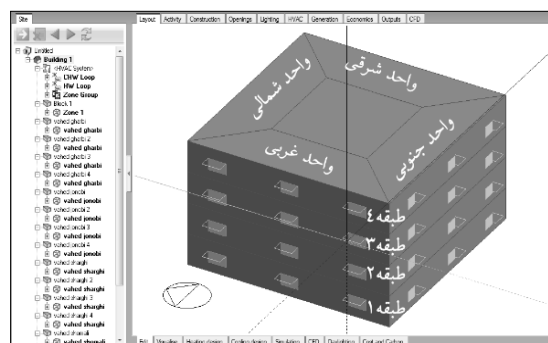


ت. جزئیات اجرایی نماهای متداول در شهر تهران؛ منبع: سازمان برنامه‌وبودجه ایران، ۱۳۹۵؛ سازمان برنامه‌وبودجه ایران،

(۱۳۸۵)

روش تحقیق

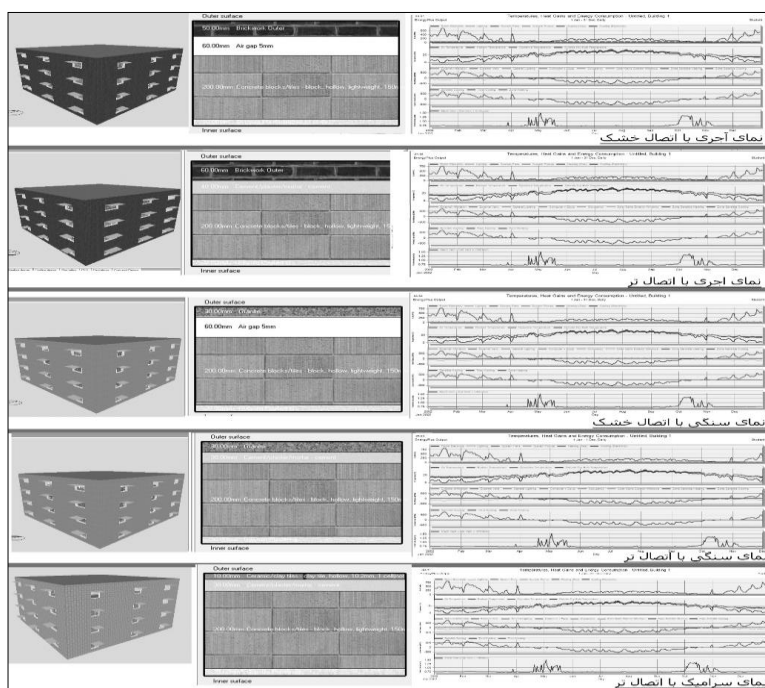
این پژوهش به لحاظ نوع تحقیق کاربردی است و در رابطه با داده های موردبررسی و خروجی پژوهش، کمی است. متغیرهای مستقل پژوهش انواع نماهای ساختمانی و روش های اجرای آن ها است و متغیر وابسته بار گرمایش، سرمایش و مجموع بار گرمایشی و سرمایشی مدل های ساختمان های مسکونی مورد مطالعه است. مدل ساخته شده شامل ۴ زون ۷۰ مترمربعی در جهات رو به شمال، جنوب، شرق و غرب و در چهار طبقه است. کاربری هر زون مسکونی با سیستم پکیج و سیستم سرمایش کولر در نظر گرفته شده است (تصویر شماره ۲).



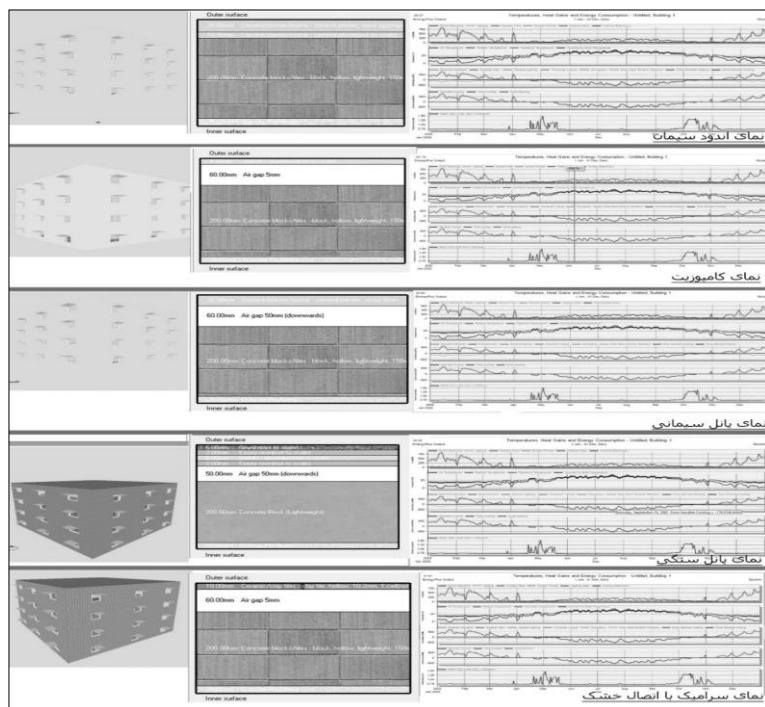
ت۲. مدل سازی ساختمان در نرم افزار دیزاین بیلدر

