

مقاله پژوهشی

ارزیابی حساسیت متغیرهای معماری ساختمان‌های بلندمرتبه در عملکرد حرارتی و مصرف انرژی در اقلیم‌های گوناگون

هانی حدادزادگان^۱، زهرا سادات زمردیان^{۲*} و محمد تحصیلدوست^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، رشته معماری و انرژی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۲- استادیار، گروه فن ساختمان، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۳- دانشیار، گروه فن ساختمان، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

(دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۲۶، پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۲۷)

چکیده

رشد سریع جمعیت منجر به افزایش نیاز به ساخت ساختمان‌های جدید می‌شود. با توجه به محدودیت زمین‌های شهری، ناگزیر ساختمان‌های بلند توسعه پیدا خواهند کرد. متغیرهای زیادی از جمله مشخصات معماری ساختمان بر میزان نیاز انرژی ساختمان و تامین آسایش حرارتی کاربران تاثیر گذارند. در این پژوهش بهینه‌سازی متغیرهای معماری به منظور تامین حداقل مصرف انرژی و حداکثر آسایش حرارتی با دو روش تحلیل پارامتریک و الگوریتم ژنتیک در سه اقلیم تهران، بندرعباس و تبریز بررسی شده است. همچنین حساسیت نتایج به دست آمده نسبت به تراکم بافت شهری ارزیابی شده است. نتایج نشان داده‌اند که در روش پارامتریک ساختمانی با فرم مستطیل در جهت گیری جنوبی با ۴۰٪ سطح پنجره در دو شهر تهران و تبریز مناسب است. از طرف دیگر تنها در شهر بندرعباس تراکم بافت شهری زیاد در هر دو بخش انرژی و آسایش مناسب است و در دو شهر تهران و تبریز تراکم بافت شهری کم به عنوان الگوی شهری برگزیده انتخاب می‌شود. متغیرهای معماری: درصد پنجره، ساختار پنجره، فرم ساختمان به ترتیب با ۱۵/۴، ۹/۹ و ۸/۸ (درصد) بیشترین میزان حساسیت را با استفاده از روش پارامتریک در بخش انرژی نمایش داده‌اند. این در حالی است که در بخش بهینه‌سازی مصرف انرژی، شهرهای تهران، بندرعباس و تبریز به ترتیب با میزان ۱۶، ۶ و ۲۳ (درصد) حساسیت در متغیرهای معماری در روش الگوریتم ژنتیک را نشان می‌دهند. با بررسی هر دو روش بهینه‌سازی، الگوریتم ژنتیک نسبت به پارامتریک در بخش ارزیابی مصرف انرژی و عملکرد حرارتی دارای شاخص حساسیت بالاتر به میزان ۹۰۴ و ۲۳۰۳ درصد به ترتیب است. از طرف دیگر روش پارامتریک با ایجاد روندی مرحله به مرحله، نتایج تصمیمات طراح را در گام‌های نخستین از وضعیت حرارتی و مصرف انرژی به واسطه‌ی تغییر در هر یک از متغیرهای معماری ساختمان آشکار می‌سازد.

کلید واژه: طراحی پارامتریک، الگوریتم ژنتیک، آسایش حرارتی، مصرف انرژی، شاخص حساسیت.

۱- پرسش‌های پژوهش

متغیرهای معماری بهینه برای هر شهر به منظور بهینه سازی مصرف انرژی و آسایش حرارتی کدام است؟

موثرترین پارامتر معماری در مصرف انرژی ساختمان‌های اداری بلندمرتبه در هر اقلیم چیست؟

کدام یک از دو روش پارامتریک یا الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی انرژی و آسایش حرارتی مناسب‌تر است؟

تراکم بافت شهری تا چه میزان بر مصرف انرژی و آسایش حرارتی کاربران در این سه اقلیم مختلف موثر است؟

۲- مقدمه

بر اساس گزارش آژانس بین‌المللی انرژی بخش ساختمان با مصرف ۴۰٪ از کل میزان انرژی، عمده‌ترین مصرف‌کننده انرژی در جهان است (Fatih, 2019). بر اساس ترانزنامه ی انرژی ایران در سال ۹۴، این میزان بالاتر از ۴۰٪ کل میزان مصرف انرژی را شامل می‌شود (Company, 2017). با توجه به نرخ رشد ۱.۲۴٪ جمعیت در ایران (Statistical pocketbook of Islamic Republic of Iran, 2016) نیاز به انرژی به سرعت بالا رفته‌است (مصرف انرژی برق طی ده سال گذشته ۷۱٪ افزایش یافته است). بر اساس آمار منتشر شده میزان مصرف انرژی در بخش عمومی (تجاری و اداری) به میزان ۳۵٪ بیشتر شده است (electircity official center iran, 2015). از طرفی با توجه به رشد جمعیت و پیشرفت تکنولوژی طراحی و ساخت ساختمان‌های بلندمرتبه مورد توجه قرار می‌گیرد (Rangawala, 2010). از این رو بررسی و کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌های بلندمرتبه ضروری است و بایستی در مراحل مختلف به ویژه مرحله طراحی در نظر گرفته شود. تحقیقات نشان داده‌اند که تنها طراحی معماری مناسب و انتخاب مناسب فاکتورهای معماری و شهرسازی موثر بر مصرف انرژی ساختمان، نظیر جهت‌گیری و کشیدگی بنا، نسبت پنجره به سطح دیوار در جبهه‌های مختلف، نوع و اندازه سایه‌بان‌ها، جانمایی و چیدمان فضاهای داخلی، تعداد طبقات، فضاهای واسط حرارتی و غیره برای هر اقلیم، میزان مصرف انرژی ساختمان‌ها را بیشتر تحت تاثیر قرار می‌دهد (Eromobor, Das, & Emuze, 2020; Z.S. Zomorodian, 2013).

۳- پیشینه ی تحقیق

تحقیقات مختلفی تاثیر فاکتورهای طراحی بر مصرف انرژی، عملکرد و آسایش بصری و حرارتی فضاها را بررسی کرده اند (Chen X Lu L, 2015; Chen X Wang Y., 2017; Chen X Zhang W., 2015) و نشان داده‌اند توجه به آنها در مراحل اولیه طراحی ضروری است (Chen X Sun K., 2016). در این میان متغیرهای معماری متفاوتی برای طراحی بهینه ساختمان‌ها معرفی شده است که به صورت قابل توجهی می‌توانند بر نیاز انرژی ساختمان تاثیر گذار باشند. بخشی از این متغیرها شامل فرم ساختمان (Liu L Peng B, 2015; Mahdavinejad M Ghaedi H, 2012) درصد پنجره به دیوار (F.H.Abanda, 2016)، مصالح جدار (C.MarinoA.NucaraM.Pietrafesa, 2017; E.Mashena, 2017) جهت‌گیری ساختمان (Ghazali, Haw, Mat, Sopian, & Ilias, 2016; Guohui Feng Xiaolong Xu, 2016) نورگذر (Djamel, 2017) و سایه بان (Anna Atzeri Andrea Gasparella, 2014; Kelly Kalvelage Michael Dorneich, 2017; Z.S. Zomorodian, 2013) است. همچنین بافت پیرامون یک ساختمان نیز بر میزان تقاضای انرژی در ساختمان موثر است (فرخی، ایزدی و همکاران، ۱۳۹۷). Z.S. Zomorodian, 2013) است. این در حالیست که در تحقیقی دیگر تنها به بررسی جرم حرارتی ساختمان‌های زیرزمینی (اکبری و همکاران، ۱۳۹۸). در سه اقلیم تهران، یزد و تبریز بخ منظور سنجش مصرف انرژی پرداخته است (ایمانی و همکاران، ۱۳۹۷). در همین راستا

تحقیقاتی در زمینه ی کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌های بلندمرتبه انجام گرفته است. برای مثال در تحقیقی در خصوص ساختمان‌های مسکونی در اقلیم گرم و مرطوب هنگ کنگ، پارامترهای مصالح دارای عایق حرارتی در جدار نورگذر و جرم‌های حرارتی، رنگ دیوار خارجی، سیستم پنجره‌ها، مورد بررسی قرار گرفت که به ترتیب تأثیری معادل ۵/۴-۱۲/۶-۱۹/۴ درصد کاهش میزان مصرف انرژی در زمان سرمایش را نشان می دهد. تلفیق سه پارامتر فوق با یکدیگر میزان نیاز سرمایش در تابستان را ۳۲/۶ درصد کاهش داده است (C.K. Cheung M.B. Luther, 2004).

جدول تعدادی از این تحقیقات را به تفکیک اقلیم فهرست کرده است.

