

نقش طراحی و موقعیت قرارگیری ساختمان در بهینه‌سازی مصرف انرژی

(نمونه موردی: ساختمان‌های مهندسی‌ساز شهر تهران)

چکیده

ساختمان‌ها یکی از ارکان اصلی توسعه اجتماعی و اقتصادی کشورها می‌باشند که بخش زیادی از انرژی و منابع طبیعی را مصرف می‌کنند. سهم این بخش از مصرف انرژی، به‌طور میانگین، ۳۰-۵۰٪ می‌باشد. در ایران بر پایه ترازنامه انرژی سال‌های اخیر، حدود ۳۳٪ از انرژی تولید شده مربوط به بخش خانگی، تجاری و عمومی، یعنی بخش ساختمانی می‌شود. محدوده تحقیق، ساختمان‌های آپارتمانی مسکونی متداول در شهر تهران می‌باشد. روش تحقیق بدین صورت است که ۶ بلوک مسکونی مشابه و در موقعیت‌های نورگیری متفاوت، در نظر گرفته شده است. این ۶ بلوک از لحاظ مساحت زمین، مساحت زیربنا، تعداد طبقات، سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی و سایر مشخصات، کاملاً مانند هم بوده و تنها تفاوت آن‌ها، موقعیت قرارگیری آن‌ها در یک گذر می‌باشد. متغیرهای تحقیق عبارت‌اند از: جنس دیوار خارجی (سفال یا لیکا) و نمای خارجی (سنگ یا آجر)، نوع شیشه پنجره (ساده یا کم‌گسیل)، نوع گاز بین لایه‌های شیشه پنجره (هوا یا آرگون) و نسبت پنجره به سطح جبهه‌های مختلف بنا و اهداف تحقیق نیز کمینه‌سازی مصرف انرژی و هزینه ساخت می‌باشند. برای بهینه‌سازی متغیرها از نرم‌افزار دیزاین بیلدر و الگوریتم ژنتیک استفاده گردید. نتایج تحقیق حاکی از این است که بهینه‌ترین حالات ممکن برای نمای خارجی، سنگ، جنس دیوار خارجی لیکا، شیشه پنجره‌ها، دوجداره کم‌گسیل همراه با گاز آرگون بین لایه‌های شیشه، و WWR بهینه بلوکی که از جبهه‌های جنوب و غرب نور می‌گیرد، به ترتیب ۶۰٪ و ۲۵٪، WWR بهینه بلوکی که فقط از جبهه جنوب نور می‌گیرد، ۵۵٪، WWR بهینه بلوکی که از جبهه‌های جنوب و شرق نور می‌گیرد، به ترتیب ۶۰٪ و ۴۵٪، WWR بهینه بلوکی که از جبهه‌های شمال جنوب و شرق نور می‌گیرد، به ترتیب ۶۰٪، ۳۵٪ و ۳۰٪، WWR بهینه بلوکی که از جبهه‌های شمال و جنوب نور می‌گیرد، ۴۵٪ و ۲۵٪ و WWR بهینه بلوکی که از جبهه‌های شمال، جنوب و غرب نور می‌گیرد ۴۰٪، ۳۵٪ و ۳۵٪ می‌باشد.

اهداف پژوهش:

۱. بررسی تأثیر موقعیت قرارگیری ساختمان بر بهینه‌سازی مصرف انرژی.
۲. به‌دست آوردن نسبت بهینه پنجره به سطح از منظر صرفه‌جویی در مصرف انرژی، در وجوه مختلف.

سؤالات پژوهش:

۱. موقعیت قرارگیری یک ساختمان نسبت به گذر و جبهه‌های نورگیری، چه تأثیری در بهینه‌سازی مصرف انرژی دارد؟
۲. نسبت‌های بهینه پنجره به سطح در جبهه‌های مختلف یک ساختمان، به‌منظور کمینه‌سازی مصرف انرژی چه درصدی می‌باشند؟

کلیدواژه‌ها: ساختمان مسکونی، بهینه‌سازی، موقعیت ساختمان، دیزاین بیلدر، الگوریتم ژنتیک.

