

# تأثیر فرم کلی و تراکم نسبی ساختمان‌های مسکونی تهران بر آلودگی ناشی از گرمایش در فصل زمستان

لیلا مختاری<sup>۱</sup>، محمدجواد مهدوی‌نژاد<sup>۲\*</sup>، شهاب کریمی‌نیا<sup>۳</sup>، منصوره کیان‌ارثی<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی دکتری، گروه معماری، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران. L\_mokhtari@ymail.com

۲. دانشیار، گروه معماری، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

۳. استادیار، گروه معماری، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران. Shb.kariminia@gmail.com

۴. استادیار، گروه معماری، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران. M.kianersi@iaun.ac.ir

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۴/۲۰

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۷/۷/۳۰

## چکیده

مصرف انواع سوخت‌های فسیلی باعث افزایش آلاینده‌هایی چون CO<sub>2</sub> شده است. ساختمان‌های بخش خانگی، حدود یک سوم انرژی ملی را مصرف می‌کنند. معماری سنتی ایران شیوه‌های منطقی برای فراهم کردن شرایط آسایش ارائه کرده است. از آنجایی که بازگشت به شیوه‌های ساختمانی گذشته میسر نیست و جوابگوی زندگی امروز نخواهد بود، تحقیق در زمینه طراحی همساز با اقلیم به شیوه غیرفعال ضروری است. بیشترین اتلاف انرژی از پوسته‌های خارجی ساختمان رخ می‌دهد. برای کاهش مصرف انرژی می‌توان از انرژی تابشی خورشید از طریق سطح نورگذر پوسته خارجی در فصل سرد بهره برد. در این پژوهش، ضرورت شناخت تأثیر گونه‌های مختلف ساختمان‌های مسکونی و تراکم نسبی آن‌ها در تهران بر میزان آلودگی هوا مورد توجه بوده و نسبت پنجره به دیوار آن‌ها بررسی می‌شود. این تحقیق بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی انجام شده و از نرم‌افزارهای انرژی و شبیه‌سازی استفاده شده است. در مطالعات انجام شده در تهران، ۱۰ گونه مسکن به رسمیت شناخته شده است. در نمودارهای حاصل از شبیه‌سازی انرژی با WWRهای ۱۰ درصد، ۲۵ درصد و ۴۰ درصد، گونه ۴، با  $RC=0/90$  کمترین میزان بار گرمایی و کمترین میزان انتشار CO<sub>2</sub> و در نتیجه کمترین آلودگی ناشی از گرمایش زمستان را داراست.

## کلیدواژه

آلودگی هوا، بار گرمایش زمستان، تراکم نسبی، گونه شناسی، نسبت پنجره به دیوار

## ۱. سرآغاز

مهم‌ترین گاز گلخانه‌ای انسان ساخت به شمار می‌رود که حدود ۶۰ درصد از آثار گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های بشر مربوط به انتشار CO<sub>2</sub> است. منبع اصلی انتشار این گاز احتراق سوخت‌های فسیلی است (واتقی، اسماعیلی، ۱۳۸۸: ۹۹-۱۰۰)

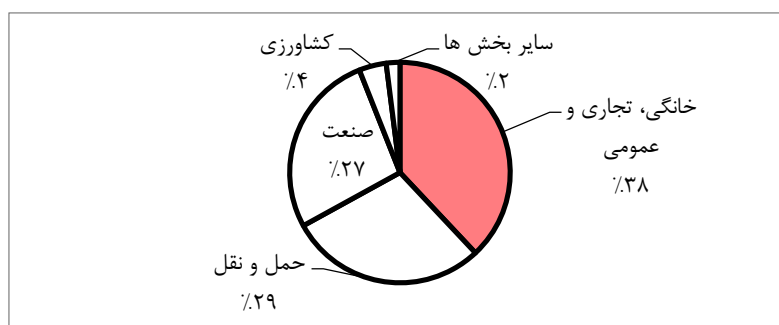
رشد شهرنشینی که نیاز روز افزون به انرژی را به همراه می‌آورد، افزایش مسائل زیست‌محیطی را در پی خواهد داشت. ایران به‌عنوان کشوری در حال توسعه، در

بحران انرژی در دهه‌های اخیر موجب افزایش گرایش به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در ساختمان‌ها شده است. طی ۲۰۰ سال گذشته و به‌ویژه در ۵۰ سال اخیر، انتشار گازهای گلخانه‌ای به شدت افزایش یافته است. برای نمونه در حال حاضر نسبت به پیش از انقلاب صنعتی، موجودی گازهای دی‌اکسید کربن و متان در جو ۳۰ و ۱۵۰ درصد افزایش داشته است. در این میان CO<sub>2</sub> اصلی‌ترین و

(همان: ۱۱۲). هدف و رویکرد اصلی در چنین شرایطی حداقل استفاده از سامانه‌های مکانیکی و کاهش مصرف انرژی برای گرمایش، سرمایش و بهره‌گیری حداکثری انرژی تابشی است. پوسته خارجی ساختمان‌ها امکان تبادل انرژی حرارتی فضای کنترل شده داخل را با فضای کنترل نشده خارج ایجاد می‌کند. یکی از راه‌های کاهش مصرف انرژی در این شرایط آب و هوایی، افزایش جذب انرژی تابشی از طریق سطح نورگذر پوسته خارجی در جبهه جنوبی در فصل سرد است. پنجره‌ها امکان دریافت انرژی رایگان از خورشید را فراهم می‌کنند و شرایط آسایش حرارتی و بصری ساکنان ساختمان را بهبود می‌بخشند. با توجه به فناوری‌های متداول و موجود در صنعت ساخت‌وساز کشور نیاز به شناخت نسبت بهینه پنجره به دیوار وجود دارد.

پژوهش‌هایی که درباره نسبت بهینه پنجره به دیوار  $WWR^1$  انجام شده‌اند، می‌توان به سه گروه دسته‌بندی کرد. گروه نخست که بیشترین حجم مطالعات را به خود اختصاص می‌دهد، از مدل‌سازی نرم‌افزاری برای مشخص کردن میزان بهینه  $WWR$  استفاده کرده‌اند. گروه دوم، این کار را با استفاده از ساخت اتاقک تجربی انجام داده‌اند و گروه سوم از بررسی‌های آسایش حرارتی به‌منظور دریافت نظر افراد درباره بهترین وضعیت نسبت پنجره به دیوار استفاده کرده‌اند. تعداد قابل توجهی از بررسی‌های انجام شده در رابطه با بهینه‌یابی نسبت پنجره به دیوار با استفاده از نرم‌افزار انجام شده است.

مسیر افزایش ساخت‌وساز و افزایش مصرف انرژی و مصرف سوخت‌های فسیلی است (فطرس و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۹). مصرف انرژی در ساختمان‌ها نیز به واسطه افزایش بار انرژی ساختمان به علت معرفی و استفاده از سیستم‌های نوین گرمایش، سرمایش، تهویه و نورپردازی بیشتر شده است (Susarava et al., 2013: 12). محدودیت منابع انرژی و رشد چشمگیر مصرف آن‌ها در ایران در مقایسه با متوسط جهانی، ضرورت بهره‌وری مصرف انرژی را در این کشور دوچندان کرده است (Faizi et al., 2011: 157). بر اساس آخرین آمار منتشر شده در ترازنامه انرژی کشور (شکل ۱)، ساختمان‌ها مشترکان پر مصرف انرژی هستند و یک سوم کل انرژی ملی ایران توسط ساختمان‌ها مصرف می‌شود. این سهم در ایران در سال ۱۳۹۳ برای ساختمان‌های بخش خانگی، تجاری و عمومی ۴۴۶/۱ میلیون بشکه نفت خام از مجموع کل مصرف نهایی انرژی (۱۳۲۰/۷ میلیون بشکه نفت خام) بوده است که بیش از دیگر بخش‌ها و معادل ۳۸ درصد بوده است (ترازنامه انرژی ایران، ۱۳۹۳: ۱۰۹-۱۱۰). از این رو ضرورت توجه به بهره‌وری مصرف انرژی در بخش ساختمان بیش از پیش نمایان می‌شود. امروزه طراحی همساز با اقلیم به شیوه غیرفعال یکی از راهکارهای مؤثر در دسترسی به ساختمان‌های کم‌مصرف از نظر سوخت فسیلی و کاهش آلودگی محیط‌زیست محسوب می‌شود. بر اساس آخرین آمار منتشر شده در ترازنامه انرژی کشور، سهم ایران در استفاده از منابع تجدیدپذیر برای ساختمان‌های بخش خانگی و تجاری کمتر از دیگر منابع انرژی بوده است



شکل ۱. سهم بخش‌های مختلف کشور از مصرف انرژی

منبع: ترازنامه انرژی ایران، ۱۳۹۳: ۱۰۹

بهینه‌سازی نسبت پنجره به دیوار در ساختمان آموزشی واقع در شیراز با استفاده از نرم‌افزار دیزاین بیلدر انجام شد و به نتیجه ۲۰ درصد در جبهه جنوبی دست یافت (Kim, Zomorodian & Nasrollahi, 2013: 45) و همکاران (۲۰۱۶)، تأثیر نسبت پنجره به دیوار را در چهار جهت اصلی در کانادا با نرم‌افزار Revit بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که نسبت پنجره به دیوار ۲۰ درصد بهترین عملکرد را داراست. Mangkuto و همکاران (۲۰۱۶)، نسبت پنجره به دیوار را در اندونزی با استفاده از نرم‌افزار Daysim بررسی کردند و به نتیجه بهینه ۳۰ درصد دست یافتند.

