



مروری بر روش‌های بهینه‌سازی ساختمان‌های صفرانرژی

موژان پناهی وقارا^۱، علی‌بخش کسایان^{۲*}

۱- دانشجوی، مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشگاه تهران، دانشکده علوم و فنون نوین، تهران

۲- دانشیار، مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشگاه تهران، دانشکده علوم و فنون نوین، تهران

* نویسنده مسئول: akasa@ut.ac.ir

چکیده

امروزه سناریوی جهانی انرژی به‌شدت با مسئله‌ی کمبود سوخت‌های فسیلی روبه‌رو است و از طرفی تغییرات اقلیمی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی به موضوعی جهانی و نگران‌کننده تبدیل شده است. این واقعیت نیازمند تغییر نگرش به سمت استفاده هرچه بیشتر از انرژی‌های تجدیدپذیر است. از آنجایی که بخش ساختمانی حدود ۳۶٪ مصرف انرژی جهانی را شامل می‌شود؛ رویکرد ساختمان صفرانرژی امری مبرم و ضروری است. بهینه‌سازی ساختمان صفرانرژی با اهداف مختلف می‌تواند تاثیر چشمگیری در عملکرد ساختمان داشته باشد. در این مقاله، مروری بر روش‌های بهینه‌سازی ساختمان صفرانرژی انجام گرفت؛ و این روش‌ها در سه دسته‌بندی الگوریتم‌های فراابتکاری، روش‌های عددی و روش‌های مبتنی بر شبیه‌سازی ارائه شدند. الگوریتم‌های فراابتکاری به علت ساختار الگوریتمیک برای رسیدن به هدفی معین، در دو بخش تک‌هدفه و چندهدفه مطالعه شدند. الگوریتم ژنتیک چندهدفه با مرتب‌سازی نامغلوب به‌عنوان یکی از بهترین روش‌های بهینه‌سازی در این بخش شناسایی شد. متدولوژی روش‌های عددی نیز به تفصیل توضیح داده شدند. در نهایت در بخش بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی، روش‌های بهینه‌سازی در دو بخش کمینه کردن هزینه و کمینه کردن بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان مورد بررسی قرار گرفتند.

واژگان کلیدی: ساختمان صفرانرژی، الگوریتم فراابتکاری، الگوریتم ژنتیک چندمنظوره، روش‌های عددی، شبیه‌سازی.



The Optimization Methods for Zero Energy Buildings: A Review

Mouzhan Panahi vaghar¹, Alibakhsh Kasaeian^{1*}

1- Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran

Corresponding Author: akasa@ut.ac.ir *

Abstract

Nowadays, global energy scenario is faced with the loss of fossil fuel resources, strongly, and in other hand climate changes caused by fossil fuel consumption has become a concerning problem. This reality needs a new attitude into the using of the renewable energies as much as possible. Since the buildings consume thirty-six percent of the total global energy consumption, zero energy building approach is a vital matter in modern world. The optimization of the zero energy building with aiming at various objectives, can improve the building performance. In this paper, a review was carried out on various optimization methods for zero energy buildings, and these methods were presented in three groups: meta-heuristic algorithm, mathematical methods, and simulation-based methods. The meta-heuristic algorithms because of their algorithmic structure to achieve the certain objectives, were studied in single-objective and multi-objective processes. The non-dominated sorting genetic algorithm as one of the best methods was selected. The procedures of the mathematical methods were explained, in detail. Finally in the simulation-based optimization chapter, the optimization methods were studied in two sections of the minimizing the cost, and minimizing the thermal and cooling loads.

Keywords: Zero energy building, Meta-heuristic algorithm, Multi-objective Genetic algorithm, Mathematical methods, Simulation.



فهرست

۱. مقدمه
۲. الگوریتم‌های فراابتکاری جهت بهینه‌سازی ساختمان صفرانرژی
۳. روش‌های عددی جهت بهینه‌سازی ساختمان صفرانرژی
۴. روش‌های مبتنی بر شبیه‌سازی جهت بهینه‌سازی ساختمان صفرانرژی
۵. نتیجه‌گیری

۱- مقدمه

صدور گازهای گلخانه‌ای از سوخت‌های فسیلی در سراسر جهان منجر به افزایش گرمایش کره زمین شده است. تخمین زده شده است که حدود ۳۶٪ از استفاده کل سوخت‌های فسیلی در جهان توسط بخش ساختمانی است و همینطور حدود ۴۰٪ کل صدور CO₂ به صورت مستقیم و غیرمستقیم مربوط به بخش ساختمانی است [۱]. باید توجه داشت که اختلاف ۴ درصدی مربوط به انتشار گاز دی‌اکسیدکربن مربوط به مرحله‌ی بتن‌ریزی فرآیند ساخت است. بدین ترتیب علاقه به ساخت و ساز صفرانرژی در سراسر جهان در حال افزایش است. مزیت‌های ساختمان صفرانرژی شامل تاثیرات زیست‌محیطی کمتر، هزینه‌های نگهداری و عملیاتی پایین‌تر، تاب‌آوری بهتر در مقابل قطعی‌های برق و بلایای طبیعی و امنیت انرژی بالاتر است [۲].

در تعریف ساختمان صفرانرژی باید گفت که یک ساختمان صفرانرژی، ساختمانی با میزان تقاضای انرژی پایین است که در یک مقیاس سالانه، به اندازه‌ی میزان مصرف انرژی خود، انرژی تجدیدپذیر تولید می‌کند [۳]. اگر مقدار تولید انرژی تجدیدپذیر در این نوع ساختمانی کمتر از میزان تقاضای انرژی آن باشد، برای جبران این نیاز، به شبکه وصل می‌شود و انرژی الکتریکی مورد نیاز خود را خریداری می‌کند. این نوع ساختمان را نزدیک به صفرانرژی می‌نامند. در صورت تولید انرژی تجدیدپذیر افزون بر میزان نیاز ساختمان، مازاد انرژی در اختیار شبکه قرار می‌گیرد. این نوع ساختمان را صفرانرژی پلاس گویند [۲].

