DOR: 20.1001.1.24234931.1401.9.2.13.6

سال نهم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۱، ص ص ۱۲۱- ۱۲۹

فصل‌نامه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو

jrenew.ir

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۰۰/۰۸/۱۶

تاریخ پذیرش: ۰۰/۱۱/۱۶

بررسی رفتار حرارتی نماها باهدف تعیین گزینه مطلوب ازنظر مصرف انرژی (موردمطالعه: ساختمان اداری در اقلیم تهران)

اشکان خطیبی*[۱]، مجید شهبازی[۲]، زهره ترابی[۳]

۱- دانشجوی دکترا، گروه معماری، واحد زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، زنجان، ایران

۲ و ۳- استادیار، گروه معماری، واحد زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، زنجان، ایران

* زنجان، ایران کد پستی:۴۵۱۴۹۳۷۱۸۳ Ashkan.Khatibi@iauz.ac.ir

چکیده

در اقلیم گرم و خشک، حفظ ساختمان از دریافت نور و انرژی گرمایی خورشید، از اقدامات اولیه بهینه‌سازی مصرف انرژی و ایجاد آسایش حرارتی ساکنان است. تحقیق حاضر که به روش شبیه‌سازی نرم‌افزاری انجام پذیرفته است، باهدف تعیین مناسب‌ترین نما ازنظر میزان مصرف انرژی، به بررسی رفتار حرارتی نماهای یک ساختمان اداری در اقلیم شهر تهران می‌پردازد. در راستای دستیابی به بهترین گزینه، رفتار حرارتی چهار نمای «تک پوسته با سایبان ثابت»، «دوپوسته شیشه‌ای»، «دوپوسته با سایبان متحرک» و «نمای متحرک» در دو جبهه شمالی و جنوبی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. یافته‌های حاصل از محاسبات نشان می‌دهند، میزان مصرف سالانه انرژی شامل: سرمایش، گرمایش و الکتریکی روشنایی، در جبهه جنوبی کمتر از جبهه شمالی است. همچنین با فرض ثابت بودن سایر شرایط، عملکرد سایبان‌های «متحرک» بهتر از سایبان‌های «ثابت» است. در رابطه با نوع نماها نیز، «نمای متحرک» باقابلیت تنظیم اجزای تشکیل‌دهنده خود مانند جهت چرخش، میزان باز و بسته شدن، عملکرد مناسبی در کاهش میزان انرژی مصرفی ساختمان نسبت به سایر نماها دارد. به‌طوری‌که این نما با توانایی کاهش ۴۲/۳٪ میزان انرژی مصرفی ساختمان نسبت به نمای تک پوسته معمولی، مطلوب‌ترین نما، در این تحقیق ارزیابی می‌گردد. در این نوع نماها با بهره‌گیری از طراحی هوشمند، بخشی از نما به‌عنوان سایبان در نظر گرفته می‌شود که با کنترل میزان نور و انرژی دریافتی از خورشید و جلوگیری از هدر رفت نور و انرژی، بار سرمایشی و گرمایشی ساختمان را کاهش داده و آسایش محیطی کاربران را فراهم می‌سازد.

کلیدواژگان: اقلیم گرم و خشک، تحلیل انرژی، رفتار حرارتی، نمای دوپوسته، نمای متحرک

Analyzing the thermal behavior of facades in order to determine the optimal performance of energy consumption (Case study: An office building in Tehran)

Ashkan Khatibi*[1], Majid Shahbazi[2], Zohreh Torbai[3]

1- Ph. D Candidate, Department of Architecture, Zanjan branch, Islamic Azad University, Zanjan, Iran

2,3- Ph. D, Assistant Professor, Department of Architecture, Zanjan branch, Islamic Azad University, Zanjan, Iran

* P.O.B. 4514937183 Zanjan, Iran, Ashkan.khatibi@iauz.ac.ir

Received: 7 November 2021 Accepted: 5 February 2022

Abstract

In hot and dry climates, protecting the building from receiving light and heat energy from the sun is one of the first measures to optimize energy consumption and create thermal comfort for residents. The present study, which has been done by software simulation method, with the aim of determining the most suitable facade in terms of energy consumption, investigates the thermal behavior of facades of an office building in the climate of Tehran. In order to achieve the best option, the thermal behavior of the four facades "single skin with fixed canopy "Double Skin Façade with glass", "Double Skin Façade with movable canopy" and "kinetic facade" on both north and south fronts are evaluated. Findings from calculations show that the annual energy consumption, including: cooling, heating and electric lighting is less on the south side than on the north side. Also, assuming other operating conditions are stable, "movable" awnings perform better than "fixed" awnings. In terms of the type of facade, the "kinetic facade" with the ability to adjust its components such as direction of rotation, opening and closing, has a good performance in reducing the amount of energy consumed by the building compared to other facades. So that this facade with the ability to reduce the amount of energy consumption of the building by 42.3% compared to the conventional single-skin facade, the most optimal facade is determined in this research.

Keywords: Hot and dry climate, Energy analysis, Thermal behavior, Double Skin Façade, kinetic façade

مالکیت معنوی این مقاله تحت گواهی بین المللی تخصیص ۴ کریتیو کامنز محفوظ است

۱- مقدمه

پوسته و نمای ساختمان یکی از پارامترهای تعیین‌کننده میزان مصرف انرژی ساختمان است که می‌تواند بار گرمایشی ساختمان را در پی اتلاف انرژی در فصل سرما و بار سرمایشی را به دلیل ورود انرژی تابشی خورشید و گرم شدن فضای ساختمان، افزایش دهد. این بخش از ساختمان، مرز فضای قابل‌کنترل داخل و فضای غیرقابل‌کنترل بیرون است و دقیقاً محلی است که بخش زیادی از اتلاف انرژی در این بخش اتفاق می‌افتد؛ بنابراین با کنترل میزان اتلاف و گذردهی انرژی پوسته خارجی نما می‌توان تا حد زیادی مصرف انرژی یک ساختمان را کاهش داد. علاوه بر این، پوسته‌ها به‌عنوان عناصر تأمین‌کننده نور طبیعی در ساختمان‌ها نقش بسزایی در تعیین میزان انرژی مصرفی سیستم روشنایی ایفا می‌کنند.

مقایسه بین انرژی مصرفی انواع ساختمان‌ها نشان می‌دهد؛ ساختمان‌های اداری در مقایسه با انواع دیگر ساختمان‌ها انرژی بیشتری مصرف می‌کنند که بسته به موقعیت و ابعاد ساختمان، سیستم‌های روشنایی و سیستم‌های تهویه مطبوع، انواع و تعداد تجهیزات مورداستفاده در آن در محدوده بین ۱۰۰ - ۱۰۰۰ کیلووات ساعت بر مترمربع است [۱]. مطالعات انجام‌شده در ایالات‌متحده آمریکا نشان می‌دهند که به‌طور متوسط شدت مصرف انرژی در ساختمان‌های اداری ۳۰۰ کیلووات ساعت است که حدود ۷۰ درصد آن در بخش روشنایی و تهویه مطبوع مصرف می‌شود. در بریتانیا ۷۲ درصد [۲] و در کانادا ۶۰ درصد [۳] صرف انرژی به این دو بخش تعلق دارد. در ایران نیز، سیستم سرمایش و تهویه مطبوع با میزان ۳۴ درصد بیشترین سهم انرژی مصرفی در یک ساختمان اداری را به خود اختصاص داده است و بخش روشنایی و سیستم گرمایشی به ترتیب با ۲۵ و ۲۱ درصد در رتبه‌های بعدی میزان سهم انرژی مصرفی قرار دارند. این میزان مصرف، علیرغم تابش نور روز نسبتاً بالای ایران در ساعات کاری مشاهده می‌شود. در مقیاس جهانی نیز، حدود ۳۰ درصد مصرف انرژی الکتریکی کاربری‌های اداری صرف روشنایی فضاها می‌گردد [۴] و این در حالی است که شهر تهران به‌طور میانگین در طول سال معادل ۳۰۲۵ ساعت بهره از نور طبیعی دارد که درصد بالایی از مساحت ساختمان از آن محروم‌اند [۵]. حال؛ با عنایت به اهمیت روزافزون مباحث انرژی و لزوم بهره‌مندی حداکثری از منابع تجدید پذیر از یک‌سو و ضرورت استفاده از راهکارهای طراحی در راستای کاهش میزان مصرف انرژی ساختمان از سوی دیگر، نویسندگان تحقیق حاضر، باهدف تعیین مناسب‌ترین پوسته ازنظر عملکرد حرارتی برای فضاهای اداری، به بررسی و مقایسه عملکرد انرژی چهار مدل سیستم نما در اقلیم شهر تهران پرداخته‌اند.