در این تحقیق با توجه به آمار موجود درباره تعداد واحدهای مسکونی و نرخ جمعیت، ضرورت شناخت گونه‌های مختلف ساختمان‌های متعارف مسکونی و تراکم نسبی آن‌ها مورد توجه بوده و واکاوی خواهد شد. برخی استانداردهای ساختمان وابسته به انرژی، هندسه فشردگی و تراکم ساختمان را با استفاده از شاخص‌های عددی توصیف می‌کنند. این شاخص‌ها در ارتباط بین حجم فرم ساخته شده و مساحت سطح آن است. مطالعات پسنلنر و مهدوی در رابطه با فشردگی هندسه و تراکم ساختمان (RC) به اینجا رسیده است که RC تأثیرگذارترین مفهوم روی کارایی انرژی است. بر این مبنا کارایی انرژی بر اساس RC قابل تفسیر خواهد بود (Pessenlehner & Mahdavi, 2003: 1026-1030). در این تحقیق سعی شده است تا میزان تأثیر تراکم نسبی گونه‌های ساختمانی و میزان پنجره تعبیه شده نسبت به دیوار در ساختمان بر میزان بار گرمایی و میزان انتشار دی‌اکسید کربن و به تبع آن میزان آلودگی تولیدی ناشی از گرمایش زمستانی بررسی شود.

## ۲. روش‌شناسی تحقیق

این تحقیق بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای و مطالعات میدانی انجام شده و از روش‌های توصیفی و روش تحقیق شبه

جانسون و همکاران (۱۹۸۴) تأثیر تغییر ابعاد و مشخصات پنجره را در اقلیم‌های متفاوت، با استفاده از نرم‌افزار DOE-2.1 بررسی کرده‌اند. آن‌ها به این نتیجه رسیده‌اند که افزایش مساحت پنجره صرفاً تا مقداری بهینه باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌شود و افزایش مساحت پنجره پس از آن، به افزایش مصرف انرژی (به دلیل افزایش بار سرمایش و گرمایش) خواهد انجامید (Johnson et al., 1984: 316). اینانیسی و دمیریلیک در ۲۰۰۰ نسبت پنجره به دیوار در جبهه‌های جنوبی و شمالی خانه‌های مسکونی و کم ارتفاع را در پنج منطقه اقلیمی در ترکیه بررسی کرده‌اند. آن‌ها در اقلیم‌های متفاوت، اندازه‌های مختلفی را برای پنجره پیشنهاد کرده‌اند (Inanci & Demirbilek, 2000: 52). خیری (۲۰۱۳) نسبت پنجره به دیوار را در چهار منطقه اقلیمی جهان بر اساس دسته‌بندی اصلاح شده کوپن بررسی کرد. او نتیجه گرفت که میزان بهینه نسبت پنجره به دیوار در بازه ۲۰ تا ۳۲ درصد قرار می‌گیرد (Kheiri, 2013: 107-114). گویا و همکاران (۲۰۱۳) پنج نسبت پنجره به دیوار ۲۰ درصد، ۳۵ درصد، ۵۰ درصد، ۶۵ درصد و ۸۰ درصد را در ساختمانی اداری با استفاده از نرم‌افزار انرژی پلاس مقایسه کرده‌اند. آن‌ها نتیجه گرفته‌اند بهترین نسبت پنجره به دیوار در جبهه‌های مختلف بین ۳۵ تا ۴۰ درصد است (Goia et al., 2013: 515-527). گویا (۲۰۱۶) همین پژوهش را برای عرض جغرافیایی ۳۵ تا ۶۰ درجه شمالی انجام داده است و به این نتیجه رسیده است که اگرچه میزان بهینه نسبت پنجره به دیوار در هر اقلیم و جهت‌گیری متفاوت است اما اغلب آن‌ها در محدوده ۳۰ تا ۴۵ درصد قرار می‌گیرند (Goia, 2016: 485). در ایران نیز مهدوی نژاد و همکاران (۲۰۱۲)، تأثیر نسبت پنجره به دیوار ۱۵ الی ۶۰ درصد در ساختمان اداری تهران را به کمک نرم‌افزار اکوتکت رادیانس بررسی کرده‌اند. آن‌ها در نهایت WWR بین ۳۰ تا ۴۰ درصد را برای ساختمان بهینه دانسته‌اند (Mahdavinejad et al., 2012: 72-76). در مطالعه‌ای

گونه شناسی مسکن از جنبه‌ها و دیدگاه‌های متعددی قابل بررسی است. یکی از رایج‌ترین زمینه‌های مطالعات گونه‌شناسی پرداختن به شکل‌های کلی واحد مسکونی است. هدف از این مطالعات آگاهی یافتن نسبت به گوناگونی‌های ممکن در شکل عمومی واحد مسکونی است.

در مبحث اصول و مبانی طراحی در طرح تفصیلی تهران سال ۱۳۹۱ سه عامل فرم، فضا و عملکرد به‌عنوان ارکان اصلی و مهم طراحی در نظر گرفته شده است. در این راستا مشخصه‌هایی از جمله پهنه‌بندی و مبانی نحوه استفاده از اراضی در طرح تفصیلی مصوب شهرداری تهران در سال ۱۳۹۱ به انواع پهنه‌ها: پهنه مسکونی، پهنه باغ مسکونی، پهنه تجاری-خدماتی، پهنه سبز و باز و گردشگری و پهنه تولیدی-کارگاهی تقسیم شده است (شهرداری تهران، ۱۳۹۱: ۹۷-۱۰۱) پهنه مسکونی که موضوع پژوهش حاضر است، دربردارنده اصلی‌ترین کاربری در تهران است. در این طرح تفصیلی به روش مطالعات میدانی در پهنه‌های مسکونی تهران به صورت مقایسه تطبیقی تعداد مشخصی از ساختمان‌ها انتخاب و شمارش شده است. در این شمارش میدانی طرح تفصیلی شهر تهران سال ۱۳۹۱، از بین ۷۱۰ کاربری مسکونی، تراکم متوسط با ۴۰۳ عدد بیشترین تعداد را به خود اختصاص داده است (مهندسین مشاور همکار پارس بوم، ۱۳۸۹: ۲۱). در نتیجه تراکم متوسط ۵ طبقه، متداول‌ترین ساخت‌وساز در تهران است که بر این مبنا مدل‌سازی‌های پژوهش با تراکم ۵ طبقه در نظر گرفته شده‌اند (جدول ۱).

در مطالعات انجام شده در تهران، ۱۰ طرح مسکن به رسمیت شناخته شده و بیشتر استفاده شده است. گونه‌های ۱ تا ۷، برای منطقه عودلاجان تهران به دست آمده است (Mahdavinejad et al., 2012: 875-879). از آنجایی که در پژوهش مهدوی‌نژاد و همکاران منطقه عودلاجان با بافت قدیمی بررسی شده است، نیاز به بررسی‌های بیشتر در دیگر مناطق تهران ضروری است.

آزمایشگاهی و از ابزار تحقیق، نرم‌افزار تجاری انرژی رایانشی Design Builder برای حصول نتیجه استفاده شده است. شبیه‌سازی رایانه‌ای و پیمایش میدانی رویکرد اصلی این پژوهش بوده است. نرم‌افزار Design Builder با استفاده از موتور محاسبه نرم‌افزار Energy Plus میزان مصرف انرژی را محاسبه می‌کند. این نرم‌افزار برای مدل‌سازی ساختمان از جنبه‌های مختلف مثل فیزیک ساختمان، معماری ساختمان، سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی و غیره کاربرد داشته و قابلیت مدل‌سازی همه جنبه‌های ساختمان را دارد. در این مقاله از این نرم‌افزار برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی عملکرد حرارتی در بار گرمایش زمستان و تخمین مصرف انرژی بهره گرفته شده است. مطالعه موردی تحقیق ساختمان‌های متعارف مسکونی تهران است که طبق طرح تفصیلی سال ۱۳۹۱ ساختمان‌های ۵ طبقه در نظر گرفته شده است و طبق استانداردهای مبحث ۱۹ دفتر مقررات ملی ساختمان شبیه‌سازی شده است. در این راستا برای بررسی تراکم نسبی ساختمان در کنار فرم کلی ساختمان در ارتباط با کارایی انرژی برای ۱۰ گونه ساختمان میزان نسبت پنجره به دیوار برای ۱۰، ۲۵ و ۴۰ درصد در نظر گرفته شده است. در گونه‌های شبیه‌سازی شده میزان بار گرمایی ساختمان‌ها و میزان انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی محاسبه شد تا میزان آلودگی ناشی از گرمایش زمستانی برای گونه‌های مختلف ساختمانی به دست آید.

برای به دست آوردن فرم گونه‌های مختلف ساختمانی متداول تهران از مشاهدات میدانی و نقشه‌های هوایی گوگل ارث استفاده شده است و به کمک نظریه اشباع نظری و مقایسه تطبیقی بسط داده شده است.

## ۱.۲. گونه شناسی ساختمان‌های مسکونی تهران

مارکوس و موریس اظهار می‌دارند که طراح ساختمان‌ها می‌تواند با تغییر مواد و شکل ساخت‌وساز کنترل قابل توجهی بر انرژی مصرفی ساختمان و میزان سهم آن‌ها در افزایش یا کاهش آلودگی داشته باشند (Ourghi et al., 2007: 300).