جدول ۱: پیشینه تحقیقات بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان های بلند مرتبه

منبع	اقلیم	متغیرها	شاخص ارزیابی	نرم افزار
(M. Rois Langner Charles D. Corbin , Michael J. Brandemueh, 2011)	BWK	روشنایی، تجهیزات، تراکم مصرف انرژی، بازده تاسیسات، نوع پنجره، توده وسایل داخلی، فن دمنده دور متغیر	انرژی مصرفی	انرژی پلاس
(Roger Hedrick, 2011)	DFA, CFA	پوشش بازتاب دهنده بر روی سه سطح دیوار، قاب پنجره ها و سقف ها	انرژی مصرفی و کاهش هزینه ی انرژی	اکوتیست، ای ای سی
(Liu L Peng B, 2015)	CSC	جزئیات پوسته ساختمان	انرژی مصرفی	انرژی پلاس، ترنسیس، دیزاین بیلدر
(Ghaii Mojtaba; Parvane, Fariba; Jafarikhah, Sorour, 2014)	BSK	نسبت پنجره به دیوار	انرژی مصرفی	اکوتیست
(C.K. Cheung M.B. Luther, 2004)	CWA	عایق حرارتی دیوار های خارجی، نوع پنجره، سایه بان، نسبت پنجره به دیوار،	انرژی مصرفی	اکوتیست
(Nedhal Al-Tamimi, 2012)	AF	عایق حرارتی دیوار های خارجی، نسبت پنجره به دیوار، نوع پنجره، سایه بان،	انرژی مصرفی	اکوتکت
(Holly Samuelson Apoorv Goyal, Yujiao Chen, Alejandra Romo-Castillo, 2016)	CSC CFA	عایق حرارتی دیوار های خارجی، نسبت پنجره به دیوار، نوع پنجره، سایه بان، جهت گیری ساختمان، جرم حرارتی، بافت شهری	انرژی مصرفی آسایش حرارتی اوج مصرف	آرک سیم، انرژی پلاس
(Mahdavinejad M Ghaedi H, 2012)	BSK	فرم ساختمان، جهت گیری	انرژی مصرفی	محاسبه عددی
نصیری، حافظی، (تحصیلدوست، & زمردیان، ۲۰۱۹)	BSK	فرم، جهت گیری نسبت پنجره به دیوار ارتفاع طبقه، نوع شیشه عایق حرارتی، جرم حرارتی	انرژی اولیه آسایش حرارتی کربن دی اکسید	انرژی پلاس (گرس هاپر)

به منظور تعیین مقادیر بهینه هر یک از پارامترها و بهینه‌سازی طرح از منظر مصرف انرژی می‌توان از روش‌های تحلیلی نیز استفاده کرد (Ochoa & Capeluto, 2009)، اگر چه تعامل بین عناصر طراحی، اقلیم، کاربران، سیستم‌های تهویه و روشنایی بسیار پیچیده است و تنها با استفاده از شبیه‌سازی می‌توان تمام فاکتورهای مداخله‌گر در فرایند را بررسی کرد (Attia, Gratia, De Herde, & Hensen, 2012; Holst, 2003; Petersen & Svendsen, 2010). با توجه به مطالعات پیشین، دو رویکرد اصلی برای بهینه‌کردن طرح معماری از نظر مصرف انرژی استفاده شده است: تحلیل پارامتریک (بررسی مستقل پارامترها) یا الگوریتم ژنتیک (بررسی همزمان پارامترها).

در روش اول میزان بهینه‌سازی از پارامترهای مورد نظر محاسبه و در طرح نهایی اعمال می‌شود (Attia et al., 2012; Brown & Mueller, 2019) در حالی که در روش دوم میزان تاثیر با استفاده از الگوریتم ژنتیک؛ به صورت ترکیب پارامترهای مختلف طراحی با مقادیر تعریف شده گوناگون به صورت ترکیبی و انجام فرآیند شبیه‌سازی انجام می‌پذیرد (Chen, Huang, Yang, & Peng, 2019; Jalali, Noorzai, & Heidari, 2020). لازم به ذکر است میزان تاثیرگذاری هر پارامتر نیز علاوه بر تعیین میزان بهینه آن باید بررسی شود. بدین منظور از روش تحلیل حساسیت قابل استفاده است (Holly Samuelson Apoorv Goyal, Yujiao Chen, Alejandra Romo-Castillo, 2016).

ساختمان‌های اداری در شهرهای مختلف ایران و بویژه شهرهای بزرگ، درصد بالایی از میزان مصرف انرژی سالیانه را به خود تخصیص داده‌اند و متوسط میزان انرژی اولیه مصرفی سالیانه آن‌ها در حدود ۳۵۰ کیلووات بر مترمربع است (D. Pasdar et al. 2011., 2011; G. Karamnia et al., 2011). این مقدار زیاد مصرف، بعلاوه تنوع شرایط اقلیمی شهرهای مختلف ایران، موید لزوم مطالعات بهینه‌سازی در اقلیم‌های گوناگون ایران مورد است. اهمیت بافت شهری برای مراحل اولیه طراحی ساختمان زمانی دو چندان می‌شود که نوع سایه‌اندازی و جریان هوای محیط پیرامونی نیز می‌تواند میزان مصرف انرژی و آسایش ساکنین در داخل ساختمان را تحت تاثیر قرار دهد. از این رو هدف از این تحقیق بهینه‌سازی پارامترهای معماری با هدف دستیابی به حداقل مصرف انرژی و حداکثر میزان آسایش در ساختمان‌های بلندمرتبه در سه اقلیم گرم و خشک، سرد و خشک و گرم و مرطوب، با استفاده از دو روش تحلیل پارامتریک و الگوریتم ژنتیک است. در این راستا، شبیه‌سازی‌های انجام شده به منظور تحقق بررسی میزان تاثیر تراکم بافت شهری بر مصرف انرژی و آسایش حرارتی ساکنین نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۴- مواد و روش‌ها

۴-۱- بستر تحقیق

با توجه به اینکه سه شهر تهران، تبریز و بندرعباس به عنوان سه شهر با جمعیت زیاد و دارای اقلیم‌های متنوع هستند، برای اهداف تحقیق انتخاب شده‌اند. بر اساس دسته‌بندی کوپن-گایگر اقلیم تهران (BSK)، تبریز (BSH) و بندرعباس (BWH) تعیین شده است. روز درجه سرمایش و گرمایش سه شهر در جدول ۱ آمده است که نشان دهنده نیاز گرمایش و سرمایش متنوع در این سه انتخاب شده برای پژوهش است. اطلاعات جدول با استفاده از فایل آب و هوایی اقلیمی (TMY2) هر سه شهر مورد بررسی در این تحقیق بدست آمده است (Weather Data by Region | EnergyPlus, 2001).

جدول ۱: روز درجه سرمایش و گرمایش اقلیم های انتخاب شده برای پژوهش

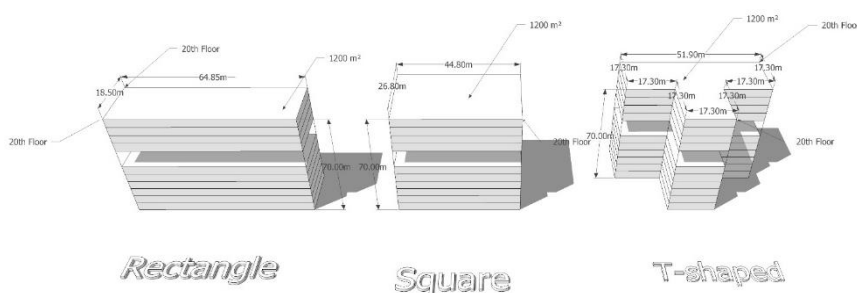
نام شهر	نیاز به انرژی	روز درجه گرمایش (پایین تر از ۱۸ درجه)	روز درجه سرمایش (بالتر از ۲۱ درجه)
بندر عباس	زیاد(سرمایش)	۱۶۴	۲۴۲۹
تهران	متوسط(گرمایش)	۱۸۰۳	۱۰۲۴
تبریز	زیاد(گرمایش)	۲۹۸۷	۴۹۹

۲-۴- مدل پایه و مدول ارزیابی

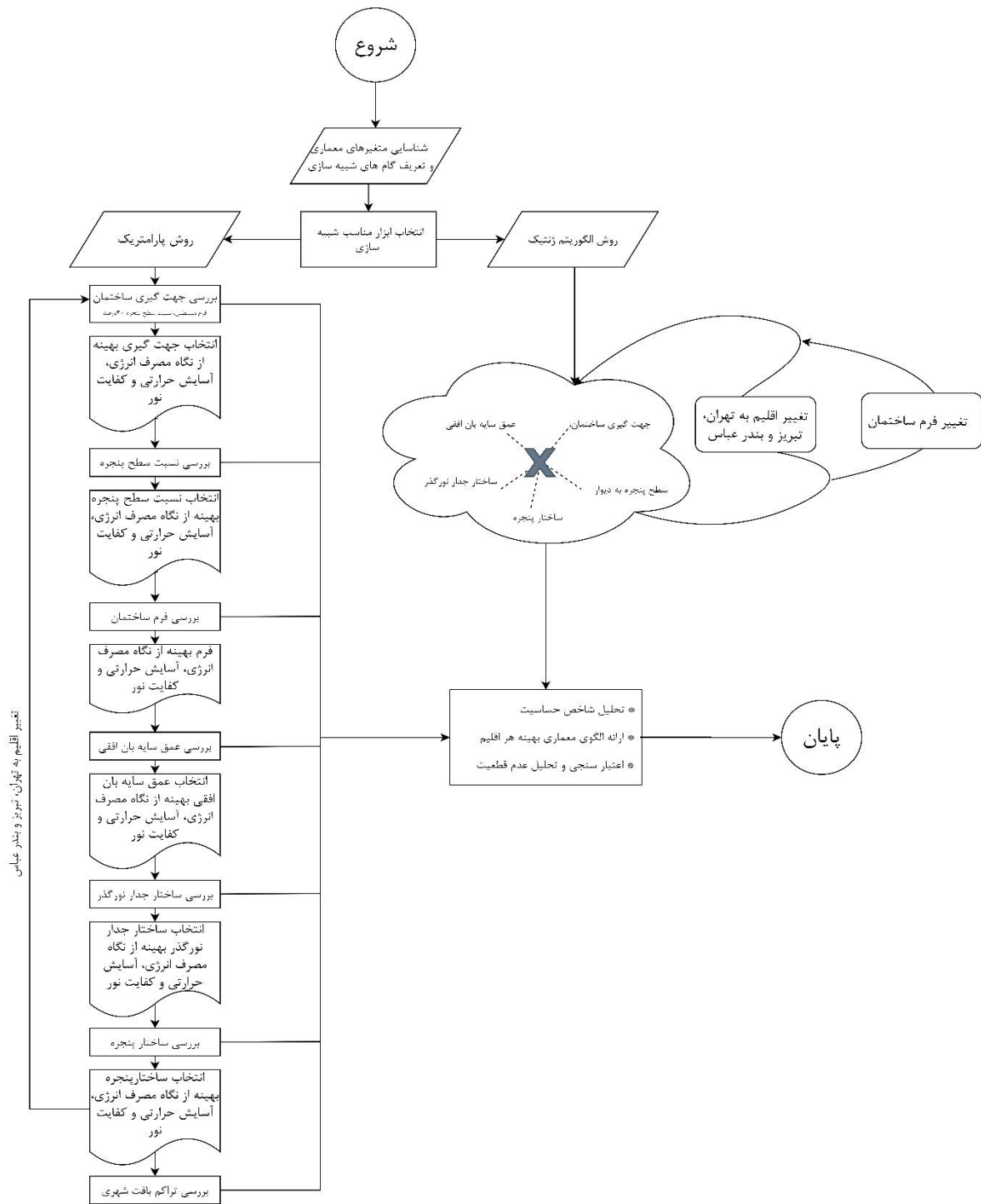
سه ساختمان تیپ اداری با پلان باز^۱ به فرم‌های مستطیل، مربع و تی شکل در سه شهر تهران، بندرعباس و تبریز به عنوان مصادیقی از سه نوع شرایط اقلیمی اصلی در کشور مورد بررسی قرار گرفته‌اند. زیربنا و ارتفاع ساختمان‌ها یکسان (به ترتیب ۱۲۰۰ متر مربع و ۲۰ طبقه معادل ۷۰ متر ارتفاع) فرض شده، مفروضات برنامه کاربردی و تصرف و بار روشنایی و تجهیزات و سایر مشخصات ساختاری جداره‌ها و همچنین میزان درزبندی و یا نشت و نفوذ هوا در همه موارد بصورت ثابت و مطابق مقادیر قابل قبول مقررات ملی در نظر گرفته شده است.

