

بررسی تأثیر جهت‌گیری ساختمان بر مصرف انرژی سالیانه در مدارس نواحی گرم و خشک ایران، با استفاده از مدل‌سازی اقلیمی، مورد مطالعاتی: بررسی مدرسه تیپ دو کلاسه*

حمید آیبیغی اصفهانی^۱ - کورش مومنی^{۲*} - فرامرز حسن پور^۳

۱. گروه معماری، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران.
۲. دانشیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول، دزفول، ایران (نویسنده مسئول).
۳. استادیار گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۴/۰۳ تاریخ اصلاحات: ۹۸/۰۹/۱۵ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۹/۰۸/۰۵ تاریخ انتشار: ۰۰/۰۳/۳۱

چکیده

ساختمان‌های مدارس که بخش عمده‌ای از ساختمان‌های عمومی را تشکیل می‌دهند؛ یکی از مهم‌ترین مصرف‌کننده‌های انرژی در ایران هستند. با توجه به شرایط فعلی ساخت و ساز به نظر می‌رسد با اصلاح روش‌های طراحی و ساخت بنا پتانسیل زیادی برای بهره‌وری انرژی وجود داشته باشد. اصلاح عوامل هندسی ساختمان، از جمله جهت‌گیری، یکی از این روش‌هاست که بررسی دقیق آن با توجه به تعداد زیاد مدارس دارای اهمیت خاصی است. در این مقاله یک مدرسه دو کلاسه با نقشه‌ای ساده که به صورت تیپ در مناطق گرم و خشک ایران ساخته می‌شود، در نظر گرفته شده و به کمک شبیه‌سازی رایانه‌ای تلاش شده است؛ جهت‌گیری بهینه آن با دقت بالا برای شش شهر اصفهان، شیراز، زاهدان، قم، کرمان و یزد- که شهرهای دارای جمعیت بیش‌تر از ۵۰۰ هزار نفر در منطقه گرم و خشک ایران هستند - محاسبه شود. جهت انجام این کار، برای هر شهر ۷۲ مدل در جهت‌های مختلف با واریانس ۵ درجه شبیه‌سازی شده و محدوده‌ای ۱۰ درجه‌ای که حداقل مصرف انرژی سالیانه را داشته به دست آمده است. سپس شبیه‌سازی با واریانس ۱ درجه در این محدوده مجدداً انجام شده و نتایج برای شش شهر مختلف با یکدیگر مقایسه شده است. در نتیجه مشاهده می‌شود که در شهر قم بیش‌ترین و در شهر یزد کم‌ترین میزان تأثیر جهت‌گیری این تیپ ساختمان بر مصرف انرژی وجود دارد. همچنین با وجود کم بودن درصد ذخیره انرژی سالیانه، با توجه به تعداد زیاد ساختمان‌های تیپ و عمر مفید ۵۰ ساله آن‌ها در هر شش شهر، دقت در انتخاب جهت‌گیری در درازمدت ضرورت دارد. زیرا مقدار اندکی ذخیره سوخت در مصرف سالیانه یک بنا، به عدد قابل توجهی در سطح کشور در کل مدت بهره‌برداری تبدیل خواهد شد.

واژگان کلیدی: جهت‌گیری ساختمان، مدارس تیپ دو کلاسه، اقلیم گرم و خشک، بهره‌وری انرژی، مدل‌سازی اقلیمی.

* این مقاله برگرفته از رساله دکتری معماری نویسنده اول با عنوان «بهینه‌سازی مدارس اقلیم گرم و خشک جهت صرفه‌جویی مصرف انرژی، با استفاده از شبیه‌سازی رایانه‌ای، براساس مساحت پنجره‌ها و جهت‌گیری ساختمان» با راهنمایی نویسنده دوم و مشاوره نویسنده سوم، که در شهریور ۱۳۹۹ در دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان به انجام رسیده است.

** E_mail: k_momeni@jsu.ac.ir

۱. مقدمه

با توجه به گزارشات آژانس بین‌المللی انرژی (IEA)، یک سوم کل انرژی مصرفی و یک سوم کل دی اکسیدکربن تولید شده در جهان مربوط به ساختمان‌ها است (IEA, 2013). دی وایلد و کولی^۱ (۲۰۱۲) اعلام نموده‌اند که ۲۵ تا ۴۰ درصد از گازهای گلخانه‌ای از طریق ساختمان‌ها انتشار می‌یابد. معمولاً هدف از ساخت بنا آن است که ۶۰ تا ۸۰ و گاه تا ۱۰۰ سال از آن استفاده شود، از این رو توجه به بهره‌وری انرژی در مرحله طراحی اهمیت ویژه‌ای دارد (Laustsen, 2008, p. 7). میانگین مصرف انرژی در ساختمان‌های مدارس ایران به‌عنوان پرشمارترین گروه از ساختمان‌های عمومی بیش‌تر از 160 KWh/m^2 است (Iranian Fuel Conservation Organization, 2009). این مقدار ۲.۵ برابر مصرف سالیانه مدارس در کشورهای توسعه یافته با مقدار حدودی 65 KWh/m^2 است (Im & Habrel, 2006). با وجود مصرف انرژی زیاد باز هم امکان دارد در بسیاری از کلاس‌های درس آسایش حرارتی تأمین نشود. با وجود آن‌که مدارس مناطق گرم و خشک ۴۱.۹ درصد از کل انرژی مصرفی مدارس کشور ایران را دارند، هنوز دستورالعمل و قواعد مشخصی برای طراحی آن‌ها با هدف کاهش مصرف انرژی داده نشده است (Joshghani, 2001).

بیش از چهار دهه است که مهندسين و محققان از کامپیوتر برای شبیه‌سازی فرآیند فیزیکی ساختمان‌سازی استفاده نموده‌اند (Oberkampff & Trucano, 2002). اهمیت استفاده از برنامه‌های شبیه‌سازی انرژی ساختمان^۲ در آن است که پیش از مرحله ساخت، ویژگی‌های آن بررسی شده و تلاش می‌شود که مصرف انرژی در آن کاهش یابد. یکی از مسائلی که برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی باید به آن توجه نمود طرح معماری است و پارامترهای مختلف آن عبارت‌اند از: فرم هندسی، نسبت پنجره به سطح دیوار، اندازه و جهت سایبان‌ها، جهت‌گیری بنا و غیره. استفاده مناسب از پارامترهای هندسی کل ساختمان، اتاق‌ها، بازشوها و سایر عناصر مربوط به بازشوها، نظیر سایبان‌ها و شیشه‌ها به مقدار قابل توجهی مصرف انرژی را در ساختمان کاهش داده و کارکرد ساختمان را ارتقاء می‌دهد (Susorova, Tabibzadeh, Rahman, Clack, & Elnimeiri, 2013).

از میان عوامل ذکر شده در بالا، انتخاب جهت بهینه ساختمان بسیار کم هزینه است و تنها با استفاده از دوربین‌های نقشه‌برداری در مرحله ابتدایی احداث بنا قابل انجام است. جهت‌گیری ساختمان در گذشته به‌طور عموم تحت تأثیر منظر، بادهای غالب، توپوگرافی سایت، ساختمان‌های مجاور و غیره انتخاب شده و در پاره‌ای از موارد هم شرایط موجود طراحی شهری مانند بافت تاریخی یا عوامل دیگر بر آن مؤثر بوده است. در نظر گرفتن جهت

مناسب برای ساختمان با توجه به بادهای غالب با هدف آن‌که کوران هوای بهتری در ساختمان ایجاد شود و یا چرخاندن ساختمان در جهتی که بیش‌ترین میزان گرما را از نور خورشید در فصل زمستان دریافت نماید، خیلی از اوقات به دلایلی که ذکر شد کم‌تر امکان پذیر است. اما در مناطق روستایی این محدودیت‌ها کم‌تر است.

انتخاب جهت‌گیری مناسب در ساختمان بر تهویه طبیعی، جذب روشنایی طبیعی و حرارت از نور خورشید در ماه‌های سرد و کاهش جذب گرمای نور خورشید در ماه‌های گرم سال تأثیرگذار است. از این رو با به‌دست آوردن جهت‌گیری بهینه، مصرف انرژی سالیانه در ساختمان کاهش یابد. برای اثبات این فرضیه در مقاله حاضر نرم‌افزار دیزاین بیلدر به کارگرفته شده است که امکان ترکیب مدل‌سازی سریع ساختمان و شبیه‌سازی پیشرفته انرژی را به وجود می‌آورد. محققان زیادی تاکنون عوامل هندسی ساختمان، از جمله جهت‌گیری و رابطه آن را با مصرف انرژی بررسی نموده‌اند؛ اما از این میان تمرکز کمی بر جهت‌گیری بنا وجود داشته است و اکثر پژوهش‌ها با دقت پایین و در حد ۱۵ درجه بوده‌اند. این مسأله در قسمت مرور پژوهش‌های پیشین به‌صورت دقیق‌تر بررسی شده است.

در مقاله حاضر با شبیه‌سازی رایانه‌ای یک مدرسه دوکلاسه به‌عنوان یک نقشه تیپ، در پرجمعیت‌ترین شهرهای گرم و خشک ایران و چرخاندن آن در جهت‌های مختلف و تحلیل داده‌ها سعی شده است به پرسش‌های زیر پاسخ داده شود:

۱. جهت‌گیری ساختمان‌های مدارس تیپ دوکلاسه در هریک از شهرهای مذکور تا چه حد بر میزان مصرف انرژی سالیانه مؤثر است؟

۲. در هریک از شهرها بهترین جهت‌گیری مدارس دوکلاسه تیپ جهت صرفه‌جویی در مصرف انرژی کدام است؟

۳. با توجه به مسائل مختلف از جمله عمر مفید این ساختمان‌ها و تعداد زیاد ساختمان‌های تپیی که بنا می‌شوند، دقت در پیدا کردن جهت‌گیری صحیح تا چه اندازه می‌تواند حائز اهمیت باشد؟

در این تحقیق دو متغیر وجود دارد: جهت‌گیری بنا متغیر مستقل و مصرف انرژی سالیانه متغیر وابسته است.

۲. پیشینه پژوهش

اکثر پژوهش‌هایی که تاکنون تأثیر متغیرهای معماری بر مصرف انرژی در ساختمان را مورد بررسی قرار داده‌اند، عامل جهت‌گیری را با دقت کم‌تری ارزیابی نموده‌اند. در زیر به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود:

وازاچورو^۳ و همکاران در تحقیق خود برای بررسی تأثیر عامل جهت‌گیری در یک ساختمان مسکونی سبک‌سازی شده قابل حمل بر میزان انرژی مورد نیاز جهت سرمایش و گرمایش، چهار جهت اصلی و چهار جهت فرعی، در مجموع هشت جهت شمال، جنوب، شرق، غرب، شمال غربی، شمال شرقی، جنوب غربی و جنوب شرقی را از

را محقق کند، ساختمان را با زوایای ۱۵ درجه چرخانده و در مجموع ۲۴ مدل را مورد بررسی قرار داده‌اند. در این تحقیق با توجه به فرم پلان‌ها و اقلیم مورد مطالعه و سایر پارامترها، پژوهشگران مساله جهت‌گیری بنا را قابل چشم‌پوشی دانسته‌اند و جهت بهینه‌ای را اعلام نموده‌اند (Pathirana, Rodrigo, & Halwatura, 2019).

ژانگ^۸ و همکاران یک الگوریتم ژنتیک را جهت بهینه‌سازی عملکرد حرارتی و نور روزدر ساختمان مدارس در اقلیم‌های سرد کشور چین اتخاذ نموده و سه نوع پلان مختلف با شیشه‌ها و سایبان‌های متفاوت، عمق‌های مختلف برای کریدورها و اتاق‌ها و غیره را در نظر گرفته و شبیه‌سازی و مقایسه نموده‌اند. در نتیجه مشخص شده که مدرسه با کریدور دو طرفه در این اقلیم بهترین عملکرد حرارتی و نور روز را دارد. پارامترهای مرتبط دیگر نیز پیشنهاد شده و با توجه به هر پارامتر در اقلیم‌های متفاوت جهت‌گیری بهینه پیشنهادی نیز متفاوت بوده است (Zhang, Bokel, & Dobbelsteen, Sun, Huang, & Zhang, 2017).

در این تحقیق با توجه به آن‌که از نرم‌افزار راینو^۹ و افزونه‌های گراس‌هاپر^{۱۰} و اکتاپوس^{۱۱} در آن برای تحلیل پارامتریک استفاده شده است دقت برای بررسی جهت‌گیری از ۰ تا ۳۶۰ درجه بوده است، اما اقلیم مورد بررسی مناطق سرد چین است.

در تحقیقات بالا و بسیاری از تحقیقات دیگر به جهت‌گیری بنا در ساختمان مدارس به‌عنوان به‌صورت مستقل بررسی نشده است و معمولاً تمامی عوامل هندسی و معمارانه ساختمان با هم سنجیده شده‌اند. اگر هم در گوشه‌ای از تحقیق به جهت‌گیری ساختمان پرداخته شده، دقت آن در حدود ۱۰ تا ۱۵ درجه است. در تحقیق حاضر تلاش شده است این پارامتر هندسی در ساختمان به صورت مستقل و با دقت بالا مورد کنکاش قرار گیرد.

۳. ملاحظات عمومی

در زمینه صرفه‌جویی در مصرف انرژی اقلیم گرم و خشک به دلیل نامساعد بودن شرایط آب و هوایی، تفاوت بسیار زیاد دمای روز و شب، تابش شدید آفتاب و مسائل دیگر دارای اهمیت ویژه‌ای هستند. در ایران مناطق بیابانی و نیمه بیابانی مساحت زیادی از کشور را به خود اختصاص داده‌اند. محققین عوامل مختلفی را برای شناخت قلمرو بیابان‌ها در ایران مورد تجزیه و تحلیل قرار داده‌اند که از آن جمله می‌توان به اقلیم، ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، هیدرولوژی و پوشش گیاهی اشاره کرد (Shabankareh, Khosrowshahi, & Qolampour, 2008). با بررسی ایران، مساحت زمین‌هایی که حداقل براساس یکی از عوامل ذکر شده می‌توان آن‌ها را بیابان دانست ۹۸۵۷۹۸ کیلومتر مربع اعلام شده است، که این مقدار ۵۹.۸ درصد از کل مساحت کشور را در بر می‌گیرد (Khosrowshahi & Kalirad, 2013, p. 27).

