فصلنامه پژوهش‌های سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی
سال پنجم/ شماره ۱۴/ بهار ۱۳۹۸/ صفحات ۱۶۷-۱۴۳

تحلیل پارامتریک انرژی در مراحل اولیه طراحی ساختمان‌های اداری بلندمرتبه در شهر تهران

محمدرضا حافظی
دانشیار دانشگاه شهید بهشتی
mr-hafezi@sbu.ac.ir

محمد تحصیل دوست
استادیار دانشگاه شهید بهشتی (نویسنده مسئول)
m.tahsildoost@sbu.ac.ir

زهرا سادات زمردیان
استادیار دانشگاه شهید بهشتی
z.zomorodian@sbu.ac.ir

یاسمین نصیری
دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه شهید بهشتی
nasiri.yasamin@gmail.com

مصرف انرژی و آسایش حرارتی در ساختمان‌های اداری، با توجه به رشد روزافزون درکلان شهرها و بالتبع آلودگی زیست محیطی، اهمیت زیادی دارد. طراحی ساختمان‌های با عملکرد بالا امر پیچیده ای است که بایستی اهداف متعدد و متناقضی مانند حداکثر آسایش در برابر کمترین مصرف انرژی یا حداقل مصرف انرژی با کمترین میزان تولید کربن را در مراحل اولیه طراحی پوشش دهد. در همین راستا، در این پژوهش پارامترهای معماری از جمله فرم، جهت گیری، درصد پنجره، ارتفاع طبقه، نوع شیشه، عایق حرارتی و جرم حرارتی با روش بهینه سازی چند هدفه در ساختمان‌های اداری بلندمرتبه در تهران بررسی شده است. با توجه به نتایج، درصد پنجره، نوع شیشه و فرم ساختمان تاثیرگذارترین پارامترها، جرم حرارتی و عایق حرارتی کم اثرترین آن‌ها بر اهداف پژوهش هستند. همچنین ساختمان‌های با فرم مستطیل و جهت گیری جنوبی با ۲۵٪ پنجره سه جداره در تمام جهات عملکرد خوبی در شهر تهران دارند.

واژگان کلیدی: بهینه سازی چند هدفه، شبیه سازی پارامتریک، انرژی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱/۱۴

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-12-14]

۱. مقدمه

محدودیت امکانات و منابع، جوامع را به سوی بهره وری بالاتر و روش‌های اقتصادی‌تر تامین نیازها و خواسته‌های نامحدود خود از منابع کمیاب سوق داده اند (خسروی و همکاران، ۱۳۹۷). در کشور ایران بخش ساختمان (با ۳۳.۶ درصد از کل مصرف) و شدت مصرف انرژی ۱.۴ برابر متوسط جهانی عمده ترین مصرف کننده انرژی است. (ترازنامه انرژی ۱۳۹۳، ۱۳۹۶). انتظار می‌رود متوسط مصرف انرژی در ساختمان‌ها ازسال ۲۰۱۲ تا۲۰۴۰ سالیانه ۱.۵ درصد افزایش یابد (IEA, 2016). به علاوه امروزه تقاضای جهانی انرژی ساختمان‌های غیر مسکونی، و ازجمله اصلی‌ترین آن ها، ساختمان‌های اداری، حدود ۱۳ درصد است (Conti et al., 2016). همچنین براساس مطالعات و برآوردهای سازمان بهره وری انرژی ایران (سابا) ۲.۵ درصد از کل انرژی مصرفی کشور در ادارات دولتی مصرف می‌شود. مطابق با تحقیقات انجام شده دلیل اصلی رشد مصرف انرژی، رشد جمعیت، افزایش زمان حضور داخل بنا، نیاز به عملکرد بالاتر و بهتر ساختمان‌ها و نیاز به افزایش تراکم ارتفاعی، انتظارکیفیت بالاتر فضای داخلی و تغییرات اقلیمی است (Cao, Dai, and Liu, 2016). ۴۴٪ از تحقیقات بهینه سازی عملکرد ساختمان به دلیل اهمیت مصرف انرژی ، کارایی بیشتر کارمندان و کاهش آلودگی محیط زیست در کاربری اداری انجام شده است و لذا سهم بیشتری از سایر کاربری‌ها را در مطالعات به خود تخصیص می‌دهد (Kheiri, 2018). از سویی، با توجه به رشد جمعیت و شهرنشینی، رشد عمودی ساختمان‌ها و بلندمرتبه سازی رواج یافته است. به دلیل سطح اشغال محدود، مصرف انرژی متمرکز و قابل توجه و حجم تولید آلاینده‌ها در ساختمان‌های بلند مرتبه، لازم است بهینه سازی انرژی از مراحل اولیه طراحی تا مرحله بهره برداری مورد توجه قرار گیرد(قادری، ۲۰۱۷). به ویژه این که سیاست گذاری طراحی و تصمیم گیری در مراحل اولیه طراحی تاثیر قابل

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-12-14]

ملاحظه‌ای بر نتایج نهایی دارد و بیشترین تاثیر را با کمترین هزینه بر عملکرد ساختمان می‌گذارد(Tseng, 2015). از آن جا که استفاده از شبیه سازی در مراحل اولیه طراحی، به دلیل سرعت زیاد تغییرات طرح و تعدد ورودی‌ها و متغیرهای شبیه سازی ناشناخته، دشوار است (Ochoa andCapeluto, 2009) با استفاده از تکنیک‌های شبیه سازی پارامتریک و تکیه بر قدرت محاسبات امروزی، می‌توان طرح‌های بالقوه ی متعددی را به منظور تنویر سیاست‌های کلان و خرد، در هدایت تیم طراحی و نیز به عنوان نقطه‌ی شروع طراحی ارائه کرد (Samuelson et al., 2016).

پیش از این تاثیر پارامترهای معماری و ساختمانی بر مصرف انرژی(Attia et al., 2012) آسایش(Carlucci et al., 2015)، هزینه(Simmons,2012) و آلودگی زیست محیطی(Gabriele et al., 2018) مطالعه شده است. همچنین پارامترهای فرم(Raji et al., 2017)، جهت‌گیری، درصد پنجره، مشخصات شیشه(Garcia, 2016)، عایق حرارتی، جرم حرارتی و تعداد طبقات(Godoy-Shimizu et al., 2018) عمدتا از طریق شبیه‌سازی پارامتریک بررسی شده است.

در روش پیشنهادی فانگ برای ارزیابی هم زمان مصرف انرژی و بهره مندی از نور روز که در سه اقلیم مختلف با استفاده از روش طراحی پارامتریک، بهینه سازی عملکرد ساختمان و الگوریتم ژنتیک ارائه شده است، نشان داده شد که می‌توان مصرف انرژی را در اقلیم گرم حدود ۲۲٪ کاهش و بهره مندی از نور روز را حدود ۱۶٪ افزایش داد(Fang, 2017). گارسیا اثر متغیرهای طراحی شامل فرم، درصد پنجره، جهت گیری، عایق حرارتی، جرم حرارتی و نوع شیشه را بر مصرف انرژی، هزینه و میزان انتشارکربن دی اکسید در چهار منطقه ی آب و هوایی در اسپانیا با استفاده از شبیه سازی پارامتریک و بهینه سازی چندهدفه بررسی کرده است ومطابق با نتایج وی، فرم (در بیشترین حالت حدود ۶۰٪ بر روشنایی) و درصد پنجره (در بیشترین حالت حدود ۵۰٪ بر بار سرمایش) تاثیرگذارترین پارامترها بر اهداف پژوهش در اقلیم‌های مختلف هستند(Garcia, 2016).نتایج مطالعه مشابه پارامتریک ساموئلسن و همکاران در مراحل اولیه طراحی نشان داد از میان پارامترهای فوق الذکر بر ساختمان مسکونی بلندمرتبه اختلاف ۲۰٪

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-12-14]

