مقاله پژوهشی

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و چهارم، شماره سه، خرداد ماه ۱۴۰۱(۲۲۰-۲۰۵)

کاهش مصرف انرژی در ساختمان به وسیله بهینه سازی جدار سقف ؛ (نمونه موردی: ساختمان مسکونی سه طبقه در شهر شیراز)*

پری ناز کشتکاران [۱]

خسرو موحد [۲*]

khm@iaushiraz.ac.ir

زهرا برزگر مروستی [۳]

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۲/۱۸ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۹/۱۴**

چکیده

زمینه و هدف: جداره های ساختمان خارجی ترین پوسته بنا هستند که در معرض مستقیم هوا و تغییرات دما قرار دارند. لذا به لحاظ تبادل حرارت و کنترل مصرف انرژی ساختمان حایز اهمیت می باشند. جدار سقف ساختمان از جنبه تبادل حرارت، نسبت به سایر جداره های بنا از اهمیت بیشتری برخوردار است؛ چراکه به عنوان یک جداره وسیع افقی مساحت و زمان بیشتری را نسبت به سایرجدارها در معرض تابش خورشید و سایرعوامل جوی است؛ و تبادل حرارتی این جداره نسبت به سایر جداره های بنا بیشتر است. این مقاله با هدف کاهش انرژی مصرفی ساختمان در شهر شیراز به وسیله بهینه سازی جداره سقف ساختمان به دنبال پاسخ به این سوال است که: " بهینه ترین حالت آرایش مصالح و بهترین تکنیک غیر فعال سقف در راستای کاهش مصرف انرژی در اقلیم گرم و خشک شیرازکدام است و تا چه اندازه مصرف انرژی را کاهش خواهد داد؟ "

روش بررسی: روش تحقیق کمی با استفاده از نرم افزار شبیه ساز انرژی "انرژی پلاس" می باشد. این تحقیق در سال ۱۳۹۸ انجام شده و داده های آب و هوایی شهر شیراز در این بازه زمانی یکساله از سایت انرژی پلاس استخراج شده است. جهت محاسبه انرژی مصرفی بنا، ساختمان انتخابی در نرم افزار انرژی پلاس مدل سازی و جهت پیشنهاد بهینه ترین حالت متغیرهای سقف از الگوریتم ژنتیک استفاده گردید؛ تابع هدف این الگوریتم کمینه سازی مصرف انرژی ساختمان بوده است.

یافته ها: در این راستا متغیر های سقف ذیل سه دسته: سیستم غیر فعال انرژی، ویژگی های کالبدی سقف و موقعیت قرارگیری تعریف و روند بهینه سازی توسط الگوریتم ژنتیک و نرم افزار انرژی پلاس صورت گرفت.

---

* این مقاله برگرفته از رساله دکتری معماری نویسنده اول با عنوان "بهینه سازی جداره افقی (سقف) ساختمان با کمک الگوریتم ژنتیک در اقلیم گرم و خشک شهر شیراز"به راهنمایی نویسنده دوم و مشاوره نویسنده سوم در دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز می باشد.

۱- دکتری، گروه معماری، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

۲- دانشیار، گروه معماری، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران. *(مسوول مکاتبات)

۳- استادیار مدعو ، گروه معماری، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

بحث و نتیجه گیری: نهایتا مدل های بهینه آرایش مصالح سقف ساختمان مسکونی سه طبقه در شهر شیراز ارائه شد. محاسبات شبیه ساز انرژی ساختمان و خروجی تابع هدف الگوریتم ژنتیک نشان داد که بهینه ترین آرایش مصالح سقف مصرف انرژی ساختمان را به میزان ۹/۶ درصد کاهش میدهد؛ و تکنیک های بهینه طراحی سیستم غیر فعال انرژی شامل: بام سبز، عایق حرارتی، سقف کاذب، به ترتیب ۹/۱ ، ۱۳/۴و ۱۲/۶ درصد مصرف انرژی ساختمان را کاهش داده اند.

واژه های کلیدی: مصرف انرژی، سقف، بهینه سازی جداره، الگوریتم ژنتیک، انرژی پلاس.

J. Env. Sci. Tech., Vol 24, No. 3, June, 2022

Reducing Building Energy Consumption by Roof Envelope Optimization (Case Study: Three Floor Residential Building, Shiraz, Iran)*

Parinaz Keshtkaran [1]
Khosro Movahed [2 *]
khm@iaushiraz.ac.ir
Zahra Barzegar marvasti[3]

Admission Date:December 5, 2021 Date Received: May 7, 2020

Abstract

Background and Objective: Among the components of the building envelope, the roof section is the most important medium of energy loss, because, compared to vertical walls, a larger area of the rooftop is exposed to sunlight and atmospheric condition for a longer period, which results in greater heat exchange through this section. The goal of this research is to reduce the energy consumption of residential buildings in the city of Shiraz (Fars, Iran) through the optimization of their roof sections by answering the bellow question:

"What is the most optimal arrangement of materials and passive roof design technique for reducing energy consumption in this climate and how much will it reduce energy consumption?"

Material and Methodology: The purpose of the research, which is to identify the best combination of roof specifications and passive design methods for minimizing energy consumption in the buildings of the area of interest, achieved with help of the EnergyPlus simulation and a genetic algorithm developed in MATLAB.

Findings: The roof variables defined in three categories of the passive energy system, physical roof specifications, and positioning and the optimization carried out using the genetic algorithm and the EnergyPlus software.

Discussion and Conclusion: The outputs obtained from the simulation software and the objective function of the genetic algorithm showed that the roof optimization materials' arrangement could reduce the energy consumption of the building by 9.6%. and passive design techniques includes: green roof, insulation, double roof, reduce energy consumption by 9.1% , 13.4%, 12,6% respectively.

Key words: energy consumption, roof, optimization, genetic algorithm, E+.

---

* This article is extracted from the Ph.D. thesis entitled "Optimization the roof envelope in hot arid climate of Shiraz city by using the G.A" written by the first author under the supervision of the second author and the advisory of the third and fourth authors.

1- PhD. Architecture, Department of Architecture, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran.
2- Associate Professor of Architecture, Department of Architecture, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran. *(*Corresponding Author*)
3- Assistant Professor of Architecture, Department of Architecture, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran.

مقدمه

بخش انرژی در ایران به طور عمده متکی بر نفت و گاز است، و به علت توسعه صنعتی ایران در دهه گذشته مصرف نهایی انرژی افزایش داشته است و بدین سبب استفاده از منابع انرژی نو و پایدار در آینده نزدیک توصیه می شود(۱). سقف وسیع ترین جدار بنا برای هدایت مستقیم تابش خورشید است و مساحت و زمان بیشتری را نسبت به سایرجدارها در معرض تابش خورشید و سایرعوامل جوی است لذا از اهمیت خاصی در تبادل حرارتی برخوردار است(۲). سقف به تنهایی پنجاه درصد میزان گرما در ساختمانهای یک تا دو طبقه در فصل تابستان را به عهده دارد (3). لذا تعدیل تبادل حرارتی سقف ساختمان ضروری است، که با تغییر مصالح، تغییر پارامترهای فیزیکی جداره و عایق های حرارتی و همچنین استفاده و طراحی تکنیک های غیر فعال جهت جداره ها، می توان از طریق بهینه سازی جداره مصرف انرژی را کاهش داد(۴،۵). در این مقاله، ابتدا پیشینه و چهارچوب نظری پژوهش انجام شده است و در بخش نهایی ارزیابی انرژی ساختمان توسط نرم افزارشبیه ساز انرژی پلاس و بهینه سازی توسط الگوریتم ژنتیک بیان گردیده است.