طریق شبیه‌سازی بررسی نموده‌اند. در نتیجه این محققان برای اقلیم‌های مختلف جهت‌های متفاوتی را به‌عنوان جهت‌گیری بهینه پیشنهاد داده‌اند (Vasaturo, Van, Hooff, Kalkman, Blocken, & Van Wesemael, 2018). مورسی^۴ و همکاران با ذکر آن‌که یافتن جهت‌گیری بهینه در ساختمان روشی ارزان قیمت برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی است، ۸۱ نمونه پلان مسکونی را انتخاب نموده و در جهت‌گیری‌های مختلف میزان مصرف انرژی آن‌ها را از طریق مدلسازی در نرم‌افزار محاسبه آکوریته^۵ سنجیده‌اند. با توجه به آن‌که پارامترهای زیادی در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته‌اند، نتایج به‌دست آمده برای جهت بهینه نیز با توجه به تغییرات آن‌ها متفاوت بوده و نتیجه شفافی برای آن اعلام نشده است، اما بیش‌تر جهت‌گیری شمال شرقی تا جنوب شرقی تایید شده است (Morrissey, Moore, & Horne, 2011).

داگارا^۶ و همکاران انواع پلان ساختمان مدارس در سائو پالوی برزیل را دسته‌بندی نموده و روشی برای ارزیابی و بهینه‌سازی پارامترهای گوناگون ساختمان‌های مدارس با توجه به چهار جنبه مختلف آسایش: حرارتی، آکوستیکی، روشنایی طبیعی و عملکردی ارائه داده‌اند. در نتیجه تحقیقات آن‌ها مشخص شده است که بهینه‌سازی همزمان تمامی جنبه‌های ذکر شده آسایش، امکان‌پذیر نیست. هرچند که برخی سازگاری‌ها مشاهده می‌شوند. این محققان نیز در تحقیق خود جدولی ارائه داده و با توجه به پارامترهای مختلف، برای انواع پلان جهت‌گیری‌های متفاوتی را به‌عنوان جهت بهینه ساختمان پیشنهاد داده‌اند (Da Graça, Kowaltowski, & Petreche, 2007). در این پژوهش‌ها نیز متغیر جهت‌گیری را صرفاً در هشت جهت ذکر شده در بالا بررسی نموده‌اند.

زمردیان و نصراللهی پارامترهای معماری ساختمان مدارس منطقه گرم و خشک ایران از جمله یک سری عوامل هندسی مانند شکل ساختمان، سازماندهی فضایی و نسبت پنجره به دیوار را مورد بررسی قرار داده و تلاش کرده‌اند با ایجاد تغییرات مناسبی در آن‌ها به کمک شبیه‌سازی رایانه‌ای پیشنهاداتی برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی ارائه دهند. در نتیجه این پژوهش انرژی مورد نیاز مدرسه مورد مطالعه صرفاً با تغییر پارامترهای معماری و بدون هیچ‌گونه تغییری در جنس مصالح ساختمان و پارامترهای ساختاری آن تا ۳۱ درصد کاهش یافته است. در این تحقیق عامل جهت‌گیری با دقت ۱۰ درجه بررسی شده و در نتیجه پژوهشگران برای نمونه مورد بررسی، جهت گیری شرقی-غربی را در حالی که ورودی ساختمان رو به جنوب باشد، به‌عنوان جهت بهینه پیشنهاد داده‌اند (Morodian & Nasrollahi, 2013).

پاتریانا^۷ و همکاران برای دستیابی به زاویه‌ای از جهت‌گیری یک خانه در اقلیم استوایی که کم‌ترین ساعات عدم آسایش حرارتی و کم‌ترین نیاز به روشنایی الکتریکی در طول سال

۳-۱- جهت‌گیری غالب ساختمان‌های مدارس در شهرهای مورد بررسی

برای محاسبه درصد تأثیر انتخاب جهت‌گیری مناسب در ذخیره سالیانه انرژی ابتدا کنکاشی برای یافتن جهت‌گیری غالب در این شش شهر به عمل آمد تا از تفاضل مقدار مصرف مربوط به آن از مقدار حداقل محاسبه شده و تقسیم عدد به دست آمده بر مقدار مصرف حداقل، به جواب دست یابیم. مطابق با فرمول زیر:

$$100 \times \frac{(\text{مصرف حداقل سالیانه محاسبه شده}) - (\text{مصرف سالیانه با توجه به جهت‌گیری غالب منطقه})}{(\text{مصرف حداقل سالیانه محاسبه شده})}$$

درصد تأثیر انتخاب جهت‌گیری مناسب بر ذخیره سالیانه انرژی

به این منظور از هر شهر تعداد ۲۰ تا ۳۰ نمونه مدرسه مورد بررسی قرار گرفت، که در جدول ۱، هشت نمونه از

جدول ۱: بررسی و تحلیل جهت‌گیری غالب مدارس موجود در شش شهر مورد مطالعه

| نام شهر | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | جهت غالب شهر |
|----------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| اصفهان | دبیرستان بهارآزادی | دبیرستان هراتی | دبیرستان منیر | دبیرستان مصطفی خمینی | دبیرستان نیلفروش‌زاده | دبیرستان ونوس | دبیرستان سادات | دبیرستان نظام الاسلام | نامشخص عدم تبعیت از رون اصفهانی |
| کشیدگی محور طولی (°) | ۱۱۷-۲۹۷ | ۱۲۳-۳۰۳ | ۹۰-۲۷۰ | ۹۶-۲۷۶ | ۹۶-۲۷۶ | ۹۰-۲۷۰ | ۶۹-۲۴۹ | ۴۶-۲۲۶ | |
| تصویر | | | | | | | | | |
| زاهدان | دبیرستان علامه حلی | دبیرستان دانشگاه پسرانه | دبیرستان دانشگاه دخترانه | دبیرستان امام موسی کاظم (ع) | دبیرستان مطهره | دبیرستان ولایت | دبیرستان فاطمیه | دبیرستان شاهد ۲ | نامشخص |
| کشیدگی محور طولی (°) | ۱۴۳-۳۲۳ | ۲۹۰-۱۱۰ | ۳-۱۸۳ | ۸۶-۲۶۶ | ۱۷۱-۳۵۱ | ۶۹-۲۴۹ | ۱۰۲-۲۸۲ | ۹۹-۲۷۹ | |
| تصویر | | | | | | | | | |
| شیراز | دبیرستان دخترانه زند | دبیرستان حضرت معصومه | دبیرستان توحید | دبستان دخترانه بعثت | دبیرستان باقرالعلوم | دبیرستان ابودر | دبیرستان خراسانیان | دبیرستان دخترانه دکتر حسابی | نامشخص |
| کشیدگی محور طولی (°) | ۱۹-۱۹۹ | ۹۸-۲۷۸ | ۱۴۶-۳۲۶ | ۲۰-۲۰۰ | ۱۲۰-۳۰۰ | ۱۴۴-۳۲۴ | ۹۲-۲۷۲ | ۹۸-۲۷۸ | |
| تصویر | | | | | | | | | |
| کرمان | دبیرستان امام مهدی (عج) | دبیرستان احمدی روشن | دبیرستان حسابی | دبیرستان حلی ۲ | دبیرستان پسرانه شاهد | دبیرستان فاطمیه | دبیرستان سید کمال موسوی | دبیرستان شریعتی کرمان | شمال شرق به جنوب غرب |
| کشیدگی محور طولی (°) | ۷۶-۲۵۶ | ۵۷-۲۳۷ | ۷۰-۲۵۰ | ۵۵-۲۳۵ | ۵۸-۲۳۸ | ۵۷-۲۳۷ | ۲۰-۲۰۰ | ۵۹-۲۳۹ | |

| نام شهر | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | جهت غالب شهر |
|----------------------|--------------------|------------------------|-------------------|-------------------------|------------------------|----------------------------|----------------------|------------------------------|---------------------------------|
| تصویر | | | | | | | | | |
| نام مدرسه | دبیرستان شاهد | دبستان پسرانه آیت | دبیرستان جیحون | دبیرستان دخترانه خلیلی | دبیرستان دخترانه مشکان | دبیرستان مشاهیر اعظم | دبیرستان شهید صدوقی | دبیرستان پسرانه امام حسین(ع) | نامشخص (عدم تبعیت از رون راسته) |
| کشیدگی محور طولی (°) | ۳۳۰-۱۵۰ | ۳۰۷-۱۲۷ | ۱۰۹-۲۸۹ | ۶۲-۲۴۲ | ۸-۱۸۸ | ۲۹۸-۱۱۸ | ۴۳-۲۲۳ | ۰-۱۸۰ | |
| تصویر | | | | | | | | | |
| نام مدرسه | دبیرستان ۱۷ شهریور | دبیرستان دخترانه خدیوی | دبیرستان شهید صدر | دبیرستان شهید زین الدین | دبیرستان شهید جَدَا | دبیرستان شهید جواد برقه ای | دبیرستان فرزانتگان ۲ | دبیرستان امام صادق (ع) | نامشخص |
| کشیدگی محور طولی (°) | ۱۱۶-۲۹۶ | ۳۸-۱۴۲ | ۵۴-۱۲۶ | ۱۲۶-۳۰۶ | ۲۰-۲۰۰ | ۱۰۷-۲۸۷ | ۹۶-۲۷۶ | ۹۴-۲۷۴ | |
| تصویر | | | | | | | | | |

Energy Plus, 2012; Crawley, Lawrie, Winkelmann, Buhl, Huang, Pedersen, Strand, Liesen, Fisher, Witte, & Glazer, 2001; Crawley, Hand, Kummert, & Griffith, 2008.

۳-۳- اقلیم و موقعیت

دانشمندان زیادی در جهان به ارائه تقسیم بندی‌های اقلیمی مختلف پرداخته‌اند از جمله می‌توان به کوپن^{۱۴} دانشمند روسی اشاره نمود که در سال ۱۸۸۴ براساس پوشش گیاهی پنج نوع اقلیم را در مقیاس جهانی معرفی کرده است. برای ایران نیز تقسیم بندی‌های مختلفی ارائه شده است که شناخته شده ترین آن‌ها پیشنهاد چهار نوع اقلیم معتدل و مرطوب (سواحل جنوبی دریای خزر) سرد (کوهستان‌های غربی) گرم و خشک (فلات مرکزی) و گرم و مرطوب (سواحل جنوبی) برای کشور است (Kasmaee, 2003, p. 82). شهرهای مورد مطالعه در این مقاله در منطقه بیابانی ایران واقع شده و با داشتن جمعیت ۵۲۹ هزار، تا یک میلیون و ۹۰۰ هزار نفر، پرجمعیت ترین شهرهای گرم و خشک ایران به حساب می‌آیند. در جدول ۲ طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا و جمعیت هر یک از این شهرها آورده شده است.

در نتیجه مشخص شد که در شرایط موجود فقط برای شهر کرمان می‌توان جهت‌گیری غالبی برای ساختمان‌های مدارس در نظر گرفت و در سایر شهرها چنین چیزی وجود نداشته و از جهت‌گیری سنتی (رون) نیز تبعیت نمی‌شود. از این رو در فرمول بالا برای همه شهرها به جز کرمان باید به جای مقدار اول در صورت کسر، مصرف حداکثر سالیانه (مربوط به نامناسب ترین مدل) را در نظر گرفت. به نظر می‌رسد در مناطق شهری در انتخاب جهت‌گیری ساختمان‌ها محدودیت‌هایی از قبیل وضع موجود خیابان‌های اطراف وجود داشته باشد، اما در مناطق روستایی به دلیل آن‌که چنین محدودیتی وجود ندارد می‌توان با دقت زیاد جهت بنا را مشخص نمود.

۳-۲- نرم افزار شبیه سازی

در تحقیق حاضر برای محاسبات انرژی مصرفی سالیانه از نرم افزار دیزاین بیلدر^{۱۳} استفاده شده است. این نرم افزار امکان تجزیه و تحلیل انرژی و بار حرارتی ساختمان را به وجود آورده و مدل‌های گرمایشی، سرمایشی، روشنایی، تهویه و آب مصرفی ساختمان را شبیه سازی می‌کند. این نرم افزار یک رابط کاربری گرافیکی است که از موتور محاسبه انرژی پلاس^{۱۳} استفاده می‌کند. انرژی پلاس یکی از شناخته شده ترین موتورهای شبیه سازی و محاسبه انرژی است که توسعه آن از سال ۱۹۹۶ با حمایت مالی دپارتمان انرژی ایالات متحده شروع شده است (& Simulation

جدول ۲: مشخصات عمومی شهرهای مورد مطالعه

| نام شهر | عرض جغرافیایی | طول جغرافیایی | ارتفاع از سطح دریا (متر) | جمعیت (۱۳۹۵) (نفر) |
|---------|---------------|---------------|--------------------------|--------------------|
| اصفهان | ۳۲°۳۱'۳" E | ۵۱°۴۲'۲۲" N | ۱۵۵۰ | ۱۹۶۱۲۶۰ |
| زاهدان | ۶۰°۵۴'۱" E | ۲۹°۲۸'۲۰" N | ۱۳۷۰ | ۵۸۷۷۳۰ |
| شیراز | ۵۲°۳۶'۹" E | ۲۹°۳۳'۴۱" N | ۱۴۸۸ | ۱۵۶۵۵۷۲ |
| قم | ۵۳°۵۱'۱۹" E | ۳۴°۴۶'۲۹" N | ۸۷۹.۱ | ۱۲۰۱۱۵۸ |
| کرمان | ۵۶°۵۷'۴۵" E | ۳۰°۱۵'۲۲" N | ۱۷۵۴ | ۵۳۷۷۱۸ |
| یزد | ۴۸°۳۱'۲۳" E | ۳۶°۳۹'۳۷" N | ۱۲۳۰.۲ | ۵۲۹۶۷۳ |

(Iran's Statistical Yearbook, 2018)

۳-۴- اطلاعات هواشناسی

برای تهیه فایل اقلیمی ساعتی شهرهای زاهدان، کرمان و قم با فرمت epw (که در سایت انرژی پلاس موجود نیستند)، از داده‌های اندازه‌گیری شده توسط سازمان هواشناسی، از سال ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۷ استفاده شده است. اطلاعات سازمان هواشناسی برای هر سه ساعت موجود هستند، اما برای تهیه فایل‌های مذکور لازم است پس از انتخاب ماه‌های مورد استفاده برای یک سال، داده‌ها برای هر یک ساعت تهیه شوند. از این رو برای به‌دست آوردن داده‌های مربوط به هر دوساعت گزارش نشده، از روش میانبایی لاگرانژ بین سه داده گزارش شده به صورت زیر استفاده شده است.