جدول ۱. طبقه‌بندی پهنه مسکونی و میزان استفاده از اراضی در نقشه‌های طرح تفصیلی تهران

پهنه اصلی	تعداد	وسعت	پهنه‌ها	ضوابط کلی ساخت‌وساز	تعداد	وسعت
مسکونی با تراکم کم			تا ۳ طبقه با حداکثر تراکم ۱۸۰ درصد	۲۳۲	۵۵۳۵	
مسکونی با تراکم متوسط	۷۱۰	۱۹۶۸۵	تا ۵ طبقه با حداکثر تراکم ۳۰۰ درصد	۴۰۳	۱۳۰۳۲	
مسکونی با تراکم زیاد			تا ۶ طبقه با حداکثر تراکم ۲۶۰ درصد	۷۵	۱۱۲۹	

منبع: مهندسان مشاور همکار پارس بوم، ۱۳۸۹: ۲۱



شکل ۲. نمونه بررسی موردی شکل بلوک‌های شهری تهران از روی نقشه‌های هوایی

منبع: (نگارندگان)

جدول ۲. تعداد ساختمان‌ها در هر گونه ساختمانی با تحلیل نقشه هوایی تهران

گونه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	مجموع
تعداد	۴۷۹	۱۹۷	۹۲	۱۳۱	۱۸۶	۷۸	۳۷۳	۶۹	۳۳۷	۵۸	۲۰۰۰

منبع: (نگارندگان)

### ۲.۲. تراکم نسبی<sup>۲</sup> ساختمان‌ها

در این پژوهش برای مشخص کردن میزان فشردگی بنا از شاخص عددی تراکم نسبی (RC) استفاده شده است. RC شکل از نسبت سطح به حجم آن شکل به دست می‌آید. مطالعات صورت گرفته در حوزه تشخیص خلأ دانش نشان می‌دهند که میزان RC بهینه و مورفولوژی مبتنی بر آن گام اساسی در هدایت فرم کلی و به‌ویژه هدایت طراحی

در این راستا با استفاده از مشاهدات میدانی و نقشه‌های هوایی تهران به صورت تطبیقی حدود ۲۰۰۰ گونه شمارش انجام شده است (شکل ۲) و گونه‌های ۸ تا ۱۰ به گونه‌های قبلی اضافه شده است تا در این پژوهش ۱۰ گونه ساختمانی بررسی شوند (جدول ۲). این گونه‌ها مطابق جدول ۳ به ترتیب به حالت مربعی، L، U، خطی، دو طرفه، حیاط مرکزی، مستطیلی، I، T و E است.

یکی از این نرم‌افزارها، دیزاین بیلدر است و این قابلیت را دارد که با دادن داده‌های آب و هوایی ساعتی برای هر اقلیمی، بار سرمایشی و گرمایشی مورد نیاز را تخمین زند. این نرم‌افزار که در تخمین مصرف انرژی ساختمان از عملکرد حرارتی در تعیین بارهای حرارتی و برودتی بهره می‌گیرد، تجهیزات سرمایشی و گرمایشی را که به‌منظور جبران بارهای تحمیلی به ساختمان تعبیه شده‌اند را در محاسبات مربوط به تخمین انرژی مصرفی ساختمان وارد می‌کند (غفاری و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۱۷). نحوه کار این نرم‌افزار این گونه است که نخست به کمک دستورات ترسیمی، ساختمان مورد نظر در محیط آن ترسیم می‌شود. سپس با دادن مصالح دیوارها و پنجره‌ها، تعیین سیستم تأسیساتی، تعیین کاربری ساختمان و ... به محاسبه بار حرارتی مجموعه می‌پردازد. تعیین کاربری از این نظر اهمیت دارد که ساختمان‌ها براساس کاربری، ساعات استفاده متفاوتی دارند. برای مثال ساعات کار ساختمان اداری از ۸ صبح تا ۵ بعدازظهر است. بنابراین بعد از این ساعت نیازی به کار کردن سیستم تأسیساتی نیست. همچنین میزان نیاز به روشنایی بستگی به نوع کاربری و ساعات استفاده از بنا دارد. در ساختمان‌های مسکونی، کاربری به‌صورت مداوم است. این نرم‌افزار قابلیت آن را دارد که با دادن برنامه زمانی مشخص برای روشن و خاموش شدن تأسیسات و روشنایی، میزان مصرف انرژی را بهتر محاسبه کند.

### ۳. مدل‌سازی

#### ۱.۳. مدل‌سازی فرم کلی و تراکم نسبی بنا

تراکم متوسط ساختمانی در شهر تهران بیشترین تعداد را به خود اختصاص داده است که این تراکم ساختمانی حداکثر تا ۵ طبقه و با وسعت حدود ۱۳۰۰ مترمربع است که در این صورت هر طبقه در حدود ۲۶۰ مترمربع مساحت خواهد داشت (جدول ۱). از زمان ابلاغ طرح تفصیلی تهران، حداقل نصاب قطعه حاصل از تجمیع در زیر

معماری مبتنی بر آن است. ازاین‌رو در این پژوهش دستیابی به RC متناظر با WWR در گونه‌های ۱۰ گانه معرفی شده در ساختمان‌های مسکونی تهران بررسی می‌شود.

بیشترین فشردگی در میان احجام مختلف طبق مطالعات پس‌نر و مهدوی شکل هندسی گره با RC معادل یک در نظر گرفته شده است. از آنجایی که اکثر ساختمان‌ها چندوجهی متعامد هستند و شکل مکعب مبنای کار تحقیق قرار گرفته است، تراکم نسبی تحقیق بر مبنای مکعب سنجیده شده که با فرمول زیر محاسبه شده است و تراکم نسبی مورفولوژی‌های ایجاد شده به نسبت آن محاسبه شده است. مطالعات پس‌نر و مهدوی در رابطه با فشردگی هندسه و تراکم ساختمان (RC) به اینجا رسیده است که RC تأثیرگذارترین مفهوم روی کارایی انرژی است. بر این مبنای کارایی انرژی بر اساس RC قابل تفسیر خواهد بود که معادله ۱ توسط پس‌نر و مهدوی برای این منظور معرفی شده است (Pessenlehner & Mahdavi, 2003: 1026).

$$RC: 6.V^{0.66}.A^{-1} \quad (1)$$

که در آن V حجم بنا و A سطح بنا است.

#### ۳.۲. شبیه‌سازی عملکرد حرارتی

برای محاسبه بار حرارتی ساختمان فرمول‌ها و روش‌های مختلفی مانند استفاده از محاسبات دستی، محاسبات نرم‌افزاری یا استفاده از دستگاه‌های محاسبه‌کننده بار حرارتی وجود دارد. از آنجایی که دقت بالا و نبود خطا در محاسبه بار حرارتی بسیار مهم است، ازاین‌رو یکی از بهترین روش‌ها استفاده از نرم‌افزارهای تجاری انرژی رایانشی است. چرا که نرم‌افزارهای شبیه‌سازی مصرف انرژی ساختمان، ابزارهای کارآمدی هستند که توانایی در نظر گرفتن تمامی برهم‌کنش‌های پیچیده ساختمان با محیط خارج و سیستم‌های داخل را دارند و ازاین‌رو می‌توانند یکی از مفیدترین تکنیک‌های محاسبه در ارتباط با صرفه‌جویی انرژی در بخش ساختمان محسوب شوند.



تطبیق باشد. در این راستا با در نظر گرفتن هر طبقه به عنوان واحدی مدول و در نظر گرفتن ابعاد هر مدول با مقدار ارتفاع میانگین طبقات که در تهران حدود ۳/۲۵ متر است، طول ۶ قسمت و عرض نیز ۴ قسمت انتخاب می‌شوند. انواع حالت‌های چیدمان آن‌ها با توجه به گونه و تراکم نسبی آن‌ها در جدول ۳ بررسی شده است.

پهنه‌های مسکونی، تا پایان سال ۱۴۰۰، معادل ۲۵۰ الی ۲۶۰ مترمربع است (شهرداری تهران، ۱۳۹۱: ۲۸). نسبت طول به عرض نیز برای این مترآژ به تناسب زمین‌های شهر تهران که غالباً مستطیلی و متنوع هستند، مستطیلی انتخاب شده است و از میان ابعاد مختلفی که برای این قطعات می‌توان متصور شد، به طور متوسط ابعاد در حدود ۲۰ متر در ۱۳ متر در نظر گرفته شده است تا با ابعاد مدول مکعبی قابل

جدول ۳. طبقه‌بندی تراکم نسبی و گونه‌های ساختمان مسکونی در تهران

Type	Relative Compactness	Typology	Morphology	Type	Relative Compactness	Typology	Morphology
Type 1	Volume: 80m <sup>3</sup> Area: 112m <sup>2</sup> Rc:0.96			Type 6	Volume: 100m <sup>3</sup> Area: 180m <sup>2</sup> Rc:0.70		
Type 2	Volume: 90m <sup>3</sup> Area: 136m <sup>2</sup> Rc:0.86			Type 7	Volume: 120m <sup>3</sup> Area: 148m <sup>2</sup> Rc:0.96		
Type 3	Volume: 90m <sup>3</sup> Area: 166m <sup>2</sup> Rc:0.70			Type 8	Volume: 90m <sup>3</sup> Area: 136m <sup>2</sup> Rc:0.86		
Type 4	Volume: 40m <sup>3</sup> Area: 76m <sup>2</sup> Rc:0.90			Type 9	Volume: 100m <sup>3</sup> Area: 160m <sup>2</sup> Rc:0.78		
Type 5	Volume: 80m <sup>3</sup> Area: 152m <sup>2</sup> Rc:0.71			Type 10	Volume: 100m <sup>3</sup> Area: 180m <sup>2</sup> Rc:0.70		

منبع: نگارندگان، بر اساس مهدوی نژاد و همکاران

ارتباط با زمین و سقف تحت مورد استفاده در جدول ۴ آمده است.