۱-۱- پیشینه تحقیق

درزمینه بررسی رفتار حرارتی نماها تحقیقات زیادی انجام‌شده است. تعدادی از این تحقیقات با تأکید بر نوع کاربری فضاها در اقلیم مختلف و همچنین سیستم به‌کاررفته در نماها، تأثیر پارامترهای متفاوتی اعم از: نوع سایبان (افقی یا عمودی، ثابت یا متحرک)، زاویه قرارگیری، میزان باز و بسته شدن بازشوها در عملکرد حرارتی ساختمان موردبررسی قرار داده‌اند. هوسگن (۲۰۰۸)؛ با شبیه‌سازی نمای تک پوسته و دوپوسته با استفاده از نرم‌افزار ESP-r نشان می‌دهد که در طراحی نمای دوپوسته، می‌توان تا ۲۰٪ از هزینه انرژی گرمایش ساختمان را کاهش داد [۶]. سلکوویتز (۲۰۰۱)؛ نیز در تحقیق خود به این نتیجه می‌رسد که سیستم‌های شیشه‌ای پیشرفته می‌توانند در ترکیب با ایده نمای دوپوسته ضمن محافظت از ساختمان در برابر اشعه مزاحم آفتاب، باعث بهبود کیفیت هوا، کاهش بار سرمایش و گرمایش و هزینه‌های بهره‌برداری از ساختمان گردد [۷].

در ایران نیز، قنبران و حسین پور (۱۳۹۲)؛ با پیشنهاد ایده استفاده از نماهای دوپوسته در فضاهای اداری به بررسی کارایی راه‌حل خود می‌پردازند. آن‌ها با شبیه‌سازی ساختمانی با نمای تک پوسته و دوپوسته، عملکرد انرژی یک ساختمان اداری در اقلیم شهر تهران را در هر دو حالت موردبررسی قراردادند. نتایج بررسی‌ها نشان داد که استفاده از نمای دوپوسته در مقایسه با نمای تک پوسته منجر به کاهش ۱۶ الی ۲۰ درصد مصرف انرژی سیستم تهویه ساختمان می‌گردد [۸].

در تحقیق دیگری، تراز و همکاران (۱۳۹۴)؛ با بهره‌گیری از روش تجربی و شبیه‌سازی نما میزان کارآمدی یک نمونه نمای متحرک را در شهر تهران موردبررسی قراردادند. آن‌ها برای مقایسه تأثیر پوشش نمای موردبحث، عملیات شبیه‌سازی را در دو حالت نمای باز و بسته، در هریک از چهار جهت اصلی (شمال، جنوب، شرق و غرب) انجام دادند و در هر حالت میزان انرژی مصرفی سالانه را به تفکیک مقایسه نمودند. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهند که با استفاده از سیستم مدولار در نمای ساختمان که امکان کنترل هوشمند نور ورودی به داخل ساختمان را بر اساس تغییر فصول امکان‌پذیر می‌نماید، می‌توان در میزان بهره‌وری از انرژی مصرفی برای ساختمان صرفه‌جویی کرد [۹].

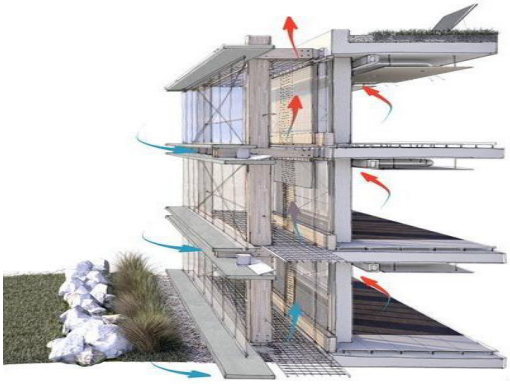
رسولی و همکاران (۱۳۹۵)؛ با شبیه‌سازی پارامتریک، عملکرد سایه‌اندازهای کرکره‌ای افقی و قائم متحرک در نمای دوپوسته ساختمان‌های اداری؛ را مورد ارزیابی قراردادند. نتایج بررسی‌های آن‌ها نشان می‌دهد که عملکرد سایه‌اندازهای متحرک بهینه‌تر از حالت ثابت خود است. در این میان، سایه‌انداز کرکره افقی متحرک نیز بهینه‌ترین حالت را شامل بوده و حداقل مصرف انرژی سالیانه را دارد. میزان مجموع انرژی مصرفی سایه‌انداز کرکره افقی متحرک، بهینه‌ترین گزینه پیشنهادی، نسبت به سایه‌انداز کرکره‌ای افقی ثابت ۲۷/۳۴ درصد، نسبت به حالت کرکره‌ای قائم ثابت و متحرک به ترتیب ۱۱/۸۷ و ۱/۳۷ درصد و نسبت به نمای دوپوسته بدون حضور سایه‌اندازها ۵۰/۶۹ درصد بهینه‌تر است [۱۰].

بررسی مطالعات پیشین نشان می‌دهد پژوهش‌های انجام‌گرفته در خصوص رفتار حرارتی نماها عموماً بر روی انواع نماهای دوپوسته یا یک سیستم خاصی از نما تأکیددارند. درزمینه مقایسه تطبیقی رفتار نماهای مختلف پژوهشی با این عنوان انجام‌نشده است و همین امر وجه تمایز تحقیق حاضر با تحقیقات پیشین را نشان می‌دهد. هدف از این تحقیق یافتن مناسب‌ترین سیستم نما برای اقلیم گرم و خشک است. به‌منظور دستیابی به این هدف ارزیابی انرژی مصرفی یک ساختمان اداری در شهر تهران در حالت استفاده از چهار مدل سیستم نمای متفاوت اساس کار قرارگرفته است؛ بنابراین مقایسه رفتار حرارتی نماهای موردمطالعه در دو جبهه شمالی و جنوبی ساختمان می‌تواند تعیین‌کننده مناسب‌ترین نما ازنظر میزان مصرف انرژی باشد.

۱-۲- بیان مسئله

در دوران مدرن، استفاده از نماهای سرتاسر شیشه‌ای در ساختمان‌های اداری، به دلیل شفافیت و ارتباط بصری با بیرون، همواره موردتوجه طراحان بوده است. هدف از اجرای این نوع نماها، کاهش بار مرده ساختمان، سرعت بخشیدن به اجرا، تأمین دید یکپارچه از مناظر بیرون برای ساکنان داخل، ایجاد حس ادغام محیط خارج و داخل در طول شبانه‌روز بود [۱۱]؛ اما ضخامت کم و مقاومت هدایت حرارتی اندک این نوع نماها، کاربران را با چالشی اساسی در ارتباط با کنترل نور ورودی مواجه می‌ساخت. این جداره‌های وسیع شیشه‌ای در طی

