نشریه علمی (فصلنامه) «انرژی ایران»
دوره ۲۸، شماره۲، تابستان ۱۴۰۴، صفحه ۲۸-۴۶

ارزیابی عملکرد انرژی و بهینه‌سازی پارامترهای پوسته ساختمان اداری– نظامی در اقلیم سرد تبریز با استفاده از الگوریتم ژنتیک

اکبر اصغرزاده بناب
دانشگاه فرماندهی و ستاد آجا، تهران، ایران
Akbar.Asgharzadeh@casu.ac.ir
حافظ اسدزاده
دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران
Ha.asadzadeh@tabriziau.ac.ir
آیدا ملکی
دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران (نویسنده مسئول)
a.maleki@tabriziau.ac.i

چکیده

تاریخ دریافت:
۱۴۰۴/۸/۱۴
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۵/۴/۲
کلمات کلیدی:
بهینه‌سازی پوسته ساختمان
ساختمان‌های اداری–نظامی
کاهش انتشارCO_2
الگوریتم ژنتیک
اقلیم سرد

مصرف انرژی در ساختمان‌های اداری– نظامی سهم قابل توجهی در مصرف کل انرژی دارد و کاهش آن، به‌ویژه در اقلیم‌های سرد و شرایط محدودیت د ستر سی به سوخت، از نظر بهره‌وری انرژی، پایداری عملیاتی و تأمین آسایش حرارتی پرسنل اهمیت زیادی دارد. هدف این پژوهش، بهینه‌سازی پارامترهای طراحی پوسته ساختمان شامل جهت‌گیری بنا، نسبت پنجره به دیوار، نوع و ضخامت شیشه، نوع گاز لایه میانی و طراحی سایه‌بان، با هدف کاهش مصرف انرژی گرمایشی در اقلیم سرد تبریز است. شبیه‌سازی انرژی با استفاده از نرم‌افزار EnergyPlusو رابط JEPlus انجام شد و بهینه‌سازی پارامترها در محیط JEPlus+EA مبتنی بر الگوریتم ژنتیک صورت گرفت. نتایج نشان داد که مصرف گاز طبیعی ساختمان از ۱۵۷۳ مترمکعب در حالت پایه به ۱۳۵۸ مترمکعب در حالت بهینه کاهش یافت که معادل ۱۳,۷٪ صرفه‌جویی ا ست. همچنین، نتایج مقایسه سناریوها در شرایط ثابت و در حالت بهینه نشان داد که به‌کارگیری شیشه دوجداره نسبت به شیشه تک‌جداره، مصرف گاز طبیعی موردنیاز برای گرمایش را حدود ۱۶ درصد کاهش داده است و استفاده از گاز آرگون در فضای میانی شیشه دوجداره نیز حدود ۱ درصد بهبود اضافی در عملکرد حرارتی پنجره ایجاد کرده است.همچنین کاهش مصرف گاز طبیعی به کاهش سالانه ۴۰۸,۵ کیلوگرم دی‌اکسید کربن، معادل ۱۳,۷٪ نسبت به حالت پایه، منجر شد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-24]

۱.مقدمه

مصرف انرژی در بخش ساختمان، به‌ویژه در ساختمان‌های اداری– نظامی، سهم قابل‌توجهی از کل انرژی کشور را تشکیل می‌دهد و مدیریت آن از عناصر راهبردی در افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه‌های عملیاتی و توسعه پدافند غیرعامل در سازمان‌های نظامی محسوب می‌شود (Zarco-Soto et al., ۲۰۲۵). افزایش وابستگی ساختمان‌های نظامی به انرژی، علاوه بر تحمیل هزینه‌های اقتصادی و مدیریتی، آسیب‌پذیری این ساختمان‌ها را در برابر تهدیدهای مرتبط با جنگ انرژی، اختلال در شبکه سوخت یا شرایط بحران افزایش می‌دهد(Mallery et al., ۲۰۲۲) و همچنین مصرف کنترل‌نشده انرژی در بخش ساختمان، از عوامل مؤثر در ناترازی انرژی به شمار می‌رود؛ به‌ویژه در فصول سرد که نیاز به گاز طبیعی افزایش یافته و تأمین پایدار انرژی برای بخش‌های حیاتی مانند مراکز نظامی با چالش مواجه می‌شود(Elkhatat & Al-Muhtaseb, ۲۰۲٤).در این راستا، طراحی بهینه ساختمان‌ها و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین ساختمانی به‌عنوان یکی از استراتژی‌های اصلی کاهش بار حرارتی و سرمایشی و ارتقای بهره‌وری انرژی مورد توجه قرار گرفته است بنابراین افزایش کارایی انرژی در ساختمان‌های نظامی تنها یک اقدام اقتصادی نیست؛ بلکه نوعی تقویت توان رزمی و امنیت انرژی محسوب می‌شود(Shahee et al., ۲۰۲٤).

یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در مدیریت انرژی، طراحی پوسته خارجی ساختمان است. که نسبت پنجره به دیوار(WWR) ، جهت‌گیری ساختمان، نوع و ضخامت شیشه و طراحی سایه‌بان‌ها از اصلی‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر اتلاف انرژی و میزان نیاز به گرمایش هستند (Ahmad et al., ۲۰۲٥). در اقلیم‌های سرد مانند تبریز، استفاده از پنجره‌های تک‌جداره، تعیین نامناسب WWR و طراحی غیرعلمی سایه‌بان‌ها موجب افزایش شدید بار گرمایشی ساختمان می‌شود (Altun, ۲۰۲۲).

در ساختمان‌های نظامی، اتلاف انرژی تنها به افزایش هزینه‌های بهره‌برداری محدود نمی‌شود، بلکه می‌تواند تداوم عملکرد سامانه‌های حساس، تجهیزات الکترونیکی و سطح آمادگی عملیاتی را نیز تحت تأثیر قرار دهد. افزون بر این، شرایط حرارتی نامطلوب و نوسانات دما می‌تواند با کاهش عملکرد شناختی و جسمی نیروها، بر تمرکز، تصمیم‌گیری و کارایی عملیاتی اثر منفی بگذارد(Mallery et al., ۲۰۲۲).

با وجود مطالعات متعدد درباره نسبت پنجره به دیوار، نوع شیشه و طراحی سایه‌بان، در بسیاری از پژوهش‌ها این متغیرها به‌صورت مستقل یا با تمرکز بر تعداد محدودی از پارامترها بررسی شده‌اند و تحلیل هم‌زمان اثرات ترکیبی آن‌ها بر عملکرد انرژی ساختمان کمتر مورد توجه قرار گرفته است. افزون بر این، بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که مطالعات اختصاصی درباره ساختمان‌های اداری–نظامی در اقلیم سرد ایران محدود است. توجه به این موضوع از آن جهت اهمیت دارد که این نوع ساختمان‌ها، علاوه بر ضرورت کاهش مصرف انرژی، باید از سطح مناسبی از قابلیت عملکرد در شرایط محدودیت یا اختلال در تأمین سوخت نیز برخوردار باشند.

بنابراین، مسئله اصلی پژوهش حاضر بررسی این موضوع است که چه ترکیبی از پارامترهای طراحی پوسته خارجی می‌تواند با کاهش بار حرارتی و مصرف انرژی، عملکرد انرژی ساختمان‌های اداری–نظامی را بهبود دهد. بر این اساس، هدف پژوهش، تعیین مقادیر مناسب نسبت پنجره به دیوار در جهات مختلف، جهت‌گیری بنا، نوع شیشه و طراحی سایه‌بان به‌منظور کاهش مصرف انرژی گرمایشی و کاهش انتشار دی‌اکسید کربن در اقلیم سرد تبریز است. همچنین، نتایج این پژوهش می‌تواند در شناسایی راهکارهای مؤثر برای بهبود عملکرد انرژی این نوع ساختمان‌ها در شرایط بهره‌برداری عادی و تا حدی در شرایط محدودیت تأمین سوخت مفید باشد.

این مطالعه با تمرکز بر اقلیم سرد تبریز و ویژگی‌های عملکردی ساختمان‌های اداری–نظامی، می‌تواند در شناسایی راهکارهای مؤثر برای طراحی بهینه پوسته ساختمان مفید باشد. نتایج پژوهش می‌تواند به‌عنوان مبنایی علمی برای

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-24]

تصمیم‌گیری در زمینه کاهش مصرف انرژی، صرفه‌جویی در مصرف گاز طبیعی و کاهش انتشار دی‌اکسید کربن مورد استفاده قرار گیرد. همچنین، بهبود عملکرد حرارتی ساختمان می‌تواند در ارتقای شرایط آسایش و کارایی پرسنل و نیز پایداری عملکرد تجهیزات نقش مؤثری داشته باشد.

۲.پیشینه تحقیق

مطالعات متعددی در زمینه بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها انجام شده است که هر یک به بررسی متغیرهای خاصی همچون جهت‌گیری ساختمان، نسبت پنجره به دیوار، مصالح نمای خارجی، شیشه‌های دوجداره و طراحی نماهای نوآورانه پرداخته‌اند. این پژوهش‌ها با شبیه‌سازی عددی، تحلیل‌های پارامتریک، مرور ادبیات، مطالعه موردی و روش‌های میدانی انجام گرفته‌اند و نتایج آنها بر ضرورت توجه به شاخص‌های معماری و اقلیمی در طراحی ساختمان تأکید دارند.