همان‌طور که گفته شد بیشترین اتلاف انرژی از طریق پوسته‌های خارجی در ساختمان‌ها رخ می‌دهد و برای کاهش مصرف انرژی می‌توان میزان جذب انرژی تابشی از طریق سطح نورگذر پوسته خارجی (پنجره) را در فصول سرد افزایش داد تا میزان بار گرمایی کاهش یابد. بدین منظور نسبت پنجره به پنجره در ۱۰ گونه معرفی شده در سه حالت متفاوت ۱۰، ۲۵ و ۴۰ درصد در نرم‌افزار دیزاین بیلدر مدل‌سازی شد. در ادامه حالات بهینه بار گرمایی با توجه به نسبت پنجره به دیوار در گونه‌های متفاوت محاسبه و تحلیل خواهد شد. در شکل ۳ گونه شماره ۳ برای نمونه به صورت مدل‌سازی سه بعدی با درصد پنجره‌های ۱۰، ۲۵ و ۴۰ درصد نسبت به دیوار و میزان نفوذ انرژی تابشی به صورت بار گرمایی آن نشان داده شده است.

برای نمونه محاسبه حجم و سطح جانبی و تراکم نسبی گونه ۷، طبق روش زیر محاسبه می‌شود:

$$V = 6 \times 4 \times 5 = 120 \text{ m}^3$$

$$S = 2 \times (ab + ac + bc) = 2 \times (24 + 30 + 20) = 148 \text{ m}^2$$

$$A^{-1} = 6 \times 120^{0.66} \times 148^{-1} = 0.96$$

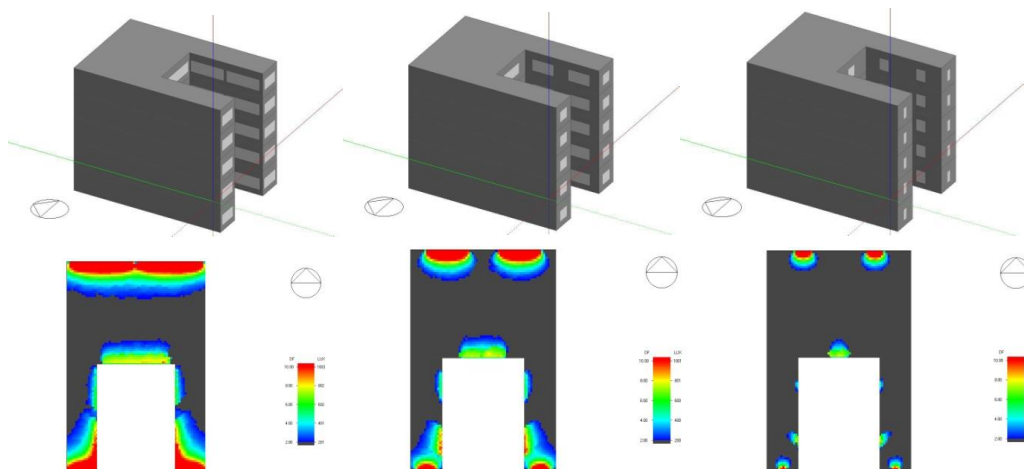
### ۲.۳. مدل‌سازی انرژی

ساختمان مورد نظر برای تخمین تأثیر طراحی معماری و مصالح مورد استفاده در ساختمان بر میزان نیاز به انرژی گرمایشی، یک آپارتمان ۵ طبقه تک واحدی در تهران بر اساس جزئیات اجرایی و ساختمانی متداول در تهران شبیه‌سازی شده و میزان انرژی گرمایشی مورد نیاز از طریق مدل‌سازی در نرم‌افزار دیزاین بیلدر محاسبه شد. در این محاسبات سیستم گرمایشی مفروض در مدل‌سازی انرژی پکیج گازسوز بوده است و در نمونه‌های بررسی شده، مصالح و جزئیات دیوارهای داخلی و خارجی و دیوار در

جدول ۴. مصالح و جزئیات دیوارهای داخلی و خارجی و دیوار در ارتباط با زمین و سقف تخت

مصالح			
دیوار داخلی	سقف تخت	دیوار در ارتباط با زمین	دیوار خارجی
دیوار چینی آجری ۱۰ سانتی‌متر + نازک‌کاری گچ و خاک و گچ سفید	سقف ساخته شده از دال بتنی	مصالح زمین + بتن ریزی پی	دیوار چینی آجری ۲۰ سانتی‌متر + ملات ۳ سانتی‌متر + سنگ نما ۲ سانتی‌متر + نازک‌کاری داخلی گچ و خاک و گچ

منبع: (نگارندگان)



شکل ۳. مدل‌سازی سه بعدی گونه ۳ با نسبت پنجره‌های ۱۰، ۲۵ و ۴۰ درصد نسبت به دیوار و میزان نفوذ انرژی تابشی به صورت بار گرمایی

منبع: (نگارندگان)



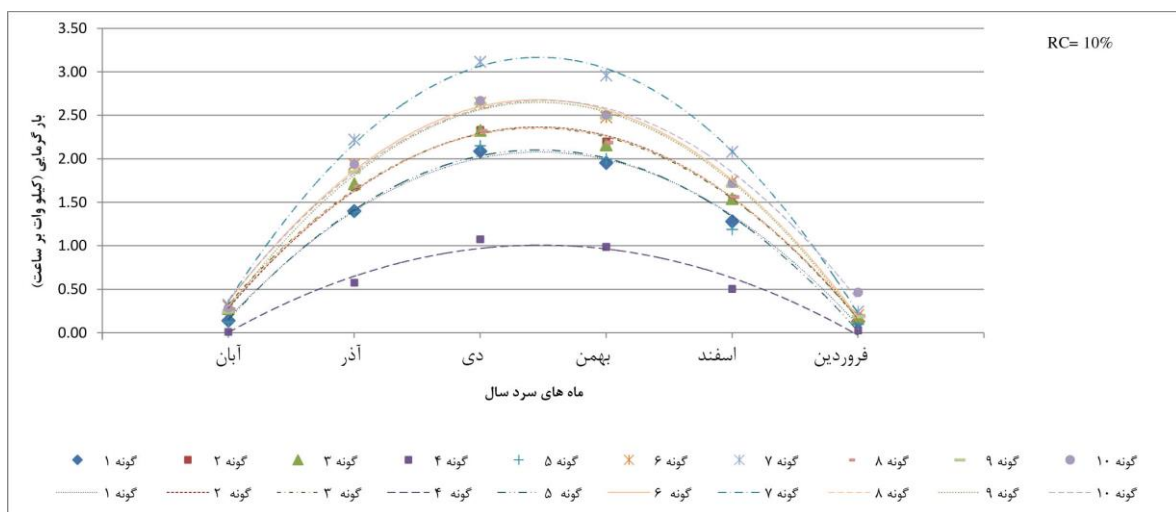
بیشترین بار گرمایی مشاهده می‌شود. با توجه به نمودارهای ترسیم‌ی برای گونه‌های ۱۰ گانه معرفی شده مشاهده می‌شود، در گونه ۴ برای هر سه نسبت  $WWR=10,25,40$  در ماه‌های آبان و فروردین کمترین بار گرمایی و گونه ۷ برای نسبت  $WWR=10$  و گونه ۶ و ۱۰ برای نسبت  $WWR=25,40$  با تفاوت اندک بیشترین بار گرمایی را در ماه‌های دی و بهمن دارا هستند.

شکل ۷، نمودار ۱۰ گونه ساختمانی و میزان انتشار دی‌اکسیدکربن آن‌ها در ۶ ماه سرد سال را با نسبت ۱۰ درصد پنجره به دیوار نشان می‌دهد. شکل ۸، با نسبت ۲۵ درصد پنجره به دیوار و شکل ۹ با نسبت ۴۰ درصد پنجره به دیوار میزان انتشار دی‌اکسیدکربن را نشان می‌دهد. در تمام نمودارها در ماه‌های آبان و فروردین کمترین میزان انتشار دی‌اکسیدکربن و ماه دی، بیشترین میزان انتشار دی‌اکسیدکربن مشاهده می‌شود. با دقت در نمودارهای ترسیم‌ی برای گونه‌های ۱۰ گانه معرفی شده مشاهده می‌شود، میزان انتشار دی‌اکسیدکربن در گونه ۴ برای هر سه نسبت  $WWR=10,25,40$  در ماه‌های آبان و فروردین کمترین میزان انتشار دی‌اکسیدکربن و گونه ۷ برای نسبت  $WWR=10$  و گونه‌های ۶ و ۱۰ برای نسبت‌های  $WWR=25,40$  بیشترین میزان انتشار دی‌اکسیدکربن را در ماه‌های دی و بهمن دارا هستند.