سبب کاهش ۵۰٪ ضریب انتقال حرارت شده ولی لایه‌های بعدی تأثیر کمی (حدود ۱۲٪) خواهند داشت. در تحقیقی دیگر، بر مبنای نتایج حاصل از تلفیق شبیه‌سازی در نرم‌افزار انرژی پلاس و معادلات ریاضی، چارچوبی برای بهینه‌سازی هزینه مصرف و پیامدهای زیست‌محیطی ارائه گردید (D. Anastaselos, S. Oxizidis and A. M. Papadopoulos, ۲۰۱۱: ۴۳). محققان در تحقیقی دیگر (A. Baniassadi, B. Sajadi, M Amidpour, and N Noori, ۲۰۱۶: ۱۴، ۹۹) با استفاده از نرم‌افزار انرژی پلاس و الگوریتم ژنتیک، به بهینه‌کردن ضخامت PCM و عایق در اقلیم‌های مختلف ایران با رویکرد اقتصادی پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که ضخامت بهینه PCM در همه موارد صفر است.

در پژوهشی که توسط یآوری و همکاران (عباس‌نژاد، س. ذهاب ناظوری، ز. علی‌بخشی و ح. افشارمنش: ۱۳۹۰) انجام شده است، تأثیر ارتفاع ساختمان‌های مسکونی را بر مصرف انرژی در شهر تبریز بررسی کردند. بدین‌منظور، سه گونه ساختمان شامل ساختمان‌های ویلایی، آپارتمانی ۳-۴ طبقه و آپارتمانی ۸-۱۰ مسکونی انتخاب شدند و برای هر یک از این گونه‌ها ۳-۴ نمونه ساختمان در منطقه مشخصی از شهر جهت تحلیل مصرف انرژی در نظر گرفته شد. میزان مصرف گاز سالانه و انرژی برق در فصول تابستان و زمستان در این ساختمان‌ها جمع‌آوری شد و با یکدیگر مقایسه گردید. نتایج تحلیل‌ها ضمن توجه به افزایش ارتفاع ساختمان حاکی از آن بود که ساختمان‌های گونه آپارتمانی ۳-۴ طبقه، بهینه‌ترین حالت را از نظر میزان مصرف انرژی در بین سایر دسته‌ها دارا هستند. الگوریتم ژنتیک پرکاربردترین الگوریتم‌های بهینه‌یابی می‌باشد. به برخی از تحقیقات که با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام شده است می‌پردازیم:

در یک تحقیق، متغیر تصمیم، نسبت پنجره به دیوار و جهت ساختمان و تابع هدف، مصرف انرژی یک ساختمان اداری در دو اقلیم متفاوت بوده است و در این تحقیق از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی استفاده شده است. نتایج تحقیق حاکی از آنست که انتخاب مقادیر بهینه به سادگی امکان پذیر نمی‌باشد (L. G. Caldas and L. K. Norford, ۲۰۰۲: ۱۱).

در تحقیقی دیگر، تابع هدف هزینه ساخت و بهره‌برداری و متغیر تصمیم، سیستم‌های گرمایشی، سرمایشی و متغیرهای مرتبط به پوسته بنا بوده است. در این تحقیق از ترکیب نرم‌افزار شبیه‌سازی DOE-۲ و الگوریتم ژنتیک استفاده شده است (L. G. Caldas and L. K. Norford, ۲۰۰۳: ۱۲۵). در تحقیقی دیگر که با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام شده است، تابع هدف، هزینه مصرف انرژی در فازهای ساخت و بهره‌برداری و متغیرهای تصمیم شامل جهت ساختمان، بهره‌وری سیستم تهویه هوا، نسبت پنجره به سطح در ۴ جبهه بنا بوده است. در این تحقیق از نرم‌افزار DOE-۲ و الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد، نسبت پنجره به دیوار، رابطه بسیار کمی با جهت ساختمان و میزان بهره‌وری سیستم تهویه دارد و نسبتاً مستقل عمل می‌کند (X. Tan, ۲۰۰۶).

زینگ با تمرکز بر قیمت برق و داده‌های هواشناسی کالیفرنیا به دنبال راهکاری برای بهبود عملکرد سیستم‌های گرمایشی، سرمایشی و تهویه مطبوع (HVAC) موجود در ساختمان ویلایی به وسیله کنترل بار حرارتی است و بدین منظور از یک بهینه‌سازی چندهدفه به منظور کاهش بار ساختمان با حفظ سطح قابل قبول آسایش برای ساکنین، بهره می‌گیرد. در این مطالعه از انرژی پلاس برای محاسبه بار ساختمان و از دو الگوریتم بهینه‌سازی برای یافتن جواب بهینه در محیط ملتهب استفاده گردید که عبارت‌اند از DS (جست‌وجوی مستقیم) و GA، نتایج بررسی‌ها نشان داد که DS در مواجهه با مسائل با تعداد متغیر کم (کم‌تر از ۵ متغیر) و توابع هزینه‌های نسبتاً هموار، مؤثر است و سریع‌تر از GA به جواب می‌رسد؛ درحالی‌که GA در مسائل پیچیده‌تر کارایی بهتری دارد.