روزهای تابستانی سبب ورود میزان بسیار زیادی از نور و به دنبال آن، ورود گرمای خورشید به درون ساختمان می‌شد که نتیجه این امر چیزی جز تبدیل‌شدن جبهه حامل نمای شیشه‌ای به یک کوره گرمایی بزرگ نبود. چنین کاربرد وسیعی از شیشه، بدون افزودن تمهیداتی برای عایق‌بندی، به دلیل ایجاد پدیده گلخانه‌ای منجر به عدم آسایش حرارتی در زمستان و تابستان می‌شد. از سوی دیگر، بار حرارتی نفوذی به بنا در این شرایط به‌منظور تأمین شرایط سرمایشی و گرمایشی مساعد، هزینه بالایی برای ساکنین تحمیل می‌نمود [۹] تا اینکه استفاده از سایبان‌های افقی و عمودی دائمی و بهره‌گیری از شیشه‌های تیره‌رنگ در نما مطرح شد که به دلیل عدم همخوانی این سایبان‌ها با بنا و عدم موفقیت صددرصدی آن‌ها، استفاده از راهکار سایبان بسیار محدود شد. در خصوص راهکار دوم نیز ازآنجاکه شیشه‌های تیره برای کاهش نور تابستان مناسب بود و در زمستان سبب کاهش نور ورودی می‌شد مورد استقبال قرار نگرفت تا اینکه درنهایت استفاده از نماهای دوپوسته به‌عنوان بهترین راهکار در طراحی ساختمان‌های اداری مطرح گردید [۱۲] این نما، یک نمای انعطاف‌پذیر است که از دوجداره مختلف و یک فضای میانی باقابلیت تهویه هوا تشکیل‌شده است. جداره خارجی این نما که عمدتاً از جنس شیشه دارای جرم حرارتی است ساختمان را در برابر شرایط آب و هوایی مختلف محافظت نموده و آلودگی صوتی را به میزان قابل‌توجهی کاهش می‌دهد. این مزیت سبب می‌شود تا کاربران بدون مواجهه با معضلات موجود در نماهای تک پوسته اعم از تأثیر فشار و سرعت باد، خیرگی ناشی از تابش مستقیم، آلودگی‌های محیطی و ... از دریچه‌های بازشو در فضای کار خود بهره‌مند شوند [۱۳]. در حقیقت، نماهای دوپوسته علاوه بر تأمین شفافیت موردنیاز، می‌توانند تشعشع خورشیدی جذب‌شده توسط نمای شیشه‌ای خارجی را در فصل زمستان ذخیره نمایند و یا در تابستان به کمک تهویه مناسب آن را کاهش دهند؛ به این طریق مسئله آسایش حرارتی و کیفیت هوای فضای داخلی بنا در عین کاهش بارهای سرمایشی و گرمایشی ساختمان، بهبود می‌یابد [۱۰]. این نوع نماها عمدتاً به دو صورت؛ شیشه‌ای و دارای سایبان در ساختمان‌ها به کار می‌روند. شکل ۱ سیستم این دو نوع نمای دوپوسته‌ای را نشان می‌دهد. نوع اول آن، برای ایجاد عایق حرارتی در زمستان‌ها مناسب است و نوع دوم، بیشتر برای ایجاد سایه‌اندازی، کنترل و بهره‌گیری از نور روز در مناطق با تابش زیاد آفتاب استفاده می‌شود. در نماهای دوپوسته مجهز به سایبان ضمن امکان استفاده از نور روز، اتاق‌های داخلی ساختمان از تابش مستقیم خورشید محافظت می‌شود که این امر موجب کاهش بار سرمایی ساختمان در فصل تابستان می‌گردد. در فصل زمستان، نمای دوپوسته به‌عنوان یک مبدل حرارتی عمل می‌کند، به‌طوری‌که انرژی تابشی در بین دولایه ذخیره‌شده و تقریباً دمای آن با دمای داخل ساختمان برابر می‌شود [۱۳].



شکل ۱ سیستم عملکردی نمای دوپوسته

علی‌رغم مزایای متعدد نماهای دوپوسته، وجود معایبی در این نوع نماها طراحان را به سمت ارائه راهکاری برای رفع این نواقص سوق داد. باوجوداینکه نور طبیعی تأثیر قابل‌توجهی در ارتقاء کیفیت فضای داخلی، شرایط روحی و جسمی افراد و عملکرد ساکنین دارد، نور بیش‌ازحد نیز با افزایش خطر خیرگی و تولید گرما می‌تواند آزاردهنده باشد [۱۳] و این مسئله ازجمله معایب نماهای دوپوسته شیشه‌ای بود که حضور سایبان در نما مشکل خیرگی را تا حدی رفع می‌نمود اما نیاز به استفاده از روشنایی الکتریکی در ساختمان، میزان انرژی مصرفی را تا حد زیادی افزایش می‌داد. ازاین‌رو، نیاز به ارتقاء سطح روشنایی فضاهای داخلی در عین کنترل خیرگی و تأمین آسایش بصری ضرورت توجه بیشتر به نماهای متحرک را بیش‌ازپیش آشکار نمود. نمای متحرک یک سیستم دینامیک مدولار است که با نصب بر روی ساختمان می‌تواند ضمن کاهش مصرف انرژی ساختمان، شرایط آسایش را برای ساکنین فراهم نماید.

با عنایت به مطالب مذکور سؤالات اصلی تحقیق حاضر به شرح ذیل مطرح می‌گردد:

۱- استفاده از سایبان در نماها چه تأثیری در رفتار حرارتی آن‌ها دارد؟

۲- نوع سایبان به‌کاررفته (ازنظر ثابت یا متحرک بودن) چه تغییراتی در رفتار حرارتی نماها ایجاد می‌کند؟

۳- رفتار حرارتی نمای متحرک در شرایط اقلیمی تهران در مقایسه با سایر نماهای موردمطالعه تحقیق چگونه است؟

در ادامه تحقیق برای انجام فرایند شبیه‌سازی به‌منظور بررسی رفتار حرارتی نماهای موردمطالعه، فرضیات زیر مورداستفاده قرارگرفته است:

۱- به نظر می‌رسد وجود سایبان در رفتار حرارتی نماها مؤثر است.

۲- به نظر می‌رسد نوع سایبان ازنظر ثابت و متحرک بودن می‌تواند در تنظیم رفتار حرارتی نماها مؤثر باشد.

۳- به نظر می‌رسد نمای متحرک ازنظر مصرف انرژی نسبت به سایر نماهای موردمطالعه تحقیق رفتار بهینه‌تری دارد.

۲- روش تحقیق

تحقیق حاضر به روش شبیه‌سازی و مدل‌سازی نرم‌افزاری انجام پذیرفته و اطلاعات اولیه آن (اطلاعات آب و هوایی شهر تهران و اطلاعات ساختمان اداری موردمطالعه)؛ با استفاده از منابع کتابخانه‌ای و میدانی جمع‌آوری‌شده است. در مرحله بعد یک ساختمان اداری، در حالت استفاده از چهار نوع سیستم نمای تک پوسته، نمای دوپوسته شیشه‌ای، نمای دوپوسته با سایبان و نمای متحرک در نرم‌افزار راینو و گرس هاپر مدل‌سازی شد. بررسی رفتار حرارتی پوسته‌های پیشنهادی، با استفاده از افزونه Climate Studio برای شبیه‌سازی ساختمان در شرایط اقلیمی شهر تهران انجام پذیرفت. در پایان برای آگاهی از میزان تأثیرگذاری نماهای پیشنهادی در انرژی مصرفی ساختمان، رفتار حرارتی هرکدام با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفت. شکل ۲ مراحل انجام این تحقیق را نشان می‌دهد.

شکل ۲ فرایند انجام تحقیق

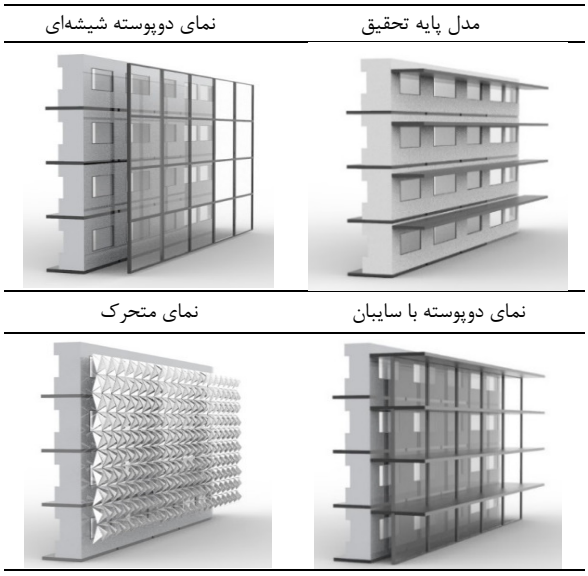
۲-۱- تعریف مدل پایه و مدل‌های پیشنهادی

برای تعیین مدل‌های پیشنهادی، نمای تک پوسته که در اکثریت نماها رواج دارد؛ به‌عنوان مدل پایه انتخاب شد. در این مدل که سایبانی به عمق ۶۰ سانتیمتر دارد، برای کنترل تابش خورشید و جلوگیری از تبادل حرارتی، از شیشه کم گسیل (Low-E) استفاده‌شده است. این شیشه‌ها دارای ضریب گسیل بسیار پایینی هستند و کنترل بالایی بر عبور اشعه خورشید دارند ازاین‌رو برای مناطق با آب‌وهوای گرم مناسب هستند.

ازآنجاکه امروزه برپایی نماهای سرتاسر شیشه‌ای در ساختمان‌های اداری، بسیار متداول است؛ بهترین راهکار برای استفاده از نماهای تمام شیشه به‌کارگیری نماهای دوپوسته است. این نوع نما که راه‌حلی مناسب در طراحی ساختمان‌های اداری در طی بیست سال گذشته بوده است [۱۴]، به‌عنوان مدل دوم تحقیق انتخاب شد. نمای دوپوسته، نمای انعطاف‌پذیری است که از دوجداره مختلف بافاصله ۲۰ سانتیمتری از یکدیگر و یک حفره هوای میانی تشکیل‌شده است. جداره خارجی، عمدتاً از جنس شیشه با جرم حرارتی بالا بوده و ساختمان را در مقابل شرایط جوی محافظت می‌نماید. درحالی‌که جداره داخلی ممکن است از هر جنسی باشد. حفره میانی وظیفه تولید اثر گلخانه‌ای در زمستان و تهویه طبیعی ساختمان را در تابستان بر عهده دارد [۱۵].