#### ۴. بحث و تحلیل نتایج

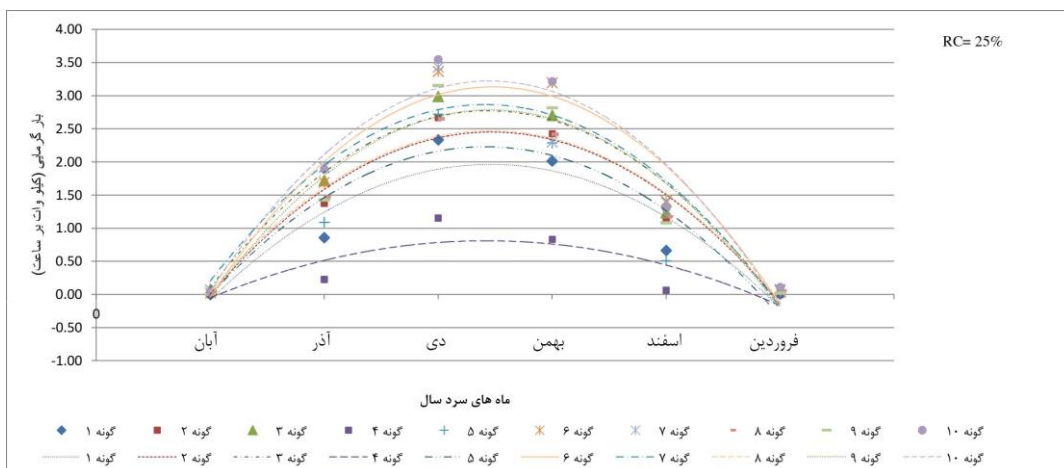
یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار در بخش ساختمان در افزایش آلاینده  $CO_2$ ، افزایش میزان مصرف انرژی است و از آنجایی که بیشترین اتلاف انرژی در ساختمان از طریق پوسته‌های خارجی رخ می‌دهد، لزوم توجه به این پوسته برای کنترل تبادل انرژی حرارتی اهمیت می‌یابد. از آنجایی که در شرایط آب و هوایی تهران در ماه‌های سرد سال مقدار مصرف انرژی برای تأمین دمای آسایش حرارتی افزایش می‌یابد، لزوم توجه به بار گرمایی در این ماه‌ها افزایش می‌یابد. افزایش جذب انرژی تابشی از طریق پنجره به‌خصوص در جهت جنوبی ساختمان در فصول سرد یکی از راه‌های کاهش مصرف انرژی است. مدل‌سازی‌های انجام شده در ۱۰ گونه و در سه حالت نسبت پنجره به دیوار به آنالیز ۳۰ گونه در نرم‌افزار دیزاین بیلدر منجر شد که در شش ماه سرد تهران ارزیابی شد. این ارزیابی برای دو مشخصه میزان بار گرمایی و میزان انتشار دی‌اکسیدکربن برای این ۳۰ نمونه در شبیه‌سازی‌های انجام شده، تحلیل شد.

شکل ۴، نمودار ۱۰ گونه ساختمانی و میزان بار گرمایی آن‌ها در ۶ ماه سرد سال را با نسبت ۱۰ درصد پنجره به دیوار نشان می‌دهد. شکل ۵ با نسبت ۲۵ درصد پنجره به دیوار و شکل ۶ با نسبت ۴۰ درصد پنجره به دیوار میزان بار گرمایی را نشان می‌دهد. در تمام نمودارها در ماه‌های آبان و فروردین کمترین بار گرمایی و ماه‌های دی و بهمن



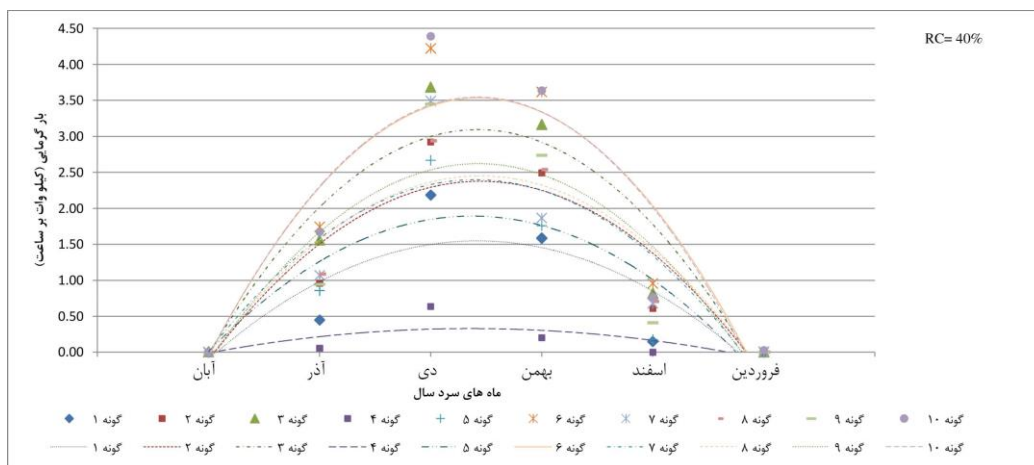
شکل ۴. نمودار ۱۰ گونه ساختمانی و میزان بار گرمایی آن‌ها در ۶ ماه سرد سال با  $WWR=10$

منبع: (نگارندگان)



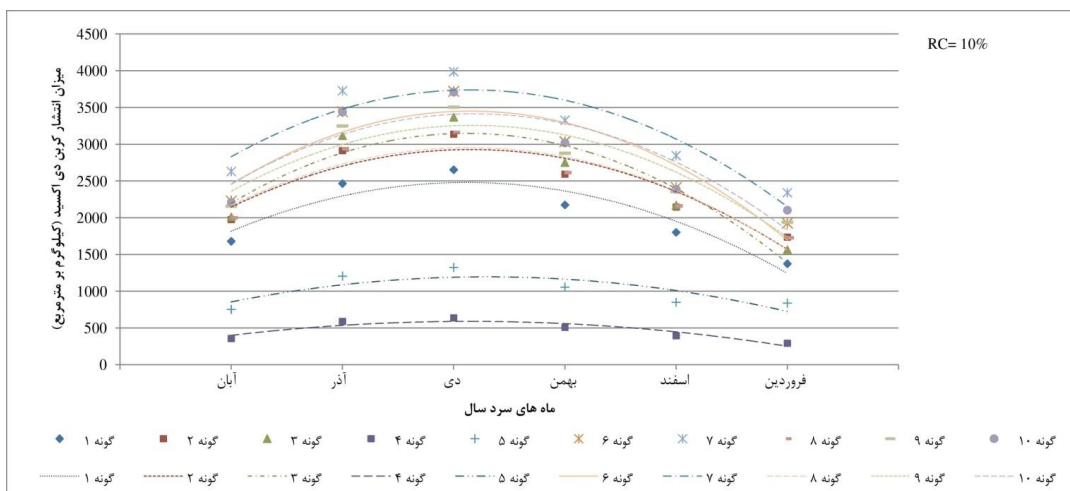
شکل ۵. نمودار ۱۰ گونه ساختمانی و میزان بار گرمایی آن‌ها در ۶ ماه سرد سال با WWR=25

منبع: (نگارندگان)



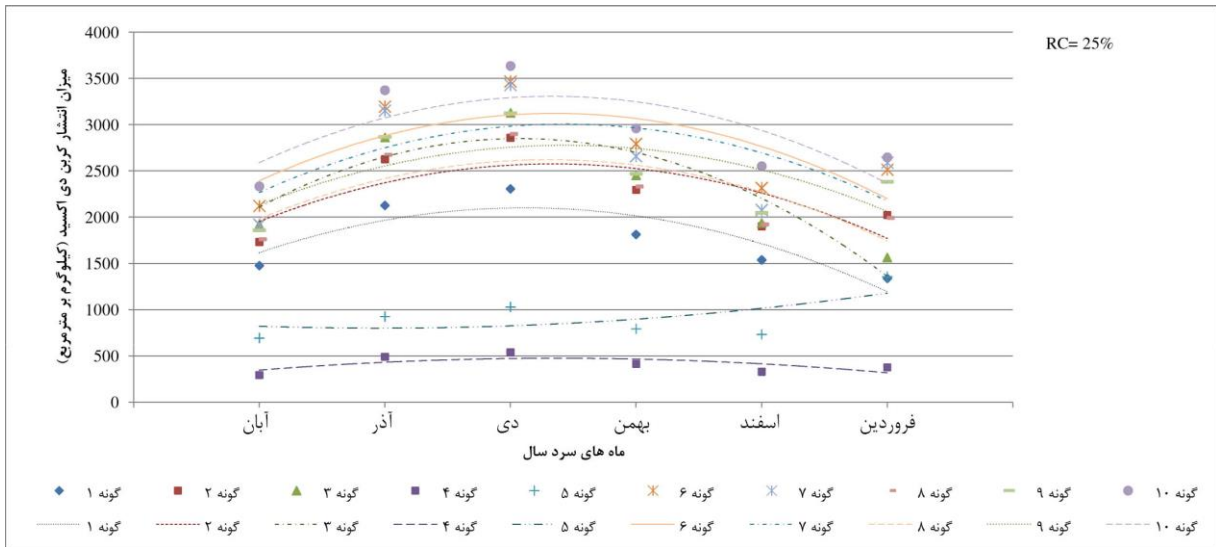
شکل ۶. نمودار ۱۰ گونه ساختمانی و میزان بار گرمایی آن‌ها در ۶ ماه سرد سال با WWR=40

منبع: (نگارندگان)