مرور پیشینه تحقیق

تحقیقات انجام شده در زمینه صرفه جویی در مصرف انرژی از طریق بهینه سازی جداره های ساختمان و سقف را میتوان در پنج بخش اصلی : طراحی غیر فعال، صرفه جویی مصرف انرژی، مصرف انرژی، بهره وری اقتصادی و بهینه سازی بررسی کرد. جدول ۱ پژوهشگران متاخر را که تحقیقات جامع در این پنج بخش انجام داده اند را نشان می دهد. مرور سابقه تحقیق نشان داد که بحث بهینه سازی جداره های ساختمان از مباحث روز تحقیقات دنیا است که بیشترین تاثیر را در کاهش مصرف انرژی ساختمان نشان میدهد. توجه به این نکته حایز اهمیت است که در تحقیقات پیشین تاثیر عوامل کالبدی سقف ساختمان و سیستم های طراحی غیر فعال به صورت مجزا در هر پژوهش بررسی شده و پژوهشی که تاثیر همزمان تمام عوامل یاد شده را بررسی نماید انجام نشده است.

چارچوب نظری

ازآنجا که هر عنصر بنا که در ارتباط با هوای خارج ساختمان است میتواند در انتقال حرارت نقش موثر داشته باشد، مطالعه در خصوص ویژگی های فیزیکی، کالبدی، و یا شیمیایی مصالح این عناصر اهمیت پیدا می کند (۱۵). با مرور بر کاهش مصرف انرژی در ساختمان، سیستم های طراحی غیر فعال بام ساختمان به عنوان فنون کاهش مصرف انرژی در ساختمان بررسی گردید و سپس ارزیابی انرژی در ساختمان، چگونگی انجام آن و استفاده از شبیه سازهای انرژی بیان گردیده است. جهت گیری بنا، ویژگی بازشوها، عایق نما و جداره بنا، سیستم تهویه هوا، نوع مصالح و سیستم های غیر فعال طراحی باعث کاهش بار سرمایشی ساختمان میگردد(۴،۳). چنین به نظر میرسد که انتخاب مناسب نوع و ضخامت عایق حرارتی میتواند بیشترین تاثیر را بر کاهش بار سرمایشی ساختمان داشته باشد(۱۳،۱۶). در انتخاب سایر سیستم های غیر فعال طراحی نیز بایستی ابتدا مقررات محلی منطقه در نظر گرفته شود و سپس با توجه به اقلیم گرم و خشک منطقه مورد مطالعه و منابع آبی موجود، پیشنهاد گردد(۳).

طراحی سیستم های غیر فعال انرژی

نیازهای سرمایش و گرمایش در سیستم های غیر فعال ساختمانها به صورت طبیعی و همساز با اقلیم تامین می گردد(۱۷).این تکنیک ها می‌توانند موجب کاهش مصرف انرژی و افزایش آسایش حرارتی ساختمان شوند. نمونه‌هایی از این فنون غیر فعال که در ساختمان‌ها استفاده میشود شامل بام سبز(۱۱،۶)، استخر سقفی یا حوضچه بام(۳)، بام دو پوسته(۱۷-۱۹)، عایق (۹،۱۶)، مصالح تغییر فاز دهنده (PCM)، ذخیره انرژی گرمایی (TES) ، بادگیر ، ساختمان‌های زمین پناه، مبدل حرارتی زمین-هوا (EAHE) ، دیوار سبز و دیوار ترومب می‌باشند (۴).

جدول ۱- سوابق پژوهشی ادبیات موضوع

Table 1.Research background

محور پژوهش	پژوهشگران	موضوع پژوهش	روش تحلیل	سال	مکان
طراحی سیستم غیر فعال انرژی	رفاهی و همکاران(۶)	تاثیر بام سبز بر میزان مصرف انرژی ساختمان	شبیه ساز انرژی DesignBuilder	۲۰۱۵	ایران
	گودرزی و همکاران (۴)	تکنیک های غیر فعال ساختمان	روش تحلیل عددی	۲۰۱۷	ایران
	گونگ و همکاران(۷)	تاثیرات بهینه سازی ۷ گزینه طراحی غیر فعال	روش متعارف و روش فهرست بندی	۲۰۱۲	چین
	شریفی و همکاران(۳)	ویژگی انواع حوضچه های بام و تاثیر بر کاهش دمای فضای داخل	مقاله مروری	۲۰۱۵	-----
	فریس و همکاران(۸)	ارزیابی عملکرد پوسته ساختمان در ساختمانهای غیرفعال	مقاله مروری	۲۰۱۷	امارات
	کیناکلی و همکاران(۹)	ضخامت بهینه عایق حرارتی ساختمان	مقاله مروری	۲۰۱۲	ترکیه
	رامین و همکاران(۲)	تعیین ضخامت بهینه عایق حرارتی	تحلیل عددی	۲۰۱۶	ایران
	بو وهمکاران(۱۰)	مصرف انرژی جداره ساختمان	ارزیابی سیستماتیک و عملکرد حرارتی	۲۰۱۱	چین
	مردانی و همکاران(۲۶)	تحلیل اطلاعات پوسته ساختمان	مقاله مروری	۲۰۱۷	----
	محمودی و همکاران(۱۸)	تاثیر بام سبز بر خنک سازی فضا	نرم افزار تحلیلی انسیس	۱۳۹۱	ایران
مصرف انرژی	نصرالهی و همکاران(۱۲)	بررسی جریان هوا در فضای نماهای دو پوسته	تحلیل عددی و نرم افزار شبیه ساز CFD	۲۰۱۵	ایران
	فرحانیه و همکاران(۱۳)	تاثیر استفاده از عایق حرارتی بر کاهش مصرف انرژی	مدل انتگرالی	۲۰۰۶	ایران
	طاهری و همکاران(۱۴)	تاثیر جهت ساختمان بر میزان مصرف انرژی	مدلسازی کامپیوتری	۱۹۹۵	ایران
	گاگلیانو وهمکاران(۲۷)	تاثیر طراحی جداره ساختمان بر میزان ذخیره انرژی	ممیزی انرژی و نظر سنجی ترموگرافیک	۲۰۱۳	ایتالیا
	آدیتیا و همکاران(۱۶)	توسعه های اخیر در عایق های حرارتی و تحلیل کاهش اثرات مخرب زیست محیطی	مقاله مروری	۲۰۱۷	----
	محمدنژادو همکاران(۲۸)	سناریو انرژی و انرژی های نو	مقاله مروری	۲۰۱۱	ایران
	میرزایی و همکاران(۲۹)	کاهش آلودگی دی اکسید کربن از طریق صرفه جویی در مصرف انرژی	ابزار آنالیز سناریو و مدل دینامیکی	۲۰۱۵	ایران