علامی و همکاران (۲۰۲۴) در مطالعه خود با تمرکز بر مناطق سردسیر ایران نشان دادند که توجه به عوامل اقلیمی، محیطی، ساختمانی و انسانی پیش از طراحی معماری ضروری است. تحلیل آنها بر اساس پهنه‌بندی اقلیمی کوپن–گایگر بود و آنها بیان کردند که جهت‌گیری ساختمان، ابعاد و محل بازشوها و نوع مصالح به کار رفته در جدارهٔ خارجی، تأثیر مستقیمی بر مصرف انرژی دارند و طراحی مبتنی بر این عوامل می‌تواند به کاهش چشمگیر انرژی در ساختمان‌ها منجر شود.

جاوید و همکاران (۲۰۲۵) با رویکرد مرور سیستماتیک و تحلیل علم‌سنجی به بررسی روش‌های بهینه‌سازی انرژی در ساختمان‌ها پرداختند. آنها با استفاده از ابزارهای بیبلومتریک و نرم‌افزار VOSviewer روند پژوهش‌های جهانی را تحلیل کردند و نتیجه گرفتند که الگوریتم‌های تکاملی و هوش ازدحامی نقش برجسته‌ای در بهینه‌سازی انرژی ایفا می‌کنند. این مطالعه بر لزوم ترکیب داده‌های واقعی با روش‌های هوشمند در توسعه راهکارهای کارآمد تأکید دارد و تمرکز آن بر تحلیل توزیع استفاده از روش‌های مختلف در مقالات علمی است.

ممدی‌وسطی‌کلائی و همکاران (۲۰۲۴) به بررسی نقش نماهای دوپوسته پرداختند و با تحلیل مطالعات موردی و منابع علمی، مزایای نماهای دوپوسته را بررسی کردند. نتایج نشان داد که طراحی صحیح این نماها نه تنها موجب کاهش وابستگی به سامانه‌های گرمایش و سرمایش می‌شود، بلکه آسایش حرارتی و کیفیت فضای داخلی را نیز بهبود می‌بخشد.

برزنونی و همکاران (۲۰۲۴) با استفاده از شبیه‌سازی پارامتریک در نرم‌افزار Grasshopper و الگوریتم ژنتیک در اقلیم گرم و خشک سبزوار نشان دادند که نسبت پنجره به دیوار (WWR) نقش تعیین‌کننده‌ای در کاهش بار سرمایشی و گرمایشی دارد. یافته‌های آنها حاکی از آن است که نسبت ۶۳٪ برای جبهه جنوبی، ۴۷٪ برای جبهه شمالی و حدود ۳۱٪ برای جبهه‌های شرقی و غربی بهینه‌ترین شرایط مصرف انرژی و نور روز را ایجاد می‌کند.

Liu et al. (۲۰۲٤) در پژوهش خود اثر شبکه‌های سایه‌بان را بر ساختمان‌های سبک بررسی کردند. آزمایش مقایسه‌ای بر روی دو ساختمان سبک نشان داد که استفاده از این شبکه‌ها شدت تابش خورشید را تا حدود ۵۸٪ کاهش داده و منجر به کاهش دمای داخلی و صرفه‌جویی ۲۳ درصدی در مصرف انرژی سرمایشی شده است.

Mahdavinejad et al. (۲۰۲٤) با مدل‌سازی پارامتریک و الگوریتم‌های تکاملی NSGA-II نقش هندسه نما در چهار اقلیم ایران را بررسی کردند. یافته‌ها نشان داد که نماهای خودسایه‌دار علاوه بر بهبود کیفیت دید تا ۷۵٪، به شکل محسوسی مصرف انرژی و خطر خیرگی را کاهش می‌دهند و اهمیت طراحی هندسه نما در کاهش بار حرارتی و افزایش آسایش بصری را نشان می‌دهد.

Ito and Lee (۲۰۲٤) با توسعه یک سامانه نوآورانه کرکره‌های خورشیدی فتوولتائیک قابل تنظیم نشان دادند که توسعه نمونه اولیه و تحلیل عددی امکان تغییر زاویه پنل‌ها متناسب با حرکت خورشید را فراهم کرده و تولید برق روزانه را ۷ تا ۹ درصد افزایش می‌دهد. این مطالعه بر امکان هم‌افزایی میان سایه‌اندازی و تولید انرژی تأکید کرد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-24]

Sharbafian et al. (۲۰۲٤) اثر نمای سبز را بر بار حرارتی و روشنایی بررسی کردند. شبیه‌سازی پارامتریک و تحلیل عددی نشان داد که تغییر فاصله فضای سبز از نما تأثیر قابل توجهی بر شاخص‌های حرارتی و بصری ندارد، اما در مجموع می‌تواند به بهبود کیفیت محیط داخلی کمک کند.

Habibi (۲۰۲٤) در مطالعه‌ای بر روی جهت‌گیری ساختمان نشان داد که اگرچه این عامل می‌تواند در برخی شرایط بر مصرف انرژی تأثیرگذار باشد، اما اثر آن وابسته به اقلیم و ابعاد ساختمان است و نمی‌توان آن را عامل غالب در همه شرایط دانست. شبیه‌سازی در نرم‌افزارهای IES VE و Rhino/Honeybee نشان داد اثر جهت‌گیری بر شدت مصرف انرژی محدود است.

Ahmed et al. (۲۰۲۵) با تمرکز بر ساختمان‌های اداری در اقلیم گرم و نیمه‌خشک عراق دریافتند که انتخاب نوع شیشه، نسبت پنجره به دیوار و جهت‌گیری پنجره‌ها تأثیر قابل توجهی بر مصرف سرمایش و گرمایش دارند. تحلیل شبیه‌سازی مبتنی بر مدل عددی ساختمان نشان داد که شیشه‌های دوجداره در ترکیب با WWR مناسب می‌توانند مصرف انرژی را به حداقل برسانند.

Liu et al. (۲۰۲۵) با تحلیل خانه‌های سنتی ژوانگکه در چین و ترکیب داده‌های میدانی با شبیه‌سازی پارامتریک به این نتیجه رسیدند که عناصری مانند حیاط‌ها، دیوارهای دوجداره و پنجره‌های بزرگ جنوبی نقش مهمی در بهینه‌سازی حرارتی در اقلیم‌های سرد ایفا می‌کنند.

Hanafy (۲۰۲۵) در پژوهش خود با استفاده از نرم‌افزار DesignBuilder به بررسی نمای ساختمان در اقلیم‌های گرم پرداخت. نتایج نشان داد که انتخاب مصالح مناسب نما و شیشه، تأثیر بسزایی بر کاهش مصرف انرژی دارد و می‌تواند به بهینه‌سازی شرایط حرارتی کمک کند.

ایمانی عمادی و همکاران (۲۰۲۵) طراحی بالکن‌ها را در ساختمان‌های مسکونی تهران تحلیل کردند. شبیه‌سازی انرژی و الگوریتم ژنتیک در نرم‌افزار Rhino و Ladybug نشان داد که تنظیم همزمان متغیرهایی چون عمق فرورفتگی، میزان بیرون‌زدگی و نسبت پنجره به دیوار می‌تواند مصرف انرژی را کاهش و نور روز را افزایش دهد.

سلواتیان و بیدریغ (۲۰۲۴) با شبیه‌سازی CFD اثر نسبت پنجره به دیوار، ارتفاع پنجره و زاویه قرارگیری بنا نسبت به باد غالب را بررسی کردند. نتایج نشان داد که افزایش WWR و ارتفاع پنجره موجب بهبود تهویه طبیعی و کاهش نیاز به سرمایش مکانیکی می‌شود.

مختاری و رضائی (۲۰۲۵) نشان دادند که نسبت سطح پنجره به کف، فرم و موقعیت آن در نمای شمالی ساختمان‌های اداری تهران بر آسایش بصری و مصرف انرژی اثر قابل توجهی دارد. مدل‌سازی و شبیه‌سازی سناریوهای مختلف با نرم‌افزار DesignBuilder نشان داد که انتخاب فرم افقی برای پنجره‌ها بهترین عملکرد را ارائه می‌دهد.

مداحی و توانائی (۲۰۲۳) با تمرکز بر اقلیم مشهد بیان کردند که انتخاب مصالح مناسب در جداره‌های خارجی و تعیین درصد بهینه بازشوها می‌تواند منجر به کاهش چشمگیر اتلاف انرژی شود. شبیه‌سازی پارامتریک و مدل‌سازی نرم‌افزاری نشان داد مصالح AAC همراه با عایق پلی‌استایرن بهینه‌ترین گزینه هستند.

