



بهینه سازی چند هدفه هزینه و انرژی ساختمان های مسکونی در ایران

سید روح اله علی محمدی^۱، *مائده صادق پور حاجی^۲، غلامرضا قدرتی امیری^۳، محمد باقر نوبخت حقیقی^۴

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی عمران، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران، Rooh_35@yahoo.com

۲- *عضو هیئت علمی و استادیار گروه مهندسی عمران، واحد قائمشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم شهر،

ایران، maedeh.sadeghpour@qaemiau.ac.ir

۳- عضو هیئت علمی و استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران، Ghodrati@iust.ac.ir

۴- استاد و رییس گروه توسعه، تامین مالی و اقتصاد بین الملل، مرکز پژوهش های توسعه و آینده نگری، سازمان برنامه و بودجه کشور، تهران،

ایران، nobakht10853@gmail.com

چکیده

واژگان کلیدی

امروزه تغییرات آب و هوایی و حرکت آن به سمت افزایش تدریجی دمای جهانی، نگرانی های زیادی را به همراه داشته و جنبه های مختلفی از زندگی مردم جهان را در بر می گیرد. در این میان، باید به مقاومت در برابر طراحی انرژی ساختمان در برابر گرم شدن کره زمین توجه ویژه ای شود، زیرا با گذشت زمان، اقدامات اقتصادی و اثربخش آن می تواند تا حد زیادی تحت تأثیر تغییرات آب و هوا باشد. در همین راستا، این مقاله با استفاده از یک رویکرد چند هدفه به مساله یافتن راه حل های مقرون به صرفه انرژی و ارزیابی مقاومت آنها در برابر بارهای گرمایشی و سرمایشی، می پردازد. به منظور بررسی استفاده از تکنولوژی های نوین و کاهش مصرف سوخت فسیلی، در این مقاله، از دو سناریوی استفاده از پنل خورشیدی و بام سبز نیز استفاده شده که نشان دهند نقش هر کدام از این تکنولوژی ها تا چه میزان می تواند بر کاهش مصرف انرژی ساختمان از نقطه نظرهای بارهای سرمایشی و گرمایشی متمر ثمر باشد. در این مقاله از مشخصات یک ساختمان مسکونی در شهر تهران استفاده شده است. روش پیشنهادی شامل بررسی بهینه انرژی کل ساختمان و جایگزینی سیستم های انرژی (پنل های خورشیدی و بام سبز) می باشد که در نهایت اجزای بهینه ساختمان را تعیین می کند. نتایج سیستم های جایگزین نشان می دهد که استفاده از بام سبز، تاثیر بالاتری در کاهش مصرف انرژی ساختمان مورد مطالعه دارد.

۱- پیش گفتار

امروزه کیفیت زندگی نسلهای فعلی و آینده با توجه به افزایش تدریجی میانگین دمای جهانی، مورد تهدید جدی قرار گرفته است. معمولاً این اثر خطرناک به عنوان گرم شدن کره زمین شناخته می شود. تاکنون تلاش های زیادی در زمینه کاهش اثرات کربن انتشار یافته ناشی از فعالیت های انسانی انجام شده تا بتوان با تغییرات آب و هوایی و توسعه پایدار مبارزه نمود. در حقیقت، گرمایش جهانی رابطه مستقیمی با انتشار گازهای گلخانه ای و در نتیجه با بهره برداری شدید از منابع انرژی فسیلی دارد. در این راستا، می توان اذعان داشت که ساختمان ها، دلیل اصلی تغییرات آب و هوایی هستند؛ زیرا دربردارنده بیشترین سهم مصرف انرژی در بیشتر مناطق جهان هستند. از طرف دیگر، گرم شدن کره زمین که سلب آسایش حرارتی و افزایش انرژی مورد نیاز برای تهویه مطبوع را به همراه دارد می تواند تأثیر منفی قابل توجهی بر عملکرد انرژی ساختمان بگذارد [۱،۲]. این حلقه مهم، باید برای حل مسائل ضروری نسل ما از جمله فقر انرژی و بحران اقتصادی و همچنین برای ترویج زندگی و پایداری شکسته شود [۳].

الگوسازی نظری یا تجربی

همانطور که پیش از این نیز عنوان شد، ساختمان های مسکونی یکی از بزرگترین بخشهای مصرف کننده انرژی در اکثر کشورهای جهان هستند. لذا توجه به فناوری های ساختمان برای صرفه جویی و بهینه سازی مصرف انرژی بسیار مهم است. میزان انرژی مصرفی در هر ساختمان به عواملی نظیر نفوذ هوا، اختلاف دمای مطلوب ساختمان و محیط خارج در روزهای مختلف سال، ضریب انتقال حرارت دیواره های ساختمان و همچنین جهت ساختمان (شمالی یا جنوبی) بستگی دارد. در بخش بعد، سوابق تحقیقاتی در مورد موضوعات مرتبط با رفاه حرارتی، معماری، دیوارها و مصالح ساختمانی و سیستم های تهویه مطبوع ساختمان بررسی می شود.

هدف بعدی بهبود عملکرد انرژی ساختمان، همانطور که در اتحادیه اروپا بر اساس دستورالعمل های بازده عملکرد انرژی ساختمان (EPBD) تجدید ساختار ۳۱/۲۰۱۰ / EU آمده است، طراحی و ساخت ساختمانهای انرژی صفر است [۵]. بر اساس این دستورالعمل، پیش بینی شده که تا سال ۲۰۲۱، تمامی ساختمان های مسکونی جدید به سمت ساختمانهای انرژی تقریباً صفر، تبدیل شوند و انتظار می رود که این موضوع برای ساختمان های اداری و دفاتر دولتی، به حدود دو سال زمان بیشتر نیاز داشته باشد. مقررات اتحادیه اروپا ۲۰۱۲/۲۴۴ [۶] اظهار داشته که "هزینه بهینه"، یک گام اساسی به منظور دستیابی به این مهم است که به موجب آن، سطح راندمان انرژی با اطمینان بالایی، مقرون به صرفه خواهد بود. این موضوع به معنای کمترین میزان هزینه کلی، یعنی مجموع هزینه های بهره برداری و سرمایه گذاری اولیه در طول مدت عمر ساختمان می باشد. طبق مؤسسه عملکرد ساختمان اروپا BPIE؛ تعدادی از نمونه برنامه های کاربردی به منظور بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان ها ارائه شده است [۷]. استفاده صحیح از رویکرد هزینه بهینه، مستلزم مطالعه عمیق هر ساختمان است، بنابراین امری زمان بر بوده و نیاز به تخصص بالایی دارد، به

طوری که از مفهوم ساختمانهای مرجع برای ارزیابی مجموعه اقدامات صرفه جویی در انرژی استفاده می شود. از این رو، ارزیابی راه حل های بهینه هزینه، هم برای طراحی جدید و هم برای مقاوم سازی ساختمان های موجود، نیازمند کشف طیف گسترده ای از شرایط مختلف اندازه گیری انرژی است. بنابراین برای کاهش زمان و بار محاسباتی، باید از روشهای بهینه سازی به جای شبیه سازی و مدلهای مختلف انرژی استفاده نمود.

بر اساس مطالعات اخیر، روش های مختلفی برای بهینه سازی عملکرد انرژی یک ساختمان با بهره گیری از الگوریتم های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. بیشتر استراتژی های بهینه سازی، مبتنی بر استفاده از روش های غیر مشتق است [۸]؛ زیرا به توابع هدف خاصی نیاز ندارند؛ این امر از آن جهت مهم است که معمولاً در مسائل بررسی عملکرد ساختمان، توابع هدف در دسترس نمی باشند. همانطور که در مقالات [۹ و ۱۰] توضیح داده شده است، اجرای چنین روش هایی برای شبیه سازی انرژی گذرا با الگوریتم های بهینه سازی عددی نیازمند در نظرگیری چارچوب های مناسب است. این چهارچوبها روشهای تکراری را امکان پذیر می سازند که به تدریج عملکرد ساختمان را بهبود بخشند و تا زمانی که ملاک همگرایی برآورده شود، رسیدن به حداکثر تعداد تکرارها ادامه می یابند. انگوین^۲ و همکاران [۱۰] یک بررسی جامع از روشهای بهینه سازی انرژی ساختمان را پیشنهاد کردند. آن ها الگوریتم های تصادفی مبتنی بر جمعیت را به دلیل مزایای آن ها به منظور دستیابی به جواب های بهینه با قدرت و زمان محاسباتی مناسب، مورد بررسی قرار دادند و از میان آن ها، کاربردی ترین الگوریتم های مبتنی بر جمعیت را معرفی نمودند. این روش ها شامل الگوریتم های ژنتیک (GA)، الگوریتم های آموزشی، برنامه نویسی تکاملی، تکامل دیفرانسیلی^۳، بهینه سازی ازدحام ذرات و سایر تکنیک های هوش مصنوعی می باشند. آنها فرض کردند که مقدار "بهینه واقعی" به طور کلی ناشناخته است [۱۰]، به طوری که جواب مورد نظر

^۱Nguyen

^۲Differential Evolution

^۳Buildings Performance Institute Europe

پوشش ساختمان با استفاده از یک الگوریتم ژنتیک مرتب سازی غیر غالب^۱ و در نظر گرفتن توابع هدف ، هزینه های ساخت و ساز ، عملکرد انرژی و میزان بازشدن پنجره متمرکز شد. در این زمینه مصطفی^۲ و همکاران [۲۱] روش جدیدی را برای به حداقل رساندن هزینه های چرخه عمر ساختمان ، آلاینده های چرخه زندگی و به حداکثر رساندن رضایت حرارتی ساکنین ابداع کردند. به حداقل رساندن تقاضای انرژی برای گرمایش ، سرمایش و روشنایی از اهداف شناگوسی^۳ و همکاران بود [۲۲] که آب و هوای مختلف پالمو ، تورینو ، فرانکفورت و اسلو را مورد بررسی قرار دادند. دیاکاکی^۴ و همکاران [۲۳] ، یک مدل تصمیم گیری جدید را برای یک مطالعه موردی در شهر آتن پیشنهاد کردند. دلارگام^۵ و همکاران [۲۴] نیز از روش بهینه سازی ازدحام ذرات برای یک مطالعه موردی در ایران استفاده نمودند. ژانگ^۶ و همکاران [۲۵] نیز الگوریتم ژنتیک را برای بهینه سازی عملکرد حرارتی و روشنایی روز ساختمانهای مدرسه با عملکردهای مفید در روز ، اجرای سیستم حرارتی تابستان ، تقاضای انرژی برای گرمایش و روشنایی به کار بردند. در مطالعات بعدی روشی چند هدفه برای بهبود عملکرد انرژی ساختمان با بررسی بیش از سه تابع هدف برای بهینه سازی و مقاوم سازی [۲۶ ، ۲۷] یا پرداختن به طراحی پایدار سازه های جدید پیشنهاد شده است [۲۸ ، ۲۹]. مطالعه حاضر با هدف ارائه راهکارهایی برای بهبود مصرف انرژی در ساختمان و کاهش هزینه های عملیاتی ، پارامترهای مؤثر مانند مصالح ساختمانی ، سیستم های تهویه فعال و غیرفعال به طور همزمان انجام شده است.