				ارزیابی انرژی و شبیه ساز انرژی	
ایتالیا	۲۰۰۶	نرم افزار شبیه ساز EC501		نیاز انرژی ساختمان و عایق سازی جداره های ساختمان	لوابسی و همکاران(۳۰)
مدیترانه	۲۰۰۷	الگوریتم ژنتیک و ارزیابی حرارتی	بهره وری انرژی از طریق کنترل متغییرهای جداره ساختمان		زنود و همکاران(۳۱)
سوئد	۲۰۱۰	نرم افزار ENSYST	تاثیر عایق حرارتی در مصرف انرژی ساختمان		گوستاوسن و همکاران(۳۲)
یونان	۲۰۱۱	الگوریتم تحلیلی	تاثیر عایق حرارتی در مصرف انرژی ساختمان		الستارئوس و همکاران(۳۳)
تایوان	۲۰۱۱	نرم افزار شبیه ساز eQUEST	مصرف انرژی با متغییر های ساختار سقف و پنجره های شیشه ای		لای و همکاران(۳۴)
ایران	۲۰۱۵	بهینه سازی جستجوی متوالی	صرفه جویی انرژی از طریق جداره های ساختمان		شیرزادی و همکاران(۵)
—	۱۳۹۲	مدلسازی ریاضی	تاثیر رطوبت مصالح بر رفتار حرارتی جداره		امیدوارو همکاران (۳۵)
ایران	۱۳۹۲	نرم افزار EC9.5 و تحلیل سلسله مراتبی	بررسی میزان تلفش دریافتی جداره های ساختمان		برزگر و همکاران(۳۶)
ایران	۱۳۸۴	—	جداره مناسب پهنه های اقلیمی ایران		ظاهباز و همکاران(۳۷)
ایران	۱۳۸۹	نرم افزار شبیه ساز THERM5.2	بهینه سازی پنجره های ساختمان		میرهاشمی و همکاران(۳۸)
فنلاند	۲۰۰۸	نرم افزار شبیه ساز IDA ICE0.3 و الگوریتم ژنتیک	بهینه سازی ضخامت عایق دیوارهای خارجی		حسن و همکاران (۳۹)
مدیترانه	۲۰۰۷	الگوریتم ژنتیک	بهره وری انرژی از طریق کنترل متغییرهای جداره ساختمان		زنود (۳۱)
لبنان	۲۰۱۷	مقاله مروری	بهینه سازی ضخامت عایق سقف،نوع شیشه پنجره،نسبت پارشو به دیوار		طارکوس و همکاران(۴۲)
------	۲۰۱۶	مقاله مروری	روش های بهینه سازی ساختمان و شبیه سار انرژی		شی و همکاران(۴۱)
------	۲۰۱۸	بهینه سازی چند منظوره مبتنی بر شبیه ساز انرژی TRNSYS و الگوریتم ژنتیک	روش های بهینه سازی هندسه و پوسته ساختمان		خیری و همکاران(۴۳)
پرتغال	۲۰۱۲	الگوریتم ژنتیک، نرم افزار شبیه ساز انرژی E+	مواد جایگزین عایق حرارتی جداره بنا و انواع پنجره مختلف		اسدی و همکاران(۴۰)
پرتغال	۲۰۱۶	مدل بهینه سازی چند منظوره بر اساس الگوریتم جستجوی همسایگی			دلگرم و همکاران(۱۵)
آمریکا	۲۰۱۲	برنامه شبیه ساز کامپیوتری	بهینه سازی ابعاد پنجره،جهت ساختمان،ابعاد سایبان،مصالح دیوار		فسنقری و همکاران (۴۱)
ایران	۱۳۸۳		بررسی مصالح جداره ساختمان در راستای کاهش مصرف انرژی		ابراهیم پور و همکاران(۴۲)
			اندازه بهینه ضخامت عایق		

ارزیابی انرژی ساختمان و شبیه ساز انرژی

کارآترین ابزارها در زمینه ارزیابی رفتار انرژی ساختمان، نرم افزارهای شبیه سازانرژی هستند. این نرم افزارها عملکرد حرارتی و برودتی ساختمان تا حد ممکن نزدیک به واقعیت پیش بینی میکنند (۲۰).یک روش جدید از اوایل دهه ۱۹۹۰ میلادی توجه ویژه‌ای را به خود جلب کرده است که شبیه سازی انرژی ساختمان را با بهینه سازی ترکیب می‌کند. (۲۱). بهینه سازی توسط موتور بهینه سازی و شبیه ساز انرژی در شکل ۱ نشان داده شده است.

بهینه سازی و الگوریتم ژنتیک

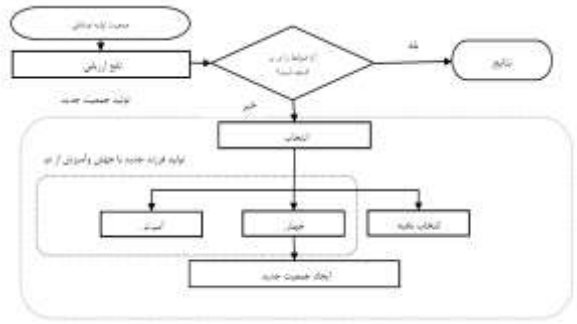
یکی از شیوه‌ای مؤثر برای ارزیابی گزینه‌های طراحی و ارایه راه حل در راستای تامین یک هدف معین (مانند: اقتصاد، محیط زیست، انرژی یا اکسرژی) بهینه سازی ساختمان می‌باشد؛ که به صورت توابع هدف (مانند: کمینه سازی مصرف انرژی، بیشینه سازی کارایی مصرف انرژی و اکسرژی) در شرایط و

شکل ۱- فلوچارت فنون بهینه سازی انرژی ساختمان (ماخذ: شای و همکاران،۲۰۱۶)

Figure 1. General procedure of optimization technique. (shi et al.2016)

جهت دستیابی به پاسخ سوال تحقیق از روش کمی و مدلسازی کامپیوتری استفاده شده است. روش جمع آوری اطلاعات این پژوهش به صورت کتابخانه ای و محاسبات مستخرج از نرم افزار شبیه ساز است. مطالعه جامعه آماری در سال ۱۳۹۸به روش

محدودیت‌های مختلف (مانند: آسایش حرارتی، قابلیت دسترسی به سطح، محدودیت‌های هزینه‌های سرمایه گذاری، مقررات حرارتی) مطرح می‌شوند(۲۲). الگوریتم ژنتیک[1]در بسیاری از پروژه های بهینه سازی معماری به عنوان یک شیوه بهینه سازی برای تحقیق هایی که تعداد متغیر ها زیاد است، استفاده میشود(۲۳). فرایند تکراری الگوریتم ژنتیک به ارایه راه حل‌های بهتر بر اساس آمیزش و تلاقی والدین با عملکرد بالاتر می پردازد. کدگذاری ژنتیکی اساسی افراد که موسوم به ژنوتیپ[2]است، اطلاعات رمزگذاری شده ویژگی‌ها و خصوصیات فرد موسوم به فنوتیپ[3]است. عملیات مربوط به رمزگذاری ژنتیکی والدین تولید نتاج برای نسل بعدی می‌کند. یک الگوریتم ژنتیکی پایه دارای[4] سه عملگر اصلی است که در هر تکرار انجام می‌شود: وراثت، کراس اوور یا آمیزش، موتاسیون یا جهش. فلوچارت کوتاه الگوریتم ژنتیک در شکل ۲ نشان داده شده است (۲۳).