جلائیان قانع و همکاران (۲۰۲۳) با مدل‌سازی نور روز در نرم‌افزار DIVA نشان دادند که طراحی نمای دوپوسته می‌تواند کیفیت روشنایی طبیعی را ارتقا داده و از مصرف انرژی بکاهد. فتحعلیان و کارگر شریف‌آباد (۲۰۲۰) با شبیه‌سازی انرژی کل ساختمان در DesignBuilder نشان دادند که جایگزینی پنجره‌های دوجداره و عایق حرارتی بیشترین تأثیر را در بهبود رده‌بندی انرژی ساختمان دارد و سایبان‌های خارجی کمترین تأثیر را برجای می‌گذارند.

صریحی و همکاران (۲۰۲۲) با شبیه‌سازی پارامتریک و تحلیل مقایسه‌ای، اولویت راهکارهای بهسازی نما در تهران را بررسی کردند و نشان دادند که نصب سایبان در نماهای جنوبی بیشترین تأثیر را در کاهش مصرف انرژی دارد، در حالی که در نماهای کم‌هدررفت حرارتی، تعویض پنجره اولویت بیشتری دارد. این یافته‌ها همسو با مطالعات قبلی نشان می‌دهند که ترکیب بهینه مصالح، بازشوها و ابزارهای سایه‌اندازی می‌تواند اثر چشمگیری بر مصرف انرژی ساختمان‌ها داشته باشد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-24]

جدول ۱. خلاصه مطالعات پیشین

پژوهشگر / سال	محور مطالعه	روش کلی	نتیجه اصلی
علامی و همکاران ۲۰۲۴	طراحی اقلیمی در مناطق سردسیر	تحلیل اقلیمی	جهت‌گیری، بازشو و مصالح بر کاهش مصرف انرژی مؤثرند.
جاوید و همکاران ۲۰۲۵	بهینه‌سازی انرژی ساختمان	مرور سیستماتیک و علم‌سنجی	روش‌های هوشمند و الگوریتم‌های تکاملی نقش کلیدی دارند.
ممدی‌وسطی‌کلائی و همکاران۲۰۲۴	نماهای دوپوسته	مرور مطالعات	نماهای دوپوسته آسایش حرارتی را بهبود می‌دهند.
برزنونی و همکاران۲۰۲۴	نسبت پنجره به دیوار	شبیه‌سازی پارامتریک	WWRنقش تعیین‌کننده‌ای در مصرف انرژی و نور روز دارد.
Liu et al. ۲۰۲٤	شبکه‌های سایه‌بان	مطالعه آزمایشگاهی	سایه‌بان موجب کاهش تابش و مصرف انرژی سرمایشی می‌شود.
Mahdavinejad et al۲۰۲٤	هندسه نما	مدل‌سازی پارامتریک	نماهای خودسایه‌دار مصرف انرژی و خیرگی را کاهش می‌دهند.
Ito and Lee۲۰۲٤	کرکره فتوولتائیک	تحلیل عددی	سایه‌اندازی متحرک می‌تواند هم‌زمان تولید انرژی را افزایش دهد.
Sharbafian et al. ۲۰۲۴	نمای سبز	شبیه‌سازی عددی	نمای سبز در بهبود کیفیت محیط داخلی مؤثر است.
Habibi۲۰۲٤	جهت‌گیری ساختمان	شبیه‌سازی انرژی	اثر جهت‌گیری وابسته به اقلیم و ابعاد ساختمان است.
Ahmed et al. ۲۰۲۵	شیشه وWWR	شبیه‌سازی عددی	ترکیب شیشه دوجداره و WWR مناسب مصرف انرژی را کاهش می‌دهد.
Liu et al. ۲۰۲۵	خانه‌های سنتی اقلیم سرد	داده میدانی و شبیه‌سازی	عناصر بومی مانند حیاط و پنجره جنوبی عملکرد حرارتی را بهبود می‌دهند.
Hanafy۲۰۲۵	مصالح نما و شیشه	DesignBuilder	انتخاب مصالح و شیشه مناسب در کاهش مصرف انرژی مؤثر است.
ایمانی عمادی و همکاران۲۰۲۵	طراحی بالکن	شبیه‌سازی و الگوریتم ژنتیک	تنظیم هندسه بالکن موجب کاهش انرژی و افزایش نور روز می‌شود.
سلواتیان و بیدریغ۲۰۲۴	تهویه طبیعی	CFD	افزایش WWR و ارتفاع پنجره تهویه طبیعی را بهبود می‌دهد.
مختاری و رضائی۲۰۲۵	فرم پنجره	DesignBuilder	فرم افقی پنجره عملکرد بهتری در انرژی و آسایش بصری دارد.
مداحی و توانائی۲۰۲۳	مصالح جداره و بازشو	شبیه‌سازی پارامتریک	ترکیب AAC و عایق پلی‌استایرن گزینه بهینه معرفی شد.
جلائیان قانع و همکاران۲۰۲۳	نمای دوپوسته	شبیه‌سازی نور روز	نمای دوپوسته روشنایی طبیعی را بهبود می‌دهد.

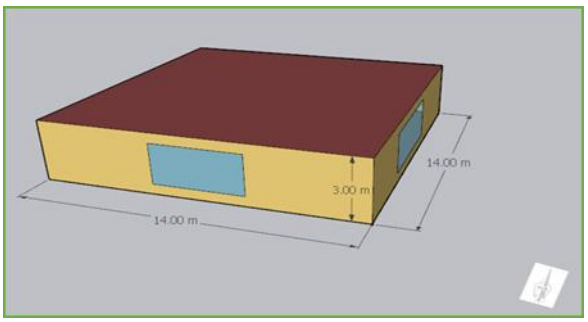
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-24]

فتحعلیان و کارگر شریف‌آباد۲۰۲۰	بهسازی انرژی ساختمان	DesignBuilder	پنجره دوجداره و عایق حرارتی بیشترین اثر را دارند.
صریحی و همکاران۲۰۲۲	بهسازی نما	شبیه‌سازی پارامتریک	سایبان جنوبی و تعویض پنجره از راهکارهای مؤثرند.

۳.روش تحقیق

در این پژوهش، یک ساختمان نمونه با کاربری اداری– نظامی در شهر تبریز به‌عنوان مطالعه موردی انتخاب گردید. شهر تبریز که در شمال‌غرب ایران واقع شده است، در اقلیم سرد و نیمه‌خشک قرار دارد و دارای زمستان‌های طولانی و بسیار سرد و تابستان‌های نسبتاً معتدل می‌باشد. بر اساس داده‌های اقلیمی، میانگین دمای سالانه این شهر حدود ۱۲ درجه سانتی‌گراد بوده و تعداد روزهای نیازمند گرمایش (Heating Degree Days) در آن بالا است(Raziei, ۲۰۲۲). ازاین‌رو، کاهش بار گرمایشی ساختمان‌ها به‌ویژه در کاربری‌های حساس همچون اداری– نظامی به‌عنوان یکی از الزامات اصلی مدیریت انرژی در این اقلیم شناخته می‌شود. اهمیت این موضوع زمانی پررنگ‌تر می‌گردد که چنین ساختمان‌هایی علاوه بر تأمین آسایش حرارتی کاربران، باید توانایی عملکرد پایدار در شرایط ویژه عملیاتی، مقاومت در برابر نوسانات شدید دمایی و شرایط جوی سخت، و صرفه‌جویی در مصرف انرژی در مواقع بحرانی همچون کمبود سوخت یا شرایط جنگی را تضمین نمایند.

ساختمان مورد مطالعه در این پژوهش، یک ساختمان با ابعاد ۱۴×۱۴ متر، زیربنای ۱۹۶ مترمربع و ارتفاع مفید ۳ متر است. این مدل به‌عنوان نمونه مطالعاتی انتخاب شد تا عملکرد حرارتی پوسته ساختمان و جداره‌های خارجی در شرایط مختلف طراحی و شبیه‌سازی انرژی بررسی شود. انتخاب مدل یک‌طبقه، ضمن رعایت اصل ساده‌سازی در شبیه‌سازی، موجب کاهش پیچیدگی‌های محاسباتی شده و امکان تمرکز بر اثر مؤلفه‌های اصلی پوسته ساختمان را فراهم می‌کند. با فرض تکرار هندسه، مصالح، نسبت بازشوها و شرایط بهره‌برداری در طبقات مشابه، نتایج مقایسه‌ای به‌دست‌آمده می‌تواند به‌صورت نسبی به سایر طبقات مشابه نیز تعمیم داده شود. بااین‌حال، از آنجا که هندسه کلی ساختمان و نسبت سطح پوسته به حجم بر مصرف انرژی اثرگذار است، تعمیم نتایج به ساختمان‌هایی با تعداد طبقات متفاوت باید با احتیاط انجام گیرد. همچنین، به‌منظور تعیین شرایط مرجع دمای خاک، میانگین دمای ۱۰ ساله زمین به‌عنوان مبنای شبیه‌سازی در نظر گرفته شد تا نتایج حاصل با شرایط واقعی محیطی همخوانی بیشتری داشته باشند (Ourghi et al., ۲۰۰۷). شکل ۱ مدل پایه ساخته شده در محیط نرم افزار OpenStudio ۳,۷ می‌باشد.