ونگ و همکاران در مطالعه خود (۲۰۰۶: ۲۰)، شکل طراحی (به صورت چندضلعی) ساختمان سبز و برخی از پارامترهای پوششی همچون نسبت پنجره‌ها را با هدف کمینه کردن هزینه و اثرات زیست‌محیطی به کمک GA بهینه‌یابی کردند. توهوس-دوبرا و کرارتی (۲۰۱۰: ۴۵) از ترکیب GA و نرم‌افزار مدل‌سازی انرژی DOE-۲ بهینه‌یابی پارامترهای طراحی پوشش ساختمان‌های مسکونی به منظور کاهش مصرف انرژی دوره بهره‌برداری، بهره گرفته و تأثیر اشکال مختلف ساختمان (اشکال +، U، L، T، H)، مصالح سقف و دیوارها و نوع و میزان عایق کاری به همراه نوع و مساحت پنجره‌ها را در مصرف انرژی بررسی نمودند. پژوهشگران نشان دادند که ساختمان با اشکال مستطیل و دوزنقه بهترین عملکرد را در ۵ آب و هوای مختلف دارا هستند. زنودا و همکاران (۲۰۱۷: ۳۹) نیز از ترکیب GA و نرم‌افزار حرارتی CHEOPS برای کمینه‌یابی انرژی مصرفی ساختمان و هزینه کل آن در آب و هوای مدیترانه‌ای بهره گرفتند و نشان دادند که استفاده از ابزارهای بهینه‌یابی در کنار شبیه‌سازی‌های انرژی، روش مؤثری در بهینه‌کردن پارامترهای غیرخطی ساختمان است.

تعداد زیاد متغیرهای در نظر گرفته شده در پژوهش بنا و همکاران (۲۰۱۵: ۹۲) آن‌ها را بر آن داشت تا ابزار بهینه‌یابی MATLAB را با TRNSYS ترکیب کنند و برای دستیابی به یک ساختمان با انرژی صفر، متغیرهای مدنظرشان که شامل عایق‌های دیوار و سقف و انواع سیستم‌های روشنایی و تهویه مطبوع بودند را بهینه نمایند. پژوهشگران همچنین نتایج به دست آمده را بر روی یک ساختمان موجود پیاده کردند و نتایج به دست آمده را ارائه کردند. اگرچه مطالعات زیادی با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام شده است ولی ابزارهای بهینه‌یابی دیگری نیز همچون شبکه عصبی، الگوریتم کلونی مورچگان و یا لانه پرندگان وجود دارند که در حوزه انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرند. به عنوان مثال: در مطالعه که توسط شی و همکاران انجام شد به کمک روش بهینه‌سازی کلونی مورچگان، ابعاد و جانمایی پنجره‌ها در ساختمان اداری بررسی شد (K. Shea, A. Sedgwick and G. Antonunntto: ۲۰۰۶: ۶۲۷)

در یک تحقیق، متغیر تصمیم ضخامت دیوار خارجی و عایق آن، ضخامت عایق زیر شیروانی، نسبت پنجره به سطح و تابع هدف هزینه و میزان مصرف انرژی بوده است. در این تحقیق از الگوریتم لانه پرندگان و نرم‌افزار بهینه‌سازی انرژی پلاس استفاده شده است (M. H. Wu, T. S. Ng and M. R. Skitmore: ۲۰۱۶: ۳۱). در یک تحقیق از الگوریتم شبکه عصبی و بهینه‌یابی چندهدفه لانه پرندگان برای بهینه‌سازی یک ساختمان اداری استفاده گردید. در این تحقیق تابع هدف، مصرف انرژی و آسایش حرارتی در نظر گرفته شد (A. Kusiak, G. Xu and M. Krarti: ۲۰۱۱: ۳۶).