شکل۲- فلوچارت ژنتیک الگوریتم (ماخذ: خیری،۲۰۱۸)

Figure 2. Flowchart of GA. (26)

میدانی انجام شد و یک ساختمان به عنوان ساختمان مرجع به شیوه غیر احتمالی هدفمند انتخاب گردید:

محیط پژوهش

مکان این پژوهش در شهر شیراز با مشخصات جغرافیایی بیست و نه درجه و سی ودو دقیقه شمالی و پنجاه و دو درجه و سی و شش

1- GA
2- Genotype
3- Phenotype
4- Selection, crossover, and mutation

دقیقه شرقی می باشد(29°32′N 52°36′E) و بر اساس تقسیم بندی اقلیمی کوپن در پهنه اقلیمی بی اس کاس (BSks) قرار گرفته است (۲۴). از آنجا که هر چه نسبت سطح سقف ساختمان به سطح جداره های عمودی ساختمان کمتر باشد میزان انتقال حرارت از سقف کمتر است. لذا انتخاب جامعه آماری این پژوهش ازساختمانهای کوتاه مرتبه بوده است. جهت این مورد منطقه قصرالدشت شیراز به دلیل ضوابط ساخت کوتاه مرتبه، همجواری های مناسب منازل مسکونی و تاثیر کمتر جزایر گرمایی انتخاب شد. منطقه مورد مطالعه بلوک شهری واقع در ضلع جنوبی خیابان ایمان شمالی حد فاصل میدان معلم و میدان قصرالدشت میباشد. شکل ۳ بافت مسکونی منطقه مورد مطالعه را نشان میدهد. از آنجا که بر اساس اطلاعات و آمار معاونت فنی شهرداری شیراز ضوابط ساخت و ساز شهرداری در این منطقه M2 یا دو طبقه روی همکف است، بدین ترتیب جامعه آماری سقف ساختمانهای سه طبقه در این منطقه از شهر شیراز معین شد.

مدل مرجع

یک ساختمان که در این پژوهش تحت عنوان ساختمان مرجع خوانده می شود، به روش غیر احتمالی هدفمند انتخاب و مدل سازی انرژی و محاسبات میزان مصرف انرژی توسط نرم افزار انرژی پلاس نسخه ۹/۱/۰ انجام گردید. مدل مرجع یک آپارتمان کوتاه مرتبه واقع در کوچه۲۸ خیابان ایمان شمالی منطقه قصرالدشت شیراز انتخاب شد.تعداد طبقات این ساختمان دو طبقه روی همکف با کاربری مسکونی و یک طبقه زیر زمین با کاربری پارکینگ می باشد. ساختمان شمالی جنوبی و دارای حیاط شمالی به مساحت ۱۰۸متر مربع است.مجموع زیر بنای طبقات ۸۰۱متر مربع و مساحت سقف۲۰۳متر مربع با احتساب خرپشته می باشد. سازه ساختمان اسکلت فلزی و بیشترین ارتفاع آن ۱۳متر است.

شکل ۳- محدوده مورد مطالعه (ماخذ: www.googleearth.com)

Figur 3. Study region

متغیر های پژوهش

متغیر های مستقل این تحقیق شامل پنج گروه به شرح زیر است:گروه اول:تکنیک های طراحی سیستم های غیر فعال انرژی شامل بام سبز،عایق حرارتی،سقف کاذب،حوضچه بام می باشد. گروه دوم:ویژگی های کالبدی سقف شامل شیب بام،رنگ پوشش خارجی بام،مصالح بام،جزییات اجرایی بام. گروه سوم:موقعیت قرار گیری شامل جهت گیری،محصوریت و سایه اندازی است. گروه چهارم: شرایط اقلیمی شهر شیراز شامل دمای هوای خشک،دمای نقطه شبنم،فشار هوا،سرعت باد،جهت باد،متوسط دمای روزانه، میزان تابش خورشید که ازسایت های معتبر هواشناسی استخراج گردیده است. گروه پنجم: مشخصات کالبدی بنا شامل ارتفاع سقف زیرین،نوع کاربری و فعالیت زیرین،نوع دستگاه های سرمایش و گرمایش که با توجه به نقشه ساختمان و مشاهده ساختمان استخراج گردیده است.متغیر های وابسته میزان مصرف انرژی ساختمان، بار حرارتی و برودتی ساختمان است که توسط نرم افزار شبیه ساز انرژی پلاس محاسبه گردیده است.

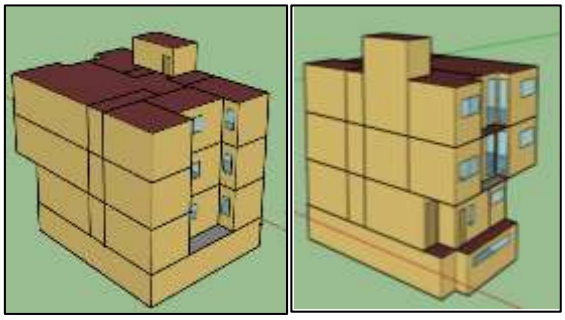
مدل سازی در شبیه ساز انرژی

بسیاری از متخصصان کشورهای مختلف از نرم افزار انرژی پلاس به جهت قدرتمند بودن آن برای تحلیل انرژی درساختمان استفاده می کنند(۲۵)، در این پژوهش از این نرم افزار جهت محاسبات انرژی ساختمان مرجع استفاده شد. ابتدا ساختمان مرجع انتخاب شده در نرم افزار اسکچاپ۲۰۱۷ توسط پلاگین اپن استودیو ۲,۹,۰مدلسازی شد(شکل ۴). مشخصات لایه های تشکیل دهنده جدار دیوار خارجی به ترتیب از خارج به داخل،سنگ نما،اندود سیمان،سفال،عایق حرارتی،اندود گچ میباشد. لایه های تشکیل

دهنده سقف مدل مرجع به ترتیب ازخارج به داخل، عایق رطوبتی،اندود سیمان،پوکه،بلوک بتنی،اندود گچ می باشد. در این حالت ضریب انتقال حرارت[1]سقف ۲/۱۵ وات بر متر مربع درجه کلوین[2]توسط نرم افزار انرژی پلاس محاسبه شده است. لایه های تشکیل دهنده کف مدل مرجع به ترتیب ازداخل به خارج: سرامیک،اندود سیمان،بتن، اندود گچ می باشد. در این حالت ضریب انتقال حرارت[3]کف ۱/۷ وات بر متر مربع درجه کلوین[4] توسط نرم افزار انرژی پلاس محاسبه شده است.