۳-۴- متغیرها و شاخص های ارزیابی

با توجه به مروری که بر تحقیقات قبلی در مورد پارامترهای معماری انجام شده است، در این پژوهش میزان تاثیر پارامترهای مختلف طراحی در مراحل اولیه که شامل: فرم ساختمان، جهت گیری ساختمان، نسبت پنجره به دیوار، ساختار پنجره، سایه بان پنجره، ساختار جدار نورگذر و همچنین تراکم بافت شهری مورد بررسی قرار می‌گیرند. (تصویر ۱)



تصویر ۱: مشخصات فرم های انتخاب شده جهت شبیه سازی



دیاگرام ۱: فلوجارت مسیر پژوهش (به ترتیب مراحل)

• متغیرهای معماری

شبیه‌سازی در سه اقلیم گوناگون می‌تواند شرایط جدیدی را برای فرم ساختمان ایجاد کند، از این رو سه فرم مستطیل کشیده با نسبت عرض به طول ۱ به ۳/۵ و یک فرم نزدیک به مربع با نسبت عرض به طول ۱ به ۱/۶۷ (چرا که میزان ساختمان‌های بلندی که فرم دقیقاً مربع داشته باشند کم است) و همچنین یک فرم (T) شکل که شامل ۴ مربع با ابعاد ۱۷/۳ در ۱۷/۳ که به شکل (T) در سمت جنوب در آمده‌اند، مشخص است. جدول ۲ و دیاگرام ۱ به ترتیب بازه‌ی تغییر هر متغیر معماری و شیوه انجام مراحل شبیه‌سازی و تحلیل را در پژوهش نشان می‌دهد.

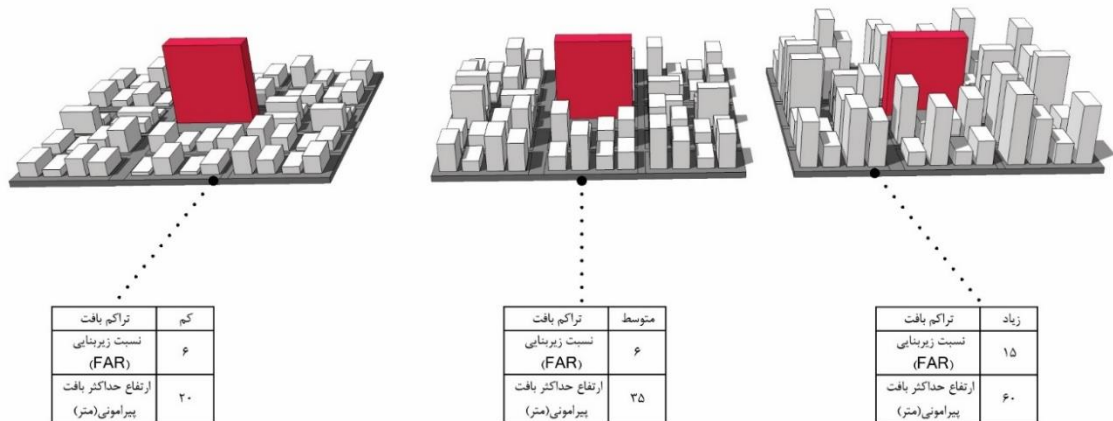
جدول ۲: متغیرهای معماری و بازه‌ی تغییرات آنها

پارامتر	محدوده‌ی تغییرات	گام تغییرات
فرم	مربع، مستطیل و تی (T) شکل	-
جهت‌گیری	از ۰ تا ۳۴۵ درجه	هر ۱۵ درجه (ساعتگرد)
نسبت سطح باز شو به دیوار	از ۱۰٪ تا ۱۰۰٪	هر ۱۰ درصد
سایه بان افقی پنجره در سمت جنوب، ضریب بیرون زدگی ^۲ (نسبت عمق سایه بان به فاصله‌ی پایین شیشه تا زیر سایه بان)	۰ تا ۰.۷۵	0.25
ساختار جدار نورگذر (وات بر مترمربع کلوین)	۰/۸۸*۰/۷۰*۰/۴۲*۰/۲	-
ساختار پنجره	۱/۲*۲/۷۰*۳/۴۱	-
بافت شهری	محدودیت ارتفاع ۶۰ تا ۱۸۰ متر	هر ۶۰ متر

• شاخص‌های ارزیابی

در اکثر تحقیقات پیشین بهره‌وری انرژی سالیانه ساختمان مورد بررسی قرار گرفته و سایر پارمترها مانند ساعات عدم آسایش و انرژی اولیه سالیانه مورد توجه زیادی نبوده‌اند. کاهش مصرف انرژی در زمان‌های اوج مصرف به میزان بیشتری می‌تواند بر مصرف سالیانه تاثیر گذار باشد. از آنجاییکه تغییرات ناگهانی آب و هوا می‌توانند بر شرایط طرح تاثیرگذار باشند، طراحان باید در راستای بهینه‌سازی ساختمان خود سایر متغیرها را نیز در نظر بگیرند. از این رو طراح ساختمان می‌تواند علاوه بر اتخاذ تصمیم درست در راستای کاهش چشمگیر مصرف انرژی در زمان‌های اوج مصرف، از راهکارهای غیرفعال نیز در کاهش ساعات عدم آسایش نیز بهره‌گیرد. بنابراین در این تحقیق سعی بر این شده است تا سه شاخص میزان انرژی کل ساختمان^۳، ساعات عدم آسایش^۴ و کفایت نور روز^۵ مورد بررسی و تحلیل قرار گیرند. به منظور بررسی تامین کفایت نور کافی با افزایش نسبت سطح پنجره به دیوار به ۳۵ و ۴۰ یا ۵۰ درصد می‌توان امتیاز دریافت نور کافی مطابق با استاندارد لیید و برییم را به ترتیب کسب نمود (Zomorodian, Korsavi, & Tahsildoost, 2016). این در حالیست که با تامین سطح پنجره‌ای به میزان ۴۰ درصد از سطح دیوار، تامین روشنایی نور مفید روز^۶ و عدم ایجاد خیرگی^۷ کمترین میزان مصرف انرژی نیز قابل تامین است (Mangkuto, Rohmah, & Asri, 2016). از این رو ابتدا وضعیت بهینه در مصرف انرژی، آسایش حرارتی کاربران و تحلیل حساسیت مورد تحلیل قرار گرفته و سپس برای کفایت نور روز گزینه‌هایی که دارای حداقل نسبت پنجره به دیوار ۴۰ درصد را دارا هستند، به عنوان گزینه مطلوب انتخاب و گزارش می‌شوند.

وجود بافت شهری با ارتفاع‌های متفاوت در اطراف ساختمان به خاطر سایه‌اندازی احتمالی بر روی ساختمان و سایر تاثیرهایی که می‌تواند بر بهینه‌سازی میزان مصرف انرژی و سطح آسایش کاربر داشته باشد، باید مورد بررسی قرار گیرد. چرا که این بافت شهری می‌تواند بر سایر پارامترهای طراحی در مراحل نخست نیز تاثیر گذار باشد (Athalye, Xie, Liu, & Rosenberg, 2013). با توجه به پژوهش رین هارت و داویلا (Reinhart & Davila, 2016) شبیه‌سازی بافت موجود هر منطقه، با در اختیار



تصویر ۲: مشخصات تراکم بافت‌های شهری پژوهش

داشتن اطلاعات از داده‌های جی آی اس^۸، اطلاعات فاصله‌سنجی^۹ و یا ساختارهای داده‌ای^{۱۰} تا حد زیادی قابل اطمینان است. در این پژوهش سعی بر آن شده است هر سه بافت شهری کوتاه، متوسط و بلند در هر سه شهر تهران، بندرعباس و تبریز مورد تحلیل و مقایسه قرار گیرند. در رابطه با طراحی بافت پیرامون ساختمان دو پارامتر مد نظر قرار می‌گیرد: ابتدا میزان نسبت زیر بنای ساختمان به سطح زمین اشغال شده^{۱۱} و دیگری محدودیت ارتفاع^{۱۲} در بافت‌های مختلف شهری. در این تحقیق عواملی مانند طول و عرض خیابان‌ها و فاصله‌ی طولی ساختمان‌ها ثابت گرفته می‌شود. تصویر ۲ سه بافت شهری کوتاه، متوسط و بلند را به اختصار معرفی می‌کند.