بهینه‌سازی ساختمان‌های صفرانرژی می‌تواند تاثیر بسیار چشمگیری روی کاهش مصرف انرژی و اعتلای هرچه بیشتر این صنعت داشته باشد. جهت بهینه‌سازی مسائل مختلف مربوط به این حوزه می‌توان از روش‌های متفاوتی استفاده نمود. در این مقاله، روش‌های فراابتکاری، عددی و روش‌های مبتنی بر شبیه‌سازی به کار گرفته شده توسط محققان مختلف مورد مطالعه قرار گرفتند.

۲- الگوریتم‌های فراابتکاری جهت بهینه‌سازی ساختمان صفرانرژی

یکی از روش‌های پرکاربرد در مسائل بهینه‌سازی، استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری است. الگوریتم‌های تکاملی و الگوریتم‌های مبتنی بر هوش جمعی به عنوان زیرشاخه‌هایی از الگوریتم‌های فراابتکاری می‌توانند برای مسائل تک‌هدفه و چندهدفه بهینه‌سازی ابزار بسیار مناسب و سریعی باشند.



۱-۲ - بهینه‌سازی تک‌هدفه

به‌طور عمومی اگر هدف مسئله‌ی بهینه‌سازی بیشینه و یا کمینه کردن تنها یک هدف باشد، بهینه‌سازی تک‌هدفه یا تک منظوره نامیده می‌شود. الگوریتم ژنتیک که به‌عنوان یکی از زیرشاخه‌های الگوریتم‌های تکاملی، با الهام از ایده تکامل در انتخاب طبیعی در تئوری چارلز داروین توسط هلاند [۴] در سال ۱۹۷۵ ارائه شد، در طیف وسیعی از مسائل بهینه‌سازی به‌کار گرفته شده و نتایج خوبی را حاصل کرده است. به‌عنوان نمونه در یک مطالعه توسط لو و همکاران [۵]، که به جستجوی ترکیب و سایزبندی بهینه برای سیستم تولید انرژی تجدیدپذیر در ساختمان صفرانرژی می‌پرداخت، الگوریتم ژنتیک به‌منظور یافتن بهترین راه‌حل به‌کار گرفته شد. تابع هدف مدنظر در این مطالعه، تابعی ترکیبی بود که بهترین عملکرد ساختمان را از طریق حداقل کردن هم‌زمان هزینه عملیاتی، انتشار کربن‌دی‌اکسید و تاثیر روی شبکه به دست می‌داد. در مطالعه‌ای دیگر در همان سال شو و همکاران [۶] حداقل کردن بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان را هدف قرار دادند، و بدین منظور از الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب برای یافتن موثرترین فاکتورهای طراحی ساختمان کمک گرفتند. در این مطالعه فاکتورهای مربوط به طراحی پنجره‌های ساختمان به‌عنوان موثرترین پارامترهای طراحی انتخاب شدند. این نوع از الگوریتم ژنتیک، عمدتاً بر پایه‌ی مکانیسم‌های مرتب‌سازی غیرمسلط و مرتب‌سازی فاصله جمعیت است که این موضوع، همگرایی راه‌حل‌ها را به سمت بهترین نقطه و وسعت آن‌ها را تضمین می‌کند. همچنین این الگوریتم به‌منظور دست یافتن به طراحی بهینه برای یک ساختمان سبز، جهت حداقل‌سازی شاخص انتقال حرارت کلی ساختمان توسط هارون و همکاران [۷] به‌کار گرفته شد. انتخاب درست موادی که در ساخت دیوارها و پنجره‌های ساختمان به‌کار می‌رود، متغیرهای طراحی این مطالعه بود. علاوه بر الگوریتم ژنتیک، روش‌های فراابتکاری دیگری در حل مسائل بهینه‌سازی تک‌هدفه مربوط به ساختمان‌های صفرانرژی مورد استفاده قرار گرفت. حداقل کردن مصرف انرژی ساختمان (بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان) که در مطالعه شو و همکاران نیز مدنظر قرار گرفته بود، در دستیابی به طراحی بهینه برای ساختمان صفرانرژی در مطالعه‌ای توسط لی و همکاران [۸] مورد رویکرد جدیدی قرار گرفت. در این رویکرد، آنالیز حساسیت و بهینه‌سازی پارامترهای طراحی ساختمان توسط الگوریتم ژنتیک انجام شد. این بهینه‌سازی در جهت حداقل شدن مصرف انرژی، هم‌زمان با حداقل شدن نامناسب بودن شرایط حرارتی ساختمان در زمستان، در یک منطقه نیمه‌گرمسیری بود. بیان‌تو و همکاران [۹] در سال ۲۰۱۷ با استفاده از الگوریتم‌های دوئل‌کننده، الگوریتم نهنگ قاتل و الگوریتم فرآیند جریان آب باران، به بهینه‌سازی بازدهی انرژی در طراحی ساختمان سبز پرداختند. ساختمان سبز می‌تواند انرژی داخل ساختمان به‌ویژه در استفاده از سیستم‌های سرمایشی را کاهش دهد. بار خارجی نقش مهمی در کاهش استفاده از سیستم سرمایشی دارد. بار خارجی تحت تاثیر عواملی مانند غلاف‌بندی دیوار، شیشه‌ها و کف است. انتخاب صحیح دیوار، نوع شیشه و مواد به‌کار رفته در کف برای کاهش بار خارجی بسیار مهم است. بنابراین این پارامترها به‌عنوان متغیرهای بهینه‌سازی برای بهینه کردن مصرف انرژی ساختمان برای حداکثر کردن بازگشت سرمایه انتخاب شدند.

