نشریه علمی (فصلنامه) «انرژی ایران»
دوره ۲۲، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، صفحه ۱۵۰ – ۱۲۷

قابلیت‌ها و محدودیت‌های ابزارهای بهینه‌سازی انرژی در مرحله طراحی معماری

[۱] وحید بختیاری، [۲] ریما فیاض*

تاریخ دریافت:
۱۳۹۷/۳/۷

تاریخ پذیرش:
۱۳۹۷/۱۰/۳۰

کلمات کلیدی:
مصرف انرژی، نرم‌افزارهای بهینه‌سازی، طراحی معماری

چکیده

ابزارهای بهینه‌سازی به عنوان راهی در جهت رسیدن به پاسخ مطلوب در زمینه کاهش مصرف انرژی در ساختمان، کاربردهای وسیعی یافته‌اند. این مقاله به بررسی ابزارهای بهینه‌سازی در ترکیب بانرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی ساختمان به عنوان ابزاری قدرتمند در مراحل مختلف طراحی می‌پردازد. این تحقیق دارای ماهیت علمی کاربردی است و محدودیت‌ها و قابلیت‌های الگوریتم‌های بهینه‌سازی در ابتدای فرایند طراحی به منظور کاهش میزان مصرف انرژی در ساختمان را ارزیابی می‌کند. به این منظور ابزارهای پرکاربرد شبیه‌سازی و بهینه‌سازی انرژی در ساختمان به منظور تحلیل جایگاه و خلأهای استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی در فرایند طراحی و شبیه‌سازی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته‌اند. به این منظور، نخست پنج نرم‌افزار پرکاربرد موجود در زمینه طراحی، بهینه‌سازی و شبیه‌سازی انرژی ساختمان با مطالعه اسناد و مدارک موجود شناسایی شدند. سپس، برای بررسی تطبیقی این نرم‌افزارها معیارهایی تعریف شد و با استفاده از آن‌ها مشکلات و قابلیت‌های نرم‌افزارهای موجود مورد تحلیل قرار گرفت. نتیجه تحقیق حکایت از آن دارد که این گونه روش‌ها بسیاری از مشکلات طراحی و بهره‌برداری را حل کرده‌است و در بسیاری از مطالعات فاصله معناداری میان یک طراحی بهینه و طراحی پایه (قبل از بهینه سازی) را نشان داده‌است. هرچند یافته‌ها نشان از فاصله میان نیازهای طراحان در پژوهش‌های حرفه‌ای و قابلیت‌های ابزارهای موجود دارد .همچنین عدم آموزش و مهارت آفرینی در جامعه معماری باعث می‌شود تا استفاده از این ابزارهای نوین در فرایند طراحی معماری بسیار محدود باشد. این خود یکی از مشکلات عمده بر سر راه بهره گیری از بهینه‌سازی در فرایند طراحی معماری است. از این رو لازم است نسبت به گسترش دانش بهینه‌سازی مبتنی بر نیاز و توانایی معماران اقدامات مدونی در سطح کلان آموزشی و حرفه‌ای صورت پذیرد.

۱. دانشجوی دکتری معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر v_bakhtyari@ut.ac.ir
۲. دانشیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر (نویسنده مسئول) fayaz@art.ac.ir

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]

۱. مقدمه

در آینده، مجموعه دست‌اندرکاران طراحی و ساخت ساختمان با آیین‌نامه‌ها و استانداردهایی مواجه خواهند شد که هدف از تدوین آن‌ها به صفر رساندن مصرف انرژی ساختمان است. به عنوان مثال، مطابق با طرحی که در کشورهای اروپایی به تصویب رسیده‌است از سال ۲۰۲۰ لازم است تا ساختمان‌های جدید و یا ساختمان‌های موجودی که بازسازی کلی می‌شوند، مصرف انرژی نزدیک به صفر داشته باشند. همچنان که انتظار از ساختمان‌های پر بازده افزایش می‌یابد و شکل بلند پروازانه‌ای به خود می‌گیرد، پیچیدگی و تعداد اقداماتی که باید در طراحی ساختمان لحاظ شود نیز افزایش پیدا می‌کند (Athienitis, O'Brien , 2015: 7).

بدین ترتیب برای پاسخگویی به انتظارت جدید، نیاز به تغییر شیوه طراحی و استفاده از ساختمان، امری ناگزیر تلقی می‌شود. بدان معنی که انتخاب بین گزینه‌های مختلف شیوه‌ای متهورانه به خود می‌گیرد تا بتواند از عهده حجم زیاد و پیچیدگی فراوان مسائل مرتبط به برآید. روشن است که با تأثیر متقابل بخش‌های مختلف ساختمان بر یکدیگر مانند هندسه، پوسته، تأسیسات و سیستم‌های کنترل به‌جای بررسی جداگانه هریک از این اجزا، لازم است تمامی بخش‌ها به صورت هم‌زمان و در حالت کنش متقابل تحلیل شوند تا گزینه مطلوب حاصل آید (Brown et al. , 2010:5). یکی ازروش‌ها برای رسیدن به این هدف استفاده از بهینه‌سازی[1] عملکرد ساختمان به شیوه ریاضی است که در تعامل با نرم افزارهای شبیه‌سازی[2] ساختمان قرار گرفته‌اند. با این روش، تحلیل انتخاب بهینه یا نزدیک به بهینه برای دست یابی به هدفی مشخص ممکن می‌شود؛ یعنی یافتن گزینه‌ای با کمترین هزینه چرخه عمر، کم‌ترین هزینه سرمایه‌گذاری و در عین حال تأمین کننده بیشترین آسایش (Hayter et al., 2000: 4).

1. Optimization
2. Simulation

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]

با وجود قابلیت‌های مهمی که بهینه‌سازی برای رسیدن به طرح ساختمانی با مصرف انرژی نزدیک به صفر دارد، اما هنوز استفاده از آن در مرحله آزمایش و تحقیق است. مهم‌ترین دلایل این امر عبارت است از: ضعف ابزارهای مناسب برای انجام بهنیه‌سازی؛ محدودیت‌های موجود در زمان ونیروی متخصص؛ و نیاز به اشراف کامل بر مسئله‌مانند محدودیت‌ها، تابع هدف و فهرست دقیق راه حل‌های موجود. هدف این مقاله مقایسه توانایی‌های جدیدترین نرم‌افزارهایی است که ممکن است در طراحی ساختمان‌های با مصرف انرژی نزدیک به صفر مورد استفاده قرار گیرند. بدین ترتیب می‌توان به نیازهای متخصصین طراحی ساختمان به نرم‌افزارها و ابزارهای تحلیلی پی برد.

۲. بهینه‌سازی عملکرد ساختمان

بهینه‌سازی عملکرد ساختمان به فرایندی اطلاق می‌شود که هدف آن انتخاب بهترین راه حل برای رسیدن به طرح یا حل مشکلی خاص در ساختمان از میان گزینه‌های موجود است. طراحی فرایندی است برای رسیدن به پاسخ مناسب در شرایطی که کاهش مصرف انرژی یکی از اهداف طراحی ساختمان باشد، می‌توان با استفاده از شیوه‌های بهینه‌سازی، معماران را در طی این فرایند کمک کرد.

فرایند بهینه‌سازی در چارچوب مجموعه‌ای از معیارهای عملکردی و محدودیت‌ها یا متغیرهای وابسته به اجرا در می‌آید. این معیارها را که به صورت توابع ریاضی نشان داده می‌شوند، تابع هدف می‌خوانند. بهینه‌سازی خودکار انرژی در ساختمان ترکیبی از انواع مختلف الگوریتم‌های بهینه‌سازی و نرم‌افزارهای شبیه‌سازی است که هر کدام از آن‌ها برای بهینه کردن یک یا چند عامل طراحی به کار گرفته می‌شود.