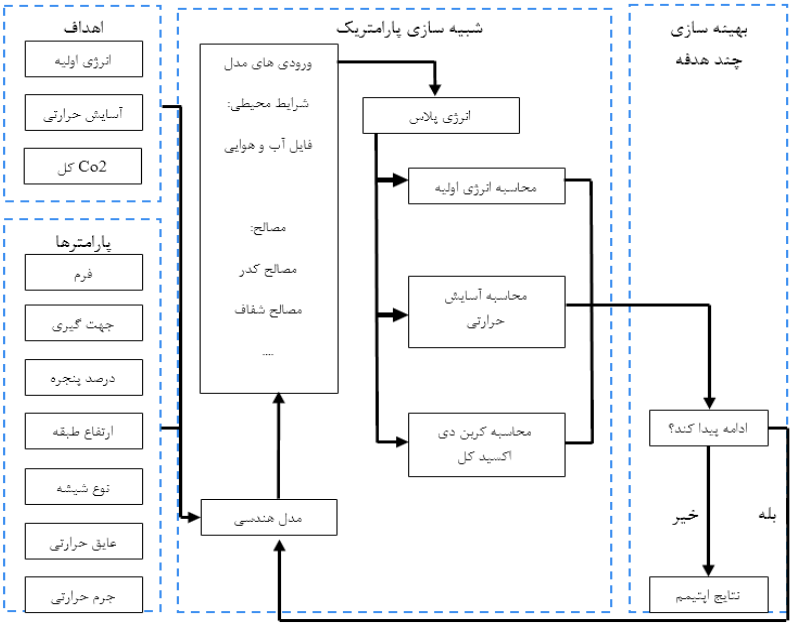
مصرف انرژی بین بهترین و بدترین طرح در شرایط ساختمان خارج از بافت شهری و اختلاف ۸٪ در شرایط قرارگیری ساختمان در بافت شهری متراکم دیده می‌شود (Samuelson et al., 2016). بنابراین تحقیقات نشان می‌دهد، نوع و میزان اثرگذاری پارامترهای معماری و ساختمانی بر عملکرد ساختمان، متناسب با اقلیم و نوع کاربری ساختمان متفاوت است. از آن جا که هر یک از محققان در این حوزه، بر اساس موضوع و اهداف پژوهش، پارامترها و عملکردهای ساختمانی خاصی را بررسی کرده اند که ممکن است در مورد سایر مطالعات کاربردی نداشته باشد، و نیز با توجه به نیاز روز افزون شهر تهران به بلندمرتبه سازی -ناشی از الزامات جمعیتی و توسعه ای به ویژه در ساختمان‌های اداری- ضروری است با توجه به الگوی مصرف انرژی و آلودگی زیست محیطی و شرایط آسایش و بهره وری کارمندان، بهینه سازی ساختمان‌های اداری بلند درکلان شهر تهران، مطالعه و مقدار کاهش مصرف انرژی، انتشار دی اکسید کربن و ساعات عدم آسایش و تاثیرعوامل مختلف بر اهداف مذکور مشخص شود.

۲. روش شناسی

برای پاسخ به سوال پژوهش مبتنی بر تحقیقات قبلی مانند(Han et al.,2017) از روش بهینه سازی چند هدفه استفاده شده است. این روش شامل چهار مرحله می‌شود (شکل ۱): اهداف بهینه سازی، پارامترهای مورد بررسی، مدلسازی و شبیه سازی پارامتریک، و بهینه سازی چند هدفه. پس از تعیین اهداف بهینه سازی براساس شرایط اقلیمی و نیازهای عملکردی، پارامترها بر اساس اهداف فوق و تاثیر آن‌ها بر ساختمان انتخاب می‌شود. در ادامه مدل شبیه سازی پارامتریک اهداف را ارزیابی کرده و با الگوریتم‌های تکاملی چند هدفه، نتایج بهینه را مشخص می‌کنند. در روند بهینه‌سازی، الگوریتم‌های تکاملی راه حل‌های اولیه را ایجاد می‌کنند و مدل پارامتریک عملکرد این راهکارها را ارزیابی می‌کند تا تناسب راهکار با توجه به اهداف تعیین شود. درصورت فقدان راه حل‌های مناسب برای نمایش به عنوان خروجی الگوریتم تکاملی، مدل پارامتریک را به ایجاد راه حل‌های جدید وا می‌دارد. پس از تکرار چندین باره این فرآیند،

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-12-14]

مجموعه ای از پاسخ‌های پاراتو بهینه[1] تولید می‌شود و طراح می‌تواند طرح مورد نظر خود را از بین این راه حل‌های بهینه انتخاب کند.



شکل ۱. روند بهینه سازی چند هدفه مبتنی بر شبیه سازی – منبع: (Han etal., 2017)

اهداف بهینه سازی

اهداف مورد نظر بهینه سازی در این پژوهش، انرژی اولیه، آسایش حرارتی و کربن دی اکسید کل است که به اختصار شرح داده شده و روابط ریاضی آن نیز در جدول ۱ ارائه شده است.

۱. مجموعه ای از جواب ها که بهترین تعامل را بین اهداف برقرار می کند به طوری که بهبود نمی یابند مگر این که سبب بدتر شدن اهداف دیگر شوند.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-12-14]

انرژی اولیه: برای تحلیل و بهینه یابی هر یک از فاکتورهای معماری و شهرسازی، از معیار ارزیابی انرژی اولیه استفاده می‌شود که با لحاظ میزان بازدهی نهایی (تولید و انتقال)، رابطه مستقیمی با میزان آلودگی و هزینه نهایی عامل‌های مختلف انرژی دارد. برای محاسبه انرژی اولیه از فاکتورهای انرژی اولیه برای برق (۳.۶) و گاز (۱.۰) در ایران استفاده شد(Nasrollahi, 2013).

آسایش حرارتی: به طور کلی استانداردهای مختلف، محدوده‌های آسایش حرارتی متفاوتی را پیشنهاد می‌دهند. پذیرفته شده ترین تعریف مربوط به استاندارد ۵۵ اشری است که آسایش را بازتابی از شرایط دما و رطوبت می‌داند و محدوده آن را برای شرایطی که ۸۰٪ افراد در حالت نشسته و یا کمی فعال، محیط را از نظر حرارتی قابل قبول بدانند، تعریف می‌کند. در تحقیق حاضر محدوده آسایش حرارتی بر اساس این استاندارد و با توجه به اقلیم و فرهنگ مردم در شهر تهران مطابق با مقادیر مشخص شده در جدول ۱ در نظر گرفته شده است(زمردیان, ۱۳۹۱).

کربن دی اکسیدکل: میزان انتشار گاز کربن دی اکسیدکل براساس دی اکسید کربن عملکردی[1] در یک دوره سی ساله و دی اکسید کربن نهان[2] محاسبه می‌شود(Garcia, 2016).

کربن دی اکسید عملکردی: میزان CO2 عملکردی انتشار یافته از یک ساختمان در یک سال بر مبنای ضرایب انتشار CO2 و نتایج حاصل از شبیه سازی انرژی(Nasrollahi, 2013).

کربن دی اکسید نهان: میزان انتشار CO2 برای تولید مصالح مختلف بر حسب کیلوگرم بر مترمربع(Garcia, 2016) که در تحقیق حاضر اطلاعات مربوط به آن از ICE[3] به دست آمده است.

1. Operational CO2
2. Embodied CO2
3. Inventory of Carbon and Energy

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-12-14]

جدول ۱. اهداف و محدوده قابل قبول آن‌ها - منبع: (Garcia, 2016) و استاندارد اشری ۵۵

اهداف	واحد	محدوده مورد قبول و رابطه مورد استفاده
حداکثر آسایش حرارتی	% (Annua)	$-0.75 < PMV < +0.75$ و $PPD < ٪۱۵$
حداقل انرژی اولیه	kWh/m^2	$PE = 3.6 \times (Q_c + E_l) + 1.0 \times Q_h$
	PE : مصرف انرژی اولیه E_l : مصرف انرژی روشنایی	Q_c : مصرف انرژی سرمایشی Q_h : مصرف انرژی گرمایشی
حداقل کربن دی اکسید کل	کیلوگرم بر مترمربع در دوره سی ساله	$GC = (30 \times OC) + EC$ $OC = (EF_g \times Q_h) + EF_e \times (Q_c + E_l)$ $EC = \Sigma A_c (i) \times C_c (i) + \Sigma A_g (j) \times C_g (j)$
	GC : دی اکسید کربن کل OC : دی اکسید کربن عملکردی EC: دی اکسید کربن نهان EF_g : ضریب انتشار دی اکسید کربن گاز طبیعی = 0.2 EF_e : ضریب انتشار دی اکسید کربن برق = 0.609 Q_h : مصرف انرژی گرمایشی	Q_c : مصرف انرژی سرمایشی E_l : مصرف انرژی روشنایی A_c (i) : مساحت مصالح کدر نوع i C_c : واحد کربن نهان مصالح کدر نوع i A_g (j) : مساحت مصالح شفاف نوع j C_g : واحد کرن نهان مصالح شفاف نوع j

