



## نقش طراحی و موقعیت قرارگیری ساختمان در بهینه‌سازی مصرف انرژی

(نمونه موردی: ساختمان‌های مهندسی‌ساز شهر تهران)

میثم ذکاوت<sup>۱</sup>، منصوره طاهباز<sup>۲\*</sup>، محمدرضا حافظی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> گروه معماری دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران، Meysam.zekavat@yahoo.com

<sup>۲\*</sup> (نویسنده مسئول) گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران، m-tahbaz@sbu.ac.ir

<sup>۳</sup> گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران، mr-hafezi@sbu.ac.ir

### 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 ترانزنامه 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 کم گسیل)، 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 کم گسیل 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؟

### اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی

شماره ۵۰

دوره ۲۰

صفحه ۱۸۶ الی ۲۱۲

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۱/۰۱/۲۳

تاریخ داوری: ۱۴۰۱/۰۳/۲۹

تاریخ صدور پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۰۷

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۶/۰۱

### کلمات کلیدی

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

### ارجاع به این مقاله

ذکاوت، میثم، طاهباز، منصوره، حافظی، محمدرضا. (۱۴۰۲). نقش طراحی و موقعیت قرارگیری ساختمان در بهینه‌سازی مصرف انرژی (نمونه موردی: ساختمان‌های مهندسی‌ساز شهر تهران). مطالعات هنر اسلامی، ۲۰(۵۰)، ۱۸۶-۲۱۲.



[dori.net/dor/20.1001.1](https://doi.org/10.22034/IAS.2022.351685.2-22)

.....\*



[dx.doi.org/10.22034/IAS](https://dx.doi.org/10.22034/IAS.2022.351685.2-22)

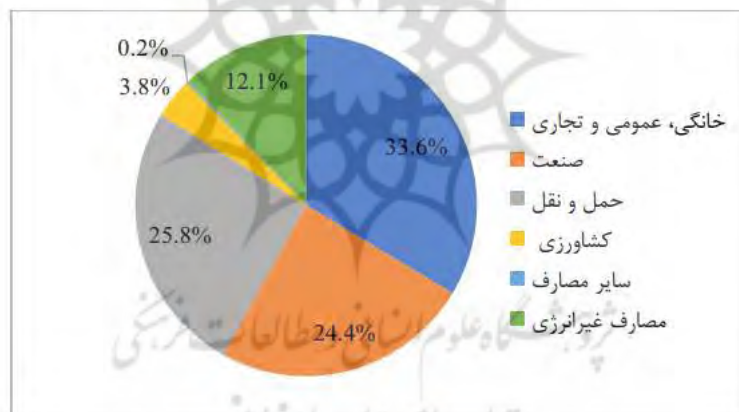
.2022.351685.2-22



## مقدمه

در اواخر قرن ۲۰ رشد شتابان صنعت و به دنبال آن افزایش مصرف انرژی و محدود بودن منابع اولیه، خصوصاً منابع فسیلی و اثرات زیان بار سوخت‌های فسیلی بر محیط‌زیست و پیدایش مفاهیمی چون پایداری و توسعه پایدار با هدف برآوردن نیازهای کنونی بدون به خطر انداختن نیازهای نسل‌های آینده، لزوم کاهش مصرف انرژی، مخصوصاً منابع فسیلی و تولید انرژی از منابع دیگر، مانند انرژی اتمی، انرژی باد، انرژی زمین گرمایی و ... مورد توجه قرار گرفت.

ساختمان‌ها یکی از ارکان اصلی توسعه اجتماعی و اقتصادی کشورها می‌باشند که بخش زیادی از انرژی و منابع طبیعی را مصرف می‌کنند (T. Ramesh, P. Prakasha and K. Shukla, ۲۰۰۷، ۴۲، pp. ۱۵۹۲-۱۶۰۰). سهم این بخش از مصرف انرژی، به طور میانگین، ۳۰-۵۰٪ و از میزان تولید گازهای گلخانه‌ای، ۴۰-۵۰٪ می‌باشد (M. Asif, ۲۰۰۳، pp. ۴۲، M. Asif, ۲۰۰۳، pp. ۳۲۱-۳۳۲، R. Heijungs and R. Frischknecht, ۱۹۹۸، pp. ۱-۶۲، T. Muneer and R. Kelley, ۱۹۹۸، pp. ۱-۶۲، U.N.E.P SBCI, ۲۰۰۹، M. Baum and U.G.B. Council, ۲۰۰۷، SINTEF). همچنین در کشور ما بر پایه ترازنامه انرژی سال‌های اخیر، حدود ۳۳٪ از انرژی تولیدشده مربوط به بخش خانگی، تجاری و عمومی، یعنی بخش ساختمانی می‌شود (سازمان بهره‌وری انرژی ایران، ۱۳۹۳).



تصویر ۱: سهم قسمت‌های مختلف کشور از مصرف انرژی (سازمان بهره‌وری انرژی ایران، ۱۳۹۳)

به طور کلی ساختمان‌ها به بخش‌های مسکونی، خدماتی و اداری تقسیم‌بندی می‌شوند. اگرچه تحقیقات جامعی در خصوص سهم هر یک از این قسمت‌ها در مصرف انرژی، برای تمام کشورها انجام نشده است، لکن نتیجه پژوهش‌ها در برخی کشورها حاکی از آنست که کاربری مسکونی سهم بیشتری از مصرف انرژی در مقایسه با سایر کاربری‌ها داراست (EIA: ۲۰۰۴). در کشور ما نیز بر پایه اطلاعات منتشرشده مرکز آمار ایران، حدود ۸۴٪ پروانه‌های صادره در شهرداری‌ها مربوط به کاربری مسکونی است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵).

در یک ساختمان مسکونی، مصرف انرژی تابع پارامترهایی است که می‌توان آن‌ها را به سه بخش عوامل خارجی، عوامل انسانی و عوامل ساختمانی تقسیم کرد (X. Tan, ۲۰۰۷). از عوامل خارجی می‌توان مصالح، تجهیزات ساختمانی و

فناوری‌های ساخت را نام برد. در این تحقیق به دنبال آن هستیم تا ضمن بهینه‌کردن برخی از متغیرهای ساختمانی، شامل جنس دیوار خارجی و برخی مشخصات پنجره‌ها که تأثیر زیادی در میزان مصرف انرژی دارند، با دو هدف کاهش مصرف انرژی و هزینه ساخت، تأثیر موقعیت قرارگیری ساختمان را نیز بر نتایج بهینه‌سازی بسنجیم.