۴-۴ تحلیل حساسیت

به منظور بررسی میزان تاثیرگذاری متغیرهای معماری معرفی شده در جدول ۲ با استفاده از تحلیل حساسیت^{۱۳}، که حاصل از تقسیم تغییرات پارامتر در حداقل و حداکثر به نسبت حداقل است، استفاده شده است.

$$100\% * \frac{\text{بهترین مقدار (متغیر)} - \text{بدترین مقدار (متغیر)}}{\text{بدترین مقدار (متغیر)}} = \text{شاخص حساسیت (متغیر)}$$

رابطه ۱: محاسبه شاخص حساسیت یک متغیر

۴-۵- روش‌های بهینه‌سازی متغیرهای معماری

بهینه‌سازی متغیرهای معماری با روش‌های متنوعی مانند: اندازه‌گیری‌های میدانی، استفاده از روش‌های تجویزی درون استاندارد و شبیه‌سازی انجام می‌پذیرد که مورد اخیر را می‌توان در دو روش پارامتریک و الگوریتم ژنتیک مورد بررسی قرار داده و نتایج حاصل از دو روش را به منظور تحقق یافتن یکی از اهداف پژوهش با یکدیگر مقایسه نمود.

نرم افزارهایی از قبیل انرژی پلاس و گرس هاپر با استفاده از افزونه‌هایی مانند هانی بی و لیدی باگ تا کنون در زمینه تحقیقات گوناگون بر روی ساختمان‌ها به منظور تحلیل انرژی و فیزیک ساختمان مورد استفاده قرار گرفته اند و بعضاً این امر با استفاده از مدل سازی ساختمانی با ابزارهای واسط مانند اسکچ آپ و راینو انجام می پذیرد)

جدول). همچنین رابط گرافیکی دیزاین بیلدر^{۱۴} با توجه به قابلیت تحلیل متغیرها و محیط گرافیکی مناسبی که در اختیار پژوهشگر قرار می‌دهد، در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است.

• روش پارامتریک

در این روش متغیرهای پژوهش به صورت مرحله‌ای و گام به گام شبیه‌سازی می‌شود تا حالت بهینه از منظر حداقل انرژی اولیه و حداکثر ساعات آسایش تامین شود، با انجام این کار برای هر متغیر، با ثابت نگه داشتن متغیر اول، متغیر دوم بهینه‌سازی می‌شود و این روند تا آخرین متغیر پژوهش ادامه می‌یابد تا تاثیر هر پارامتر معماری ملاحظه گردد. سپس حالت بهینه از منظر کفایت نور روز مورد بررسی قرار می‌گیرد.

• الگوریتم ژنتیک

الگوریتم‌های ژنتیک از الگوریتم‌های جستجوی تصادفی است که ایده آن برگرفته از طبیعت است. در الگوریتم ژنتیک، ژنهای فرزند وارث ژن پدر و مادر است و لذا برخی از ویژگی‌های ژن پدر و برخی ویژگی‌های ژن مادر را در ترکیبی جدید از ساختارهای مختلف ژن به صورت تصادفی خواهد داشت و در نهایت بهترین ترکیب برای ساختار ژن جدید انتخاب می‌شود. سایر روش‌ها مانند بررسی الگوریتم ژنتیک در شبیه‌سازی انرژی را نیز می‌توان در این مقطع مورد استفاده قرار داد (Tuhus- Dad, 2005; Dubrow & Krarti, 2010; Wang, Zmeureanu, & Rivard, 2005). هر چند که این روش از میان تعداد زیادی از حالات تلفیقی با استفاده از متغیرهای گوناگون به بهترین حالت ممکن برای طراحی در مراحل اولیه می‌رسد ولی قدرت تجزیه و تحلیل طراح نسبت به سنجش بیشترین و کمترین عامل معماری موثر از او سلب می‌شود.

از این رو با انتخاب روش پارامتریک می‌توان این اختیار را به طراح داد تا متغیرها را با دیدگاه خود با یکدیگر تلفیق کند و خود آن را مورد ارزیابی قرار دهد. هر چند که با استفاده از این روش طراح می‌تواند به میزان کارکرد مطلوب نزدیک شد، ولی نتوانسته است نتیجه تماماً مطلوب را به دست آورد (Christensen, Anderson, Horowitz, Courtney, & Spencer, 2006). در این پژوهش متغیرهای معماری، در الگوریتم تعریف شده، به صورت تصادفی حالت‌های مختلف تعریف شده هر متغیر را با ترکیبات دیگر از سایر متغیرها در می‌آمیزد و نتیجه شبیه‌سازی در واقع همان نمونه‌های موردی از الگوریتم ژنتیک هستند که کمترین میزان مصرف انرژی و حداقل ساعات عدم آسایش را به خود اختصاص داده باشند.

۵- نتایج و یافته‌ها

تعداد ۱۵۶ و ۷۰۷۶۰ نمونه موردی از ترکیب متغیرهای معماری مطرح شده در جدول ۲ در سه اقلیم تهران، بندرعباس و تبریز در قالب فرم‌های معرفی شده در تصویر ۱ و در بافت‌های شهری معرفی شده در تصویر ۲، با استفاده از نرم‌افزار دیزاین بیلدر به ترتیب با استفاده از دو روش پارامتریک و الگوریتم ژنتیک مورد بررسی و شبیه‌سازی قرار گرفتند. در شبیه‌سازی به منظور به حداقل رساندن ساعات آسایش حرارتی سیستم‌های تاسیساتی خاموش بوده و هنگام بهینه‌سازی مصرف انرژی سیستم تاسیساتی فعال است. از این طریق می‌توان تاثیر هر کدام از پارامترهای معماری را بر آسایش حرارتی و انرژی به صورت مجزا مورد تحلیل قرار داد.

۵-۱- تحلیل پارامتریک

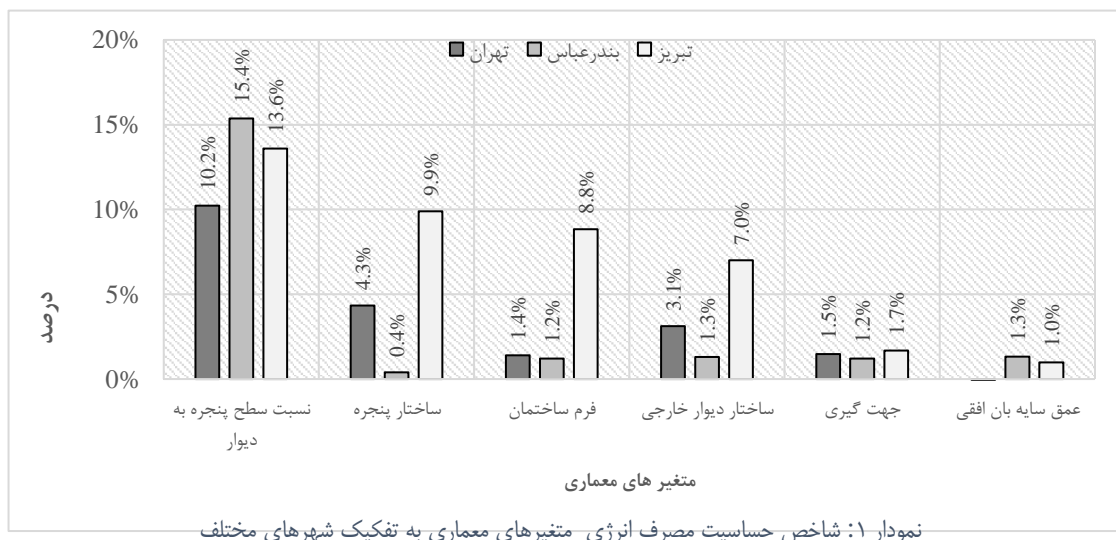
با استفاده از روش پارامتریک، شبیه‌سازی‌ها در سه شهر تهران، بندعباس و تبریز با فرم مستطیل آغاز شده و جهت‌گیری، نسبت مساحت پنجره به دیوار، فرم ساختمان، ساختار پنجره، نوع سایه‌بان افقی و ساختار دیوار خارجی به ترتیب با توجه به حداقل ساعت عدم آسایش بهینه‌سازی شده و سپس همین فرآیند برای به حداقل رساندن شدت مصرف انرژی نیز از ابتدا تکرار می‌شود. لازم به ذکر است که ابتدا فرم اصلی ساختمان در بخش تحلیل پارامتریک مورد شبیه‌سازی قرار گرفته و حالت بهینه برای آسایش و شدت مصرف انرژی در مراحل بعد مورد استفاده قرار می‌گیرد.

با توجه به جدولکه تمام متغیرهای بهینه شده از لحاظ آسایش و انرژی را مشخص کرده است، پارامتر تعیین کننده بین شدت مصرف انرژی و آسایش در تهران تنها طول سایه بان افقی است و در بندرعباس جهت‌گیری، فرم و نوع ساختار دیوار خارجی بین شدت مصرف انرژی و آسایش تفاوت ایجاد می‌کند. در تبریز تمام انتخاب‌های بهینه بین شدت مصرف انرژی و آسایش با یکدیگر یکسان است.