بیچیو و کرارتی برای انتخاب بهینه برخی از پارامترهای طراحی فیزیک ساختمان و سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی در ساختمان مسکونی دو طبقه از الگوریتم‌های بهینه‌یابی کمک گرفته و انتخاب‌های بهینه را در ۵ شهر آمریکا با یکدیگر مقایسه کردند (D. Tuhus-Dubrow and M. Krarti: ۲۰۱۰، ۴۵). در تحقیقی دیگر که با هدف تدوین الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندهدفه مربوط به خود انجام شده از زبان‌های برنامه‌نویسی مختلفی برای تلفیق الگوریتم بهینه‌سازی و نرم‌افزارهای شبیه‌سازی استفاده شده است (C. Diakaki, E. Grigoroudis and D. Kolokotsa: ۲۰۰۸، ۴۰). در برخی از مطالعات قدیمی‌تر از زبان فرترن استفاده کرده‌اند و در تحقیقات جدیدتر از Visual Basic و C++ (M. AL-Homoud: ۲۰۰۵، ۲۹). به عنوان نمونه می‌توان به تحقیق (I. Petri, H. Li, Y. Rezgui, Y. Chunfeng, B. Yuce and B. Jayan: ۲۰۱۴: ۳۸) اشاره کرد که در آن‌ها از C++ استفاده شده و در تحقیق L. Junghans and N. Darde (۲۰۱۵: ۸۶) از ویژوال بیسیک. در تحقیقی دیگر، مطالعات مربوط به روش‌های بهینه‌یابی بر پایه شبیه‌سازی ساختمان بررسی شده است (A. Nguyen, S. Reiter and P. Rigo: ۲۰۱۴: ۱۱۳). در تحقیقی دیگر، پژوهش‌های انجام

گرفته درخصوص پوسته بنا را به همراه الگوریتم‌های معروف، از لحاظ اهداف محدودیت‌ها و پتانسیل‌های بالقوه را مقایسه و ارزیابی کرده‌اند (Y. Huang and J. Niu, ۲۰۱۶: ۱۱۷). در تحقیق نیز ابزارهای بهینه‌یابی موجود مورد ارزیابی و مقایسه با یکدیگر قرار گرفتند (V. Machairas, A. Tsangrassoulis and . K. Axarli, ۲۰۱۴: ۳۱). همدی و همکاران نیز عملکرد هفت الگوریتم بهینه‌یابی تکاملی چند هدفه که برای مسائل طراحی ساختمان‌های صفر انرژی توسعه داده شده‌اند را در یک مثال موردی با یکدیگر مقایسه کردند. این الگوریتم‌ها عبارت‌اند از:

MODA. ENSES. spMODE II. evMOGA . PR-GA. MOPSO. PNSGA-II. مرور ادبیاتی که همدی و همکاران انجام داده‌اند و به گفته نویسندگان شامل ۲۰۰ پژوهش پیشین می‌شود، نشان می‌دهد که طی چندین سال گذشته بالغ بر ۴۰٪ پژوهشگران از الگوریتم ژنتیک به‌عنوان الگوریتم بهینه‌یابی استفاده کرده‌اند (M. Hamdy, A. Nguyen and J. Hensen, ۲۰۱۶: ۱۲۱).

نتیجه‌گیری

نتایج نهایی بهینه‌سازی ۶ بلوک با متغیرهای لایه خارجی دیوار خارجی (آجر یا سنگ)، لایه داخلی دیوار خارجی (لیکا یا سفال)، نوع شیشه پنجره (ساده یا کم گسیل)، نوع گاز بین لایه‌های پنجره (هوا یا آرگون)، و نسبت پنجره به سطح (WWR) در جبهه‌های مختلف و اهداف کمینه‌سازی هزینه ساخت و مصرف انرژی، به‌طور خلاصه در جدول ۲۳ نمایش داده شده است.

جدول ۲۲: خلاصه نتایج بهینه‌سازی توسط نرم‌افزار دیزاین بیلدر به‌وسیله الگوریتم ژنتیک

بلوک	لایه خارجی دیوار	لایه داخلی دیوار	ساده یا کم گسیل	آرگون یا هوا	WWR جبهه جنوب	WWR جبهه شمال	WWR جبهه شرق	WWR جبهه غرب
A	سنگ	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	آرگون	۶۰	-	-	۲۵
B	سنگ	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	آرگون	۵۵	-	-	-
C	سنگ	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	آرگون	۵۰	-	۴۵	-
D	سنگ	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	آرگون	۶۰	۲۵	۲۰	-
E	سنگ	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	آرگون	۴۵	۲۵	-	-
F	سنگ	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	آرگون	۴۰	۲۵	-	۲۵