شکل۱. مدل پایه ساخته شده در محیط نرم افزار OpenStudio ۳,۷

برای شبیه‌سازی انرژی و تحلیل عملکرد حرارتی ساختمان، خصوصیات حرارتی اجزای اصلی پوسته شامل دیوارهای خارجی، سقف، کف و پنجره‌ها بر اساس مصالح رایج در منطقه تعریف گردید. در این انتخاب، علاوه بر ویژگی‌های ترموفیزیکی،

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-24]

معیارهایی همچون دوام، طول عمر بالا، سهولت نگهداری و مقاومت مکانیکی که در ساختمان‌های اداری– نظامی اهمیت ویژه‌ای دارند، نیز مدنظر قرار گرفت. جزئیات مربوط به نوع مصالح، ضخامت لایه‌ها و ضرایب انتقال حرارت در جدول ۲ ارائه شده است. همچنین، آرایش لایه‌ها در اجزای مختلف ساختمان شامل دیوارها، سقف، کف و پنجره‌ها در جدول ۳ نمایش داده شده است تا امکان بررسی دقیق‌تر رفتار حرارتی و ارزیابی جایگذاری بهینه عایق‌ها فراهم گردد. این اطلاعات مبنای اصلی برای انجام شبیه‌سازی‌ها و فرایند بهینه‌سازی در مراحل بعدی تحقیق محسوب می‌شوند.

براساس جدول۲ مشخصات ترموفیزیکی مصالح به‌کاررفته در ساختمان شامل ضخامت، ضریب هدایت حرارتی، چگالی، گرمای ویژه و زبری سطح را نشان می‌دهد. ترکیب مصالح با مقادیر مختلف λ و چگالی، امکان شبیه‌سازی دقیق انتقال حرارت و ذخیره انرژی حرارتی در دیواره‌ها، کف و سقف را فراهم می‌کند. زبری سطح هر ماده نیز در مدل‌سازی همرفت و تابش سطحی مؤثر است و به دقت نتایج شبیه‌سازی انرژی کمک می‌کند.

جدول ۲. خصوصیات حرارتی اجزای ساختمان مورد مطالعه

ردیف	نام مصالح	زبری سطح	ضخامت (متر)	ضریب هدایت حرارتی (W/m·K)	چگالی (kg/m³)	گرمای ویژه (J/kg·K)
۱	آسفالت	بسیار زبر (VeryRough)	۰,۰۰۳۲	۰,۰۴	۱۱۲۰	۱۲۶۰
۲	بتن سازه ای	زبر متوسط (MediumRough)	۰,۱۵	۱,۹۵	۲۲۴۰	۹۰۰
۳	گچ	صاف متوسط (MediumSmooth)	۰,۰۳	۰,۱۶	۸۰۰	۱۰۹۰
۴	سنگ نما	صاف (Smooth)	۰,۰۲۵	۰,۷۲	۱۸۵۶	۸۴۰
۵	ملات سیمان ۵ سانتیمتری	زبر متوسط (MediumRough)	۰,۰۵	۰,۷	۱۲۸۰	۸۴۰
۶	آجر ۲۰ سانتیمتری	زبر متوسط (MediumRough)	۰,۲	۰,۸۹	۱۹۲۰	۷۹۰
۷	سنگ کف ۲ سانتیمتری	زبر متوسط (MediumRough)	۰,۰۲	۱,۹	۱۹۲۰	۷۹۰
۸	بتن (شن و ماسه)	زبر متوسط (MediumRough)	۰,۱۵	۱,۴۵	۲۰۸۰	۹۰۰
۹	بتن: ملات سیمان/آهک	زبر متوسط (MediumRough)	۰,۰۵	۱,۴	۱۹۲۰	۹۰۰

جدول۳ لایه‌بندی مصالح نشان می‌دهد که اجزای مختلف ساختمان شامل کف، سقف، پنجره و دیوار خارجی با ترکیب چند لایه مصالح با ویژگی‌های ترموفیزیکی متفاوت ساخته شده‌اند. این ترکیب لایه‌ها به گونه‌ای طراحی شده است که ضمن تأمین مقاومت مکانیکی و دوام مصالح، انتقال حرارت کنترل شود و ذخیره حرارتی بهینه در ساختمان فراهم گردد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-24]

جدول۳ .لایه‌بندی مصالح ساختمان و ترتیب قرارگیری آن‌ها

لایه	Obj۱	Obj۲	Obj۳	Obj٤
نام دیوار	کف	سقف	پنجره	دیوار خارجی
لایه بیرونی	ملات سیمانی ۵ سانتی‌متری(مگر)	آسفالت	شیشه شفاف ۶ میلی‌متر	سنگ نما ۲/۵ سانتی‌متر
لایه ۲	بتن سازه ای	ملات سیمانی ۵ سانتی‌متر	هوای ۶ میلی‌متری	ملات سیمانی ۵ سانتی‌متر
لایه ۳	ملات سیمانی ۵ سانتی‌متر	بتن سازه ای	شیشه شفاف ۶ میلی‌متر	آجر ۲۰ سانتی‌متری
لایه ۴	سنگ کف ۲ سانتی‌متری	گچ	—	گچ
لایه ۵	گچ	—	—	—

۳-۱ شبیه‌سازی و بهینه‌سازی بار گرمایش

برای بررسی اثر پارامترهای طراحی بر بار گرمایش ساختمان، ابتدا یک مدل شبیه‌سازی انرژی در نرم‌افزار EnergyPlus توسعه داده شد. در این مدل، ویژگی‌های حرارتی پوسته ساختمان شامل دیوارها، سقف، کف و بازشوها مطابق با مصالح رایج در ساخت‌وساز شهری و بر اساس استانداردهای ملی ساختمان ایران تعریف گردید. داده‌های آب‌وهوایی شهر تبریز، به عنوان یک اقلیم سرد، از طریق فایل‌های معتبر EPW وارد مدل شد تا شرایط واقعی بهره‌برداری از ساختمان در طول سال شبیه‌سازی گردد.

مدل شبیه‌سازی شده برای اجرای فرآیند بهینه‌سازی به نرم‌افزار jEPlusفراخوانی شد. به منظور یافتن ترکیب بهینه پارامترها برای کاهش بار گرمایشی سالانه، از محیط jEPlus+EAاستفاده شد که بر اساس الگوریتم ژنتیک (Genetic Algorithm)عمل می‌کند. این الگوریتم با شبیه‌سازی فرایندهای طبیعی تکامل و انتخاب، قادر است مجموعه‌ای از سناریوهای ممکن را ارزیابی کرده و بهترین مقادیر متغیرهای طراحی را شناسایی نماید.

برای انجام بهینه‌سازی بار گرمایشی ساختمان، مجموعه‌ای از پارامترهای طراحی به‌عنوان متغیرهای تصمیم انتخاب شدند. این متغیرها شامل نسبت پنجره به دیوار (WWR) در چهار جهت اصلی، جهت‌گیری ساختمان، ضخامت شیشه‌ها، فاصله لایه میانی شیشه، نوع گاز میانی و ابعاد و زاویه سایه‌بان جنوبی می‌باشد. بازه تغییرات هر متغیر و دقت گام‌گذاری آن‌ها بر اساس محدودیت‌های عملیاتی ساختمان، دقت ساخت و توان محاسباتی الگوریتم بهینه‌سازی تعیین شد. جدول زیر این پارامترها و بازه‌های مورد استفاده را نشان می‌دهد.

جدول ۴ نشان‌دهنده پارامترهای اصلی تصمیم‌گیری در بهینه‌سازی ساختمان و بازه‌های تغییرات آنهاست. این متغیرها شامل جهت‌گیری ساختمان، نسبت پنجره به دیوار (WWR) در چهار جهت، ضخامت شیشه‌های بیرونی و داخلی، فاصله لایه میانی شیشه، نوع گاز میانی و عمق و زاویه سایه‌بان جنوبی هستند. تعیین این متغیرها امکان بررسی هم‌زمان اثر عوامل مهم طراحی بر بار گرمایشی ساختمان را فراهم می‌کند.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-24]

جدول ۴. پارامترهای بهینه‌سازی و بازه‌های آن‌ها

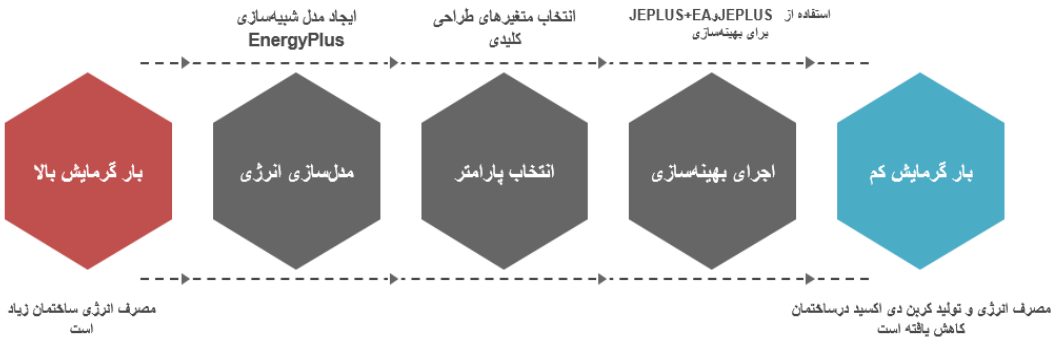
شماره	متغیر	بازه	گام
۱	جهت‌گیری ساختمان (deg)	۰-۴۰	۵°
۲	پنجره جنوبی WWR (%)	۱۰ – ۶۰	۵٪
۳	پنجره شمال WWR (%)	۱۰ – ۴۰	۵٪
۴	پنجره شرق WWR (%)	۱۰ – ۴۰	۵٪
۵	پنجره غرب WWR (%)	۱۰ – ۴۰	۵٪
۶	ضخامت شیشه بیرونی (m)	۰,۰۰۴ – ۰,۰۱۲	۰,۰۰۲
۷	ضخامت شیشه داخلی (m)	۰,۰۰۴ – ۰,۰۱۲	۰,۰۰۲
۸	فاصله لایه میانی شیشه (m)	۰,۰۰۵ – ۰,۰۲۵	۰,۰۰۵
۹	نوع گاز میانی	هوا / آرگون	—
۱۰	عمق سایه‌بان جنوبی (m)	۰,۲-۱	۰,۲
۱۱	زاویه سایه‌بان جنوبی (deg)	۸۰-۱۱۰	۵°