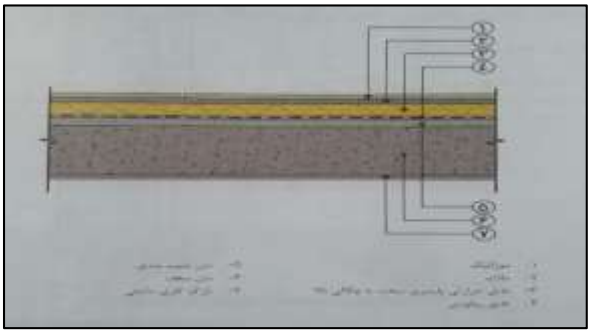
بهینه سازی توسط الگوریتم ژنتیک

جهت دستیابی به مدل بهینه در راستای به حداقل رساندن مصرف انرژی ساختمان از الگوریتم بهینه سازی ژنتیک[5]و نرم افزار متلب نسخه[6]۲۰۱۹ استفاده شد.این الگوریتم با واسطه برنامه جی ای پلاس[7]به ابزار شبیه ساز انرژی پلاس متصل شده به طوری که تابع هدف آن داده های خروجی نرم افزار شبیه ساز می باشد. جمعیت تعریف شده در این الگوریتم سه گروه ازمتغییر های مستقل میباشد.که برای تولید جمعیت جدید برای نسل بعدی از سه عملگر: انتخاب،آمیزش و جهش[8]استفاده میکند. فلوچارت الگوریتم ژنتیک در شکل ۲ نشان داده شده است. شکل ۵ ساختار سقف مسطح را در ۷ لایه نشان میدهد. مصالح هر لایه از مبحث ۱۹ مقررات ملی استخراج شده است. چنانچه گفته شد هر کدام از این مصالح در الگوریتم ژنتیک نقش یک ژن را دارا هستند با ویژگی خاص که در ترکیب با سایر متغییر ها افراد جامعه را تشکیل می دهند.



شکل ۴- مدلسازی ساختمان مرجع (راست: نمای جنوبی، چپ: نمای شمالی)

Figure 4. Reference model (Right: south view, Left north view)



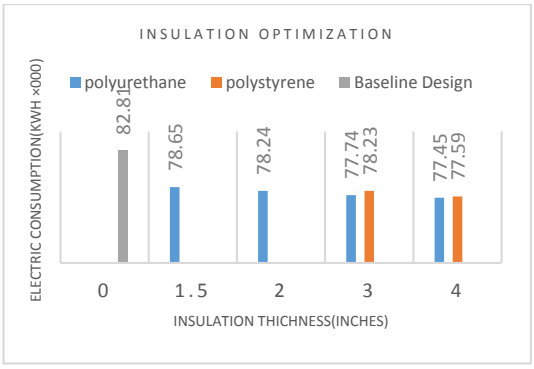
شکل ۵- جزییات اجرایی بام مسطح (ماخذ: راهنمای مبحث ۱۹، ۱۳۹۶)

Figure 5. Flat roof executive detail

نتایج و بحث

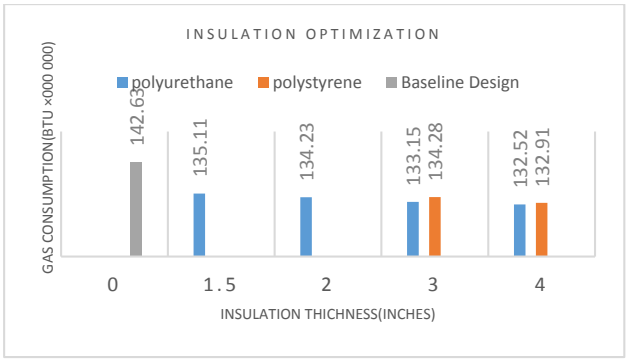
دیاگرام شکل۱و۲ مراحل انجام بهینه سازی توسط الگوریتم ژنتیک در برنامه متلب را نشان میدهد. این روند با انتخاب جمعیت اولیه آغاز و تا زمان دستیابی به اندازه بهینه تابع هدف ادامه خواهد داشت. و در هر گروه جمعیت تعریف شده اندازه بهینه آن با توجه به میزان مصرف انرژی نسبت به مدل مرجع نشان داده می شود. بهینه ترین عایق محاسبه شده جهت سقف ساختمان عایق پلی اورتان به ضخامت ۴ اینچ (۱۰/۱۶ سانتی متر) با کاهش ۱۰^۳× ۵/۳۶ کیلو وات ساعت انرژی الکتریکی و ۱۰^۶× ۱۰/۱۱ بی تی یو انرژی گاز نسبت به مدل مرجع می با شد. نمودارهای شکل ۶ و شکل ۷ نشان میدهد که عایق پلی اورتان با ضخامت های ۱/۵ و ۲ و ۳ و ۴ اینچ بهترین عملکرد را نسبت به سایر عایق های مطالعه شده داشته است.

1- U-value
2- wat/(m^2 k)
3- U-value
4- wat/(m^2 k)
5- GA
6- Matlab R2019a
7- JE+
8- selection, crossover, and mutation



شکل ۶-مصرف انرژی الکتریکی با عایق بهینه ساختمان

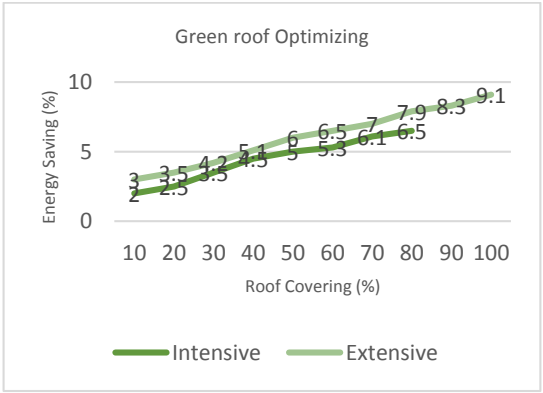
Figure 6. Electric consumption of optimized building insulation



شکل ۷- مصرف انرژی گازی با عایق بهینه ساختمان

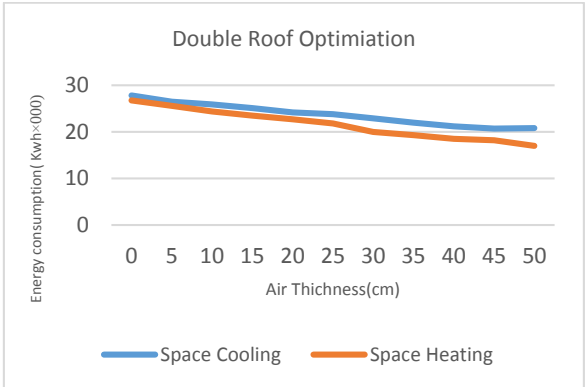
Figure 7. Gas consumption of optimized building insulation

بام سبز به عنوان یکی از تکنیک های طراحی غیر فعال کاهش ۲ تا ۱۰ درصد را در میزان مصرف انرژی نشان میدهد. میزان پوشش سقف با بام سبز گسترده از ده تا صد درصد با گام گسسته ۱۰ تعریف شد. با توجه به تحقیقات انجام شده(۶)، بام سبز گسترده با ضخامت بهینه(خاک) ۱۰ سانتی متر جهت شبیه ساز انرژی تعریف گردید. پوشش صد درصدی بام توسط بام سبز گسترده با کاهش ۹/۱ درصد مصرف انرژی بهینه ترین حالت میباشد. دیاگرام شکل۸ نشان میدهد که هر چه پوشش بام سبز بیشتر باشد میزان کاهش مصرف انرژی بیشتر است. طراحی سقف کاذب در ساختمان با ایجاد لایه هوا مقاومت حرارتی جدار را افزایش داده و نتیجتا میزان انتقال حرارت از جدار کاهش می یابد. از آنجا که ضخامت لایه هوا در این بخش تاثیر گذار است، لذا ضخامت عایق هوا به عنوان کد متغییر گسسته با گام ۵ سانتی متر تعریف و میزان تاثیر بر تابع هدف (مصرف انرژی) محاسبه شد. نمودار شکل ۹ کاهش مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی را با افزایش ضخامت لایه هوا نشان میدهد.