شبیه سازی رایانه ای ابزار اصلی در این پژوهش است. به این منظور از نرم افزار دیزاین بیلدر جهت تحلیل های حرارتی استفاده شده است. از آنجاکه تمامی این تحلیل ها بر پایه اطلاعات اقلیمی انجام می گردد، اطلاعات اقلیمی در قالب فایل اطلاعات آب و هوایی، از نرم افزار متونورم استخراج شده و در نرم افزار کلایمیت کنسولتنت تحلیل شده است. دیزاین بیلدر از موتور انرژی پلاس جهت تحلیل های حرارتی ساختمان استفاده می کند. پژوهش های میدانی متعددی دقت و کارایی بالای این نرم افزار را در شبیه سازی ساختمان نشان داده است (Eskin & Turkmen, 2008). دقت این نرم افزار در مقایسه با مقادیر به دست آمده از

پژوهش های میدانی، حداکثر $\pm 13\%$ درصد تفاوت داشته است که مقدار قابل قبولی است (Neto & Fiorelli, 2008). مدل سازی شبکه جریان هوای نرم افزار انرژی پلاس با استفاده از مقایسه نتایج مدل سازی با سری زیادی از اندازه گیری های آزمایشگاهی با کیفیت بالا توسط لابراتوری ملی اوک ریگ اعتبارسنجی شده است. اعتبارسنجی مدل سازی شبکه جریان هوای نرم افزار انرژی پلاس همچنین با استفاده از اطلاعات اندازه گیری شده توسط لابراتوری علوم ساختمانی در مرکز انرژی خورشیدی فلوریدا انجام شده است (Lixing Gu, 2007). باتوجه به انواع پوشش های متداول به کاررفته در نما در محدوده مورد مطالعه و جزئیات اجرایی این نماها، به منظور 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، شبیه سازی رایانه ای در نرم افزار 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 ایستگاه های هواشناسی مرتبط دریافت شده است، در ۱۳ حالت به شرح زیر انجام شده است: نماهای کامپوزیت فلزی، سرامیک با روش اتصال خشک، سرامیک با روش اتصال چسبیده، سیمانی، پانل های 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 ماسه سنگ)، سنگی با روش اتصال چسبیده. به این منظور، جنس دیوار پشتیبان در تمامی حالات بلوک سیمانی سبک در نظر گرفته شده است. تصاویر شماره ۳ و ۴، مدل سازی انجام شده و نتایج شبیه سازی را برای نماهای مختلف نشان می دهد.



ت ۴. جزئیات مدل سازی و نتایج مربوط به شبیه سازی عملکرد حرارتی نمای سیمانی، کامپوزیت، پانل سیمانی، پانل سنگی و سرامیکی با اتصال خشک



ت ۳. جزئیات مدل سازی و نتایج مربوط به شبیه سازی رایانه ای عملکرد حرارتی نمای آجری با اتصال خشک و تر، نمای سنگی با اتصال خشک و تر و نمای سرامیک با اتصال تر