۱-۲ مدل سازی

در مرحله اول ، به بررسی مصالح ساختمانی مورد استفاده در ساختمانهای مسکونی و سیستمهای گرمایشی و سرمایشی

یک مطلوب فرعی است که مقادیر رضایت بخش توابع هدف را تضمین می کند و در زمان معقول حاصل می شود. از بین تکنیک های ذکر شده ، میانگین های دیجیتال^۴ محبوب ترین روش ها هستند؛ زیرا معمولاً به مقادیر حداقل های محلی همگرا نمی شوند و آنها را قادر می سازند با استفاده از یک یا چند روش هدفمند، جوابهای بیشتری از کل دامنه محاسباتی را کشف کنند [۱۰ و ۱۱]. کارملوس^۵ و همکاران [۱۲] با به حداقل رساندن تقاضای انرژی اولیه و هزینه های سرمایه گذاری ، ترکیب بهینه ای از اقدامات بهره وری انرژی ساختمان را مشخص کردند، در حالی که رایت^۶ و همکاران [۱۳] و مگنیر و حقیقت^۷ [۱۴] مبادله بهینه بین تقاضا / هزینه های انرژی و سهولت سیستم حرارتی در طراحی ساختمان را مورد بررسی قرار دادند. در مقاله [۱۴] ، از شبکه های عصبی مصنوعی (ANN) - که از خروجی های نرم افزار ترنسیس^۸ تولید شده اند - برای افزایش استحکام نتایج بهینه سازی استفاده شده است [۱۵]. همدی^۹ و همکاران [۱۶] برای طراحی ساختمان های کم هزینه با انتشار آلاینده کم ، روش ژنتیک را با شبیه سازی انرژی گذرا (به عنوان مثال ، IDA-ICE) همراه کرد ، و توابع به حداقل رسیده انتشار دی اکسید کربن و هزینه سرمایه گذاری را ارائه نمود . چانترله^{۱۰} و همکاران [۱۸] مصرف انرژی ، سرمایه گذاری و انتشار دی اکسید کربن را به حداقل رسانده و یک رویکرد چند هدفه را برای پرداختن به مقاوم سازی ساختمان پیشنهاد دادند. فان و شی^{۱۱} [۱۹] مصرف انرژی اولیه ، ارزش فعلی خالص و مدت زمان بازپرداخت را برای بهینه سازی و مقاوم سازی ساختمان و نصب سیستم پنل خورشیدی را مورد بررسی قرار دادند. همچنین یانگ و همکاران [۲۰] در بهینه سازی طراحی

^۴digital averages

^۵Karmellos

^۶Wright

^۷Magnier & Haghghat

^۸Transys

^۹Hamdy

^{۱۰}Chantrelle

^{۱۱}Fan & Xia

^۱non-dominated sorting genetic algorithm

^۲Mustafa

^۳Schnagussia

^۴Diacaki

^۵Delargam

^۶Zhang

n : نوع سیستم گرمایشی ($n=1,2,3,4,5$)

z : سلول حرارتی تهویه هوا ($z=1,2,3$)

r : نوع سیستم غیر فعال ($r=1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22$)

p : تجهیزات فن کویل برای تهویه هوا ($p=1,2,3,4$)

q : تجهیزات حرارتی مربوط به سیستم تهویه ($q=1,2$)

l : طول عمر تجهیزات

d : جهت جغرافیایی

y : سال

i %: درصد علاقه

۲-۱-۲ پارامترها

m^1 : مساحت (مترمربع)

C : هزینه سرمایه گذاری اولیه (ریال)

VC : هزینه متغیر نگهداری سیستم های تهویه (ریال)

C_{CAP} : هزینه اولیه سرمایه گذاری مصالح ساختمان و سیستم های تهویه نصب شده در طول مدت عمر ساختمان (ریال)

C_{OP} : مقدار خالص فعلی هزینه تعمیرات و نگهداری سیستم تهویه و تجهیزات مربوطه در طول مدت عمر ساختمان (ریال)

C_{EN} : مقدار خالص فعلی هزینه انرژی سیستم تهویه در طول مدت عمر ساختمان (ریال)

T_E : تعرفه برق خانگی (ریال/کیلووات ساعت)

T_G : تعرفه مصرف گاز خانگی (ریال/کیلووات ساعت)

E : مصرف انرژی برق تهویه هوا (کیلووات ساعت)

G : مصرف گاز تهویه هوا (مترمکعب)

U : ضریب انتقال حرارت (وات بر مترمربع درجه سانتی گراد)

در کاهش اتلاف انرژی ساختمان به دلیل شرایط آب و هوا در ایران و همچنین سبک زندگی ایران در استفاده از سیستمهای سرمایشی و گرمایشی در ساختمانهای مسکونی مؤثر می باشد، پرداخته می شود. در مرحله دوم، قابلیت استفاده از ترکیب این مواد و سیستم ها و نوع عملکرد آنها، فناوری های تأمین آنها و تأثیر آنها بر کاهش مصرف انرژی در بخش ساخت و ساز مشخص می شود. سپس با استفاده از یک مدل برنامه ریزی ریاضی، ترکیبی از مصالح ساختمانی و سیستم های تهویه مناسب در ساختمانهای مسکونی مشخص شده است. این ترکیب، هزینه های مرتبط و مصرف انرژی ساختمان را به حداقل می رساند. مدل پیشنهادی برای یک ساختمان در تهران اجرا شد، سپس مدل انرژی ساختمان با استفاده از نرم افزارهای گمز ۲۴،۸ و متلب ۲۰۱۹ شبیه سازی شده و نتایج آن ارائه گردید.

به منظور بررسی هزینه و انرژی، از یک نمونه ساختمان دارای ۵ طبقه که در هر طبقه ۵ واحد با مساحت ۷۵ مترمربع می باشد، استفاده شده است. در کل، این ساختمان دارای محیط ۲۴۰ مترمربع، ۳۵۰ مترمربع مساحت پشت بام (که بتوان از تکنولوژی های بام سبز و یا پنل خورشیدی استفاده نمود) و ۱۳۵۰ مترمربع دیوار محیط است. دیوارهای محیطی ساختمان با گچ ۳ سانتی متری، ملات ۳ سانتی متر و سنگ گرانیات روکش ۳ سانتی متر، پوشش سقف ۲۵ سانتی متر، و از ملات ۳ سانتی متری برای ساخت سقف استفاده شده است. در ادامه شاخص های پارامترها، متغیرهای تصمیم، توابع هدف و محدودیت های آن به منظور ارائه مدل ریاضی مورد نظر ارائه شده است. لازم به توضیح است، انواع مواد مصرفی در جدول ۱ در پیوست ارائه شده است.

۲-۱-۱ شاخصه ها

i : نوع مواد دیوار محیطی ($i=1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21$)

j : نوع مواد سقف پشت بام ($j=1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18$)

k : نوع پنجره ($k=1,2,3,4,5,6$)

m : نوع سیستم خنک کاری ($m=1,2,3,4$)

X_j^{roop} : اگر مصالح سقف از نوع j باشد ۱ و در غیر اینصورت ۰

X_k^{win} : اگر نوع پنجره از نوع k باشد ۱ و در غیر اینصورت ۰

$X_m^{cooling}$: اگر سیستم سرمایش از نوع m باشد ۱ و در غیر اینصورت ۰

$X_n^{Heating}$: اگر سیستم حرارتی از نوع n باشد ۱ و در غیر اینصورت ۰

$X_r^{inactive}$: اگر سیستم تحویه غیرفعال از نوع r باشد ۱ و در غیر اینصورت ۰

X_z^{SC} : اگر سیستم خورشیدی از نوع z باشد ۱ و در غیر اینصورت ۰

X_p^{air} : اگر سیستم فن کوئل از نوع p باشد ۱ و در غیر اینصورت ۰

X_q^{cent} : اگر حرارت از نوع q باشد ۱ و در غیر اینصورت ۰
۴-۱-۲ توابع هدف

(۱)

PVF : فاکتور مقدار هزینه موجود

P/F : نسبت تبدیل هزینه در سال γ به سال پایه

N_L : چرخه عمر ساختمان

N_H : تعداد روزهایی که به گرمایش نیاز است

N_c : تعداد روزهایی که به گرمایش نیاز است

η : ضریب استفاده از خورشید در فصل های گرم و سرد

λ : ضریب عملکرد تهویه هوا

Q_{loss} : انرژی مورد نیاز برای گرم کردن فضا (کیلووات ساعت)

Q_{Gain} : انرژی ورودی از ساختمان (کیلووات ساعت)

Q_{Solar} : انرژی بدست آمده از خورشید (کیلووات ساعت)

Q_{Inter} : انرژی استخراج شده از لوازم درون ساختمان (کیلووات ساعت)

BLC : ضریب بار حرارتی ساختمان (وات بر درجه سانتی گراد)

HDD : روز گرم (درجه سانتی گراد بر روز)

$$O.F \ 1 = Cost = Min (A^{wall} \sum_{i=1}^{14} FC_i^{wall} X_i^{wall} + A^{roof} \sum_{j=1}^{14} FC_j^{roof} X_j^{roof} + A^{window} \sum_{k=1}^7 FC_k^{window} X_k^{GDD} + A^{cooling} \sum_{m=1}^6 FC_m^{cooling} X_m^{cooling} + A^{heating} \sum_{n=1}^6 FC_n^{heating} X_n^{heating} + A^{inactive} \sum_{r=1}^{10} FC_r^{inactive} X_r^{inactive} + A^{SC} \sum_{z=1}^7 FC_z^{SC} X_z^{SC} + A^{air} \sum_{p=1}^7 FC_p^{air} X_p^{air} + A^{cent} \sum_{q=1}^6 FC_q^{cent} X_q^{cent} + \sum_{y=1}^{10} \sum_{m=1}^6 VC_m^{cool} X_m^{cool} PVF_y)$$