شکل ۸- میزان صرفه جویی انرژی در استفاده از بام سبز

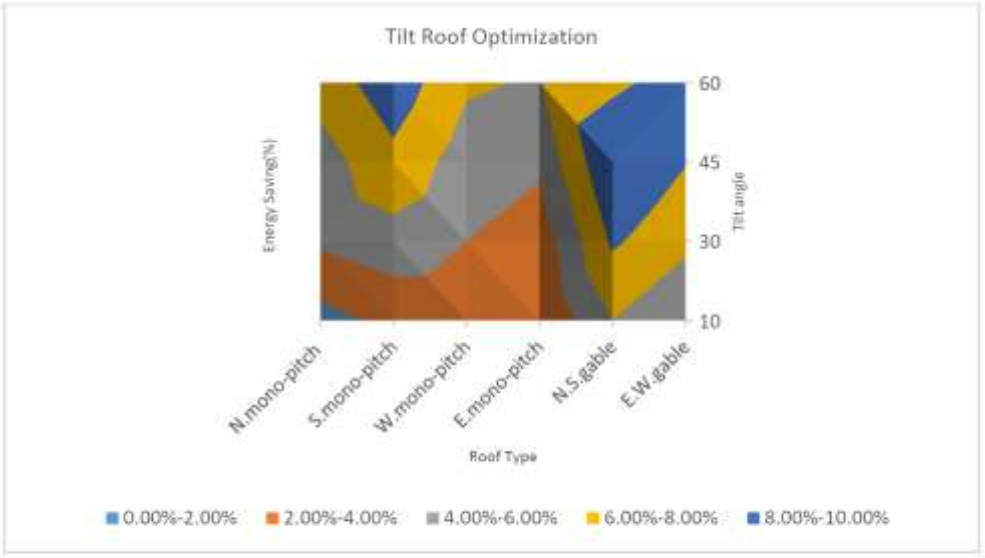
Figure 8. Energy saving of green roof design



شکل ۹- مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی با استفاده ازسقف کاذب

Figure 9. Heating and cooling energy consumption of double roof

شکل۱۰کاهش مصرف انرژی در سقف های شیبدار دو طرف یک طرف با زاویه از ۱۰ درجه تا ۶۰ درجه نسبت به افق را نشان میدهد. چنان که در شکل نشان داده شده است بیشترین درصد کاهش انرژی مصرفی مربوط به سقف شیبدار دوطرف با زاویه ۴۵ درجه و کشیدگی شمالی جنوبی با عدد ۱۰ درصد است.



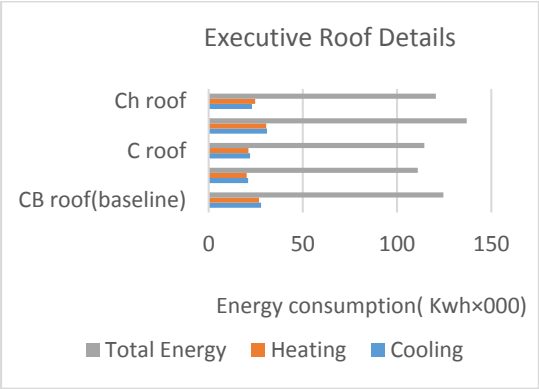
W. mono-pitch	بام شیبدار یک طرفه غربی	N. mono-pitch	بام شیبدار یک طرفه شمالی
E. mono-pitch	بام شیبدار یک طرفه شرقی	S. mono-pitch	بام شیبدار یک طرفه جنوبی
E.W. gable	بام شیبدار دو طرفه شرقی – غربی	N.S. gable	بام شیبدار دوطرفه شمالی –جنوبی

شکل۱۰- صرفه جویی در مصرف انرژی در بام شیبدار بهینه

Figure 10. Energy saving of optimized tilt roof

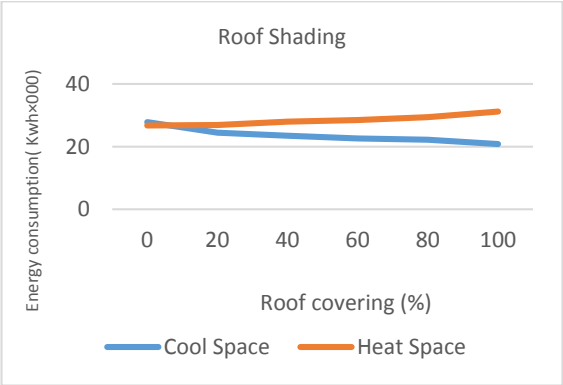
جهت ایجاد سایه بر بام ساختمان و بررسی میزان تاثیر آن بر مصرف انرژی ساختمان در بام تخت ارتفاع جان پناه افزایش داده شد همچنین پوشش افقی مانند سقف آلاچیق روی بام در نظر گرفته شد به طوری که درصدی از بام از ساعت ۱۱ صبح تا ۴ بعدازظهر در سایه با شد. شکل ۱۱ نتیجه محا سبات م صرف انرژی ساختمان با اضافه نمودن این تکنیک را نشان میدهد. نمودار این شکل نشان میدهد که هر چه در صد بیشتری از بام در سایه قرار می گیرد انرژی سرمایشی کاهش اما انرژی گرمایشی افزایش می یابد. بنابراین بهینه این ا ست که م ساحت حداکثر بام در تابستان در سایه و در زمستان م ساحت کمتری در سایه قرار گیرد. شکل ۱۲ مصرف انرژی ساختمان با پنج تیپ جزییات اجرایی سقف را نشان میدهد. مدل مرجع تیرچه بلوک با بلوک سفالی[1](CB roof)و تیرچه بلوک با بلوک پلی استایرن[2](PB roof)، سقف کامپوزیت[3](C roof)، سقف تیرچه فولادی(کرومیت)[4](Ch. roof)و سقف عرشه فولادی[5] (SD roof) ا ست. کمترین میزان م صرف انرژی سرمایشی و گرمایشی نسبت به مدل مرجع را به ترتیب سقف های تیرچه بلوک با بلوک پلی استایرن و سقف کامپوزیت دارند.مصرف انرژی در سقف با جزییات اجرایی عرشه فولادی بیشتر از مدل مرجع است.