اولویت های انتخاب مصالح نما در نماهای شرقی با توجه به کاهش بار سرمایشی ساختمان		اولویت های انتخاب مصالح نما در نماهای شرقی با توجه به کاهش بار گرمایشی ساختمان	
نوع نما	مجموع بار سرمایشی واحد های شرقی (GJ)	نوع نما	مجموع بار گرمایشی سالانه واحد های شرقی (GJ)
۱. پانل های بتنی با روش اتصال خشک	۳۹,۳۷	۱. نمای آجری با روش اتصال خشک	۳۶,۲۱
۲. نمای سنگی مرمر با روش اتصال خشک	۳۹,۸۱	۲. پانل های بتنی با روش اتصال خشک	۳۷,۷۸
۳. نمای سنگی آهکی با روش اتصال خشک	۴۰,۲۴	۳. نمای سنگ ماسه سنگی با روش اتصال خشک	۳۸,۶۴
۴. نمای سنگی گرانیت با روش اتصال خشک	۴۰,۳۰	۴. نمای سرامیک با روش اتصال خشک	۳۸,۸۰
۵. نمای سنگ کوارتزی با روش اتصال خشک	۴۰,۳۰	۵. نمای سنگ آهکی با روش اتصال خشک	۳۸,۸۹
۶. نمای سنگ ماسه سنگی با روش اتصال خشک	۴۰,۳۶	۶. نمای سنگی گرانیت با روش اتصال خشک	۳۹,۱۰
۷. نمای سرامیک با روش اتصال خشک	۴۱,۰۴	۷. نمای سنگ کوارتزی با روش اتصال خشک	۳۹,۱۴
۸. نمای کامپوزیت فلزی	۴۱,۴۱	۸. نمای کامپوزیت فلزی	۳۹,۳۴
۹. نمای آجری با روش اتصال خشک	۴۱,۴۶	۹. نمای سنگی مرمر با روش اتصال خشک	۳۹,۵۲
۱۰. نمای آجری با روش اتصال چسبیده	۴۳,۰۲	۱۰. نمای آجری با روش اتصال چسبیده	۳۹,۵۵
۱۱. نمای سنگی گرانیت با روش اتصال چسبیده	۴۳,۲۰	۱۱. نمای سرامیک با روش اتصال چسبیده	۴۳,۹۴
۱۲. نمای سرامیک با روش اتصال چسبیده	۴۴,۰۴	۱۲. نمای سیمانی	۴۴,۱۶
۱۳. نمای سیمانی	۴۴,۱۱	۱۳. نمای سنگی گرانیت با روش اتصال چسبیده	۴۴,۳۳
اولویت های انتخاب مصالح نما در نماهای شرقی با توجه به کاهش مجموع بار گرمایشی و سرمایشی و سرمایشی ساختمان		اولویت های انتخاب مصالح نما در نماهای غربی با توجه به کاهش مجموع بار گرمایشی و سرمایشی و سرمایشی ساختمان	
نوع نما	مجموع بار سالیانه گرمایشی و سرمایشی واحد های شرقی (GJ)	نوع نما	مجموع بار گرمایشی سالانه واحد های غربی (GJ)
۱. نمای آجری با روش اتصال خشک	۷۷,۳۷	۱. نمای آجری با روش اتصال خشک	۳۷,۵۲
۲. نمای سنگ ماسه سنگی با روش اتصال خشک	۷۹,۰۰	۲. پانل های بتنی با روش اتصال خشک	۳۸,۶۰
۳. نمای سنگ آهکی با روش اتصال خشک	۷۹,۱۳	۳. نمای سنگ ماسه سنگی با روش اتصال خشک	۳۹,۹۳
۴. نمای سنگی مرمر با روش اتصال خشک	۷۹,۳۲	۴. نمای سرامیک با روش اتصال خشک	۴۰,۰۷
۵. نمای سنگی گرانیت با روش اتصال خشک	۷۹,۳۶	۵. نمای سنگ آهکی با روش اتصال خشک	۴۰,۱۸
۶. نمای سنگ کوارتزی با روش اتصال خشک	۷۹,۴۴	۶. نمای سنگی گرانیت با روش اتصال خشک	۴۰,۴۲
۷. نمای سرامیک با روش اتصال خشک	۷۹,۸۴	۷. نمای سنگ کوارتزی با روش اتصال خشک	۴۰,۴۷
۸. پانل های بتنی با روش اتصال خشک	۷۹,۸۷	۸. نمای کامپوزیت فلزی	۴۰,۶۸
۹. نمای کامپوزیت فلزی	۸۰,۷۵	۹. نمای سنگی مرمر با روش اتصال خشک	۴۰,۷۸
۱۰. نمای آجری با روش اتصال چسبیده	۸۲,۵۷	۱۰. نمای آجری با روش اتصال چسبیده	۴۱,۲۱
۱۱. نمای سنگی گرانیت با روش اتصال چسبیده	۸۷,۴۲	۱۱. نمای سرامیک با روش اتصال چسبیده	۴۵,۷۸
۱۲. نمای سرامیک با روش اتصال چسبیده	۸۷,۹۸	۱۲. نمای سنگی گرانیت با روش اتصال چسبیده	۴۶,۰۲
۱۳. نمای سیمانی	۸۸	۱۳. نمای سیمانی	۴۶,۰۲
اولویت های انتخاب مصالح نما در نماهای غربی با توجه به کاهش مجموع بار گرمایشی و سرمایشی و سرمایشی ساختمان		اولویت های انتخاب مصالح نما در نماهای غربی با توجه به کاهش مجموع بار گرمایشی و سرمایشی و سرمایشی ساختمان	
نوع نما	مجموع بار سالیانه گرمایشی و سرمایشی واحد های غربی (GJ)	نوع نما	مجموع بار گرمایشی سالانه واحد های غربی (GJ)
۱. پانل های بتنی با روش اتصال خشک	۷۶,۷۷	۱. پانل های بتنی با روش اتصال خشک	۳۷,۵۲
۲. نمای آجری با روش اتصال خشک	۷۷,۲۲	۲. نمای سنگ ماسه سنگی با روش اتصال خشک	۳۸,۶۰
۳. نمای سنگ آهکی با روش اتصال خشک	۷۸,۷۴	۳. نمای سرامیک با روش اتصال خشک	۳۹,۹۳
۴. نمای سنگی مرمر با روش اتصال خشک	۷۸,۹۰	۴. نمای سنگ آهکی با روش اتصال خشک	۴۰,۰۷
۵. نمای سنگی گرانیت با روش اتصال خشک	۷۹,۱۴	۵. نمای سنگی گرانیت با روش اتصال خشک	۴۰,۱۸
۶. نمای سنگ کوارتزی با روش اتصال خشک	۷۹,۱۷	۶. نمای سنگی گرانیت با روش اتصال خشک	۴۰,۴۲
۷. نمای سرامیک با روش اتصال خشک	۷۹,۲۵	۷. نمای سنگ کوارتزی با روش اتصال خشک	۴۰,۴۷
۸. نمای سرامیک با روش اتصال خشک	۷۹,۶۵	۸. نمای کامپوزیت فلزی	۴۰,۶۸
۹. نمای کامپوزیت فلزی	۸۰,۳۳	۹. نمای سنگی مرمر با روش اتصال خشک	۴۰,۷۸
۱۰. نمای آجری با روش اتصال چسبیده	۸۲,۲۴	۱۰. نمای آجری با روش اتصال چسبیده	۴۱,۲۱
۱۱. نمای سنگی گرانیت با روش اتصال چسبیده	۸۷,۵۴	۱۱. نمای سرامیک با روش اتصال چسبیده	۴۵,۷۸
۱۲. نمای سرامیک با روش اتصال چسبیده	۸۸,۱۴	۱۲. نمای سنگی گرانیت با روش اتصال چسبیده	۴۶,۰۲
۱۳. نمای سیمانی	۸۸,۴۹	۱۳. نمای سیمانی	۴۶,۰۲