اطلاعات ساعتی هوای^{۱۵} بیرون ساختمان یکی از مهم‌ترین پارامترها در تبیین دمای داخلی فضاها و میزان انرژی مورد نیاز برای تأمین شرایط آسایش حرارتی است. سازمان انرژی امریکا فایل اطلاعات اقلیمی بیش از ۲۱۰۰ منطقه از جهان را در فرمت epw و ITMY به صورت رایگان در اختیار کاربران می‌گذارد که شش شهر بندر عباس، تهران، تبریز، شیراز، اصفهان و یزد از کشور ایران نیز جزو آن‌ها هستند. برای این مقاله فایل‌های اطلاعات ساعتی هوای یزد، شیراز و اصفهان از سایت انرژی پلاس با فرمت ITMY به صورت رایگان دانلود شدند.^{۱۶}

جدول ۳: لیست داده‌ها برای میانبایی لاگرانژ

| مقدار پارامتر | ساعات | مقدار پارامتر | ساعات | مقدار پارامتر | ساعات |
|-----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|
| F _۹ | ۹ | F _۵ | ۵ | F _۱ | ۱ |
| F _{۱۰} | ۱۰ | F _۶ | ۶ | F _۲ | ۲ |
| F _{۱۱} | ۱۱ | F _۷ | ۷ | F _۳ | ۳ |
| F _{۱۲} | ۱۲ | F _۸ | ۸ | F _۴ | ۴ |

میانبایی شده یا برای پیدا کردن مقدار داده‌های F_۸ و F_۷ از بین داده‌های F_۹، F_{۱۰}، F_{۱۱} و F_{۱۲} و به همین ترتیب برای کل سال استفاده می‌شود. همچنین برای پیدا کردن مقدار داده‌های F_۷ و F_۸ از بین داده‌های F_۳، F_۴ و F_۵ میانبایی انجام شده است. روش میانبایی لاگرانژ برای سه داده به صورت زیر است:

بدین منظور، ابتدا تمام داده‌های موجود (داده‌های بولد شده در جدول ۳) در یک جدول و به صورت ساعتی از (۱ تا ۸۷۶۰) ردیف شده، سپس داده‌های غیر موجود (داده‌های بولد نشده در جدول ۳) با میانبایی لاگرانژ از سه داده موجود محاسبه شده است. به‌طور مثال برای تعیین مقدار داده‌های F_۴ و F_۵ از بین داده‌های F_۳، F_۶ و F_۹

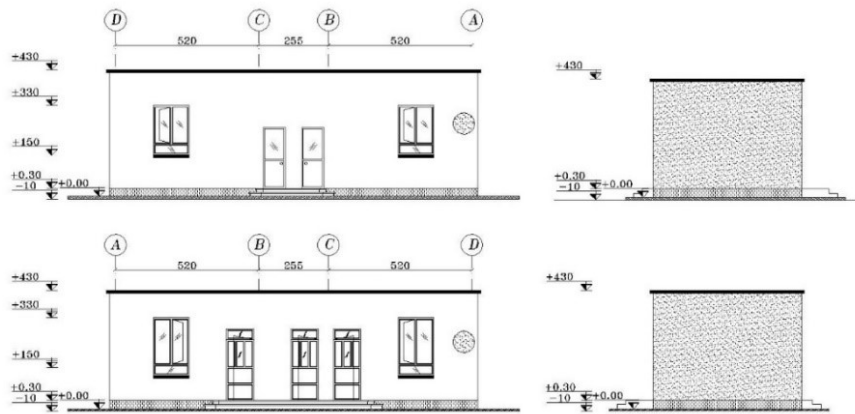
جدول ۴: انطباق داده‌ها در میانبایی لاگرانژ

| X | X ₀ | X ₁ | X ₂ |
|---|----------------|----------------|----------------|
| F | F ₀ | F ₁ | F ₂ |

$$p(x) = L_0 F_0 + L_1 F_1 + L_2 F_2$$

$$L_0(x) = \frac{(x-x_1)(x-x_2)}{(x_0-x_1)(x_0-x_2)}, \quad L_1(x) = \frac{(x-x_0)(x-x_2)}{(x_1-x_0)(x_1-x_2)}, \quad L_2(x) = \frac{(x-x_0)(x-x_1)}{(x_2-x_0)(x_2-x_1)}$$

شکل ۳: نماها



(Archive of School Renovation Organization Documents)

در جدول ۵ اطلاعات مربوط به تعداد نفرات در هر مترمربع (چگالی اشغال فضا)، جریان هوای تازه به ازای هر نفر، میزان مصرف برق تجهیزات در هر مترمربع (چگالی مصرف تجهیزات) بر اساس استاندارد اشرای^{۱۸} برای فضاهای مختلف ساختمان آورده شده‌اند (ASHRAE, 2007; 2009).

جدول ۵: فضاها و اطلاعات مربوطه

| نام فضا | مساحت کف (m ²) | حجم فضا (m ³) | تراکم جمعیت (people/m ²) | روشنایی لازم (lux) | مصرف تجهیزات (w/m ²) | هوای تازه لازم (L/s-person) |
|-----------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------------------|--------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| کلاس ۱ | ۲۳.۵ | ۷۲.۲۵ | ۰.۸۷۵ | ۳۰۰ | ۴.۷۰ | ۵.۵ |
| کلاس ۲ | ۲۳.۵ | ۷۵.۱۲ | ۰.۸۷۵ | ۳۰۰ | ۴.۷۰ | ۵.۵ |
| اتاق معلم | ۷.۸ | ۲۴.۶۵ | ۰.۲۳ | ۲۰۰ | ۱۸.۵۴ | ۱۰ |
| سرویس بهداشتی ۱ | ۱.۲۹ | ۳.۹۸ | ۰.۱۱۲۴ | ۱۵۰ | ۵.۴۸ | ۱۲ |
| سرویس بهداشتی ۲ | ۱.۲۹ | ۳.۹۸ | ۰.۱۱۲۴ | ۱۵۰ | ۵.۴۸ | ۱۲ |

۳-۵-۱- اجزاء ساختمان

نقشه‌ها، جزئیات، نوع مصالح دیوارها، سقف‌ها و سایر اجزای ساختمان از سازمان نوسازی مدارس دریافت شدند. با توجه به آن‌که در شرایط فعلی اجرای این نقشه، در لایه‌های سقف و دیوار عایق حرارتی در نظر گرفته نمی‌شود، در این تحقیق دقیقاً همان مصالح و شرایط موجود را در نظر گرفته شده است. زیرا در اینجا قصد نگارندگان مقایسه مدل‌ها و تمرکز بر روی عامل جهت‌گیری بنا است. در واقع

بهبود کردن جنس مصالح دیوارها، نوع عایق بندی سقف، لایه‌های ساختاری به‌کار رفته در سقف، نسبت پنجره به سطح دیوار، ارتفاع پنجره از کف تمام شده داخلی، جهت‌گیری خود پنجره‌ها، عمق کلاس‌ها، طول بهینه سایبان‌ها و غیره می‌تواند موضوع پژوهش‌های بعدی باشد. در جدول ۶ لایه‌های مصالح به‌کاررفته در دیوارها، سقف‌ها و شیشه‌های پنجره مدل‌ها و ضرایب تبادل حرارتی^{۱۹} محاسبه شده برای آن‌ها آورده شده است.

جدول ۶: لایه‌های مصالح به‌کاررفته در مدل‌ها

| Section | U-Value W/(m ² k) | لایه‌های مصالح |
|------------------------------|------------------------------|--|
| External Walls: | ۱.۷۲۵ | دیوارهای خارجی |
| Brickwork, Outer Leaf (30mm) | | آجر تزئینی جداره خارجی (۳۰ میلی‌متر) |
| Mortar (10 mm) | | ملات ماسه سیمان (۱۰ میلی‌متر) |
| Brick (225 mm) | | آجر فشاری (۲۲۵ میلی‌متر) |
| Gypsum Plastering (20mm) | | گچ و رنگ برای اندود داخل (۲۰ میلی‌متر) |
| Internal Partitions: | ۱.۶ | دیوارهای جداکننده داخلی |
| Gypsum Plasterboard(25 mm) | | تایل گچی (۲۵ میلی‌متر) |
| Air Gap (100mm) | | هوا (۱۰۰ میلی‌متر) |
| Gypsum Plasterboard (25 mm) | | تایل گچی (۲۵ میلی‌متر) |

| Section | U-Value W/(m ² k) | لايه‌های مصالح |
|--|------------------------------|--|
| Roof: Asphalt (20mm) Mortar (10mm) Bitumen/Felt Layers (10mm) Mortar (10mm) Mineral Fibre (100 mm) Cast Concrete (250mm) Mortar (10mm) Gypsum Plastering (10mm) | ۰.۵۷۰ | سقف آسفالت (۲۰ میلی‌متر) مالات ماسه سیمان (۱۰ میلی‌متر) قیبر و گونی به‌عنوان عایق رطوبتی (۱۰ میلی‌متر) مالات ماسه سیمان (۱۰ میلی‌متر) پوکه معدنی (۱۰۰ میلی‌متر) بتن مسلح (۲۵۰ میلی‌متر) مالات ماسه سیمان (۱۰ میلی‌متر) گچ و رنگ برای اندود داخل (۱۰ میلی‌متر) |
| Glazing: Generic BLUE (6mm) AIR (13mm) Generic CLEAR (6mm) | ۲.۶۶ | شیشه‌ها ۶ میلی‌متر جداره خارجی آبی رنگ ۱۳ میلی‌متر لایه میانی هوا ۶ میلی‌متر جداره داخلی شفاف |

بررسی شده است.

۳-۶- پارامترهای شبیه‌سازی

تنظیماتی که در نرم‌افزار دیزاین بیلدر جهت انجام محاسبات نیاز است، عبارت‌اند از: تعریف دقیق اجزاء ساختمان، برنامه زمانی استفاده از ساختمان، فایل اقلیمی با پسوند (epw) یا (ITMY) با توجه به اطلاعات هواشناسی ساعتی هر منطقه، سیستم‌های HVAC و برنامه زمانی استفاده از آن‌ها، نوع فعالیت در حال انجام در هر Zone و برنامه زمانی استفاده از آن، دماهای گرمایش و سرمایش لازم برای آسایش حرارتی، میزان نور مورد نیاز و چگالی تعداد نفرات (Occupation) برای هر یک از Zone ها که برخی از آن‌ها در جدول ۵ و بخش ۳-۵ توضیح داده شده است. در ادامه به مابقی اشاره می‌شود.

۳-۶-۱- برنامه زمانی اشغال ساختمان

با توجه به برنامه تحصیلی سالانه مدارس در ایران، به خصوص در مناطق گرمسیر، برای به‌دست آوردن میزان استفاده روزانه از ساختمان و برنامه زمانی سالانه استفاده از سیستم‌های آسایش حرارتی نمی‌توان از استانداردهایی مانند ASHRAE بهره گرفت. مدارس روستایی مناطق گرمسیر در ایران از شنبه تا چهارشنبه، از ساعت ۷ تا ۱۷ استفاده می‌شوند. مدارس نقاط گرمسیر در ایران از اول ژوئن تا ۲۰ سپتامبر برای تعطیلات تابستانی و از ۱۸ مارس تا ۵ آوریل برای عید نوروز تعطیل هستند^{۲۶} و استفاده‌ای از آن‌ها نمی‌شود. در این بازه زمانی به‌طور کلی سیستم‌های سرمایش و گرمایش خاموش بوده و روشنایی مصنوعی نیز به میزان حداقل در ساختمان استفاده می‌شود. در سایر ماه‌های سال از ساعت ۱۷ به بعد و همچنین روزهای پنج شنبه و جمعه در ساختمان فعالیتی صورت نمی‌گیرد به این خاطر کم‌ترین میزان روشنایی و نیز شرایط حرارتی مطابق با دمای بازگشت سرمایشی یا گرمایشی^{۲۷} برای ساختمان در نظر گرفته می‌شود. با توجه به آن‌که نرم‌افزار دیزاین بیلدر و موتور انرژی پلاس برای ماه‌های میلادی نوشته شده است،

ضریب تبادل حرارتی محاسبه شده برای آن (W/m²-K) ۰.۵۷ است. شیشه‌های خارجی از نوع دوجداره به ضخامت شش میلی‌متر، با ۱۳ میلی‌متر لایه میانی از هوا است. ضریب تبادل حرارتی آن‌ها (W/m²-K) ۲.۷۸۵ و ضریب دریافت حرارت آن‌ها از نور خورشید^{۲۰} (SHGC) ۰.۴۹۷ است. در جدول ۹ مشخصات شیشه پنجره‌ها آورده شده است. فریم پنجره‌ها از ورق‌های آلومینیومی به ضخامت دو میلی‌متر ساخته شده‌اند که در لایه میانی آن‌ها پلی وینیل کلراید (PVC) به‌عنوان ترمز حرارتی به ضخامت پنج میلی‌متر قرار داده شده است. ضریب تبادل حرارتی این نوع فریم پنجره (W/m²-K) ۴.۷۱۹ است. در این پروژه با توجه به تحقیقات قبلی انجام شده توسط محققان، روشنایی لازم برای کلاس‌های درس در ارتفاع ۸۰ سانتی متر از کف اتاق حداقل ۳۰۰ لوکس، اتاق معلم ۲۰۰ لوکس و سرویس‌های بهداشتی ۱۵۰ لوکس^{۲۱} در نظر گرفته شده است (Mahlaba- ni, Faizi, & Khakzand, 2011; Rea, 2000). در جدول ۵ چگالی روشنایی مورد نیاز برای اتاق‌های مختلف بر حسب واحد لوکس آورده شده است. برای تأمین کمبود روشنایی در ساعاتی که نور روز کم است و یا هوای بیرون ابری است، از لامپ‌های ال ای دی با کنترل خطی^{۲۲} استفاده شده است. مقدار شکست تابشی^{۲۳} این لامپ‌ها ۰.۳۷ و شکست بصری^{۲۴} آن‌ها ۰.۱۸ و میزان تراکم نور نرمال شده^{۲۵} (W/m²-100 lux) ۲.۵ است. برای لامپ‌ها امکان کنترل خطی روشنایی نیز در نظر گرفته شده است و شدت تابش آن‌ها به صورت خودکار در حدی تنظیم می‌شود که فقط کمبود روشنایی موجود در اتاق را با توجه به میزان نور روز جبران کند. در، جدول ۱۰ ویژگی‌های لامپ‌های روشنایی مذکور آورده شده است.