تحقیقات متعددی درزمینه به‌کارگیری روش‌های بهینه‌سازی در ساختمان برای رسیدن به بهترین جواب در جنبه‌های خاصی از طراحی انجام پذیرفته‌است. در جدول (۱) پارامترهایی که در این پژوهش‌ها به عنوان هدف بهینه‌سازی (تابع هدف) مورد بررسی قرار گرفته‌اند ارائه شده‌است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]

جدول۱. توابع هدف بهینه‌سازی در تحقیقات پیشین

پارامترهای مورد بررسی	پژوهش
فرم و جانمایی ساختمان هندسه، موقعیت و میزان سطوح شفاف	Kämpf, Robinson 2010
جنس و لایه‌بندی اجزای تشکیل دهنده بنا	Rapone, Saro 2012
استفاده از نور روز و کنترل هوشمند سایه‌بان‌ها	Andersen et al. 2008
استراتژی‌های تهویه طبیعی	Stephan et al. 2009
شکل و ساختار عملکردی ساختمان به عنوان منبع حرارت	Jedrzejuk, Marks 2002
گرمایش، تهویه و تعیین ظرفیت سیستم‌های تهویه مطبوع	Fong et al. 2006
پارامترها و یا استراتژی‌های کنترل سیستم تهویه مطبوع	Kolokotsa et al. 2002
آسایش حرارتی	Lee et al. 2011
پیکربندی و طراحی سیستم تهویه مطبوع	Wright et al. 2008
مدیریت منابع انرژی و تنظیم خودکار مدل	Liu, Henze 2006
بهینه‌سازی هم‌زمان اجزای پوسته و سیستم تهویه مطبوع	Hamdy et al. 2009
بهینه‌سازی هم‌زمان سازه، ظرفیت سیستم تهویه مطبوع و سامانه نظارت و کنترل	Brownlee, Wright 2012
بهینه‌سازی هم‌زمان سازه، اجزای تهویه مطبوع و سیستم‌های تأمین انرژی ساختمان	Hamdy et al. 2013
رساله دکتری بر روی رویکردهای استفاده از بهینه سازی در ساختمان	Caldas 2001; Nielsen; Wetter 2004

مأخذ: نتایج تحقیق

البته در بین مواردی که در جدول (۱) به آنها اشاره شد، تفاوت‌های چشم‌گیری از نظر نوع بهینه‌سازی مورد استفاده وجود دارد. برخی از آن‌ها از الگوریتم‌هایی با چند هدف[1] استفاده کرده‌اند اما سایرین حالت‌های تک هدفه[2] را به کار برده‌اند. در الگوریتم‌های تک هدفه تنها یک تابع هدف (به

1. Multiple objective optimiziation
2. Single objective optimization

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]

عنوان مثال میزان مصرف انرژی) به عنوان هدف بهینه‌سازی تعیین می‌شود. اما در الگوریتم‌های چند هدفه امکان تعیین چند تابع هدف (انرژی، آسایش حرارتی، عمر مفید بنا و...) وجود دارد. در برخی موارد،کل حالت‌های موجود مورد بررسی قرار گرفته‌است اما در تعدادی دیگر از الگوریتم‌های تصادفی[1] استفاده شده‌است. اندازه و پیچیدگی دامنه جستجو برای رسیدن به پاسخ‌ها نیز طیف بسیار وسیعی دارد. در برخی مطالعات از ابزارهای پیشرفته و با جزئیات زیاد برای شبیه‌سازی استفاده کرده‌اند. اما در دسته‌ای دیگر روش‌های ساده‌سازی شده به کار گرفته شده است.

۳. الگوریتم‌های مورد استفاده در بهینه سازی ساختمان

بهینه‌سازی کل یک ساختمان مسئله‌ای پیچیده است. از این جهت که تعداد متغیرها بسیار زیاد و در عین حال گسسته و غیرخطی هستند. همچنین ویژگی‌های محدود کننده زیادی بر آن‌ها حاکم است. محبوب‌ترین روش‌های بهینه‌سازی چند هدفه به طورکلی در سه دسته کلی طبقه بندی می‌شوند: ۱. الگوریتم‌های شمارشی و مبتنی بر بررسی کلیه حالت‌های ممکن[2]؛ ۲. الگوریتم‌های قطعی[3]؛ ۳. الگوریتم‌های تصادفی.

روش‌های شمارشی برای جستجو در بین متغیرهای گسسته کاربرد دارند و کل جواب‌های موجود را بررسی کرده و بهترین جواب را بر می‌گزینند. استفاده از این روش‌ها از نظر محاسباتی بسیار پرهزینه و زمان‌بر بوده و به همین دلیل برای جستجو دریک فضای پاسخ وسیع مناسب نیستند. دو نوع از این الگوریتم‌ها عبارتند از گرادیان و بدون گرادیان. به عنوان مثال، الگوریتم Jeeve–Hooke یکی از این الگوریتم‌ها است. استفاده از این الگوریتم برای به حداقل رساندن انرژی مصرفی ساختمان تحت سناریوهای مختلف و ویژگی‌های متفاوت استفاده شده‌است (Emmerich et al. 2008). همچنین در پژوهش دیگری محققان با استفاده از روش شمارشی برای به‌دست آوردن تأثیر جهت قرارگیری ساختمان بر میزان مصرف انرژی، کلیه حالت‌های ممکن در جهت‌گیری یک ساختمان در شهر اصفهان را مورد مطالعه قرار دادند (جهان بخش و غفار زاده، ۱۳۹۶).

1. Stochastic algorithms
2. Enumerative algorithms
3. Deterministic algorithms

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]

به طور کلی روش‌هایی که بـه جـواب قطعـی مـی‌رسـند در تـابع سـنجش خـود نیازمنـد برخـی ویژگی‌های ریاضی هستند. از گرادیان تابع هدف برای هدایت جستجو استفاده می‌شـود. اگـر مـثلاً بـه علت ناپیوستگی تابع هدف، مشتق آن قابل محاسبه نباشد، این روش‌ها اغلب با مشکل روبرو می‌شوند. بنابراین برای مسائلی با ساختار غیر پیوسته، بهینه‌سازی‌های مـرتبط بـا سیسـتم‌هـای تهویـه مطبـوع، مسائلی حاوی ویژگی‌های محدودکننده زیاد و همچنین بهینه‌سازی‌های چند هدفه مناسب نیستند. برای حل این موارد از الگوریتم‌های تصادفی استفاده می‌شود. برتری تصـادفی، وابسـتگی انـدک آن‌هـا بـه ویژگی‌های ریاضی برای حل مسائل بهینه‌سازی است. برخی از الگوریتم‌های تصادفی رایج عبارتنـد از: تبرید تدریجی شبیه‌سازی شـده[1]، جسـتجوی ممنوعـه[2]، کولونیمورچگـان[3]، ازدحـام ذرات[4] و الگـوریتم ژنتیک[5](Holland 1992).

استفاده از این الگوریتم‌ها در تحقیقات متعددی به چشم می‌خورد. به عنوان نمونه، در تحقیقـی بـا اضافه کردن اجزای تصادفی به الگوریتم جستجو، چینش بادبندها در یک سـاختمان بـا فـرم آزاد مـورد مطالعه قرار گرفت (Baldock et al. 2005). در یک مطالعه دیگر الگوریتم کولـونی مورچگـان بـرای رسیدن به یک راه حل متعادل برای کاهش مصرف انرژی روشـنایی، بهبـود عملکـرد حرارتـی، دیـد و هزینه برای طراحی یک نمای پانلی به کار گرفته شده‌است (Shea et al. 2006). در تحقیق دیگری از قابلیت‌های بهینه‌سازی چند هدفه ازدحام ذرات برای بهینه‌سازی گرمایش و سیسـتم تهویـه مطبـوع در یک ساختمان اداری استفاده شده‌است (Kusiak et al. 2011).