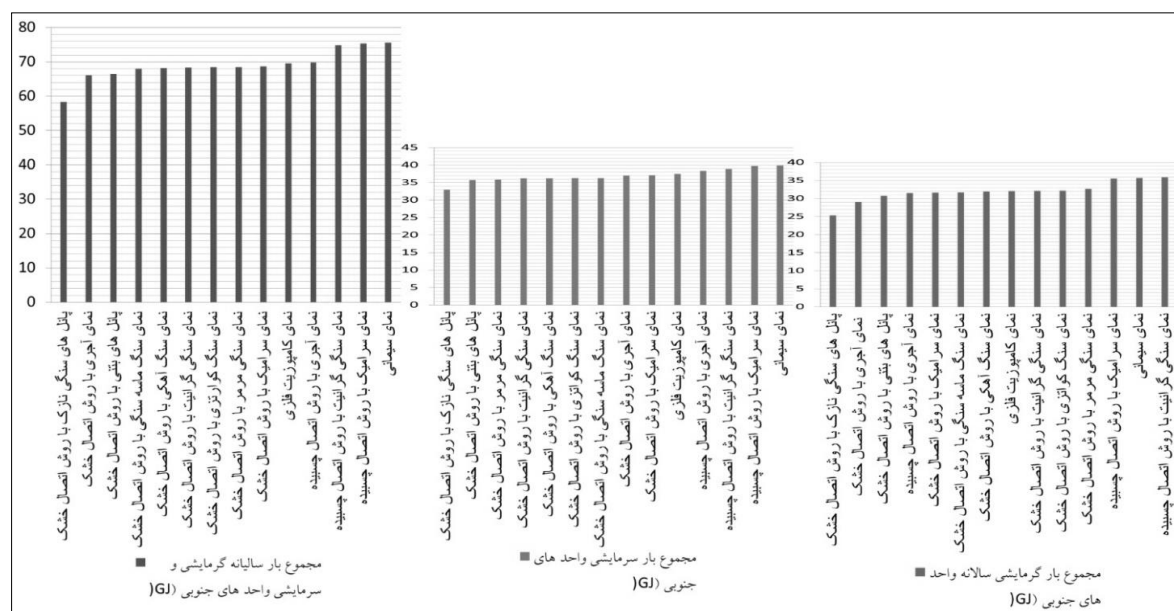
۶. اولویت بندی نوع و نحوه اجرای بهینه نمای رو به شرق و غرب با توجه به ایجاد کمترین بار

گرمایشی و سرمایشی ساختمان

نماهای سیمانی و نمای سرامیک با روش اتصال چسبیده عملکرد حرارتی نامناسبی دارند. نحوه اتصال و اجرای نما تأثیر قابل توجهی در بار گرمایشی ساختمان دارد. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که در نماهای با مصالح یکسان، اجرای نما با اتصال خشک تا ۱۲ درصد

در واحدهای رو به جنوب، به ترتیب، کمترین بار گرمایشی مربوط به نمای آجری با روش اتصال خشک، پانل های بتنی با روش اتصال خشک و نمای آجری با روش اتصال چسبیده است و نماهای سنگی با روش اتصال چسبیده بدترین عملکرد را دارد و بعد از آن

در بار گرمایشی و ۳/۵ تا ۷/۵ درصد در بار سرمایشی ساختمان‌های رو به جنوب صرفه‌جویی ایجاد می‌کند. کمترین بار سرمایشی مربوط به پانل‌های بتنی با روش اتصال خشک و نمای سنگ با رنگ روشن با روش اتصال چسبیده است و نماهای سیمانی بدترین عملکرد را دارد و بعد از آن نماهای سرامیکی، سنگی و آجری با روش اتصال چسبیده است و نماهای سیمانی بدترین عملکرد را دارند. کمترین بار کلی انرژی مربوط به نمای آجری با روش اتصال خشک، پانل‌های بتنی با روش اتصال خشک و