θ_b : دمای داخلی ایده ال (درجه سانتی گراد)

$$+ \sum_{m=1}^6 FC_m^{cool} (1 + F_{r_0,i\%}) X_m^{cool} + \sum_{n=1}^6 FC_n^{heat} (1 + F_{r_0,i\%}) X_n^{heat}$$

α : ضریب جذب انرژی خورشیدی از ساختمان

$$+ \sum_{r=1}^6 FC_r^{pass} X_r^{pass} + \sum_{r=0}^{10} FC_r^{pass} (1 + F_{r_0,i\%}) X_r^{pass}$$

I : انرژی خورشیدی جذب شده از خورشید بر اساس جهت جغرافیایی ساختمان (کیلووات ساعت بر متر مربع)

$$+ \sum_{z=1}^7 FC_z^{SC} (1 + F_{r_1,i\%} + F_{r_2,i\%} + F_{r_4,i\%}) X_z^{SC} + \sum_{p=1}^7 FC_p^{air} (1 + F_{r_0,i\%}) X_p^{air}$$

۳-۱-۲ متغیر تصمیم

X_i^{wdl} : اگر مصالح دیوار از نوع i باشد ۱ و در غیر اینصورت ۰

$$+ \sum_{q=1}^6 FC_q^{cent} (1 + F_{r_0,i\%}) X_q^{cent} + \sum_{y=1}^{10} \sum_{m=1}^6 VC_m^{cool} X_m^{cool} PVF_y$$

مصرف انرژی ساختمان مورد بررسی را در طول عمر ساخت و ساز بیان می کند. عبارت اول بسته به مساحت دیوار هزینه مصالح مورد نیاز برای ساخت دیوار در اطراف ساختمان را نشان می دهد. عبارت دوم هزینه مصالح مورد نیاز برای ساخت سقف بر حسب مساحت سقف را بیان می کند و عبارت سوم هزینه پنجره مورد نیاز دهانه ساختمان را نشان می دهد. شایان ذکر است که با توجه به عمر مفید ساختمان ، در مدت زمان شش ساله نیازی به نوسازی یا نوسازی ساختمان نیست. عبارات چهارم و پنجم ، به ترتیب ارزش خالص فعلی هزینه ساخت تهویه هوا فعال با توجه به طول عمر ۵ ساله سیستم را نشان می دهد. عبارات ششم و هفتم ، به ترتیب ارزش خالص فعلی دیواره حرارتی را به عنوان یک سیستم تهویه غیرفعال و سقف ساخته شده از پوشش گیاهی (سقف سبز) را نشان می دهد ، که یکی از انواع تهویه غیر فعال پنج ساله است. در عبارت هشتم، ارزش خالص فعلی هزینه سلولهای حرارتی خورشیدی را برای یک چیلر جذب خورشیدی ، دیگ بخار آب گرم خورشیدی و بسته بندی آب گرم با طول عمر ۵ سال را بیان می کند. عبارات نهم و دهم ، به ترتیب ارزش فعلی خالص فن کوپل و بخاری را با توجه به نوع سیستم تهویه مطبوع فعال با ماندگاری ۵ سال نشان می دهد. عبارات یازدهم تا شانزدهم به ترتیب نشانگر ارزش خالص فعلی هزینه تعمیر و نگهداری دستگاه های تهویه هوا فعال و غیرفعال ، سلول های گرمایی ، فن کوپل ها و رادیاتورها است. عبارات هفدهم و هجدهم بیانگر ارزش فعلی خالص برق مصرفی سیستم های تهویه مطبوع که در فصول سرد و گرم بسته به تعرفه های فصلی و اقلیمی کار می کنند ، می باشد. به همین ترتیب ، عبارات نوزدهم و بیستم به ارزش فعلی خالص هزینه های سوخت مصرف شده توسط سیستم های تهویه مطبوع که تحت شرایط فوق کار می کنند ، اشاره دارد.

تابع هدف (۲) نمایانگر اجزای انرژی مورد نیاز برای گرم کردن و خنک کردن هوای ساختمان در طول فصول سرد و گرم است. در برآورد اول عبارت انرژی گرمایی از دست رفته توسط دیوار ساختمان را برای کل اختلاف دمای محیط و دمای مطلوب دمای حرارتی ساختمان در کلیه روزهای سرد

$$\begin{aligned}
 & + \sum_{y=1}^{0.05} \sum_{n=1}^0 VC_n^{heat} X_n^{heat} PVF_y + \sum_{y=1}^{0.05} \sum_{r=0}^{1.8} VC_r^{pass} X_r^{pass} PVF_y \\
 & + \sum_{y=1}^{0.05} \sum_{z=1}^3 VC_z^{SC} X_z^{SC} PVF_y + \sum_{y=1}^{0.05} \sum_{p=1}^V VC_p^{air} X_p^{air} PVF_y + \sum_{y=1}^{0.05} \sum_{q=1}^L VC_q^{cent} X_q^{cent} PVF_y \\
 & + \sum_{y=1}^{0.05} \sum_{m=1}^L \lambda^{cool} T_E^{cool} E_m^{cool} X_m^{cool} PVF_y + \sum_{y=1}^{0.05} \sum_{n=1}^0 \lambda^{heat} T_E^{heat} E_n^{heat} X_n^{heat} PVF_y \\
 & + \sum_{y=1}^{0.05} \sum_{m=1}^L \lambda^{cool} T_G^{cool} G_m^{cool} X_m^{cool} PVF_y + \sum_{y=1}^{0.05} \sum_{n=1}^0 \lambda^{heat} T_G^{heat} G_n^{heat} X_n^{heat} PVF_y
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

$$\begin{aligned}
 O.F_y = Energy = & Min(((A^{wall} \sum_{i=1}^{14} U_i^{wall} X_i^{wall} + A^{roof} \sum_{j=1}^{11} U_j^{roof} X_j^{roof} + A^{win} \sum_{k=1}^7 U_k^{win} X_k^{win} \\
 & + A^{pass} \sum_{r=0}^{1.8} U_r^{pass} X_r^{pass}) \cdot \sum_{o=1}^{N_H} (\theta_b - \theta_o)^+ - N_H [\sum_{d=1}^L \sum_{k=1}^7 A_d^{win} I_d^h \alpha_k^{win} X_k^{win} \\
 & + \sum_{d=1}^L \sum_{r=1}^L A_d^{pass} I_d^h \alpha_r^{pass} X_r^{pass} + Q_{Instr}]) + (1 - \eta) \cdot [A^{wall} \sum_{i=1}^{14} U_i^{wall} X_i^{wall} \\
 & + A^{roof} \sum_{j=1}^{11} U_j^{roof} X_j^{roof} + A^{win} \sum_{k=1}^7 U_k^{win} X_k^{win} + A^{pass} \sum_{r=0}^{1.8} U_r^{pass} X_r^{pass}) \sum_{o=1}^{N_c} (\theta_o - \theta_b)^+ \\
 & + N_c (\sum_{d=1}^L \sum_{i=1}^{14} \frac{(I_d^c A_d^{wall} \alpha_i^{wall} U_i^{wall} X_i^{wall})}{\theta_b} + \sum_{d=1}^L \frac{I_d^c A_d^{win} \alpha_k^{win} U_k^{win} X_k^{win}}{\theta_b} \\
 & + \sum_{j=1}^{11} \frac{I_j^c A_j^{roof} \alpha_j^{roof} U_j^{roof} X_j^{roof}}{\theta_b} + \sum_{j=1}^{11} \frac{I_j^c A_j^{pass} \alpha_j^{pass} U_j^{pass} X_j^{pass}}{\theta_b} \\
 & + \sum_{d=1}^L \sum_{k=1}^7 A_d^{win} I_d^c \alpha_k^{win} X_k^{win} + \sum_{d=1}^L \sum_{r=1}^L A_d^{pass} I_d^c \alpha_r^{pass} X_r^{pass} + Q_{Inter})))
 \end{aligned}$$

تابع هدف (۱) ارتباط بین هزینه مصالح مورد نیاز ، سیستم های تهویه مطبوع و تجهیزات مرتبط با آنها ، هزینه های عملیاتی سیستم های تهویه مطبوع و تجهیزات آنها و هزینه

$$X_1^{cool} - X_1^{air} = 0 \quad (14)$$

$$X_r^{cool} - X_r^{air} = 0 \quad (15)$$

$$X_r^{cool} - X_r^{air} = 0 \quad (16)$$

$$X_i^{cool} - X_i^{air} = 0 \quad (17)$$

$$X_0^{heat} - X_r^{air} = 0 \quad (18)$$

$$X_r^{heat} - X_1^{cent} = 0 \quad (19)$$

$$X_i^{heat} - X_r^{cent} = 0 \quad (20)$$

$$\sum_{q=1}^r X_q^{cent} \leq 1 \quad (21)$$

معادله (۳) ضرورت انتخاب یکی از گزینه های موجود برای مصالح مورد استفاده دیوار اطراف ساختمان را نشان می دهد. معادله (۴) بیانگر ضرورت انتخاب یکی از گزینه های موجود برای ساخت مصالح بام و پوشش گیاهی مورد استفاده در پشت بام به عنوان یک سیستم تهویه غیرفعال را بیان می کند. معادله (۵) بیانگر ضرورت انتخاب یکی از گزینه های موجود برای پنجره ساختمان است و معادله (۶) نشان دهنده انتخاب یا عدم انتخاب دیواره حرارتی در جنبه های مختلف ساختمان است. معادلات (۷) تا (۹) نشان می دهد که حضور یکی از گزینه های موجود متغیرهای تعریف شده برای سیستم تهویه فعال با توجه به مشترک بودن سیستم های گرمایش و سرمایش در مدل مورد نیاز است. معادله (۹) به طور خاص نشان می دهد که گزینه دوم سیستم خنک کننده (پمپ حرارتی به منظور تأمین خنک کننده مورد نیاز) با پنجمین جایگزین سیستم گرمایش، (پمپ حرارتی در فصل سرما برای تأمین حرارت مورد نیاز) یکسان است. انتخاب پمپ حرارتی به عنوان سیستم خنک کننده در مدل به معنای لزوم انتخاب پنجمین جایگزین

سال مشخص در منطقه آب و هوایی مشخص شده که نیاز به گرمایش دارد محاسبه می کند. شایان ذکر است که دمای مناسب حرارتی، ۲ درجه سانتیگراد فرض می شود. برآکت دوم بیانگر میزان انرژی دریافتی ساختمان از خورشید است. برآکت سوم بیانگر انرژی دریافتی از خورشید شامل انرژی منتقل شده از دیوار ساختمان به دلیل تفاوت بین دمای مطلوب و محیط در کلیه روزهای گرم از جهات مختلف و انتقال به داخل خانه، انرژی دریافتی از پنجره و دیواره های حرارتی و انرژی دریافتی داخلی، می باشد.