همان‌طور که در جدول ۲۲ می‌بینیم، نتایج تحقیق حاکی از این است که بهینه‌ترین حالات ممکن برای نمای خارجی، سنگ، جنس دیوار خارجی لیکا، شیشه پنجره‌ها دوجداره کم گسیل همراه با گاز آرگون، WWR بلوکی که از جبهه‌های جنوب و غرب نور می‌گیرد، به ترتیب ۶۰٪ و ۲۵٪، WWR بلوکی که فقط از جبهه جنوب نور می‌گیرد، ۵۵٪ WWR بلوکی که از جبهه‌های جنوب و شرق نور می‌گیرد، به ترتیب ۶۰٪ و ۴۵٪، WWR بلوکی که از جبهه‌های شمال، جنوب و شرق نور می‌گیرد، به ترتیب ۶۰٪، ۳۵٪ و ۳۰٪، WWR بلوکی که از جبهه‌های شمال و جنوب نور می‌گیرد، ۴۵٪ و ۲۵٪ WWR بلوکی که از جبهه‌های جنوب، شمال و غرب نور می‌گیرد، ۴۰٪، ۳۵٪ و ۳۵٪ می‌باشد.

منابع و مآخذ:

ترازنامه انرژی. (۱۳۹۳). سازمان بهره‌وری انرژی ایران.

- عباس‌نژاد، احمد و همکاران. (۱۳۹۰). تعیین جهت استقرار ساختمان‌ها به منظور بهینه‌سازی مصرف انرژی (مطالعه موردی: گرگان). "اولین همایش اقلیم، ساختمان و بهینه‌سازی مصرف انرژی، ایران.
- مرکز آمار ایران. (۱۳۹۵). "اطلاعات پروانه‌های ساختمانی صادر شده توسط شهرداری‌های کشور." سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، تهران.
- میرهاشمی، سید مهدی؛ شاپوریان، سید محمد و قیابکلو، زهرا. (۱۳۸۹). "روشی نوین در بهینه‌سازی پنجره‌های تک‌جدار." نشریه هنرهای زیبا، دوره ۲، ش ۴۳، ۴۳-۴۸.
- یوسفی، ف. (۱۳۹۶). "کمینه‌سازی مصرف انرژی طول عمر ساختمان مسکونی متداول ایران با توجه به پارامترهای طراحی و روش ساخت." رساله دکتری، دانشکده فنی، دانشگاه تهران.
- Baniassadi, A., Sajadi, B. Amidpour, M., & N Noori. (۲۰۱۶). "Economic optimization of PCM and insulation layer thickness in residential buildings," Sustainable Energy Technologies and Assessments, vol. ۱۴, pp. ۹۲-۹۹.
- Karatas A & El-Rayes, K. (۲۰۱۵). "Optimizing tradeoffs among housing sustainability objectives," Automation in Construction, vol. ۵۳, pp. ۸۳-۹۴.
- Kusiak, A., G. Xu, Krarti, M. (۲۰۱۱). "Optimization of an HVAC system with a strength multi-objective particle-swarm algorithm," Energy, vol. ۳۶, pp. ۵۹۳۵-۵۹۴۳.
- Nguyen, A., & Reiter S., & Rigo, P. (۲۰۱۴). "A review on simulation-based optimization methods applied to building performance analysis," Applied energy, vol. ۱۱۳, pp. ۱۰۴۳-۱۰۵۸.
- Lee, B., & Hensen, J. L. (۲۰۱۳). "Towards zero energy industrial halls²simulation and optimization with integrated design approach," Proceedings of the thirteenth international IBPSA conference.
- Diakaki, C., Grigoroudis, E., & Kolokotsa, D. (۲۰۰۸). "Towards a multi-objective optimization approach for improving energy efficiency in buildings," Energy and Buildings, vol. ۴۰, no. ۹, pp. ۱۷۴۷-۱۷۵۴.
- Anastaselos, D., Oxizidis, S., & Papadopoulos, A. M. (۲۰۱۱). "Energy, environmental and economic optimization of thermal insulation solutions by means of an integrated decision support system," Energy and Buildings, vol. ۴۳, no. ۲, pp. ۶۸۶-۶۹۴.
- Rutten, D. (۲۰۱۰). "Evolutionary principles applied to problem solving," ۲۵ ۹. [Online]. Available: <http://www.grasshopper3d.com/profiles/blogs/evolutionary-principles>.
- Tuhus-Dubrow, D., & Krarti, M. (۲۰۱۰). "Genetic-algorithm based approach to optimize building envelope design for residential buildings," Building and Environment, vol. ۴۵, no. ۷, p. ۱۵۷۴-۱۵۸۱.
- Tuhus-Dubrow, D., & Krarti, M. (۲۰۱۰). "Genetic-algorithm based approach to optimize building envelope design for residential buildings," Building and Environment, vol. ۴۵, no. ۷, pp. ۱۵۷۴-۱۵۸۱.
- Asadi, E., da Silva, M. G., Antunes, C. H., & Dias, L. (۲۰۱۲). "A multi-objective optimization model for building retrofit strategies using TRNSYS simulations, GenOpt and MATLAB," Building and Environment, vol. ۵۶, pp. ۳۷۰-۳۷۸.
- Asadi, E., Da Silva, M. G., Antunes, C. H., & Dias, L. (۲۰۱۲). "Multi-objective optimization for building retrofit strategies: A model and an application," Energy and buildings, vol. ۴۴, pp. ۸۱-۸۷.
- Naboni, E., Maccarini, A., Korolija, I., & Zhang, Y. (۲۰۱۳). "Comparison of conventional, parametric and evolutionary optimization approaches for the architectural design of nearly zero energy buildings," Proceedings of the thirteenth international IBPSA conference.