۲-۲ - بهینه‌سازی چندهدفه

در مقابل بهینه‌سازی تک‌هدفه با الگوریتم‌های فراتکاملی جمعیت‌محور که به یافتن یک راه‌حل به‌خصوص در میان مجموعه‌ای راه‌حل‌ها می‌پردازد، بهینه‌سازی چندهدفه به‌دنبال یافتن مجموعه‌ای از راه‌حل‌های پرتو است. یک راه‌حل با روش پرتو، بهینه شناخته می‌شود اگر و تنها اگر توسط دیگر راه‌حل‌ها در فضای متغیرهای تصمیم‌گیری اشغال نشود. انتخاب الگوریتم بهینه‌سازی بستگی به خصوصیات دامنه‌ی مسئله‌ی بهینه‌سازی دارد؛ و با توجه به آن می‌توان از الگوریتم مناسب استفاده کرد [۱۰].

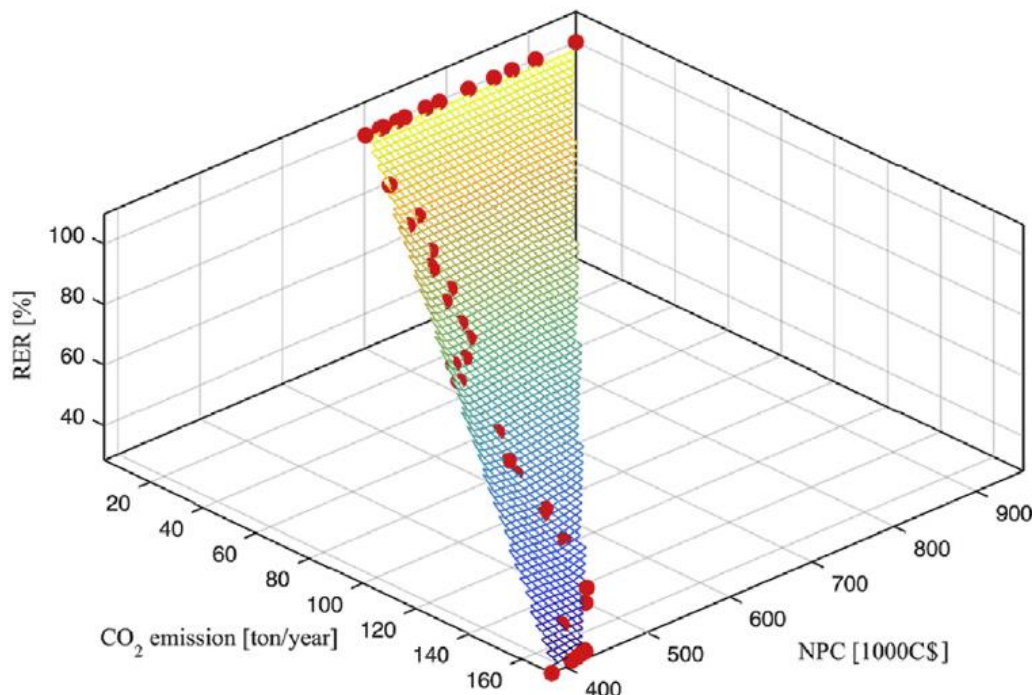
وانگ و همکاران [۱۱] در سال ۲۰۰۶ با به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک چندهدفه به بهینه‌سازی ساختمان سبز پرداختند. مدل



ساختمانی در نظر گرفته شده در این مطالعه روی سیستم پوششی ساختمان تمرکز داشت. که علت آن تاثیر این موضوع روی عملکرد زیست محیطی و اقتصادی ساختمان است. متغیرهای در نظر گرفته شده موارد زیر را شامل می‌شد: جهت‌گیری ساختمان، نوع پنجره، نسبت ابعاد پنجره به دیوار، نوع دیوار، نوع مترپال هر دیوار، نوع کف (نوع عایق‌بندی) و مترپال به کار رفته در کف. باگلیوو و همکاران [۱۲] در سال ۲۰۱۴ روشی را برای طراحی دیوارهای خارجی با عملکرد بالا در ساختمان‌های صفرانرژی برای آب‌وهوای گرم ارائه دادند. این طراحی بر استفاده از مترپال سازگار با محیط‌زیست تاکید داشت و متغیرهای فرآیند به ویژگی‌های حرارتی، ضخامت و پایداری اقتصادی هر لایه مربوط بودند. مجموعه‌ی ترکیب اولیه توسط الگوریتم ژنتیک چندمنظوره تحت فرآیند بهینه‌سازی قرار گرفت. یک مطالعه چندمنظوره دیگر، روی پارامترهای طراحی سیستم انرژی ساختمان صفرانرژی به منظور مینیمم کردن هزینه و ماکزیمم کردن بازدهی انرژی ساختمان تمرکز داشت. در این مطالعه هاسون و همکاران [۱۳] با مدل‌سازی سیستم انرژی و آنالیز انرژی‌اقتصادی روی آن، با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهینه‌سازی را به مقصود رساندند. شرفی و همکاران [۱۴] از طریق الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات چندهدفه، ساینبدی بهینه‌ای را برای سیستم تجدیدپذیر تامین انرژی به کار رفته در ساختمان‌های مسکونی ارائه دادند. معیارهای اقتصادی، زیست‌محیطی و هم‌چنین نرخ استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به‌عنوان توابه هدف این مطالعه در نظر گرفته شدند.