به‌جز موارد ذکر شده، در ۱۰ سال گذشته گـرایش بـه سـمت اسـتفاده از الگـوریتم ژنتیـک بـرای بهینه‌سازی ساختمان و سیستم تأسیسات تهویه مطبوع، روند رو به رشدی داشته‌است. الگوریتم ژنتیـک پر بازده‌ترین الگوریتم تصادفی برای بهینه کردن مسائلی است کـه دارای فضـای پیچیـده‌ای هسـتند و تابع هزینه آنها دارای نوسان است (Mitchell 1998). الگوریتم ژنتیـک بـر خـلاف بسـیاری دیگـر از

1. Annealing
2. Tabu search
3. Ant colony
4. Particle swarm
5. Genetic algorithms

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]

الگوریتم‌های مشابه از یک نقطه برای جستجو در فضای پاسخ استفاده نمی‌کند. بلکه با در نظر گرفتن نقاط زیادی دردامنه پاسخ‌ها شانس گرفتار شدن در پاسخ‌های بهینه محلی را که ممکن است سایر روش‌ها را دچار مشکل کند، کاهش می‌دهد. استفاده از الگوریتم ژنتیک و به کمک ایده پارتو به‌صورت گسترده‌ای در موضوعات انرژی و ساختمان به کار گرفته شده‌اند (Magnier, Haghighat 2010). براساس مطالعات زیتزلر (Zitzler et al. 2000) و دب (Deb et al. 2002) به نظر می‌رسد یک مدل پیشرو از این الگوریتم با عنوانNSGA-II کارآمدتر از سایرین است. از این الگوریتم به منظور یافتن راه حل بهینه برای کاهش مصرف انرژی در عین رسیدن به حداقل سرمایه‌گذاری یا افزایش آسایش حرارتی استفاده شده‌است (Loonen et al. 2011). NSGA-II می‌تواند یکی از بهترین الگوریتم‌های بهینه‌سازی برای توابع چند هدفه و چند متغیره در ساختمان و سیستم‌های تهویه مطبوع باشد. هرچند با توجه رفتار تصادفی آن، در موارد نادری در رسیدن به منحنی بهینه پارتو، نا موفق عمل کند. یکی از روش‌های جلوگیری از توقف وهم‌گرا شدن زودهنگام عملیات بهینه سازی در این روش، بالا بردن تعداد تکرارها است. با توجه به اینکه شبیه‌سازی ساختمان معمولاً زمان بر است افزایش تعداد تکرارها نمی‌تواند عملی باشد. اضافه کردن مراحلی که طی آن‌ها از شبیه‌سازی دقیق استفاده می‌شود و همچنین تعیین برخی استراتژی‌ها در الگوریتم NSGA-II می‌تواند به افزایش سرعت محاسبات و کاهش دفعات تکرار شبیه‌سازی کمک کند و از طرفی اطمینان از درست بودن نتایج را بالا ببرد (Hamdy et al. 2011a).

۴. ابزارهای بهینه‌سازی

ابزارهای بهینه‌سازی در ساختمان می‌توانند به دو دسته کلی تقسیم شوند. ابزارهای مستقلی که صرفاً عملیات بهینه‌سازی را انجام می‌دهند و ابزارهای بهینه‌سازی که برمبنای یک نرم‌افزار شبیه‌ساز مشخص ساخته شده‌اند. تعداد ابزارهای دسته اول چندان زیاد نیست.

پر کاربردترین آن‌ها در مقالات و مطالعات صورت گرفته عبارت‌اند ازجن‌آپت[1]، متلب[1]، مدفرانتیر[2] و تاپگویی. استفاده از ابزارهای دسته دوم در ده سال گذشته با توجه به پیشرفت‌ها در تولید نرم‌افزارهای

1. GenOpt

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]

شبیه‌ساز، افزایش یافته است. از این میان، دو ابزار که بیشترین استفاده را در مطالعات اخیر داشته‌اند عبارت‌اند ازبی آپت[۳] و آپت‌ای پلاس[۴]. لازم به ذکر است که با گسترش استفاده از ابزارهای مدل‌سازی پارامتری، ارتباط میان نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی با ابزارهای مدلسازی هندسی ساختمان تسهیل شده‌است. از جمله پر استفاده‌ترین ابزارهای طراحی پارامتری عبارتند از: افزونه گرسهاپر[۵] در نرم افزار راینو[۶] و همچنین داینامو[۷] در نرم‌افزار رویت[۸]. از طرفی ایجاد قابلیت‌های استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی در نرم‌افزاهای طراحی پارامتری به شکل فزاینده‌ای رو به گسترش است. اما از آنجا که الگوریتم‌های بهینه‌سازی که به ابزارهای طراحی پارامتری اضافه‌شده‌اند در هماهنگی کامل با نرم‌افزاهای شبیه‌سازی انرژی نیستند، و عموماً برای مقاصد دیگری همچون فرم‌یابی هندسی و... طراحی شده‌اند؛ ضعف و قوت آن‌ها برای بهینه‌سازی انرژی در ساختمان چندان روشن نیست. به همین دلیل از بررسی آن‌ها در این نوشتار خودداری شده‌است.

۴-۱. نرم‌افزار جن‌آپت

جن‌آپتیک نرم‌افزار مستقل بهینه‌سازی است که توسط موسسه LBNL[۹] ساخته شده‌است. جن‌آپتیک نرم‌افزار عمومی بهینه‌سازی است که می‌تواند به همه نرم‌افزارهای شبیه‌سازی که ورودی و خروجی آن‌ها به شکل متن است، متصل گردد. به عنوان مثال نرم‌افزارهای اسپارک[۱۰]، ترنسیس[۱۱] و انرژی‌پلاس[۱۲] یا هر نرم افزاری که با این خاصیت به وسیله کاربر نوشته شود (Wetter, 2000: 7). این ابزار قابلیت استفاده از انواع الگوریتم‌های بهینه‌سازی را دارد. متغیرهایی که به وسیله جن‌آپت محاسبه می‌شوند می‌توانند پیوسته یا گسسته باشند. حالت مدولار، انعطاف‌پذیری و توانایی در انتخاب

1. MATLAB
2. ModeFrontier
3. BeOpt
4. Opt-E-Plus
5. Grasshopper
6. Rhino
7. Dynamo
8. Revit
9. National Renewable Energy Laboratory
10. SPARK
11. TRNSYS
12. EnergyPlus

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]

استراتژی‌های مختلف بهینه‌سازی، این نرم‌افزار را به یک ابزار قدرتمند تبدیل کرده‌است، اما از نظر قابلیت‌های گرافیکی دارای ضعف است. این نرم‌افزار برای حل مسائلی که تابع هدف آن‌ها از نظر محاسباتی پر هزینه هستند و مشتق آن‌ها قابل حصول نیست ساخته شده است. بنابراین برای مسائل خطی، مسائل از درجه دوم و مسائلی که شیب (گرادیان) تابع هدف آن‌ها موجود است، مناسب نیست. در این ابزار، متغیرها می‌توانند پیوسته، گسسته و یا ترکیبی از هر دو باشند. محدودیت‌های متغیرهای وابسته نیز با استفاده از توابع جریمه[1] یا مانع شونده[2] می‌تواند اعمال شود. جن‌آپت دارای الگوریتم‌های یک بعدی و چند بعدی است. هرچند کتابخانه خود نرم‌افزار شامل الگوریتم‌های چند هدفه نمی‌شود. جن‌آپت این قابلیت را دارد تا در رایانه‌هایی که پردازشگرهای متعددی دارند چند شبیه‌سازی را به صورت همزمان انجام دهد (Coffey et al., 2010: 6). نداشتن رابط گرافیکی کاربرپسند و همچنین عدم توانایی در تولید نمودارهای متنوع از خروجی‌ها، ازجمله نقاط ضعف این نرم‌افزار است. همچنین الگوریتم‌های بهینه‌سازی در جن‌آپت به راحتی قابل اصلاح و تغییر نیستند. جن‌آپت در مورد توان محاسباتی و پارامترهای قابل بهینه‌سازی وابسته به نرم‌افزار شبیه‌سازی است که به آن متصل می‌شود.