علاوه بر تحلیل اثر هر یک از این پارامترها بر بار حرارتی، صرفه‌جویی در مصرف گاز و کاهش انتشار گازهای CO_2 نیز در این مطالعه محاسبه شد تا جنبه‌های انرژی و زیست‌محیطی طراحی بهینه لحاظ گردد بازه تغییرات و گام هر پارامتر بر اساس مطالعات پیشین و تجربه عملی در ساختمان‌های اداری— نظامی تعیین شد تا ضمن تضمین آسایش حرارتی، امکان شبیه‌سازی دقیق و بهینه‌سازی معتبر بار گرمایشی فراهم شود.

توابع هدف الگوریتم ژنتیک شامل کاهش بار گرمایشی سالانه ساختمان بود. الگوریتم، با تولید و ارزیابی مجموعه‌ای از سناریوهای مختلف، ترکیب بهینه پارامترهای طراحی را مشخص کرد. نتایج بهینه‌سازی شامل جهت‌گیری ساختمان، نسبت WWRبرای هر جهت، ضخامت و نوع شیشه دوجداره، نوع گاز لایه میانی و عمق و زاویه سایه‌بان جنوبی بود که مبنای علمی قابل اعتمادی برای طراحی ساختمان‌های اداری و نظامی کم‌مصرف در تبریز فراهم می‌کند.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-24]

به‌منظور شفاف‌سازی روند تحقیق و نمایش مراحل انتخاب راهکار طراحی بهینه برای ساختمان اداری—نظامی، فلوچارت زیر ارائه شده است.



شکل۲: فلوچارت مراحل انجام پژوهش

٤. نتایج

هدف اصلی این مطالعه، شبیه‌سازی و بهینه‌سازی عملکرد انرژی ساختمان با تمرکز بر متغیرهای طراحی شامل نسبت پنجره به دیوار(WWR) ، جهت‌گیری ساختمان، نوع و ضخامت شیشه‌های دوجداره، نوع گاز میانی و ابعاد سایه‌بان جنوبی در اقلیم سرد تبریز بوده است. بر این اساس، نتایج به دست آمده در سه بخش اصلی شامل شبیه‌سازی و مقایسه مصرف انرژی در حالت پایه و بهینه، ارائه مقادیر بهینه متغیرهای طراحی و تحلیل زیست‌محیطی ناشی از صرفه‌جویی در مصرف گاز و کاهش انتشار کربن‌دی‌اکسید ارائه می‌شوند. این ساختار به گونه‌ای انتخاب شده است که ابتدا تأثیر فنی پارامترهای طراحی بر کاهش مصرف انرژی بررسی شده، سپس پیامدهای زیست‌محیطی آن‌ها تحلیل و در نهایت چارچوبی علمی برای طراحی پایدار ساختمان‌های اداری— نظامی ارائه گردد.

٤-١ مصرف انرژی

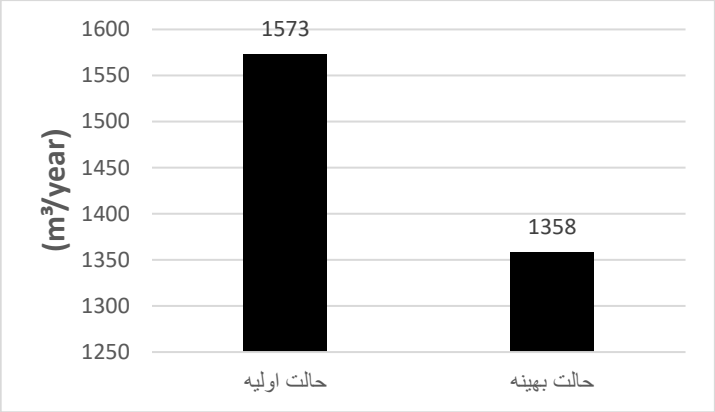
در گام نخست، میزان مصرف انرژی سالانه ساختمان در حالت پایه (با شرایط متداول ساخت‌وساز و بدون بهینه‌سازی پارامترهای طراحی) محاسبه شد. نتایج نشان داد که بار گرمایشی در این حالت سهم قابل توجهی از کل انرژی مصرفی ساختمان را به خود اختصاص می‌دهد. با توجه به اینکه در این پژوهش دمای ۱۸°C به‌عنوان دمای مرجع آسایش حرارتی تعریف گردیده است، سیستم گرمایشی تنها در زمانی فعال می‌شود که دمای داخلی کمتر از این مقدار باشد. این رویکرد نه‌تنها شرایط آسایش حرارتی کاربران را تضمین می‌کند، بلکه از عملکرد بی‌مورد سیستم تأسیساتی جلوگیری نموده و مبنای مناسبی برای تحلیل بهینه‌سازی فراهم می‌آورد.

در ادامه، با اعمال تغییرات در پارامترهای طراحی شامل نسبت پنجره به دیوار (WWR) در جهات مختلف، جهت‌گیری ساختمان، ضخامت و نوع شیشه‌ها، نوع گاز لایه میانی و ابعاد سایه‌بان جنوبی، تغییرات مصرف انرژی ساختمان شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد که انتخاب ترکیب بهینه این پارامترها منجر به کاهش قابل توجه مصرف انرژی گرمایشی سالانه و بهبود محسوس عملکرد انرژی ساختمان گردید. این پژوهش نشان می‌دهد که بهینه‌سازی پارامترهای طراحی ساختمان‌های اداری— نظامی، ضمن کاهش مصرف انرژی، اصلاح ناترازی انرژی و کاهش اثرات زیست‌محیطی، آسایش حرارتی پرسنل و عملکرد پایدار ساختمان را تضمین می‌کند.

با توجه به نمودار ۱، میزان مصرف سالانه گاز طبیعی برای تأمین گرمایش ساختمان در دو حالت پایه و بهینه‌شده مقایسه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در حالت پایه، مصرف سالانه گاز طبیعی برابر با ۱۵۷۳ مترمکعب در سال بوده

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-24]

است؛ در حالی که پس از بهینه‌سازی پارامترهای طراحی شامل جهت‌گیری ساختمان، نسبت پنجره به دیوار، ضخامت و نوع شیشه‌ها و ابعاد سایه‌بان، این مقدار به ۱۳۵۸ مترمکعب در سال کاهش یافته است. این کاهش نشان می‌دهد که اصلاح پارامترهای طراحی می‌تواند به‌طور مؤثری مصرف گاز طبیعی برای گرمایش ساختمان را کاهش داده و در نتیجه موجب صرفه‌جویی در مصرف سوخت و کاهش اثرات زیست‌محیطی شود.



نمودار۱- مقایسه مصرف سالانه گاز طبیعی برای گرمایش ساختمان در حالت پایه و بهینه

٤-۲ نتایج بهینه‌سازی

به منظور شناسایی بهترین ترکیب پارامترهای طراحی ساختمان که منجر به حداقل بار حرارتی سالانه و بهبود عملکرد انرژی گردد، فرآیند بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام شد. در این فرآیند، تمامی متغیرهای کلیدی شامل جهت‌گیری ساختمان، نسبت پنجره به دیوار (WWR) در چهار جهت اصلی، ضخامت و نوع شیشه‌ها، نوع گاز موجود در لایه میانی و ابعاد و زاویه سایه‌بان جنوبی به‌طور هم‌زمان مورد ارزیابی قرار گرفتند تا ترکیبی بهینه برای کاهش مصرف انرژی شناسایی شود.

جدول ۵ مقادیر بهینه پارامترهای طراحی ساختمان را نشان می‌دهد که از طریق فرآیند شبیه‌سازی و بهینه‌سازی و با هدف کاهش بار حرارتی سالانه به دست آمده‌اند. ترکیب بهینه این پارامترها موجب کاهش مصرف انرژی گرمایشی ساختمان و بهبود عملکرد کلی انرژی آن شده است.