جدول ۴: نتایج بهینه‌سازی متغیرهای معماری به روش پارامتریک

متغیر	تهران		بندرعباس		تبریز	
	آسایش	انرژی	آسایش	انرژی	آسایش	انرژی
جهت‌گیری	جنوب	جنوب	45 شرقی	جنوب	جنوب	جنوب
نسبت پنجره به دیوار	40%	40%	40%	40%	40%	40%
فرم	مستطیل	مربع	تی شکل	مربع	مستطیل	مستطیل
ساختار پنجره (ضریب انتقال حرارت)	۱/۲۰	۱/۲۰	۳/۴۱	۱/۲۰	۱/۲۰	۱/۲۰
سایه بان	PF=50%	PF=25%	PF=50%	PF=50%	بدون سایه بان	بدون سایه بان
ساختار جدار نورگذر (ضریب انتقال حرارت)	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۸۸	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰
تراکم بافت شهری	کم	کم	زیاد	زیاد	کم	کم

نمودار ۱ شاخص حساسیت متغیرهای معماری در سه شهر تهران، بندرعباس و تبریز را نشان می‌دهد. بیشترین حساسیت متغیر معماری در سه شهر تهران، تبریز و بندرعباس نسبت سطح پنجره به دیوار به میزان ۱۵/۴، ۱۳/۶ و ۱۰/۲ درصد است.



تأثیر تراکم بافت‌های شهری در این پژوهش به ترتیب در بخش مصرف انرژی و ساعات آسایش در جدول ۳ دیده می‌شود. بیشترین شاخص حساسیت انرژی کل ساختمان در مورد تراکم بافت شهری مربوط به شهر تبریز با میزان ۸/۵ درصد و کمترین مربوط به شهر بندرعباس با میزان ۲/۲ درصد است. در دو شهر تهران و تبریز بافت شهری کم ارتفاع و در شهر بندرعباس بافت شهری مرتفع شرایط مطلوب‌تری در هر دو بخش را گزارش کرده‌اند.

جدول ۳: تراکم بافت شهری بهینه و شاخص حساسیت به تفکیک شهرهای پژوهش برای تامین آسایش حرارتی و مصرف انرژی بهینه

شهر	تراکم بافت شهری بهینه		شاخص حساسیت (%)	
	آسایش حرارتی	مصرف انرژی	آسایش حرارتی	مصرف انرژی
تهران	کم	کم	۰/۲	۶/۱
بندرعباس	زیاد	زیاد	۲/۱	۲/۲
تبریز	کم	کم	۱/۴	۸/۵

۵-۲- الگوریتم ژنتیک

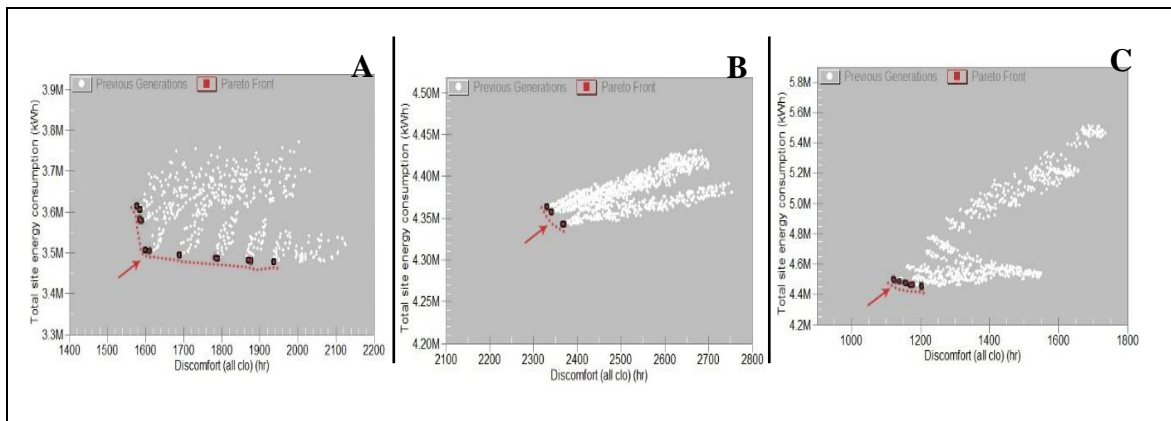
در جدول ۴ نتایج شبیه‌سازی با روش الگوریتم ژنتیک؛ وضعیت هر کدام از متغیرهای معماری برای سه شهر تهران، بندرعباس و تبریز که در واقع وضعیت نمونه‌های غالب^{۱۵} با جهت گیری جنوب شرقی و ۴۰ درصد پنجره و نسبت سایه‌بان افقی به میزان ۵۰ تا ۷۵ درصد است را نشان می‌دهد.

جدول ۴: نتایج بهینه برای متغیرهای معماری در روش الگوریتم ژنتیک

شهر	فرم	جهت گیری	نسبت سطح پنجره به دیوار	ساختار پنجره (ضریب انتقال حرارت)	سایه بان	ساختار جدار نورگذر (ضریب انتقال حرارت)	ساعات عدم آسایش	شدت مصرف انرژی (KWH/m ²)
تهران	مستطیل	جنوب شرقی (۱۶۵ درجه)	۴۰٪	۱/۲	PF=50%	۰/۲۰	۱۵۷۷/۵	۱۵۲/۸
	مربع	جنوب شرقی (۱۵۰ درجه)	۴۰٪	۱/۲	PF=75%	۰/۲۰	۱۲۹۱/۵	۱۵۶/۸
بندرعباس	مربع	جنوب شرقی (۱۳۵ درجه)	۴۰٪	۱/۲	PF=75%	۰/۲۰	۲۳۳۰/۵	۱۸۴
	مستطیل	جنوب شرقی (۱۶۵ درجه)	۴۰٪	۱/۲	PF=50%	۰/۲۰	۲۶۴۶/۵	۱۷۹/۱
تبریز	مربع	جنوب شرقی (۱۶۵ درجه)	۴۰٪	۱/۲	PF=75%	۰/۲۰	۱۰۲۹	۱۸۸/۶
	مستطیل	جنوب شرقی (۱۵۰ درجه)	۴۰٪	۱/۲	PF=50%	۰/۲۰	۱۱۸۶	۱۷۹/۹

نتایج الگوریتم ژنتیک (گونه غالب) آسایش حرارتی برای سه شهر تهران-فرم مستطیل (A)-بندرعباس-فرم مربع (B)-تبریز-فرم تی شکل (C)

(نتایج الگوهای بهینه معرفی شده با رنگ سیاه و راهنمایی فلش مشخص شده است.)



۵-۳- مقایسه دو روش پارامتریک و الگوریتم ژنتیک

نتایج دو بخش پارامتریک و الگوریتم ژنتیک برای شاخص حساسیت شهرها نسبت به تغییر پارامترهای معماری به شرح جدول ۵ است. نکته حائز اهمیت بالاتر بودن میزان حساسیت ناشی از روش الگوریتم ژنتیک است. این خود نشان دهنده پراکندگی گسترده نتایج و یا تاثیر ترکیب‌های متنوع پارامترهای معماری با یکدیگر است. این روش نسبت به بهینه‌سازی با روش پارامتریک به میزان متوسط ۹/۴ درصد در بخش انرژی و ۲۳/۳ درصد در بخش آسایش حرارتی حساسیت بیشتری ثبت کرده است. نکته ی دیگر بالاتر بودن حساسیت شاخص آسایش حرارتی در هر دو روش پارامتریک و الگوریتم ژنتیک نسبت به شدت مصرف انرژی است. از این رو روش الگوریتم ژنتیک با توجه به اینکه گستره وسیع تری از ترکیب پارامترهای معماری بررسی می‌شود، نتایج متنوع تری نیز مستخرج می‌شود. از این رو روش الگوریتم ژنتیک می‌تواند در مراحل اولیه طراحی شرایط متنوع را برای معماران روشن سازد.

جدول ۵: مقایسه شاخص حساسیت در دو روش پارامتریک و الگوریتم ژنتیک به تفکیک اقلیم

شهر	پارامتریک (%)		الگوریتم ژنتیک (%)	
	انرژی	آسایش	انرژی	آسایش
تهران	۶/۱	۱۰/۱	۱۶	۳۸
بندرعباس	۲/۲	۲/۵	۶	۱۸
تبریز	۸/۵	۱۲/۵	۲۳	۳۹

۵-۴- جمع بندی

جدول ۶ در واقع نشان دهنده فاصله اندک بین نتایج بهینه برای مشخصات متغیرهای معماری در روش پارامتریک و الگوریتم ژنتیک برای دو شهر تهران و تبریز است. تنها تفاوت در فرم ساختمان و نسبت عمق سایه بان افقی است که فرم مستطیل و عمق سایه بان کمتر و فرم مربع با عمق سایه بان بیشتر ترکیب مناسب را تشکیل می‌دهند. در حالیکه در شهر بندرعباس نتایج حاصل از دو روش در فرم ساختمان، ساختار پنجره و ساختار دیوار خارجی با یکدیگر تفاوت زیادی دارند. این در حالیست که تنها در شهر بندرعباس تراکم بافت شهری زیاد در هر دو بخش انرژی و آسایش مناسب است و در دو شهر تهران و تبریز تراکم بافت شهری کم به عنوان الگوی شهری برگزیده انتخاب می‌شود.