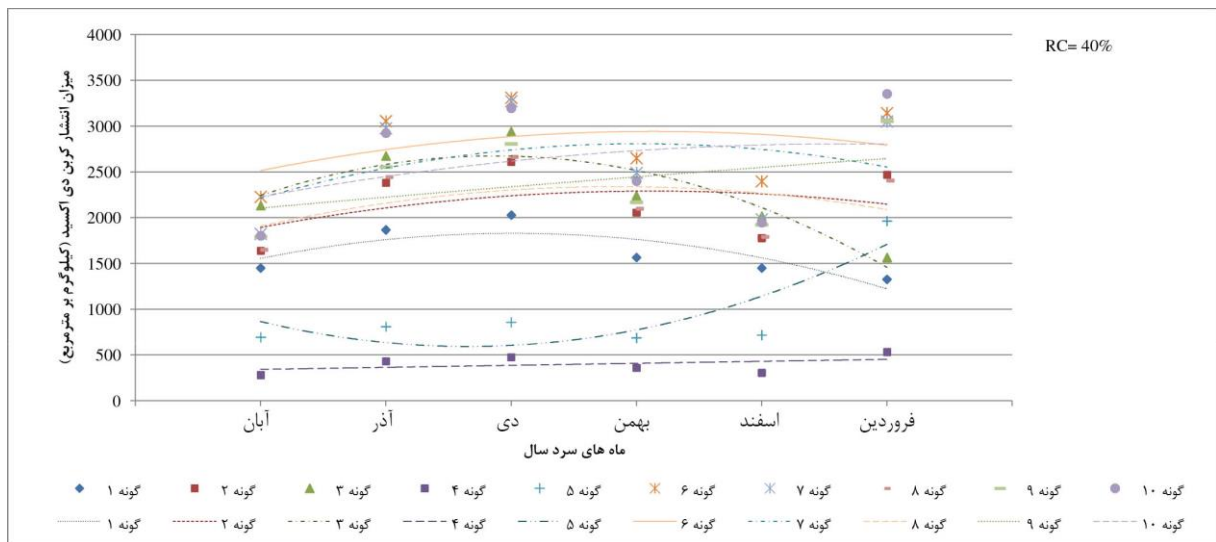
شکل ۷. نمودار ۱۰ گونه ساختمانی و میزان انتشار کربن دی‌اکسید کربن آن‌ها در ۶ ماه سرد سال با WWR=10

منبع: (نگارندگان)



شکل ۸. نمودار ۱۰ گونه ساختمانی و میزان انتشار دی‌اکسید کربن آن‌ها در ۶ ماه سرد سال با  $WWR=25$

منبع: (نگارندگان)



شکل ۹. نمودار ۱۰ گونه ساختمانی و میزان انتشار دی‌اکسید کربن آن‌ها در ۶ ماه سرد سال با  $WWR=40$

منبع: (نگارندگان)

آن‌ها و شکل ۱۱، نمودار ۱۰ گونه ساختمانی و میزان انتشار دی‌اکسید کربن آن‌ها را در میانگین ماه‌های سرد برای  $WWR=10,25,40$  نشان می‌دهند. در گونه ۴ به ترتیب برای نسبت  $WWR=10$  برابر با  $0/53$ ، برای نسبت  $WWR=25$  برابر با  $0/38$  و برای نسبت  $WWR=40$  برابر با  $0/15$  کیلووات بر ساعت است که کمترین بار گرمایی برای میانگین ماه‌های سرد در  $WWR=10,25,40$  هستند. همچنین میزان انتشار دی‌اکسید کربن در گونه ۴ به ترتیب برای نسبت  $WWR=10$  برابر با  $463/79$ ، برای نسبت

به منظور بررسی نتایج به دست آمده ناشی از میزان بار گرمایی، میزان انتشار دی‌اکسید کربن و رابطه آن‌ها با فرم کلی ساختمان و تراکم نسبی گونه‌های ۱۰ گانه و میزان نسبت مختلف پنجره‌ها نسبت به دیوار نتایج در سه بخش زیر تحلیل می‌شوند.

#### ۴.۱. تأثیر میزان بار گرمایی بر میزان انتشار کربن دی‌اکسید

شکل ۱۰، نمودار ۱۰ گونه ساختمانی و میزان بار گرمایی

انتشار دی‌اکسید کربن برابر با  $397/28$  کیلوگرم بر مترمکعب است که کمترین میزان بار گرمایی و انتشار دی‌اکسید کربن برای میانگین ماه‌های سرد در  $WWR=10,25,40$  هستند و گونه ۷ برای نسبت  $WWR=10$  میزان بار گرمایی برابر با  $1,82$  کیلووات بر ساعت و میزان انتشار دی‌اکسید کربن برابر با  $3143/96$  کیلوگرم بر متر مکعب است که بیشترین میزان بار گرمایی و انتشار دی‌اکسید کربن برای میانگین ماه‌های سرد در  $WWR=10,25,40$  هستند.

همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش میزان درصد پنجره نسبت به دیوار از ۱۰ درصد به سمت ۴۰ درصد، میزان بار گرمایی و میزان انتشار دی‌اکسید کربن کاهش می‌یابد و با کاهش میزان درصد پنجره نسبت به دیوار از ۴۰ درصد به سمت ۱۰ درصد، میزان بار گرمایی و میزان انتشار دی‌اکسید کربن نیز افزایش می‌یابد.

۴.۳. تأثیر فرم کلی ساختمان و تراکم نسبی بر میزان بار گرمایی و میزان انتشار کربن دی‌اکسید  
به‌منظور کاهش تلفات حرارتی ساختمان‌ها، همواره بهتر است که نسبت سطح جانبی به حجم بنا (تراکم نسبی) به حداقل ممکن رسانده شود. در تلفیق واحدهای مسکونی نیز هرچه واحدها به‌صورت فشرده‌تر با یکدیگر تلفیق شوند، نسبت سطح جانبی به حجم کل ساختمان کمتر و در نتیجه اتلاف حرارت نیز کمتر خواهد شد (قیابکلو، ۱۳۸۹: ۱۹۶-۱۹۷).

در جدول ۴، ۱۰ گونه ساختمانی و طبقه‌بندی تراکم نسبی آن‌ها معرفی شده است و در جدول ۵، تأثیر فرم کلی ساختمان و تراکم نسبی بر میزان بار گرمایی و میزان انتشار کربن دی‌اکسید را نشان داده شده است. برای درک بهتر این تأثیر و تحلیل نتایج یکی از درصدهای پنجره به دیوار که در حالت میانگین قرار دارد، یعنی  $WWR=25$  استفاده می‌شود. بر این اساس، گونه ۴ با  $Rc=0.90$  برای نسبت  $WWR=25$  میزان بار گرمایی برابر با  $0,38$  کیلووات بر ساعت و میزان انتشار دی‌اکسید کربن برابر با  $40,8/36$

$WWR=25$  برابر با  $40,8/36$  و برای نسبت  $WWR=40$  برابر با  $397/28$  کیلوگرم بر مترمکعب کمترین میزان انتشار دی‌اکسید کربن است که کمترین میزان انتشار دی‌اکسید کربن برای میانگین ماه‌های سرد در  $WWR=10,25,40$  هستند.

گونه ۷ برای نسبت  $WWR=10$  برابر با  $1,82$ ، گونه ۶ و ۱۰ برای نسبت  $WWR=25$  به ترتیب برابر با  $1/63$  و  $1/69$  و برای نسبت  $WWR=40$  به ترتیب برابر با  $1/76$  و  $1/75$  کیلووات بر ساعت بیشترین بار گرمایی را دارا هستند. در نمودار بار گرمایی با نسبت  $WWR=25$ ، گونه ۴ کمترین بار گرمایی را دارد و گونه‌های ۷ و ۱۰ با تفاوت اندک بیشترین بار گرمایی را دارند. در نمودار بار گرمایی با نسبت  $WWR=40$ ، گونه ۴ کمترین بار گرمایی و گونه‌های ۶ و ۱۰ با تفاوت اندک بیشترین بار گرمایی را دارند. همچنین میزان انتشار دی‌اکسید کربن در گونه ۷ برای نسبت  $WWR=10$  برابر با  $3143/96$ ، گونه ۶ و ۱۰ به ترتیب برای نسبت  $WWR=25$  برابر با  $2733/89$  و  $2916/46$  و برای نسبت  $WWR=40$  برابر با  $2797/39$  و  $2603/96$  کیلوگرم بر متر مکعب است که بیانگر بیشترین میزان انتشار دی‌اکسید کربن برای میانگین ماه‌های سرد در  $WWR=10,25,40$  هستند.

در این راستا هر چه بار گرمایی افزایش می‌یابد، میزان انتشار دی‌اکسید کربن نیز افزایش می‌یابد و هر چه بار گرمایی کاهش می‌یابد، میزان انتشار دی‌اکسید کربن نیز کاهش می‌یابد.

#### ۴.۲. تأثیر میزان نسبت پنجره به دیوار (WWR) بر

##### میزان بار گرمایی و میزان انتشار کربن دی‌اکسید

میزان نسبت پنجره به دیوار نقش مهمی را در میزان بار گرمایی و میزان انتشار کربن دی‌اکسید دارد. با توجه به اشکال ۱۰ و ۱۱ و جدول ۵ برای گونه‌های ۱۰ گانه معرفی شده مشاهده می‌شود، در گونه ۴ برای نسبت  $WWR=40$  میزان بار گرمایی برابر با  $0,15$  کیلووات بر ساعت و میزان

از دلایل این امر این است که فرم این گونه به نسبت گونه شماره ۷ نسبت طول به عرض و حجم کمتری دارد و پنجره تأثیری بیشتری بر بخش‌های میانی بنا داشته و در نتیجه میزان بار گرمایی و به تبع آن  $CO_2$  کمتری داشته است.