دلگرم و همکاران (N. Delgarm, B. Sajadi, F. Kowsary and S. Delgarm: ۱۶، ۲۰۳، ۲۹۳-۱۷۰، ۱۷۰)، یک رویکرد جدید را برای بهینه‌یابی مصرف انرژی دوره بهره‌برداری ساختمان، معرفی کردند. نوآوری اصلی این پژوهش در استفاده از نرم‌افزار JEPlus برای تلفیق انرژی پلاس با الگوریتم بهینه‌یابی چند هدفه لانه پرندهگان (MOPSO) بوده است. پژوهشگران در محیط MATLAB، کد بهینه‌یابی MOPSO را نوشتند و سپس MATLAB را با JEPlus (به‌عنوان یک رابط کاربری برای فراخوانی انرژی پلاس) تلفیق کردند. برنامه به این شکل عمل می‌کند که مقادیر متغیرها در صفحه دستورات CMD در هر بار اجرای برنامه بهینه‌یابی نوشته می‌شود و در تهیه فایل ورودی انرژی پلاس توسط JEPlus مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در تحقیقی که میرهاشمی و همکاران (س.م. میرهاشمی، س.م. شاپوریان و ز. قیابکلو: ۱۳۸۹، ۴۳، ۴۳-۴۵) در خصوص بهینه‌سازی عملکرد پنجره‌ها انجام دادند، نشان دادند که بهینه‌کردن شیشه پروفیل و قاب و پانل‌های فلزی با مینیمم هزینه، می‌تواند ضریب انتقال حرارت را به میزان ۳۷ درصد کاهش دهد. در این پژوهش از نرم‌افزار THERM برای تعیین ضریب انتقال حرارت استفاده شد. براساس این پژوهش، اضافه‌کردن یک لایه شیشه به شیشه‌های دوجداره 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، ۲: ۴۳). محققان در تحقیقی دیگر (A. Baniassadi, B. Sajadi, M Amidpour, and N Noori: ۱۴، ۹۹، ۱۶، ۲۰۱۶)، 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. بدین منظور، 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؛ در حالی که 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 کمینه‌کردن 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، بهره‌گرفته و تأثیر اشکال مختلف ساختمان (اشکال +، U، L، T، H)، مصالح سقف و دیوارها و نوع و میزان عایق‌کاری 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 بهره‌گرفتند 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. به‌عنوان 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).

بیچو 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). به‌عنوان نمونه می‌توان به تحقیق (I. Petri, H. Li, Y. Rezgui, Y. Chunfeng, B. Yuze 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 در خصوص 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)

### ۱. ادبیات نظری

روش‌های بهینه‌یابی عددی در بحث انرژی مصرفی در ساختمان از حدود ۴۰ سال قبل مورد توجه پژوهشگران واقع شده است. در یک تحقیق (X. Shi, Z. Tian, W. Chen, B. Si and X. Jin, ۲۰۱۶، ۸۸۴-۸۷۲)، اولین پژوهش در این خصوص را در سال ۱۹۸۳ دانسته‌اند که توسط دکروز و همکاران<sup>۱</sup> انجام شده است. در این تحقیق متغیر تحقیق، برخی پارامترهای طراحی و هدف هزینه روشنایی بوده است (N. D'Cruz, A. D. Radford and J. S. Gero, ۱۷-۱۹۸۳). در تحقیقی دیگر که توسط بوچلاگم ولدومن انجام شده، یک مدل رایانه‌ای برای بهینه‌سازی عملکرد حرارتی ساختمان ارائه شده است که حاصل ترکیب دو روش بهینه‌یابی سیمپلکس و روش غیرتصادفی پیچیده می‌باشد (N. Bouchlaghem and K. Letherman, ۱۹۹۰، ۱۱۷-۱۲۴). در یک تحقیق مشخص گردید، در تحقیقات ابتدایی از روشهای بهینه‌یابی عمومی بهره می‌گرفتند ولی کم‌کم مشخص شد که روشهای بهینه‌یابی چند هدفه، برای مسائل مربوط به مصرف انرژی در ساختمان مناسب‌تر می‌باشند (X. Shi, Z. Tian, W. Chen, B. Si and X. Jin, ۸۷۲-۶۵، E. Touloupaki and T. W. Wang, H. Rivard and R. Zmeureanu, ۸۸۴، ۲۰۱۶، ۱۹، ۱، ۵-۲۳، ۲۰۰۵، Theodosiou, ۲۰۱۷، ۱۰، ۵، ۶۳۷).

در الگوریتم‌های بهینه‌یابی متغیر تصمیم، عمدتاً یک یا ترکیبی از سیستم‌های تأسیساتی و پارامترهای طراحی می‌باشد و تابع هدف یک یا ترکیبی از اهداف ذیل:

۱- هزینه؛

۲- مصرف انرژی در فاز بهره برداری یا کل چرخه حیات؛

۳- پیامدهای زیست‌محیطی؛

۴- آسایش بهره‌برداران.

ابزارهای بهینه‌یابی پارامتریک

منظور از مطالعات مؤلفه‌ای، پژوهش‌هایی می‌باشند که از نرم‌افزار برای تحلیل طیف زیادی از متغیرها استفاده می‌کنند، تا تأثیر یک یا چند متغیر را بر تابع هدف مصرف انرژی در ساختمان، بدون شبیه‌سازی مجدد و با محاسبات دستی بررسی کنند. با توجه به تعداد زیاد متغیرها و فضای تصمیم مربوط به آن‌ها در ۲۰ سال گذشته، نرم‌افزارهای بسیاری ابداع شده‌اند که در این مسیر به پژوهشگر کمک می‌کنند. برخی از این نرم‌افزارها را مختصر توضیح می‌دهیم:

JEPus+EA: این نرم افزار توسط ژانگی (Z. Yi: ۲۰۱۹) با زبان جاوا نوشته نوشته شده و برای نخستین بار در سال ۲۰۰۹ معرفی شده است. JEPus این امکان را به کاربر می‌دهد که مطالعات مؤلفه‌ای خود، روی پارامترهای مختلف ساختمانی را با موتور انرژی Transys یا انرژی پلاس انجام دهد و نتایج را تحلیل نماید (Z. Yi and I. Korolija: ۲۰۱۰). این نرم‌افزار امکان بهینه‌یابی به صورت گسسته را فراهم می‌آورد.

BEopt: در این نرم‌افزار، ارائه طرح بهینه ساختمان‌های مسکونی از نظر اقتصادی از طریق بهینه‌یابی انرژی مصرفی ساختمان فراهم شده است. امکان طراحی براساس پلان نیز به صورت ساده و ابتدایی در BEopt امکان‌پذیر است.