در شکل ۱. مجموعه راه‌حل‌های پرتو به‌دست‌آمده با در نظر گرفتن هر سه تابع هدف نشان داده شده است. همچنین در سال ۲۰۱۶ طراحی بهینه‌ای از پوشش ساختمان‌های سبز با استفاده از الگوریتم چندمنظوره‌ی ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب توسط یانگ و همکاران [۱۵] ارائه شد. این بهینه‌سازی به منظور دستیابی به یک طراحی که سه هدف را به دنبال داشت انجام گرفت؛ حداقل کردن هزینه ساخت پوشش ساختمان، حداقل کردن عملکرد انرژی پوشش ساختمان، جهت جلوگیری از هدر رفت انرژی و حداکثر کردن نرخ باز شدن پنجره، که می‌تواند منجر به دریافت انرژی خورشیدی بالا و همچنین تهویه مناسب برای ساختمان شود. جهت مقایسه الگوریتم‌های تکاملی چندمنظوره که برای بهینه‌سازی ساختمان‌های سبز به کار می‌روند، حمدی و همکاران [۱۶] عملکرد هفت الگوریتم کاربردی را جهت دست یافتن به مجموعه راه‌حل‌هایی برای طراحی بهینه ساختمان سبز مورد مقایسه قرار دادند. آسیونه و همکاران [۱۷] در سال ۲۰۱۷ با استفاده از روش بهینه‌سازی چندهدفه‌ی ژنتیک به بهینه‌سازی یک ساختمان دانشگاهی در ایتالیا پرداختند. بهینه‌سازی چندهدفه، هزینه، راحتی داخل ساختمان و بار گرمایشی و سرمایشی را در نظر می‌گرفت. و بهترین مشخصات جهت تکمیل ساختمان از جمله ویژگی‌های پوششی ساختمان (مانند انواع گچ‌ها و مواد پوششی به کار رفته در ساختمان، استفاده یا عدم استفاده از عایق حرارتی، انواع پنجره‌های انتخابی و ...)، سیستم اچ واک و تجهیز منبع انرژی با تجدیدپذیرها ارائه می‌داد.

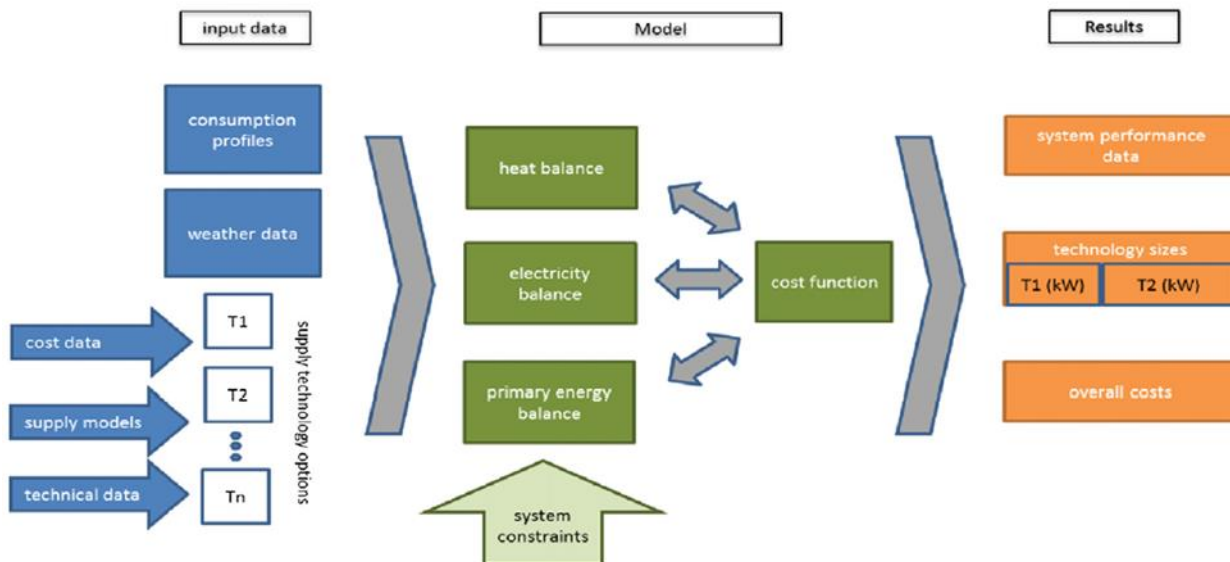
مطالعات زیادی نیز وجود دارند که برای حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه از الگوریتم‌های هیبریدی استفاده می‌کنند. ادغام کردن روش‌های بهینه‌سازی مختلف با یکدیگر، می‌تواند نقاط ضعف هر الگوریتم را با به کار گرفتن الگوریتم و یا روشی دیگر حذف کرده، و نتیجه بهتری را حاصل کند. برای مثال در مطالعه‌ای جهت مدیریت نیاز انرژی ساختمان توسط جوید و همکاران [۱۸]، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر آموزش و یادگیری، الگوریتم تکامل دیفرانسیلی تقویت شده و الگوریتم مبتنی بر آموزش و یادگیری دیفرانسیلی تقویت شده مورد استفاده قرار گرفتند. اهداف این مساله شامل مینیمم کردن هزینه الکتریسیته و شرایط نامناسب داخل ساختمان برای ساکنین و مینیمم کردن نرخ مصرف تا پیک متوسط بود.



شکل (۱) مجموعه راه‌حل‌های پرتو به‌دست آمده جهت سایزبندی بهینه سیستم تامین انرژی ساختمان صفرانرژی با توجه به سه تابع هدف در نظر گرفته شده [۱۴].