بر اساس نتایج، جهت‌گیری ۱۰ درجه برای ساختمان به‌عنوان حالت بهینه تعیین شده است؛ زیرا این وضعیت امکان دریافت مناسب تابش خورشیدی و کاهش نیاز گرمایشی را فراهم می‌کند. همچنین، نسبت پنجره به دیوار (WWR) در جهات مختلف با توجه به میزان تابش خورشیدی و الزامات عملکرد حرارتی تعیین شده است. در این میان، بیشترین مقدار WWR به نمای جنوبی اختصاص یافته است تا امکان بهره‌گیری بیشتر از نور و گرمای خورشید در فصل زمستان فراهم شود.

استفاده از شیشه‌های دوجداره با ضخامت بهینه و به‌کارگیری گاز آرگون در لایه میانی نیز موجب کاهش انتقال حرارت از طریق پنجره‌ها و ارتقای عملکرد حرارتی بازشوها شده است. علاوه بر این، عمق و زاویه سایه‌بان جنوبی به‌گونه‌ای انتخاب شده که ضمن کنترل تابش مستقیم خورشید در فصل تابستان، مانع بهره‌گیری از تابش خورشیدی در فصل زمستان نشود. در مجموع، این مجموعه تغییرات باعث کاهش قابل‌توجه بار گرمایشی سالانه و افزایش بهره‌وری انرژی ساختمان شده است.

جدول۵- مقادیر بهینه پارامترهای طراحی ساختمان برای حداقل بار حرارتی

پارامتر	مقدار بهینه

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-24]

جهت‌گیری ساختمان(deg)	۱۰
WWRپنجره جنوبی(%)	۴۵
WWRپنجره شمال(%)	۲۰
WWRپنجره شرق(%)	۳۰
WWRپنجره غرب(%)	۳۰
ضخامت شیشه بیرونی(m)	۰,۰۱۰
ضخامت شیشه داخلی(m)	۰,۰۰۸
فاصله لایه میانی شیشه(m)	۰,۰۲۰
نوع گاز میانی	آرگون
عمق سایه‌بان جنوبی(m)	۰,۸
زاویه سایه‌بان جنوبی(deg)	۹۰

همچنین نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که نوع شیشه مورد استفاده در پنجره‌ها تأثیر قابل‌توجهی بر عملکرد حرارتی ساختمان دارد. مقایسه انجام‌شده در شرایط ثابت و در حالت بهینه نشان داد که شیشه دوجداره نسبت به شیشه تک‌جداره عملکرد بهتری دارد؛ به‌گونه‌ای که مصرف سالانه گاز طبیعی برای گرمایش در حالت استفاده از شیشه تک‌جداره برابر با ۱۶۱۶ مترمکعب بوده، در حالی که این مقدار با به‌کارگیری شیشه دوجداره به ۱۳۵۸ مترمکعب کاهش یافته است. بر این اساس، استفاده از شیشه دوجداره موجب صرفه‌جویی حدود ۲۵۸ مترمکعب گاز طبیعی در سال شده است که نشان می‌دهد در شرایط ثابت و در حالت بهینه، عملکرد حرارتی پنجره دوجداره حدود ۱۶ درصد بهتر از پنجره تک‌جداره بوده است.

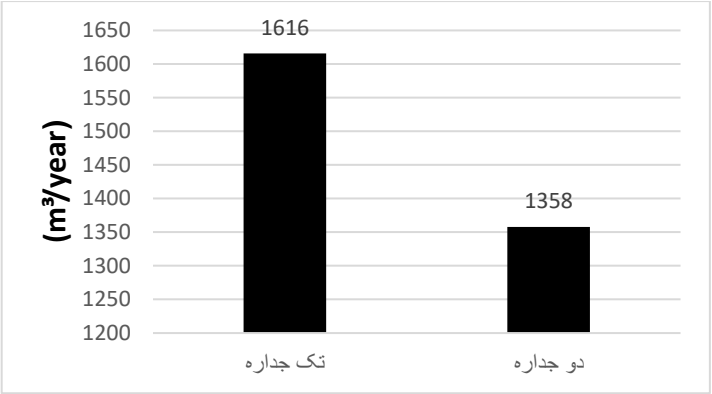
این بهبود عمدتاً ناشی از افزایش مقاومت حرارتی جداره‌های شفاف و کاهش انتقال حرارت از طریق پنجره‌ها است. استفاده از دو لایه شیشه با ضخامت بهینه و فاصله میانی مناسب، باعث کاهش اتلاف حرارت از فضای داخلی به محیط بیرون شده و در نتیجه نیاز گرمایشی ساختمان را کاهش می‌دهد. بنابراین، شیشه دوجداره علاوه بر کاهش مصرف انرژی، نقش مؤثری در بهبود آسایش حرارتی فضای داخلی دارد؛ موضوعی که در ساختمان‌های اداری— نظامی، به دلیل حضور مستمر پرسنل و ضرورت حفظ شرایط حرارتی پایدار، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

نمودار ۲ نیز نشان می‌دهد که جایگزینی شیشه تک‌جداره با شیشه دوجداره، در حالت بهینه و با ثابت در نظر گرفتن سایر پارامترهای طراحی، موجب کاهش قابل‌توجه مصرف سالانه گاز طبیعی برای گرمایش ساختمان شده است. این کاهش

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-24]

بیانگر افزایش کارایی حرارتی پنجره‌ها، کاهش تبادل حرارت میان فضای داخل و خارج و در نهایت بهبود عملکرد حرارتی پوسته شفاف ساختمان است.

همچنین، نتایج نشان می‌دهد که نوع گاز موجود در فضای میانی شیشه دوجداره نیز بر عملکرد حرارتی آن اثرگذار است. در حالت استفاده از هوا در فضای میانی شیشه، مصرف سالانه گاز طبیعی برای گرمایش برابر با ۱۳۷۰ مترمکعب بوده است؛ در حالی که با جایگزینی هوا با گاز آرگون، این مقدار به ۱۳۵۸ مترمکعب کاهش یافته است. بنابراین، استفاده از گاز آرگون موجب صرفه‌جویی حدود ۱۲ مترمکعب گاز طبیعی در سال و بهبود تقریبی ۱ درصدی در عملکرد حرارتی پنجره دوجداره شده است. این نتیجه نشان می‌دهد که اگرچه اثر گاز آرگون کمتر از اثر دوجداره بودن شیشه است، اما به‌کارگیری آن می‌تواند با کاهش انتقال حرارت و افزایش خاصیت عایق‌بندی، کارایی حرارتی پنجره را بیشتر بهبود بخشد.



نمودار۲ مقایسه بار حرارتی شیشه تک‌جداره و دوجداره

٤-۳ تحلیل زیست‌محیطی و صرفه‌جویی در مصرف گاز

یکی از مهم‌ترین اثرات بهینه‌سازی طراحی ساختمان، علاوه بر کاهش بار حرارتی و صرفه‌جویی در مصرف انرژی، کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی و در نتیجه کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به ویژه دی‌اکسید کربن است. کاهش انتشار CO_2نه تنها به حفاظت محیط زیست کمک می‌کند، بلکه در بلندمدت هزینه‌های انرژی و اثرات منفی زیست‌محیطی ناشی از سوخت‌های فسیلی را نیز کاهش می‌دهد.

در این پژوهش، با توجه به میزان صرفه‌جویی در مصرف گاز طبیعی در سناریوهای بهینه‌سازی و استفاده از ضریب انتشار رسمی شرکت ملی گاز ایران، امکان محاسبه میزان کاهش انتشار دی‌اکسید کربن فراهم گردید. این تحلیل نشان می‌دهد که بهینه‌سازی پارامترهای طراحی ساختمان می‌تواند به طور مستقیم اثرات زیست‌محیطی را کاهش داده و ضمن صرفه‌جویی انرژی، به پایداری اکولوژیکی نیز کمک نماید.

فرمول پایه برای محاسبه کاهش انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از صرفه‌جویی در مصرف گاز طبیعی، بر اساس IPCC Guidelines تعریف می‌شود:

$$\text{کاهش } CO_2\ (kg) = EF \times \Delta V$$

که در آن:

EF : ضریب انتشار (برای گاز طبیعی براساس شرکت ملی گاز ایران ۱,۹ کیلوگرم CO_2 به ازای هر مترمکعب)

ΔV : میزان کاهش مصرف گاز (مترمکعب) نسبت به حالت پایه

جدول ۶ نشان می‌دهد که بهینه‌سازی پارامترهای طراحی ساختمان موجب کاهش مصرف گاز طبیعی و انتشار دی‌اکسید کربن می‌گردد. بر اساس این نتایج، سالانه حدود ۲۱۵ مترمکعب گاز طبیعی صرفه‌جویی شده و انتشار CO_2 به میزان

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-24]

۴۰۸,۵ کیلوگرم یا ۱۳,۷٪ کاهش یافته است، که نقش مؤثری در افزایش پایداری انرژی و کاهش اثرات زیست‌محیطی دارد.