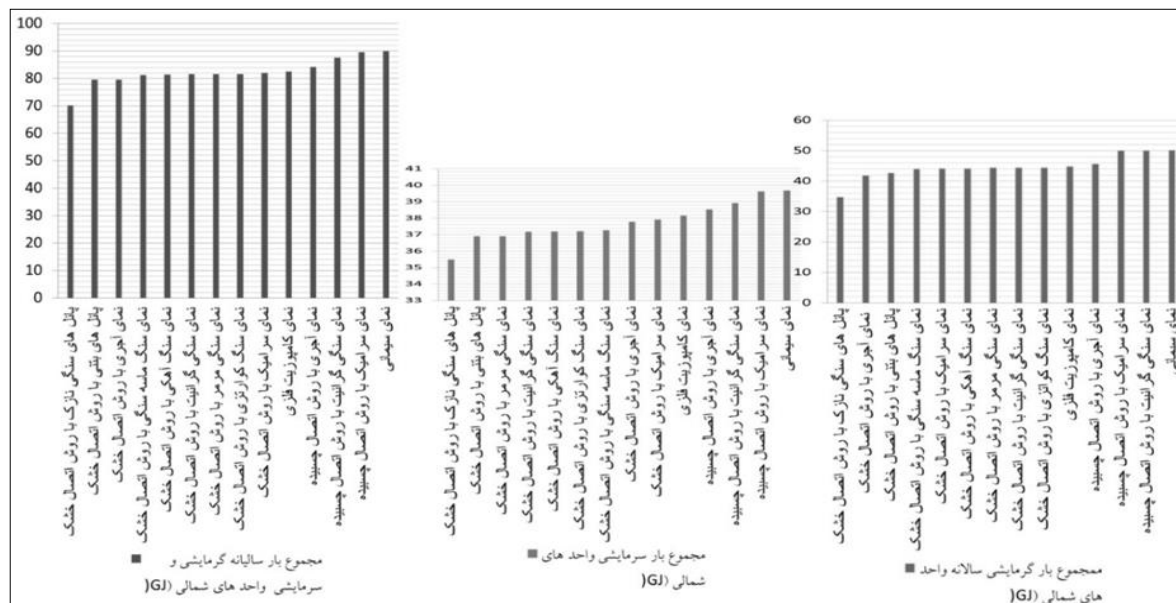
۷. مقایسه انرژی مصرفی در ساختمان‌های رو به جنوب با انواع مختلف نماسازی

اجرای نما به صورت چسبیده و با ملات، در بار گرمایشی و ۳/۵ تا ۴/۵ درصد در بار سرمایشی ساختمان صرفه‌جویی ایجاد می‌کند. در واحدهای رو به شمال کمترین بار سرمایشی مربوط به پانل‌های بتنی با روش اتصال خشک و نمای سنگ با رنگ روشن با روش اتصال چسبیده است و نماهای سیمانی بدترین عملکرد را دارد و بعد از آن نماهای سرامیکی، سنگی و آجری با روش اتصال چسبیده عملکرد حرارتی نامناسبی دارند. کمترین بار کلی انرژی مربوط

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 به ترتیب بیشترین بار گرمایشی را داشته‌اند. در نماهای با مصالح یکسان، اجرای نما با اتصال خشک ۱۲ تا ۱۳ درصد در نمای شمال نسبت به

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. تصویر شماره ۸، مقایسه انرژی مصرفی در ساختمان‌های رو به شمال با انواع مختلف نماسازی را نشان می‌دهد.

به واحدهای با نمای آجری با روش اتصال خشک، پانل‌های بتنی با روش اتصال خشک و نماهای سنگی با روش اتصال خشک است. نماهای سیمانی بدترین عملکرد را دارد و بعد از آن نماهای سرامیکی، سنگی و آجری با روش اتصال چسبیده عملکرد حرارتی نامناسبی دارند. نمای کامپوزیت فلزی عملکرد