پارامترهای مورد بررسی

با توجه به مطالعات قبلی(Garcia, 2016)، برای انتخاب متغیرهای طراحی از دو معیار اصلی استفاده شده است: تاثیر قابل توجه این متغیرها بر عملکرد انرژی و نیز عمومیت متغیرها در ساختمان ها. از این رو متغیرهایی نظیر سایبان ها، روش‌های غیر فعال (دیوار ترومب، نماهای دو پوسته، بام سبز و ...) به دلیل رواج کمتر حذف شدند. بر این اساس تحقیق پارامتریک حاضر شامل ۷ متغیر مستقل با ۴۴ گزینه طراحی است. متغیرها در دو بخش اصلی دسته بندی شده اند: ۱.پارامترهای معماری : ۱۱ فرم، ۷ جهت گیری، ۶ درصد پنجره و ۴ ارتفاع طبقه. ۲. پارامترهای ساختمانی : ۹ نوع شیشه، ۴ عایق حرارتی و ۳ جرم حرارتی. تعداد پارامترها و انتخاب‌های ممکن هر کدام ، امکان ایجاد ۱۹۹۵۸۴ گزینه طراحی مختلف برای ساختمان اداری مورد مطالعه در تحقیق حاضر را فراهم می کند.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-12-14]

فرم: فرم‌های معمول طراحی ساختمان‌های اداری بلند مرتبه (Raji et al., 2017).

جهت گیری: از مبدا شمال و خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت (جدول ۳).

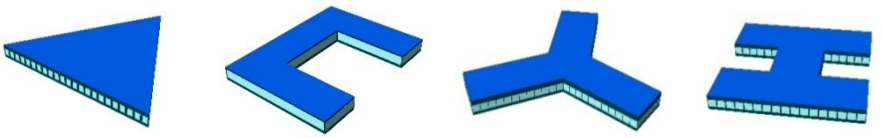
درصد پنجره: نسبت مساحت شیشه به دیوار خارجی که در تمامی جهات، یکسان فرض شده است. با توجه به شرایط نوری مورد نیاز درکاربری اداری بین ۲۵٪ ۷۵٪ لحاظ شده است.

ارتفاع طبقه: مطابق با مطالعات قبلی(مهدوی نیا، ۱۳۹۰) به شرح مندرج در جدول ۳.

نوع شیشه: ۹ نوع شیشه رایج در کشور(جدول ۲) مبتنی بر اطلاعات NFRC[1]. دو ردیف اول به جهت U-Value غیر قابل قبول ارزیابی شدند (Zomorodian et al., 2017).

جرم حرارتی: با توجه به ضخامت بتن کف مطابق با منابع(Samuelson et al., 2016).

عایق حرارتی: ۴ نوع دیوار با میزان عایق حرارتی متفاوت مبتنی بر مصالح در نظر گرفته شده برای ساختمان‌های اداری نسل جدید در تحقیقات قبلی(Nasrollahi, 2013).



شکل ۲. نمونه هایی از طبقه تیپ میانی مدل‌های شبیه سازی شده

1. National Fenestration Rating Council

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-12-14]

جدول ۲. نوع و ویژگی‌های سطوح شفاف، منبع: (Zomorodian et al., 2017)

ردیف	نوع شیشه	U-value (w/m^2k)	SHGC	VT	نوع گاز	ضخامت لایه گاز(mm)	LSG
۱	Single Clear	۵/۸۰	۰/۸۱	۰/۸۸	n/a	–	۱/۰۸
۲	Single low-E (e2=0.4)	۵/۰۰	۰/۷۸	۰/۸۵	n/a	–	۱/۰۸
۳	Single low-E (e2=0.2)	۴/۳۵	۰/۷۲	۰/۸۱	n/a	–	۱/۱۲
۴	Double Clear (a)	۳/۴۰	۰/۶۹	۰/۷۸	هوا	۶	۱/۱۳
۵	Double Clear (b)	۲/۸۰	۰/۷۲	۰/۷۷	آرگون	۱۲	۱/۰۶
۶	Double low-E (e2=0.4)	۲/۷۰	۰/۴۴	۰/۷۰	هوا	۶	۱/۰۶
۷	Triple pane	۲/۰۰	۰/۶۸	۰/۷۴	هوا	۶	۱/۰۸
۸	Triple low-E (e5=0.1)	۱/۳۰	۰/۵۸	۰/۷۰	آرگون	۱۲	۱/۲
۹	Triple low-E (e2=e5=0.1)	۱/۲۰	۰/۴۷	۰/۶۶	هوا	۱۲	۱/۴

جدول ۳. پارامترهای معماری و ساختمانی و مقادیر آن‌ها – منبع: نگارنده

ردیف	نوع پارامتر	مقادیر پارامتر
۱	فرم	۱۱ ۱۰ ۹ ۸ ۷ ۶ ۵ ۴ ۳ ۲ ۱
۲	جهت گیری	۱۸۰ – ۱۵۰ – ۱۲۰ – ۹۰ – ۶۰ – ۳۰ – ۰ درجه نسبت به شمال
۳	درصد پنجره	۷۵٪ – ۶۵٪ – ۵۵٪ – ۴۵٪ – ۳۵٪ – ۲۵٪
۴	ارتفاع و طبقات	۱۶ تا ۲۰ طبقه به ترتیب با ارتفاع کف تا کف ۴/۵ تا ۳/۶ متر
۵	نوع شیشه	Sgl۶/۳۰– Sgl۵/۰۰– Sgl۴/۳۵– Dbl۳/۴۰– Dbl۲/۸۰– Dbl۲/۷۰– Trp۲/۰۰– Trp۱/۳۰– Trp۱/۲۰
۶	عایق حرارتی ($W/m^2.K$)	خیلی کم: ۱/۴۰–(تخته گچی ۱/۳، بلوک بتنی ، تخته سیمانی ۲ سانتیمتر) کم: ۱/۰۵ –(تخته گچی۱/۳، بلوک بتنی ، پشم سنگ ۲/۵، تخته سیمانی ۲ سانتیمتر) متوسط: ۰/۷ –(تخته گچی ۱/۳، بلوک بتنی ، پشم سنگ ۵، تخته سیمانی ۲ سانتیمتر) زیاد: ۱/۰۵ –(تخته گچی۱/۳، بلوک بتنی ۱۰، پشم سنگ ۹، تخته سیمانی ۲ سانتیمتر)
۷	جرم حرارتی	کم، متوسط، و زیاد : به ترتیب ضخامت بتن کف (cm) ۱۰ و ۲۰ و ۳۰

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-12-14]

شبیه سازی پارامتریک

شبیه سازی پارامتریک شامل چهار جز اصلی: طراحی پارامتریک ساختمان، مدلسازی و ورودی داده‌ها، شبیه سازی و شاخص‌های عملکرد ساختمان، و بهینه سازی است(Fang, 2017).

طراحی پارامتریک روشی برای تعیین ویژگی‌های ساختمان از طریق توابع و پارامترهای طراحی است. مدلسازی مبتنی بر اطلاعات جزئی (ساختار و مصالح، بارها، برنامه تصرف و ...) انجام می‌شود. در این تحقیق تراکم ۰/۱۱۱ نفر در مترمربع و نیاز به ۱۰ لیتر بر ثانیه هوای تازه و برای هر فرد حداقل ۴۰۰ لوکس روشنایی در ساعات ۸ تا ۱۷ شنبه تا چهارشنبه، فرض شده است. ست پوینت‌های گرمایش و سرمایش به ترتیب ۲۱ و ۲۶ و ست بک‌های آن نیز ۱۲ و ۵۵ درجه سانتیگراد و سیستم سرمایش و گرمایش بر مبنای مصرف برق و گاز با فرض Ideal Load air system بوده است. ویژگی‌های کالبدی(مهدوی نیا، ۱۳۹۰) مطابق با استناد به نتایج بررسی ۶۴ ساختمان بلند مرتبه اداری در شش شهر، از جمله تهران، لحاظ و در جدول ۴ معرفی شده است.