۴-۲. نرم‌افزار متلب

برای آنکه تعداد شبیه‌سازی‌هاکاهش یافته و اطمینان بیشتری از نتایج شبیه‌سازی وجود داشته باشد، لازم است میان یک نرم‌افزار شبیه‌ساز معتبر و یک ابزار بهینه‌سازی قابل اطمینان ارتباط برقرار شود. در مورد طراحی ساختمان، با توجه به اینکه تعداد متغیرهای طراحی معمولاً زیاد است و طبیعت فضای پاسخ (خطی یا غیر خطی بودن آن) قابل شناسایی نیست، ابزارهای بهینه‌سازی باید قابلیت دسترسی به انواع الگوریتم‌ها را برای پاسخگویی به نیاز مسئله داشته باشند. این قابلیت در نرم‌افزار Matlab فراهم شده‌است. این نرم‌افزار با وجود ابزارها و الگوریتم‌های متعدد و قابل اعتماد خود قادر است تا به بهینه سازی انواعمسائل با ماهیت‌های مختلف بپردازد. به علاوه کاربر می‌تواند از تمامی توابع موجود در Matlab برای رسیدن به تجزیه و تحلیل مطلوب خود استفاده نماید (Shi, 2011: 13).

1. Penalty functions
2. Barrier functions

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]

جعبه ابزار بهینه‌سازی Matlab الگوریتم‌های متعددی را برای حل مسائل در اختیار کاربر قرار می‌دهد. این الگوریتم‌ها قادر هستند مسائل دارای محدودیت یا بدون محدودیت پیوسته یا گسسته را حل کنند. در زمینه خطی و غیرخطی بودن و یا یک یا چند هدفه بودن مسئله بهینه‌سازی نیز در Matlab محدودیتی وجود ندارد. این موضوع آزادی عمل وامکانات گسترده‌ای برای به‌کارگیری و ترکیب انواع روش‌های بهینه‌سازی را برای کاربر فراهم می‌آورد.

در کنار این قابلیت‌ها باید توجه داشت که نرم‌افزار Matlab به صورت ویژه برای شبیه‌سازی انرژی در ساختمان ساخته نشده‌است. بنابراین استفاده از آن نیازمند داشتن اطلاعات نسبتاً زیاد و تخصصی در مورد برنامه‌نویسی رایانه‌ای است. بدیهی است که قابلیت‌های شبیه‌سازی و پارامترهای قابل بهینه‌سازی وابسته به نرم‌افزار شبیه‌سازی است که به آن متصل می‌شود.

۴-۳. نرم‌افزار مدفرانتیر

مدفرانتیر یک نرم‌افزار چند رشته‌ای و چند هدفه است که می‌تواند از الگوریتم‌های پیچیده برای رسیدن به پاسخ بهینه استفاده کند. حتی زمانی که این الگوریتم‌ها با یکدیگر در تناقض باشند یا در زمینه‌هایی که برای آن‌ها طراحی شده‌اند متفاوت باشند. این نرم‌افزار قابلیت اتصال به بسته‌های مختلف نرم‌افزاری با قالب‌های مختلف ورودی و خروجی را دارد. همانند: انرژی‌پلاس، ای‌اس‌پی‌آر[1]، فلونت[2] و متلب. زمانی که داده‌ها وارد نرم‌افزار شد، کاربر می‌تواند با استفاده از ابزارهای فراوانی که دراختیار دارد به تحلیل نتایج بپردازد. جعبه ابزارهای بسیار متنوعی که نرم‌افزار در اختیار کاربر قرار می‌دهد او را قادر می‌سازد تا محاسبات پیچیده آماری و جلوه‌های گرافیکی مورد نظر خود را بر روی داده‌ها اعمال کند. این ابزار به وسیله ژینگ برای به‌دست آوردن بهترین استراتژی عایق کاری برای به حداقل رساندن بار تهویه مطبوع ساختمان به کار گرفته شد (Xing, 2011: 9). همچنین این نرم‌افزار به وسیله واحد سیستم و انرژی دانشگاه صنعتی آیندهون هلند مورد استفاده قرار می‌گیرد (Hoes et al., 2011: 4).

1. ESP-r
2. Flovent

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]

با وجود ویژگی‌های مناسب مدفرانتیر این نرم‌افزار هنوز در رابطه با عملیات پسا پردازش دارای ضعف‌هایی است و امکان تولید بسیاری از نمودارها را از اطلاعات خروجی نمی‌دهد. همچنین رابط کاربری این نرم‌افزار چندان قدرتمند نیست.

۴-۴. نرم‌افزار آپت‌ای پلاس

آپت‌ای پلاس ابزاری است که توسط مؤسسه NREL ساخته شده‌است و از موتور انرژی‌پلاس برای شبیه‌سازی استفاده می‌کند .آپت‌ای پلاساز روش‌های جستجوی مختلف برای رسیدن به طراحی بهینه ساختمان از نظر میزان مصرف انرژی می‌پردازد (L. Herrmann, 2010: 9). چارچوب برنامه بر مجموعه‌ای از فایل‌های ورودی و خروجی انرژی‌پلاس به همراه برخی روال‌های کامپیوتری که از قالبxml برای انتقال اطلاعات استفاده می‌کنند، استوار است. کاربر می‌تواند به جای دستکاری مستقیم فایل ورودی انرژی‌پلاس پارامترهای مورد نظر خود را در یک فایل xml اصلاح کند. این برنامه یک ابزار مستقل نیست با این حال می‌تواند با مقایسه گزینه‌های مختلف، به کمک طراح آمده و او را به سمت خلق یک ساختمان پر بازده از نظر مصرف انرژی هدایت کند. گرافیک رابط کاربری نرم‌افزار دارای محدودیت‌هایی است و بهینه‌سازی چند شاخه‌ای را پشتیبانی نمی‌کند. ازمحدودیت‌های دیگر این نرم‌افزار می‌توان به اختصاصی بودن آن برای ویژگی‌های منطقه آمریکای شمالی اشاره کرد. آپت‌ای‌پلاس تاکنون به وسیله محققان مؤسسه NREL و برخی دیگر از جمله هرمان و لانگ مورد استفاده قرار گرفته‌است (Christensen et al., 2004: 6; Long et al., 2010: 10).

۴-۵. نرم‌افزار بی‌آپت

بی‌آپت ابزار دیگری است که به وسیله مؤسسه NREL ساخته شده‌است. هدف این نرم‌افزار حرکت در مسیر طراحی ساختمان انرژی صفر است. این کار از طریق تشخیص طراحی بهینه از میان گزینه‌هایی صورت می‌گیرد که از قبل برای برنامه تعریف شده است. نرم‌افزار به کاربر اجازه می‌دهد تا از میان انتخاب‌های موجود در بخش‌های مربوط به پوسته ساختمان وسیستم‌های تهویه مطبوع، گزینه مطلوب را برگزیند. محاسبه و انتخاب در این نرم‌افزار بر اساس شاخصی که کاربر تعیین می‌کند یا یکی از

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]

مناطق اقلیمی امریکا انجام می‌شود. بی‌آپت به عنوان موتور محاسباتی می‌تواند از دی او ای-۲[1] ترنسیس استفاده کند. بهینه‌سازی در این نرم‌افزار با استفاده از روش‌های متعددی انجام می‌شود. فرایند بهینه‌سازی با هدف کاهش هزینه، کاهش مصرف انرژی و استفاده از سامانه‌های فتوولتاییک انجام می‌شود. نرم‌افزار در زمینه دامنه جواب‌های پیشنهادی و توابع هدف قابل انتخاب دارای محدودیت است. همچنین این برنامه براساس شرایط آمریکای شمالی طراحی شده‌است (Anderson et al., 2006: 18).