۵-۱-۲ محدودیت ها

$$\sum_{i=1}^{r1} X_i^{wall} = 1 \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^{rA} X_j^{roof} + \sum_{r=0}^{r2} X_r^{pass} = 1 \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^r X_k^{win} = 1 \quad (5)$$

$$\sum_{r=1}^i X_r^{pass} \leq 1 \quad (6)$$

$$\sum_{m=1}^i X_m^{cool} = 1 \quad (7)$$

$$\sum_{n=1}^i X_n^{heat} = 1 \quad (8)$$

$$X_r^{cool} - X_0^{heat} = 0 \quad (9)$$

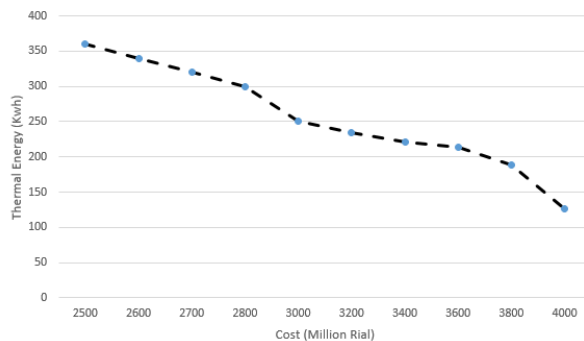
$$X_r^{cool} - X_1^{SC} = 0 \quad (10)$$

$$X_r^{heat} - X_r^{SC} = 0 \quad (11)$$

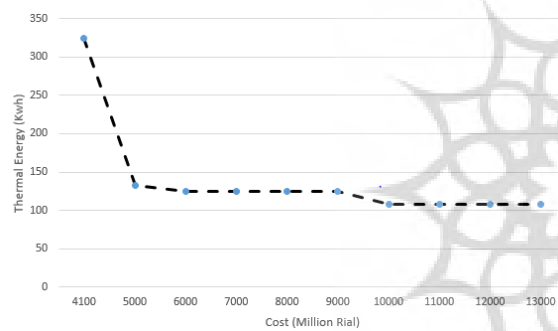
$$X_i^{heat} - X_r^{SC} = 0 \quad (12)$$

$$\sum_{p=1}^i X_p^{air} = 1 \quad (13)$$

شکل (۱) مجموعه جواب بهینه را بر اساس محدوده تغییرات عملکرد انرژی حرارتی نشان می دهد و شکل (۲) مجموعه جواب بهینه را بر اساس محدوده تغییرات عملکرد هزینه نشان می دهد.



شکل (۱): مجموعه جواب بدست آمده بر اساس طیف وسیعی از تغییرات تابع اهداف انرژی حرارتی



شکل (۲): مجموعه جواب بدست آمده بر اساس طیف وسیعی از تغییرات تابع هدف هزینه

مطابق مجموعه جوابهای بهینه در محدوده تغییرات انرژی حرارتی، سیستم تهویه مطبوع چیلر جذبی برای خنک کننده و دیگ آب گرم برای گرمایش هوا مناسب است. همچنین مطابق مجموعه جواب های بهینه در محدوده تغییرات هزینه ، سیستم تهویه چیلر جذبی و همچنین چیلر جذبی خورشیدی برای خنک کننده و دیگ آب گرم برای گرمایش فضا انتخاب می شوند.

در مرحله بعد ، با استفاده از الگوریتم ژنتیک چند هدفه (NSGAI) در نرم افزار MATLAB ، مصرف انرژی را بهینه کرده و کاهش هزینه های موجود در ساختمان بررسی خواهد شد. در جدول ۱ تنظیمات این الگوریتم ارائه شده است.

برای سیستم گرمایش یا پمپ حرارتی برای فصل سرما و عدم انتخاب گزینه های دیگر برای سیستم گرمایشی در مدل است. معادله (۱۰) تا (۱۲) بیانگر لزوم انتخاب سلولهای حرارتی متناسب با هریک از سیستمهای تهویه مطبوع فعال است. همچنین معادلات (۱۳) تا (۱۸) نشانگر لزوم انتخاب تجهیزات فن کویل متناسب با هر یک از سیستم های تهویه فعال است. معادلات (۱۹) تا (۲۱) نشان می دهد که بسته به آب گرمی که در مدل انتخاب می شود ، تجهیزات کار می کنند.

۱- نتایج و بحث

همانطور که قبلاً ذکر شد ، در این مطالعه ، به منظور بدست آوردن مقادیر بهینه توابع هدف ، حداقل مصرف انرژی و حداقل هزینه، از نرم افزار GAMS نسخه ۲۴٫۸ و روش "محدودیت حداقل اپسیلون" استفاده خواهد شد. روش کمترین محدودیت اپسیلون یکی از روشهای شناخته شده برای حل مسایل چند هدفه است که در هر مرحله ، تمام عملکردهای عینی به جز یکی به محدودیت ها منتقل می شود و مساله حل می شود. این روش می تواند مرز پارتو را مشخص کند. مراحل روش محدودیت اپسیلون به شرح زیر است:

- ۱- یکی از توابع هدف به عنوان تابع هدف اصلی انتخاب می شود.
- ۲- در هر زمان ، مسئله را با یکی از توابع هدف حل می کند و مقادیر بهینه هر تابع هدف را به دست می آورد.
- ۳- فاصله بین دو مقدار بهینه توابع فرعی به عددی که از پیش تعیین شده تقسیم می شود و جدول مقادیر برای اپسیلون ها بدست می آید.
- ۴- هر بار مسئله را با عملکرد اصلی هدف و با هر یک از مقادیر اپسیلون حل می کند.
- ۵- گزارش های پارتو یافت شده را گزارش می کند.

همانطور که پیش از این نیز مطرح گردید، یکی از موارد بهبود انرژی ساختمان، استفاده از پنل های خورشیدی و جانمایی آن در پشت بام ساختمان به منظور کاهش مصرف انرژی و به مراتب کاهش هزینه های اقتصادی در یک چشم انداز چند ساله است. جنس مصالح بدست آمده از ساختمان نیز بر اساس نتایج حاصل از مرحله اول، یعنی نتایج ارائه شده در جدول پ ۲ (موجود در پیوست) می باشد.

تابش خورشید در چهار زاویه شیب مختلف در جدول (۳) مشاهده می شود. حداکثر تابش در زاویه شیب $\phi - \delta$ می باشد. در نتیجه زاویه بهینه جهت نصب آرایه ها را زاویه ای قرار می دهیم که در ظهر خورشیدی آفتاب عمود بر آرایه باشد. در این رابطه مقدار δ برای روز پانزدهم آن ماه در نظر گرفته شده است.

جدول (۳) تابش خورشید در چهار زاویه شیب مختلف

$\phi - \delta$	۱۵		ϕ	ϕ_0	$\phi - \delta$	۱۵		ϕ	ϕ_0
	-	+				-	+		
۱۸ ۴۳۹	۱۷ ۸۳ ۱	۱۸ ۱۸ ۷	۱۸ ۴۶ ۱	J u l y	۱۸ ۹۷۹	۱۸ ۸۱ ۷	۱۷ ۳۳ ۰	۱۸ ۵۴ ۷	Jan
۱۳ ۶۹۸	۱۲ ۷۵ ۸	۱۳ ۶۶ ۲	۱۳ ۵۳ ۰	A u g	۲۲ ۲۱۶	۲۲ ۱۴ ۰	۱۸ ۸۸ ۹	۲۰ ۹۵ ۹	Feb
۱۰ ۴۵۱	۹ ۶۱ ۹	۱۰ ۲۹ ۶	۱۰ ۲۶ ۷	S e p	۲۵ ۷۳۶	۲۵ ۱۹ ۳	۲۰ ۲۴ ۶	۲۳ ۲۴ ۵	Mar
۱۱ ۲۰۰	۱۰ ۴۸ ۰	۱۰ ۸۵ ۰	۱۰ ۷۸ ۹	O c t	۲۵ ۶۰۳	۲۵ ۵۸ ۰	۲۰ ۲۱ ۰	۱۲ ۱۷ ۳	Apr
۱۳ ۱۸۷	۱۲ ۵۷ ۸	۱۳ ۱۶ ۲	۱۲ ۴۶ ۳	N o v	۲۷ ۷۰۷	۲۴ ۶۱ ۷	۲۰ ۹۴ ۵	۲۳ ۳۲ ۸	May
۱۵ ۶۲۰	۱۵ ۴۸	۱۵ ۴۸	۱۵ ۴۹	D e	۲۲ ۵۰۴	۲۲ ۴۹	۲۱ ۶۰	۲۲ ۳۰	Jun

جدول (۱): تنظیمات الگوریتم NSGA-II برای مساله

تنظیم	پارامتر	تنظیم	پارامتر
Laplace	روش تقاطع	۶۰	اندازه جمعیت
۹۵٪	احتمال تقاطع	۱۰۰	تعداد نسل
Power	روش جهش	Tournament	انتخاب
۰.۵٪	احتمال جهش	TournamentDCD	انتخاب غیر غالب

همچنین مقادیر مناسب برای مشخصات ساختمان جهت دستیابی به کمترین هزینه و کمترین مصرف انرژی بر اساس بهینه سازی الگوریتم ژنتیک در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول (۲): متغیرهای طراحی و بهینه برای ایجاد سرما و گرمای بهینه