بهینه‌سازی مستلزم تعریف متغیرها و اهداف عملکردی پیشگفت هاست. برای تعریف متغیرها و مدلسازی پارامتریک از ابزارهای راینو[1] و گرسهاپر[2] و برای تعیین اهداف از موتور انرژی پلاس[3] و افزونه‌های لیدی باگ[4] و هانی بی[5] و برنامه نویسی ساده توابع ریاضی استفاده شده است.

1. Rhinoceros
2. Grasshopper
3. EnergyPlus
4. Ladybug
5. Honeybee

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-12-14]

بهینه سازی چند هدفه

دو روش رایج برای حل مسائل با چند هدف وجود دارد: روش مدل ترکیبی وزنی[1] که برای تعیین ضریب وزنی هر یک از اهداف، نیازمند انجام آنالیزهای متعدد است و طبعاً نیازمند زمان و اطلاعات زیادی است. روش دوم بهینه سازی پارتو[2] است که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است. علیرغم وجود استراتژی‌های متعدد بهینه سازی پارتو، بهینه سازی چند هدفه با استفاده از الگوریتم ژنتیک، رایج ترین استراتژی در آنالیز عملکرد ساختمان است(Baños etal., 2011) که در این پژوهش با استفاده از پلاگین اختاپوس و الگوریتم ژنتیک انجام شده است و نسخه ی دوم الگوریتم ژنتیک با مرتب سازی نامغلوب[3] به عنوان الگوریتم مقاوم، به واسطه توانایی در مدیریت مسائل بهینه سازی سخت در پروسه طراحی اعمال شده است(شایقی و همکاران، ۱۳۹۴).

جدول ۴.ویژگی‌های نمونه پایه– منبع: نگارنده

ویژگی‌های عمومی مدل مورد آزمون	کاربری بنا	کاربری اداری با پلان باز
	سطح زیر بنای تیپ طبقات	۹۰۰ مترمربع
	تعداد طبقات	۱۷ طبقه
فضای خارجی	ویژگی‌های اقلیمی	پهنه اقلیمی نیمه گرم و خشک ایران
	مکان مورد مطالعه	کلان شهر تهران
پوسته	ترکیب مصالح دیوارهای خارجی	تخته سیمانی به ضخامت ۲ سانتی متر+ بلوک بتنی ۱۰ سانتی متر+ تخته گچی به ضخامت ۱/۳ سانتی متر
	بازشوها	پنجره دو جداره با پروفیل آلومینیوم و شیشه نوع Dbl3.40
فضای داخلی	ارتفاع کف تا کف طبقات	۳/۶۰ متر
	ترکیب مصالح کف بین طبقات	سرامیک به ضخامت ۱ سانتی متر+ بتن به ضخامت ۲۰ سانتی متر+ فاصله هوایی + تایل آکوستیک گچی
هسته	نوع هسته	سیستم مرکزی

1. Weighted sum model
2. Pareto optimization
3. NSGA-II: Fast Non-dominated Sorting Genetic Algorithm

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-12-14]

بهینه سازی، با ایجاد یک جمعیت اولیه از گزینه‌های طراحی طی جهش‌های چندگانه و با ترکیب تصادفی ژن‌ها (پارامترها) آغاز شده، سپس بهترین راه‌حل‌های منطبق با اهداف عملکردی انتخاب، و فرآیند بهینه سازی تا زمان تولید آخرین نسل گزینه‌های طراحی ادامه می‌یابد.

الگوریتم ژنتیک مطابق با فرآیند انتخاب طبیعت در تکامل بیولوژیک است و مرتباً نسلی از راه‌حل‌ها را با اصول رایج در طبیعت (انتخاب[1]، تقاطع[2] و جهش[3]) تغییر می‌دهد. این الگوریتم راه حل‌های مطلوب را از جمعیت فعلی انتخاب می‌کند و از آن‌ها به عنوان والدین برای تولید نسل بعدی استفاده می‌کند و جمعیت به سمت راه حل بهینه تکامل می‌یابد(Fang, 2017). تعیین تنظیمات و اصول فوق الذکر و نیز اندازه جمعیت بسیار حساس است چرا که به عواملی مانند میزان غیرخطی بودن ، تیپولوژی متغیرهای ورودی (پیوسته یا گسسته) و ابعاد مسئله بستگی دارند و باید با دقت محاسبات موجود رقابت کنند. لذا در این پژوهش از پیشنهادات و تحلیل آماری قبلی((Carlucci et al., 2015)، (Attia et al., 2013)، (Kheiri, 2018)) استفاده شده است.(جدول ۵)

جدول ۵. تنظیمات الگوریتم بهینه سازی

پارامترهای الگوریتم ژنتیک	مقدار
اندازه جمعیت	۲۴
تعداد نسل	۲۵
احتمال تقاطع	۰/۹
احتمال جهش	۰/۰۳۵۵

1. selection
2. crossover

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-12-14]

۳. نتایج

پس از انجام شبیه سازی‌های پارامتریک، میزان تاثیر پارامترهای معماری و ساختمانی بر هر یک از اهداف به صورت جداگانه بررسی شد و درصد اختلاف عملکرد در بهترین و بدترین طرح‌ها مشخص شده، برای ارزیابی هر یک از پارامترها آنالیز حساسیت ساده ای انجام شد. آنالیز حساسیت یک رویکرد رایج برای نمایش مقدار تاثیر یک پارامتر بر عملکرد ساختمان است و نیز سهم هر یک از پارامترها در تغییر خروجی و همبستگی پارامترهای ورودی و خروجی را تعیین می‌کند(Kheiri, 2018). و نیز مشخص می‌شود که آیا اهداف، پارامترها و دامنه‌ی آن‌ها به درستی تعیین شده اند یا نه.

ارزیابی اهداف: مطابق با جدول ۶، تغییر پارامترها در دامنه‌های تعیین شده به ترتیب بیشترین تاثیر را بر میزان کربن دی اکسید کل (۵۷٪)، مصرف انرژی اولیه (۵۶٪) و آسایش حرارتی (۳۵٪) دارد. اختلاف قابل ملاحظه بین بهترین و بدترین گزینه در هر یک از اهداف، بر اهمیت انتخاب مقدار درست برای هر پارامتر تاکید می‌کند.

آنالیز حساسیت: در تحقیق حاضر از روش شاخص حساسیت[1] برای این تحلیل استفاده شده که با روشی ساده (معادله شماره ۱) با تغییر یک پارامتر (ورودی)، درصد اختلاف بین خروجی‌ها را محاسبه می‌کند. در این معادله Dmin و Dmax به ترتیب حداقل و حداکثر مقادیر خروجی هستند، زمانی که ورودی در تمام محدوده آن تغییر یابد.

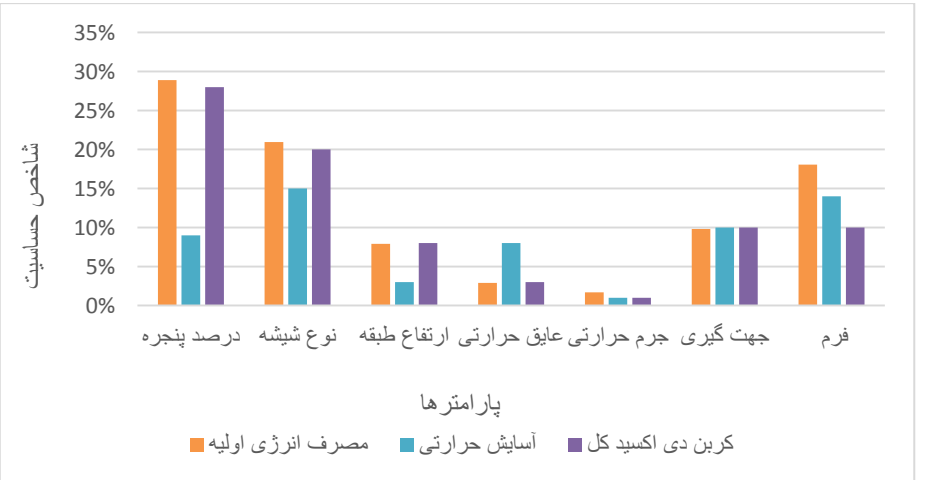
معادله شماره ۱: $SI = (D_{max} - D_{min}) / D_{max}$