جدول ۶. صرفه‌جویی در مصرف گاز و کاهش انتشار CO_2

حالت	مصرف گاز طبیعی(m^3)	ΔV(مترمکعب)	کاهش(CO_2 (kg	درصد کاهش(CO_2 (%)
پایه	۱۵۷۳	—	—	—
بهینه	۱۳۵۸	۲۱۵	۴۰۸,۵	۱۳,۷

این نتایج نشان می‌دهد که بهینه‌سازی پارامترهای طراحی ساختمان نه تنها بار گرمایشی را کاهش می‌دهد، بلکه به شکل مستقیم موجب کاهش اثرات زیست‌محیطی و انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود و نقش مهمی در افزایش پایداری انرژی و محیط زیست دارد.

۵ .بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که بهینه‌سازی پارامترهای طراحی پوسته خارجی ساختمان، تأثیر قابل‌توجهی بر کاهش مصرف انرژی گرمایشی و ارتقای عملکرد حرارتی ساختمان‌های اداری—نظامی دارد. در این تحقیق، متغیرهایی مانند جهت‌گیری بنا، نسبت پنجره به دیوار(WWR) ، نوع و ضخامت شیشه و طراحی سایه‌بان جنوبی به‌صورت هم‌زمان ارزیابی شدند. مقایسه حالت پایه و حالت بهینه نشان داد که مصرف سالانه گاز طبیعی از ۱۵۷۳ مترمکعب به ۱۳۵۸ مترمکعب کاهش یافت که معادل صرفه‌جویی ۱۳/۷ درصدی در مصرف انرژی گرمایشی است. این کاهش بیانگر نقش مستقیم طراحی بهینه در کاهش اتلاف حرارت و بهبود تعادل انرژی ساختمان است.

از منظر زیست‌محیطی نیز نتایج بیانگر کاهش معنی‌دار انتشار گازهای گلخانه‌ای بود؛ به‌طوری‌که انتشار سالانه دی‌اکسیدکربن حدود ۴۰۸/۵ کیلوگرم (معادل ۱۳,۷٪) کاهش یافت. این یافته‌ها نشان می‌دهد که طراحی صحیح عناصر پوسته ساختمان نه تنها در کاهش هزینه‌های انرژی مؤثر است، بلکه در کاهش ردپای کربن و ارتقای پایداری محیطی نیز نقش مهمی دارد و با نتایج پژوهش‌های پیشین در اقلیم‌های سرد همخوانی دارد.

اهمیت این نتایج در ساختمان‌های اداری— نظامی بیش از سایر ساختمان‌ها است؛ زیرا بهینه‌سازی مصرف انرژی در این نوع ساختمان‌ها مستقیماً با امنیت انرژی، پایداری عملکرد و آمادگی عملیاتی نیروها ارتباط دارد. کاهش بار گرمایشی و کاهش وابستگی به سوخت، امکان عملکرد پایدار ساختمان را حتی در شرایط کمبود انرژی یا بحران فراهم می‌سازد. این موضوع در محیط‌های نظامی که تأمین انرژی و حفظ شرایط حرارتی مناسب بر توان جسمی و ذهنی نیروها تأثیر مستقیم دارد، یک مزیت راهبردی محسوب می‌شود. همچنین استفاده از شیشه دوجداره با گاز آرگون و طراحی سایه‌بان مناسب باعث تثبیت دمای داخلی و افزایش آسایش حرارتی کاربران، به‌ویژه در روزهای عملیاتی، شد.

به طور کلی این پژوهش نشان داد که طراحی هوشمندانه پوسته ساختمان و تنظیم دقیق متغیرهای آن، باعث کاهش مصرف انرژی، کاهش انتشار CO_2 و بهبود آسایش حرارتی می‌شود و می‌تواند به عنوان یک راهنمای علمی و عملی برای طراحی ساختمان‌های اداری—نظامی کم‌مصرف و پایدار در اقلیم‌های سرد مورد استفاده قرار گیرد. چنین رویکردی علاوه بر صرفه‌جویی اقتصادی، موجب کاهش وابستگی انرژی، افزایش کارایی عملکردی و ارتقای پایداری عملیاتی در مجموعه‌های نظامی خواهد شد.

٦.پیشنهادات

با توجه به نتایج این پژوهش، مشخص شد که طراحی بهینه پوسته خارجی ساختمان نقش مستقیم و تعیین‌کننده‌ای در کاهش مصرف انرژی و افزایش پایداری عملکردی ساختمان‌های اداری—نظامی دارد. از آنجا که این ساختمان‌ها باید در

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-24]

شرایط بحرانی نیز قادر به ادامه فعالیت باشند، مدیریت انرژی و کاهش وابستگی به منابع سوخت اهمیت راهبردی پیدا می‌کند. بر این اساس، پیشنهادهای کاربردی زیر جهت استفاده در پروژه‌های طراحی و بهسازی ساختمان‌های نظامی ارائه می‌شود:

۱) الزام تحلیل انرژی در مرحله طراحی معماری

پیش از تصویب نهایی نقشه‌ها، نسبت پنجره به دیوار(WWR) ، جهت‌گیری ساختمان و نوع شیشه باید بر اساس شبیه‌سازی انرژی تعیین شوند تا از اتلاف انرژی و تصمیم‌گیری تجربی جلوگیری شود.

۲) تدوین دستورالعمل فنی برای طراحی انرژی‌محور در پروژه‌های نظامی

پیشنهاد می‌شود نیروهای مسلح دستورالعمل مشخصی برای تعیین پارامترهای پوسته ساختمان در اقلیم‌های سرد تدوین و در تمامی پروژه‌های عمرانی ابلاغ کنند.

۳) بهسازی ساختمان‌های موجود از طریق تعویض پنجره‌ها

پنجره‌های تک‌جداره ساختمان‌های موجود به‌صورت تدریجی با شیشه‌های دوجداره دارای گاز آرگون جایگزین شوند، زیرا این اقدام بیشترین اثر را در کاهش سریع اتلاف حرارتی دارد.

۴) استفاده از سایه‌بان جنوبی با عمق و زاویه بهینه

طراحی سایه‌بان متناسب با زاویه تابش خورشید در اقلیم سرد، به کاهش اتلاف انرژی و افزایش بهره‌گیری از تابش خورشیدی در زمستان کمک می‌کند.

۵) توجه به پایداری عملکرد در شرایط اضطراری و کمبود سوخت

بهینه‌سازی انرژی باید به‌گونه‌ای انجام شود که ساختمان اداری–نظامی حتی در صورت محدودیت دسترسی به انرژی، قابلیت ادامه فعالیت داشته باشد.

۶) پیشنهاد برای تحقیقات آینده

مطالعه درباره تحلیل اقتصادی و دوره بازگشت سرمایه، مصالح هوشمند و ترکیب راهکارهای بهینه‌سازی پوسته با انرژی‌های تجدیدپذیر جهت افزایش استقلال انرژی پیشنهاد می‌شود.

۷.منابع

۱) *Ahmad, A., Prakash, O., Brar, L. S., Irshad, K., Hasnain, S. M., Paramasivam, P., & Ayanie, A. G. (2025). Effect of wall, roof, and window-to-wall ratio on the cooling and heating load of a building in India. Energy Science & Engineering, 13(3), 1255–1279.*

۲) *Ahmed, A. E., Suwaed, M. S., Shakir, A. M., & Ghareeb, A. (2025). The impact of window orientation, glazing, and window-to-wall ratio on the heating and cooling energy of an office building: The case of hot and semi-arid climate. Journal of Engineering Research, 13(1), 409–۴۲۲.*

۳) *Altun, A. F. (2022). Determination of optimum building envelope parameters of a room concerning window-to-wall ratio, orientation, insulation thickness and window type. Buildings, ۱۲(۳), ۳۸۳.*

۴) *Elkhatat, A., & Al-Muhtaseb, S. (2024). Climate change and energy security: A comparative analysis of the role of energy policies in advancing environmental sustainability. Energies, 17(13), ۳۱۷۹.*

۵) *Habibi, S. (2024). The effect of building orientation on energy efficiency. Clean Technologies and Environmental Policy, 26(4), 1315–1330.*

۶) *Hanafy, G. A. (2025). The impact of building facades on energy efficiency in hot climates. Journal of Advanced Engineering Trends, 44(1), 124–131.*

۷) *Ito, R., & Lee, S. (2024). Development of adjustable solar photovoltaic system for integration with solar shading louvers on building façades. Applied Energy, 359, 122711.*

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-24]

۸) *Liu, S., Ge, W., & Meng, X. (2024). Influence of the shading nets on indoor thermal environment and air-conditioning energy consumption in lightweight buildings. Energy Reports, 11, 4515–۴۵۲۱.*

۹) *Liu, Y., Ghazali, M. A., Yang, L., & Chen, Y. (2025). Sustainable passive design in cold regions: Energy and thermal evaluation of traditional Zhuangke dwellings in Qinghai Province, China. Energy and Buildings, 344, 115969.*

۱۰) *Mahdavinejad, M., Bazazzadeh, H., Mehrvarz, F., Berardi, U., Nasr, T., Pourbagher, S., & Hoseinzadeh, S. (2024). The impact of facade geometry on visual comfort and energy consumption in an office building in different climates. Energy Reports, 11, 1–17.*