مقدار بهینه	متغیر طراحی	مقدار بهینه	متغیر طراحی
حالت ۶ دیوارهای خارجی	اندازه سایه پنجره	۱۰۰٪	متغیر طراحی
حالت ۵ نوع سقف	جذب خورشید دیوارهای خارجی	۰.۵	متغیر طراحی
حالت ۴ نوع پنجره	نرخ نفوذ پنجره	10^{-5} kg/s/m	متغیر طراحی
حالت ۵ دیوارهای داخلی	نرخ نفوذ درب ها	0.02 kg/s/m	متغیر طراحی
حالت ۱ نوع کف اولین طبقه	کسر ناحیه تهویه	۵۰٪	متغیر طراحی
	عرض پنجره	حالت ۳	متغیر طراحی

۱- استفاده از پنل خورشیدی در بهبود انرژی مصرفی ساختمان

		۲	۰	۳		c	۸	۰	۴
--	--	---	---	---	--	---	---	---	---

از آنجایی که در اختیار داشتن شرایط طرح خارج از اهمیت به سزایی برخوردار است، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور ارقامی را برای این شرایط ارائه داده است که خلاصه- ای از آن به شرح جدول زیر است. در کلکتور خورشیدی

جدول (۴) شرایط اقلیمی ساختمان

مشخصه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا	دمای حباب خشک	دمای حباب تر	تغییرات روزانه دما	متوسط رطوبت نسبی
شرایط تابستانی	-۵۱/۴°	۳۵/۸°	۱۳۵۰/۳m	۳۷/۵ °C	۲۳/۸ °C	۱۴/۲ °C	۳۴/۱۸ (ساعت ۱۵:۰۰)
شرایط زمستانی	-	-	-	-۳/۶ °C	-۸/۸ °C	-	۷۹٪ (ساعت ۶:۰۰)

دما در مبدل حرارتی که منجر به کاهش برگشت ناپذیری در مبدل حرارتی می گردد محقق می شود. البته این راهکار برای اجزایی که بخش قابل توجهی از تخریب انرژی کل سیستم را تشکیل می دهند مفید می باشد. به عنوان نمونه در مبدل بازیاب افزایش فاکتور انرژی - اقتصادی در اثر کاهش تخریب انرژی در عملکرد انرژی - اقتصادی سیستم بهبود چندانی ایجاد نمی کند. بنابراین کاهش فاکتور انرژی - اقتصادی در مبدل های کندانسور و اواپراتور تاثیر زیادی در بهبود عملکرد انرژی - اقتصادی سیستم خواهد داشت. همچنین توربین ها نیز مقادیر نرخ هزینه قابل توجهی دارند اما فاکتور انرژی - اقتصادی توربین ها مقدار متوسطی دارد که نشان دهنده تعادل مناسب بین نرخ هزینه اولیه و نرخ هزینه تخریب انرژی این اجزاء می باشد. کمترین مقدار نرخ هزینه متعلق به پمپها است که حاکی از تاثیر ناچیز عملکرد آنها بر عملکرد انرژی - اقتصادی کل سیستم می باشد. از سوی دیگر مقدار هزینه واحد انرژی الکتریکی تولید شده بوسیله توربین در سیکل و گاز طبیعی در حالت پایه به ترتیب مقادیر ۷۵/۰۷۴ دلار بر گیگاژول و ۲۱/۲۲۸ دلار بر گیگاژول می باشد. طبق توصیه محققین هزینه واحد انرژی الکتریکی تولیدی نیز پارامتر مهمی در تحلیل انرژی - اقتصادی سیکل های تولید قدرت بوده و کمتر بودن آن در

در ادامه، به ارائه نتایج حاصل از تحلیل انرژی - اقتصادی برای سیکل ترکیبی (استفاده از کلکتورهای خورشیدی در ساختمان) پرداخته خواهد شد. از آنجا که ساختمان در حالت اول دارای سیستم سرمایش-پگرمایش با استفاده از میکروتوربین (CHP) در نظر گرفته شده است، پارامترهای کلکتور، اواپراتور، کندانسور، پمپ و توربین را در شرایط استفاده از کلکتورهای خورشیدی مورد بررسی قرار گرفته می شود. نتایج این تحلیل در جدول (۵) ارائه شده است. بر اساس نتایج حاصل از این جدول، مشخص است که کلکتور و کندانسور سیکل مورد نظر باید بیشتر از سایر اجزا از منظر انرژی - اقتصادی مورد توجه قرار گیرند؛ زیرا دارای بیشترین مقدار "هزینه های اولیه" می باشد. همچنین همان طور که از جدول پیداست اواپراتور، کندانسور و مبدل بازیاب کمترین مقدار فاکتور انرژی - اقتصادی را دارا می باشند. مقادیر به دست آمده برای اجزای ذکر شده به این معنی است که قیمت انرژی بر قیمت ابتدایی غالب بوده که باعث کاهش فاکتور انرژی - اقتصادی می شود. در مورد چنین اجزایی در سیکل، افزایش قیمت ابتدایی به منظور کاهش مقدار تخریب انرژی توصیه میشود. این مورد در مبدل های حرارتی به وسیله افزایش مساحت مبدل حرارتی که منجر به افزایش قیمت ابتدایی آن می شود و از سوی دیگر کاهش اختلاف

مورد نظر دارد. در انتها قابل ذکر است که مقدار کلی فاکتور انرژی - اقتصادی برای سیکل ترکیبی ۲۴/۹ درصد می باشد. به کاهش هزینه تخریب انرژی و افزایش هزینه ابتدایی سیستم می شود، عملکرد سیستم را از منظر انرژی - اقتصادی بهبود می بخشد.

سیکل گاز طبیعی نشان دهنده این موضوع است که سیکل گاز طبیعی از این منظر عملکرد بهتری نسبت به سیکل این مقدار نشان میدهد که ۷۵/۱ درصد از نرخ هزینه سیستم در اثر نرخ هزینه متناظر با تخریب انرژی می باشد، در نتیجه به کار بردن اجزای با قیمت بالاتر که منجر

جدول (۵) نتایج انرژی - اقتصادی سیکل ترکیبی

دستگاه	هزینه واحد انرژی الکتریکی تولید شده	هزینه تخریب انرژی	هزینه تولید توان	هزینه های اولیه	فاکتور انرژی - اقتصادی
کلکتور	۴۵۲/۳	۲۶۳/۳۵	۱۷۵/۴	۴۰۶/۳	۰/۳۹۴۷
اوپراتور	۱۷/۲۴۵	۹۴/۶	۳/۷۸۹	۹۸/۴۲	۰/۰۲۶۵
توربین ۱	۷۵/۰۷۴	۶۹/۸۹	۴۱/۲۱	۱۰۴/۱۵	۰/۳۵۶۸
بازیاب	۳۰۳/۱۴۲	۵۱/۱۱	۰/۵۲۹۶	۷/۴۱	۰/۰۱۱۲۵
کندانسور	۱۱۸/۵۲	۲۵۵/۱۵	۱/۷۸۷	۲۵۱/۲۵	۰/۲۷۵۸
پمپ ۱	۱۲۰/۳۴۶	۱/۵۶۸	۰/۴۲۸	۱/۸۷۵	۰/۲۵۳۶
توربین ۲	۲۱/۲۲۸	۳۸/۷۴	۵۱/۲۴	۹۱/۲۲	۰/۵۲۲۶
پمپ ۲	۱۳۸/۱۵۲	۱۰/۲۵	۲/۲۵۸	۱۳/۵۳۷	۰/۲۱۷۸

و در آخر به منظور بررسی عملکرد کاهش آلاینده‌گی سیستم به این نتیجه دست یافتیم که پیش از استفاده از پنل های خورشیدی، میزان انتشار آلاینده ها برابر با ۲۰۰۴۱ ppm بوده که پس از استفاده از پنل خورشیدی این مقدار به ۱۷۵۵۶ ppm شده است. در ادامه به بررسی نقش استفاده از بام سبز در کاهش مصرف انرژی ساختمان و هزینه های مربوطه پرداخته می-شود. تحقیقات گوناگونی در سراسر دنیا پیرامون نحوه ی تأثیر بام سبز بر مصرف انرژی ساختمان انجام شده است. در این مطالعات، ساختمان های مختلفی در شهرهای دنیا در نظر گرفته شده است. به منظور محاسبه ی مقدار انرژی صرفه جویی شده، با توجه به مطالعات ذکر شده در بالا که این عدد را بسته به متغیرهای ورودی بین ۶۲/۲ تا ۳/۱ کیلووات ساعت بر مترمربع سال به دست آورده اند، از الگوریتم

محاسبه ی این برنامه استفاده می شود. با توجه به اینکه تأثیر بام سبز را در یک ساختمان خاص بررسی کرده اند، شرایط گوناگونی را برای آن در نظر گرفته اند و پارامترهای متنوعی را به عنوان متغیر مد نظر قرار داده اند، از جمله شاخص سطح برگ، ضخامت خاک، رطوبت خاک و غیره. اما با توجه به این که در تحقیق پیش رو، تأثیر بام سبز بر منطقه ی تهران بررسی می شود، نمیتوان تمامی پارامترها را به عنوان متغیر در نظر گرفت و لذا با توجه به مطالعات انجام شده، یک حداقل و میانگینی برای آنها در نظر گرفته میشود تا تخمین خوبی از مقدار انرژی صرفه جویی شده در ساختمان مربوطه به دست بیاید. با استفاده از پیش فرض های برنامه برای ساختمان، و یادآوری این نکته که تغییرات مصرف انرژی در ساختمان در صورت استفاده از بام سبز مورد نظر است، ویژگیهای بام سبز استفاده شده در مدل به این صورت خواهند بود [۳۰، ۳۱، ۳۲]:

مي گيرد. در اين پژوهش اين شاخص ۳ در نظر گرفته شده است.

- ضريب بازتاب برگ: اين پارامتر كسري از ميزان انعكاس تابش خورشيد توسط برگ گياه به كل تابش دريافتي ميباشد كه عددي بين ۰/۱ - ۰/۴ است. در اين پژوهش براساس گياه سدوم اين عدد ۰/۲۲ در نظر گرفته شده است.

- ضريب نشر برگ: نسبت تابش حرارتي سطح برگ گياه به تابش حرارتي جسم سياه ايده آل را مي گویند كه عددي بين ۰/۸ - ۱ مي باشد. در اين پژوهش اين عدد ۰/۹۵ در نظر گرفته شده است.