Touloupaki, E., & Theodosiou, T. (۲۰۱۷). "Performance Simulation Integrated in Parametric ۳D Modeling as a Method for Early Stage Design Optimization²A Review," vol. ۱۰, no. ۵, p. ۶۳۷.

Tresidder, E., & Zhang, Y., & Forrester, A. I. (۲۰۱۲). "Acceleration of building design optimisation through the use of kriging surrogate models," *Proceedings of building simulation and optimization*, pp. ۱-۸.

Znouda, E., Ghrab-Morcos, N., & Hady-Alouane, A. (۲۰۰۷). "Optimization of mediterranean building design using genetic algorithms," *Energy and Buildings*, vol. ۳۹, pp. ۱۴۸-۱۵۳.

EIA, EIA. (۲۰۰۴). Eurostat.and BRE.

Chantrelle, F., Lahmidi, H., Keilholz, W. Mankibi, M. El., & Michel, P. (۲۰۱۱). "Development of a multicriteria tool for optimizing the renovation of buildings," *Applied Energy*, vol. ۸۸, pp. ۱۳۸۶-۱۳۹۴.

Flager, F., Welle, B., Bansal, P. Soremekun, G. Haymaker, J. (۲۰۰۹). "Multidisciplinary Process Integration and Design Optimization of a Classroom Building," *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, vol. ۱۴, no. ۳۸, pp. ۵۹۵-۶۱۲.

Kayo, G., & Ooka, R. (۲۰۱۰). "Building energy system optimizations with utilization of waste heat from cogenerations by means of genetic algorithm," *Energy and Buildings*, vol. ۴۲, no. ۷, pp. ۹۸۵-۹۹۱.

Rapone, G., & Saro, O. (۲۰۱۲). "Optimisation of curtain wall façades for office buildings by means of PSO algorithm," *Energy and Buildings*, vol. ۴۵, pp. ۱۸۹-۱۹۶.

Aria, H., & Akbari, H. (۲۰۱۴). "Integrated and multi-hour optimization of office building energy consumption and expenditure," *Energy and Buildings*, vol. ۸۲, pp. ۳۹۱-۳۹۸.

<http://dynamobim.org/optimo/>, [Online]. [Accessed ۰۸.۰۹.۲۰۱۷].

Petri, I., Li, H. Rezgui, Y. Chunfeng, Y., Yuce, B. Jayan, B. (۲۰۱۴). "A modular optimisation model for reducing energy consumption in large scale building facilities," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. ۳۸, pp. ۹۹۰-۱۰۰۲.

Carreras, J., Boer, D., Guillén-Gosálbez, G., Cabeza, L., Medrano, M. & Jiménez, L. (۲۰۱۵). "Multi-objective optimization of thermal modelled cubicles considering the total cost and life cycle environmental impact," *Energy and buildings*, vol. ۸۸, no. ۱, pp. ۳۳۵-۳۴۶.

Conraud-Bianchi, J. (۲۰۰۸). "A methodology the optimization of Building Energy, thermal and visual performance," *Department of Building Civil and Environmental Engineering*, Concordia University, Montreal, Canada.

Shea, K. Sedgwick, A., & Antonunotto, G. (۲۰۰۶). "Multi Criteria Optimization of Paneled Building Envelopes Using Ant Colony Optimization," *Intelligent Computing in Engineering and Architecture*, pp. ۶۲۷-۶۳۶.