Optimo: این ابزار بهینه‌یابی که توسط رحمانی و همکاران، در سال ۲۰۱۵ معرفی شده است، در واقع یک اتصال کلیدی مبتنی بر BIM بین Revit و Green Building studio برقرار کرده است. این ابزار بهینه‌یابی برای کار در محیط گرافیکی سه‌بعدی Dynamo طراحی شده است و به کاربران این محیط برنامه‌نویسی اجازه می‌دهد تا با رویکرد یک یا چندهدفه (مثلاً کمینه‌سازی انرژی و بیشینه‌سازی روشنایی) به بهینه‌سازی مسائل بپردازد. آخرین نسخه این نرم‌افزار بهینه‌یاب از الگوریتم ژنتیک (NSGA-II) برای بهینه‌یابی استفاده می‌کند.

Galapagos/Octopus: الگوریتم‌های به شکل افزونه برای زبان‌های برنامه‌نویسی بصری نیز توسعه داده شده‌اند. Grasshopper یکی از این زبان‌های بصری است. Galapagos (D. Rutten: ۲۰۱۰، ۵۶) افزونه بهینه‌یابی تک‌هدفه در محیط گرس هاپر است که امکان استفاده از دو الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی را فراهم می‌سازد. ولی Octopus یک ابزار بهینه‌یابی چندهدفه برای محیط گرس هاپر است که براساس الگوریتم ژنتیک کار می‌کند.

علاوه بر ابزارهای مؤلفه‌ای اشاره شده در سطور فوق که به‌طور اختصاصی به شبیه‌سازی انرژی و بهینه‌یابی ساختمان می‌پردازند، ابزارهای بهینه‌یابی عمومی‌ای که قادرند از شبیه‌سازهای مختلف برای محاسبات انرژی استفاده کنند، نیز بسیار مورد توجه پژوهشگران هستند. MATLAB و GenOptn دو نمونه از شناخته‌شده‌ترین این ابزارها هستند، که بیشترین محبوبیت را در میان پژوهشگران دارا می‌باشند.

GenOpt: یک برنامه بهینه‌یابی عمومی است که توسط آزمایشگاه ملی برکلی لارنس<sup>۱</sup> توسعه داده شد و برای کمینه سازی تابع هزینه مورد استفاده قرار می‌گیرد. این برنامه قادر به به‌کارگیری یک برنامه مدل‌سازی خارجی همچون Energyplus، TRNSYS، IDA-ICE یا DOE-۲ برای محاسبات انرژی باشد.

MATLAB: یک محیط برنامه‌نویسی است که علاوه بر کاربردهای عمومی آن به‌عنوان زبان برنامه‌نویسی، به دلیل دو قابلیت اصلی آن به کرات در حوزه بهینه‌یابی انرژی ساختمانی مورد استفاده قرار گرفته است. این مورد عبارت‌اند از: (۱) فراهم‌سازی الگوریتم‌های بهینه‌سازی متعدد از طریق ابزارهای آن و (۲) امکان همانگی و تلفیق آن با شبیه‌سازهای انرژی.

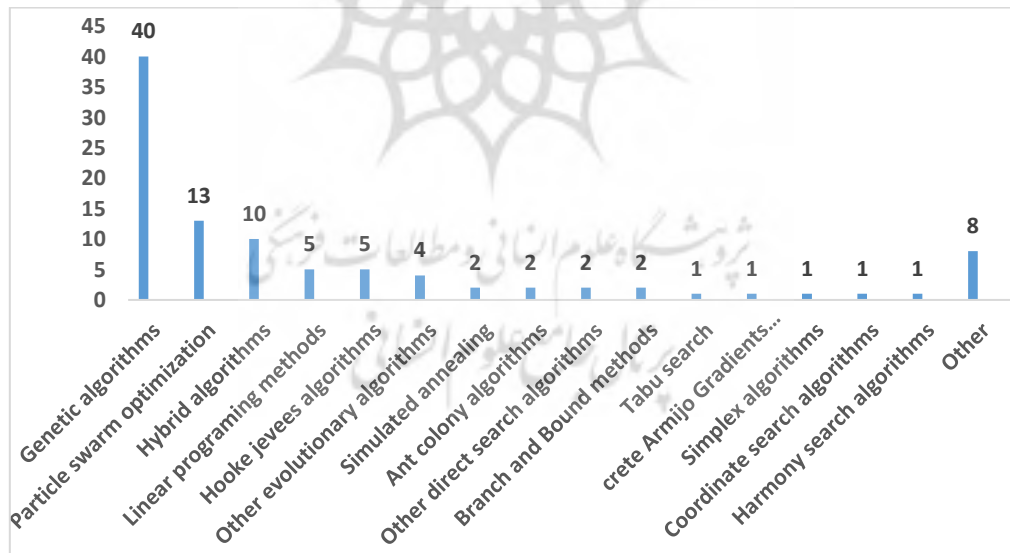
پالون<sup>۲</sup> و همکاران (M. Palonen, M. Hamdy and A. Hasan: ۲۰۱۳) مقایسه‌ای از چندین ابزار بهینه‌یابی موجود و نسبتاً شناخته شده ارائه کرده‌اند که به صورت خلاصه در جدول یک نشان داده شده است. البته در این جدول، نرم‌افزار معرفی شده توسط نویسندگان به نام MOBO نیز آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نرم‌افزارهای بهینه‌یاب به دو دسته کلی تقسیم‌بندی شده‌اند: بهینه‌یاب‌های اختصاصی (که در واقع ترکیبی از الگوریتم‌ها و رویکردهای بهینه‌یابی با موتورهای شبیه‌سازی انرژی خاص هستند) و بهینه‌یاب‌های عمومی (برای تلفیق و هماهنگی با چندین موتور شبیه‌ساز انرژی تدوین شده‌اند). بررسی مطالعات پیشین (G. Kayo and R. Ooka: ۲۰۱۰، ۹۹۱-۹۸۵، ۷، ۴۲، F. F. Flager, B. Welle, P. Bansal, G. Soremekun and J. Haymaker: ۲۰۰۹، ۶۱۲-۵۹۵، ۳۸، ۱۴) نشان می‌دهد که بهینه‌یاب‌های عمومی معرفی شده در جدول شماره ۱ قابلیت ترکیب با بسیاری از شبیه‌سازهای انرژی از جمله TRNSYS، DOE-۲، EnergyPlus، IDS-ICE را دارا می‌باشند.