- حداقل مقاومت روزنه: اين پارامتر مقاومت گياه در برابر انتقال رطوبت را نشان مي دهد. به عبارت ديگر هرچه گياه مقاومت روزنه بيشتري داشته باشد تبخير و تعرق كمتری دارد. اين پارامتر عددي بين ۳۰۰-۵۰ را دربر مي گيرد كه در اين پژوهش اين عدد ۱۸۰ در نظر گرفته شده است.

- حداقل رطوبت حتمي خاک: اين پارامتر رطوبت خاک را نشان مي دهد كه رابطه ي مستقيمي با جنس خاک به خصوص تخريل دارد. در اين پژوهش با توجه به آب وهواي شهر تهران و نوع بام سبز و نوع گياه اين عدد ۰/۶ فرض شده است.

از اين رو پس از اعمال ضريب هاي فوق در مدل، توزيع بارهاي سرمايشي و گرمایشي ساختمان را در حالت هاي ساختمان پايه و استفاده از بام سبز ارائه مي شود كه اين موضوع در جدول (۶) ارائه شده است.

در مورد ضخامت خاک، اعداد گوناگوني مورد استفاده قرار گرفته است. در مطالعه ي مربوط به سنگاپور، از ضخامت ۱۰۰ تا ۹۰۰ ميلي متر، در مطالعات انجام شده در سه شهر آتن، لاروشل و استكهلم از ضخامت ۵۰ تا ۳۰۰ ميلي متری، و در تحقيق انجام گرفته در تایلند، از ضخامت ۱۰۰ و ۲۰۰ ميلي متری استفاده شده است. شاخص سطح برگ (LAI)، پارامتر ديگري است كه به عنوان متغير در اين مطالعات در نظر گرفته شده است. براي اين پارامتر، از مقادير ۰,۵ تا ۵ ميلي متر استفاده شده است. هم چنين براي رطوبت خاک، اغلب دو حالت خشك و مرطوب فرض شده است كه درصد رطوبت در حالت مرطوب، مقداري متغير در مطالعات گوناگون بوده است.

با توجه به اطلاعات فوق و مقادير به كار رفته در مطالعات مذکور، در اين پژوهش فرض مي شود از خاک خشك، با ضخامت ۱۰۰ ميلي متر و گياه سدوم با شاخص سطح برگ برابر ۳، استفاده شود و ۷۵٪ كل سطح بام توسط بام سبز پوشانده شود.

مهمترين پارامترهاي پيش فرض شده بام سبز در ساختمان مورد نظر شامل موارد زير مي باشد:

- ارتفاع گياه: اين پارامتر ميانه بين ارتفاع گياه به كار رفته در بام سبز را نمايش ميدهد كه براساس تجربيات مهندسين و گياه سدوم پيش فرض شده، معادل ۳۰ سانتي متر در نظر گرفته شده است.

- شاخص سطح برگ: نسبت سطح گياه به زميني كه توسط آن اشغال شده را مي گویند كه معمولا عددي بين ۵-۰/۵ را در بر

جدول (۶): توزيع بار سرمايش و گرمایش ساختمان در دو حالت پايه و بام سبز

ماه	بار سرمايش (كيلووات ساعت)	بار سرمايش (كيلووات ساعت)	در حالت پايه (كيلووات ساعت)	بارگرمایش (كيلووات ساعت)	بهبود مصرف انرژي (كيلووات ساعت)
Jan	۰	۰	۶۳۲۵	۵۱۲۴	۱۲۰۱
Feb	۰	۰	۴۸۶۹	۳۴۲۵	۱۴۴۴
Mar	۰	۰	۳۴۲۵	۲۲۴۵	۱۱۸۰
Apr	۰	۰	۰	۰	۰
May	۲۸۹	۵۹	۰	۰	۲۳۰
Jun	۱۳۵۹	۵۲۱	۰	۰	۸۳۸
July	۲۲۱۴	۱۲۷۸	۰	۰	۷۳۶
Aug	۱۵۲۸	۸۹۶	۰	۰	۶۳۲
Sep	۴۸۹	۲۲۵	۰	۰	۲۶۴
Oct	۰	۰	۳۰۹	۱۸۸	۱۲۱
Nov	۰	۰	۰	۱۴۲۶	۵۱۲

۱۰۸۳	۳۳۶۹	۴۴۵۲	۰	۰	Dec
------	------	------	---	---	-----

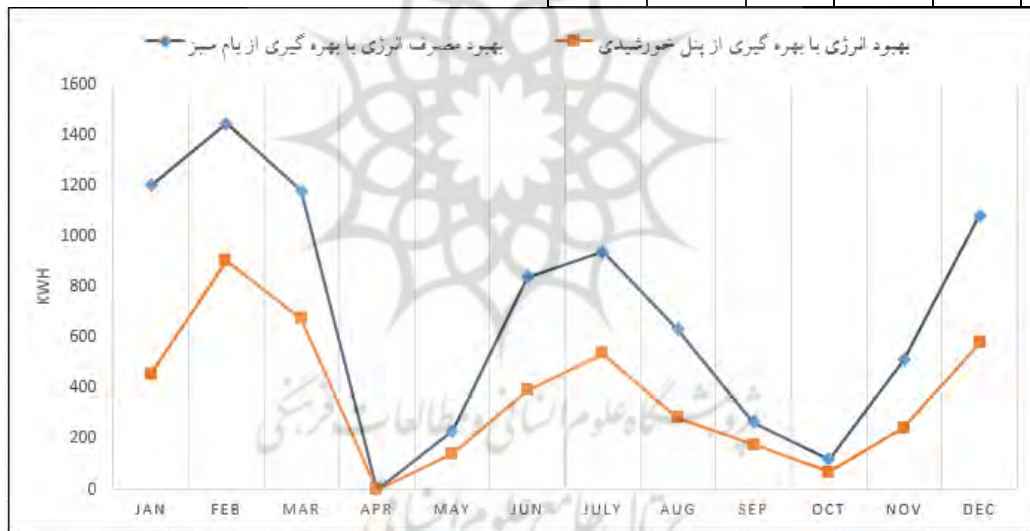
ساختمان پیشنهادی ارائه می دهیم. همچنین می توان نتایج جدول (۷) را در قالب نمودار مقایسه ای شکل (۴) ارائه نمود.

در آخر، در جدول (۷) مقایسه ای بین میزان صرفه جویی در مصرف انرژی در شرایط استفاده از پنل های خورشیدی و بام سبز از نقطه نظرهای بار سرمایش و گرمایش در



جدول (۷): مقایسه توزیع بار سرمایش و گرمایش ساختمان در حالت های پایه ، استفاده از پنل خورشیدی و بام سبز

ماه	بار سرمایش (کیلووات ساعت)	بار سرمایش (کیلووات ساعت)	بار سرمایش (کیلووات ساعت)	بار گرمایش (کیلووات ساعت)	بار گرمایش (کیلووات ساعت)	بار گرمایش (کیلووات ساعت)
Jan	۰	۰	۰	۵۸۶۹	۵۱۲۴	۶۳۲۵
Feb	۰	۰	۰	۳۹۶۴	۳۴۲۵	۴۸۶۹
Mar	۰	۰	۰	۲۷۴۹	۲۲۴۵	۳۴۲۵
Apr	۰	۰	۰	۰	۰	۰
May	۲۸۹	۵۹	۱۴۸	۲۴۱	۱۸۸	۳۰۹
Jun	۱۳۵۹	۵۲۱	۹۶۸	۱۶۹۶	۱۴۲۶	۱۹۳۸
July	۲۲۱۴	۱۲۷۸	۱۶۷۸	۳۸۷۴	۳۳۶۹	۴۴۵۲
Aug	۱۵۲۸	۸۹۶	۱۲۴۵	۱۸۳۹۳	۱۵۷۷۷	۲۱۳۱۸
Sep	۴۸۹	۲۲۵	۳۱۱	۰	۰	۰
Oct	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Nov	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Dec	۰	۰	۰	۰	۰	۰
سالیان	۵۸۷۹	۲۹۷۹	۴۳۵۰	۱۸۳۹۳	۱۵۷۷۷	۲۱۳۱۸



شکل (۳) مقایسه بهبود مصرف انرژی بر حسب کیلووات ساعت به تفکیک ماهیانه نسبت به هر دو روش

بر اساس نتایج بدست آمده از جدول (۷) می توان اذعان داشت که:

- تمامی اعداد نمودار مثبت هستند که این بیانگر عملکرد مناسب بام سبز در همه فصول و ماه های سال است.
- بیشترین مقدار انرژی صرفه جویی شده برای گرمایش با بهره گیری از بام سبز در ماه فوریه بوده و معادل ۱۴۴۴ کیلووات ساعت می باشد. این مقدار برای سرمایش در ماه ژولای رخ داده و برابر با ۹۳۶

کیلووات ساعت می باشد. اما با بهره گیری از پنل خورشیدی، میزان بهبودی مصرف انرژی در بخش سرمایش در همان ماه برابر با ۹۰۵ کیلووات ساعت و در بخش گرمایش برابر با ۵۳۶ کیلووات ساعت می باشد.

- هرچه اختلاف دمای داخل و خارج ساختمان بیشتر باشد، میزان انرژی صرفه جویی شده توسط بام سبز بیشتر می شود. بنابراین در ماه های خیلی سرد و یا

بیشتر خواهد بود.