1- Clay block beam roof
2- Polystyrene block beam roof
3- Composite roofing
4- Chromite roof
5- Steel deck roof



شکل ۱۱- مصرف انرژی بام در سایه

Figure 11. Energy consumption of roof shading



شکل ۱۲- میزان مصرف انرژی در جزئیات اجرایی سقف

Figure 12. Energy consumption of executive roof details

جدول ۲ مدلهای بهینه آرایش مصالح در لایه های مختلف سقف که تو سط الگوریتم ژنتیک انجام گردید را نـ شان میدهد. در این جدول شـش مدل بهینه آرایش مصـالح نشـان داده شـده اند به طوری که بیشـترین کاهش مصـرف انرژی را نسـبت به مصـرف انرژی ساختمان مرجع دارند. بهینه ترین آرایش مصالح سقف از خارج به داخل: کاشی سفالی، اندود سیمان، عایق پلی اورتان به ضخامت ۱۰ سانتی متر، قیر اصلاح شده، بتن متخلخل و پوشش نهایی سـقف از داخل پانل چوپ پنبه می باشـد که کاهش ۹/۶ درصد مصرف انرژی را نسبت به مدل مرجع نشان میدهد.

جدول ۲- مدل های بهینه آرایش مصالح سقف

Table 2. Roof materials' optimization

آرایش مصالح		مدل مرجع	مدل ۱	مدل ۲	مدل ۳	مدل ۴	مدل ۵	مدل ۶
لایه (از خارج به داخل)	۱	ایزوگام	کاشی سفال (چگال ۱۰۰۰)	بلوک رسی متراکم(خشت)	صفحه سیمانی سلولزی	کاشی	موزاییک	بلوک رسی متراکم (خشت)
	۲	اندود سیمان	اندود سیمان	اندود سیمان	اندود سیمان	اندود سیمان	اندود سیمان	اندود سیمان
	۳	----------	عایق پلی اورتان (۱۰ سانتی متر)	عایق پلی استایرن (۱۰سانتی متر)	عایق پلی اورتان (۷ سانتی متر)	عایق پلی استایرن (۷سانتی متر)	عایق پلی اورتان (۷ سانتی متر)	عایق پلی اورتان (۵ سانتی متر)
	۴	پوکه معدنی	قیراصلاح شده	قیراصلاح شده	قیراصلاح شده	قیراصلاح شده	قیراصلاح شده	قیراصلاح شده
	۵ و۶	بلوک بتنی	بتن متخلخل	بتن انوکلاو	بتن سبک دانه	بتن سبک دانه	بتن سبک دانه	بتن سبک دانه
	۷	اندود گچ	پانل چوب پنبه	گچ با الیاف معدنی	پانل الیاف چوب	گچ اندود با پرلیت	صفحات پیش ساخته گچی با روکش مقوا	صفحات سیمانی سلولزی
کل مصرف انرژی (Kwh ×000)		۱۲۴/۶۱	۱۱۲/۶۲	۱۱۴/۲	۱۱۵/۵۲	۱۱۵/۸۹	۱۱۷/۳۸	۱۱۸/۱۴
٪ صرفه جویی انرژی (به مدل مرجع)		۰	۹/۶	۸/۳۶	۷/۲	۷	۵/۸	۵/۲

نتیجه گیری

هدف این تحقیق کاهش انرژی مصرفی ساختمان در شهر شیراز بوسیله بهینه سازی جداره سقف ساختمان بود. جامعه آماری این پژوهش ساختمانهای آپارتمانی کوتاه مرتبه در شهرشیرازبود که مدل مرجع با روش نمونه گیری غیر احتمالی هدفمند انتخاب گردید و در نرم افزارانرژی پلاس شبیه سازی شد. سپس برنامه نویسی الگوریتم ژنتیک در نرم افزار متلب برای تعیین بهینه ترین

مدل سقف انجام شد. در بخش دوم متغییر های طراحی سقف موثر در میزان مصرف انرژی ساختمان استخراج شده از مطالعات کتابخانه ای بخش مبانی نظری تحقیق در سه گروه سیستمهای غیر فعال انرژی، ویژگی های کالبدی سقف، موقعیت قرارگیری در مدل مرجع اعمال و میزان کاهش مصرف انرژی بررسی شد. جهت انجام این عمل به جهت وسعت متغییر ها و تغییرپیوسته دامنه متغییر ها از الگوریتم ژنتیک استفاده و برنامه نویسی آن در نرم افزار متلب ۲۰۱۹ انجام گردید. محاسبه و بررسی تاثیر همزمان متغییرهای سقف بر میزان مصرف انرژی ساختمان توسط الگوریتم ژنتیک انجام شد و نتایج محاسبات مصرف انرژی نشان داد که بهینه ترین آرایش مصالح سقف از خارج به داخل: کاشی سفالی ، اندود سیمان، عایق پلی اورتان به ضخامت ۱۰ سانتی متر، قیر اصلاح شده، بتن متخلخل و پوشش نهایی سقف از داخل پانل چوب پنبه می باشد که کاهش ۹/۶ درصد مصرف انرژی را نسبت به مدل مرجع نشان میدهد. در بخش جزییات اجرایی بام با استفاده از تیرچه بلوک پلی استایرن مصرف انرژی ساختمان ۱۰/۹ درصد کاهش خواهد یافت. در بخش تکنیک های طراحی سیستم غیر فعال انرژی که شامل: بام سبز، عایق حرارتی، سقف کاذب می باشد. طراحی بهینه این سیستم ها، به ترتیب ۹/۱ ، ۱۳/۴و ۱۲/۶ درصد مصرف انرژی ساختمان را کاهش داده اند. که تکنیک عایق حرارتی بیشترین کاهش مصرف انرژی ساختمان را باعث میشود.

جهت پژوهش های آتی موارد زیر پیشنهاد می گردد: ۱- میزان بهره وری اقتصادی بهینه سازی سقف ساختمان بررسی گردد. ۲- پژوهش در زمینه زمان بازگشت هزینه این طرح انجام گیرد.

References

1. M. Mohammadnejad, M. Ghazvini, T.M.I. Mahlia , A. Andriyana. A review on energy scenario and sustainable energy in Iran.Renewable and Sustainable Energy Reviews. (2011) .15 ,4652– 4658
2. Ramin H, Hanafizadeh P, Akhavan-Behabadi MA. Determination of optimum insulation thickness in different wall orientations and locations in Iran. Adv Build Energy Res [Internet]. 2016;10(2):149–71. Available from: http://dx.doi.org/10.1080/17512549.2015.1079239
3. Sharifi a., Yamagata Y. Roof ponds as passive heating and cooling systems: A systematic review. Appl Energy. 2015;160:336–57.
4. Goudarzi H, Mostafaeipour A. Energy saving evaluation of passive systems for residential buildings in hot and dry regions. Renew Sustain Energy Rev [Internet]. 2017;68:432–46. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.002
5. Shirzadi M, Nagashzadeghan M. Building Energy Optimization using Sequential Search Approach for Different Climates of Iran. Int J Renew Energy Res. 2015;5(1):210–6.
6. Refahi AH, Talkhabi H. Investigating the effective factors on the reduction of energy consumption in residential buildings with green roofs. Renew Energy. 2015;80:595–603.
7. Gong X, Akashi Y, Sumiyoshi D. Optimization of passive design measures for residential buildings in different Chinese areas. Build Environ [Internet]. 2012;58:46–57. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.06.014
8. Friess WA, Rakhshan K. A review of passive envelope measures for improved building energy efficiency in the UAE. Renew Sustain Energy Rev [Internet]. 2017;72(November 2016):485–96. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.0