در نمونه دیگری از نماهای دوپوسته، سایبان، به‌عنوان یک تعدیل‌کننده حرارتی، در فضای میانی قرار می‌گیرد و بار سرمایی فضای داخلی را به مقدار قابل‌توجهی کاهش می‌دهد [۱۶]. در این نوع نما که به‌عنوان مدل بعدی تحقیق تعیین شد. برای یکسان بودن شرایط نماها عمق سایبان ۶۰ سانتیمتر، در نظر گرفته شد.

چهارمین مدل پیشنهادی، یک سیستم دینامیک مدولار است که با نصب بر روی نمای ساختمان می‌تواند ضمن کاهش مصرف انرژی، شرایط آسایش را برای ساکنین فراهم نماید. این نوع نما که نمای متحرک نامیده می‌شود؛ قابلیت ابراز کردن، ارتباط و پاسخگویی متقابل را دارد و حتی در شرایط عدم حضور کاربر نیز به‌طور اتوماتیک خود را برای حداکثر کارایی در ساختمان تطبیق می‌دهد. زمانی که نمای متحرک بر روی جبهه شمالی ساختمان قرار دارد، بسته بودن نما در زمستان موجب افزایش بار گرمایشی ساختمان می‌شود اما در تابستان انرژی مصرفی سرمایش را کاهش می‌دهد؛ بنابراین در تابستان باید در حالت بسته قرار گیرد و در زمستان گشوده شود. درحالی‌که اگر همین نما در جبهه جنوب و شرق ساختمان قرار گیرد، در تمامی فصول سال به‌شرط بسته بودن نما می‌تواند موجب صرفه‌جویی در مصرف انرژی گردد؛ و درنهایت اگر نمای متحرک بر روی دیوار غربی ساختمان اجرا شود؛ تنها در فصل زمستان می‌تواند مصرف انرژی ساختمان را کاهش دهد. در مواقع گرم سال، باز بودن یا بسته بودن نما تأثیر محسوسی بر میزان انرژی گرمایشی و سرمایشی ساختمان نخواهد داشت [۹]. در این تحقیق فرض بر این است که پوسته نمای متحرک در فاصله ۵۰ سانتیمتری از سطح نما قرارگرفته و دارای ماژول‌هایی باقابلیت چرخش در زوایای ۳۰،۶۰ و ۹۰ درجه است. این چهار مدل پیشنهادی، در شکل ۳ ارائه‌شده است.



شکل ۳ مدل‌های پیشنهادی نما

۲-۲- فرایند شبیه‌سازی

با عنایت به انتخاب ساختمان مطالعاتی در اقلیم شهر تهران، برای انجام تمام مراحل شبیه‌سازی از اطلاعات آب و هوایی ایستگاه سینوپتیک شمیرانات واقع در شمال تهران در ارتفاع ۱۴۱۵ متری از سطح دریا (TMY2) استفاده‌شده است. مطابق این اطلاعات حداکثر دمای ثبت‌شده در تهران ۳۹/۴ °C و حداقل آن ۷/۴°C- و میانگین ماهیانه حداکثر ۲۹°C و حداقل۰/۱ °C است [۱۰]. ساختمان موردمطالعه یک مجموعه اداری- خدماتی چهار طبقه مستقر در زعفرانیه تهران است که طبقه همکف آن کاربری خدماتی دارد. موقعیت قرارگیری و پلان معماری ساختمان همراه با فضاهای موردمطالعه در شکل ۴ ارائه‌شده است.

شکل ۴ موقعیت، سایت پلان و پلان ساختمان موردمطالعه

شبیه‌سازی تحلیل‌ها بر روی یک فضای اداری با زیربنای ۲۲۰ مترمربع در هر طبقه که متشکل از پنج فضای مجزای اداری است، انجام پذیرفته است. دو اتاق با ابعاد یکسان ۳×۵ متر و ارتفاع ۲/۸ متر، یکی در جبهه جنوبی و دیگری در جبهه شمالی ساختمان قرارگرفته و تنها یک دیوار آن با محیط بیرون در تماس است که بر روی آن پنجره‌ای به ابعاد ۲۳۰ ×۱۶۰ سانتیمتر در فاصله یک متری از کف اتاق نصب‌شده است. جداره خارجی ساختمان از آجر به ضخامت ۳۰ سانتیمتر و جداره‌های داخلی به همراه سقف، با اندود گچ سفید به ضخامت ۵

سانتیمتر و کف فضا نیز با سرامیک خاکستری‌رنگ، شبیه‌سازی‌شده است. جدول ۱ مشخصات دقیق ویژگی‌های مصالح به‌کاررفته در جداره‌ها، خواص فیزیکی و حرارتی اجزای مختلف مدل پایه را نشان می‌دهد. انتخاب این فضا به دلیل نزدیک بودن به ابعاد، اندازه استاندارد جهانی (استاندارد گرافیک جهانی معماری) قابلیت تعمیم به سایر فضاها را دارد و امکان مقایسه نتایج را با نمونه‌های مشابه در اختیار محققان و طراحان قرار می‌دهد.

جدول ۱ مشخصات مدل پایه تحقیق

ویژگی‌های عمومی	کاربری	اداری - خدماتی
	سطح زیربنا	۲۲۰ m^2 در هر طبقه
	تعداد طبقات	۴ طبقه
فضای خارجی	ویژگی اقلیمی	پهنه گرم و خشک
	موقعیت ساختمان	شهر تهران
پوسته	دیوار خارجی	تخته سیمانی به ضخامت ۲ cm، بلوک بتنی ۱۰ cm، تخته گچی به ضخامت ۱/۳ cm، با ضریب حرارتی ۱/۹ w/m^2k
	بازشو	پنجره تک جداره با پروفیل آلومینیومی به ابعاد ۲۳۰×۱۶۰ و شیشه کم گسیل به ضخامت ۶ +۴ mm با ضریب حرارتی ۳ w/m^2k و نسبت سطح پنجره به سطح نما (WWR) ۴۰٪
فضای داخلی	ابعاد فضای داخلی	اتاق ۵ m × ۳ به ارتفاع ۲/۸۰ m
	مصالح فضای داخلی	اندود گچی به رنگ سفید به ضخامت ۵cm با ضریب حرارتی ۰/۲۵ w/m^2k
	مصالح کف طبقات	سرامیک خاکستری به ضخامت ۱cm، بتن به ضخامت ۲۰ cm و تایل گچی

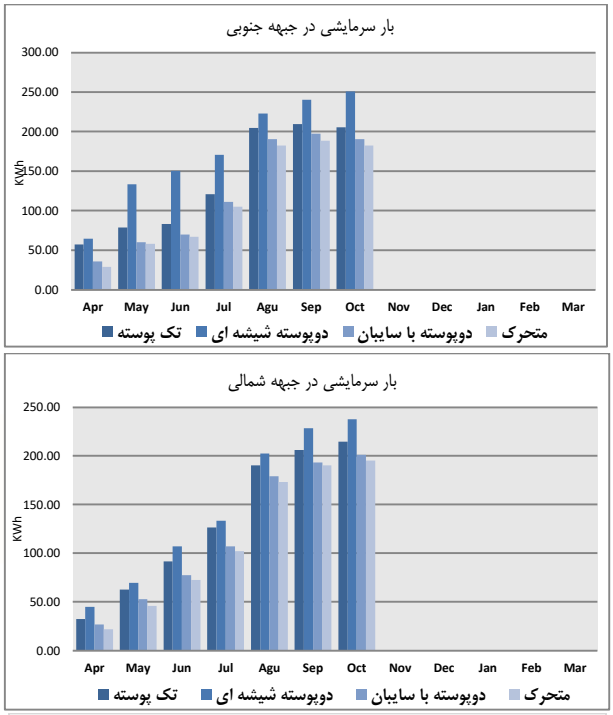
۳- بحث و بررسی

اولین مرحله تحلیل حرارتی، تعیین مصرف انرژی سالیانه ساختمان شامل: میزان بار سرمایشی، بار گرمایشی و الکتریکی روشنایی در نماهای موردمطالعه بود. اگرچه پیش‌بینی عملکرد انرژی در نماهای دوپوسته، موضوع پیچیده‌ای است و به هندسه، خواص حرارتی، فیزیکی و اجزای مختلف نما بستگی دارد [۱۰]. بااین‌حال محاسبه میزان انرژی مصرفی موردنیاز برای سرمایش و گرمایش می‌تواند تا حدی عملکرد انرژی آن را مشخص سازد.