در جدول ۱۱ ویژگی‌های حرارتی دیوارهای خارجی، سقف و فریم پنجره‌های خارجی استفاده شده در مدل‌ها مشخص شده است. البته به‌دست آوردن شرایط بهینه شیشه‌ها، پروفیل پنجره‌ها، ابعاد و شکل سایبان‌ها جهت رسیدن به بیش‌ترین میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی سالیانه، موضوعات تحقیقات بعدی است که فعلاً شرایط موجود

به ناچار در این مقاله از ماه‌های شمسی استفاده نشده است، اما زمان‌ها به‌طور کلی تطبیق داده شده است.

۳-۶-۲- سیستم آسایش حرارتی و تهویه

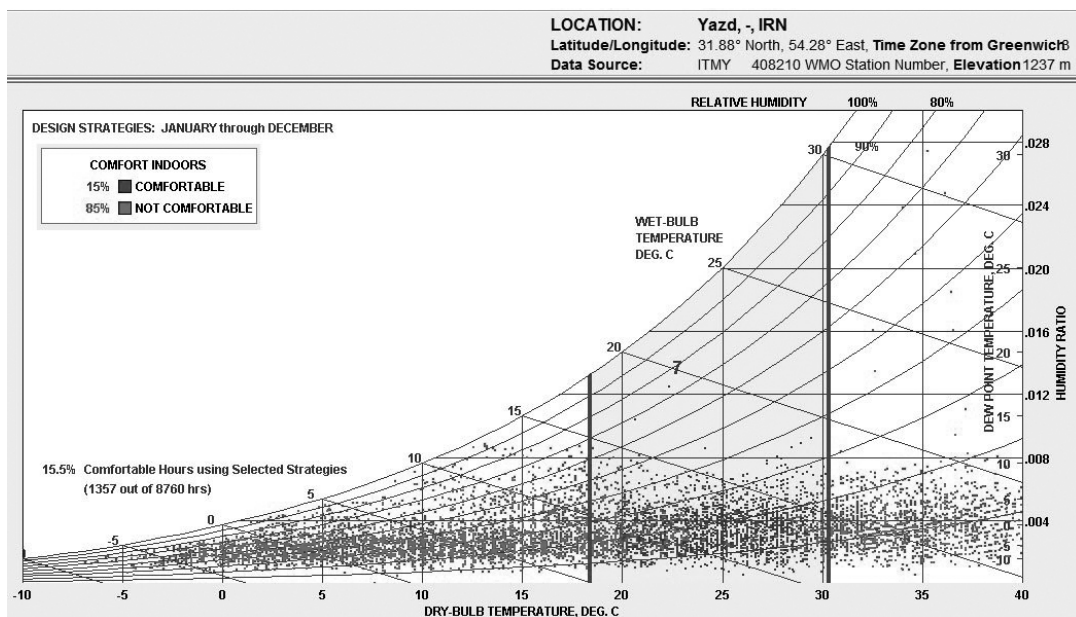
با توجه به مساحت ساختمان و مسائلی همچون دشوار بودن انتقال سوخت‌های فسیلی به مناطق روستایی، لزوم کم کردن احتمال آتش سوزی در مدارس و نیز کم کردن میزان تولید دی‌اکسید کربن، برای سرمایش و گرمایش این نوع ساختمان سیستم اسپلیت بدون تهویه مکانیکی در نظر گرفته شده است. بازده فصلی^{۲۸} گرمایشی این سیستم ۲.۳۵ و بازده فصلی سرمایشی آن ۱.۸۳ است. لازم به ذکر است که در این تحقیق هدف یافتن جهت‌گیری بهینه بوده و روش به‌کارگرفته شده، مقایسه مدل‌های مختلف است و بازده سیستم سرمایشی و گرمایشی در نتیجه نهایی نقشی ندارد. دمای گرمایش و سرمایش در این ساختمان جهت تأمین آسایش حرارتی ۲۱ و ۲۴ درجه سانتی‌گراد و دمای بازگشت گرمایشی^{۲۹} ۱۲ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته

شده است.

۳-۶-۳- برنامه زمانی استفاده از سیستم‌های آسایش حرارتی

در طراحی ساختمان و فناوری آن، موقعیت آسایش ذهنی و فکری انسان را که در اثر عوامل مختلفی از جمله دما و رطوبت و سرعت هوای مناسب حاصل می‌شود، شرایط آسایش حرارتی می‌نامند. عقیده اکثر محققین بر آن است که «خنثی بودن حرارتی» تعبیر دقیق‌تری از آسایش حرارتی است. یعنی شرایطی که در آن انسان احساس سرما، گرما، ناراحتی موضعی ناشی از تابش نامتقارن، کوران هوا، کف سرد اتاق، لباس ناهمگون و غیره نداشته باشد (Watson & Labs, 2010, p. 29). محققین دانشگاه کانزاس به این نتیجه رسیده‌اند که افرادی که لباس سبک معمولی ادارات را می‌پوشند در محیطی با دمای خشک ۷۹ درجه فارنهایت و رطوبت نسبی ۵۰ درصد و سرعت هوای کم‌تر از ۳۵ فوت در دقیقه حداکثر رضایت را دارند (ASHRAE, 1981).

شکل ۴: منحنی سایکومتريک شهر یزد بر اساس استاندارد



(Output of Climate Consultant Software, ASHRAE 55-2010)

۱۶.۱، ۱۶، ۱۴.۶، ۱۷.۳ و ۱۴.۹ درصد از کل ساعات سال شرایط آسایش حرارتی برقرار است. برای کوتاه‌تر شدن مقاله منحنی سایکومتريک پنج شهر دیگر در اینجا آورده نشده است.

در مجموع آسایش حرارتی به عوامل زیادی از جمله دمای هوا، رطوبت، جریان هوا، نوع لباس، متوسط دمای تابشی، و غیره بستگی دارد. نظر به آن‌که برای شهرهای ایران استاندارد تصویب شده‌ای وجود ندارد، در اینجا با توجه به اطلاعات اقلیمی موجود، برنامه زمانی سالیانه استفاده از سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی را مشخص نموده‌ایم. برای این کار با توجه به اطلاعات اقلیمی بین سال‌های ۲۰۱۳

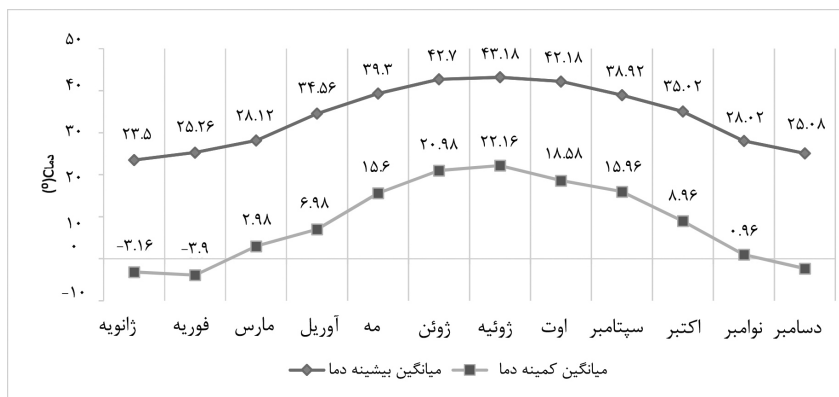
شکل ۴ نشان‌دهنده منحنی سایکومتريک شهر یزد بر اساس استاندارد ASHRAE 55-2010 از اول ژانویه تا پایان دسامبر است. محور طولی درجه حرارت اندازه‌گیری شده در حباب خشک^{۳۰} به درجه سلسیوس و محور عمودی رطوبت نسبی را به درصد نشان می‌دهد. نقاط قرمز رنگ نشان‌دهنده ساعاتی هستند که آسایش حرارتی وجود ندارد و سبز برعکس. با توجه به این شکل مشخص می‌شود مجموع ساعات آسایش حرارتی در طول سال برای شهر یزد ۱۵.۵ درصد کل ساعات سال یعنی ۱۳۵۷ ساعت از کل ۸۷۶۰ ساعت سال است. به همین صورت برای شهرهای اصفهان، زاهدان، شیراز، قم و کرمان مقادیر

صرف نظر شده و بر اساس نتایج بدست آمده شکل ۵ ترسیم شده است. با تجزیه و تحلیل این شکل مشخص می‌شود که برای شهر یزد، فقط در ماه‌های آپریل، می و اکتبر نیاز به سیستم سرمایشی وجود داشته و سیستم گرمایشی در ماه می نیاز نیست. در بازه زمانی تعطیلات تابستانی (۱ ژوئن تا ۲۰ سپتامبر) و عید نوروز (۱۸ مارس تا ۵ آوریل)، سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی خاموش است.

تا ۲۰۱۷ برای هریک از شش شهر به صورت زیر عمل شده است. در اینجا به‌عنوان نمونه به تحلیل اطلاعات شهر یزد اشاره می‌شود:

برای تصمیم‌گیری در مورد برنامه زمانی استفاده از سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی، برای شهر مفروض یزد، حداقل و حداکثر دماهای ماهیانه از ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۷ در جدولی لیست شده و میانگین ۵ عدد گزارش شده برای هرماه محاسبه شده است^{۲۱}. در اینجا از آوردن این جداول

شکل ۵: میانگین بیشینه و کمینه دمای یزد از ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۷ (ناحیه مشخص شده محدوده آسایش حرارتی است).



یا خاموش بودن سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی در ماه‌های مختلف سال مشخص شده است.

به روش مشابه برای پنج شهر دیگر نیز این کار انجام شد. در جدول ۷، میانگین بیشینه و کمینه دما از ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۷ مربوط به شش شهر مورد مطالعه و وضعیت روشن

جدول ۷: میانگین بیشینه و کمینه دمای پنج سال گذشته شش شهر و وضعیت سیستم‌های آسایش حرارتی در ماه‌های سال