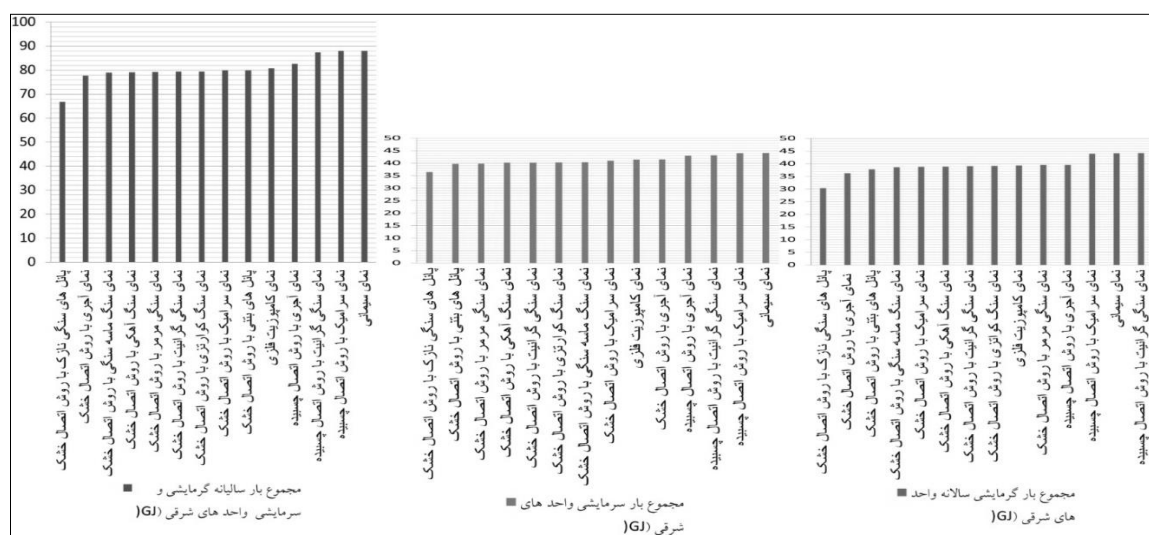


۸. مقایسه انرژی مصرفی در ساختمان‌های رو به شمال با انواع مختلف نماسازی

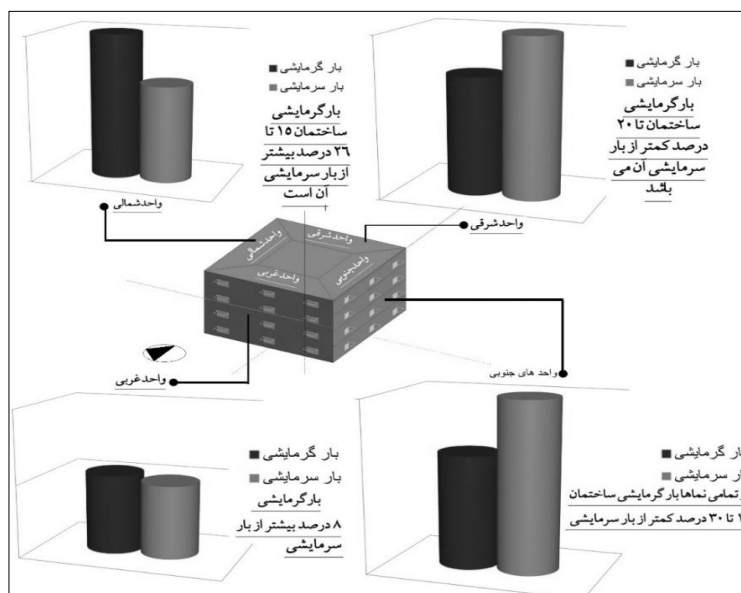
مهم‌ترین جنس نما به منظور کاهش بار گرمایشی ساختمان در واحدها و جداره‌های رو به غرب، نماهای آجری با روش اتصال خشک و پانل‌های بتنی با روش اتصال خشک است. در این رابطه نامناسب‌ترین نما، نمای سیمانی است. بهترین جنس نما به منظور کاهش بار کلی انرژی ساختمان در واحدها و جداره‌های رو به غرب، پانل‌های بتنی با روش اتصال خشک، نمای آجری با روش اتصال خشک و نماهای سنگی با روش اتصال خشک هستند. در این رابطه نامناسب‌ترین نما، نمای سیمانی و نماهای سنگی و سیمانی با روش اتصال با ملات است. تصویر شماره ۹، مقایسه انرژی مصرفی در ساختمان‌های رو به غرب با انواع مختلف نماسازی را نشان می‌دهد.

در واحدهای رو به شرق نمای آجری با روش اتصال خشک، پانل‌های بتنی با روش اتصال خشک و نمای

بهترین جنس نما به منظور کاهش بار گرمایشی ساختمان در واحدها و جداره‌های رو به غرب، نماهای آجری با روش اتصال خشک و پانل‌های بتنی با روش اتصال خشک است. در این رابطه نامناسب‌ترین نما، نمای سیمانی است. 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 به صورت چسبیده و با ملات، در بار گرمایشی و ۳/۵ تا ۷ درصد در بار سرمایشی ساختمان صرفه‌جویی ایجاد می‌کند. بهترین جنس نما به منظور کاهش بار گرمایشی ساختمان در واحدها و جداره‌های رو به غرب، نمای پانل بتنی و نماهای سنگی با رنگ روشن (مانند سنگ



ت ۱۰. مقایسه انرژی مصرفی در ساختمان‌های رو به شرق با انواع مختلف نماسازی



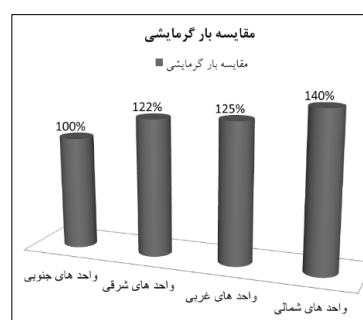
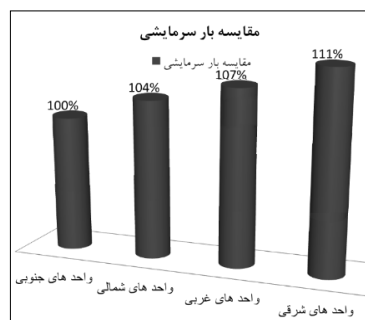
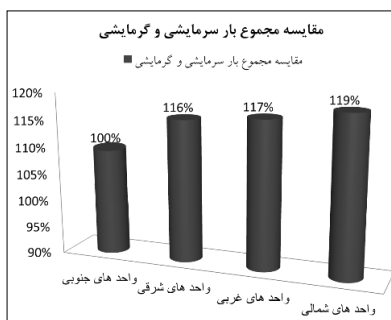
ت ۱۱. مقایسه نسبت بار گرمایشی به سرمایشی در نماهای مختلف