به عنوان موتور محاسباتی، متغیرهای ساختاری همچون پنجره و دیوار به عنوان ورودی برای تحلیل انرژی در نرم‌افزار دی او ای-۲ استفاده می‌شود. ازترنسیس برای محاسبات خورشیدی استفاده می‌گردد. اخیراً از انرژی‌پلاس هم برای تحلیل انرژی و هم محاسبات تابشی آفتاب استفاده شده‌است. باید توجه داشت که هدف از بی‌آپت تمرکز بر رسیدن به یک جواب بهینه نهایی نیست. بلکه کاربر را در مسیر طراحی بهینه قرار می‌دهد. به طوری که بتواند بین پاسخ‌های مناسب، مطلوب‌ترین آن‌ها را برای شرایط مورد نظر خود انتخاب کند. ترکیب این برنامه با نرم‌افزار اسکچ‌آپ که یک ابزار گرافیکی طراحی است، ساختن مدل ساختمانی را بسیار ساده کرده‌است. بی‌آپت به کاربر این امکان را می‌دهد تا به سرعت و به صورت گرافیکی فضای طراحی را بسازد. اما در عوض به دلیل اینکه در نتیجه نهایی، کاربر مجبور به انتخاب از میان گزینه‌های از پیش تعریف شده است و همچنین با توجه به عدم توانایی در به کارگیری طیف وسیعی از توابع هدف، محدودیت‌هایی ایجاد می‌شود (Antoniou, Lu, 2007-8-10 :).

۵. معیارهای مقایسه نرم‌افزارهای بهینه‌سازی انرژی در ساختمان

به منظور تعیین معیارهای مقایسه نرم‌افزارهای بهینه‌سازی در ابتدا لازم است انتظاراتی که از چنین نرم‌افزارهایی وجود دارد مورد بررسی قرار گیرد. از این رو پژوهش‌هایی که محققان مختلف در رابطه با نیازمندی‌های این گونه ابزارها انجام داده‌اند به طور خلاصه ارائه می‌شود.

1. DOE-2

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]

موانع موجود بر سر راه کارایی انرژی و طراحی به شرح زیر است (Welle et al. 2011) :

۱. سرعت تحلیل انرژی؛

۲. دقت در انتقال مدل معماری به مدل تحلیلی؛

۳. سازگاری مدل معماری با مدل تحلیلی؛

۴. سازگاری مدل تحلیلی با محاسبات همزمان چند شاخه‌ای؛

۵. سرعت شبیه‌سازی مدل تحلیلی؛

۶. هماهنگی ورودی و خروجی‌های مدل تحلیلی؛

آتیا و همکاران نیازهای نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی را در گام‌های ابتدایی فرایند طراحی به صورت زیر دسته‌بندی کرده‌اند (Attia et al. 2012):

۱. تعریف هندسه در نرم‌افزارهای شبیه‌سازی؛

۲. تعریف ورودهای نرم‌افزارهای شبیه‌سازی؛

۳. تأمین اطلاعات مفید در مرحله‌ی تصمیم گیری؛

۴. ارزیابی و مقایسه عملکرد انرژی ساختمان؛

۵. تفسیر نتایج؛

۶. تکرار هوشمندانه

بامبارکر و پرسک در مورد نیازهای معماران در استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی در مراحل ابتدایی طراحی تحقیقی را با استفاده از تحلیل پرسشنامه و مصاحبه‌هایی که حاصل کارهای محققان دیگری بود، انجام دادند. نتایج کار آنها به شرح زیر است:

نیازهایی که ازطریق پرسشنامه حاصل شده‌است: ۱. قابلیت‌های نرم‌افزارهای شبیه‌ساز برای کمک به تصمیم‌گیری؛ ۲. ایجاد آگاهی از نحوه‌ی کارکرد و روش استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌ساز انرژی؛ ۳. درک تفاوت فرایند شبیه‌سازی انرژی و فرایند طراحی معماری و نحوه ساده‌سازی مدل در مراحل اولیه طراحی؛ ۴. هماهنگی با نیازهای معمار در ابتدای فرایند طراحی. برای دستیابی به اهداف پژوهش و درک بهتر از محدودیت‌های این دو فرایند، محققان آزمایشی را ترتیب دادند. در این آزمایش نتایج مشابه با موارد مطرح شده به دست آمد و علاوه بر آن دیده شد که: ۱. راهنماهای بسیار محدودی وجود دارند که به معماران در جهت استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌ساز در ابتدای فرایند طراحی کمک

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]

کننـد. ۲. خـود انتخـاب نـرم‌افـزار مناسـب هـم موضـوع مهمـی اسـت و نیـاز بـه راهنمـایی دارد (Bambardekar, Poerschke 2009: 13-14).

به‌جز موارد بالا، نیازهای دیگری در زمینه قابلیت‌های نـرم‌افزارهـای شـبیه‌سـازی بـرای ورود بـه مراحل ابتدایی طراحی مطرح است. تحقیقات زیادی نشان می‌دهد که بیشتر نرم‌افزارهای موجود بـرای استفاده در گام‌های نخست فرایند طراحی، لازم است در یک چرخه تولید بازخورد و تغییـر سـریع فـرم قرار بگیرند (Schlueter, Thesseling 2009: 11).

با توجه به دست‌آوردهای پژوهشگران مختلف در مورد محـدودیت‌هـای ابزارهـای شـبیه‌سـازی و نیازهای معماران، این نیازها در شش دسته تقسیم‌بندی شده‌اند.

۵-۱. گستره پایگاه داده نرم‌افزار و سهولت دسترسی به آن

یکی از نکاتی که در کارایی نرم‌افزارهای شبیه‌سازی کاربرد دارد جامعیت پایگاه داده‌ی آن‌ها است. ایـن پایگاه می‌تواند در تعریف مناسب متغیرهای مدل نقش تعیین‌کننده‌ای داشته باشـد و نیازهـای کـاربر در این رابطه را در خود نرم‌افزار برطرف کند. موضوع گستره پایگاه داده و سهولت دسترس به آن خود بـه زیرشاخه جامع بودن پایگاه داده و استفاده هوشمند و خودکـار از اطلاعـات موجـود در مراحـل مختلـف مدل‌سازی و طراحی تقسیم می‌شود.

۵-۲. قابلیت اتصال با دیگر ابزارها

امکان دریافت و ارسال اطلاعات میان ابزار بهینه‌سازی انرژی با دیگر نرم‌افزارها اعـم از نـرم‌افزارهـای مدل‌سازی هندسی و ابزارهای شبیه‌سازی دیگر، معیار دیگری است که بر کارایی ابزار بهینه‌سازی تأثیر به‌سزایی دارد.

۵-۳. رابط کاربری

برای استفاده هرچه بهتر از ابزار بهینه‌سازی انرژی مخصوصاً به منظـور اسـتفاده معمـاران، لازم اسـت محیطی کاربرپسند برای شبیه‌سازی ساختمان و تعریف پارامترهای آن وجود داشته باشد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]

۵-۴. قابلیت نمایش گرافیکی و قابل فهم خروجی‌های ابزار (پساپردازش[1])

ارائه خروجی‌های گرافیکی کمک شایانی به درک و تحلیل نتایج فرایند بهینه‌سازی می‌کند. لذا دارابودن قابلیت ایجاد نمودارهای مختلف و نمایش نمودارهای متفاوت، بر میزان کارایی نرم‌افزار اثر چشمگیری می‌گذارد. زیر شاخه‌های قبلیت‌های پساپردازشی عبارتند از: تولید نمودارهای خطی و میله‌ای برای نمایش نتایج محاسبات؛ ترسیم نمودار پارتو فرانتیر به منظور درک شرایط بهینه میان گزینه‌های موجود؛ قابلیت گرفتن خروجی‌هایی با قالب‌های متفاوت از نتایج شبیه‌سازی.

۵-۵. پارامترهای بهینه‌سازی

پارامترهای بهینه‌سازی دارای سه زیر شاخه هستند: ۱) پارامترهای مربوط به موتور بهینه‌سازی که عبارتند از: الگوریتم‌های بهینه‌سازی، تنظیمات الگوریتم‌ها و قابلیت تغییر آن‌ها، قابلیت محسبات موازی؛ ۲) پارامترهای مربوط به متغیرهای بهینه‌سازی که عبارتند از: توانایی بهینه‌سازی سرمایش، گرمایش، روشنایی، تهویه طبیعی و سیستم‌های تهویه مطبوع؛ ۳) امکان تعیین متغیرها به وسیله کاربر.