| | ژانویه | فوریه | مارس | آوریل | مه | ژوئن | ژوئیه | اوت | سپتامبر | اکتبر | نوامبر | دسامبر | |
|-------------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|--------|--------|--------|
| میانگین بیشینه دما در پنج سال گذشته | ۱۸.۴۸ | ۲۰.۶۴ | ۲۳.۸۴ | ۲۹.۸۴ | ۳۴.۷۶ | ۳۹.۶ | ۴۰.۸۴ | ۳۹.۲۸ | ۳۵.۸۴ | ۳۱.۶۸ | ۲۲.۸۴ | ۲۱.۰۴ | اصفهان |
| | ۲۰.۶ | ۲۱.۴ | ۲۴.۶ | ۳۱.۵۲ | ۳۶.۶ | ۴۰ | ۴۱.۱۶ | ۴۰.۰۸ | ۳۷.۰۸ | ۳۲.۵۶ | ۲۵.۵۶ | ۲۱.۸۸ | شیراز |
| | ۲۴.۱۰ | ۲۴.۵۸ | ۲۸.۲۴ | ۳۵.۰۸ | ۳۹.۳۴ | ۴۱.۷۸ | ۴۱.۳ | ۳۸.۹۴ | ۳۶.۹۲ | ۳۴.۹۶ | ۲۷.۴ | ۲۶.۰۸ | زاهدان |
| | ۱۹.۶۴ | ۲۳.۰۲ | ۲۷.۲ | ۳۴.۸۶ | ۳۸.۹۸ | ۴۳.۷۸ | ۴۵.۵۶ | ۴۳.۶۶ | ۴۰.۸۸ | ۳۶.۳۶ | ۲۵.۸۶ | ۱۹.۸۶ | قم |
| | ۲۲.۱۴ | ۲۳.۱۴ | ۲۵.۶۲ | ۳۱.۹۴ | ۳۶.۳۶ | ۳۹.۵۲ | ۳۹.۶۶ | ۳۸.۲۸ | ۳۵.۷۶ | ۳۲.۸۲ | ۲۷ | ۲۴.۶۶ | کرمان |
| | ۲۳.۵ | ۲۵.۲۶ | ۲۸.۱۲ | ۳۴.۵۶ | ۳۹.۳ | ۴۲.۷ | ۴۳.۱۸ | ۴۲.۱۸ | ۳۸.۹۲ | ۳۵.۰۲ | ۲۸.۰۲ | ۲۵.۰۸ | یزد |
| میانگین کمینه دما در پنج سال گذشته | -۸.۱۲ | -۵.۸۴ | -۰.۳۲ | ۳.۸۴ | ۱۰.۱۲ | ۱۶.۴۴ | ۱۸.۹۲ | ۱۵.۷۲ | ۱۱.۵۶ | ۵.۳۲ | -۳.۰۴ | -۵.۷۲ | اصفهان |
| | -۴.۵۲ | -۳.۸۸ | -۰.۵۶ | ۴.۱۶ | ۹.۲۸ | ۱۳.۴۸ | ۱۷.۳۲ | ۱۵.۳۶ | ۱۱.۳۶ | ۶.۴۴ | ۰.۲ | -۴.۰۴ | شیراز |
| | -۷.۷ | ۴.۱۴ | ۰.۲۲ | ۶.۰۴ | ۱۲.۸۴ | ۱۵ | ۱۶.۵۲ | ۱۳.۷ | ۱۰.۵۰ | ۵.۲ | -۱.۸۸ | -۸.۴۶ | زاهدان |
| | -۵.۶ | -۴.۹۲ | -۰.۰۲ | ۳.۵۲ | ۱۲.۲ | ۱۶.۱۶ | ۱۹.۸۶ | ۱۶.۵۲ | ۱۱.۸۴ | ۴.۷۴ | -۳.۰۶ | -۵.۱۸ | قم |
| | -۱۱.۵۸ | -۷.۱۶ | -۲.۵۶ | ۳.۲۲ | ۸.۰۸ | ۱۱.۷۴ | ۱۲.۶۲ | ۹.۲۴ | ۸.۲۲ | ۲.۶۸ | -۵.۱ | -۱۰.۰۶ | کرمان |
| | -۳.۱۶ | -۳.۹ | ۲.۹۸ | ۶.۸۶ | ۱۵.۶ | ۲۰.۹۸ | ۲۲.۱۶ | ۱۸.۵۸ | ۱۵.۹۶ | ۸.۹۶ | ۰.۹۶ | -۲.۳۴ | یزد |
| گرمایش | + | + | + | + | + | - | - | - | - | - | + | + | اصفهان |
| | + | + | + | + | + | - | - | - | - | - | + | + | شیراز |
| | + | + | + | + | + | - | - | - | - | - | + | + | زاهدان |
| | + | + | + | + | + | - | - | - | - | - | + | + | قم |
| | + | + | + | + | + | - | - | - | - | - | + | + | کرمان |
| | + | + | + | + | + | - | - | - | - | - | + | + | یزد |

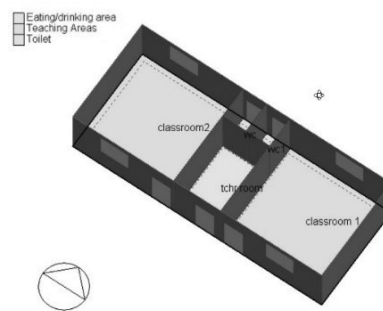
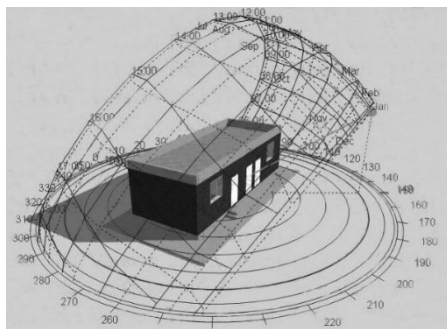
| ژانویه | فوریه | مارس | آوریل | مه | ژوئن | ژوئیه | اوت | سپتامبر | اکتبر | نوامبر | دسامبر |
|--------|-------|------|-------|----|------|-------|-----|---------|-------|--------|--------|
| اصفهان | - | - | + | + | - | - | - | - | + | - | - |
| شیراز | - | - | + | + | - | - | - | - | + | - | - |
| زاهدان | - | - | + | + | - | - | - | - | + | - | - |
| قم | - | - | + | + | - | - | - | - | + | - | - |
| کرمان | - | - | + | + | - | - | - | - | + | - | - |
| یزد | - | - | + | + | - | - | - | - | + | - | - |

۴. روش

در تحقیق حاضر با توجه به اعتبار نرم‌افزار دیزاین بیلدر که پیش از این توسط پژوهشگران به اثبات رسیده است، از انجام اندازه‌گیری‌های میدانی صرف نظر نموده و برای دست یافتن به بهترین جهت‌گیری بنا در شهرهای مذکور، ابتدا با ویژگی‌هایی که در بالا ذکر شد شبیه‌سازی

کامپیوتری ساختمان انجام شد. سپس برای هر کدام از این شهرها، محور طولی مدل کامپیوتری ساخته شده در جهت عقربه‌های ساعت (جهت جغرافیایی) با فواصل پنج درجه‌ای چرخانده شده و برای هر مدل شبیه‌سازی انرژی انجام و نتایج یادداشت شد^{۳۲}. برای هر شهر ۷۲ بار و در مجموع ۴۳۲ بار شبیه‌سازی انرژی انجام شده است.

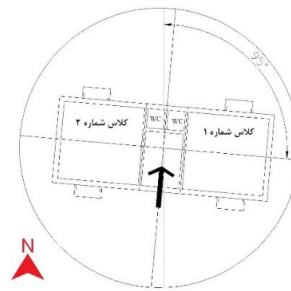
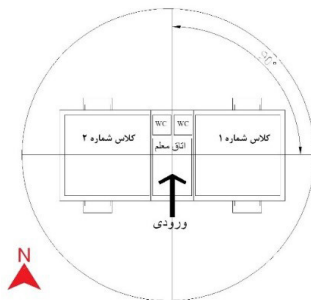
شکل ۶: ساختمان شبیه‌سازی شده در زمان مفروض ۱۵ دسامبر ساعت ۱۰ صبح



مقادیر حداقل پیدا شده و یک بازه ۱۰ تا ۲۰ درجه‌ای برای هر شهر به‌عنوان محدوده مصرف حداقلی انرژی مشخص شد. سپس برای دقت بیشتر در یافتن جهت‌گیری بهینه بنا این محدوده‌ها برای هر شهر مجدداً با مدل‌های دارای اختلاف یک درجه شبیه‌سازی شده و مقادیر انرژی مصرفی سالانه آن‌ها با یکدیگر مقایسه شدند.

مقادیر مجموع انرژی مصرفی سالانه^{۳۳} برای ۴۳۲ مدل شبیه‌سازی شده در شهرهای اصفهان، شیراز، زاهدان، قم، کرمان و یزد بر حسب کیلووات ساعت در جدولی نوشته شده است که در اینجا از آوردن آن صرف نظر نموده‌ایم^{۳۴}. شکل ۹ بر اساس این مقادیر بدست آمده به عنوان نمونه برای شهر یزد ترسیم شده است. از میان اعداد به‌دست آمده

شکل ۷: چرخش ۵ درجه‌ای هر مدل نسبت به مدل قبلی (مدل‌های شماره ۱۹ و ۲۰ شکل شماره ۹)



آمده مجموع انرژی مصرفی سالانه ۷۲ مدل شبیه‌سازی شده با زوایای چرخش محور طولی به اختلاف پنج درجه در جهت عقربه‌های ساعت برای شش شهر مختلف ترسیم

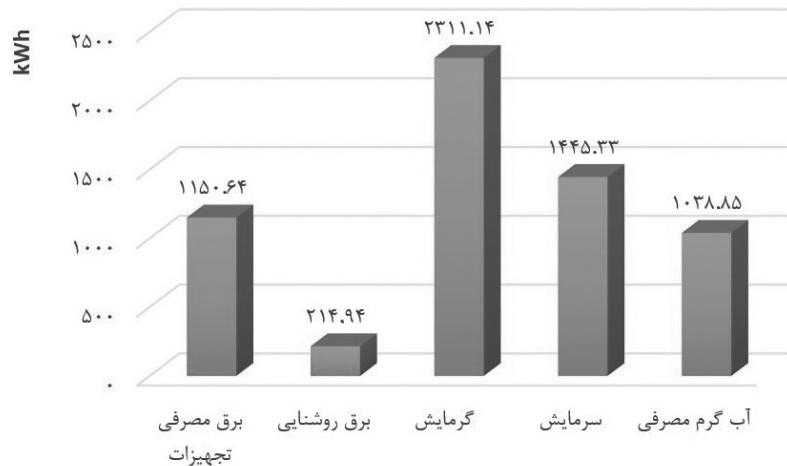
۵. تجزیه و تحلیل

همان‌طور که اشاره شد شکل ۹ بر اساس مقادیر به‌دست

وسایل برقی، انرژی لازم برای سرمایش و گرمایش سالانه و آب گرم مصرفی، که در شکل ۸ این مقادیر به تفکیک برای مدل محور طولی ۹۰ درجه در شهر یزد نشان داده شده‌اند.

شده است. لازم است یادآوری کنیم که در واقع مجموع انرژی مصرفی سالانه عبارت‌اند از: مجموع مقادیر انرژی سالانه لازم برای روشنایی داخل ساختمان، تجهیزات و

شکل ۸: جزییات انرژی مصرفی سالانه ساختمان در شرایط زاویه محور طولی ۹۰ درجه، برای شهر یزد

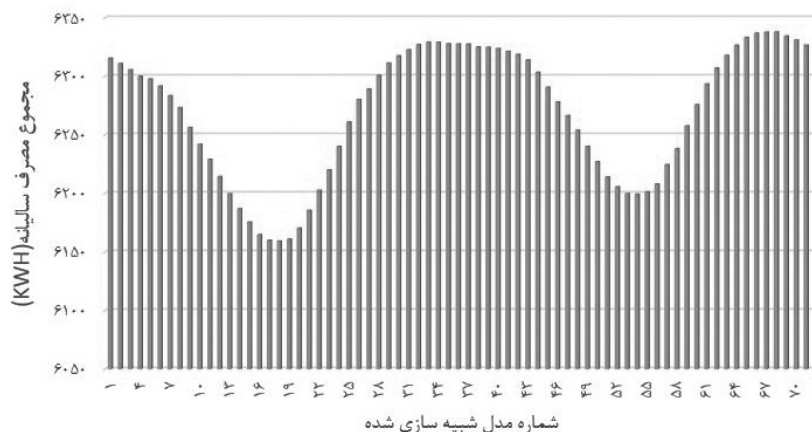


مصرف انرژی سالیانه در میان ۷۲ مدل بررسی شده هستند. با دقت در شکل ۹ مشخص می‌شود که در دو محدوده روند کاهشی وجود دارد و محدوده ذکر شده (از ۷۰ درجه تا ۱۰۵ درجه) محدوده‌ای است که در آن کم‌ترین میزان مصرف انرژی مشاهده می‌شود. شکل ۱۰ نشان دهنده مقادیر انرژی مصرفی سالانه مدل‌های شماره ۱۵ تا ۲۲ است.

در اینجا روش تجزیه و تحلیل اطلاعات و دستیابی به نتایج برای یک شهر به‌عنوان نمونه بیان شده و برای سایر شهرها نیز به همین صورت عمل شده است.

با بررسی مقادیر مجموع مصرف انرژی سالیانه برای شهر یزد مشخص می‌شود که هشت مدل شبیه‌سازی شده به شماره‌های ۱۵ تا ۲۲ که مربوط به زوایای ۷۰ تا ۱۰۵ درجه محور طولی ساختمان بوده، دارای کم‌ترین مقادیر

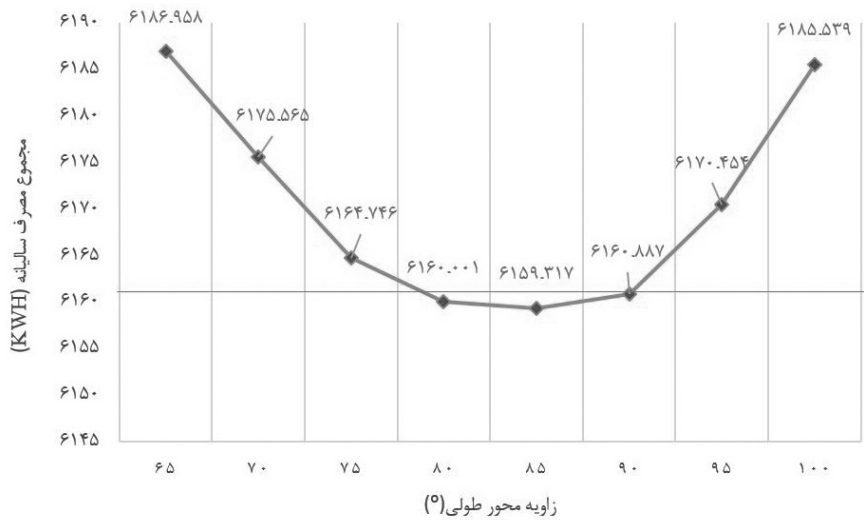
شکل ۹: مجموع مصرف سالیانه ۷۲ مدل شبیه‌سازی شده در جهت‌های مختلف برای شهر یزد



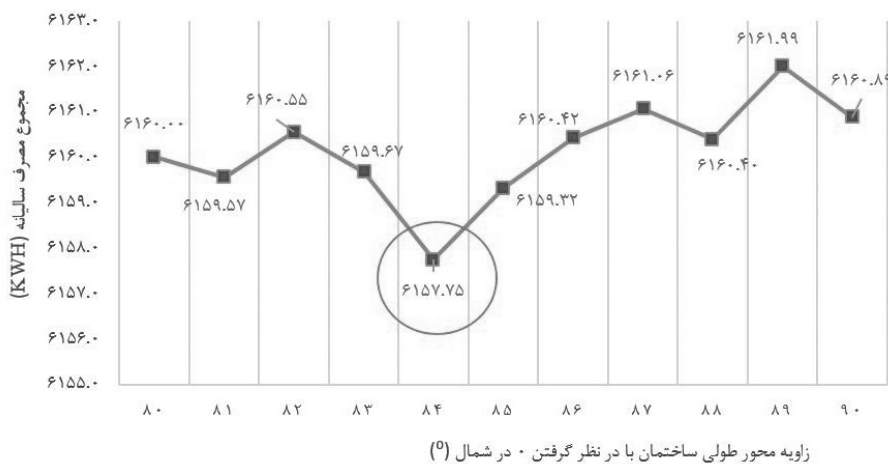
هر مدل نسبت به مدل قبلی خود به اندازه یک درجه در جهت عقربه‌های ساعت (جهت جغرافیایی) چرخانده شده است. نتایج مربوط به این ۱۱ مدل نهایی در شکل ۱۱ قابل مشاهده هستند.