شهر تهران جهت کاهش بار گرمایشی ساختمان به ترتیب واحدهای رو به جنوب، شرق، غرب و شمالی است. بار سرمایشی ساختمان در واحد جنوبی کمتر از سایر جهات است. در واحدهای رو به شمال باتوجه به نوع نما بار سرمایشی ساختمان ۰/۵ تا ۷/۵ درصد در نماهای مختلف بیشتر از واحد جنوبی است. این درصد

نتایج شبیه‌سازی در نماهای مختلف نشان می‌دهد که به‌طور کلی، بار گرمایشی ساختمان در واحد شمالی ۳۰ تا ۴۰ درصد در نماهای مختلف بیشتر از واحد جنوبی است. این درصد در واحدهای غربی ۲۰ تا ۲۵ درصد و در واحدهای شرقی ۱۹ تا ۲۲ درصد بیشتر از واحد جنوبی است. بنابراین بهترین جهت‌گیری ساختمان در

در واحدهای غربی ۶/۵ تا ۷ درصد و در واحدهای شرقی ۱۰/۵ تا ۱۱ درصد بیشتر از واحد جنوبی است. بنابراین بهترین جهت گیری ساختمان در شهر تهران جهت کاهش بار سرمایشی ساختمان به ترتیب واحدهای رو به جنوب، شمال، غرب و شرقی است. در واحدهای رو به شمال باتوجه به نوع نما، مجموع بار سرمایشی و گرمایشی ساختمان ۱۸ تا ۲۰ درصد در نماهای مختلف بیشتر از واحد جنوبی است. این درصد

در واحدهای غربی ۱۵ تا ۱۷ درصد و در واحدهای شرقی حدود ۱۶ درصد بیشتر از واحد جنوبی است. بنابراین بهترین جهت گیری ساختمان در شهر تهران جهت کاهش مصرف انرژی در ساختمان به ترتیب واحدهای رو به جنوب، شرقی، غربی و شمالی است (تصویر شماره ۱۲). در این رابطه در نظر گرفتن ضریب انتقال انرژی متفاوت و متناسب در نماهای رو به جهت های مختلف ضروری است.



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

نتیجه

نتایج این پژوهش که به منظور انتخاب جنس و نحوه اجرای مصالح مناسب در نمای ساختمان های مسکونی در تهران، در میان مصالح متداول و نیز ارزیابی تأثیر جهت گیری ساختمان بر میزان بار سرمایشی و گرمایشی در ساختمان های مسکونی انجام شده است، نشان می دهد که بار گرمایشی ساختمان های مسکونی در تهران نسبت به بار سرمایشی در واحدهای غربی و شمالی و بار سرمایشی ساختمان نسبت به بار گرمایشی در واحدهای جنوبی و شرقی بیشتر است. این موضوع می تواند در انتخاب جهت گیری ساختمان ها باتوجه به نوع کاربری آن (برای مثال کاربری هایی که بیشتر در روز فعال هستند و در بیشتر زمان ها انرژی گرمایشی کمتری نسبت به کاربری هایی که شبانه روز فعال هستند، نیاز دارند) تأثیرگذار باشد. در این رابطه بار گرمایشی در واحدهای رو به غرب، ۸ درصد و در واحدهای رو

به شمال ۱۵ تا ۲۶ درصد بیشتر از بار سرمایشی آن است. در واحدهای رو به جنوب، بار گرمایشی ساختمان ۱۱ تا ۳۰ درصد و در واحدهای رو به شرق، بار گرمایشی ساختمان تا ۲۰ درصد کمتر از بار سرمایشی آن است. مقایسه بار گرمایشی در واحدهای جنوبی، شمالی، شرقی و غربی نشان می دهد که بهترین جهت گیری ساختمان در شهر تهران جهت کاهش بار گرمایشی ساختمان به ترتیب واحدهای رو به جنوب، شرق (۱۹ تا ۲۲ درصد بیشتر از واحد جنوبی)، غرب (۲۰ تا ۲۵ درصد بیشتر از واحدهای جنوبی) و شمالی (۳۰ تا ۴۰ درصد در نماهای مختلف بیشتر از واحد جنوبی) است. بهترین جهت گیری ساختمان در شهر تهران جهت کاهش بار سرمایشی ساختمان به ترتیب واحدهای رو به جنوب، شمال (۵/۰ تا ۷/۵ درصد در نماهای مختلف بیشتر از واحد جنوبی)، غرب (۵/۶ تا ۷ درصد بیشتر از واحد جنوبی) و شرقی (۵/۱۰ تا ۱۱

بین‌المللی بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان، تهران.
- ذوالفقاری، سید علیرضا. (۱۳۹۳). واکاوی الزامات و قیود بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان. دو فصلنامه علمی-تخصصی انرژی‌های تجدید پذیر و نو. شماره اول.

- سازمان برنامه‌و بودجه ایران. (۱۳۸۵). مقررات و معیارهای طراحی و اجرایی جزئیات تیپ ساختمانی، نشریه شماره ۱۶۷. تهران: معاونت امور فنی دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله.

- سازمان برنامه‌و بودجه 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.