۳- روش‌های عددی جهت بهینه‌سازی ساختمان صفرانرژی

یکی از روش‌های بهینه‌سازی، استفاده از شیوه‌های عددی برای حل مسائل است. انواع زیادی از روش‌های عددی وجود دارد که می‌تواند به بهینه‌سازی مسائل مربوطه بپردازد. میلان و همکاران [۱۹] در سال ۲۰۱۲ یک مدل بهینه‌سازی هزینه برای طراحی سیستم‌های کاملاً تجدیدپذیر تامین انرژی ساختمان‌های مسکونی ارائه دادند. این مدل که با دریافت اطلاعات فنی و اقتصادی و فرمول‌بندی تجهیزات تامین انرژی و همچنین پروفایل مصرف انرژی و اطلاعات آب‌وهوایی، سایزبندی بهینه و حداقل هزینه کلی سیستم را ارائه می‌دهد، در شکل ۲ نشان داده شده است. ارائه دادن یک طرح بهینه برای سیستم انرژی ساختمان از آنجایی اهمیت پیدا می‌کند که هزینه‌های نصب این تجهیزات در مقایسه با سیستم‌های سنتی و معمول بالاتر است. بهینه‌سازی به روش عددی بر اساس روش برنامه‌نویسی خطی انجام گرفت. داگدوجیو و همکاران [۲۰] در سال ۲۰۱۲ روشی را برای مدل‌سازی و بهینه کردن یک سیستم هیبریدی تامین انرژی ساختمان سبز ارائه دادند. در این کار تحقیقاتی یک مدل بهینه‌سازی دینامیک ارائه شد که قادر بود تصمیمات مربوط به مدیریت عملیاتی تامین انرژی را انجام دهد. در کار صورت گرفته، کنترل بهینه سیستم کلی با توجه به نیازهای در حال تغییر ساختمان و دسترس‌پذیری منابع، صورت گرفت. سیستم هیبریدی مورد نظر متصل به شبکه بوده و قابلیت بهره‌برداری از منابع مختلف انرژی تجدیدپذیر را دارا بود و همچنین شامل سیستم‌های ذخیره انرژی جهت افزایش پایداری سیستم نیز بود. هدف بهینه‌سازی دینامیک با این روش، تامین مداوم انرژی مورد نیاز ساختمان (شامل تامین حرارتی، تامین الکتریکی و تامین آب خانگی) بود.



شکل (۲) شماتیک کلی از مدل بهینه‌سازی ارائه شده برای سیستم تامین انرژی یک ساختمان صفرانرژی [۱۹].

از آنجایی که روش‌های طراحی مرسوم می‌تواند به راحتی منجر به سیستم اورسایز شود و یا برای شرایط طراحی مختلف، عملکرد کافی نداشته باشد، هم‌چنین خیلی از مطالعات موجود روی بهینه‌سازی طراحی ساختمان‌های صفرانرژی بر پایه اطلاعات قطعی به دست آمده است؛ در مطالعه‌ی عددی دیگری جهت یافتن سایزبندی بهینه‌ی سیستم تامین انرژی تجدیدپذیر در ساختمان صفرانرژی توسط لو و همکاران [۲۱]، روشی بر پایه روش‌های انتشار عدم قطعیت مونت کارلو ارائه شد. مراحل بهینه‌سازی طراحی همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، به این صورت است که در مرحله‌ی اول عدم قطعیت پارامترهای ورودی (مانند تابش خورشید، سرعت باد، بار سرمایشی و دیگر بارهای انرژی) در یک فایل نمونه تولید شده توسط شبیه‌ساز مونت کارلو، مشخص می‌شود. در این مطالعه هر نمونه نشان‌دهنده‌ی پارامترهای متناظر در یک سال معمول از لحاظ هواشناسی است. بنابراین، فایل نمونه پارامترهای ورودی سال‌های متممادی را ذخیره می‌کند.

در مرحله‌ی دوم طیف سایز منابع انرژی تجدیدپذیر به منظور شبیه‌سازی تنظیم می‌شود و تعداد کلی گزینه‌های طراحی مشخص می‌شود. به منظور شبیه‌سازی تولید و مصرف الکتریسیته ساختمان، مدل منابع انرژی تجدیدپذیر و مدل سیستم انرژی ساختمان در متلب گسترش داده می‌شوند در حالی که مدل بار سرمایشی ساختمان در ترنسپس ساخته می‌شود. در مرحله‌ی سوم، نرخ عدم هماهنگی بین تولید و مصرف الکتریسیته در هر سال می‌تواند با توجه به گزینه‌های طراحی موجود، محاسبه شود. اگر نرخ عدم هماهنگی برابر یا بالاتر از صفر باشد، این سال به عنوان یک سال مثبت ذخیره می‌شود، در غیر این صورت به عنوان یک سال منفی ذخیره می‌شود. چن و همکاران [۲۲] در سال ۲۰۱۸، روشی برای طراحی بهینه سیستم تجدیدپذیر هیبریدی تامین انرژی ساختمان، با استفاده از روش عددی ارائه دادند. انتخاب تکنولوژی‌های مناسب، بهینه کردن سایز اجزاء و تغییر دادن استراتژی‌های مدیریت تامین انرژی متغیرهای این روش به حساب می‌آمدند.