از تحلیل شکل اخیر چنین بر می‌آید که برای شهر یزد در محدوده جهت‌گیری ۸۰ تا ۹۰ درجه محور طولی، انرژی مصرفی سالانه کم‌تر از ۶۱۹۰ کیلووات ساعت است. بنابراین مدل نهایی که دارای کم‌ترین مصرف انرژی سالانه است در این محدوده یافت خواهد شد. جهت دستیابی به این مدل، محدوده ده درجه‌ای ذکر شده را با یازده مدل مورد بررسی قرار داده‌ایم. به این صورت که محور طولی

شکل ۱۰: مجموع مصرف انرژی سالیانه هشت مدل حداقل در شهر یزد (محدوده زیر خط آبی دارای حداقل انرژی مصرفی سالیانه است).

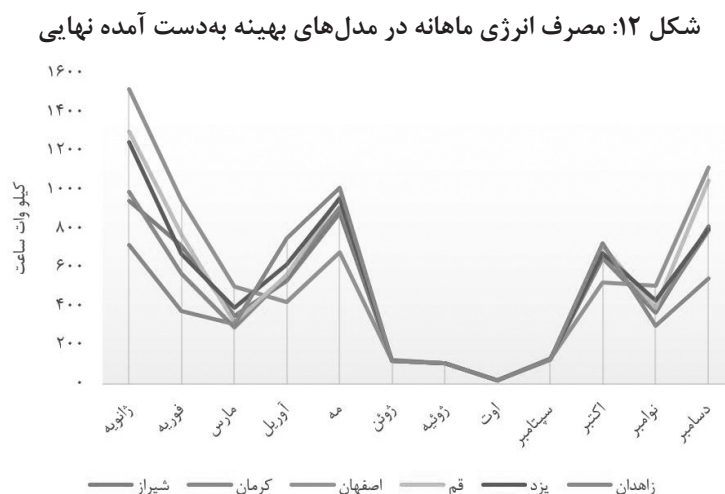


شکل ۱۱: مجموع مصرف سالیانه مدل‌های نهایی در شهر یزد با اختلاف جهت‌های یک درجه



همان‌طور که از این شکل مشخص است، برای شهر یزد در محدوده زاویه ۸۰ تا ۹۰ درجه محور طولی ساختمان، مجموع میزان انرژی مصرفی سالیانه ساختمان حالتی تناوبی دارد و در زاویه ۸۴ درجه به حداقل خود یعنی ۶۱۵۷.۷۵ کیلووات ساعت می‌رسد. به روش مشابه برای شهرهای اصفهان، زاهدان، شیراز، قم و کرمان نیز به ترتیب مقادیر ۶۴۴۶.۱۳۵، ۵۶۳۰.۸۲۹، ۵۱۰۹.۶۳۴، ۶۵۹۳.۶۵۳ و ۵۵۲۷.۳۰۶ کیلووات ساعت به‌عنوان حداقل مصرف انرژی سالیانه به‌دست می‌آید که مربوط به جهت‌گیری‌های ۸۴، ۹۸، ۷۶، ۸۰ و ۸۴ درجه محور طولی هستند. در شرایط موجود اجرای ساختمان با توجه به استفاده از دوربین‌های نقشه‌برداری، پیاده‌کردن جهت‌گیری ساختمان با دقت یک درجه امکان‌پذیر است، اما دقت بیش‌تر امکان ندارد. از این رو مدل‌سازی ادامه داده نشد.

شکل ۱۲: مصرف انرژی ماهانه در مدل‌های بهینه به‌دست آمده نهایی



ساختمان‌های مدارس دوکلاسه سطح کشور (یا هر استان) در بازه زمانی عمر مفید این ساختمان‌ها را با E_1 نشان دهیم، از فرمول زیر قابل محاسبه است:

$$E_1 = n \times 50 \times E_1$$

که در این رابطه n تعداد مدارس ساخته شده با این نقشه در کل کشور (یا هر استان) و E_1 میزان صرفه‌جویی انرژی سالیانه یک مدرسه است. اگر تعداد زیاد مدارس که در کشور در یک دوره پنج ساله ساخته می‌شود به‌عنوان مثال در نظر گرفته شود، درک مقیاس صرفه‌جویی در مصرف انرژی صرفاً بر اساس اصلاح جهت‌گیری ساختمان واضح تر خواهد شد و اهمیت و ضرورت به کارگیری نتایج این پژوهش را بیش از پیش روشن می‌نماید.

به جز شهر کرمان که برای آن جهت‌گیری غالب به دست آمد، برای سایر شهرها درصد تأثیر جهت‌گیری بنا بر صرفه‌جویی مصرف انرژی از فرمول زیر قابل محاسبه است:

$$= 100 \times \frac{(\text{مصرف حداقل سالیانه محاسبه شده}) - (\text{مصرف سالیانه حداکثر})}{(\text{مصرف حداقل سالیانه محاسبه شده})}$$

مجلسبه درصد تأثیر جهت‌گیری بنا بر صرفه‌جویی مصرف انرژی در شهرهای فاقد جهت‌گیری غالب

۶.۱۶، ۴.۳۸، ۲.۹۲ درصد است. در جدول ۸ میزان حداقل و حداکثر مصرف انرژی سالیانه، درصد تأثیر انتخاب جهت‌گیری در صرفه‌جویی انرژی و تصویر مدل نهایی برای هر شهر آورده شده است. در شکل ۱۳ درصد‌های به دست آمده نهایی با هم مقایسه شده‌اند.

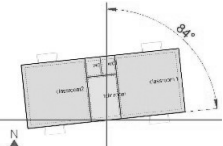
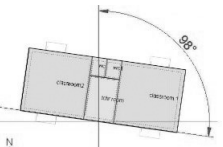

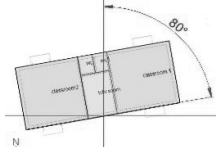
شکل ۱۲ مصرف انرژی ماهیانه مدل نهایی به‌دست آمده برای شش شهر مورد مطالعه را نشان می‌دهد، همان‌طور که مشاهده می‌شود در هر شش مدل برای ماه ژانویه بیش‌ترین مقدار مصرف و برای ماه‌های مارس و نوامبر کم‌ترین مقدار محاسبه شده است (از ژوئن تا سپتامبر به دلیل تعطیلات از ساختمان استفاده نمی‌شود، در ماه مارس هم ۱۲ روز تعطیل وجود دارد).



در شهر یزد جهت‌گیری ۳۳۵ درجه محور طولی ساختمان (با در نظر گرفتن «۰» در شمال) بیش‌ترین مقدار مصرف انرژی سالیانه به میزان ۶۳۳۷.۷۸۳ کیلو وات ساعت را نتیجه داده و تفاضل آن از کم‌ترین مقدار مصرف ۱۸۰.۰۳۳ کیلووات ساعت می‌باشد.

عمر مفید ساختمان مدارس در ایران ۵۰ سال است^{۳۵}. (مصاحبه با رئیس سازمان نوسازی مدارس، ۵ مرداد ۱۳۸۸). بنابراین اگر میزان صرفه‌جویی انرژی در کل

فرمول محاسبه این مقدار در شهر کرمان (که مدارس آن دارای جهت‌گیری غالب هستند) نیز در قسمت (۳-۱) آورده شد. از حل این روابط با توجه به مقادیر به دست آمده مشخص می‌شود که تأثیر جهت‌گیری ساختمان در صرفه‌جویی مصرف انرژی در شهرهای اصفهان، زاهدان، شیراز، قم، کرمان و یزد به ترتیب ۳.۱۲، ۳.۳۱، ۳.۲۷،

جدول ۸: حداقل و حداکثر مصرف انرژی سالیانه و مدل بهینه برای شش شهر

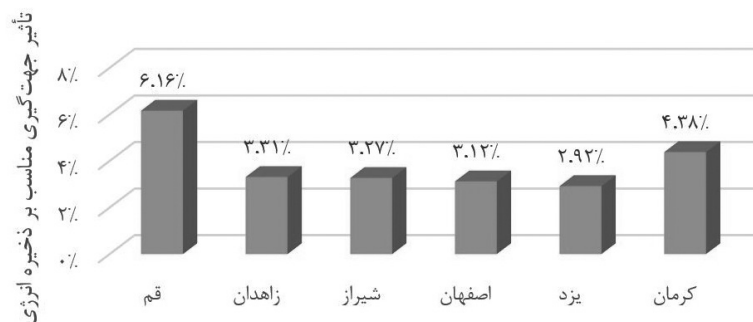
| نام شهر | جهت‌گیری محور طولی مدل بهینه (°) | حداقل مصرف سالیانه (kWh) مربوط به مدل بهینه | حداکثر مصرف سالیانه (kWh) مربوط به نامناسب‌ترین مدل | درصد تأثیر انتخاب جهت‌گیری در صرفه‌جویی انرژی | تصویر مدل بهینه |
|---------|----------------------------------|---|---|---|---|
| اصفهان | ۸۴ | ۶۵۳.۶۵۹۳ | ۵۱.۶۷۹۹ | ٪۱۲.۳ |  |
| زاهدان | ۹۸ | ۶۳۴.۵۱۰۹ | ۴۷.۵۲۷۹ | ٪۳۱.۳ |  |
| شیراز | ۷۶ | ۸۲۹.۵۶۳۰ | ۴۶۷.۵۸۱۵ | ٪۲۷.۳ |  |
| قم | ۸۰ | ۱۳۵.۶۴۴۶ | ۵۵.۶۸۴۳ | ٪۱۶.۶ |  |

| نام شهر | جهت گیری محور طولی مدل بهینه (°) | حداقل مصرف سالیانه (kWh) مربوط به مدل بهینه | حداکثر مصرف سالیانه (kWh) مربوط به نامناسب ترین مدل | درصد تأثیر انتخاب جهت گیری در صرفه جویی انرژی | تصویر مدل بهینه |
|---------|----------------------------------|---|---|---|---|
| کرمان | ۸۴ | ۳۰۶.۵۵۲۷ | ۴۰۵.۵۷۶۹ | ٪۲۸.۴ |  |
| یزد | ۸۴ | ۷۵.۶۱۵۷ | ۷۸۳.۶۳۳۷ | ٪۹۲.۲ |  |

شود. در نتیجه می توان مشاهده نمود که توجه به مسأله جهت گیری صحیح می تواند در دراز مدت باعث ذخیره مقدار زیادی انرژی شود.

در پایان، با وجود کم بودن درصد تأثیر عامل جهت گیری در مصرف سالیانه، اهمیت توجه به آن زمانی مشخص می شود که تعداد زیاد ساختمان های تپ ساخته شده و عمر مفید ۵۰ ساله ساختمان های مدارس در نظر گرفته

شکل ۱۳: مقایسه درصد تأثیر انتخاب جهت گیری مناسب ساختمان مدارس در ذخیره انرژی برای شش شهر



در حال ساخت در نظر گرفت، اما در سایر شهرها چنین جهتی یافت نشد. در مناطق روستایی به دلیل آن که محدودیت های مربوط به کشیدگی خیابان های شهری وجود ندارد، می توان برای تعیین جهت مناسب ساختمان در مرحله پیاده سازی نقشه دقت لازم را اعمال نمود.

ذخیره مقدار اندکی انرژی در یک ساختمان در طول سال با توجه به تعداد زیاد ساختمان های تپ ساخته شده با این نقشه در سطح کشور در طول بازه زمانی ۵۰ ساله عمر مفید آن ها به مقدار قابل توجهی تبدیل خواهد شد. از اینجا اهمیت توجه دقیق به جهت گیری صحیح بنا در هنگام ساخت مشخص تر می شود.

نقشه های فعلی فاقد سایبان هستند، اما در صورت در نظر گرفتن سایبان برای مدلها جواب های به دست آمده اندکی متفاوت خواهند بود. از این رو مدلسازی پارامتریک به وسیله افزونه گالاپاگوس^{۳۶} در نرم افزار راینوروس^{۳۷} جهت یافتن بهترین طول سایبان و جهت گیری بهینه هماهنگ با آن، به عنوان تحقیقات آتی مد نظر است.

برای بهره وری مصرف انرژی در تحقیقات آینده می توان عوامل زیادی را مورد بررسی قرار داد، از جمله می توان

۶. نتایج و پیشنهادات

پس از تجزیه و تحلیل داده ها و بررسی نمودارهای ترسیم شده، پاسخ به پرسش های تحقیق و مشخص کردن نتایج مد نظر قرار گرفته است. در زیر خلاصه ای از آن ها بیان شده اند:

کمترین میزان مصرف انرژی سالیانه محاسبه شده در ساختمان مدارس تپ دو کلاسه برای شهرهای اصفهان، زاهدان، شیراز، قم، کرمان و یزد به ترتیب مقادیر ۶۵۹۳.۶۵۳، ۵۱۰۹.۶۳۴، ۵۶۳۰.۸۲۹، ۶۴۴۶.۱۳۵، ۵۵۲۷.۳۰۶ کیلووات ساعت است، که مربوط به جهت گیری های ۸۴، ۹۸، ۸۰، ۷۶ و ۸۴ درجه محور طولی ساختمان (با در نظر گرفتن ۰ در شمال و چرخیدن در جهت عقربه های ساعت) هستند.