جدول ۶: مقایسه متغیرهای بهینه معماری برای دو روش پارامتریک و الگوریتم ژنتیک

متغیر معماری	تهران		بندرعباس		تبریز	
	پارامتریک	الگوریتم ژنتیک	پارامتریک	الگوریتم ژنتیک	پارامتریک	الگوریتم ژنتیک
جهت گیری	جنوب	جنوب شرقی (۱۵۰ درجه)	جنوب غربی (۴۵ درجه) - جنوب	جنوب شرقی (۱۳۵ درجه)	جنوب	جنوب شرقی (۱۶۵ درجه)
نسبت سطح پنجره به دیوار	۴۰٪	۴۰٪	۴۰٪	۴۰٪	۴۰٪	۴۰٪
فرم ساختمان	مستطیل	مربع	تی شکل - مربع	مربع	مستطیل	مربع
ساختار پنجره (ضریب انتقال حرارت)	۱/۲۰	۱/۲۰	۳/۴۱*۱/۲۰	۱/۲۰	۱/۲۰	۱/۲۰
نسبت عمق سایه بان افقی (PF)	۵۰٪	۷۵٪	۵۰٪	۷۵٪	بدون سایه بان	۷۵٪
ساختار دیوار (ضریب انتقال حرارت)	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۸۸*۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰

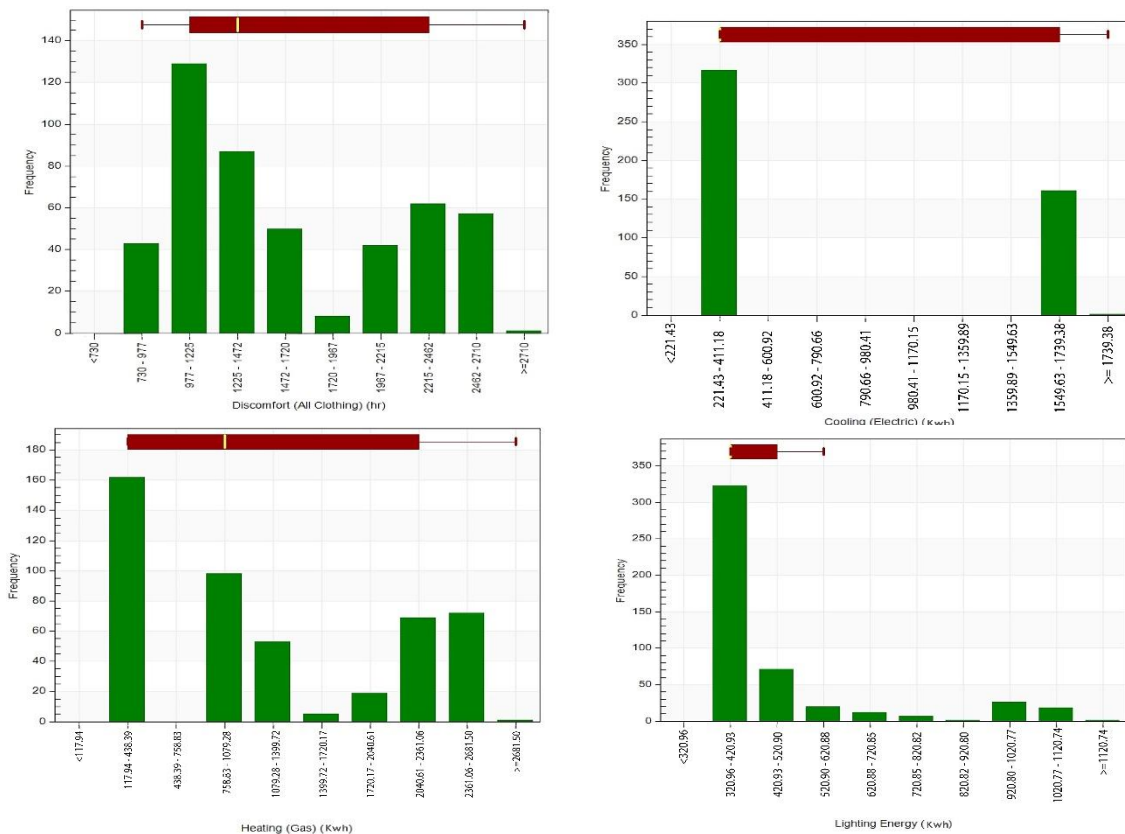
۵-۵- اعتبارسنجی پژوهش

در اعتبارسنجی پژوهش، از دو روش مقایسه نتایج شبیه‌سازی این پژوهش با تحقیقات مشابه قبلی و آزمون عدم قطعیت شبیه‌سازی استفاده شده است. جدول ۷ نمایانگر میزان تشابه نتایج شاخص حساسیت متغیرهای این پژوهش با دو پژوهش مشابه قبلی، یکی در کشور چین و دیگری در شهر تهران، است که به ترتیب با استفاده از دو روش پارامتریک و الگوریتم ژنتیک انجام شده‌اند.

جدول ۷: مقایسه شاخص حساسیت متغیرهای طراحی معماری در تحقیقات مختلف (درصد)

پژوهش	مکان	روش	سطح پنجره به دیوار	ساختار پنجره	فرم ساختمان	ساختار دیوار خارجی	جهت گیری	عمق سایه بان افقی	تراکم بافت شهری	
ساموئلسون و همکاران، ۲۰۱۶	چین	پارامتریک (انرژی کل)	۹/۸	۵/۱	۱/۲	۱/۱	۲/۱	۰/۱	۰/۸۵	
نصیری و همکاران، ۲۰۱۹	ایران (تهران)	الگوریتم ژنتیک (انرژی اولیه)	۲۹	۲۱	۱۸	۲/۵	۹/۸	-	-	
پژوهش حاضر	ایران (تهران) - بندرعباس - تبریز	پارامتریک (انرژی کل)	۱۰/۲	۴/۳	۱/۴	۳/۱	۱/۵	۰/۰۴	۶/۱	
		بندرعباس	۱۵/۴	۰/۴	۱/۲	۱/۳	۱/۲	۱/۳	۲/۲	
		تبریز	۱۳/۶	۹/۹	۸/۸	۷	۱/۷	۱	۸/۵	
		تهران	۱۱/۴*۷/۷	-	-	-	-	-	-	-
		بندرعباس	۲/۲*۱/۹	-	-	-	-	-	-	-
تبریز	۱۹/۳*۱۳	-	-	-	-	-	-	-		

در روش عدم قطعیت شبیه‌سازی که با استفاده از تحلیل فراوانی تجمعی داده‌های شبیه‌سازی شده به دست می‌آید. فراوانی داده‌های شبیه‌سازی شده‌ای که در چارک اول تا سوم قرار دارند نسبت به جامعه کل مورد بررسی قرار می‌گیرد و درصد عدم قطعیت شبیه‌سازی در هر کدام از خروجی‌های آسایش حرارتی، انرژی سرمایش، انرژی گرمایش و انرژی روشنایی روشن می‌شود. مطابق با نمودار ۲ عدم قطعیت نتایج شبیه‌سازی به ترتیب در ۴ بخش بالا ۲۱، ۵/۰، ۱۵ و ۱۴ (درصد) است. که



نمودار ۲: عدم قطعیت نتایج شبیه‌سازی

نشان از قطعیت بالاتر از ۷۸ درصد در تمام نتایج حاصل از شبیه‌سازی دارد.

۶- نتیجه گیری

با توجه به اینکه شبیه‌سازی به عنوان یکی از ابزارهای نوین جهت ارزیابی عملکرد انرژی و حرارتی یک ساختمان به شمار می‌رود، اهمیت استفاده از این ابزار در تصمیمات مراحل اولیه طراحی معماری دوچندان می‌شود. در این پژوهش سعی شده تا علاوه بر شناسایی متغیرهای معماری (جهت‌گیری، نسبت سطح پنجره به دیوار، فرم، ساختار پنجره، نسبت عمق سایه بان افقی و ساختار جدانورگذر) بهینه در سه اقلیم تهران، بندرعباس و تبریز، شاخص حساسیت هر متغیر و همچنین میزان تاثیر گذاری تراکم‌های شهری متنوع در ساختمان‌های اداری بلندمرتبه بررسی گردد. به این منظور با استفاده از دو روش پارامتریک و الگوریتم ژنتیک شبیه‌سازی ساختمان اداری بلندمرتبه در متغیرهای عنوان شده در بافت‌های شهری مطرح شده مورد بررسی قرار گرفتند تا ضمن پاسخ به سوالات پژوهش، دو روش شبیه‌سازی مطرح شده در تحقیق نیز مورد ارزیابی قرار گیرند. یافته‌های اصلی، محدودیت‌ها و پیشنهادات برای تحقیقات آتی به طور خلاصه بیان شده اند:

- نتایج روش پارامتریک نشان دهنده بیشترین شاخص حساسیت هنگام تغییر پارامترهای معماری در نتایج آسایش حرارتی و انرژی کل به ترتیب به میزان ۱۲/۵٪ و ۸/۵٪ در شهر تبریز و کمترین شاخص حساسیت مربوط به شهر بندعباس به ترتیب

با ۲/۵٪ و ۲/۲٪ است. نتایج روش الگوریتم ژنتیک نیز بیشترین میزان تغییرات شاخص حساسیت را مربوط به شهر تبریز و پس از آن شهر تهران قرار دارد. روش الگوریتم ژنتیک در بخش آسایش حرارتی ۲۳/۳٪ و در بخش انرژی کل ۹/۴٪ به صورت میانگین در هر سه اقلیم از روش پارامتریک شاخص حساسیت بیشتری را نشان داده است.