۵-۶. سادگی کاربرد برای معماران

منظور از استفاده ساده برای معماران، عدم نیاز به دانش و مهارتی فراتر از آن چیزی است به‌صورت معمول در اختیار معماران قرار دارد. از آن جمله می‌توان به وجود توان برنامه نویسی رایانه‌ای و تنظیم و انتخاب کردن الگوریتم‌ها برای مقاصد خاص نام برد.

۶. مقایسه نرم‌افزارهای بهینه سازی

در جدول (۲) خلاصه نتایج مقایسه میان قابلیت‌های ابزارهای بهینه‌سازی بر اساس معیارهای ذکر شده، ارائه شده‌است:

1. Post processing

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]

جدول۲. مقایسه قابلیت‌های مختلف ابزارهای شبیه‌سازی

معیار		ابزارهای بهینه‌سازی				
عنوان اصلی	زیرشاخه‌ها	جی‌اَمز	متلب	مدفرانتیر	سی‌اَپت	اَپتای پلاس
گستره پایگاه داده نرم‌افزار و سهولت دسترسی به آن	جامع بودن پایگاه داده	وابسته[1]	وابسته	وابسته	دارد	محدود
	استفاده هوشمند و خودکار از اطلاعات	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد
قابلیت اتصال با دیگر ابزارها	--	دارد	دارد	دارد	محدود	ندارد
رابط کاربری	--	ندارد	ندارد	محدود	دارد	دارد
پساپردازش	تولید نمودارهای خطی و میله‌ای	ندارد	دارد	ندارد	ندارد	ندارد
	ترسیم نمودار پارتو فرانتیر	دارد	دارد	دارد	دارد	دارد
	قابلیت گرفتن خروجی‌هایی با قالب‌های متفاوت از نتایج شبیه‌سازی	دارد	دارد	دارد	دارد	دارد

۱. وابسته به نرم افزاری که به آن متصل می‌شوند.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]

معیار		ابزارهای بهینه‌سازی				
عنوان اصلی	زیرشاخه‌ها	جن آپ	متلب	مدفرانتیر	جی آپ‌ت	آپتای پلاس
پارامترهای بهینه‌سازی	انتخاب الگوریتم‌های بهینه-سازی	دارد	دارد	دارد	محدود	ندارد
	تنظیمات الگوریتم‌ها و قابلیت تغییر آن‌ها	ندارد	دارد	دارد	محدود	ندارد
	قابلیت محسبات موازی	دارد	دارد	دارد	دارد	دارد
	توانایی بهینه‌سازی سرمایش	دارد	دارد	دارد	دارد	دارد
	توانایی بهینه‌سازی گرمایش	دارد	دارد	دارد	دارد	دارد
	توانایی بهینه‌سازی روشنایی	وابسته	وابسته	وابسته	ندارد	ندارد
	توانایی بهینه‌سازی تهویه طبیعی	وابسته	وابسته	وابسته	محدود	محدود
	امکان تعیین متغیرها به وسیله کاربر	دارد	دارد	دارد	ندارد	ندارد
سادگی کاربرد برای معماران	نیاز به توان برنامه نویسی	محدود	دارد	محدود	ندارد	ندارد
	نیاز به انتخاب و تنظیم الگوریتم‌ها	دارد	دارد	دارد	ندارد	ندارد

مأخذ: نتایج تحقیق

با توجه به مقایسه صورت گرفته در جدول (۲) در میان نرم‌افزارهای بررسی شده، در رابطه با موضوع استفاده "هوشمند و خودکار از اطلاعات" هیچ یک از ابزارها توانایی لازم را ندارند و این موضوع یکی از ضعف‌های عمومی آن‌ها است. همچنین روشن است که نرم‌افزارهایی که به صورت

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]

مجزا از نرم افزار شبیه‌سازی طراحی شده‌اند و به فراخور نیاز به نرم افزارهای شبیه‌سازی متصل می‌شوند (جن‌آپت، متلب، مدفرانتیر) انعطاف پذیری بیشتری دارند و نیز قابلیت‌های گسترده‌تری در زمینه بهینه‌سازی در آن‌ها به چشم می‌خورد اما از طرفی به‌کارگیری آن‌ها نیازمند تخصص بیشتر و در برخی موارد همچون نرم افزار Matlab دانش کافی در زمینه برنامه نویسی است. از سوی دیگر نرم‌افزارهایی مثل بی‌آپت و آپت‌ای پلاس که بیشتر بر رابط کاربری و ساده شدن عملیات بهینه‌سازی تمرکز دارند، از تنوع لازم در ابزارها و پارامترهایی که قابلیت بهینه شدن دارند، برخوردار نیستند. به این ترتیب روشن است که استفاده از نرم‌افزارهای بهینه‌سازی با قابلیت بالا عموماً از دایره توان علمی و مهارتی معماران خارج است. به نظر می‌رسد برای غلبه بر این مشکل دو راه در پیش رو قرار دارد: اول، اینکه ابزارهایی برای معماران و در دامنه توان آن‌ها طراحی شود. در حال حاضر این نوع تلاش‌ها به تولید نرم‌افزارهایی مانندبی‌آپت و آپت‌ای پلاس منتهی شده‌است که دامنه کاربرد و انعطاف بسیار محدودی دارد. دوم، افزایش مهارت و دانش معماران متناسب با ابزارهای جدید است. این موضوع یا باید با افزایش دانش خود معمار انجام شود یا در فرایند طراحی، مشاوری متخصص در زمینه بهینه‌سازی به خدمت گرفته‌شود. در شرایط فعلی چنین به نظر می‌رسد که هیچ یک از ابزارهای موجود مجموعه نیازهای طراحان را به صورت کامل پوشش نمی‌دهد. بنابراین کاربر لازم است دست‌به‌انتخاب‌زده و با توجه به نیازهای خود ابزار مناسب را برگزیند و مسئله مشخص خود را با استفاده از آن حل نماید. مشکلی که در این رابطه مطرح است اینکه کار با هریک از ابزارهای معرفی شده نیازمند آموزش و مهارت است. از آنجا که هیچ یک از این ابزارها کامل نیستند این احتمال همیشه وجود دارد که ابزار انتخاب شده توانایی حل مشکل را در مراحل بعدی نداشته باشد و فرایند آموزش برای ابزار دیگری تکرار شود که این خود موجب افزایش زمان و هزینه خواهد شد. از سوی دیگر برای حل مسائل دیگر کاربر، معمولاً لازم است از سایر ابزارها استفاده نماید. درصورتی که کاربر بخواهد ابزاری با انعطاف‌پذیری بالا همچون Matlab را برگزیند و کمترین محدودیت را در حل مسئله داشته باشد، نیازمند توانایی بالا در زمینه برنامه‌نویسی رایانه‌ای خواهد بود به گونه‌ای که عملاً بتواند ابزار مورد نیاز خود را تولید نماید. نتیجه اینکه در شرایط کنونی آموزش و مهارت در جامعه معماری کنونی مستلزم تحول در زمینه استفاده از ابزارهای نوین است. همان‌گونه که با ورود رایانه به عرصه طراحی، آموختن نحوه استفاده از آن به جزء لاینفکی از آموزش معماری تبدیل شده‌است. اکنون لازم است تا شیوه

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]

استفاده از رایانه فراتر رفته و مهارت طراحان ساختمان در زمینه الگوریتم‌ها، زبان‌های برنامه‌نویسی و منطق بهینه‌سازی افزایش یابد.