با انجام محاسبات مشخص شد در این شهرها با توجه دقیق به مسأله جهت گیری ساختمان می توان به ترتیب ۳.۱۲، ۳.۳۱، ۳.۲۷، ۶.۱۶، ۴.۳۸، ۲.۹۲ درصد در مصرف انرژی سالیانه ساختمان این نوع مدارس صرفه جویی نمود.

در شهر کرمان می توان جهت شمال شرق به جنوب غرب را به عنوان جهت غالب ساختمان های مدارس

داخلی، جهت‌گیری خود پنجره‌ها، طول بهینه سایبان‌ها و بهترین فرم آن‌ها، عمق کلاس‌ها و در صورت وجود کلاس‌های بیش‌تر، سازماندهی و جانمایی آن‌ها در پلان.

به موارد زیر اشاره نمود: بهینه کردن جنس مصالح و به کار بردن عایق حرارتی در دیوارها، عایق بندی حرارتی سقف، لایه های ساختاری به کار رفته در سقف، نسبت پنجره به سطح دیوار، ارتفاع پنجره از کف تمام شده

پی‌نوشت

1. De Wilde and Coley
2. BES (Building Energy Simulation)
3. Vasaturo
4. Morrissey
5. AccuRate
6. Da Graça
7. Pathriana
8. Zhang
9. Rhinoceros
10. Grasshopper
11. Octopus
12. Design Builder
13. Energy Plus
14. Wladimir Köppen (1846-1940)
15. Hourly Weather Data
16. https://energyplus.net/weather-region/asia_wmo_region_2/IRN%20%20, Received Date: 10/Feb/2019
۱۷. مصاحبه با رییس سازمان نوسازی مدارس سیستان و بلوچستان.
18. ASHRAE:(The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)
19. U-Value
20. Solar Heat Gain Coefficient
۲۱. Lux) یکای شدت روشنایی در واحد SI است که به صورت شارنوری بر واحد سطح تعریف می‌شود. هر لوکس معادل یک لومن بر متر مربع است.
22. LED with Linear Control
۲۳. (Radiant Fraction): شکست حرارتی نور تابشی از لامپ‌ها که با طول موج بلند وارد فضا می‌شود.
۲۴. (Visible Fraction): شکست حرارتی نور تابشی از لامپ‌ها که با طول موج کوتاه وارد فضا می‌شود.
25. Normalized Power Density
۲۶. با توجه به تنظیمات نرم‌افزار شبیه‌سازی از ماه‌های میلادی استفاده شده است.
27. Heating/Cooling Set Back Temperature
28. Seasonal CoP (Coefficient of Performance)
۲۹. حداقل دمایی است که در ساعات خالی بودن موقت ساختمان توسط سیستم‌های گرمایشی حفظ می‌شود، تا گرمایش مجدد ساختمان نیاز به انرژی کم‌تری داشته باشد و یا سریع‌تر انجام شود.
30. Dry Bulb Temperature
31. http://irimo.ir/far/wd/2703-.html#report_builder_form
۳۲. اعداد ذکر شده برای جهت‌گیری‌ها، در تمام متن مقاله بر اساس درجه جغرافیایی (چرخش در جهت عقربه‌های ساعت) با در نظر گرفتن (°) در شمال هستند.
33. Total Annual Energy Consumption
۳۴. خوانندگان محترم در صورت تمایل به دریافت این جدول با نویسنده مسئول مکاتبه نمایند.
35. <https://www.mehrnews.com/news/915973>
36. Galapagos
37. Rhinoceros

REFERENCES

- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (1981). ASHRAE Handbook, Fundamentals: An Instrument of Service Prepared for the Profession Containing a Technical Data Section of Reference Material Pertaining to Systems for Heating, Refrigerating, Ventilating, and Air Conditioning.
- ASHRAE. (2007). Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, Atlanta, GA: ASHRAE.
- ASHRAE. (2009). ASHRAE Handbook: Fundamentals, Atlanta, GA: ASHRAE.
- Crawley, D.B., Hand, J.W, Kummert, M., & Griffith, B.T. (2008). Contrasting the Capabilities of Building Energy Performance Simulation Pro-grams. Building and Environment, 43, 661-673. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.027>
- Crawley, D.B., Lawrie, L.K., Winkelmann, F.C., Buhl, W.F., Huang, Y.J., Pedersen, C.O., Strand, R.K., Liesen, R.J., Fisher, D.E., Witte, M.J., & Glazer, J. (2001). Energy Plus: Creating a New-generation Building Energy Simulation Program. Energy and Buildings, 33(4), 319-331. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(00\)00114-6](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(00)00114-6)
- Da Graça, V.A.C., Kowaltowski, D.C.C.K., Petreche, J.R.D. (2007). An Evaluation Method for School Building Design at the Preliminary Phase with Optimisation of Aspects of Environmental Comfort for the School System of the State São Paulo in Brazil. Building and Environment, 42(2), 984-999. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.10.020>
- De Wilde, P., & Coley, D. (2012). The Implications of a Changing Climate for Buildings. Building and Environment, 55, 1-7.
- IEA. (2013). Energy Efficient Building Envelopes. Paris: International Energy Agency.
- Im, P., & Haberl, J. (2006). A Survey of High Performance Schools, Proceedings of the Fifteenth Symposium on Improving Building Systems in Hot and Humid Climates, Orlando, FL.
- Iranian Fuel Conservation Organization. (2009). Modification of Energy Consumption Patterns in Schools and Offices.
- Joshghani, M. (2001). Cooling and Heating Energy Consumption in School Buildings, Organization for Development Renovation and Equipping Schools of Iran. Journal of New School, 26, 18-20.
- Kasmaee, M. (2003). Climate and architecture, 2nd edition, Isfahan, Khak Publications.
- Khosrowshahi, M., & Kalirad, A. (2013). A Research Approach to the Extent and Area of Iran Deserts. Journal of Jangal va Marta. 98, 20-27.
- Laustsen, J. (2008). Energy Efficiency Requirements in Building Codes, Energy Efficiency Policies for New Buildings, IEA Information Paper, International Energy Agency, OECD/IEA, Communication and Information Office, Paris.
- Mahlabani, Y., Faizi, G., & Khakzand, M. (2011). Lighting Program and Iranian Schools Lighting Requirements. International Journal of Archi-tectural Engineering & Urban Planning, 21, 1-11.
- Morrissey, J., Moore, T., & Home, R.E. (2011). Affordable Passive Solar Design in a Temperate Climate: An Experiment in Residential Build-ing Orientation. Renewable Energy, 36(2), 568-577. <https://doi.org/10.1016/j.renene.08.013>
- N.T. Shabankareh, K., Khosrowshahi, M., & Qolampour, M. (2008). The Vegetative Territory of Desert Areas of Hormozgan Province. Iranian Journal of Range and Desert Research. 15(1)95-113.
- Oberkampf, W.L., & Trucano, T.G. (2002). Verification and Validation in Computational Fluid Dynamics. Progress in Aerospace Sciences, 38(3), 209-272. [https://doi.org/10.1016/S0376-0421\(02\)00005-2](https://doi.org/10.1016/S0376-0421(02)00005-2)
- Pathirana, S., Rodrigo, A., & Halwatura, R. (2019). Effect of Building Shape, Orientation, Window to Wall Ratios and Zones on Energy Efficiency and Thermal Comfort of Naturally Ventilated Houses in Tropical Climate. Int J Energy Environ Eng, 10, 107-120. <https://doi.org/10.1007/s40095-018-0295-3>
- Presidential Office for Management and Planning Organization. (2018). Iran's Statistical Yearbook - 2016, Statistical Center of Iran. Office of the Head, Public Relations and International Cooperation.
- Rea, M.S. (2000). The IESNA Lighting Handbook: Reference & Application; Illuminating Engineering Society of North America: New York, NY, USA.
- Simulation and Energy Plus. General Considerations. Available from: http://pcc5746.pcc.usp.br/Textos_Tecnicos/PCC%205746%20Simula%C3%A7%C3%A3o%20EnergyPlus.PDF, website consulted 10th July 2012
- Susorova, I., Tabibzadeh, M., Rahman, A.L., Clack, H., & Elnimeiri, M. (2013). The Effect of Geometry Factors on Fenestration Energy Performance and Energy Savings in Office Buildings. Energy and Buildings, 57, 6-13. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.10.035>
- Vasaturo, R., Van Hooff, T., Kalkman, I., Blocken, B., & Van Wesemael, P. (2018). Impact of Passive Climate Adaptation Measures and Build-ing Orientation on the Energy Demand of a Detached Lightweight Semi-portable Building. Building Simulation, 11(6), 1163-1177. <https://doi.org/10.1007/s12273-018-0470-8>
- Watson, D., & Labs, K. (2010). Climatic Design: Theoretical and Practical Principles of Energy Use in Buildings. (Ghobadian.V, & Feyz Mahda-vi, M. Trans). Tehran, University of Tehran Press.

- Zhang, A., Bokel, R., Dobbelsteen, A.V.D., Sun, Y., Huang, Q., & Zhang, Q. (2017). Optimization of Thermal and Daylight Performance of School Buildings Based on a Multi-Objective Genetic Algorithm in the Cold Climate of China. *Energy and Buildings*, 139, 371-384. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.04.025>
- Zomorodian, Z.S., & Nasrollahi, F. (2013). Architectural Design Optimization of School Buildings for Reduction of Energy Demand in Hot and Dry Climates of Iran. *Int. J. Archit. Eng. Urban Plan*, (23), 41-50.

نحوه ارجاع به این مقاله

آیباغی اصفهانی، حمید؛ مومنی، کورش و حسن پور، فرامرز. (۱۴۰۰). بررسی تأثیر جهت‌گیری ساختمان بر مصرف انرژی سالیانه در مدارس نواحی گرم و خشک ایران، با استفاده از مدل سازی اقلیمی، مورد مطالعاتی: بررسی مدرسه تیپ دو کلاسه. نشریه معماری و شهرسازی آرمان‌شهر، ۱۴(۳۴)، ۲۷-۴۵.

DOI: 10.22034/AAUD.2020.189693.1906

URL: http://www.armanshahrjournal.com/article_131880.html



COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the Armanshahr Architecture & Urban Development Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License.

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>




پیوست ۱: جداول

جدول ۹: مشخصات شیشه پنجره‌های خارجی

| Double- Clear- 6mm/13mm Air | |
|---|-------|
| Total Solar Transmission(SHGC) | 0.497 |
| Direct Solar Transmission | 0.373 |
| Light Transmission | 0.505 |
| U-value(ISO 10292/EN 673) (W/m ² -k) | 2.785 |
| U-value (ISO 15099/NFRC) (W/m ² -k) | 2.665 |

جدول ۱۰: مشخصات لامپ‌ها

| LED with Linear Control | |
|---|---|
| Normalized Power Density(W/m ² -100 lux) | 2.50 |
| Luminaire Type |  |
| | Recessed |
| Radiant Fraction | 0.37 |
| Visible Fraction | 0.18 |

جدول ۱۱: ویژگی‌های دیوارها، سقف و فریم پنجره‌های به کار رفته در مدل‌ها

| سقف | دیوارهای خارجی | فریم پنجره‌های خارجی | سطح داخلی |
|--|----------------|----------------------|--|
| ۳.۸۰۵ | ۲.۱۵۲ | ۲.۱۵۲ | Convective Heat Transfer Coefficient (W/m ² -k) |
| ۵.۵۴۰ | ۵.۵۴۰ | ۵.۵۴۰ | Radiative Heat Transfer Coefficient (W/m ² -k) |
| ۰.۱۰۷ | ۰.۱۳۰ | ۰.۱۳۰ | Surface Resistance (m ² -K/W) |
| سطح خارجی | | | |
| ۲۸.۲۰۳ | ۱۹.۸۷۰ | ۲۳.۲۹۰ | Convective Heat Transfer Coefficient (W/m ² -k) |
| ۵.۱۳۰ | ۵.۱۳۰ | ۱.۷۱۰ | Radiative Heat transfer Coefficient (W/m ² -k) |
| ۰.۰۳۰ | ۰.۰۴۰ | ۰.۰۴۰ | Surface Resistance (m ² -K/W) |
| بدون در نظر گرفتن پل‌های حرارتی | | | |
| ۰.۶۱۸ | ۲.۴۴۲ | ۲۳.۸۵۳ | U-Value Surface to Surface (W/m ² -k) |
| ۱.۷۵۴ | ۰.۵۸۰ | ۰.۲۱۲ | R-Value (m ² -K/W) |
| ۰.۵۷۰ | ۱.۷۲۵ | ۴.۷۱۹ | U-Value (W/m ² -k) |
| با در نظر گرفتن پل‌های حرارتی (بر اساس آیین نامه ISO 6946) | | | |
| ۰.۰۶۸۲ | ۰.۲۸۵۰ | ۰.۰۰۹ | Thickness(m) |
| ۱۹۵.۰۸۸ | ۱۴۹.۰۲۴۰ | ۳.۹۶۷۵ | Km-internal Heat Capacity (KJ/m ² -K) |
| ۳.۳۲۳ | ۰.۵۸۰ | ۰.۰۲۱۲ | Upper Resistance Limit (m ² -K/W) |
| ۳.۳۲۳ | ۰.۵۸۰ | ۰.۲۱۲ | Lower Resistance Limit (m ² -K/W) |
| ۰.۳۱۴ | ۲.۴۴۲ | ۲۳.۸۵۳ | U-Value Surface to Surface (W/m ² -k) |
| ۳.۳۲۳ | ۰.۵۸۰ | ۰.۲۱۲ | R-Value (m ² -K/W) |
| ۰.۳۰۱ | ۱.۷۲۵ | ۴.۷۱۹ | U-Value (W/m ² -k) |

Impact of Building Orientation on Annual Energy Consumption in Schools in Hot Arid Regions in Iran, Using Climate Modeling, Case Study: A Double-class School*

Hamid Aibaghi Esfahani^a- Kourosh Momeni^{b**}- Faramarz Hassan Pour^c

^a Department of Architecture, Zahedan Branch, Islamic Azad University, Zahedan, Iran.