• بر اساس نتایج تحلیل شاخص حساسیت انرژی کل در روش پارامتریک، به ترتیب **نسبت سطح پنجره به دیوار (۱۵/۴٪)** بندرعباس، **ساختمان پنجره (۹/۹٪ تبریز)**، **فرم ساختمان (۸/۸٪ تبریز)**، **ساختمان جدارنورگذر (۷٪ تبریز)** و جهت گیری **ساختمان (۱/۷٪ تبریز)** بیشترین و عمق سایه بان افقی (۰/۰۴٪ تهران) و تراکم بافت شهری (۲/۲٪ بندرعباس) کمترین مقدار را به خود اختصاص داده اند.

• **تاثیر تراکم بافت شهری بر آسایش حرارتی در سه اقلیم تهران، بندرعباس و تبریز به ترتیب ۰/۱۸، ۲/۰۴ و ۱/۴۱ (درصد)** است که تراکم شهری مناسب برای بهینه سازی مصرف انرژی کل و کاهش ساعات عدم آسایش در شهر بندرعباس تراکم زیاد و در شهر تهران و تبریز تراکم کم مناسب گزارش می شود.

• نتایج نشان داده اند در روش پارامتریک ساختمان اداری بلندمرتبه با فرم مستطیل، جهت گیری جنوبی با ۴۰٪ سطح پنجره که دارای ساختار دیواری با ضریب انتقال حرارت ۰/۲۰ و پنجره ای دو جداره با ضریب انتقال حرارت ۱/۲ وات بر متر مربع کلون در دو شهر تهران و تبریز مناسب است، با این تفاوت که نسبت سایه بان افقی در تهران ۵۰٪ و در تبریز بدون سایه بان نشان می دهد.

• از طرف دیگر نتایج در روش الگوریتم ژنتیک برای ساختمان اداری بلندمرتبه فرم مربع، جهت گیری جنوب شرقی با ۴۰٪ سطح پنجره که دارای ساختار جدارنورگذر با ضریب انتقال حرارت ۰/۲۰ و پنجره ای دو جداره با ضریب انتقال حرارت ۱/۲ وات بر متر مربع کلون که سایه بانی افقی با نسبت ۷۵٪ دارد در هر سه اقلیم مناسب است.

• میانگین گیری نتایج دو روش پارامتریک و الگوریتم ژنتیک در هنگام اعمال کردن متغیرهای معماری برای هر دو بخش از نتایج در آسایش حرارتی و انرژی کل نشان دهنده بیشترین میزان حساسیت در شهر تبریز، تهران و بندرعباس به ترتیب با میزان ۲۰/۷۵، ۱۷/۵۵ و ۷/۱۷ (درصد) است.

• به طور کلی روش الگوریتم ژنتیک با استفاده از ترکیب های متنوعی که از پارامترهای تعریف شده ایجاد می کند، نتایج متنوع تری را به نمایش می گذارد. از این رو شاید بتوان گزینه هایی که دور از ذهن هستند را از این روش استخراج کرد و طرح معماری متفاوتی نسبت به سایر ساختمان های موجود را ایجاد نمود. این در حالی است که روش پارامتریک طراح را مرحله به مرحله به طرح خود نزدیک می کند و امکان ترکیب متغیرهای مختلف معماری به صورت همزمان از طراح می گیرد.

• در روش پارامتریک طراح می تواند نتیجه تغییرات اعمال کرده در متغیرهای معماری را سریع تر بسنجد. از این رو با توجه به شرایطی که ایده های طراحانه، شرایط کارفرما و یا استفاده کنندگان ساختمان ایجاب می کند، طراح می تواند با انتخاب یک متغیر بر اساس ایده ی خود یا کارفرما، متغیر دیگری که می تواند نتایج را به سمت حالت بهینه تعریف شده در شاخص ارزیابی نزدیک کند، انتخاب کرده و با استفاده از روش پارامتریک حالت بهینه را بر طبق طرح جدید خود اصلاح کند.

محدودیت های این پژوهش با توجه به محدودیت های نرم افزاری و سایر متغیرهای وابسته یا تاثیر گذار در پژوهش به شرح زیر است:

• با توجه به زمان بر بودن شبیه سازی ها توسط نرم افزار، در این تحقیق تنها ۶ متغیر معماری مورد تحلیل و بررسی قرار گرفتند و متغیرهایی مانند جرم حرارتی، میزان نشت یا نفوذ هوا، نوع تاسیسات الکتریکی و مکانیکی، ارتفاع متفاوت ساختمان های اداری و سایر فرم های ساختمانی در این تحقیق مورد بررسی قرار نگرفتند و می بایست در تحقیقات آینده بررسی شوند.

• نتایج بهینه سازی در روش پارامتریک با توجه به اینکه تنها یک متغیر معماری را بهینه سازی می کند و سپس به سراغ متغیر بعدی می رود، نمی تواند تمام حالت های ترکیبی از متغیرها را شبیه سازی و نتایج را گزارش دهد.

- نتایج بهینه‌سازی متغیرهای معماری حاصل از الگوریتم ژنتیک و انتخاب تصادفی توسط این الگوریتم در نسل‌های اولیه به عنوان والدین نسل‌های بعد، منجر به تنوع پاسخ‌ها می‌شود که گرچه در نوع خود بهترین عملکرد را دارد اما می‌تواند بهترین راهکار ممکن نباشد.
- در این تحقیق فرضیاتی نظیر ابعاد ساختمان، تاسیسات مکانیکی عمومی اداری، تاسیسات روشنایی عمومی، ارتفاع ساختمان اداری ثابت، تیپ یکسان اداری در طبقات مختلف، ساعت‌های استفاده از ساختمان به صورت برنامه زمانی اداری، تجهیزات ساختمانی عمومی و غیره به عنوان ثابت در نظر گرفته شده‌اند، که با تغییر هر کدام نسبت به زمان و مکانی که ساختمان در آنجا قرار دارد می‌تواند نتایج تحقیق را تغییر داده و یا شروعی برای تحقیقات آینده باشند.
- تنوع تراکم بافت شهری تنها در ۳ بخش زیاد، متوسط و کم با توجه محدوده‌های ارتفاعی تعریف شده در تحقیق در نظر گرفته شده‌اند که هر تغییر در نوع بافت و معبرهای عمومی می‌تواند نتایج تحقیق را تحت الشعاع خود قرار دهند.
- با توجه به اینکه روش بهینه‌سازی پارامتریک و الگوریتم ژنتیک برای جامع و کامل بودن نیازمند زمان زیاد و سخت افزارهای رایانه‌ای قوی جهت انجام مدل‌های محاسباتی هستند، ناگزیر به ساده‌سازی مدل‌های محاسباتی با در نظر گرفتن فرضیاتی است که شرایط محاسبات را نسبت به واقعیت با دقت کمتری انجام می‌دهد.

پی‌نوشت‌ها

1. Open office
2. Projection Factor
3. Total Energy Demand
4. Discomfort Hours
5. Daylight Availability
6. Useful daylight illuminance
7. Daylight glare probability
8. Geographic Information System (GIS)
9. Lidar
10. City-GML
11. Floor Area Ratio (FAR)
12. Height Limits
13. Sensitivity Index
14. Design Builder
15. Pareto Front

منابع

- اکبری، حسن و حسینی نژاد، فاطمه سادات. (۱۳۹۸). بهینه‌سازی جهت استقرار ساختمان در بهره‌مندی از تابش خورشیدی در اقلیم گرم و خشک (مطالعه موردی: شهرهای اصفهان، سمنان، کرمان و یزد). *نشریه معماری اقلیم گرم و خشک*، ۷(۱۰)، ۲۵۱-۲۶۷.
- ایمانی، فاطمه و حیدری، شاهین. (۱۳۹۷). بررسی میزان مصرف انرژی ساختمان زیرزمینی در مقایسه با مدل مشابه بر روی سطح زمین در اقلیم های تهران، یزد و تبریز. *نشریه مطالعات معماری ایران*، ۱(۱۳)، ۸۹-۱۰۶.
- فرخی، مریم؛ ایزدی، محمد سعید و کریمی مشاور، مهرداد. (۱۳۹۷). تحلیل کارایی انرژی در مدل های بافت شهری اقلیم گرم و خشک، نمونه موردی: شهر اصفهان. *نشریه مطالعات معماری ایران*، ۱(۱۳)، ۱۲۷-۱۴۸.
- دفتر امور مقررات ملی ساختمان. (۱۳۹۶) *مبحث ۱۹ مقررات ملی، صرفه جویی در مصرف انرژی*. (بیست و سوم). سازمان برنامه و بودجه کشور. نشر توسعه ایران.
- نصیری، یاسمین؛ حافظی، محمد؛ تحصیلدوست، محمد و زمردیان، زهرا سادات (۲۰۱۹). تحلیل پارامتریک انرژی در مراحل اولیه طراحی ساختمانهای اداری بلند مرتبه در شهر تهران. *فصلنامه پژوهش های سیاستگذاری و برنامه ریزی شهری*، ۱۴، ۱۴۳-۱۶۷.