۷. نتیجه گیری و پیشنهادات

در این مقاله به بررسی قابلیت‌ها و محدودیت‌های استفاده از روش‌های بهینه‌سازی در مرحله طراحی ساختمان‌ها پرداخته شد. سپس ابزارهایی که بیشترین کاربرد را به این منظور دارند مورد مطالعه قرارگرفتند. براساس مطالعات انجام شده، با الگوریتم‌های تکاملی می‌توان مسائل پیچیده مربوط به طراحی پوسته ساختمان، سیستم‌های تهویه مطبوع و انرژی‌های تجدیدپذیر را بهینه‌سازی کرد؛ در صورتی که الگوریتم‌های دیگر این قابلیت را ندارند. این الگوریتم‌ها به جستجو در فضای راه حل‌های امکان پذیر می‌پردازند و در فرایند آزمون و خطا و بر اساس منطقی که بر مبنای آن طراحی شده‌اند به سمت جواب بهتر حرکت می‌کنند در بسیاری از الگوریتم‌های موجود می‌توان اهداف متعددی برای مسئله در نظر گرفت به عنوان مثال هم‌زمان هم افزایش آسایش حرارتی به عنوان هدف مد نظر باشد و هم کاهش مصرف انرژی و در عین حال سرمایه‌گذاری برای این اقدامات حداقل شود. در این شرایط بهینه‌سازی به سمت پاسخی خواهد رفت که تعادلی را بین خواسته‌های مطرح شده ایجاد کند. این موضوع در مراحل اولیه به طراح ساختمان کمک ویژه‌ای می‌کند و او را در یافتن پاسخ بهینه یاری می‌نماید. البته در این راستا محدودیت‌ها و خلأهایی وجود دارد. به عنوان مثال عدم و جود قطعیت در مرحله طراحی به خصوص در مراحل ابتدایی آن موجب می‌شود آنچه قرار است بهینه‌سازی شود مبهم باشد و این موضوع بهینه‌سازی رامشکل و گاهی غیر ممکن می‌کند. مسئله بعد عدم اطمینان از رسیدن به بهترین جواب است. این عارضه به دلیل ماهیت تصادفی بودن روش‌های تکاملی بهینه‌سازی است. البته با مقایسه میان نتایج حاصل از بهینه‌سازی و مقایسه با قبل از آن، تفاوت محسوسی دیده می‌شود. بنابراین مؤثر بودن بهینه‌سازی امری روشن است و بهترین بودن جواب در این راستا اهمیت ویژه‌ای ندارد. از دیگر محدودیت‌های موجود در استفاده از این روش‌ها در طراحی، ضعف ابزارها و افراد متخصص برای استفاده از آن در مراحل مختلف طراحی است. از جمله این ضعف‌ها می‌توان به محدودیت پارامترهای قابل بهینه‌سازی، ضعف در رابط کاربری و در برخی موارد نیاز به دانش و مهارت زیاد در امر برنامه نویسی رایانه‌ای اشاره کرد. در میان موارد یاد شده، عدم وجود دانش و مهارت معماران در زمینه برنامه‌نویسی رایانه‌ای و الگوریتم‌های بهینه‌سازی، یک ضعف کلیدی محسوب

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]

می‌شود. چرا که در صورت وجود چنین دانش و مهارتی بسیاری از مواردی که به عنوان ضعف نرم‌افزارها از آن‌ها یاد شد (همچون رابط کاربری نامناسب، خروجی گرافیکی، ارتباط نرم‌افزارها، تنوع استفاده از الگوریتم‌ها و محدودیت پارامترهای قابل محاسبه) دیگر موضوعیت نخواهند داشت. به این ترتیب به نظر می‌رسد تقویت این مهارت‌ها در معماران گام مؤثری در زمینه استفاده از ابزارهای بهینه‌سازی در فرایند طراحی معماری خواهد بود.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از رساله دکتری نگارنده اول با عنوان «تدوین چارچوب استفاده از ابزارهای شبیه‌سازی انرژی در گام‌های ابتدایی فرایند طراحی معماری» به راهنمایی نگارنده دوم و مشاوره دکتر فرزین فردانش در دانشگاه هنر تدوین شده‌است.

منابع

[۱] جهان بخش، حیدر و آزیتا غفارزاده (۱۳۹۶). "بررسی رابطه و میزان تأثیر تابش خورشیدی بر بدنه ساختمان در تعیین جهت‌گیری بنا با هدف کاهش مصرف انرژی نمونه موردی: ساختمان مسکونی در اصفهان". نشریه انرژی ایران. ۲۰(۲)، صص۸۵-۱۰۱ .

[2] Andersen M., Kleindienst S., Yi L., Lee J., Bodart M. and B. Cutler (2008). "An Intuitive Daylighting Performance Analysis and Optimization Approach". Building Research & Information, 36(6), pp. 593-607.

[3] Anderson R., Christensen C. and S. Horowitz (2006). "Program Design Analysis using BEopt Building Energy Optimization Software: Defining a Technology Pathway Leading to new homes with Zero Peak Cooling Demand (No. NREL/CP-550-39821)". National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States).

[4] Antoniou A., and W.S. Lu (2007). Practical Optimization: Algorithms and Engineering Applications. Springer Science & Business Media.

[5] Athienitis A.K. and W. O'Brien (Eds.). (2015). "Modeling, design, and Optimization of net-zero Energy Buildings". Berl Ernst &Sohn.

[6] Attia S., Beltrán L., De Herde A. and J. Hensen (2009). "Architect friendly": A Comparison of ten different building Performance Simulation Tools. Proceedings of 11th International Building Performance Simulation Association Conference and Exhibition". International Building Performance Simulation Association (IBPSA).

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]

[7] Attia Shady, Gratia Elisabeth, Herde André de and L.M. Hensen Jan (2012). "Simulation-based Decision Support Tool for Early Stages of Zero-energy Building Design". Energy and Buildings, No. 49, pp. 2–15.
[8] Attia Shady and Herde André de (2011). "Early Design Simulation Tools for net-zero Energy Buildings: a Comparison of ten tools". Conference Proceedings of 12th International Building Performance Simulation Association.
[9] Baldock Robert, Shea Kristina and Eley Damian (2005). "Evolving Optimized Braced Steel Frameworks for Tall Buildings using Modified Pattern Search". Computing in Civil Engineering, pp. 1–12.
[10] Bambardekar Suhas and Poerschke Ute (2009). The Architect as the Performer of Energy Simulation in the Early Design Stage". Building Simulation, pp. 1306–1313.
[11] Brown C., Glicksman L. and M. Lehar (2010). "Toward Zero Energy Buildings: Optimized for Energy use and Cost, Simbuild 2010". Fourth national conference of IBPSA-USA, New York City, New York.
[12] Brownlee Alexander E. I. and A. Wright Jonathan (2012). Solution Analysis in multi-objective Optimization.
[13] Caldas Luisa (2001). "An Evolution-based Generative Design System: Using Adaptation to Shape Architectural form". Massachusetts Institute of Technology.
[14] Christensen C., Barker G. and S. Horowitz (2004). "A Sequential Search Technique for Identifying Optimal Building Designs on the Path to Zero net Energy. In Proceedings of the Solar Conference". American Solar Energy Society; American Institute Of Architects, pp. 877-882.
[15] Deb Kalyanmoy, Pratap Amrit, Agarwal Sameer and Meyarivan TAMT (2002). "A fast and Elitist Multiobjective Genetic Algorithm: NSGA-II. In IEEE Transactions on Evolutionary Computation. 6(2), pp. 182–197.
[16] DOE (2012). "Energy Software Dictionary. U.S. Department of energy". Available online at http://apps1.eere. energy.gov/buildings/tools directory/.
[17] Emmerich M.T.M., Hopfe C.J., Marijt R., Hensen J.L.M., Struck C. and P. Stoelinga (2008). "Evaluating Optimization Methodologies for Future Integration in Building Performance Tools". Proceedings of the 8th Int. Conf. on Adaptive Computing in Design and Manufacture (ACDM), vol. 29, p. 7.
[18] Fong K.F., Hanby V.I. and T.T. Chow (2006). "HVAC System Optimization for Energy Management by Evolutionary Programming". Energy and Buildings 38(3), pp. 220–231.
[19] Hamdy Mohamed, Hasan Ala and Kai Siren (2009). A Combination of Optimization Algorithms for a Multi-objective Building Design Problem. In : IBPSA". 11th International Building Performance Simulation Association Conference, Glasgow-UK.
[20] Hamdy Mohamed, Hasan Ala and Siren Kai (2011a). Applying a multi-objective optimization approach for the design of low-emission cost-effective dwellings. Building and Environment 46 (1), pp. 109–123.
[21] Hamdy, Mohamed; Hasan, Ala; Siren, Kai (2011b). Impact of adaptive thermal comfort criteria on building energy use and cooling equipment size