ساعت و یا چیزی در حدود ۴۸۵,۳۳۲,۱۰۵ ریال می باشد که ۹۱ درصد آن در بردارنده هزینه سرمایه گذاری اولیه می باشد. قیمت برق تولیدی با انتخاب این سیستم با فرض بازگشت سرمایه بعد از ۲۰ سال برابر با ۴,۳۲۳,۵۰۵ ریال به ازای هر کیلو وات ساعت است. در سیاست انرژی کشور ایران قیمت خرید برق انرژی های تجدید پذیر طبق ماده ۶۲ بخشی از مقررات مالی دولت برابر است با ۴۵۰ ریال بر کیلو وات ساعت در ساعات کم بار و ۶۵۰ ریال بر کیلو وات ساعت در ساعات عادی و پیک می باشد لذا در این صورت با شبیه سازی و ترکیب دو شبیه سازی با یکدیگر در این پژوهش می توان هزینه ی ناشی از نصب این سیستم ها را کاهش داد و به مقدار مطلوب دست یافت. همچنین بر اساس نتایج بدست آمده از تحلیل سیستم های جایگزین، می توان نتیجه گرفت که در صورت استفاده از بام سبز، سالانه مقدار ۸۴۴۱ کیلووات ساعت انرژی صرفه جویی می شود که از این مقدار ۵۵۴۱ کیلووات مربوط به گرمایش و ۲۹۰۰ کیلووات آن در سرمایش، می باشد. در حالیکه، با بهره گیری از پنل خورشیدی، ۴۴۵۴ کیلووات ساعت است که سهم بخش گرمایش ۲۹۲۵ کیلووات ساعت، و سهم بخش سرمایش برابر با ۱۵۲۹ کیلووات ساعت است. بنابراین استفاده از بام سبز به میزان ۳۹۸۷ کیلووات ساعت یا به عبارتی ۸۹,۵ درصد بهتر از پنل خورشیدی در صرفه جویی سالانه بار ساختمان عمل می کند. از طرف دیگر با توجه به زیربنای مفید ساختمان، مقدار انرژی صرفه جویی شده به ازای هر متر مربع بام ساختمان در سال (۳۵۰ مترمربع)، حدوداً برابر ۲۳/۵۴ کیلووات ساعت برای استفاده از بام سبز و ۱۲/۷۲ کیلووات ساعت برای استفاده از پنل خورشیدی خواهد بود. همچنین، مقدار سهم صرفه جویی در بخش سرمایش، ۱۵/۹۴ کیلووات ساعت برای بام سبز و ۸/۳۵ کیلووات ساعت برای پنل خورشیدی و در بخش گرمایش، ۷/۶ کیلووات ساعت برای بام سبز و ۴/۳۶ کیلووات ساعت برای پنل خورشیدی می باشد.

خیلی گرم مقدار انرژی صرفه جویی شده بام سبز

۲- نتیجه گیری

طراحی مناسب مقاوم سازی انرژی ساختمان می تواند برای اطمینان از عملکرد زیاد انرژی، محیطی و اقتصادی به مرور زمان در طول مدت عمر ساختمان کافی نباشد. در این راستا، موضوع مهم خطر گرم شدن کره زمین ارائه شده است، که می تواند به شدت بر کارایی و اثربخشی اقدامات صرفه جویی در انرژی تأثیر بگذارد. بنابراین، باید سناریوهای مختلف اقلیمی برای یک طراحی مقاوم در برابر مقاوم سازی یا طراحی بهینه ساختمان مورد بررسی قرار گیرد، که نیاز به در نظر گرفتن چشم اندازهای مختلف اقتصادی نیز دارد. مقاله حاضر با استفاده از یک رویکرد چند هدفه، امکان شناسایی راه حل های مقاوم سازی بهینه از نظر هزینه و ارزیابی مقاومت در برابر سناریوهای مختلف آب و هوایی و اقتصادی را فراهم کرده است. در این کار، یک روش بهینه سازی چند هدفه برای بهبود بهره وری انرژی و راه حل مقرون به صرفه در ساختمان مسکونی با استفاده از یک روش بهینه سازی مبتنی بر شبیه سازی ارائه شده است. در مرحله اول، با استفاده از روش محدودیت اپسیلون در نرم افزار گمز، به طور همزمان هر دو عملکرد هدف مورد بررسی قرار گرفت. سپس با استفاده از الگوریتم ژنتیک، مصرف و بهینه سازی مشخصات ساختمان را برای دستیابی به اهداف مورد نظر، بهینه شد. با توجه به نتایج فعلی برای یک ساختمان معمولی در منطقه تهران، می بایست از توصیه های کلی برای طراحی ساختمان در این منطقه استفاده نمود: دیوارها و سقف های بیرونی باید دارای انتقال حرارت کم و ظرفیت گرمای زیاد و تأخیر حرارتی بالا باشند. همچنین می بایست دارای انتقال حرارت بالا و تأخیر کم باشد، پنجره ها نیز باید دارای انتقال حرارت کم باشند. علاوه بر این، کارهای آینده به جنبه های مهم کیفیت محیط داخلی (راحتی دیداری و شنیداری، کیفیت هوای داخل ساختمان و غیره) و همچنین تأثیر تغییرات آب و هوا بر عملکردهای هدف معطوف خواهد شد. همچنین پیشنهاد می شود تا با استفاده از مدل های متاهیوروستیک برای ارزیابی ساعت های هوشمند و بهبود کارایی بهینه سازی، زمان محاسباتی، کاهش یابد. از طرف دیگر بر اساس استفاده از پنل های خورشیدی در ساختمان به منظور تامین بخشی از سیستم ساختمان، هزینه ارائه سیستم ترکیبی با در نظر گیری تمامی ماژول ها و بخش ها برابر با ۵۸۰۰ دلار

۳- منابع و مراجع

- [1] Santamouris, M., Cooling the buildings – past, present and future, *Energy and Buildings*, Volume 128, 15 September 2016, Pages 617-638, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.07.034>.
- [2] Cartalis, C., Synodinou, A., Proedrou, M., Tsangrassoulis, A., Santamouris, M., Modifications in energy demand in urban areas as a result of climate changes: an assessment for the southeast Mediterranean region, *Energy Convers. Manage.*, 42, 2001, pp. 1647–1656.
- [3] Santamouris, M., On the energy impact of urban heat island and global warming on buildings, *Energy Build.*, 82, 2014, pp. 100–113.
- [4] Delgarm N, Sajadi B, Delgarm S, Kowsary F. A novel approach for the simulation-based optimization of the buildings energy consumption using NSGA-II: Case study in Iran. *Energy and Buildings*. 2016 Sep 1;127:552-60.
- [5] EU Commission and Parliament. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (EPBD Recast).
- [6] EU Commission. Commission Delegated Regulation (EU) No 244/2012 of 16 January 2012 supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings.
- [7] BPIE (2013), Implementing the cost-optimal methodology in EU countries, published in March 2013 by the Buildings Performance Institute Europe (BPIE). Available at http://bpie.eu/cost_optimal_methodology.html#UxS0s_15Ock.
- [8] Evins R. A review of computational optimisation methods applied to sustainable building design. *Renew Sustain Energy Rev* 2013;22:230–45.
- [9] Nguyen, AT, Reiter, S, Rigo, P., A review on simulation-based optimization methods applied to building performance analysis. *Appl Energy* 2014;113:1043–58.
- [10] Ascione, F., Bianco, N, De Stasio, C., Mauro, G.M., Vanoli GP., A new methodology for cost-optimal analysis by means of the multi-objective optimization of building energy performance. *Energy Build* 2015;88:78–90.
- [11] Hamdy, M., Nguyen, A.T., Hensen, J.L.M., A performance comparison of multi-objective optimization algorithms for solving nearly-zero-energy-building design problems, *Energy and Buildings* 121, 2016, pp. 57-71.
- [12] Karmellos, M., Kiprakis, A., Mavrotas, G., A multi-objective approach for optimal prioritization of energy efficiency measures in buildings: model, software and case studies. *Appl Energy* 2015;139:131–50.
- [13] Wright, J.A, Loosemore, H.A, Farmani, R. Optimization of building thermal design and control by multi-criterion genetic algorithm. *Energy Build* 2002;34 (9):959–72.
- [14] Magnier, L., Haghghat, F., Multiobjective optimization of building design using TRNSYS simulations, genetic algorithm, and artificial neural network. *Build Environ* 2010;45(3):739–46.

- [15] TRNSYS® A. Transient system simulation program. University of Wisconsin; 2000.
- [16] Hamdy, M., Hasan, A., Siren, K., Applying a multi-objective optimization approach for design of low-emission cost-effective dwellings. *Build Environ* 2011;46 (1):109–23.
- [17] IDA-ICE. IDA indoor climate and energy. <<http://www.equa.se/ice/intro.html>>.
- [18] Chantrelle, F.P., Lahmidi, H., Keilholz, W., Mankibi, M.E., Michel P., Development of a multicriteria tool for optimizing the renovation of buildings. *Appl Energy* 2011;88(4):1386–94.
- [19] Fan, Y., Xia, X., A multi-objective optimization model for energy-efficiency building envelope retrofitting plan with rooftop PV system installation and maintenance, *Applied Energy* 189, 2017, pp. 327-335.
- [20] Yang, M.D., Lin, M.D., Lin, Y.H., Tsai, K.T., Multiobjective optimization design of green building envelope material using a non-dominated sorting genetic algorithm, *Applied Thermal Engineering* 111, 2017, pp. 1255-1264.
- [21] Mostavi, E., Asadi, S., Boussaa, D., Development of a new methodology to optimize building life cycle cost, environmental impacts, and occupant satisfaction, *Energy* 121, 2017, pp. 606-615.
- [22] Echenagucia, T.M., Capozzoli, A., Cascone, Y., Sassone, M., The early design stage of a building envelope: multiobjective search through heating, cooling and lighting energy performance analysis. *Appl Energy* 2015;154:577–91.33
- [23] Diakaki, C., Grigoroudis, E., Kabelis N., Kolokotsa D., Kalaitzakis K., Stavrakakis G. A multi-objective decision model for the improvement of energy efficiency in buildings. *Energy* 2010;35(12):5483–96.
- [24] Delgarm, N., Sajadi, B., Kowsary, F., Delgarm, S., Multi-objective optimization of the building energy performance: a simulation-based approach by means of particle swarm optimization (PSO). *Appl Energy* 2016;170:293–303.
- [25] Zhang, A., Bokel, R., van den Dobbelen, A., Sun, Y., Huang, Q., Zhang, Q., Optimization of thermal and daylight performance of school buildings based on a multi-objective genetic algorithm in the cold climate of China, *Energy and Buildings* 139, 2017, pp. 371-384.
- [26] Li, K., Pan, L., Xue, W., Jiang, H., Mao, H., Multi-Objective Optimization for Energy Performance Improvement of Residential Buildings: A Comparative Study. *Energies* 2017, 10, 245. In press.
- [27] Kerdan, I.G., Raslan, R., Ruyssevelt, P., Morillón Gálvez, D., ExRET-Opt: An automated exergy/exergoeconomic simulation framework for building energy retrofit analysis and design optimisation, *Applied Energy* 192, 2017, pp. 33-58.
- [28] Salata, F., Golasi, I., Domestico, U., Banditelli, M., Lo Basso, G., Nastasi, B., de Lieto Vollaro, A., Heading towards the nZEB through CHP+HP systems. A comparison between retrofit solutions able to increase the energy performance for the heating and domestic hot water production in residential buildings, *Energy Conversion and Management* 138, 2017, pp. 61-76.
- [29] Brunelli, C., Castellani, F., Garinei, A., Biondi, L., Marconi, M., A Procedure to Perform Multi-Objective Optimization for Sustainable Design of Buildings, *Energies* 9(915), 2016, pp. 2-15
- [30] Baciu IR, Lupu ML, Maxineasa SG. Principles of Green Roofs Design. *Buletinul Institutului Politehnic din Iasi. Sectia Constructii, Arhitectura*. 2019 May 1;65(3):6375.
- [31] Semeraro T, Aretano R, Pomes A. Green Roof Technology as a Sustainable Strategy to Improve Water Urban Availability. *InIOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 2019 Feb (Vol. 471, No. 9, p. 092065). IOP Publishing.