- سبزوشرانی، مجید؛ خراسانی زاده، حسین؛ شیخ‌زاده، قنبرعلی. (۱۳۸۵). بررسی تأثیر جهت‌گیری، جنس و رنگ جداره بیرونی

ساختمان بر حرارت اکتسابی از خورشید، پنجمین همایش بین‌المللی بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان، تهران،

سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور،

http://www.civilica.com/Paper-CECB05-CECB05_016.html

- شریفی، مهدی؛ قبادیان، وحید. (۱۳۹۶). بررسی تأثیر خصوصیات فیزیکی پوسته‌های ساختمان‌ها بر زمان تأخیر و ضریب کاهش انتقال حرارت (نمونه موردی: ساختمان‌های بلندمرتبه شهر همدان). علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، دوره نوزدهم، ویژه‌نامه شماره ۴.

- طاهباز، منصوره؛ جلیلیان، شهربانو. (۱۳۸۴). نقش جداره‌های ساختمان در تأمین آسایش حرارتی ساکنین و کاهش مصرف انرژی‌های فسیلی، چهارمین همایش بین‌المللی بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان، تهران، سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور،

http://www.civilica.com/Paper-CECB04-CECB04_43.html.

- کسمایی، مرتضی. (۱۳۷۲). پهنه‌بندی اقلیمی ایران: مسکن و محیط‌های مسکونی. تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، چاپ ۱.

- کسمایی، مرتضی. (۱۳۹۱). اقلیم و معماری. تهران: شرکت سرمایه‌گذاری خانه‌سازی ایران.

- هالگر کوخ، نیلسن. (۱۳۸۵). تهویه طبیعی. ترجمه محمد

درصد بیشتر از واحد جنوبی) است. به‌طور کلی (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 درصد بیشتر از واحد جنوبی)، غربی (۱۵ تا ۱۷ درصد بیشتر از واحدهای جنوبی) و شمالی (۱۸ تا ۲۰ درصد در نماهای مختلف بیشتر از واحد جنوبی) است. اولویت‌های 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 است. 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 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 نماهای سنگی با روش اتصال خشک است. 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 است.

پی‌نوشت

1. Lindberg
2. Badescu & Staicovici
3. Prager
4. Lobaccaro
5. Susorova

فهرست منابع

- بهیار، محمد باقر؛ پرونده خوزانی، اکرم؛ باقری، اعظم. (۱۳۸۱). بررسی نقش عوامل جوی در انتخاب نوع مصالح ساختمان جهت استفاده بهینه از انرژی، دومین همایش

Energy Procedia, Vol. 30, PP. 1172-1163

- Neto, Av; Fiorelli, F. (2008), "Comparison between detailed model simulation and artificial neural network for forecasting building energy consumption", Journal of Energy and Building, vol.40

- Prager, C., Kohl, M., Heck, M. and Herkel, S. (2006). "The influence of the IR reflection of painted facades on the energy balance of a building", Energy and Buildings, Vol. 38, PP. 1379-1369

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

- Usta, P., & Zengin, B. (2021). The Energy Impact of Building Materials in Residential Buildings in Turkey. Materials (Basel, Switzerland), 14(11), 2793. <https://doi.org/10.3390/ma14112793>

DOI: 10.22034/42.182.17

احمدی نژاد، اصفهان: نشر خاک.

- وزارت مسکن و شهرسازی. (۱۳۸۸). مقررات ملی ساختمان

ایران مبحث نوزدهم «صرفه جویی در مصرف انرژی». تهران:

دفتر امور مقررات ملی ساختمان.

- وزارت نیرو. (۱۳۸۵). ترازنامه انرژی ایران سال ۱۳۸۳.

معاونت امور برق و انرژی وزارت نیرو. دفتر برنامه ریزی کلان برق و انرژی.

- وزارت نیرو. (۱۳۹۲). ترازنامه انرژی ایران سال ۱۳۹۱.

معاونت امور برق و انرژی. دفتر برنامه ریزی کلان برق و انرژی.

- وزارت نیرو. (۱۳۹۶). ترازنامه انرژی ایران سال ۱۳۹۴.

معاونت امور برق و انرژی. دفتر برنامه ریزی کلان برق و انرژی.

- زینلی، آذر؛ نیک قدم، نیلوفر؛ مفیدی شمیرانی، سید مجید.

(۱۴۰۰). راهکارهای معماری جهت کاهش انرژی نهفته در

اجرای ساختمان مسکونی در بندرعباس. مسکن و محیط

روستا. ۴۰ (۱۷۶): ۱۱۴-۱۰۳.

- 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, 517e.527

- 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, Vol 152, 377-372

- Badescu, V. and Staicovici, M.D. (2006). "Renewable energy for passive house heating: Model of active solar heating sysyem", Energy and Buildings, Vol. 38, PP. 141-129

- Eskin, N.; Turkmen, H. (2008), "Analysis of Annual Heating and C0ooling Energy Requirements for Office Buildings in Different Climates in Turkey", Journal of Energy and Building, vol.40, pp. 773-763

- 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

- Lindberg, R., Binamu, A. and Teikari, M. (2004). "Five-year data of measured weather, energy consumption, and time-dependent temperature variations whithin different exterior wall structures", Energy and Buildings, Vol. 36, PP. 501-495

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

- Lobaccaro, G., Fiorito, F., Masera, G. and Poli, T. 2012. "District geometry simulation: a study for the optimization of solar facaded in urban canopy layers",