۴- روش‌های مبتنی بر شبیه‌سازی جهت بهینه‌سازی ساختمان صفرانرژی

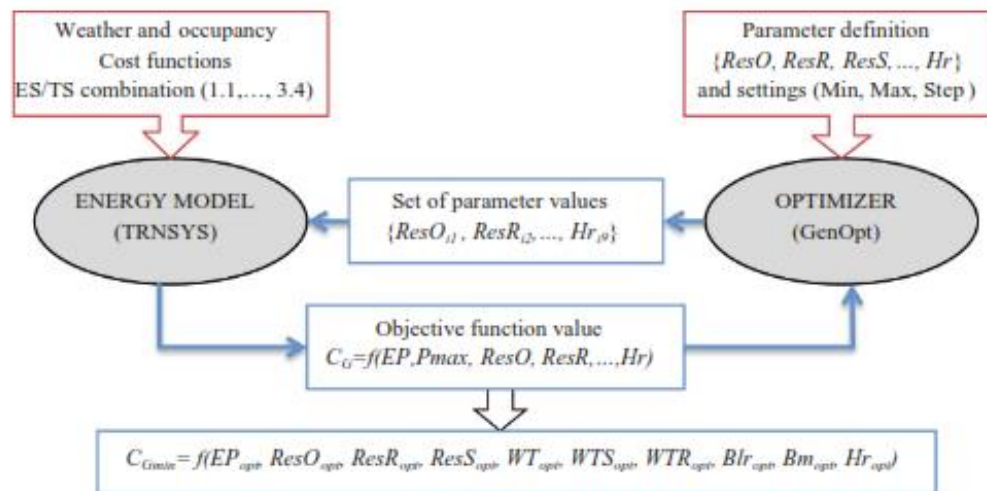
یکی از روش‌های به‌کارگیری شده برای بهینه‌سازی ساختمان‌های صفرانرژی، بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی است. به این صورت که شبیه‌سازی مدل ساختمانی مدنظر با نرم‌افزارهای مربوطه از قبیل انرژی‌پلاس، ترنسیس و ... انجام می‌گیرد. سپس با توجه به هدف بهینه‌سازی، تابع هدف به‌دست آمده و عملیات بهینه‌سازی انجام می‌گیرد. فرآیندی تکراری به‌منظور رسیدن به نقطه بهینه مدنظر بین پارامترهای ورودی به نرم‌افزار شبیه‌سازی و اطلاعات به‌دست‌آمده از نرم‌افزار بهینه‌سازی صورت می‌پذیرد. در برخی از نرم‌افزارهای بهینه‌سازی، روش‌های بهینه‌سازی می‌توانند از بین الگوریتم‌های تکاملی مانند ازدحام مورچگان، الگوریتم ژنتیک و ... با توجه به نوع عملیات، انتخاب شود. در این فصل، بهینه‌سازی در دو بخش بهینه‌سازی با هدف کمینه کردن هزینه و بهینه‌سازی با هدف کمینه مردن بار گرمایشی و سرمایشی بررسی شده است.

۴-۱- بهینه‌سازی هزینه

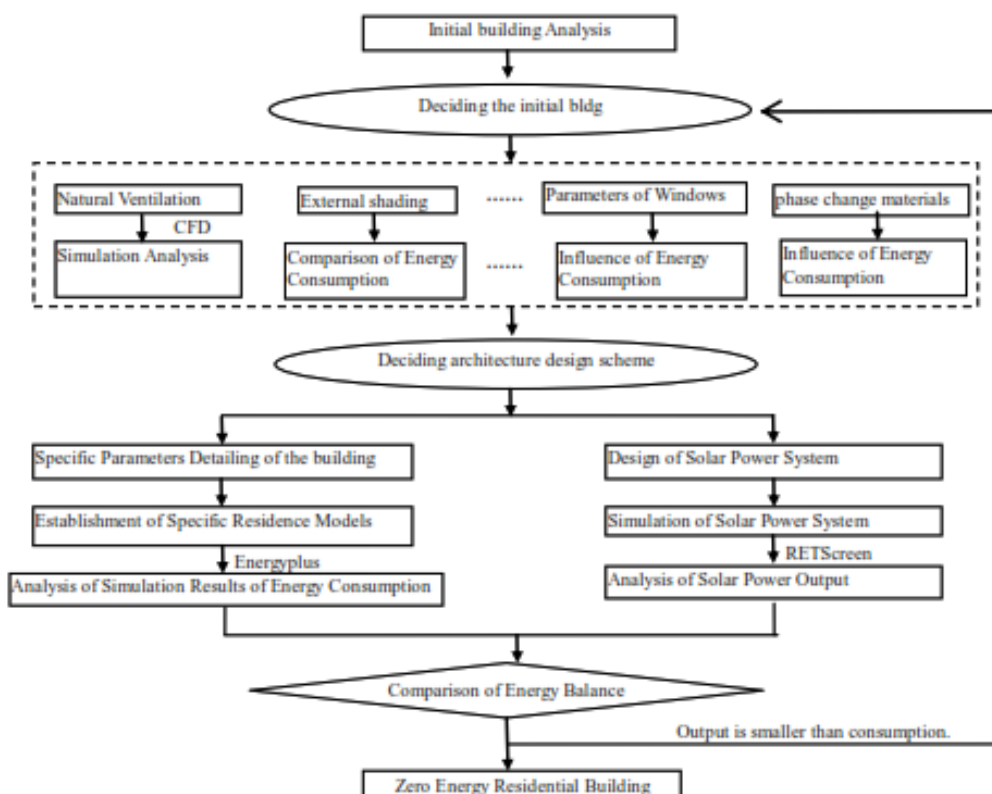
فرارا و همکاران [۲۳] در سال ۲۰۱۴ روشی را بر اساس شبیه‌سازی جهت بهینه‌سازی هزینه ساختمان‌های صفرانرژی ارائه دادند. این روش با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی دینامیکی انرژی، ترنسیس انجام گرفت. فرآیند به‌کار گرفته شده در این مطالعه در شکل ۳ قابل مشاهده است. مدل ساختمانی در ترنسیس شبیه‌سازی شد و مقادیر بهینه انرژی مربوط به تکنولوژی‌های مختلف سیستم پوششی ساختمان و سیستم‌های تکنیکی به‌عنوان پارامترهایی در بهینه‌ساز وارد شدند. سپس برای هر پارامتر یک تابع هزینه معرفی شد و یک تابع هزینه کلی به‌عنوان تابع هدف برای بهینه‌سازی در نظر گرفته شد. در نهایت الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات برای مینیمم کردن تابع هدف و یافتن مشخصات ساختمان بهینه از لحاظ هزینه به‌کار رفت. در مطالعه‌های دیگر داگوستینو و همکاران [۲۴] چارچوبی را برای بهینه‌سازی هزینه ساختمان‌های صفرانرژی بر اساس روش شبیه‌سازی در سال ۲۰۱۸ ارائه دادند. ساختمان برای ارزیابی از منظر اقتصادی و انرژی مدل شد، و نرم‌افزارهای انرژی پلاس و ترنسیس برای انجام شبیه‌سازی دینامیکی ساختمان و یک نرم‌افزار بهینه‌ساز برای انجام بهینه‌سازی استفاده شدند.