- Anna Atzeri Andrea Gasparella, F. C. (2014). internal versus external shading devices performance in office buildings . *Energy Procedia*, 45(463–472).
- Athalye, R. A., Xie, Y., Liu, B., & Rosenberg, M. I. (2013). *Analysis of Daylighting Requirements within ASHRAE Standard 90.1*.
- Attia, S., Gratia, E., De Herde, A., & Hensen, J. L. M. (2012). Simulation-based decision support tool for early stages of zero-energy building design. *Energy and Buildings*, 49, 2–15.
- Brown, N. C., & Mueller, C. T. (2019). Quantifying diversity in parametric design: a comparison of possible metrics. *AI EDAM*, 33(1), 40–53.
- C.K. Cheung M.B. Luther, R. J. F. (2004). Energy-efficient envelope design for high-rise apartments. *Energy and Buildings*.
- C.MarinoA.NucaraM.Pietrafesa. (2017). Does window-to-wall ratio have a significant effect on the energy consumption of buildings? A parametric analysis in Italian climate conditions. *Building Engineering*, 13, 169–183.
- Chen, X., Huang, J., Yang, H., & Peng, J. (2019). Approaching low-energy high-rise building by integrating passive architectural design with photovoltaic application. *Journal of Cleaner Production*, 220, 313–330.
- Chen X Lu L, Y. H. (2015). A comprehensive review on passive design approaches ingreen building rating tools. *Renew Sustain Energy Rev*, 50(1425), 36.
- Chen X Sun K., Y. H. (2016). A holistic passive design approach to optimize indoor environmentalquality of a typical residential building in Hong Kong. . *Energy and Buildings*, 113(267), 81.
- Chen X Wang Y., Y. H. (2017). Parametric study of passive design strategies for high-riseresidential buildings in hot and humid climates: miscellaneous impact factors. *Renew Sustain Energy Rev*, 69(442), 60.
- Chen X Zhang W., Y. H. (2015). A comprehensive sensitivity study of major passivedesign parameters for the public rental housing development in Hong Kong. *Energy*. 93, 1804(18).
- Christensen, C., Anderson, R., Horowitz, S., Courtney, A., & Spencer, J. (2006). *BEopt(TM) Software for Building Energy Optimization: Features and Capabilities*. Golden, CO. <https://doi.org/10.2172/891598>
- Company, T. (2017). *50 year statistics of iran's ministry of power*. Retrieved from <http://amar.tavanir.org.ir/pages/report/stat95/50sale/50sale farsi/50sale f.pdf>
- D. Pashar, A. P. (2011). Balance of Hydrocarbon Products for Iran, 1st edition. *Institute for International Energy Studies, Ministry of Petroleum, Tehran*.
- E.Mashena, S. K. A. G. R. (2017). Energy consumption in buildings: A correlation for the influence of window to wall ratio and window orientation in Tripoli, Libya. *Building Engineering*, 11, 82–86.
- Electircity official center iran, tehran. (2015). electricity balance iran, 30–31.
- Eromobor, S. O., Das, D. K., & Emuze, F. (2020). Influence of building and indoor environmental parameters on designing energy-efficient buildings. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*.
- F.H.Abanda, L. B. (2016). An investigation of the impact of building orientation on energy consumption in a domestic building using emerging BIM (Building Information Modelling).

Energy, 97, 517–527.

- Fatih, B. E. D. (2019). *world energy outlook*. IEA
- G. Karamnia, F. A. (2011). Energy Balance for Iran 1st edition. *Office of Comprehensive Energy Planning, Ministry of Energy, Tehran*.
- Ghazali, A., Haw, L. C., Mat, S., Sopian, K., & Ilias, S. E. (2016). Performance and financial evaluation of various photovoltaic vertical facades on high-rise building in Malaysia. *Energy and Buildings*.
- Ghiai Mojtaba; Parvane, Fariba; Jafarikhah, Sorour, M. M. M. (2014). relation between Energy Consumption and Window to Wall Ratio in High-Rise Office Buildings in Tehran. *Academic Journal*.
- Guohui Feng Xiaolong Xu, S. S. (2016). Analysis of the Building Envelope Influence to Building Energy Consumption in the Cold Regions. *Procedia Engineering*, 146, 244–250.
- Holly Samuelson Apoorv Goyal, Yujiao Chen, Alejandra Romo-Castillo, S. C. (2016). Parametric Energy Simulation in Early Design: High-Rise Residential Buildings in Urban Contexts. *Building and Environment*.
- Holst, J. N. (2003). Using whole building simulation models and optimizing procedures to optimize building envelope design with respect to energy consumption and indoor environment. *Eighth International IBPSA Conference*. Eindhoven, Netherlands: building simulation.
- Jalali, Z., Noorzai, E., & Heidari, S. (2020). Design and optimization of form and façade of an office building using the genetic algorithm. *Science and Technology for the Built Environment*, 26(2), 128–140.
- Kelly Kalvelage Michael Dorneich, U. P. (2017). Impact of Shading on Occupant Comfort and Building Energy. *Center of Building Energy Research, Usa*.
- Li, D. H. W., Lam, J. C., & Wong, S. L. (2005). Daylighting and its effects on peak load determination. *Energy*, 30(10), 1817–1831.
- Liu L Peng B, L. B. (2015). Correlation analysis of building plane and energy consumption of high-rise office building in cold zone of China. *Building Simulation*. Elsevier.
- M. Rois Langner Charles D. Corbin, Michael J. Brandemueh, G. P. H. (2011). An investigation of design parameters that affect commercial high-rise office building energy consumption and demand. *Journal of Building Performance Simulation*.
- Mahdavejad M Ghaedi H, G. M. (2012). The Role of Form Compositions in Energy Consumption of High-Rise Buildings (Case Study: Iran, Tehran). *Advanced Materials Research*.
- Mangkuto, R. A., Rohmah, M., & Asri, A. D. (2016). Design optimisation for window size, orientation, and wall reflectance with regard to various daylight metrics and lighting energy demand: A case study of buildings in the tropics. *Applied Energy*, 164, 211–219. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.11.046>
- Nedhal Al-Tamimi, S. F. S. F. (2012). Energy-efficient envelope design for high-rise residential buildings in Malaysia. *Architectural Science Review*.
- Ochoa, C. E., & 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.
- Petersen, S., & Svendsen, S. (2010). Method and simulation program informed decisions in the early stages of building design. *Energy and Buildings*, 42(7), 1113–1119.

- Rangawala, K. (2010). Contextual tall buildings in India. *Remaking Sustainable Cities in the Vertical Age-CTBUH 2010 World Conference*. india.
- Reinhart, C. F., & Davila, C. C. (2016). Urban building energy modeling--A review of a nascent field. *Building and Environment*, 97, 196–202.
- Roger Hedrick, L. A. P. (2011). Energy Savings in High-Rise Buildings Using High-Reflective Coatings . *Idea Scapes*.
- Statistical pocketbook of Islamic Republic of Iran. (2016). *Statistical Center of Iran, Tehran*.
- Tuhus-Dubrow, D., & Krarti, M. (2010). Genetic-algorithm based approach to optimize building envelope design for residential buildings. *Building and Environment*, 45(7), 1574–1581.
- UN Habitat. (2012). State of the World's Cites Report 2012/ 2013: Prosperity of Cities, 152. Retrieved from <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/745habitat.pdf>
- Wang, W., Zmeureanu, R., & Rivard, H. (2005). Applying multi-objective genetic algorithms in green building design optimization. *Building and Environment*, 40(11), 1512–1525.
- Weather Data by Region | EnergyPlus. (n.d.). Retrieved from https://energyplus.net/weather-region/asia_wmo_region_2/IRN
- Zomorodian, Z.S. (2013). Architectural design optimization of school buildings for reduction of energy demand in hot and dry climates of Iran . *International Journal of Atchitectural Engineering & Urban Planning*.
- zekraouui Djamel, zemmouri N. (2017). The Impact of Window Configuration on the Overall BuildingEnergy Consumption under Specific Climate Conditions . *Energy Procedia*, 115, 162–172.
- Zomorodian, Z. S., Korsavi, S. S., & Tahsildoost, M. (2016). The Effect of Window Configuration on Daylight Performance in Classrooms: A Field and Simulation Study. *Iran University of Science & Technology*, 26(1), 15–24. Retrieved from <http://ijaup.iust.ac.ir/article-1-254-fa.html>

Original Research Article

Evaluating the Sensitivity of Architectural Parameters for Thermal Performance and Energy Consumption of High-Rise Buildings in Different Climates

Hani Hadadzadegan¹, Zahra Sadat Zomorodian^{*2}, Mohammad tahsildoost³

1-Master of Science, Architecture and Energy, Faculty of Architecture and Urban Design, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

2-Assistant professor, Department of Building Science, Faculty of Architecture and Urban Design, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

3- Associate professor Department of Building Science, Faculty of Architecture and Urban Design, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Abstract

Rapid population growth and lack of enough urban land increase the need for high-rise buildings. Due to the high energy consumption of high-rise buildings establishing energy-saving measures is crucial. This paper aims to explore multiple factors that influence energy demand and thermal comfort in high-rise buildings. In this regard, the impact of architectural parameters including building form, orientation, and window wall ratio on high-rise building's energy demand and thermal comfort is investigated in three different climate context (Tehran, Bandar Abbas, and Tabriz) by parametric analysis and optimization methods. Moreover, the impact of urban density on results are assessed. The results show that the rectangular form with a south orientation with a 40% window to wall ratio in both Tehran and Tabriz is acceptable in the parametric method. On the other hand, in Bandar Abbas, high urban density is ideal in both the energy and comfort sectors, while Tehran and Tabriz need a low urban density context. Architectural parameters, including window to wall ratio(WWR), window characteristic, building form, respectively 15.4%, 9.9%, and 8.8%, showed the highest sensitivity by the parametric method in the energy demand assessments. However, the sensitivity index of architectural parameters on energy demand in Tehran, Bandar Abbas, and Tabriz are 16%, 6%, and 23%, respectively, based on the genetic algorithm. Based on the results, a higher sensitivity index of the genetic algorithm over the parametric approach is established with 9.4% and 23.3%, respectively, in the energy demand and thermal performance. On the other hand, the parametric method can establish a step-by-step process for the designer to evaluate each architectural variable's impact on thermal comfort and energy demand in the first stages of building design.

Keyword: Parametric Design, Genetic Algorithm, Thermal Comfort, Energy Consumption, Sensitivity Index.