[32] Köhler M, Kaiser D. Evidence of the Climate Mitigation Effect of Green Roofs. A 20-Year Weather Study on an Extensive Green Roof (EGR) in Northeast Germany. *Buildings*. 2019 Jul;9(7):157.



جدول پ ۱: موارد استفاده شده در ساختمان

نوع اندیس	توضیح نوع اندیس
i	نوع مصالح دیوار پیرامونی (۱، ۲، ...، ۲۱) به ترتیب نشان دهنده: بلوک لیکا، بلوک بتن سبک گازی، بلوک بتنی پلی استایرن، پتل سه بعدی، بلوک پوکه معدنی، آجر فشاری توپر، آجر فشاری توپر و عایق حرارتی پشم شیشه، آجر فشاری توپر و عایق حرارتی پلی استایرن، آجر فشاری توپر و عایق حرارتی پلی یورتان، آجر فشاری سوراخ دار، آجر فشاری سوراخ دار و عایق حرارتی پشم شیشه، آجر فشاری سوراخ دار و عایق حرارتی پلی استایرن، آجر فشاری سوراخ دار و عایق حرارتی پلی یورتان، بلوک سفالی، بلوک سفالی و عایق حرارتی پشم شیشه، بلوک سفالی و عایق حرارتی پلی استایرن، بلوک سفالی و عایق حرارتی پلی یورتان، بلوک سیمانی، بلوک سیمانی و عایق حرارتی پشم شیشه، بلوک سیمانی و عایق حرارتی پلی استایرن، بلوک سیمانی و عایق حرارتی پلی یورتان است).
j	نوع مصالح سقف (۱، ۲، ...، ۱۰، ۱۱، ۱۲) به ترتیب نشان دهنده استفاده از تیرچه بلوک پلی استایرن، دال بتنی عایق بندی شده، تیرچه بلوک سفالی، تیرچه بلوک سفالی و عایق حرارتی پشم شیشه، تیرچه بلوک سفالی و عایق حرارتی پلی استایرن، تیرچه بلوک سفالی و عایق حرارتی پلی یورتان، تیرچه بلوک سیمانی، تیرچه بلوک سیمانی و عایق حرارتی پشم شیشه، تیرچه بلوک سیمانی و عایق حرارتی پلی استایرن، تیرچه بلوک سیمانی و عایق حرارتی پلی یورتان، کامپوزیت و کرومیت، کامپوزیت و عایق حرارتی پشم شیشه، کامپوزیت و کرومیت و عایق حرارتی پلی استایرن، عرشه فولادی، عرشه فولادی و عایق حرارتی پشم شیشه، عرشه فولادی و عایق حرارتی پلی استایرن، عرشه فولادی و عایق حرارتی پلی یورتان در ساخت سقف است).
k	نوع پنجره (۶، ۱، ۲، ...، k) به ترتیب نشان دهنده استفاده از پنجره تک جداره UPVC، تک جداره آلومینیومی، دو جداره UPVC، دو جداره آلومینیومی، سه جداره UPVC و سه جداره آلومینیومی است).
m	نوع سیستم سرمایشی (۴، ۱، ۲، ...، m) به ترتیب نشان دهنده استفاده از چیلر تراکمی، پمپ حرارتی، چیلر جذبی و چیلر جذبی خورشیدی است).
n	نوع سیستم گرمایشی (۵، ۱، ۲، ...، n) به ترتیب نشان دهنده استفاده از دیگ آب گرم، دیگ آب گرم خورشیدی، پکیج آب گرم منفرد، پکیج آب گرم منفرد خورشیدی و پمپ حرارتی است).
z	سلول حرارتی مربوط به سیستم تهویه مطبوع (۳، ۲، ۱) به ترتیب نشان دهنده استفاده از سلول خورشیدی برای چیلر جذبی، دیگ آب گرم و پکیج آب گرم منفرد است).

<p>نوع سیستم غیر فعال (M2) $r=1,2$ به ترتیب نشان دهنده استفاده از گلخانه خورشیدی در ضلع شرقی ساختمان، ضلع شمالی، ضلع جنوبی و ضلع غربی برای سیستم غیر فعال، استفاده از تیرچه بلوک پلی استایرن و بام سبز، دال بتنی عایق بندی شده و بام سبز، تیرچه بلوک سفالی و بام سبز، تیرچه بلوک سفالی و عایق حرارتی پلی یورتان و بام سبز، تیرچه بلوک سفالی و عایق حرارتی پلی یورتان و بام سبز، تیرچه بلوک سیمانی و عایق حرارتی پلی یورتان و بام سبز، تیرچه بلوک سیمانی و عایق حرارتی پلی یورتان و بام سبز، کامپوزیت و کرومیت و بام سبز، کامپوزیت و کرومیت و عایق حرارتی پشم شیشه و بام سبز، کامپوزیت و کرومیت و عایق حرارتی پلی استایرن و بام سبز، کامپوزیت و کرومیت و عایق حرارتی پلی یورتان و بام سبز، عرشه فولادی و بام سبز، عرشه فولادی و عایق حرارتی پشم شیشه و بام سبز، عرشه فولادی و عایق حرارتی پلی استایرن و بام سبز، عرشه فولادی و عایق حرارتی پلی یورتان و بام سبز برای سقف است.</p>	r
<p>تجهیزات فنکول مربوط به سیستم تهویه مطبوع ($p=1,2,3,4$) به ترتیب نشان دهنده استفاده از فن کوئل برای چیلر تراکمی، پمپ حرارتی جهت سرمایش و گرمایش، چیلر جذبی و چیلر جذبی خورشیدی است.</p>	p
<p>تجهیزات شوفاژ مربوط به سیستم تهویه مطبوع ($q=1,2$) به ترتیب نشان دهنده استفاده از شوفاژ برای پکیج آب گرم منفرد و پکیج آب گرم منفرد خورشیدی است.</p>	q

جدول پ ۲: انتقال حرارت U ، ظرفیت گرمایش Ct و تأخیر حرارتی t برای موارد مختلف دیواره های خارجی ، سقف ، دیوارهای داخلی و نوع کف اولین طبقه

متغیر طراحی	حالت	U (W/m ² /K)	C _t (kJ/m ² /K)	θ (hours)
دیوارهای خارجی	۱	۱.۹۹	۶۴.۳۲	۲.۷۵
	۲	۲.۰۹	۱۳۶.۰۶	۳.۳۸
	۳	۰.۹۳	۱۸۹.۳۴	۷.۳۸
	۴	۰.۸۸	۵۹.۲۱	۳.۶۵
	۵	۲.۷۸	۱۲۴.۹۵	۳.۰۶
	۶	۰.۸۷	۲۳۳.۳	۹.۷۱
	۷	۴.۳۲	۲۴۰	۲.۴
نوع سقف	۱	۳.۶۸	۱۹۵.۳۶	۲.۱۵
	۲	۲.۵۹	۹۰.۷۹	۱.۵۳
	۳	۲.۰۳	۳۸.۹۱	۱.۳۱
	۴	۲.۰۶	۲۱۶.۸۴	۴.۷۸
	۵	۰.۸۳	۲۱۷.۸۵	۹.۰۸
	۶	۰.۸۳	۳۹.۹۲	۲.۵۵
دیوارهای داخلی	۱	۱.۹۹	۶۴.۳۲	۲.۷۵
	۲	۲.۰۹	۱۳۶.۰۶	۳.۳۸
	۳	۰.۸۸	۵۹.۲۱	۳.۶۵

	۴	۲.۷۸	۱۲۴.۹۵	۳.۰۶
	۵	۴.۳۲	۲۴۰	۲.۴



نوع سقف اولین طبقه	۱	۴.۷۱	۲۵۶.۵۶	۲.۶۸
	۲	۲.۵۹	۲۱۳.۴۴	۴.۳۶
	۳	۰.۶۱	۲۵۸.۵۹	۱۲.۹۴



Multi-objective optimization of cost and energy of residential buildings in Iran

Seyed rouhollah alimohammadi^{1a}, maedeh sadeghpour haji*^{b1}, Gholamreza ghodrati amiri^{2c}
mohamad bagher nobakht haghghi^d

^a Department of Civil Engineering, Sari Branch, Islamic Azad University, sari, Iran, Rooh_35@yahoo.com

^{*b} Department of Civil Engineering, Qaemshahr Branch, Islamic Azad university, Qaemshahr, Iran,
maedeh.sadeghpour@qaemiau.ac.ir

^c School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran,
Iran, Ghodrati@iust.ac.ir

^d Professor and Head of Development, Financial and International Economics, Development and Future
Research Centre, Plan and Budget Organization, Tehran, Iran
, nobakht10853@gmail.com

ABSTRACT

Today, climate change and its move towards a gradual rise in global temperatures are of great concern and involve many aspects of people's lives. In the meantime, particular attention should be paid to the resistance of building energy design to global warming, because over time, its economic and effective actions can be greatly affected by climate change. In this regard, this paper addresses the problem of finding cost-effective energy solutions and evaluating their resistance to heating and cooling loads using a multi-objective approach. In this paper, two scenarios of using solar panels and green roofs to illustrate the extent to which each of these technologies can play a role in reducing energy consumption are also explored in this paper. The building will be fruitful from the standpoint of cooling and heating loads. This article describes the characteristics of a residential building in Tehran. The proposed method involves optimizing the energy of the entire building and replacing the energy systems (solar panels and green roofs) that ultimately determine the optimal building components. The results of alternative systems show that the use of green roofs has a higher impact on reducing the energy consumption of the building under study.

KEYWORDS

Residential Building - Energy - Cost - Alternative System - Green Roof

¹maedeh.sadeghpour@qaemiau.ac.ir