1. The Sensitivity Index

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-12-14]

جدول ۶. بهترین و بدترین طرح‌ها برای هر هدف– منبع: نگارنده

هدف	عملکرد	انرژی اولیه ($kWh/m^2.y$)	عدم آسایش(%)	کربن دی اکسید کل(kg/m^2)	درصد اختلاف
انرژی اولیه	بهترین	339/81	۶	1819/66	۵۶
	بدترین	810/76	40	4185/40	
CO^2 کل	بهترین	341/71	7	1798/11	۵۷
	بدترین	810/76	40	4185/40	
آسایش حرارتی	بهترین	362/80	۶	1904/23	۳۵
	بدترین	775/83	۴۱	4042/47	



نمودار ۱. آنالیز حساسیت اهداف نسبت به پارامترها– منبع: نگارنده

مطابق با نتایج حاصل از آنالیز حساسیت (نمودار ۱) به طور کلی اهداف مورد مطالعه نسبت به درصد پنجره و نوع شیشه (به ترتیب ۲۹٪ و ۲۱٪ تاثیر بر مصرف انرژی) بیشتر از سایر پارامترها حساسیت دارند. بعد از این پارامترها حساسیت اهداف نسبت به فرم و جهت گیری قابل ملاحظه

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-12-14]

است و نسبت به ارتفاع طبقه، عایق حرارتی و جرم حرارتی (۳٪ و ۲٪ تاثیر بر مصرف انرژی) حساسیت کمی دارند. نکته‌ی حائز اهمیت در مورد این رتبه بندی این است که مشابه اکثر آنالیزهای حساسیت، نتایج حاصل فقط برای پارامترها و دامنه ی تغییرات آن‌ها در این مطالعه‌شبیه سازی قابل استناد است. برای مثال دامنه‌ی وسیع تغییرات درصد پنجره و دامنه‌ی کوچک تغییرات عایق حرارتی، درصد پنجره را در اولویت بیشتری نسبت به عایق حرارتی قرارمی‌دهد و ممکن است با دامنه‌ی تغییرات گسترده عایق حرارتی و دامنه‌ی کوچک تغییرات درصد پنجره این اولویت بندی تغییر یابد.

آنالیز اهداف به صورت چندگانه

بعد از محاسبه ۳۵ نسل، و کفایت همگرایی[1]، از میان ۸۴۰ راه حل ارزیابی شده، ۲۲ راهکار غیر غالب[2] هستند که پاراتو مطلوب[3] را از طریق یک منحنی نشان می‌دهند. در سیستم مختصات سه بعدی، سه محور نشان دهنده مصرف انرژی اولیه، کربن دی اکسید کل و ساعات عدم آسایش است. هرچه مقادیر این سه محوربه مبدا مختصات نزدیک تر باشد، عملکرد ترکیب بهتر است. (شکل ۳)

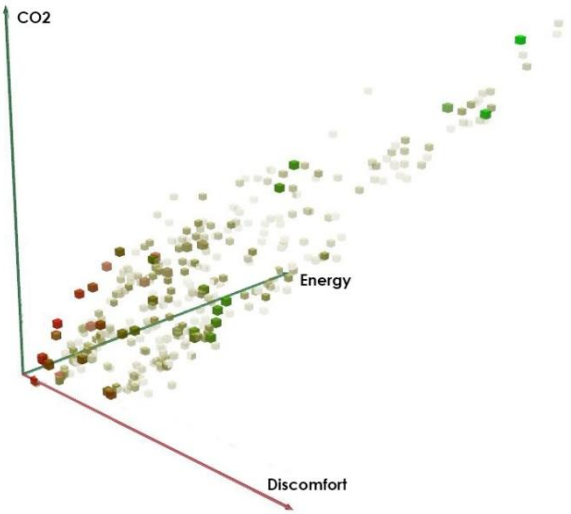
همبستگی میان اهداف چندگانه

در این تحقیق بهینه سازی با سه هدف انجام شده و تحلیل نمودار سه بعدی آن در بخش قبل آمده است. در این بخش به منظور آنالیز دو هدف همزمان و همچنین تحلیل تاثیر اهداف بر یکدیگر، نمودار سه بعدی مذکور بر سه گراف دو بعدی منعکس شده است. با قبول ریسک این موضوع که با این روش ممکن است نقاط مربوط به جبهه پاراتو (به اشتباه) از پاسخ‌های غالب به

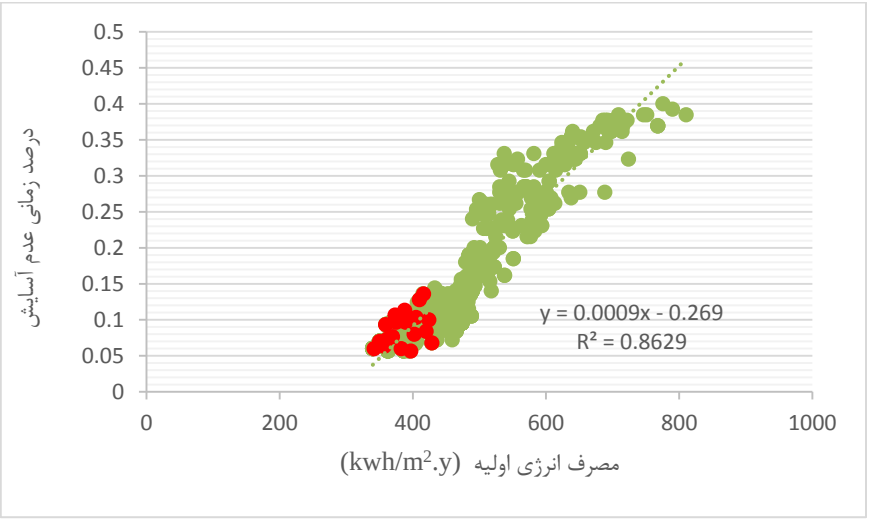
1. convergence
2. Non-dominated
3. Pareto-optimal

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-12-14]

نظر بیاید، می‌توان چگونگی تاثیر اهداف بر یکدیگر مانند رابطه مستقیم یا معکوس آن‌ها را نسبت به هم دریافت.



شکل ۳. عملکرد راه حل‌های ممکن در نسل سی و پنجم



نمودار ۲.مقادیر انرژی اولیه و درصد زمانی عدم آسایش نمونه‌های شبیه سازی شده

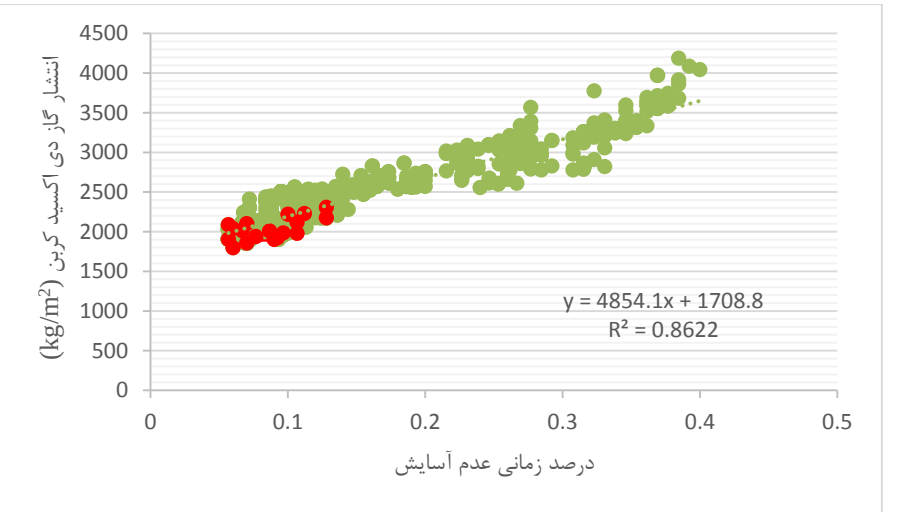
● پاسخ‌های غیرغالب ● پاسخ‌های ممکن

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-12-14]

انرژی اولیه و آسایش حرارتی: افزایش مصرف انرژی موجب افزایش درصد زمانی عدم آسایش است (نمودار ۲). به عبارت دیگر مصرف انرژی اولیه وآسایش حرارتی در بازه‌های مذکور برای نمونه‌های شبیه سازی شده، رابطه‌ی مستقیم با ضریب تعیین (R^2) برابر ۰/۸۶ با یکدیگر دارند، یعنی می‌توان ۸۶٪ تغییرات درصد زمانی عدم آسایش را با تغییرات مصرف انرژی اولیه توضیح داد.