جدول ۱: مقایسه ابزارهای بهینه‌سازی (ف. یوسفی و قلی‌پور: ۱۳۹۶)

دسته	نرم‌افزار بهینه‌یابی	موتورهای محاسباتی انرژی	رایگان	انجام بهینه‌یاب چندهدفه	انجام محاسبات موازی	بررسی هم‌زمان متغیرهای پیوسته و گسسته	برخی دیگر از مطالعاتی که از این بهینه‌یاب استفاده کرده‌اند.
بهینه‌یاب‌های اختصاصی انرژی	Opt-E-Plus	Energy Plus	بله	خیر	خیر	خیر	
	GENE-ARCH	DOE-۲	بله	بله	خیر	خیر	(L. Caldas: ۲۰۱۱)
	BEopt <sub>tm</sub>	DOE-۲، TRNSYS	بله	خیر	خیر	خیر	(L. Caldas: ۲۰۰۸)
	TRNOPT	TRNSYS	خیر	بله	خیر	بله	
	MultiOpt	TRNSYS	خیر	بله		بله	(F. Chantrelle, H. Lahmidi, W. Keilholz, M. El Mankibi and P. Michel: ۲۰۱۱)
	jEPlus+EA	Energy Plus, TRNSYS	خیر	بله	بله	خیر	(E. Tresidder, Y. Zhang and A. I. Forreste: ۲۰۱۲, J. Carreras: ۲۰۱۵)
	GenOpt		بله	خیر	بله	بله	(M. Salminen, M. Palonen and S. Kai: ۲۰۱۲, S. M. Bambrook, A. B. Sproul and D. Jacob: ۲۰۱۱)



							بهینه یاب عمومی
F. Flager, B. Welle, P.) Bansal, G. Soremekun and J. Haymaker (۲۰۰۹)	خیر	بله	بله	خیر		ModelCenter	
L. Magnier and F. Haghigat) (۲۰۱۱)	خیر	بله	بله	خیر		modeFRONTIER	
B. Lee and J. L. Hensen) (۲۰۱۳)							
	بله	بله	بله	بله		DAKOTA	
	بله	خیر	بله	خیر		iSIGHT	
H. Aria and H. Akbari) (۲۰۱۴) E. Asadi, M. G. Da Silva, C.) (۲۰۱۲) H. Antunes and L. Dias X. Han, J. Pei, J. Liu and L.) (۲۰۱۳) Xu	خیر	بله	بله	خیر		MATLAB Optimization Toolboxes	
S.Attia,M.Hamdy,W.O.Brien ) (۲۰۱۳ and S.Carlucci	بله	بله	بله	بله		MOBO	



تصویر ۲: مقایسه فراوانی استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی. (M. Hamdy, A. Nguyen and J. Hensen: ۲۰۱۶. ۱۲۱)

## ۲. محدوده تحقیق

محدوده این تحقیق به شرح ذیل می‌باشد:

### الف) کاربری ساختمان

بر پایه اطلاعات منتشرشده مرکز آمار ایران، حدود ۸۴٪ پروانه‌های صادره در شهرداری‌ها مربوط به کاربری مسکونی است. این بخش بیشترین سهم را از مصرف انرژی در کشور برعهده دارد. لذا این تحقیق روی کاربری‌های مسکونی متمرکز می‌باشد.

### ب) شهری یا روستایی

با توجه به اطلاعات مرکز آمار ایران حدود ۷۴٪ از جمعیت کشور در شهرها و حدود ۲۶٪ در روستاها زندگی می‌کنند. در این رساله منظور از ساختمان‌های مسکونی متداول، ساختمان‌های مسکونی متداول شهری می‌باشد.

### ج) آپارتمانی یا ویلایی

بنابر اطلاعات شهرداری تهران بیش از ۹۷٪ پروانه‌های صادرشده در شهر تهران مربوط به آپارتمان‌ها می‌باشد. باتوجه به اینکه به دلایل ذکر شده، آپارتمان‌ها سهم بیشتری از ساختمان‌های داخل کشور را دارند، مدنظر این پژوهش آپارتمان‌ها می‌باشد و نه ساختمانهای ویلایی.

### د) محدوده جغرافیایی تحقیق

محدوده جغرافیایی این تحقیق، شهر تهران و شرایط اقلیمی حاکم بر آن می‌باشد.

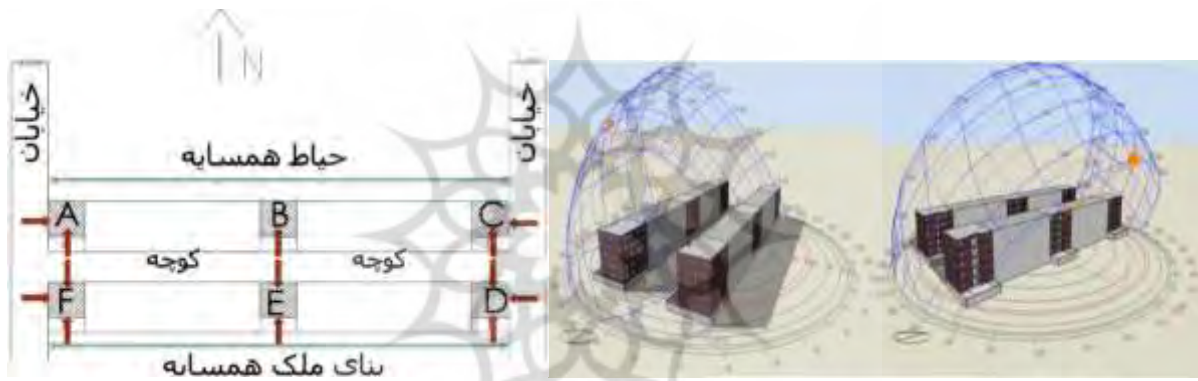
## ۳. اهداف تحقیق

همان‌طور که می‌دانیم، در کشور ما افرادی مشغول به ساخت هستند که عمدتاً تخصصی در این زمینه ندارند و بعد از ساخت، این بهره‌برداران هستند که باید هزینه‌های زیادی از جمله هزینه انرژی را متحمل گردند. گرچه به دلیل پرداخت سنگین یارانه انرژی توسط دولت‌ها، هزینه‌های انرژی سهم بسیار کمی از کل هزینه‌های زندگی در ایران را دارد؛ لذا موردتوجه بهره‌برداران واقع نمی‌شود. اما همچنان که می‌بینیم این روند پرداخت یارانه که مشکلات زیادی را برای کشور ایجاد کرده است، در حال حذف تدریجی و یا هدفمندسازی است. لذا در آینده نه‌چندان دور، یکی از پارامترهایی که مدنظر خریداران مسکن قرار خواهد گرفت، میزان مصرف انرژی آن خواهد بود و این موضوع، سازندگان را مجبور خواهد کرد که با هزینه‌کرد بیشتر در ساخت، مصرف انرژی ساختمان را کاهش دهند.