در این تحقیق محاسبه بارهای سرمایشی و گرمایشی برای نماهای موردمطالعه با استفاده از مدل‌سازی انرژی در نرم‌افزار Climate Studio به‌صورت ماهانه انجام پذیرفت. فرایند تحلیل در تمامی مراحل ابتدا بر روی جبهه جنوبی و سپس جبهه شمالی ساختمان پیاده شد. ست پوینت گرمایش و سرمایش شبیه‌سازی بر اساس مبحث نوزدهم مقررات ملی ایران، به ترتیب ۲۰ $^{\circ}C$ و ۲۸ $^{\circ}C$ در نظر گرفته شد [۱۸]. بر این اساس در نماهای تک پوسته و دوپوسته دارای سایبان که با کنترل دستی کار می‌کند؛ در ماه‌هایی که سیستم سرمایش ساختمان فعال است، کاربر از ساعت ۱۰ صبح تا ۴ بعدازظهر، سایبان را فعال می‌کند و در ماه‌هایی که سیستم گرمایش ساختمان روشن می‌شود؛ از ساعت ۶ بعدازظهر تا ۶ صبح، بازشو توسط کاربر بسته می‌شود. در نمای متحرک نیز، قبل از فعال شدن سیستم سرمایش در تابستان و گرمایش در زمستان، سایبان به‌صورت خودکار بسته می‌شود. در سیستم گرمایش، چنانچه در طول شب، دمای داخل به ۲۰ $^{\circ}C$ (ست پوینت سیستم گرمایش) رسید، سایبان به‌طور خودکار بسته‌شده و زاویه لوورها در حالت بسته (زاویه صفر) قرار می‌گیرد و در سیستم سرمایش ساختمان، چنانچه دمای داخل به ۲۸ $^{\circ}C$ (ست پوینت سیستم سرمایش) رسید، سایبان به‌طور خودکار با لوورهایی در زاویه ۴۵ درجه، بسته می‌شود [۱۹].

۳-۱- تحلیل بار سرمایشی

در گام اول، محاسبات بار سرمایشی اتاق‌ها، بر روی نمای تک پوسته انجام پذیرفت. سپس تمامی آنالیزها به‌جای نمای تک پوسته، برای نماهای دوپوسته نوع اول (شیشه‌ای) و دوپوسته نوع دوم (با سایبان)؛ تکرار شد تا اثر هرکدام بر میزان بار سرمایشی مشخص گردد. درنهایت با انجام محاسبات بر روی نمای متحرک ارزیابی بار سرمایشی اتاق در جبهه جنوبی ساختمان، پایان پذیرفت. در مرحله بعد تمامی این عملیات بر روی نماهای موردمطالعه در جبهه شمالی انجام شد تا تغییرات حاصل از به‌کارگیری هر سیستم نما در دو جبهه شمالی و جنوبی مورد مقایسه قرار گیرد. شکل ۵ نمودار میزان بار سرمایشی اتاق در جبهه جنوبی و شمالی را به‌صورت ماهانه و سالانه نشان می‌دهد.



	جبهه شمالی	جبهه جنوبی
تک پوسته	924	959.6
دو پوسته شیشه ای	1022.93	1232.44
دو پوسته با سایبان	837.69	855.52
متحرک	800.73	812.08

شکل ۵ مقایسه میزان بار سرمایشی در نماهای موردمطالعه در جبهه جنوبی و شمالی

همان‌طور که در نمودارهای مذکور مشخص است، بار سرمایشی در تمامی مدل‌های موردمطالعه نما در ضلع جنوبی بیشتر از ضلع شمالی است. البته با عنایت به نور مستقیمی که از ضلع جنوبی ساختمان دریافت می‌شود، این امر منطقی به نظر می‌رسد. همچنین بار سرمایشی نمای دوپوسته‌ای نوع اول در

هر دو ضلع جنوبی و شمالی نسبت به سایر نماها بیشتر است و در نمای متحرک کمترین میزان را به خود اختصاص داده است که این امر نشان‌دهنده تأثیر تغییر سیستم نما در کاهش بار سرمایشی است. مطابق این نمودارها بار سرمایشی نمای دوپوسته نوع اول در زون جنوبی ۱۲۳۲/۴۴ کیلووات ساعت بر مترمربع و در زون شمالی ۱۰۲۲/۹۳ کیلووات ساعت بر مترمربع بوده است که نسبت به نمای پایه به ترتیب ۲۲٪ و ۱۰٪ افزایش داشته است. همچنین مقایسه بار سرمایشی نمای دوپوسته نوع دوم در زون جنوبی برابر با ۸۵۵/۵۲ کیلووات ساعت بر مترمربع است که نسبت به نمای پایه ۱۲٪ کاهش‌یافته است درحالی‌که در زون شمالی میزان این کاهش به ۱۰٪ می‌رسد. در رابطه با نمای متحرک نیز وضعیت بر همین منوال است. بار سرمایشی در وضعیت نصب این نما در زون جنوبی ۸۱۲/۰۸ کیلووات ساعت بر مترمربع و در زون شمالی ۸۰۰/۷۳ کیلووات ساعت بر مترمربع است که نسبت به نمای پایه به ترتیب ۱۸٪ و ۱۶٪ کاهش‌یافته است؛ بنابراین می‌توان گفت تأثیر تغییر سیستم نما بر بار سرمایشی در زون جنوبی بیشتر از زون شمالی است.

مسئله دیگری که از این نمودارها برداشت می‌شود؛ تأثیر حضور سایبان، در کاهش بار سرمایشی ساختمان است. به‌طوری‌که در نمای دوپوسته نوع اول، بار سرمایشی در طول دوره گرما بسیار بالا است ولی در نمای دوپوسته نوع دوم به میزان قابل‌توجهی کاهش می‌یابد. دلیل این امر آن است که در دوره سرما، سایبان‌ها در زاویه‌ای بهینه به‌گونه‌ای قرار می‌گیرند که بتوانند با حداکثر جذب مستقیم خورشیدی توسط جداره داخلی، افزایش دمای حفره میانی و تقویت اثر گلخانه‌ای، میزان مصرف انرژی گرمایشی ساختمان را به حداقل میزان خود تغییر دهند، اما در شبیه‌سازی‌های نرم‌افزاری زمانی که دمای زون‌های حرارتی به دلیل اثر گلخانه‌ای بیشتر از ۲۴°C شود، (به دلیل تعریف دمای ۲۴°C به‌عنوان آستانه آسایش گرمایی در نرم‌افزار)، سیستم‌های سرمایشی فعال‌شده و مصرف انرژی سرمایشی در دوره سرما نیز محاسبه می‌شود. درحالی‌که در واقعیت چنین عملی به‌منظور رسیدن به شرایط آسایش صورت نمی‌گیرد، بلکه با گشودن پنجره یا سایر بازشوها و بدون صرف انرژی سرمایشی دمای آسایش فراهم می‌شود [۲۰].

در یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان چنین بیان کرد که در نمای دوپوسته نوع دوم که دارای سایبان با کنترل دستی است، در فصل گرم سال برای جلوگیری از تابش مستقیم نور به فضا سایبان طوری تنظیم می‌شود که کمترین میزان تابش نور را دریافت کند بنابراین استفاده از سیستم سرمایشی کاهش پیدا می‌کند. مسئله بعدی بررسی تأثیر نوع سایبان‌ها در میزان بار سرمایشی ساختمان است. همان‌گونه که در نمودارها مشخص است، بار سرمایشی اتاق وقتی‌که نما دوپوسته و دارای سایبان است نسبت به نمای پایه که سایبان ثابتی دارد به میزان ۱۰٪ الی ۱۲٪ کاهش‌یافته است. حال اگر نمای متحرک جایگزین نمای دوپوسته نوع دوم گردد؛ این میزان کاهش به ۱۶٪ الی ۱۸٪ می‌رسد. این تغییرات نشان می‌دهد که نماهای دوپوسته نوع دوم و نمای متحرک که دارای سایبان متحرک است، بار سرمایشی کمتری نسبت به نمای تک پوسته با سایبان ثابت دارند؛ به‌عبارت‌دیگر می‌توان چنین ادعا کرد که متحرک بودن سایبان در کاهش بار سرمایشی مؤثرتر است.