۱۱) *Mallery, J., Van Bossuyt, D. L., & Pollman, A. (2022). Defense installation energy resilience for changing operational requirements. Designs, 6(2), 28.*

۱۲) *Ourghi, R., Al-Anzi, A., & Krarti, M. (2007). A simplified analysis method to predict the impact of shape on annual energy use for office buildings. Energy Conversion and Management, 48(1), 300–۳۰۵.*

۱۳) *Raziei, T. (2022). Climate of Iran according to Köppen-Geiger, Feddema, and UNEP climate classifications. Theoretical and Applied Climatology, 148(3), 1395–1416.*

۱۴) *Shahee, A., Abdoos, M., Aslani, A., & Zahedi, R. (2024). Reducing the energy consumption of buildings by implementing insulation scenarios and using renewable energies. Energy Informatics, 7(1), 18.*

۱۵) *Sharbafian, M., Yeganeh, M., & Motie, M. B. (2024). Evaluation of shading of green facades on visual comfort and thermal load of the buildings. Energy and Buildings, 317, 114303.*

۱۶) *Zarco-Soto, F. J., Zarco-Soto, I. M., Ali, S. S. S., & Zarco-Perinan, P. J. (2025). Energy consumption in buildings: A compilation of current studies. Energy Reports, 13, 1293–1307.*

۱۷) *ایمانی عمادی, نصراللهی, فرشاد, ثقفی, & محمود رضا. (۲۰۲۵). تحلیل متغیرهای بالکن باهدف بهینه‌سازی مصرف انرژی و نور روز در آپارتمان‌های مسکونی میان‌مرتبه تهران. فصلنامه سیستم های انرژی پایدار.*

۱۸) *برزنونی، فیاض، ریما، حسینی، و سیدبهشید. (۲۰۲۴). تأثیر ابعاد پنجره بر میزان مصرف انرژی روشنایی و حرارت در ساختمان‌های اداری اقلیم گرم‌وخشک. نامه معماری و شهرسازی، ۴۲(۱۶)، ۲۵-۴۴.*

۱۹) *جاوید، نیک‌قدم، کریم‌پور، صابرنژاد، و ژاله. (۲۰۲۵). ارزیابی سیستماتیک علم‌سنجی در روش‌های بهینه‌سازی انرژی در ساختمان. باغ نظر، ۲۲(۱۴۲)، ۴۱-۵۶.*

۲۰) *جلائیان قانع، نوید، و آئینی. (۲۰۲۳). بررسی تأثیر نمای دو پوسته و هندسه آن بر کنترل نور روز در فضاهای اداری (مدل‌سازی و تحلیل نور روز به‌وسیله نرم‌افزار دیوا). پژوهش‌های معماری نوین، ۲(۴).*

۲۱) *سیده مامک صلواتیان، و سپند بیدریغ. (۲۰۲۴). بررسی تأثیر متغیرهای معماری بر بهینه‌سازی تهویه طبیعی در ویلاهای مسکونی با استفاده از شبیه‌سازی CFD(مطالعه موردی: منطقه دستک گیلان). تجلی هنر در معماری و شهرسازی، ۲(۱)، ۹۱-۱۲۰.*

۲۲) *صریحی، سعاد، فیضی، و مهدیزاه سراج. (۲۰۲۲). اولویت راهکارهای بهسازی نما به منظور بهره‌وری انرژی در ساختمان‌های اداری موجود شهر تهران. منظر، ۱۴(۵۹)، ۳۰-۳۹.*

۲۳) *علامی، ملیکا، بیگلری، و بیگلری فدافن. (۲۰۲۴). راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی در معماری مناطق با آب‌وهوای سرد. نشریه انرژی ایران، ۲۷(۱)، ۲۵-۴۶.*

۲۴) *فتحعلیان افشین، و کارگر شریف‌آباد هادی. (۲۰۲۰). بررسی تأثیر راهکارهای مختلف بهینه‌سازی انرژی در رده‌بندی انرژی ساختمان به وسیله نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر (مطالعه موردی: ساختمان اداری).*

۲۵) *مختاری، و رضائی. (۲۰۲۵). ارزیابی نسبت سطح پنجره به سطح کف، فرم و موقعیت پنجره با توجه به آسایش بصری و مصرف انرژی در نمای شمالی ساختمان‌های اداری تهران. فصلنامه سیستم‌های انرژی پایدار.*

۲۶) *مداحی، و توانائی. (۲۰۲۳). بهینه‌سازی عملکرد حرارتی جداره‌های خارجی یک ساختمان مسکونی میان‌مرتبه در اقلیم سرد و خشک با بهره‌گیری از نرم‌افزار شبیه‌ساز انرژی (نمونه موردی: شهر مشهد). مهندسی و مدیریت انرژی، ۹(۳)، ۱۰۸-۱۲۱.*

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-24]

۲۷) ممدی‌وسطی‌کلائی، پدرام، سرکرده‌ای، خاکی‌قصر، و آزاده. (۲۰۲۴). مروری بر طراحی و عملکرد نماهای دو پوسته در بهینه‌سازی مصرف انرژی و بهره‌برداری از منابع تجدیدپذیر. مطالعات علوم کاربردی در مهندسی، ۳۷(۱۰)، ۳۹-۵۰.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-24]

Abstract

Improving building energy performance is a fundamental strategy for reducing fossil fuel consumption, decreasing greenhouse gas emissions, and enhancing environmental sustainability, particularly in cold climates where space heating accounts for a major share of annual energy demand. In such climates, the thermal characteristics of the building envelope have a direct influence on heat loss, heating loads, and overall energy efficiency. Office–military buildings are of particular importance because of their long operating schedules, operational sensitivity, security requirements, and need for stable indoor thermal comfort. Therefore, optimizing the envelope of these buildings can

contribute not only to energy conservation but also to operational sustainability and energy security. This study evaluates the energy performance of an office–military building located in the cold climate of Tabriz, Iran, and optimizes its envelope design parameters using a genetic algorithm.

In this research, a reference building model was developed and simulated under the climatic conditions of Tabriz using EnergyPlus through the JEPlus interface. The optimization process was performed in the JEPlus+EA environment, which allows dynamic building energy simulation to be integrated with evolutionary optimization techniques. A genetic algorithm was employed due to its capability to address complex design problems with multiple interdependent variables and to search efficiently for near-optimal solutions. The main objective of the optimization was to minimize annual natural gas consumption for space heating while maintaining acceptable indoor thermal conditions and considering practical architectural constraints.

The optimization process considered several envelope-related variables, including building orientation, window-to-wall ratio on the main façades, glazing configuration, glass layer characteristics, cavity properties between glazing layers, cavity gas type, and the geometry of the south-facing shading device. These variables were selected because they affect solar heat gains, conductive heat transfer, thermal losses through transparent surfaces, and the overall response of the envelope in a heating-dominated climate. Rather than examining each parameter separately, the study adopted an integrated optimization approach to evaluate the combined effect of envelope parameters on building energy performance.

The simulation and optimization results showed that improving the envelope configuration can significantly reduce heating energy demand. Annual natural gas consumption decreased from ۱۵۷۳ m^3 in the base-case model to ۱۳۵۸ m^3 in the optimized model. This reduction corresponds to an annual saving of ۲۱۵ m^3 of natural gas, equivalent to a ۱۳٫۷٪ decrease in heating energy consumption. The optimized configuration demonstrated that the simultaneous adjustment of opaque and transparent envelope parameters can effectively enhance thermal performance and reduce heat loss under the cold climatic conditions of Tabriz. The results also emphasized the importance of transparent envelope design and solar-control strategies in achieving better energy performance.

A comparison of glazing scenarios further confirmed the strong influence of window type on heating energy consumption. Under identical optimized conditions, the use of single-glazed windows resulted in an annual natural gas consumption of ۱۶۱۶ m^3, while the use of double-glazed windows reduced consumption to ۱۳۵۸ m^3. Accordingly, double glazing achieved an annual saving of ۲۵۸ m^3 of natural gas and improved the thermal performance of the transparent envelope by approximately ۱۶٪ compared with single glazing. This result indicates that reducing heat transfer through windows is one of the most effective strategies for improving the heating performance of buildings in cold climates. In addition, the analysis of the gas type within the glazing cavity showed that replacing air with argon reduced annual natural gas consumption from ۱۳۷۰ m^3 to ۱۳۵۸ m^3. This change provided an additional saving of ۱۲ m^3 per year, corresponding to approximately a ۱٪ improvement in thermal performance.

From an environmental perspective, the reduction in natural gas consumption led to a decrease of ۴۰۸٫۵ kg in annual CO_2 emissions, corresponding to a ۱۳٫۷٪ reduction compared with the base-case model. These findings demonstrate that genetic algorithm-based optimization of building envelope parameters can be an effective method for reducing heating energy demand and associated environmental impacts in office–military

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-24]

buildings located in cold climates. The proposed approach provides a practical decision-support framework for architects, engineers, and energy planners seeking to improve energy efficiency, operational sustainability, and environmental performance in similar administrative, institutional, and military buildings.

KeyWords: Building Envelope Optimization, Military Administrative Building, CO_2 Emission Reduction, Genetic Algorithm (GA), Cold Climate

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-24]