## ۴. روش‌شناسی تحقیق

۱- انتخاب ۶ بلوک مسکونی مشابه با موقعیت‌های متفاوت؛

۶ بلوک مسکونی متفاوت از نظر موقعیت، در نظر می‌گیریم. این ۶ بلوک از لحاظ مساحت زمین، مساحت زیربنا، تعداد طبقات، سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی و سایر مشخصات ساختمان نمونه، کاملاً مانند هم بوده و تنها تفاوت آن‌ها، موقعیت قرارگیری در یک کوچه می‌باشد؛ به‌گونه‌ای که ۳ بلوک A, B, C شمالی و ۳ بلوک D, E, F جنوبی می‌باشند. بلوک A از دو جبهه جنوب و غرب نور می‌گیرد. بلوک B تنها از جبهه جنوب نور می‌گیرد. بلوک C از دو جبهه جنوب و شرق نور می‌گیرد. بلوک D از سه جبهه شمال و جنوب و شرق نور می‌گیرد. بلوک E از دو جبهه شمال و جنوب نور می‌گیرد. بلوک F از سه جبهه شمال و جنوب و غرب نور می‌گیرد. می‌توان گفت که این شش بلوک از نظر موقعیت، نماینده اکثریت قاطع ساختمان‌های مسکونی متداول در شهر تهران می‌باشند.



تصویر ۳: موقعیت قرارگیری ۶ بلوک منتخب

۲- انتخاب متغیرهای تحقیق و توابع هدف

الف- متغیرهای تحقیق

جدول ۲: متغیرهای تحقیق

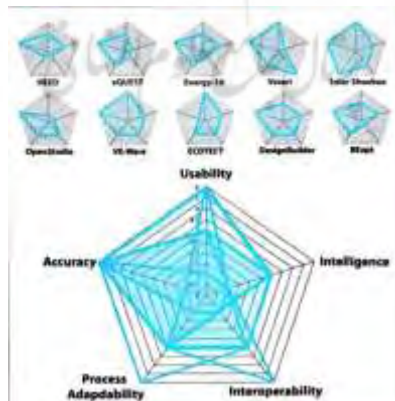
فضای تصمیم	متغیرها	ردیف
سنگ آجر	لایه خارجی	۱
بلوک سفالی بلوک سفالی با عایق حرارتی	لایه داخلی	

لیکا			
لیکا با عایق حرارتی			
دو جداره ۳ میلیمتری ساده دو جداره ۳ میلیمتری ساده با گاز آرگون دو جداره ۳ میلیمتری کم گسیل دو جداره ۳ میلیمتری کم گسیل با گاز آرگون		پنجره	۲
۶۰٪-۵۰٪-۴۰٪-۳۰٪	WWR	جبهه جنوبی تمام بلوک ها	۳
۵۰٪-۴۰٪-۳۰٪-۲۰٪	WWR	جبهه شمالی بلوک های جنوبی	۴
۵۰٪-۴۰٪-۳۰٪-۲۰٪	WWR	جبهه شرقی بلوک C,D	۵
۵۰٪-۴۰٪-۳۰٪-۲۰٪	WWR	جبهه غربی بلوک A,F	۶

ب-توابع هدف: توابع هدف عبارت‌اند از: هزینه ساخت و مصرف انرژی

۳-انتخاب نرم‌افزار مناسب شبیه‌سازی و محاسبه مصرف انرژی

در یک تحقیق به مقایسه ۶ نرم افزار شبیه‌سازی انرژی پرداخته شده است. در تحقیقی دیگر به مقایسه قابلیت‌های ۲۰ نرم‌افزار شبیه‌سازی پرداخته شد. در تحقیقی دیگر، ۱۰ نرم‌افزار شبیه‌سازی مورد مقایسه قرار گرفت. در تصویر ذیل به‌طور خلاصه نتایج این تحقیقات آمده است:



تصویر ۴: مقایسه ۱۰ ابزار شبیه‌سازی

همان‌طور که در تصویر ۴ مشاهده می‌کنیم، نرم‌افزارهای مختلف شبیه‌سازی میزان مصرف انرژی ساختمان با ۵ معیار ۱- دقت؛ ۲- کارایی؛ ۳- هوشمندی؛ ۴- همکاری؛ ۵- سازگاری، مقایسه شدند و می‌بینیم که در مجموع، نرم‌افزار دیزاین بیلدر وضعیت بهتری در مقایسه با سایر نرم‌افزارها دارد. با توجه به مطالب گفته شده، نرم‌افزار دیزاین بیلدر برای شبیه‌سازی در نظر گرفته شد.

۴- ورود اطلاعات مربوط به مشخصات بلوک‌ها و شرایط اقلیمی به نرم‌افزار

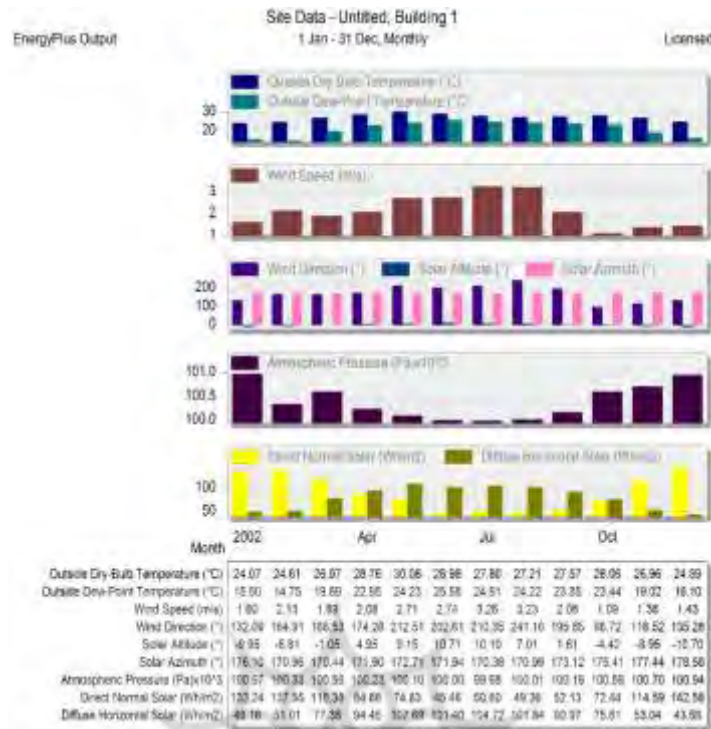
برای شبیه‌سازی ساختمان نمونه در نرم‌افزار دیزاین بیلدر و محاسبه میزان مصرف انرژی، باید ۲ سری اطلاعات را وارد نرم‌افزار کنیم:

۱- اطلاعات مربوط به ویژگی‌های ساختمان از قبیل مصالح، نوع سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی و... که در جدول ۳ آمده است.