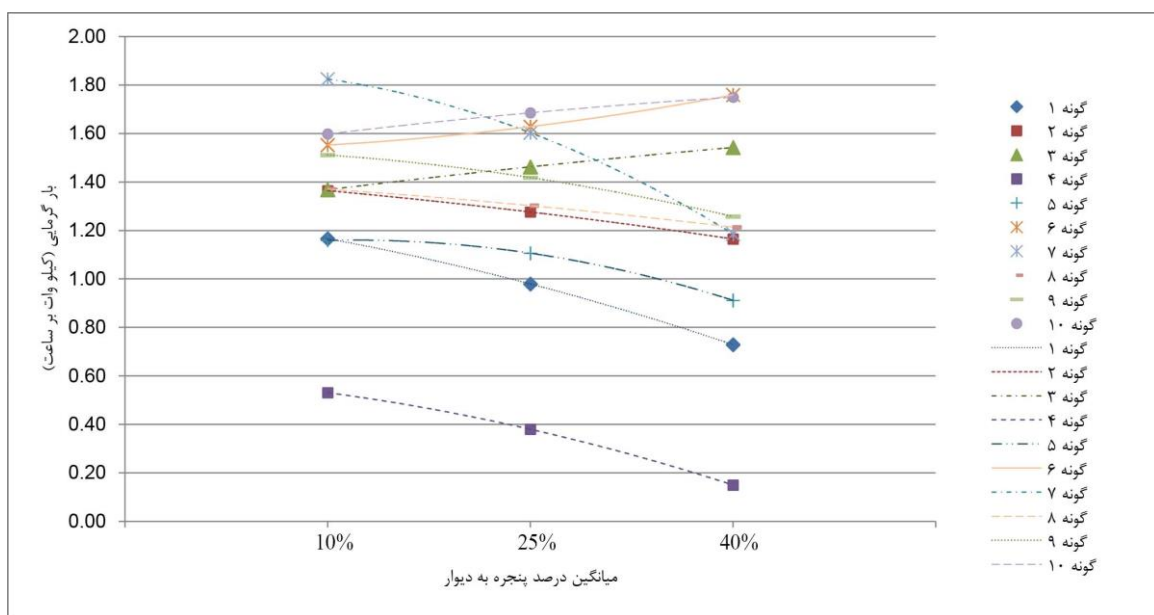
گونه ۳ نیز دارای تراکم نسبی یکسان با گونه‌های ۶ و ۱۰ یعنی  $Rc=0.70$  داشته است، اما رفتار متفاوتی را با این دو گونه دارد. انتظار می‌رفت که این گونه نیز میزان بار گرمایی و انتشار  $CO_2$  کمینه داشته باشد که این مقادیر در حالت میانه قرار دارند. به نظر می‌رسد علت این عامل فرم متفاوت این گونه در ضلع جنوبی نسبت به دو گونه دیگر باشد. فرم این گونه به حالتی است که در جبهه جنوبی بنا خود سایه‌اندازی دارد و این عامل باعث افزایش میزان بار گرمایی و به تبع آن  $CO_2$  شده است.

اما در حالت کلی می‌توان انتظار داشت که با بالا رفتن تراکم نسبی ساختمان، میزان بار گرمایی آن و در نتیجه میزان انتشار دی‌اکسید کربن کاهش یابد و با کم شدن تراکم نسبی ساختمان، میزان بار گرمایی آن و در نتیجه میزان انتشار دی‌اکسید کربن افزایش یابد.

کیلوگرم بر متر مکعب را دارد که کمترین میزان بار گرمایی و انتشار دی‌اکسید کربن برای میانگین ماه‌های سرد است و گونه ۶ و ۱۰ با  $Rc=0.70$  برای نسبت  $WWR=25$  میزان بار گرمایی و میزان انتشار دی‌اکسید کربن به ترتیب برابر با  $1/63$  و  $1/69$  کیلووات بر ساعت را دارد که بیانگر بیشترین میزان بار گرمایی و انتشار دی‌اکسید کربن برای میانگین ماه‌های سرد هستند.

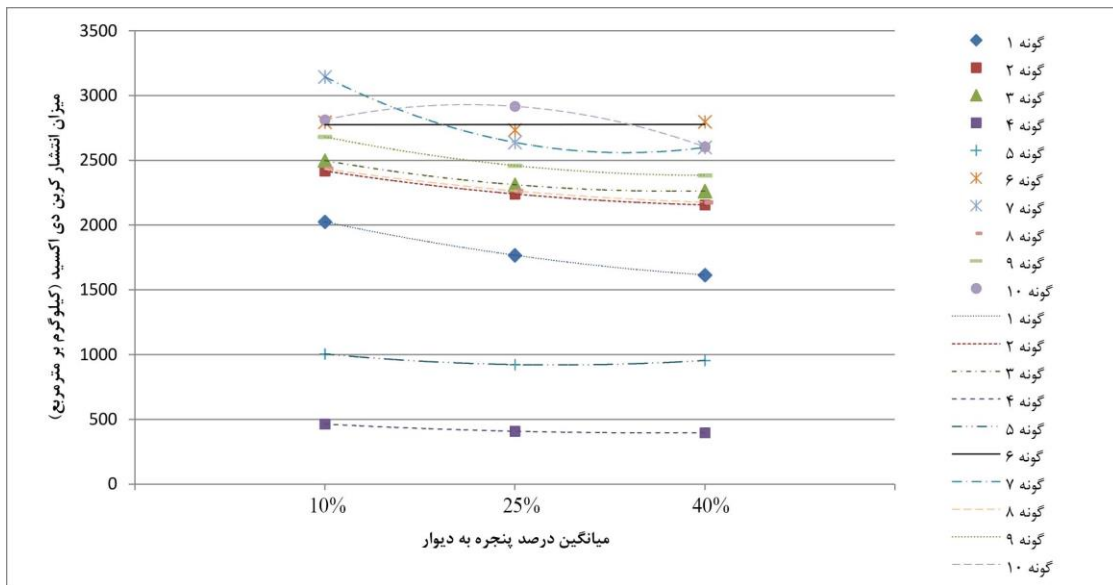
در گونه ۷ به‌رغم بالا بودن تراکم نسبی میزان بار گرمایی و  $CO_2$  در حالت بیشینه قرار داشت که می‌بایست مقادیر کمتری را به خود اختصاص می‌دادند. به نظر می‌رسد یکی از دلایل این اتفاق فرم این گونه ساختمانی است که نسبت طول به عرض و حجم آن بیشترین مقدار بوده و بخش‌های میانی ساختمان در فاصله دورتری از پنجره قرار گرفته‌اند و این امر باعث بالا رفتن میزان بار گرمایی و در نتیجه  $CO_2$  شده است.

در گونه ۱ که تراکم نسبی یکسان با گونه ۷ یعنی  $Rc=0.96$  داشته است، انتظار می‌رفت که رفتار مشابهی با گونه ۷ داشته باشد ولی مشاهده می‌شود که میزان بار گرمایی و  $CO_2$  آن در حالتی میانه قرار دارد. به نظر می‌رسد



شکل ۱۰. نمودار ۱۰ گونه ساختمانی و میزان بار گرمایی آن‌ها در میانگین ماه‌های سرد برای  $WWR=10,25,40$

منبع: (نگارندگان)



شکل ۱۱. نمودار ۱۰ گونه ساختمانی و میزان انتشار دی‌اکسید کربن آن‌ها در میانگین ماه‌های سرد برای WWR= 10,25,40  
منبع: (نگارندگان)

جدول ۵. میزان بار گرمایی و انتشار دی‌اکسید کربن در درصد‌های مختلف پنجره نسبت به دیوار در میانگین ماه‌های سرد سال

Types of Building	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5	Type 6	Type 7	Type 8	Type 9	Type 10	
Relative Compactness	Rc=0.96	Rc=0.86	Rc=0.70	Rc=0.90	Rc=0.71	Rc=0.70	Rc=0.95	Rc=0.86	Rc=0.78	Rc=0.70	
WWR=10	Releasing Co <sub>2</sub>	۲۰۲۵/۱۱	۲۴۱۷/۴۹	۲۴۹۸/۲۰	۴۶۳/۷۹	۱۰۰۵/۰۴	۲۷۹۴/۴	۳۱۴۳/۹۶	۲۴۳۴/۶۰	۲۶۸۱/۲۲	۲۸۱۲/۱۴
	Heating Load	۱/۱۷	۱/۳۶	۱/۳۷	۰/۵۳	۱/۱۶	۱/۵۵	۱/۸۲	۱/۳۷	۱/۵۱	۱/۶۰
WWR=25	Releasing Co <sub>2</sub>	۱۷۶۶/۷۸	۲۲۳۹/۹۳	۲۳۱۱/۳۹	۴۰۸/۳۶	۹۲۲/۸۸	۲۷۳۳/۸۹	۲۶۳۸/۰۰	۲۲۶۳/۹۲	۲۴۵۹/۱۲	۲۹۱۶/۴۶
	Heating Load	۰/۹۸	۱/۲۸	۱/۴۶	۰/۳۸	۱/۱۱	۱/۶۳	۱/۵۳	۱/۳۰	۱/۴۲	۱/۶۹
WWR=40	Releasing Co <sub>2</sub>	۱۶۱۴/۶۱	۲۱۵۵/۶۶	۲۲۶۲/۷۲	۳۹۷/۲۸	۹۵۴/۸۸	۲۷۹۷/۳۹	۲۵۹۹/۶۴	۲۱۷۶/۴۱	۲۳۸۳/۸۹	۲۶۰۳/۹۶
	Heating Load	۰/۷۳	۱/۱۶	۱/۵۴	۰/۱۵	۰/۹۱	۱/۷۶	۱/۱۹	۱/۲۱	۱/۲۶	۱/۷۵

منبع: (نگارندگان)

### ۵. نتیجه‌گیری

این تحقیق افزایش جذب انرژی تابشی از طریق سطح نورگذر پوسته خارجی در جبهه جنوبی در فصل سرد به‌عنوان یکی از راه‌های کاهش مصرف انرژی استفاده شده است. برای بررسی میزان این جذب انرژی و تأثیر آن بر کاهش میزان بار گرمایی و کاهش انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی، هندسه فشردگی و تراکم ساختمان در کنار فرم کلی ساختمان در ارتباط با کارایی انرژی برای ۱۰ گونه ساختمان ۵ طبقه متداول