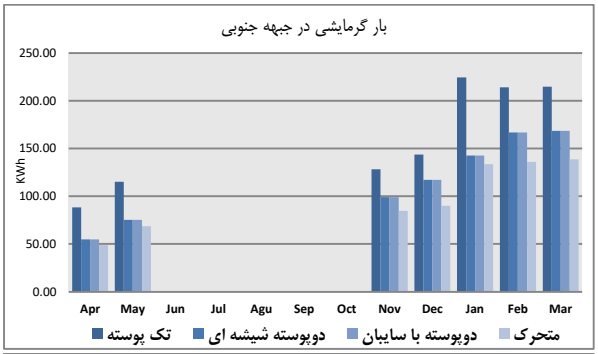
۳-۲- تحلیل بار گرمایشی

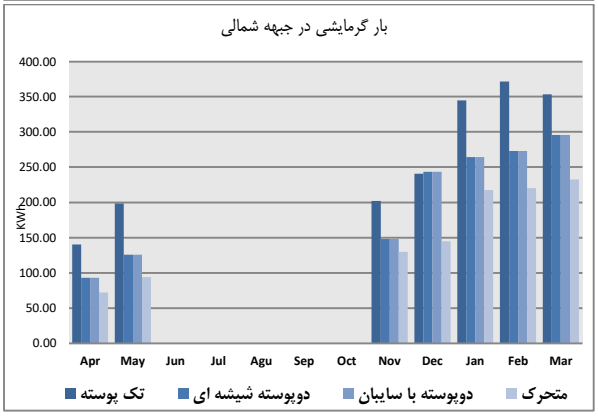
در گام دوم، بار گرمایشی اتاق‌ها، در همان چهار وضعیت ذکرشده در قسمت بار سرمایشی بررسی شد. شکل ۶ میزان بار گرمایشی سیستم‌های موردمطالعه نما در جبهه جنوبی و شمالی را به‌صورت نمودار نمایش می‌دهد.

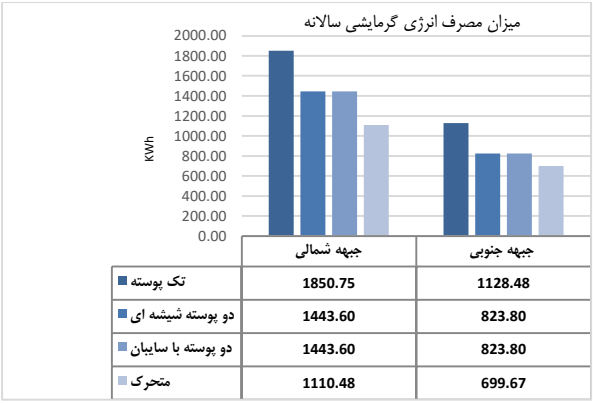
با نگاهی به نمودار سالانه مصرف انرژی گرمایشی در دو جبهه جنوبی و شمالی مشاهده می‌شود مصرف انرژی گرمایشی در جبهه شمالی بیشتر از جبهه جنوبی است. بررسی تأثیر نوع نماها در میزان بار گرمایشی نشان می‌دهد در بین نماهای موردمطالعه بیشترین بار گرمایشی مربوط به نمای تک پوسته است و کمترین بار گرمایشی به شرایطی اختصاص دارد که در آن از نمای متحرک استفاده‌شده است. در این میان، نماهای دوپوسته با مقادیر یکسان هر دو به یک‌میزان در کاهش بار گرمایشی مؤثر هستند. دلیل این کاهش بهبود شرایط عایق حرارتی پوسته ساختمان و حفظ انرژی حرارتی در حفره میانی است.

همان‌طور که می‌دانیم در شرایط واقعی یک ساختمان اداری با نمای دوپوسته نوع اول (بدون سایبان)؛ میزان مصرف انرژی گرمایشی در طول سال برابر صفر است. این بدین معنا است که دمای فضای داخلی ساختمان در طی دوره سرما از ۲۲°C کمتر نشده و سیستم‌های گرمایشی فعال نخواهند شد اما در حالت استفاده از سایبان در نمای دوپوسته میزان مصرف انرژی گرمایشی افزایش می‌یابد؛ زیرا سایبان‌ها در دوره سرما مانع جذب مستقیم تشعشعات خورشیدی توسط جداره داخلی حفره میانی می‌شوند؛ بنابراین حضور سایبان، در کاهش بار گرمایشی ساختمان نقش مؤثری دارد.

در بررسی تأثیر نوع سایبان در میزان بار گرمایشی همان‌طور که در نمودارها مشاهده می‌شود؛ سایبان متحرک نسبت به سایبان ثابت شرایط مناسب‌تری برای گرمایش و سرمایش فضا ایجاد می‌کند چراکه در طول زمستان و در شب‌های سرد سال بر اساس ست پوینت تعریف‌شده، لوورها در زاویه صفر و حالت بسته قرار می‌گیرد و نفوذ هوای بسیار کمی فقط از درزهای بین لوورها وجود دارد؛ بنابراین نیازی به استفاده از سیستم‌های گرمایشی نخواهد بود. در نمای دوپوسته نوع دوم که سایبان دارای کنترل دستی است و تنظیمات آن توسط کاربر انجام می‌شود در فصل پاییز و زمستان، به دلیل دریافت تابش کمتر نور استفاده از سایبان کاهش می‌یابد که درنتیجه آن بار گرمایشی اتاق نیز به میزان ۲۴٪ نسبت به نمای پایه تقلیل می‌یابد اما در نمای متحرک به دلیل استفاده از سیستم هوشمند؛ این میزان کاهش به ۳۹٪ می‌رسد.







	جبهه شمالی	جبهه جنوبی
تک پوسته	1850.75	1128.48
دو پوسته شیشه ای	1443.60	823.80
دو پوسته با سایبان	1443.60	823.80
متحرک	1110.48	699.67

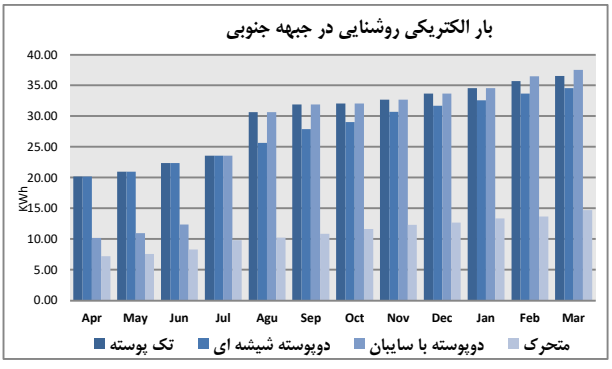
شکل ۶ مقایسه میزان بار گرمایشی در نماهای موردمطالعه در جبهه جنوبی و شمالی

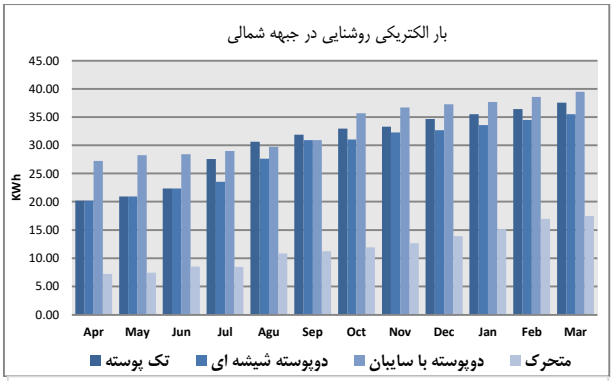
۳-۳- تحلیل بار الکتریکی روشنایی

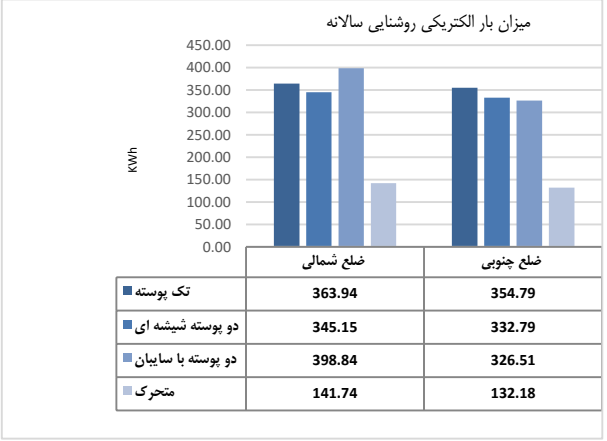
در گام سوم، بار الکتریکی روشنایی اتاق‌ها، در چهار وضعیت استفاده از نمای تک پوسته، دوپوسته نوع اول و دوم و نمای متحرک موردمحاسبه قرار گرفت. شکل ۷ میزان بار الکتریکی روشنایی نماهای موردمطالعه را در جبهه جنوبی و شمالی در قالب نمودارهای ماهانه و سالانه نشان می‌دهد.