۲- اطلاعات مربوط به شرایط اقلیمی شهر تهران مانند جهت وزش باد و میزان تابش و... که در تصویر ۵ نمایش داده شده است.

جدول ۳: مشخصات عمومی ۶ بلوک نمونه

کاربری	تعداد طبقات	تعداد واحد	موقعیت نسبت به گذر	همسایه شرقی و غربی	جنس سقف‌ها	دیوارهای خارجی	جنس سطح بام	
مسکونی	۵ طبقه روی پیلوت	۱۰	متفاوت	۵ طبقه روی پیلوت	تبرچه و پلی استایرن	سفال بدون عایق حرارتی	ایزوگام	
ویژگی‌های بلوک‌های نمونه	درز انقطاع شرقی و غربی	سیستم گرمایش	سیستم سرمایش	جنس پنجره‌ها	تعداد ساکنین	عمر بنا	جنس نما	جبهه‌های نورگیری
	۸ سانتیمتر	پکیج	کولر آبی	دو جداره ساده با هوا	۲۷ نفر	۱۰ سال	سنگ تراورتن	متفاوت
مساحت زمین	زیربنای هر واحد	زیر بنای کل	موقعیت در شهر تهران	جبهه شمالی	WWR جبهه جنوبی	WWR جبهه غربی	WWR جبهه شرقی	
۳۲۰ متر مربع	۱۰۵ متر مربع	۱۱۲۵ متر مربع	منطقه ۵	٪۲۱	٪۴۱	٪۲۵	٪۲۵	



تصویر ۵: اطلاعات جغرافیایی سایت ۶ بلوک، باتوجه به جدول سینوپتیک هواشناسی شهر تهران در ایستگاه مهرآباد

## ۵. یافته‌های تحقیق

همان‌طور که گفته شد، متغیرهای تحقیق مصالح، تجهیزات و فناوری‌های ساخت می‌باشند که از میان آن‌ها متداول‌ترینشان در نظر گرفته شده است که شامل: لایه خارجی دیوار خارجی (آجر یا سنگ)، لایه داخلی دیوار خارجی (لیکا یا سفال)، نوع شیشه پنجره (ساده یا کم‌گسیل)، نوع گازبند لایه‌های پنجره (هوا یا آرگون)، و نسبت پنجره به سطح (WWR) در جبهه‌های مختلف می‌باشد، بدین معنی که مثلاً بلوکی که فقط از جبهه جنوب نور می‌گیرد، فقط متغیر نسبت پنجره به سطح جنوب برای آن در نظر گرفته شده و برای بلوکی که از جبهه‌های شمال و جنوب نور می‌گیرد، نسبت پنجره به سطح شمال و جنوب به‌عنوان متغیر در نظر گرفته شده است. توابع هدف نیز عبارت بودند از هزینه ساخت و مصرف انرژی، بدین معنی که می‌خواهیم ببینیم بهترین چیدمان برای هر بلوک باتوجه به متغیرهای آن بلوک، چگونه می‌باشد. برای این منظور از نرم‌افزار دیزاین بیلدر استفاده می‌کنیم و نرم‌افزار با کمک الگوریتم ژنتیک بهترین چیدمان‌ها را در یک هفته تابستانی و یک هفته زمستانی می‌دهد. سپس آن چیدمانی که هم در هفته زمستانی و هم در هفته تابستانی جواب داده است به‌عنوان جواب نهایی آن بلوک در نظر گرفته می‌شود. البته در بعضی موارد شاهدیم که مثلاً بهترین نسبت پنجره به سطح در یک هفته تابستانی ۲۰٪ و در هفته زمستانی ۳۰٪ بوده است که قاعدتاً میانگین آن‌ها یعنی ۲۵٪ جواب بهینه‌سازی خواهد بود. اکنون نتایج بهینه‌سازی هر ۶ بلوک با متغیرها و اهداف تعریف شده در یک هفته تابستانی و یک هفته زمستانی و اشتراک آن‌ها که از نرم‌افزار استخراج شده است را در جدول ذیل مشاهده می‌کنیم.

جدول ۴: نتایج بهینه‌سازی بلوک A در تابستان

ردیف	لایه خارجی دیوار	لایه داخلی دیوار	ساده یا کم گسیل	ارگون یا هوا	WWR جبهه جنوب	WWR جبهه غرب
۱	سنگ	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	هوا	۶۰	۵۰
۲	سنگ	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۶۰	۳۰
۳	سنگ	سفال با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۵۰	۳۰
۴	-	سفال با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۳۰	۳۰
۵	-	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۶۰	۳۰

جدول ۵: نتایج بهینه‌سازی بلوک A در زمستان

ردیف	لایه خارجی دیوار	لایه داخلی دیوار	ساده یا کم گسیل	ارگون یا هوا	WWR جبهه جنوب	WWR جبهه غرب
۱	-	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۵۰	۳۰
۲	سنگ	سفال با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۵۰	۲۰
۳	سنگ	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۶۰	۲۰
۴	-	سفال با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۶۰	۳۰
۵	سنگ	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	هوا	۶۰	۲۰

جدول ۶: نتایج نهایی بهینه‌سازی بلوک A

ردیف	لایه خارجی دیوار	لایه داخلی دیوار	ساده یا کم گسیل	ارگون یا هوا	WWR جبهه جنوب	WWR جبهه غرب
۱	سنگ	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۶۰	۲۵

۲	سنگ	سفال با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۵۰	۲۵
---	-----	---------------------	---------	-------	----	----

جدول ۷: نتایج بهینه‌سازی بلوک B در تابستان

ردیف	لایه خارجی دیوار	لایه داخلی دیوار	ساده یا کم گسیل	ارگون یا هوا	WWR	جبهه جنوب
۱	سنگ	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	هوا	۵۰	
۲	سنگ	سفال با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۳۰	
۳	سنگ	سفال با عایق حرارتی	کم گسیل	هوا	۶۰	
۴	سنگ	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۳۰	

جدول ۸: نتایج بهینه‌سازی بلوک B در زمستان

ردیف	لایه خارجی دیوار	لایه داخلی دیوار	ساده یا کم گسیل	ارگون یا هوا	WWR	جبهه جنوب
۱	-	سفال با عایق حرارتی	کم گسیل	هوا	۳۰	
۲	سنگ	سفال با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۶۰	
۳	-	سفال با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۳۰	
۴	سنگ	سفال با عایق حرارتی	کم گسیل	هوا	۳۰	
۵	سنگ	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	هوا	۶۰	
۶	سنگ	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۶۰	