1.026
9. Kaynakli O. A review of the economical and optimum thermal insulation thickness for building applications. Renew Sustain Energy Rev. 2012;16(1):415–25.
10. Yu J, Tian L, Yang C, Xu X, Wang J. Optimum insulation thickness of residential roof with respect to solar-air degree-hours in hot summer and cold winter zone of china. Energy Build [Internet]. 2011;43(9):2304–13. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.05.012
11. Mahmoudi M, Pakari N, Bahrami H. The effect of green roof on reducing environment temperature. Baghe-Nazar. 2012; 9(20); 3-12. (In Persian)
12. Nasrollahi N, Salehi M. Performance enhancement of double skin facades in hot and dry climates using wind parameters. Renew Energy. 2015;83:1–12.
13. Farhanieh B, Sattari S. Simulation of energy saving in Iranian buildings using integrative modelling for insulation. Renew Energy. 2006; 31(4):417–25.
14. Taheri M, Shafie S. A case study on the reduction of energy use for the heating of buildings. Renew Energy. 1995;6(7):673–8.
15. 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. Appl Energy [Internet]. 2016;170:293–303. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.02.141.
16. Aditya L, Mahlia TMI, Rismanchi B, Ng HM, Hasan MH, Metselaar HSC, et al. A review on insulation materials for energy conservation
17. in buildings. Renew Sustain Energy Rev. 2017;73(August 2015):1352–65.
18. Eslami M. Architecture & Energy. Iranian Fuel Conservation Company. Tehran. 2004. (In Persian)
19. Masnadi M, Heidari SH. Roof simulation a method of detailed thermal survey in visual environmen. Honar-ha-ye-ziba. 2010. 2(42): 5-8. (In Persian)
20. Omar I, Virgone J, David D, Corre O Le. ScienceDirect ScienceDirect Energy Saving Potential with a Double-Skin Roof Ventilated by The 15th International Symposium on District Heating and Cooling Natural Convection in Djibouti Assessing the feasibility of using the Vergnault temperature function Abdoulkader for a long-term Ibrahim district Idriss b , heat demand forecast. Energy Procedia [Internet]. 2017;140:361–73.Available from: https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.149
21. Hensen J. Hensen, J.L.M. (2002). Simulation for performance based building and systems design: some issues and solution directions. Proceedings of the 6th International Conference on Design and Decisions Support Systems in Architecture and Urban Planning, 7-10 July, pp. 14. Ellecom: Eindhoven University of Technology. 2002;7–10.
22. Shi X, Tian Z, Chen W, Si B, Jin X. A review on building energy ef fi cient design optimization rom the perspective of architects. Renew Sustain Energy Rev [Internet]. 2016;65:872–84. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.07.050

23. Harkouss F, Fardoun F, Biwole P. Author ’ s Accepted Manuscript. J Build Eng [Internet]. 2017; Available from: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.12.003
24. Kheiri F. A review on optimization methods applied in energy-efficient building geometry and envelope design. Renew Sustain Energy Rev [Internet]. 2018;92(May 2017):897–920. Available from: https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.080
25. Soflaei F, Shokouhian M, Majid S, Shemirani M. Investigation of Iranian traditional courtyard as passive cooling strategy (a field study on BS climate). Int J Sustain Built Environ [Internet]. 2016;5(1):99–113. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.ijsbe.2015.12.001
26. Taheri H. Building energy simulation with Energy plus. Yzda.Tehran. 2017. (In Persian)
27. Mardani A, Zavadskas EK, Streimikiene D, Jusoh A, Khoshnoudi M. A comprehensive review of data envelopment analysis (DEA) approach in energy efficiency. Renew Sustain Energy Rev [Internet]. 2017;70(December):1298–322. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.030
28. Gagliano A, Nocera F, Patania F, Capizzi G. A case study of Energy Efficiency Retrofit in social housing units. Energy Procedia [Internet]. 2013;42:289–98. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2013.11.029
29. Mohammadnejad M, Ghazvini M, Mahlia TMI, Andriyana A. A review on energy scenario and sustainable energy in Iran. Renew Sustain Energy Rev [Internet]. 2011;15(9):4652–8. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.087
30. Mirzaei M, Bekri M. Energy consumption and CO2 emissions in Iran, 2025. Environ Res [Internet]. 2017;154(January):345–51. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2017.01.023
31. Lollini, Barozzi, Fasano, Meroni, Zinzi M. Optimisation of opaque components of the building envelope. Energy, economic and environmental issues. Build Environ. 2006;41(8):1001–13.
32. Znouda E, Ghrab-Morcos N, Hadj-Alouane A. Optimization of Mediterranean building design using genetic algorithms. Energy Build. 2007;39(2):148–53.
33. Gustavsson L, Joelsson A. Life cycle primary energy analysis of residential buildings. Energy Build. 2010;42(2):210–20.
34. Anastaselos D, Oxizidis S, Papadopoulos AM. Energy, environmental and economic optimization of thermal insulation solutions by means of an integrated decision support system. Energy Build. 2011;43(2–3):686–94.
35. Lai CM, Wang YH. Energy-saving potential of building envelope designs in residential houses in Taiwan. Energies. 2011;4(11):2061–76.
36. Omidvar A. Rosti B. Effect of moisture content of building materials on thermal performance of exterior walls. Modaress mechanical engineering.

2013; 13(10); 152-156. (In Persian)

37. Barzegar Z, Heidari SH. Investigation of the Effects of Building Envelopes Received Solar Radiation on Residential Energy Consumption: A Case of SW and SE Orientation in Shiraz. Honar-ha-ye-ziba. 2013, Volume 18, Issue 1 - Serial Number 1; Pages 45-56. (In Persian)
38. Tahbaz M. Jalilian SH. The Role of Building Envelope in Residents' Thermal Comfort. 4th International conference in Fuel Use Optimization in Bulding. Tehran. 2005; 1-18. (Persian)
39. Mirhashemi M, Shapoorian SM. A new method of optimizing single glazed windows. Honar-ha-ye- ziba. 2010. 2(43): 43-48. (In Persian)
40. Hasan A, Vuolle M, Sirén K. Minimisation of life cycle cost of a detached house using combined simulation and optimisation. Build Environ. 2008;43(12):2022–34.
41. Asadi E, da Silva MG, Antunes CH, Dias L. A multi-objective optimization model for building retrofit strategies using TRNSYS simulations, GenOpt and MATLAB. Build Environ [Internet]. 2012;56:370–8. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.04.005
42. Fesanghary M, Asadi S, Geem ZW. Design of low-emission and energy-efficient residential buildings using a multi-objective optimization algorithm. Build Environ [Internet]. 2012;49(1):245–50. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.09.030
43. Ebrahimpour A, Marefat M, Kari M. Optimization Of Thermal Insulation Of Residential Buldings In Climatic Condition Of Iran For Annual Thermal Loads. Modares Technical And Engineering. 2004 ; 17; 33 - 52. (In Persian)
44. Office of National Regulation and Building Control. Tehran. 2010. V19. (In Persian)