نمودار سالانه مصرف انرژی الکتریکی روشنایی در دو جبهه جنوبی و شمالی و مقایسه آن‌ها با یکدیگر نشان می‌دهد مصرف انرژی الکتریکی روشنایی در هر دو جبهه تقریباً یکسان است. مقایسه میزان تفاوت بار الکتریکی روشنایی در چهار وضعیت استفاده از نمای تک پوسته، دوپوسته شیشه‌ای و دوپوسته با سایبان و همچنین نمای متحرک نشان می‌دهد بیشترین تفاوت بار الکتریکی روشنایی به شرایطی اختصاص دارد که در آن از نمای متحرک استفاده‌شده است. نمای متحرک به دلیل قابلیت کنترل میزان نور و حرارت ورودی به داخل فضا با انتخاب حالت باز یا بسته بودن نما (در تابستان یا زمستان و شب یا روز) بار الکتریکی روشنایی را به میزان قابل‌توجهی کاهش می‌دهد. همچنین این نوع نما با تنظیمات هوشمند خود مانع تابش نورهای نامطلوب در هنگام طلوع و غروب آفتاب در دو جبهه شرقی و غربی می‌گردد.

همان‌طور که در نمودارها مشاهده می‌شود، انرژی الکتریکی روشنایی در نمای متحرک نسبت به نمای پایه ۶۲٪ کاهش می‌یابد؛ اما در نمای دوپوسته نوع دوم نسبت به نمای دوپوسته نوع اول افزایش ۱۲٪ بار الکتریکی روشنایی مشاهده می‌گردد. این مقدار افزایش به این دلیل است که سایبان‌ها در دوره گرما به‌منظور کاهش جذب حرارتی و کاهش اثر نامطلوب گلخانه‌ای، در زاویه‌ای قرار می‌گیرند که نور کمتری نسبت به نمای دوپوسته شیشه‌ای وارد فضا می‌شود بنابراین برای استاندارد بودن روشنایی فضا و به حد مطلوب رساندن نور آن بایستی تجهیزات روشنایی فعال گردد که این امر بار الکتریکی روشنایی فضا را افزایش خواهد داد.







	ضلع شمالی	ضلع جنوبی
تک پوسته	363.94	354.79
دو پوسته شیشه ای	345.15	332.79
دو پوسته با سایبان	398.84	326.51
متحرک	141.74	132.18

شکل ۷ مقایسه میزان بار الکتریکی در نماهای موردمطالعه در جبهه جنوبی و شمالی

۴- یافته‌های تحقیق

یافته‌های حاصل از شبیه‌سازی انرژی‌های مصرفی ساختمان اداری در نماهای موردمطالعه نشان می‌دهد با فرض اینکه نسبت مساحت پنجره به مساحت دیوار ۴۰٪ است، انرژی مصرفی اتاق در زون شمالی نسبت به زون جنوبی بیشتر است. در خصوص تأثیر نوع نماها نیز می‌توان چنین اذعان کرد که؛ در شرایطی که نمای ساختمان دوپوسته است، پوسته دارای ظرفیت گرمایی بالایی بوده و مانند یک عایق عمل می‌کند، بنابراین بار سرمایشی و گرمایشی اتاق نسبت به نمای پایه، به میزان قابل‌توجهی تغییر می‌یابد. حال اگر نمای متحرک جایگزین نمای دوپوسته گردد؛ اتاق موردمطالعه نسبت به سایر نماها با بار سرمایشی کمتری مواجه خواهد شد. به‌عبارت‌دیگر نمای متحرک بر بار سرمایشی و نمای دوپوسته نوع دوم، بر بار گرمایشی اثرگذاری بیشتری نسبت به سایر نماها دارند. بررسی تأثیر حضور سایبان در نماها نیز نشان می‌دهد در طول دوره سرما برای نمای دوپوسته فاقد سایبان، میزان مصرف انرژی گرمایشی سالیانه در فضای اداری صفر خواهد بود. درحالی‌که در همین دوره در نمای دوپوسته مجهز به سیستم سایبان دمای حفره میانی به دلیل کاهش میزان جذب مستقیم خورشیدی توسط پوسته داخلی تقلیل یافته و میزان مصرف انرژی گرمایشی افزایش می‌یابد. در طول دوره گرما نیز، کاربر با تنظیم سایبان و باز کردن آن با زاویه ثابت آسایش حرارتی محیط را فراهم می‌نماید. درواقع در این‌گونه نماها دریافت حرارت خورشید و نفوذ آن به درون ساختمان در طی روز، نتیجه‌ای جز افزایش حرارت درونی بنا و درنتیجه افزایش هزینه سرمایشی نخواهد داشت؛ اما اگر نمای متحرک جایگزین نمای دوپوسته گردد، در این حالت بیشترین تأثیر بر کاهش بار سرمایشی را به همراه خواهد داشت. چراکه نمای متحرک به‌صورت هوشمند عمل کرده و با در نظر گرفتن نور و روشنایی محیط سایبان را طوری تنظیم می‌کند که ضمن جلوگیری از ایجاد خیرگی در فضا، از ایجاد بار سرمایشی نیز خودداری شود. به همین دلیل برای کاهش بیشتر بار

سرمایشی و گرمایشی اتاق، استفاده از نمای متحرک در ساختمان توصیه می‌شود که میزان اثرگذاری بیشتری بر کاهش بار گرمایشی دارد.

در رابطه با انرژی الکتریکی روشنایی چنانچه در نمودارهای تحقیق نیز مشاهده می‌گردد میزان مصرف انرژی روشنایی سالانه در نمای دوپوسته نوع اول نسبت به نمای دوپوسته نوع دوم (که سایبان آن به‌صورت دستی کنترل می‌شود) افزایش دارد. باوجوداینکه استفاده از سایبان در نماهای دوپوسته موجب افزایش مصرف انرژی گرمایشی و الکتریکی روشنایی می‌شود، اما درنهایت اثرات وجود سایبان در نما در کاهش مصرف انرژی سالانه مثبت ارزیابی می‌شود چراکه میزان انرژی مصرفی سرمایشی نمای فاقد سایبان به‌مراتب بیشتر از نمای دارای سایبان (ثابت یا متحرک) است. قابلیت تنظیم زاویه در سایبان‌های متحرک این امکان را می‌دهد که در طول سال لوورها را طوری در زوایای بهینه تنظیم کرد که حداکثر نور طبیعی ورودی با حداقل جذب مستقیم همراه باشد. در چنین شرایطی میزان بار سرمایشی و بار روشنایی الکتریکی در طول دوره گرما به حداقل می‌رسد. درمجموع، برای میزان مصرفی سالانه انرژی‌ها شامل: سرمایشی، گرمایشی و الکتریکی روشنایی، با فرض ثابت بودن سایر شرایط عملکرد سایبان‌های متحرک بهینه‌تر از سایبان ثابت است.

جدول ۲ میزان و درصد کاهش سالانه انرژی مصرفی در مدل‌های موردمطالعه

کاهش انرژی مصرفی/ نماهای موردمطالعه		دوپوسته با سایبان (کنترل دستی)	نمای متحرک (کنترل هوشمند)
سرمایشی	درصد	۳۷/۴۷	۴۰/۴۴
	kWh/m²	-۱۰۱۵/۱۷	-۱۰۹۵/۳۷
گرمایشی	درصد	۲۳/۸۹	۳۹/۲۴
	kWh/m²	-۷۱۱/۸۳	-۱۱۶۹/۰۸
الکتریکی روشنایی	درصد	۰	۶۱/۸
	kWh/m²	۶/۶۲	-۴۴۴/۸۱
مجموع انرژی مصرفی	درصد	۲۶/۸۵	۴۲/۲۹
	kWh/m²	-۱۷۲۰/۳۸	-۲۷۰۹/۲۶

جدول ۲ میزان کاهش بارهای سرمایشی، گرمایشی و الکتریکی روشنایی در نماهای موردمطالعه با حضور سایبان را نشان می‌دهد. مقادیر این جدول که برحسب درصد و کیلووات بر ساعت ارائه‌شده است گویای این مطلب است که استفاده از نمای دوپوسته به‌جای نمای تک پوسته می‌تواند انرژی مصرفی را تا حدود ۳۰/۶۷٪ کاهش دهد. چنانچه نمای متحرک جایگزین نمای دوپوسته گردد این میزان کاهش به ۴۰/۵٪ خواهد رسید. یافته‌های این تحلیل نشانگر عملکرد مناسب و بهینه نمای متحرک در کاهش میزان انرژی مصرفی است.