۴-۲- بهینه‌سازی بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان

نیکولیک و همکاران [۲۵] در سال ۲۰۱۳ روشی را برای بهینه‌سازی سطح پنل‌های فتوولتائیک برای ساختمان‌های صفرانرژی ارائه دادند. در این روش، ساختمان توسط نرم‌افزار انرژی‌پلاس مدل شد، و الگوریتم هوک جیوز از یک نرم‌افزار بهینه‌ساز متصل به انرژی‌پلاس به‌منظور بهینه‌سازی انتخاب شده و مورد استفاده قرار گرفت. در این مطالعه کاهش مصرف انرژی ساختمان مسکونی واقع در صربستان امکان‌سنجی شد. نرم‌افزار ترنسیس در مطالعه‌ای توسط فرارا و همکاران [۲۶] در یک فرآیند تکراری ورودی-خروجی جهت مدل‌سازی یک مدل ساختمانی در فرانسه استفاده شد، و مطالعه‌ی تحقیقاتی پارامتریک روی آن انجام شد. این مطالعه به‌منظور ارزیابی تاثیر متغیرهای مربوط به ویژگی‌های پوششی ساختمان روی بار گرمایشی و سرمایشی و کل مصرف انرژی سالانه انجام گرفت. ژنگ و همکاران [۲۷] در سال ۲۰۱۷ اصول طراحی کلی ساختمان‌های صفرانرژی را برپایه‌ی آنالیز نیاز انرژی سیستم مطرح کردند. به‌طور ویژه اصول معماری برای طراحی شماتیک و استفاده از تکنولوژی‌های تاثیرپذیر بهینه‌سازی شد و آنالیز شبیه‌سازی انرژی و آنالیز موازنه انرژی پیاده‌سازی و با انتخاب لوازم خانگی پربازده و منابع انرژی تجدیدپذیر برای ساختمان‌های مسکونی صفرانرژی تکمیل شد. روند طراحی بهینه ساختمان جهت تامین انرژی مورد نیاز آن در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل (۳) فرآیند بهینه‌سازی براساس شبیه‌سازی برای آنالیز حالت بهینه هزینه [۲۳]



شکل (۴) فرآیند الگوریتمیک طراحی بهینه ساختمان صفرانرژی جهت تامین نیاز انرژی ساختمان [۲۷].



۵- بحث و نتیجه گیری

در این مقاله سه گروه از روش‌های بهینه‌سازی ساختمان‌های صفرانرژی شامل الگوریتم‌های فراابتکاری، روش‌های عددی و روش‌های مبتنی بر شبیه‌سازی مورد مطالعه قرار گرفته، و مسائل بهینه‌سازی که از این روش‌ها سود می‌جویند به تفکیک بررسی شدند. گفتنی است که در مسائلی که هدفی خاص جهت بیشینه و یا کمینه شدن به‌عنوان تابع هدف مدنظر است، الگوریتم‌های فراابتکاری به‌علت ویژگی‌های ساختاری خود بیش‌تر مورد توجه هستند. در مسائل مربوط به ساختمان‌های صفرانرژی، اهدافی از قبیل کمینه کردن هزینه، تاثیرات زیست‌محیطی ساختمان، میزان مصرف انرژی ساختمان و غیره در مسائل مختلف بهینه‌سازی از مزایای الگوریتم‌های فراابتکاری بهره بردند. گفتنی است که متغیرهای بهینه‌سازی در این مسائل می‌توانند پارامترهای مربوط به خود ساختمان و یا مربوط به سیستم تامین انرژی آن باشند. با توجه به مطالعات صورت گرفته می‌توان الگوریتم ژنتیک را به‌عنوان یکی از بهترین روش‌های فراابتکاری معرفی کرد. از آنجایی که این الگوریتم روی مجموعه‌ای از راه‌حل‌ها که به‌طور تصادفی تولید می‌شوند، عمل می‌کند. ابزاری مناسب برای مسائل بهینه‌سازی چندهدفه محسوب می‌شود. زیرا این الگوریتم می‌تواند راه‌حل‌های چندگانه‌ی بهینه پرتو را تنها در یک اجرای عملیات، پیدا کند. الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب کارآمدترین الگوریتم ژنتیک در این زمینه به‌نظر می‌رسد.

روش‌های بهینه‌سازی عددی که زمان بسیار بیشتری جهت انجام عملیات بهینه‌سازی نسبت به روش‌های فراابتکاری نیاز دارند، جواب‌هایی قطعی را برای مسئله مدنظر فراهم می‌کنند و از طرفی نمی‌توانند هر پیچیدگی در مسائل مختلف را پوشش داده و حل کنند. در بین روش‌های عددی بهینه‌سازی، به‌کارگیری روش مونت‌کارلو برای بهینه‌سازی‌های چندهدفه بسیار مفید است. روش‌های بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی به‌عنوان مطالعاتی پارامتریک، ابزاری مناسب برای دستیابی به مجموعه متغیرهای بهینه (برای مثال انرژی مورد مصرف هر جزء از سیستم تامین انرژی ساختمان، بهترین ترکیب‌بندی سیستم انرژی و یا پارامترهای بهینه طراحی ساختمان) هستند.