شهر تهران امروزه، یکی از شهرهای آلوده جهان شناخته شده است. رشد شهرنشینی که نیاز روز افزون به انرژی را به همراه می‌آورد، بر میزان آلودگی هوا تأثیر مستقیم می‌گذارد (روشن و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۸۹). مصرف انرژی در ساختمان‌ها نیز به واسطه افزایش بار انرژی ساختمان بیشتر شده است. از این رو لزوم توجه به بهره‌وری مصرف انرژی در بخش ساختمان بیش از پیش نمایان می‌شود. در



۳. در حالت کلی با بالا رفتن تراکم نسبی ساختمان، میزان بار گرمایی آن و در نتیجه میزان انتشار دی‌اکسید کربن کاهش یافته و با پایین آمدن مقدار تراکم نسبی ساختمان، میزان بار گرمایی آن و در نتیجه میزان انتشار دی‌اکسید کربن افزایش می‌یابد. بر این اساس، گونه ۴ با  $Rc=0.90$  کمترین میزان بار گرمایی و میزان انتشار دی‌اکسید کربن برای میانگین ماه‌های سرد است و گونه ۶ و ۱۰ با  $Rc=0.70$  با تفاوت اندک بیشترین میزان بار گرمایی و انتشار دی‌اکسید کربن برای میانگین ماه‌های سرد هستند. گونه ۷ با  $RC=0.97$  تراکم نسبی بالایی دارد، به علت کشیدگی فرم بنا نیاز به بار گرمایی بیشتری داشته است. گونه ۱ با تراکم نسبی یکسان با گونه ۷ یعنی  $Rc=0.96$  به علت فشردگی حجم نسبت به گونه ۷ میزان بار گرمایی و به تبع آن  $CO_2$  کمتری داشته است. گونه ۳ نیز با تراکم نسبی یکسان با گونه‌های ۶ و ۱۰ یعنی  $Rc=0.70$  به علت خود سایه‌اندازی در جبهه جنوبی بنا باعث افزایش میزان بار گرمایی و به تبع آن  $CO_2$  شده است.

در نهایت برای رسیدن به نتیجه دقیق‌تر می‌توان فاکتورهایی چون جهت‌گیری، خود سایه‌اندازی و تهویه مطبوع را برای کاهش میزان بار گرمایی و میزان انتشار دی‌اکسید کربن و در نتیجه کاهش میزان آلودگی ناشی از گرمایش در فصل زمستان در نظر گرفت.

## ۵. یادداشت

1. Window to Wall Ratio
2. Relative Compactness

مسکونی با WWR های ۱۰، ۲۵ و ۴۰، طبق استانداردهای مبحث ۱۹ دفتر مقررات ملی ساختمان شبیه‌سازی شد و برای بررسی میزان بار گرمایی تمامی عوامل از جمله جنس، کاربری، تعداد طبقات و ... ثابت فرض شد تا بتوان تأثیر تراکم نسبی و میزان نسبت پنجره به دیوار را بر میزان انتشار دی‌اکسید کربن مشاهده کرد و نتایج زیر حاصل شد:

۱. در حالت کلی هر چه بار گرمایی افزایش می‌یابد، میزان انتشار دی‌اکسید کربن نیز افزایش می‌یابد و هر چه بار گرمایی کاهش می‌یابد، میزان انتشار دی‌اکسید کربن نیز کاهش می‌یابد. در این راستا با دقت در نمودارهای بار گرمایی در گونه‌های مختلف با WWR های ۱۰، ۲۵ و ۴۰، گونه ۴ کمترین بار گرمایی و در نتیجه کمترین میزان آلودگی ناشی از گرمایش در فصل زمستان را دارد و گونه‌های ۶، ۷ و ۱۰ با اختلاف اندک نسبت به هم بیشترین بار گرمایی و در نتیجه بیشترین میزان آلودگی ناشی از گرمایش در فصل زمستان را دارند.

۲. با افزایش میزان درصد پنجره نسبت به دیوار (از ۱۰ به ۴۰ درصد)، میزان بار گرمایی و میزان انتشار دی‌اکسید کربن کاهش می‌یابد و با کاهش میزان درصد پنجره نسبت به دیوار (از ۴۰ به ۱۰ درصد)، میزان بار گرمایی و میزان انتشار دی‌اکسید کربن نیز افزایش می‌یابد. با توجه به اشکال ۱۰ و ۱۱ و جدول ۵ برای گونه‌های ۱۰ گانه مشاهده می‌شود، گونه ۴ برای نسبت  $WWR=40$  کمترین مقدار میزان بار گرمایی و میزان انتشار دی‌اکسید کربن و گونه ۷ برای نسبت  $WWR=10$  بیشترین میزان بار گرمایی و انتشار دی‌اکسید کربن برای میانگین ماه‌های سرد در  $WWR=10,25,40$  را دارا هستند.

## منابع

- ترازنامه انرژی ایران، ۱۳۹۳. وزارت نیرو، تهران.
- روشن، غ.، خوش اخلاق، ف.، نگهبان، س. و میرکتولی، ج. ۱۳۸۸. تأثیر آلودگی هوا بر نوسانات اقلیمی شهر تهران، علوم محیطی، ۷ (۱): ۱۷۳-۱۹۲.

شهرداری تهران، ۱۳۹۱. طرح تفصیلی شهر بزرگ تهران.

غفاری جبّاری، ش. و صالح، ا. ۱۳۹۲. راهکارهای طراحی مسکن در بهینه‌سازی مصرف انرژی شهر تهران. پژوهش‌های برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری انرژی، ۱: ۱۱۵-۱۳۲.

فطرس، م.، فردوسی، م. و مهریما، ح. ۱۳۹۰. بررسی تأثیر شدت انرژی و گسترش شهرنشینی بر تخریب محیط‌زیست در ایران (تحلیل جمعی)، محیط‌شناسی، ۶۰: ۱۳-۲۲.

قیابکلو، ز. ۱۳۸۹. مبانی فیزیک ساختمان ۲ (تنظیم شرایط محیطی). چاپ اول، انتشارات جهاد دانشگاهی، تهران.

مهندسین مشاور همکار پارس بوم، ۱۳۸۹. مصوبه طرح تفصیلی یکپارچه شهر تهران، مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران، معاونت شهرسازی و معماری شهرداری تهران، ۱-۴۶.

واتقی، ا. و اسماعیلی، ع. ۱۳۸۸. بررسی عوامل تعیین‌کننده انتشار گاز CO<sub>2</sub> در ایران (کاربرد نظریه زیست‌محیطی کوزنتس). محیط‌شناسی، ۵۲: ۹۹-۱۱۰.

Faiazi, F., Noorani, M., Ghaedi, A. and Mahdavejad. M. 2011. Design an optimum Pattern of Orientation in Residential Complex by Analyzing the Level of Energy Consumption (Case Study: Maskan Mehr Complexes, Tehran, Iran), 2011 International Conference on Green Buildings and Sustainable Cities, Procedia Engineering, 21: 1179-1187.

Goia, F. 2016. Search for the optimal window-to-wall ratio in office buildings in different European climates and the implications on total energy saving potential; Solar Energy, 132: 467-492.

Goia, F., Haase, M. and Perino, M. 2013. Optimizing the configuration of a façade module for office buildings by means of integrated thermal and lighting simulations in a total energy perspective; Applied Energy, 108: 515-527.

Inanici, M.N. and Demirbilek, F.N. 2000. Thermal performance optimization of building aspect ratio and south window size in five cities having different climatic characteristics of Turkey, Building and Environment, 35: 41-52.

Johnson, R., Sullivan, R., Selkowitz, S., Nozaki, S., Conner, C. and Arasteh, D. 1984. Glazing energy performance and design optimization with daylighting; Energy and Buildings, 6: 305-317.

Kheiri, F. 2013. The relation of orientation and dimensional specifications of window with building energy consumption in four different climates of Köppen Classification; Researcher, 5: 107-115.

Kim, T.J. Kang, J.S., Choi, H.J. and Park, J.S. 2015. Development and evaluation of a measurement method and system for solar heat gain coefficient and thermal transmittance. Materials Research Innovations, 19: 964-967.

Ourghi, R., Al-Anzi, A. and Krarti, M. 2007. A simplified analysis method to predict the impact of shape on annual energy use for office buildings. Energy Conversion and Management, 48: 300-305.

Mahdavejad, M.J., Mator, S., Feyzmand, N. and Doroodgar, A. 2012. Horizontal distribution of illuminance with reference to window-to-Wall ratio (WWR) in office buildings in hot/dry climate, Case of Iran, Tehran. Applied Mechanics and Materials, 110: 72-76.

Mahdavejad, M.J., Bemanian, M.R., Hajian, M. and Pilechiha, P. 2012. Usage of Indigenous Architectural Patterns for Manufacturing Industrial Housing, Case: Renovation Project of Odlajan of Tehran, Iran. Advanced Materials Research, 548: 875-879.

Mangkuto, R.A., Rohmah, M. and 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.

Pessenlehner, W. and Mahdavi, A. 2003, Building, Morphology, Transparency, and Energy Performance, Eighth International IBPSA Conference, Eindhoven, Netherlands, pp. 1025-1032.

Susorva, I., Tabibzadeh, M., Rahman, A., Clack, L.H. and Elnimeiri, M. 2013. The effect of geometry factors fenestration energy performance and energy savings in office buildings, Energy and Buildings, 57: 6-13.

Zomorodian, Z.S. and Nasrollahi, F. 2013 Architectural design optimization of school buildings for reduction of energy demand in hot and dry climates of Iran; International Journal of Architectural Engineering & Urban Planning, 23: 42-54.