انرژی اولیه و کربن دی اکسید کل: ارتباط بین مصرف انرژی اولیه و CO2 کل رابطه ای مستقیم با ضریب تعیین ۰/۹۹ است (نمودار ۳).که ناشی از تاثیر زیاد مقدار CO2 عملکردی بر میزان CO2 کل است و تفاوت اندک ناشی از CO2 نهان حاصل از تولید مصالح است.

آسایش حرارتی و کربن دی اکسید کل: رابطه‌ی بین درصد زمانی عدم آسایش و انتشار گاز CO2 کل در نمونه‌های شبیه سازی شده رابطه ای مستقیم با ضریب تعیین۰/۸۶ است.



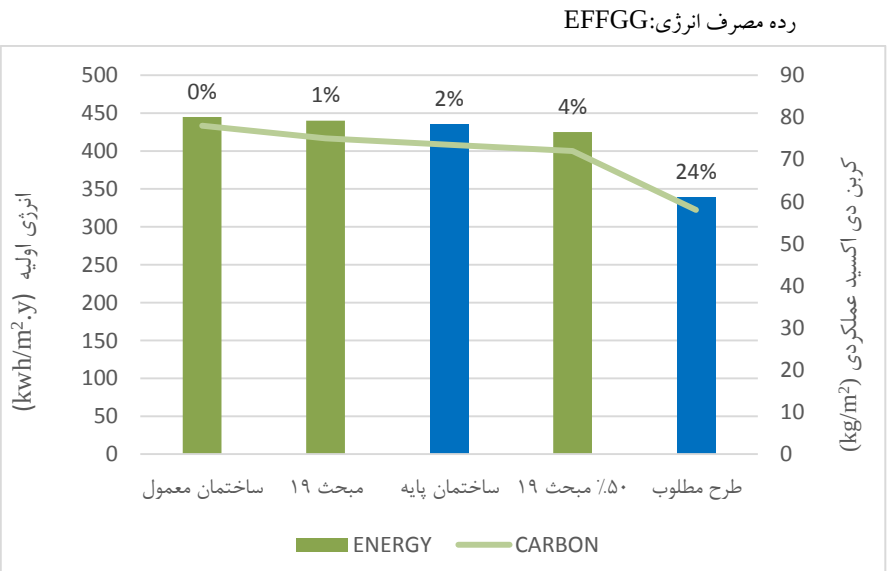
نمودار ۳.مقادیر انتشار گاز دی اکسید کربن و درصد زمانی عدم آسایش نمونه‌های شبیه سازی شده

● پاسخ‌های غیرغالب ● پاسخ‌های ممکن

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-12-14]

آنالیز راه حل‌های غیر غالب

مطابق نتایج مصرف انرژی اولیه در ساختمان پایه ۲٪ و در طرح مطلوب ۲۴٪ از میانگین ساختمان‌های اداری موجود در ایران کمتر است (نمودار ۴). شاخص مصرف انرژی اولیه سالیانه ساختمان ایده آل در شهر تهران و برای ساختمان‌های در نظر گرفته شده در این پژوهش، مطابق با استاندارد ۱۴۲۵۴ برای ساختمان‌های غیر مسکونی، ۷۴ kWh/m^2 زیر بنای مفید است. با توجه به این مقدار، رده مصرف انرژی میانگین ساختمان‌های اداری موجود G، ساختمان پایه F و طرح مطلوب E است. همچنین میزان انتشار کربن دی اکسید عملکردی در ساختمان پایه ۶٪ و در طرح مطلوب ۲۶٪ از میانگین ساختمان‌های اداری موجود در ایران کمتر است.



نمودار ۴. مقایسه ساختمان پایه و طرح مطلوب از نظر انرژی اولیه و کربن دی اکسید عملکردی با ساختمان‌های اداری معمول - منبع: (Nasrollahi, 2013)

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-12-14]

با توجه به جدول ۷، بهینه سازی چند هدفه متناسب با شرایط این تحقیق می‌تواند راه حل‌های غیر غالبی ارائه کند که میزان مصرف انرژی اولیه، CO2 کل، و درصد زمانی عدم آسایش را نسبت به مدل پایه به ترتیب به میزان ۲۲٪، ۲۱٪ و ۲۵٪ کاهش دهد. این میزان (۲۲٪) کاهش نسبت به مدل پایه ۸۶۴۰۰ kWh، معادل ۵۱ بشکه نفت خام[1] است که با قیمت هر بشکه ۷۰ دلار و هر دلار ۵۷۰۰ تومان معادل سالیانه معادل ۲۰۳ میلیون ریال است که با توجه به میانگین قیمت برق ۶۰ تومان به ازای هر کیلووات ساعت انرژی هزینه مصرف انرژی صرفه جویی شده برابر ۵۱۸۴۰۰۰ تومان و حدود افزایش هزینه ساخت بندهای هزینه بر این گزینه‌های پیشنهادی بین ۳۲ تا ۳۶ میلیارد ریال، دوره بازگشت سرمایه با توجه به نرخ مفروض ۱۰ درصد تورم چیزی برابر با ۱۳.۱ تا ۱۵.۳ سال خواهد بود. گرچه سوبسید پرداختی در خصوص حامل‌های انرژی و فرهنگ مصرف مدیریت نشده الگوی مصرف ناموزون در پی خواهد داشت. همچنین با انتخاب مناسب پارامترهای طراحی و ساختمانی در مرحله سیاست گذاری طراحی، می‌توان بدون بهینه سازی سیستم‌های تاسیساتی و استفاده از راهکارهای فعال، به ساختمان هایی با رده E دست یافت.

1. BOE: Barrel of Oil Equivalent

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-12-14]

جدول ۷. میزان بهبود انرژی اولیه، آسایش و کربن دی اکسید کل توسط راه حل‌های غیر غالب

راه حل غیر غالب	بهبود انرژی اولیه (درصد)	آسایش (درصد)	کربن دی اکسید کل (درصد)	رده انرژی	راه حل غیر غالب	انرژی اولیه (درصد)	آسایش (درصد)	کربن دی اکسید کل (درصد)	رده انرژی
۱	۲۲	۲۴	۲۰/۵	E	۱۲	۱۲/۴	۱۸	۱۱/۷	F
۲	۲۱/۶	۲۳	۲۱/۴	E	۱۳	۱۱/۳	۲۳	۱۱/۴	F
۳	۱۸/۷	۲۳	۱۸	E	۱۴	۹/۸	۲۵	۸/۸	F
۴	۱۸	۲۴	۱۶/۴	E	۱۵	۸/۹	۱۸	۹/۳	F
۵	۱۷/۴	۲۱	۱۶/۷	E	۱۶	۷/۲	۲۲	۶/۷	F
۶	۱۷/۴	۲۳	۱۷/۲	E	۱۷	۶/۲	۲۳	۵/۳	F
۷	۱۷/۲	۲۳	۱۶/۶	E	۱۸	۶/۲	۱۸	۶/۵	F
۸	۱۶/۹	۲۴	۱۷	E	۱۹	۱/۷	۱۶	۲/۱	F
۹	۱۶/۸	۲۲	۱۶/۹	E	۲۰	۱	۲۰	۰/۴	F
۱۰	۱۵/۴	۲۰	۱۴/۱	E	۲۱	۰/۱	۱۶	-۰/۶	F
۱۱	۱۴/۳	۱۹	۱۲/۸	E	۲۲	-۰/۴	۲۳	-۰/۲	F