منابع

۱. Koo, C., et al., *Development of the smart photovoltaic system blind and its impact on net-zero energy solar buildings using technical-economic-political analyses*. Energy, ۲۰۱۷. ۱۲۴: p. -۳۸۲. ۳۹۶
۲. Kalogirou, S.A., *Solar Energy Engineering: Processes and Systems: Second Edition*. Solar Energy Engineering: Processes and Systems: Second Edition. ۲۰۱۴. ۸۱۹-۱
۳. Seljom, P., et al., *The impact of Zero Energy Buildings on the Scandinavian energy system*. Energy, ۲۰۱۷. ۱۱۸: p. ۲۹۶-۲۸۴
۴. Holland, J., *Genetic Algorithms and the Optimal Allocation of Trials*. SIAM J. Comput., ۱۹۷۳. ۲: p. ۱۰۵-۸۸
۵. Lu, Y., et al., *Impacts of renewable energy system design inputs on the performance robustness of net zero energy buildings*. Energy, ۲۰۱۵. ۹۳: p. ۱۶۰۶-۱۵۹۵
۶. Xu, J., et al., *A systematic approach for energy efficient building design factors optimization*. Energy and Buildings, ۲۰۱۵. ۸۹: p. ۹۶-۸۷
۷. Harun, M.F., et al. *Optimization of green building design to achieve green building index (GBI) using genetic algorithm (GA)*. in ۶th ۲۰۱۷th ICT International Student Project Conference (ICT-ISPC). ۲۰۱۷
۸. Li, H., S. Wang, and H. Cheung, *Sensitivity analysis of design parameters and optimal design for zero/low energy buildings in subtropical regions*. Applied Energy, ۲۰۱۸. ۲۲۸p. -۱۲۸۰. ۱۲۹۱
۹. Biyanto, T.R., et al., *Optimization of Energy Efficiency and Conservation in Green Building Design Using Duelist, Killer-Whale and Rain-Water Algorithms*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, ۲۰۱۷. ۲۶۷: p. ۱۱۲۰۳۶
۱۰. Zheng, Z., LixiongWang, and N. HienWong, *Intelligent Control System Integration and Optimization for Zero Energy Buildings to Mitigate Urban Heat Island*. Procedia Engineering, ۲۰۱۶. ۱۶۹: p. ۱۰۷-۱۰۰
۱۱. Wang, W., H. Rivard, and R. Zmeureanu, *Floor shape optimization for green building design*. Advanced Engineering Informatics, ۲۰۰۶. ۲۰(۴): p. ۳۷۸-۳۶۳
۱۲. Baglivo, C., et al., *Multi-objective optimization analysis for high efficiency external walls of zero energy buildings (ZEB) in the Mediterranean climate*. Energy and Buildings, ۲۰۱۴. ۸۴: p. ۴۹۲-۴۸۳
۱۳. Hassoun, A. and I. Dincer, *Analysis and performance assessment of a multigenerational system powered by Organic Rankine Cycle for a net zero energy house*. Applied Thermal Engineering, ۲۰۱۵. ۷۶: p. ۳۶-۲۵
۱۴. Sharafi, M., T.Y. ElMekkawy, and E.L. Bibeau, *Optimal design of hybrid renewable energy systems in buildings with low to high renewable energy ratio*. Renewable Energy, ۲۰۱۵. ۸۳: p. ۱۰۴۲-۱۰۲۶
۱۵. Yang, M.D., et al., *Multiobjective optimization design of green building envelope material using a non-dominated sorting genetic algorithm*. Applied Thermal Engineering, ۲۰۱۷. ۱۱۱: p. ۱۲۶۴-۱۲۵۵
۱۶. Hamdy, M., A.-T. Nguyen, and J.L.M. Hensen, *A performance comparison of multi-objective optimization algorithms for solving nearly-zero-energy-building design problems*. Energy and Buildings, ۲۰۱۶. ۱۲۱: p. ۷۱-۵۷



۱۷. Ascione, F., et al., *Energy retrofit of educational buildings: Transient energy simulations, model calibration and multi-objective optimization towards nearly zero-energy performance*. Energy and Buildings, ۲۰۱۷. ۱۴۴: p. ۳۱۹-۳۰۳
۱۸. Javaid, N., et al., *Demand side management in nearly zero energy buildings using heuristic optimizations*. Energies, ۲۰۱۷. (۸)۱۰
۱۹. Milan, C., C. Bojesen, and M.P. Nielsen, *A cost optimization model for %۱۰۰ renewable residential energy supply systems*. Energy, ۲۰۱۲. ۴۸(۱): p. ۱۲۷-۱۱۸
۲۰. Dagdougui, H., et al., *Modeling and optimization of a hybrid system for the energy supply of a "green" building*. Energy Conversion and Management, ۲۰۱۲. ۶۴: p. ۳۶۳-۳۵۱
۲۱. Lu, Y., et al., *Robust optimal design of renewable energy system in nearly/net zero energy buildings under uncertainties*. Applied Energy, ۲۰۱۷. ۱۸۷: p. ۷۱-۶۲
۲۲. Chen, P.-J. and F.-C. Wang, *Design optimization for the hybrid power system of a green building*. International Journal of Hydrogen Energy, ۲۰۱۸. ۴۳(۴): p. ۲۳۹۳-۲۳۸۱
۲۳. Ferrara, M., et al., *A simulation-based optimization method for cost-optimal analysis of nearly Zero Energy Buildings*. Energy and Buildings: ۸۴. ۲۰۱۴, p. ۴۵۷-۴۴۲
۲۴. D'Agostino, D. and D. Parker, *A framework for the cost-optimal design of nearly zero energy buildings (NZEBS) in representative climates across Europe*. Energy, ۲۰۱۸. ۱۴۹: p. ۸۲۹-۸۱۴
۲۵. Nikolić, D., et al., *Optimization of photovoltaics panels area at Serbian zero-net energy building*. Journal of Renewable and Sustainable Energy, ۲۰۱۳. (۴)۵
۲۶. Ferrara, M., et al., *Modelling Zero Energy Buildings: Parametric Study for the Technical Optimization*. Energy Procedia, ۲۰۱۴. ۶۲: p. ۲۰۹-۲۰۰
۲۷. Zheng, D., L. Yu, and H.W. Tan. *Design and optimization of zero-energy-consumption based solar energy residential building systems*. ۲۰۱۷