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]

using a multi-objective optimization scheme. Energy and Buildings 43 (9), pp. 2055–2067. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.04.006.
[22] Hamdy M., Hasan A. and K. Siren (2013). "A Multi-stage Optimization Method for Cost-optimal and Nearly-zero-energy Building Solutions in Line with the EPBD-recast 2010". Energy and Buildings, No. 56, pp. 189–203.
[23] Hayter Sheila, Torcellini Paul, Hayter Richard B. and R. Judkoff (2000). The Energy Design Process for Designing and Constructing High-performance Buildings.World Congress, Napoli.
[24] Hoes P., Trcka M., Hensen J.L.M., Bonnema B. Hoekstra (2011). Optimizing Building Designs Using a Robustness Indicator with Respect to user Behavior. Building Simulation Proceedings of the 12th Conference of the International Building Performance Simulation Association, pp. 1710–1717.
[25] Holland John Henry (1992). Adaptation in Natural and Artificial Systems: an Introductory Analysis with Applications to Biology, Control and Artificial Intelligence: MIT press.
[26] Jedrzejuk Hanna, Marks Wojciech (2002). "Optimization of Shape and Functional Structure of Buildings as well as Heat Source Utilization Example". Building and Environment, 37(12), pp. 1249–1253.
[27] Kämpf Jérôme Henri and D. Robinson (2010). "Optimisation of Building the form for Solar Energy Utilization using Constrained Evolutionary Algorithms". Energy and Buildings, 42(6), pp. 807–814.
[28] Kayo Genku and Ooka Ryozo (2010). "Building Energy System Optimizations with the Utilization of Waste Heat from Cogeneration by means of Genetic Algorithm". Energy and Buildings, 42(7), pp. 985–991.
[29] Kolokotsa D., Stavrakakis G.S., Kalaitzakis K. and D. Agoris (2002). "Genetic Algorithms Optimized Fuzzy Controller for the Indoor Environmental Management in Buildings Implemented using PLC and local Operating Networks". In Engineering Applications of Artificial Intelligence. 15(5), pp. 417–428.
[30] Kusiak Andrew, Xu Guanglin, Tang Fan (2011). Optimization of an HVAC System with a Strength Multi-objective Particle-swarm Algorithm. In Energy, 36(10), pp. 5935–5943.
[31] Lam K.P., Huang Y.C. and C. Zhai (2004). Energy Modeling Tools Assessment for Early Design Phase, Final Report. In Center for Building Performance and Diagnostics School of Architecture, Carnegie Melon University.
[32] Lee Wen-Shing, Chen Yi-Ting, Kao Yucheng (2011). "Optimal Chiller Loading by Differential Evolution Algorithm for Reducing Energy Consumption". In Energy and Buildings, 43(2-3), pp. 599–604.
[33] Lin Shih-Hsin Eve (2014). Designing-in performance: energy simulation feedback for early-stage design decision making: University of Southern California.
[34] Liu Simeng, Henze Gregor P. (2006). "Experimental Analysis of Simulated Reinforcement Learning Control for Active and Passive Building Thermal Storage Inventory". In Energy and Buildings, 38(2), pp. 148–161.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]

[35] Long Nicholas, Hirsch Adam, Lobato Chad, Macumber Daniel (2010). Commercial Building Design Pathways Using Optimisation Analysis. In ACEEE Summer Study Pacific Grove, California August, pp. 15–20.
[36] Loonen RCGM, Trcka M. and J. Hensen (2011). Exploring the Potential of Climate Adaptive Building Shells. Building Simulation 2011: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, (14-16 November), pp. 2148–2155.
[37] Magnier Laurent and Haghighat Fariborz (2010). "Multiobjective Optimization of Building Design using TRNSYS Simulations, Genetic Algorithm and Artificial Neural Network". In Building and Environment, 45(3), pp. 739–746.
[38] MathWorks (2018). MATLAB. Programming Environment for Algorithm Development, Data. Version R2017B. Natick, MA: The MathWorks. Available online at: https://www.mathworks.com/products.html?s_tid=gn_ps.
[39] Mela Kristo, Tiainen Teemu and Heinisuo Markku (2012). "Comparative Study of Multiple Criteria Decision-making Methods for Building Design". Advanced Engineering Informatics, 26(4), pp. 716–726.
[40] Mitchell Melanie (1998). An introduction to genetic algorithms: MIT press.
[41] Nielsen, Toke Rammer: Optimization of buildings with respect to energy and Indoor Environment. Ph.D. Dissertation, Technical University of Denmark, online at: http://www. byg. dtu. dk/upload/institutter/byg/publications/rapporter/byg-r036. pdf,[accessed 22 January 2012].
[42] Rapone Gianluca and Saro Onorio (2012). "Optimisation of Curtain Wall Façades for Office Buildings by means of PSO Algorithm". In Energy and Buildings. No. 45, pp. 189–196.
[43] Riether G. and T. Butler (2008). Simulation Space-a new design Environment for Architects. 26th eCAAD Conference proceedings. Muyelle, M., ed., Antwerp, Belgium.
[44] Schlueter Arno and F. Thesseling (2009). "Building Information model-based energy/exergy Performance Assessment in Early Design Stages". Automation in Construction, 18(2), pp. 153–163.
[45] Shea Kristina, Sedgwick Andrew and G. Antonuntto (2006). "Multicriteria Optimization of Paneled Building Envelopes Using Ant Colony Optimization. in Ian F. C. Smith (Ed.). Intelligent Computing in Engineering and Architecture". Springer Berlin Heidelberg, pp. 627–636.
[46] Shi Xing (2011). "Design Optimization of Insulation Usage and Space Conditioning load using Energy Simulation and Genetic Algorithm". Energy, 36(3), pp. 1659–1667.
[47] Snyman Jan A. (2005). Practical Mathematical Optimization. An Introduction to Basic Optimization Theory and Classical and New Gradient-based Algorithms / by Jan A. Snyman. New York: Springer (Applied optimization, v. 97).
[48] Stephan Louis, Bastide Alain, Wurtz Étienne and Souyri Bernard (2009). "Ensuring Desired Natural Ventilation Rate by Means of Optimized Openings. Proc. of the 11th IBPSA Conference", Glasgow, Scotland, pp. 2282–2288.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]

[49] Welle Benjamin, Haymaker John and Rogers Zack (2011). "ThermalOpt: A Methodology for Automated BIM-based Multidisciplinary Thermal Simulation for use in Optimization Environments". Building Simulation, No.4, pp. 293–313.
[50] Wetter Michael (2004). Simulation-based building energy optimization. University of California, Berkeley.
[51] Weytjens Lieve, Attia Shady, Verbeeck Griet and Herde André de (2011). "The 'architect-friendliness' of six Building Performance Simulation Tools: a Comparative Study". International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development. 2(3), pp. 237–244.
[52] Wright Jonathan, Zhang Yi, Angelov Plamen, Hanby Victor and R. Buswell (2008). "Evolutionary Synthesis of HVAC System Configurations: Algorithm Development (RP-1049)". HVAC&R Research, 14(1), pp. 33–55.
[53] Wright Jonathan A. and Mourshed Monjur (2009). Geometric Optimization of Fenestration. Eleventh International IBPSA Conference Glasgow, Scotland.
[54] Zhang Yi (2009). Parallel Energyplus and the Development of a Parametric Analysis Tool. Eleventh International IBPSA Conference Glasgow, Scotland.
[55] Zitzler E., Deb K. and L. Thiele (2000). "Comparison of multiobjective Evolutionary Algorithms: Empirical Results". Evolutionary computation, 8(2), pp.173-195.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]