تحلیل پارامترهای معماری و ساختمانی راه‌حل‌های غیرغالب در این بخش نشان داد که در ۸۲٪ از راه‌حل‌ها، پنجره ۲۵٪سطح دیوار است و بیشترین نوع شیشه به‌کار رفته شیشه سه جداره Trp1.20 است که در ۵۹٪ موارد از آن استفاده شده است. در ۶۸٪ از راه‌حل‌های غیرغالب از عایق حرارتی زیاد با ضریب انتقال حرارتی برابر با ۲۵٪ ضریب انتقال حرارتی پیشنهادی مقررات ملی ساختمان ایران ($0/35\ w/m^2.k$) استفاده شده و در ۸۲٪ از این راه‌حل‌ها جهت‌گیری ساختمان جنوبی است. از لحاظ فرم، راه‌حل‌های غیرغالب ۷۳٪ دارای فرم شماره ۱۰ (مستطیل) هستند. بیشترین ارتفاع کف تا کف استفاده شده در بین راه‌حل‌های غیرغالب، ارتفاع 3/6 متر در ۶۴٪ راه‌حل‌های شبیه سازی شده هستند. از لحاظ میزان استفاده از جرم حرارتی، راه حل‌های غیر غالب دارای ۳۲٪ جرم حرارتی زیاد، ۲۷٪جرم حرارتی متوسط و ۴۱٪جرم حرارتی کم هستند. اختلاف کم بین درصد استفاده از جرم‌های

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-12-14]

حرارتی متفاوت در راه حل‌های غیرغالب، تاثیر اندک جرم حرارتی را بر اهداف مورد مطالعه در اقلیم گرم و خشک تهران روی نمونه‌های شبیه سازی شده نشان می‌دهد.

جدول ۸. مقادیر متغیرهای وابسته و مستقل برای راه حل‌های غیر غالب

ردیف	درصد پنجره	نوع شیشه	عایق حرارتی	جهت گیری	فرم	ارتفاع طبقه (m)	جرم حرارتی	انرژی اولیه ($kwh/m^2.y$)	درصد عدم آسایش	کربن دی اکسید کل(kg/m^2)
۱	۰/۲۵	Trp1/20	زیاد	۰	۱۰	۳/۶	زیاد	۳۳۹/۸۱	۶	۱۸۱۹/۶۶
۲	۰/۲۵	Trp1/20	زیاد	۰	۱۰	۳/۶	کم	۳۴۱/۷۱	7	۱۷۹۸/۱۱
۳	۰/۲۵	Trp1/20	زیاد	۱۸۰	۱۱	۳/۶	متوسط	۳۵۴/۱۷	۷	۱۸۷۶/۹۴
۴	۰/۲۵	Trp1/20	زیاد	۰	۱۰	۴/۵	زیاد	۳۵۷/۱۷	۶	۱۹۱۱/۶۹
۵	۰/۲۵	Trp1/20	خیلی کم	۰	۱۰	۳/۶	متوسط	۳۵۹/۸۱	۹	۱۹۰۴/۷۹
۶	۰/۲۵	Trp1/20	زیاد	۰	۱۰	۴/۵	کم	۳۶۰/۰۸	۷	۱۸۹۵/۳۰
۷	۰/۲۵	Trp1/30	زیاد	۰	۱۰	۳/۶	متوسط	۳۶۰/۶۹	۷	۱۹۰۸/۹۳
۸	۰/۲۵	Trp1/30	زیاد	۰	۹	۳/۶	کم	۳۶۲./۲۱	۶	۱۹۰۸/۹۳
۹	۰/۲۵	Trp1/20	خیلی کم	۰	۱۰	۳/۶	کم	۳۶۲/۳۵	۸	۱۹۰۲/۴۱
۱۰	۰/۲۵	Trp1/20	خیلی کم	۳۰	۱۰	۳/۶	زیاد	۳۶۸/۷۶	۱۰	۱۹۶۶/۲۸
۱۱	۰/۲۵	Trp1/20	زیاد	۱۸۰	۱	۳/۶	زیاد	۳۷۳/۵۵	۱۱	۱۹۹۵/۷۳
۱۲	۰/۲۵	Trp1/20	خیلی کم	۰	۱۰	۴/۵	متوسط	۳۸۱/۶۰	۱۲	۲۰۱۹/۱۵
۱۳	۰/۲۵	Trp1/30	زیاد	۰	۱۰	۴/۵	کم	۳۸۶/۳۴	۷	۲۰۲۷/۵۴
۱۴	۰/۳۵	Trp1/30	زیاد	۰	۱۰	۳/۶	زیاد	۳۹۲/۹۳	۵	۲۰۸۷/۷۵
۱۵	۰/۳۵	Trp1/30	زیاد	۰	۱۰	۳/۶	کم	۳۹۶/۸۴	۱۲	۲۰۷۶/۲۱
۱۶	۰/۲۵	Trp1/30	زیاد	۰	۱	۳/۶	متوسط	۴۰۴/۴۳	۸	۲۱۳۵/۶۶
۱۷	۰/۲۵	Sgl5/00	زیاد	۰	۱۰	۳/۶	زیاد	۴۰۸/۵۲	۷	۲۱۶۷/۳۰
۱۸	۰/۲۵	Trp1/30	خیلی کم	۰	۱۰	۴/۵	کم	۴۰۸/۸۴	۱۲	۲۱۴۰/۴۶
۱۹	۰/۳۵	Trp1/30	زیاد	۰	۱۰	۴/۵	کم	۴۲۸/۴۹	۱۴	۲۲۴۰/۶۲
۲۰	۰/۲۵	Trp1/20	خیلی کم	۱۸۰	۱	۴/۵	متوسط	۴۳۱/۳۳	۱۰	۲۲۷۸/۰۶
۲۱	۰/۶۵	Trp1/20	زیاد	۰	۱۰	۳/۶	زیاد	۴۳۵/۴۰	۱۴	۲۳۰۲/۹۶
۲۲	۰/۲۵	Trp1/20	خیلی کم	۰	۱	۴/۵	کم	۴۳۷/۳۱	۷	۲۲۹۳/۳۰

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-12-14]

٤. نتیجه گیری

نتایج حاصل از بهینه سازی چند هدفه مبتنی بر شبیه سازی در برنامه‌ریزی و مراحل اولیه طراحی بنا، و نیز در تدوین سیاست‌های توزیع تراکم و تخصیص منابع، نظیر رویکردهای توسعه ساختمان های بلند مرتبه، کارامد و درتصمیم گیری تعیین کننده است.در این پژوهش یافتن روشی مناسب برای ارزیابی اثر پارامترهای معماری و ساختمانی (فرم، درصد پنجره، جهت گیری، ارتفاع طبقه، نوع شیشه، عایق حرارتی و جرم حرارتی) بر مصرف انرژی، آسایش حرارتی و کربن دی اکسید بررسی شد. نظر به اهمیت این اهداف در ساختمان‌های اداری و رشد روز افزورن ساختمان‌های اداری در شهرهای بزرگ نظیر تهران، تعیین عملکرد این پارامترها و نهایتاً حرکت به سمت اصلاح مبانی برنامه ریزی و توسعه ساختمان‌های بلند مرتبه اداری یا تدوین سیاست‌های مرتبط با آن از جمله اطلاع از محدوده اثر این پارامترها در گام‌های اولیه برنامه‌ریزی و طراحی ساختمان‌های بلند مد نظر قرارگرفته است. به این منظور یک ساختمان اداری بلند مرتبه رایج در شرایط اقلیمی تهران بررسی شده است. یافته‌های اصلی، محدودیت هاو پیشنهادها برای تحقیقات آینده به طور خلاصه بیان شده اند:

- بر اساس نتایج، تغییر پارامترهای مورد مطالعه بیشترین تاثیر را بر کربن دی اکسید کل (۵۷٪) و مصرف انرژی اولیه (۵۶٪) دارد و تاثیر آن‌ها بر تغییر میزان آسایش حرارتی (۳۵٪) کمتر است.
- بر اساس نتایج تحلیل حساسیت، درصد پنجره (۲۹٪ تاثیر بر مصرف انرژی) و نوع شیشه (۲۱٪ تاثیر بر مصرف انرژی) تاثیرگذارترین پارامترها و عایق حرارتی (۳٪ تاثیر بر مصرف انرژی) و جرم حرارتی (۲٪ تاثیر بر مصرف انرژی) کم اهمیت ترین پارامترها بر اهداف مورد مطالعه هستند.
- نتایج نشان می‌دهد ساختمان اداری بلند با فرم مستطیل، جهت گیری جنوبی و ۲۵٪ پنجره سه جداره در تمام جهات در تهران، عملکرد خوبی متناسب با اهداف مورد نظر دارد. (نمودار۵)

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-12-14]

-کاهش ۲۲٪ مصرف انرژی نسبت به مدل پایه (kWh۸۶۴۰۰)، معادل ۵۱ بشکه نفت خام است که با توجه به قیمت هر بشکه نفت خام و قیمت دلار در بودجه سال ۹۸، این میزان کاهش انرژی سالیانه بیش از دویست میلیون ریال صرفه جویی به همراه خواهد داشت.