۵- نتیجه‌گیری

ازآنجاکه در شرایط اقلیمی گرم و خشک، حفظ ساختمان از دریافت نور و انرژی گرمایی خورشید، از اقدامات اولیه برای ایجاد آسایش حرارتی کاربران محسوب می‌گردد، لذا تعیین مناسب‌ترین سیستم نما برای ساختمان‌های اداری که کمترین بار انرژی را بر ساختمان تحمیل کند، دغدغه اصلی تحقیق حاضر است. با عنایت به سؤالات اصلی تحقیق در رابطه با تأثیر به‌کارگیری سایبان و نوع آن (ازنظر ثابت یا متحرک بودن) در میزان انرژی مصرفی ساختمان، ابتدا فرضیاتی مطرح گردید و سپس برای تائید یا رد آن‌ها، نماهای موردمطالعه تحقیق (نمای تک پوسته با سایبان ثابت، دوپوسته شیشه‌ای، دوپوسته با سایبان متحرک و نمای متحرک)، در یک ساختمان اداری در شرایط اقلیمی تهران شبیه‌سازی شد و رفتار حرارتی آن‌ها در دو جبهه شمالی و جنوبی مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت و خروجی آن‌ها در قالب نمودارهای ماهانه و سالانه به تفکیک بار سرمایشی، گرمایشی و الکتریکی روشنایی ارائه گردید.

بررسی مقادیر به‌دست‌آمده از نمودارهای تحلیلی نشان می‌دهد در حالت استفاده از سایبان میزان مصرف انرژی ساختمان کاهش می‌یابد که در صورت متحرک بودن سایبان میزان این کاهش به‌مراتب بیشتر از سایبان ثابت خواهد بود؛ بنابراین فرضیات اول و دوم تحقیق مبنی بر تأثیر وجود سایبان و نوع آن در رفتار حرارتی نماها در فضاهای داخلی مورد تائید قرار می‌گیرد. در خصوص فرضیه سوم نیز که نمای متحرک را بهترین گزینه ازنظر مصرف انرژی نسبت به سایر نماهای موردمطالعه تحقیق می‌داند، نتایج حاصل از بررسی‌ها نشان از تائید این فرضیه دارد. تحلیل رفتار حرارتی نماها نشان می‌دهد استفاده از نمای دوپوسته و نمای متحرک موجب کاهش مصرف انرژی در ساختمان می‌گردد. در این میان تأثیر نمای متحرک در این کاهش به‌مراتب بیشتر از نمای دوپوسته است. اگرچه استفاده از نمای دوپوسته در هر دو نوع (تمام شیشه‌ای و دارای سایبان) موجب افزایش بار روشنایی می‌شود اما تأثیرات آن در کاهش بار گرمایشی بسیار قابل‌توجه است. این نوع نماها، با تأمین نیاز گرمایشی ساختمان در دوره سرمایش شرایط مطلوب‌تری نسبت به نمای تک پوسته فراهم می‌نمایند. نمای متحرک نیز؛ باقابلیت تنظیم اجزای تشکیل‌دهنده خود مانند جهت چرخش، میزان باز و بسته شدن و با توجه به شرایط محیطی اقلیم موردنظر میزان نور و حرارت وارده به داخل ساختمان را کنترل می‌کند و با کاهش هدر رفت نور و انرژی و کنترل خیرگی، آسایش محیطی کاربران را فراهم می‌نماید. این نوع نما با افزایش جذب انرژی خورشیدی در فصل زمستان و کاهش جذب آن در تابستان موجب کاهش ۴۲/۳ ٪ میزان مصرف انرژی در ساختمان می‌گردد. در یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان عملکرد حرارتی نمای متحرک را نسبت به سایر نماهای موردمطالعه در این تحقیق مطلوب ارزیابی نمود که با عنایت به رواج رویکرد نوین هوشمند سازی در ساختمان‌های اداری داخل کشور، ایده استفاده از این نوع نما می‌تواند راهکاری مناسب برای بهینه‌سازی مصرف انرژی باشد.

در پایان با عنایت به محدودیت‌های تحقیق اعم از نوع کاربری، نوع اقلیم و نوع نماهای موردمطالعه پیشنهاد می‌گردد مطالعات عددی و شبیه‌سازی رفتار حرارتی نماها با تأکید بر تأثیر انواع مختلف نما ازنظر تعداد پوسته، نوع پوسته و الگوهای هندسی به‌کاررفته در نمای متحرک، نوع حرکت و میزان باز و بسته شدن نمای متحرک انجام شود. همچنین بررسی کارایی انرژی نمای متحرک در اقلیم‌های مختلف و با کاربری‌های متفاوت با در نظر گرفتن هزینه‌های ساخت و تولید، نصب و نگهداری می‌تواند به‌عنوان محور تحقیقات آتی مورداستفاده قرار گیرد.

۶- فهرست علائم

بار گرمایشی	(Kwh/m²)
بار سرمایشی	(Kwh/m²)
مصرف انرژی سالیانه	(Kwh/m²)

۷- مراجع

[1] S. Burton, M. Sala, *Energy Efficient Office Refurbishment*, Earthscan, London. 2001.

[2] Lombard, L. P. Ortiz, J. Pout, C. A Review on Buildings Energy Consumption Information, *Energy and Buildings Journal*, Vol. 40, No. 3, pp. 394-398, 2008.

[3] NRC. *National Research Council of the National Academies*, The National Academies Press, Washington D. C. 2005.
[4] W. M. C. Lam, *Perception and Lighting as Formgiver for Architecture*, New York:Van Nostrand Reinhold, pp. 79-83, 1992.
[5] *Energy Efficiency Organization Report*, Performance of Electricity and Energy Sector, Ministry of Energy, Accessed 8 September 2016; https://isn.moe.gov.ir. (In Persian)
[6] R. Hoseggen, B.J. Wachenfeldt, S.O. Hanssen, Building simulation as an assisting tool in decision making. Case study: With or without a double skin façade, *Energy and buildings Journal*. Vol. 40, No. 5, pp. 821-827, 2006.
[7] S. E. Selkowitz, Integrating Advanced Facades into High Performance Buildings, *In 7th International Glass Processing Days*. Tampere, Finland, June 18-21, 2001.
[8] A. Ghanbaran, A. Hosseinpour, Assessment of thermal behavior of double skin façade in the climate of Tehran, *Sustainable Architecture and Urban Development Journal*, Vol. 1, No. 2, pp. 43–53, 2013. (In Persian).
[9] M. Taraz, K. Taqizade, M. Azizi Ghohroudi, Introducing an Innovative Variable Building Layers System, *Naghshjahan Scientific-Research Journal*, Vol. 2, No. 5, pp. 55-64, 2015. (In Persian)
[10] M. Rasooli,Y. Shahbazi, M.R. Matini, Horizontal and Vertical Movable Drop-Down Shades Performance in Double Skin Facade of Office Buildings; Evaluation and Parametric Simulation, *Naghshjahan Scientific-Research Journal*, Vol. 9, No. 2, pp. 135-144, 2019. (In Persian)
[11] R. Moosavi, F.Gheybi, Office Buildings Glass Facades Excitation under Hot and Dry Climates: A Numerical and Experimental Study. *Iranian Journal of Energy*, Vol. 20, No. 4, pp. 5-25, 2018. (In Persian)
[12] M. Salehi, N. Nasrolahi, J. Khodakarami, Evaluation to implement dual skin façades in hot and arid climate with regards to energy conservation, *The first international convention for the latest in energy conservation*, Dec. 2011.(In Persian)
[13] S. Rostamzad, M. Feizi, H. Sanaieian, M. Khakzand, Parametric Design of a Kinetic Facade for the Improvement of Daylight Performance and Visual Comfort Case Study: An Office Space in Tehran. *Journal of Architecture and Urban Planning*, Vol. 13, No. 31, pp. 85–100, 2021. (In Persian)
[14] H. Poirazis, *Double Skin Façades for Office Buildings*. Report No EBD-R-04/3Lund University. 2004.
[15] F. Nasrollahi, M. Hadianpour, *Investigation of thermal performance of double-walled shells of buildings to reduce overheating of these shells*, Master Thesis, Faculty of Engineering, Ilam University, 2013. (In Persian)
[16] W. Ding, H. Yuji, Y. Tokiyoshi, Natural ventilation performance of a double skin façade with a solar chimney. *Energy and buildings Journal*. Vol. 37, No. 11, pp. 411-418, 2005.
[17] J. L. M. Hensen, M. Bartak, D. Frantisek, *Modeling and simulation of a double-skin facade system*, ASHRAE Transactions, Vol. 108, No. 2, pp. 1251-1259, 2002.
[18] National Building Regulations of Iran, *Topic 19, Energy Saving*, Ministry of Roads, Housing and Urban Development, Deputy Minister of Housing and Construction. 2014. (In Persian)
[19] V.Vahhabi; M. Mahdavi Nia. The Effect of Physical Properties of Window Coverings on Thermal Performance of Residential Buildings in Tehran, *Iranian Journal of Architecture and Urban Planning*, Vol. 92, No. 1, pp. 75-90. 2018. (In Persian)
[20] Sh.Heidari, M. Jahani Nogh, *Thermal compatibility in architecture The first step in saving energy consumption*, Tehran: University of Tehran Press, 2014. (In Persian)