جدول ۹: نتایج نهایی بهینه‌سازی بلوک B

ردیف	لایه خارجی دیوار	لایه داخلی دیوار	ساده یا کم گسیل	ارگون یا هوا	WWR	جبهه جنوب
۱	سنگ	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	هوا	۵۵	



جدول ۱۰: نتایج بهینه‌سازی بلوک C در تابستان

ردیف	لایه خارجی دیوار	لایه داخلی دیوار	ساده یا کم گسیل	ارگون یا هوا	WWR جنبه جنوب	WWR جنبه شرق
۱	سنگ	سفال با عایق حرارتی	کم گسیل	هوا	۵۰	۵۰
۲	سنگ	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۵۰	۴۰
۳	سنگ	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	هوا	۵۰	۵۰
۴	سنگ	سفال با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۳۰	۵۰

جدول ۱۱: نتایج بهینه‌سازی بلوک C در زمستان

ردیف	لایه خارجی دیوار	لایه داخلی دیوار	ساده یا کم گسیل	ارگون یا هوا	WWR جنبه جنوب	WWR جنبه شرق
۱	سنگ	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۳۰	۵۰
۲	سنگ	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	هوا	۵۰	۴۰
۳	سنگ	سفال با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۴۰	۲۰
۴	سنگ	سفال با عایق حرارتی	کم گسیل	هوا	۵۰	۴۰
۵	-	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۴۰	۴۰
۶	-	سفال با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۵۰	۴۰
۷	-	سفال با عایق حرارتی	کم گسیل	هوا	۵۰	۲۰

جدول ۱۲: نتایج نهایی بهینه‌سازی بلوک C

ردیف	لایه خارجی دیوار	لایه داخلی دیوار	ساده یا کم گسیل	ارگون یا هوا	WWR جنبه جنوب	WWR جنبه شرق
------	------------------	------------------	-----------------	--------------	------------------	-----------------

۱	سنگ	سفال با عایق حرارتی	کم گسیل	هوا	۵۰	۴۵
۲	سنگ	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	هوا	۵۰	۴۵

جدول ۱۳: نتایج بهینه‌سازی بلوک D در تابستان

ردیف	لایه دیوار	خارجی	لایه داخلی دیوار	ساده یا کم گسیل	ارگون یا هوا	WWR جبهه جنوب	WWR جبهه شرق	WWR جبهه شمال
۱	سنگ		لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	هوا	۵۰	۴۰	۵۰
۲	سنگ		سفال با عایق حرارتی	کم گسیل	هوا	۶۰	۳۰	۲۰
۳	سنگ		لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۶۰	۲۰	۴۰
۴	سنگ		سفال با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۶۰	۳۰	۲۰

جدول ۱۴: نتایج بهینه‌سازی بلوک D در زمستان

ردیف	لایه دیوار	خارجی	لایه داخلی دیوار	ساده یا کم گسیل	ارگون یا هوا	WWR جبهه جنوب	WWR جبهه شرق	WWR جبهه شمال
۱	-		سفال با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۶۰	۴۰	۵۰
۲	سنگ		لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	هوا	۶۰	۴۰	۳۰
۳	سنگ		لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۶۰	۴۰	۳۰
۴	سنگ		سفال با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۶۰	۳۰	۵۰
۵	-		لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۶۰	۳۰	۵۰

جدول ۱۵: نتایج نهایی بهینه‌سازی بلوک D

ردیف	لایه خارجی دیوار	لایه داخلی دیوار	ساده یا کم گسیل	ارگون یا هوا	WWR جبهه جنوب	WWR جبهه شرق	WWR جبهه شمال
۱	سنگ	سفال با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۶۰	۳۰	۳۵
۲	سنگ	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	هوا	۵۵	۴۰	۴۰
۳	سنگ	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۶۰	۳۰	۳۵

جدول ۱۶: نتایج بهینه‌سازی بلوک E در تابستان

ردیف	لایه خارجی دیوار	لایه داخلی دیوار	ساده یا کم گسیل	ارگون یا هوا	WWR جبهه جنوب	WWR جبهه شمال
۱	سنگ	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	هوا	۵۰	۳۰
۲	سنگ	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۵۰	۲۰
۳	سنگ	سفال با عایق حرارتی	کم گسیل	هوا	۴۰	۲۰
۴	سنگ	سفال با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۶۰	۲۰

جدول ۱۷: نتایج بهینه‌سازی بلوک E در زمستان

ردیف	لایه خارجی دیوار	لایه داخلی دیوار	ساده یا کم گسیل	ارگون یا هوا	WWR جبهه جنوب	WWR جبهه شمال
۱	سنگ	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	هوا	۴۰	۲۰
۲	سنگ	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۳۰	۳۰

۳	سنگ	سفال با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۳۰	۵۰
۴	-	سفال با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۴۰	۲۰

جدول ۱۸: نتایج نهایی بهینه‌سازی بلوک E

ردیف	لایه خارجی دیوار	لایه داخلی دیوار	ساده یا کم گسیل	ارگون یا هوا	WWR جبهه جنوب	WWR جبهه شمال
۱	سنگ	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	هوا	۴۵	۲۵

جدول ۱۹: نتایج بهینه‌سازی بلوک F در تابستان

ردیف	لایه خارجی دیوار	لایه داخلی دیوار	ساده یا کم گسیل	ارگون یا هوا	WWR جبهه جنوب	WWR جبهه غرب	WWR جبهه شمال
۱	سنگ	سفال با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۳۰	۲۰	۳۰
۲	سنگ	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۴۰	۴۰	۲۰
۳	سنگ	سفال با عایق حرارتی	کم گسیل	هوا	۳۰	۴۰	۵۰
۴	سنگ	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	هوا	۶۰	۳۰	۲۰

جدول ۲۰: نتایج بهینه‌سازی بلوک F در زمستان

ردیف	لایه خارجی دیوار	لایه داخلی دیوار	ساده یا کم گسیل	ارگون یا هوا	WWR جبهه جنوب	WWR جبهه غرب	WWR جبهه شمال
۱	سنگ	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۴۰	۳۰	۵۰
۲	-	سفال با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۴۰	۴۰	۵۰

۳	سنگ	سفال با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۵۰	۴۰	۵۰
۴	سنگ	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	هوا	۳۰	۳۰	۳۰
۵	-	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۲۰	۵۰	۶۰

جدول ۲۱: نتایج نهایی بهینه‌سازی بلوک F

ردیف	لایه دیوار خارجی	لایه داخلی	ساده یا کم گسیل	ارگون یا هوا	WWR جنوب	WWR غرب	WWR جبهه شمال
۱	سنگ	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۴۰	۳۵	۳۵

## 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	ارگون یا هوا	WWR جنوب	WWR شمال	WWR جبهه شرق	WWR جبهه غرب
A	سنگ	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۶۰	-	-	۲۵
B	سنگ	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۵۵	-	-	-
C	سنگ	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۵۰	-	۴۵	-
D	سنگ	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۶۰	۲۵	۳۰	-
E	سنگ	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	۴۵	۲۵	-	-
F	سنگ	لیکا با عایق حرارتی	کم گسیل	ارگون	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 کم‌گسیل 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.



پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی

## منابع و مآخذ:

### کتاب‌ها

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

مرکز آمار ایران. (۱۳۹۵). "اطلاعات پروانه‌های ساختمانی صادر شده توسط شهرداری‌های کشور." سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، تهران.

### مقالات

عباس‌نژاد، احمد و همکاران. (۱۳۹۰). تعیین جهت استقرار ساختمان‌ها به‌منظور بهینه‌سازی مصرف انرژی (مطالعه موردی: گرگان). "اولین همایش اقلیم، ساختمان و بهینه‌سازی مصرف انرژی، ایران.

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.

### پایان‌نامه‌ها

یوسفی، ف. (۱۳۹۶). کمیته‌سازی مصرف انرژی طول عمر ساختمان مسکونی متداول ایران با توجه به پارامترهای طراحی و روش ساخت." رساله دکتری، دانشکده فنی، دانشگاه تهران.

### منابع لاتین

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 halls<sup>2</sup>simulation 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," ۲۰۹. [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, p. 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 3D Modeling as a Method for Early Stage Design Optimization? A 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., & Hadj-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 1, Concordia University, Montreal, Canada.

Shea, K., Sedgwick, A., & Antonunnto, 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. ۳۴۳۳-۳۴۴۲.

Caldas, L. G., & Norford, L. K. (۲۰۰۲). "A design optimization tool based on a genetic algorithm," *Automation in Constructio*, 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., & Haghghat, 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. (۲۰۰۷). "Optimization of energy consumption in buildings with hydronic heating systems considering thermal comfort by use of computer-based tools," *Energy and Buildings*, vol. ۳۹, no. ۴, pp. ۴۷۱-۴۷۷.
- Online. Available: <http://simulationresearch.lbl.gov/GO/index.html>. [Accessed ۲۱ ۹ ۲۰۱۷].
- Penna, P., Prada, A., Cappelletti, F., & Gasparella, A. (۲۰۱۵). "Multi-objectives optimization of Energy Efficiency Measures in existing buildings," *Energy and Buildings*, vol. ۹۲, pp. ۵۷-۶۹.
- Evins, R., Pointer, P., Vaidyanathan, R., & Burgess, S. (۲۰۱۲). "A case study exploring regulated energy use in domestic buildings using design-of-experiments and multi-objective optimisation," *Building and Environment*, vol. ۵۴, p. ۱۲۶-۱۳۶.
- Heijungs, R., & Frischknecht, R. (۱۹۹۸). "A special view on the nature of the allocation problem," *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. ۳, no. ۵, pp. ۳۲۱-۳۳۲.
- Bambrook, S. M., Sproul, A. B. & Jacob, D. (۲۰۱۰). "Design optimisation for a low energy home in Sydney," *Energy and Buildings*, vol. ۴۳, no. ۷, pp. ۱۷۰۲-۱۷۱۱.

Attia, S., Hamdy, M., Brien, W.O & Carlucci, S. (۲۰۱۳). Assessing gaps and needs for integrating building performance optimization tools in net zero energy buildings design. *Energy and Buildings*, vol. ۶۰, pp. ۱۱۰-۱۲۴, ۲۰۱۳.

SINTEF. (۲۰۱۰). "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. (۲۰۱۰). "Life cycle energy analysis of buildings: An overview," *Energy and Buildings*, vol. ۴۲, p. ۱۵۹۲-۱۶۰۰.

U.N.E.P SBCI. (۲۰۰۹). "Buildings and Climate Change: a Summary for Decision-Makers," United Nations Environmental Programme, Sustainable Buildings and Climate Initiative, Paris, pp. ۱-۶۲.

Machairas, V., Tsangrassoulis A., & Axarli, K. (۲۰۱۴). "Algorithms for optimization of building design: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. ۳۱, p. ۱۰۱۱-۱۱۲.

Wang, W., Rivard H., & Zmeureanu, R. (۲۰۰۵). "An object-oriented framework for simulation-based green building design optimization with genetic algorithms," *Advanced Engineering Informatics*, vol. ۱۹, no. ۱, pp. ۵-۲۳.

Wang, W. Rivard, H., & Zmeureanu, R. (۲۰۰۶). "Floor shape optimization for green building design," *Advanced Engineering Informatics*, vol. ۲۰, p. ۳۶۳-۳۷۸.

Han, X., Pei, J., Liu, J., & L. Xu. (۲۰۱۳). "Multi-objective building energy consumption prediction and optimization for eco-community planning," *Energy and Buildings*, vol. ۶۶, pp. ۲۲-۳۲, ۲۰۱۳.

Shi, X. (۲۰۱۱). "Design optimization of insulation usage and space conditioning load using energy simulation and genetic algorithm," *Energy*, vol. ۳۶, no. ۳, pp. ۱۶۵۹-۱۶۶۷.

Shi, X., Tian, Z. Chen, W., Si, B., & Jin, X. (۲۰۱۶). "A review on building energy efficient design optimization from the perspective of architects," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. ۶۵, pp. ۸۷۲-۸۸۴, ۲۰۱۶.

Tan, X. (۲۰۰۷). "A Parametric Building Energy Cost Optimization Tool Based On A Genetic Algorithm," College of Engineering, Texas A&M Universit.

Tan, X. (۲۰۰۶). "A Parametric Building Energy Cost Optimization Tool Based on A Genetic Algorithm," College of Engineering, Texas A&M Universit.

Huang Y., & Niu, J. (۲۰۱۶). "Optimal building envelope design based on simulated performance: History, current status and new potentials," *Eergy and buildings*, vol. ۱۱۷, pp. ۳۸۷-۳۹۸, ۲۰۱۶.

Yi Z., & Korolija, I. (۲۰۱۰). "Performing complex paramteric simulations with JEPlus," ۹th International Conference on sustainable energy technologies (SET۲۰۱۰), Shanghai, China.

Yi, Z. (۲۰۰۹). "Parallel EnergyPlus and the development of parametric analysis tool," Eleventh International IBPSA Conference, Glasgow, Scotland.