Suga, K., Shinsuke, K., & Hiyama, K. (۲۰۱۰). "Structural analysis of Pareto-optimal solution sets for multiobjective optimization: An application to outer window design problems using Multiple Objective Genetic Algorithms," *Building and Environment*, vol. ۴۵, no. ۵, pp. ۱۱۴۴-۱۱۵۲.

Caldas, L. (۲۰۰۸). "Generation of energy-efficient architecture solutions applying GENE_ARCH: An evolution-based generative design system," *Advanced Engineering Informatics*, vol. ۲۲, no. ۱, pp. ۵۹۷۰.

Caldas, L. (۲۰۱۱). "Generation of Energy-Efficient Patio Houses: Combining GENE_ARCH and a Marrakesh Medina Shape Grammar," in *AAAI Spring Symposium: Artificial Intelligence and Sustainable Design*.

Caldas, L. G., & Norford, L. K. (۲۰۰۳). "Genetic Algorithms for Optimization of Building Envelopes and the Design and Control of HVAC Systems," *Journal of Solar Energy Engineering*, vol. ۱۲۵, no. ۳, pp. ۳۴۳-۳۵۲.

Caldas, L. G., & Norford, L. K. (۲۰۰۲). "A design optimization tool based on a genetic algorithm," *Automation in Construction*, vol. ۱۱, p. ۱۷۳-۱۸۴.

Junghans, L., & Darde, N. (۲۰۱۵). "Hybrid single objective genetic algorithm coupled with the simulated annealing optimization method for building optimization," *Energy and Buildings*, vol. ۸۶, pp. ۶۵۱-۶۶۲.

Magnier, L., & Haghighat, F. (۲۰۱۰). "Multiobjective optimization of building design using TRNSYS," *Building and Environment*, vol. ۴۵, p. ۷۳۹-۷۴۶.

AL-Homoud, M. (۲۰۰۵). "A Systematic Approach for the Thermal Design Optimization of Building Envelopes," *Journal of Building Physics*, vol. ۲۹, no. ۲, pp. ۹۵-۱۱۹.

Asif, M., Muneer, T., Kelley, R. (۲۰۰۷). "Life cycle assessment: a case study of a dwelling home in Scotland, *Building and Environment*," vol. ۴۲, no. ۳, pp. ۱۳۹۱-۱۳۹۴.

Baum, M., & Council, U.G.B. (۲۰۰۷). "Green building research funding: an assessment of current activity in the United States," *US Green Building Council*, Washington, DC.

M. H. Wu, T. S. Ng and M. R. (۲۰۱۶). Skitmore, "Sustainable building envelope design by considering energy cost and occupant satisfaction," *Energy for Sustainable Development*, vol. ۳۱, pp. ۱۱۸-۱۲۹.

Hamdy, M., Hasan, A., & Sirén, K. (۲۰۱۱). "Impact of adaptive thermal comfort criteria on building energy use and cooling equipment size using a multi-objective optimization scheme," *Energy and Buildings*, vol. ۴۳, no. ۹, pp. ۲۰۵۵-۲۰۶۷.

Hamdy, M., Nguyen, A., & Hensen, J. (۲۰۱۶). "Performance comparison of multi-objective optimization algorithms for solving nearly-zero-energy-building design problems," *Energy and buildings*, vol. ۱۲۱, pp. ۵۷-۷۱.

Palonen, M., Hamdy, M., & Hasan, A. (۲۰۱۳). "MOBO a new software for multi-objective building performance optimization," ۱۳th Conference of international building performance simulation association (BS۲۰۱۳), Chambéry, France.

Rahmani, M., & Asl, A., Stoupine, S. Zarrinmehr & Yan, W. (۲۰۱۵). "Optimo: A BIM-based Multi-Objective Optimization Tool Utilizing Visual Programming for High Performance Building Design," *The ۳۳rd eCAADe Conference*, Vienna, Austria.

Salminen, M., Palonen, M., & Kai, S. (۲۰۱۲). "Combined energy simulation and multi-criteria optimisation of a LEED-certified building," *First building simulation and optimization Conference*, Loughborough, UK.

Taheri, M., Tahmasebi, F., & Mahdavi, A. (۲۰۱۲). "A case study of optimization-aided thermal building performance simulation calibration," *Optimization*, vol. ۴, no. ۲.

Bouchlaghem, N., & Letherman, K. (۱۹۹۰). "Numerical optimization applied to the thermal design of buildings," *Energy and environment*, vol. ۲۵, no. ۲, pp. ۱۱۷-۱۲۴.