محدودیت‌های این پژوهش از بعد زمانی و نرم افزاری و فقدان داده‌های دقیق عبارت است از:

- نتایج بهینه‌سازی حاصل از الگوریتم ژنتیک و انتخاب تصادفی توسط این الگوریتم در نسل‌های اولیه به عنوان والدین نسل‌های بعد، منجر به پاسخ‌های متفاوت در هر مرحله بهینه‌سازی است که گرچه در نوع خود بهترین عملکرد را دارند اما لزوماًبهترین راهکار ممکن نیستند.
- وابستگی روش بهینه سازی چند هدفه مبتنی بر شبیه‌سازی به سیستم‌های کامپیوتری قوی و زمان زیاد محاسبات، ناگزیر از ساده‌سازی مدل‌ها و طبعاً کاهش دقت محاسبات نسبت به واقعیت است.
- خطای ناچیزی ناشی از اکتفا به شبیه سازی طبقه تیپ میانی بجای تمام طبقات رخ می‌دهد.
- با توجه به محدودیت زمانی و فقدان اطلاعات کربن نهان ناشی از سازه، مصرف انرژی در سایت هنگام ساخت، حمل و نقل و تولید مصالح به عنوان متغیر در نظر گرفته نشده است.
- تاثیرپذیری و تاثیرگذاری بنای بلند بر بافت شهری اطراف در این پژوهش بررسی نشده است.
- با توجه به ضعف ابزارهای شبیه سازی در محاسبه‌ی برخی عملکردهای ساختمانی مانند ضعف گرسهاپر در محاسبه کربن عملکردی و نهان لازم است این ابزارها ارتقا پیدا کنند.
- به منظور تصمیم گیری دقیق تر و درست تر لازم است در تحقیقات آتی ارزیابی‌های اقتصادی به عنوان یکی از اهداف برای تعیین راهکارهای بهینه، انجام شود. لازمه این امر تدقیق هزینه گزینه‌های مختلف و تعیین شاخص بهبود بر این اساس در تحقیقات آتی است.
- بهتر است برخی از پارامترهای مورد بررسی در جهت تعیین گزینه بهینهعمیقتر بررسی شوند. به طور مثال با توجه به تاثیر درصد پنجره بر اهداف بهینه سازی و یکسان فرض شدن مقدار آن در تمامی جهات می‌توان درصدهای متفاوت پنجره را در جبهات مختلف، و یا با توجه به بلند بودن ساختمان، در ارتفاع‌های مختلف مورد بررسی قرار داد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-12-14]

منابع

خسروی، عاطفه و عرب مازار، عباس (۱۳۹۷)، "تحلیل مقایسه ای روند بهره وری انرژی در استان‌های کشور"، فصلنامه پژوهش‌های سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی، سال چهارم، صص ۶۶-۴۱.

رجبی قادری، مازیار و موسوی، سید یاسر (۲۰۱۷)،"بررسی مولفه‌های طراحی بر ساختمان بلند اداری با رویکرد بهینه سازی مصرف انرژی در منطقه ۲ تهران"،پنجمین کنفرانس ملی مهندسی عمران، معماری و توسعه شهری.

زمردیان، زهرا سادات (۱۳۹۱)، "ارزیابی راهکارهای معماری کاهش مصرف انرژی در مدارس ابتدایی شیراز"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز.

شایقی، حسین و هاشمی، یاشار (۱۳۹۴)،"آنالیز فنی-اقتصادی اندازه سیستم‌های ترکیبی بادی-خورشیدی برای تغذیه ساختمان‌های اداری نمونه"، فصلنامه پژوهش‌های سیاستگذاری و برنامه ریزی انرژی، سال اول، صص ۱۰۷-۶۹.

مهدوی نیا، مجتبی (۱۳۹۰)، "بررسی تحلیلی رابطه میان مصرف انرژی و ویژگی‌های کالبدی در بناهای بلند مرتبه اداری تهران"،پایان نامه دکتری، دانشگاه علم و صنعت ایران.

Attia, S., Gratia, E., Herde, A. De, and Hensen, J. L. M. (2012), "Simulation-based decision support tool for early stages of zero-energy building design", Energy and Buildings, 49, 2–15.

Attia, S., Hamdy, M., O'Brien, W., and Carlucci, S. (2013), "Assessing gaps and needs for integrating building performance optimization tools in net zero energy buildings design", ISSN 2193-6102 (Online), TU Berlin Universitätsverlag, German.

Baños, R., Manzano-Agugliaro, F., Montoya, F. G., Gil, C., Alcayde, A., and Gómez, J. (2011), "Optimization methods applied to renewable and sustainable energy", A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(4), 1753–1766.

Cao, X., Dai, X., and Liu, J. (2016), "Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade", Energy and Buildings, 128(October 2017), 198–213.

Carlucci, S., Cattarin, G., Causone, F., and Pagliano, L. (2015), "Multi-objective optimization of a nearly zero-energy building based on thermal and visual discomfort minimization using a non-dominated sorting genetic algorithm (NSGA-II)", Energy and Buildings, 104, 378–394.

Conti, John, Paul Holtberg, Jim Diefenderfer, Angelina LaRose, James T. Turnure, L. W. (2016), "International Energy Outlook 2016 with projections to 2040", Doe/Eia-0484.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-12-14]

Fang, Y. (2017), "Optimization of Daylighting and Energy Performance Using Parametric Design, Simulation Modeling, and Genetic Algorithms", ph.D in design, North Carolina.

Gabriele Lobaccaro, Aoife Houlihan Wiberg, Giulia Ceci, Mattia Manni, Nicola Lolli, U. B. (2018), "Parametric design to minimize the embodied ghg emissions in ZEB", Energy and Buildings.

Garcia, A. O. (2016),"effect of architectural design variables on energy and environmental performance of office buildings"

Godoy-Shimizu, D., Steadman, P., Hamilton, I., Donn, M., Evans, S., Moreno, G., and Shayesteh, H. (2018),"Energy use and height in office buildings"Building Research and Information, 46(8), 845–863.

Han, Y., Yu, H., and Sun, C. (2017),"Simulation-based multiobjective optimization of timber-glass residential buildings in severe cold regions",Sustainability (Switzerland), 9(12).

Kheiri, F. (2018),"A review on optimization methods applied in energy-efficient building geometry and envelope design",Renewable and Sustainable Energy Reviews, 92(March),

Nasrollahi, F. (2013), "Green Office Buildings Low Energy Demand through Architectural Energy Efficiency" (Vol. 08).

Ochoa, C. E., and Capeluto, I. G. (2009),"Advice tool for early design stages of intelligent facades based on energy and visual comfort approach",Energy and Buildings, 41(5), 480–488.

Raji, B., Tenpierik, M. J., and Dobbelsteen, A. Van Den. (2017),"Early-Stage Design Considerations for the Energy-Efficiency of High-Rise Office Buildings"

Samuelson, H., Claussnitzer, S., Goyal, A., Chen, Y., and Romo-Castillo, A. (2016),"Parametric energy simulation in early design: High-rise residential buildings in urban contexts",Building and Environment, 101, 19–31.

Simmons, B. (2012),"Lowest Cost Building technology selection for energy efficient design", Master of Science, Georgia Institute of Tecnology.

Tseng, E. (2015),"Computational Framework for parametric modeling and architecture-energy assessment of building floor plans", Master of Science, University of Maryland.

Zomorodian, Z. S., and Tahsildoost, M. (2017),"Assessment of window performance in classrooms by long term spatial comfort metrics",Energy and Buildings, 134, 80–93.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-12-14]