D'Cruz, N., Radford, A. D. & Gero, J. S. (۱۹۸۳). "A Pareto optimization problem formulation for building Performance and design," *Engineering Optimization*, vol. ۱۷, no. ۱, pp. ۱۷-۳۳.

Delgarm, N., Sajadi, B., Kowsary, F., & Delg, S. (۲۰۱۶). "Multi-objective optimization of the building energy performance: A simulation-based approach by means of particle swarm optimization (PSO)," *Applied Energy*, vol. ۱۷۰, pp. ۲۹۳-۳۰۳.

Djuric, N., Novakovic, V., Holst, J., & Mitrovic, Z. (2007). "Optimization of energy consumption in buildings with hydronic heating systems considering thermal comfort by use of computer-based tools," *Energy and Buildings*, vol. 39, no. 4, pp. 471-477.

Online. Available: <http://simulationresearch.lbl.gov/GO/index.html>. [Accessed 21 9 2017].

Penna, P., Prada, A., Cappelletti, F., & Gasparella, A. (2010). "Multi-objectives optimization of Energy Efficiency Measures in existing buildings," *Energy and Buildings*, vol. 42, pp. 57-69.

Evins, R., Pointer, P., Vaidyanathan, R., & Burgess, S. (2012). "A case study exploring regulated energy use in domestic buildings using design-of-experiments and multi-objective optimisation," *Building and Environment*, vol. 54, p. 126-136.

Heijungs, R., & Frischknecht, R. (1998). "A special view on the nature of the allocation problem," *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 3, no. 2, pp. 321-332.

Bambrook, S. M., Sproul, A. B. & Jacob, D. (2010). "Design optimisation for a low energy home in Sydney," *Energy and Buildings*, vol. 42, no. 9, pp. 1702-1711.

Attia, S., Hamdy, M., Brien, W.O & Carlucci, S. (2013). Assessing gaps and needs for integrating building performance optimization tools in net zero energy buildings design. *Energy and Buildings*, vol. 60, pp. 110-124, 2013.

SINTEF. (2010). "Final report of: Low Resource consumption buildings and constructions by use of LCA in design and decision making," SINTEF.

Ramesh, T., Prakasha P., & Shukla, K. (2010). "Life cycle energy analysis of buildings: An overview," *Energy and Buildings*, vol. 42, p. 1092-1100.

U.N.E.P SBCI. (2009). "Buildings and Climate Change: a Summary for Decision-Makers," United Nations Environmental Programme, Sustainable Buildings and Climate Initiative, Paris, pp. 1-62.

Machairas, V., Tsangrassoulis A., & Axarli, K. (2014). "Algorithms for optimization of building design: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 31, p. 1011-102.

Wang, W., Rivard H., & Zmeureanu, R. (2000). "An object-oriented framework for simulation-based green building design optimization with genetic algorithms," *Advanced Engineering Informatics*, vol. 14, pp. 1, pp. 5-23.

Wang, W. Rivard, H., & Zmeureanu, R. (2006). "Floor shape optimization for green building design," *Advanced Engineering Informatics*, vol. 20, p. 363-378.

Han, X., Pei, J., Liu, J., & L. Xu. (2013). "Multi-objective building energy consumption prediction and optimization for eco-community planning," *Energy and Buildings*, vol. 66, pp. 22-32, 2013.

Shi, X. (2011). "Design optimization of insulation usage and space conditioning load using energy simulation and genetic algorithm," *Energy*, vol. 36, no. 3, pp. 1609-1617.

Shi, X., Tian, Z. Chen, W., Si, B., & Jin, X. (2016). "A review on building energy efficient design optimization from the perspective of architects," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 60, pp. 872-884, 2016.

Tan, X. (2007). "A Parametric Building Energy Cost Optimization Tool Based On A Genetic Algorithm," College of Engineering, Texas A&M University.

Tan, X. (2006). "A Parametric Building Energy Cost Optimization Tool Based on A Genetic Algorithm," College of Engineering, Texas A&M University.

Huang Y., & Niu, J. (2016). "Optimal building envelope design based on simulated performance: History, current status and new potentials," *Energy and buildings*, vol. 117, pp. 387-398, 2016.

Yi Z., & Korolija, I. (2010). "Performing complex parametric simulations with JEPlus," 9th International Conference on sustainable energy technologies (SET2010), Shanghai, China.

Yi, Z. (2009). "Parallel EnergyPlus and the development of parametric analysis tool," Eleventh International IBPSA Conference, Glasgow, Scotland