^b Associate Professor of Architecture, Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran (Corresponding Author).

^c Assistant Professor of Architecture, Department of Architecture, University of Zabol, Zabol, Iran.

Received 24 June 2019; Revised 06 December 2019; Accepted 27 October 2019; Available Online 21 June 2021

ABSTRACT

School buildings constitute a large part of the public buildings and thereby being the most important consumers of energy in Iran. Considering the current construction conditions, reforming construction and design methods seems to provide a lot of potential for energy efficiency. Considering a large number of schools in Iran, it is of special importance to carefully study such methods, one of which is to modify building geometry factors, including building orientation. In this study, a double-class school with a simple plan, as a typical building pattern in hot arid regions of Iran, is considered as a case study to accurately determine its optimal orientation for six cities of Isfahan, Shiraz, Zahedan, Qom, Kerman, and Yazd, as cities with over 500,000 people in the hot arid regions of Iran, using computer simulation. To this end, for each city, 72 models are simulated in different directions with a 5-degree variance, and a 10-degree range of the minimum annual energy consumption is obtained. Next, the simulation with a 1-degree variance is performed in the same range, and the results obtained for the six cities are compared. Finally, for this building type, the greatest and smallest impact of the building orientation on energy consumption is observed in Qom city and Yazd city, respectively. Also, despite the low percentage of annual energy savings, due to a large number of typical buildings in all six cities and their useful life span of 50 years, it is necessary to carefully choose the direction for the long period. Because the small amount of fuel storage during the annual consumption of a building will become a significant number at the national level during the entire period of operation.

Keywords: Building Orientation, Double-Class School, Hot Arid Climate, Energy Efficiency, Climate Modeling.

* This article is driven from the first author's Ph.D. dissertation entitled "Optimization of schools in hot arid climate for energy efficiency, using computer simulation, based on window area and building orientation" and defended under the supervision of the second author and the advice of the third author at the Islamic Azad University (Zahedan Branch).

** E_mail: k_momeni@jsu.ac.ir

1. INTRODUCTION

According to the International Energy Agency (IEA) (2013), buildings are responsible for one-third of all the energy consumption and one-third of the total carbon dioxide emissions. De Wilde and Coley (2012) have reported buildings to account for 25 to 40 percent of greenhouse gas emissions. Buildings are usually intended to be used for 60 to 80 and sometimes up to 100 years, so it is of great importance to consider energy efficiency in the design phase (Laustsen, 2008, p. 7). The average energy consumption in the Iranian school buildings, as a major category of public buildings, is more than 160 KWh/m² (Iranian Fuel Conservation Organization, 2009). This is 2.5 times the energy annually consumed in schools in developed countries with an approximate amount of 65 KWh/m² (Im & Habrel, 2006). Despite the high energy consumption, thermal comfort may not be still provided in many classrooms. Although schools in hot arid regions account for 41.9% of the total energy consumed by schools in Iran, there is still no specific code for the construction of schools to reduce energy consumption (Joshghani, 2001).

Engineers and researchers have been using computers to simulate the building construction processes for more than four decades (Oberkampf & Trucano, 2002). What makes using the Building Energy Simulation (BES) Software necessary is that it allows examining the features of the building before the construction phase to reduce energy consumption.

Moreover, one of the important factors significantly influencing energy consumption is the architectural design and its various parameters including geometric form, window-to-wall ratio, sunshade size and direction, building orientation, etc. Proper use of geometric parameters of buildings, rooms, openings, and other openings-related elements, such as sunshades and glasses significantly reduces energy consumption in the building and improves the energy-saving performance (Susorova, Tabibzadeh, Rahman, Clack, & Elnimeiri, 2013).

Among the factors above-mentioned, choosing the optimal building orientation is very low cost and can be done only using survey cameras in the initial stage of construction. In the past, the building orientation was generally selected considering the impact of landscape, prevailing winds, topography, adjacent buildings, etc., and in some cases, the existing conditions of urban design such as historical texture or other influential factors. It is less possible to select a proper building orientation considering the prevailing winds to provide better cross-ventilation in the building or constructing the building with a certain orientation to use the sun's energy for the heating during the winter months, often for the reasons abovementioned. While in rural areas, there are fewer such limitations.

A proper building orientation allows natural ventilation, absorption of sunlight, absorption of the sun's heat

during the cold months, and reduced absorption of the sun's heat during the hot months. Therefore, it is helpful to find the optimal building orientation to reduce the energy annually consumed in the building. In the present study, the Design-Builder software was used to prove this hypothesis. This software enables the user to quickly combine various models and provide advanced energy simulation.

Many researchers have studied the building geometry factors, including building orientation and its relationship with energy consumption. However, there has been little focus on the building orientation or most studies have investigated it with low accuracy and up to 15 degrees, as discussed in more detail in the literature review.

In the present study, using the computer simulation of a double-class school, as a typical pattern in the most populous hot arid cities of Iran, in different directions, and analyzing the data, it was attempted to answer the following questions:

1. To what extent does the building orientation of the double-class schools influence the annual energy consumption in each of the studied cities?
2. In each of the cities studied, what building orientation best serves energy efficiency in the case of double-class schools?
3. Given the various issues, including the useful life span of these buildings and a large number of typical buildings, how important is it to accurately determine the proper building orientation?

In the present study, there are two variables: building orientation, as an independent variable, and annual energy consumption, as a dependent variable.

2. LITERATURE REVIEW

Most studies examining the impact of architectural factors on energy consumption in buildings have evaluated the building orientation less accurately. The following are some of them:

In their study, through building simulation, Vasaturo et al. (2018) have investigated four main cardinal directions and four sub-directions, i.e. a total of eight directions of north, south, east, west, northwest, northeast, southwest, and southeast to study the impact of building orientation on the energy demand of a detached lightweight semi-portable building for cooling and heating. Finally, different orientations, as optimal orientations, have been proposed for different climates.

Considering the determination of the optimal building orientation as a cheap way for energy efficiency, Morrissey et al. (2011) have selected 81 examples of residential plans and measured their energy consumption in different orientations by modeling them in AccuRate Software. Since many parameters have been studied in this study, various results have been obtained for the optimal orientation by changing parameters and a clear single result has not been

reported for it. However, the northeast-southeast orientation has been more confirmed.

Da Graça et al. (2007) have categorized different types of school building plans in Sao Paulo, Brazil, and provided a method for evaluating and optimizing various school building parameters according to four different aspects of comfort: thermal, acoustic, natural lighting, and functionality. The results showed it is not possible to simultaneously optimize all the above-mentioned aspects of comfort. However, some adaptations were observed. They have also provided a table representing various orientations, as the optimal building orientation, for different plans according to different parameters.

In the abovementioned studies, the orientation variable has been studied only in the eight main directions and sub-directions abovementioned.

Zomorodian and Nasrollahi (2013) have studied the architectural parameters of school buildings in the hot arid regions of Iran, including a series of geometry factors such as building form, spatial organization, and window-to-wall ratio, and have tried to provide some solutions for reducing energy demand by making appropriate changes in the parameters through computer simulation. Finally, the energy demand of the studied school has been reduced by up to 31% only by changing the architectural parameters and making no changes in the type of building materials and structural parameters. In this study, the building orientation factor has been investigated with an accuracy of 10 degrees east-west orientation has been proposed as the optimal orientation for the studied building with a south-facing entrance.

Pathriana et al. (2019) has rotated the building by 15 degrees to determine the optimal orientation of a house in the tropical climate to achieves the least hours of thermal discomfort and the least need for electric lighting throughout the year. 24 models were obtained. In this study, according to the plans, climate studied, and other parameters, authors have considered the problem of building orientation to be negligible and have reported no optimal orientation.

Zhang et al. (2017) have applied a genetic algorithm to optimize the thermal and daylight performance of school buildings in the cold climate of China. They have compared and simulated three plans with different windows and sunshades, different depths for corridors and rooms, etc. The results indicated the school with

a two-way corridor has the best thermal and daylight performance in this climate. Other related parameters have been proposed and according to each parameter, different optimal orientations have been obtained for different climates. In this study, since Rhino software and Grasshopper and Octopus plugins have been used for parametric analysis, to investigate the building orientation, the accuracy ranged from 0 to 360 degrees, while only the cold climate of China has been studied. In the abovementioned studies and many other studies, researchers have not investigated the building orientations of schools independently or studied them with an accuracy of about 10 to 15 degrees. They have usually examined all the geometry and architectural factors of the building together. In the present study, it was attempted to investigate this geometry factor in the building independently and with high accuracy.

3. GENERAL CONSIDERATIONS

In the hot arid climate, energy efficiency is of special importance due to unfavorable weather conditions, the very large temperature difference between day and night, strong sunlight, etc. In Iran, deserts and semi-deserts occupy a large part of its territory. Researchers have analyzed various factors to determine deserts in Iran, including climate, geomorphology, geology, pedology, hydrology, and vegetation (Shabankareh, Khosrowshahi, & Qolampour, 2008). The survey of Iran indicates the total area of lands considered desert at least based on one of the aforementioned factors is 985798 km², accounting for 59.8% of the total area of Iran (Khosrowshahi & Kalirad, 2013, p. 27). This highlights the importance of research in this type of climate.

What makes the issue of population important in choosing the cities is the need to build schools in the coming years in more populated areas. The studied cities are located in the hot arid regions of Iran and all have a population of above 500,000 people (Iran's Statistical Yearbook, 2016; 2018, p. 148).

3.1. The Prevalent Building Orientation of Schools in the Studied Cities

To evaluate how much optimal orientation influences the annual energy savings, first it was attempted to find the prevalent orientation in these six cities to calculate the following formula:

$$(\%) \text{ Impact of Optimal Orientation on Annual Energy Efficiency} = 100 \times \frac{\left(\frac{\text{Annual Energy Consumption in the Prevalent Orientation}}{\text{Minimum Annual Energy Consumption}} \right) - \left(\frac{\text{Minimum Annual Energy Consumption}}{\text{Minimum Annual Energy Consumption}} \right)}{\left(\frac{\text{Minimum Annual Energy Consumption}}{\text{Minimum Annual Energy Consumption}} \right)}$$

To this end, 20 to 30 double-class schools built in each city were examined. Table 1 shows 8 examples for

each city.

Table 1. Investigation and Analysis of the Prevalent Orientation of the Schools in the Six Cities Studied

| City | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | Prevalent Orientation in the City |
|---------|-----------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|---------------------------|----------------------------------|--|--|
| Isfahan | School Name | Bahar-e Azadi High School | Harati High School | Monir High School | Mostafa Khomeini High School | Nilforoush zadeh High School | Venus High School | Sadat High School | Nezam al-Islam High School | Unknown The Isfahani Ron is not Followed. |
| | Orientation (°) | 117-297 | 123-303 | 90-270 | 96-276 | 96-276 | 90-270 | 69-249 | 46-226 | |
| | Figure | | | | | | | | | |
| Zahedan | School Name | Alame Helli High School | Daneshgah High School for Boys | Daneshgah High School for Girls | Imam Mosa Kazem (AS) High School | Motahareh High School | Velayat High School | Fatemiyeh High School | Shahed High School (2) | Unknown |
| | Orientation (°) | 143-323 | 110-290 | 3-183 | 86-266 | 171-351 | 69-249 | 102-282 | 99-279 | |
| | Figure | | | | | | | | | |
| Shiraz | School Name | Zand High School for Girls | Hazrat Masoumeh High School | Tohid High School | Be'esat Elementary School for Girls | Bagher al-Oloum High School | Abozar High School | Khorasanian High School | Dr.Hesabi High School for Girls | Unknown |
| | Orientation (°) | 19-199 | 98-278 | 146-326 | 20-200 | 120-300 | 144-324 | 92-272 | 98-278 | |
| | Figure | | | | | | | | | |
| Kerman | School Name | Imam Mahdi (AS) High School | Ahmadi Roshan High School | Hesabi High School | Helli High School (2) | Shahed High School for Boys | Fatemiyeh High School | Seyyed Kamal Mousavi High School | Shariati High School | Northeast to Southwest |
| | Orientation (°) | 76-256 | 57-237 | 70-250 | 55-235 | 58-238 | 57-237 | 20-200 | 59-239 | |
| | Figure | | | | | | | | | |
| Yazd | School Name | Shahed High School | Ayat High School for Boys | Jeyhoun High School | Khalili High School for Girls | Meshkan High School for Girls | Mashahir Azam High School | Shahid Sadough High School | Imam Hussain (AS) High School for boys | Unknown (Rasteh Ron is followed) |
| | Orientation (°) | 150-330 | 127-307 | 109-289 | 62-242 | 8-188 | 118-298 | 43-223 | 0-180 | |
| | Figure | | | | | | | | | |

| City | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | Prevalent Orientation in the City |
|------|-----------------|--------------------------|-------------------------------|-------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| Qom | School Name | 17 Shahrivar High School | Khadivi High School for Girls | Shahid Sadr High School | Shahid Zeyn al-Din High School | Shahid Jadda High School for Boys | Shahid Javad Borzhehei High School | Farzanegan High School (2) | Imam Sadegh (AS) High School | Unknown |
| | Orientation (°) | 116-296 | 38-142 | 54-126 | 126-306 | 20-20 | 107-287 | 96-276 | 97-274 | |
| | Figure | | | | | | | | | |

It was found that in the current situation, only for Kerman City, a prevalent orientation can be considered for the schools, and in other cities, there is no prevalent orientation and the traditional orientation (called Ron in the Iranian architecture) is not followed. Therefore, in the abovementioned formula, for all cities except for Kerman, the maximum annual energy consumption (related to the most unsuitable orientation) should be substituted for the first term in the numerator. It seems that in urban areas, there are limitations in choosing the building orientation, such as the situation of the surrounding streets, while in rural areas, the building orientation can be determined very accurately since there are no such limitations.

3.2. Simulation Software

In the present study, Design Builder software was used to calculate the annual energy consumption. This software allows analyzing the energy and thermal load of the building and simulating the heating, cooling, lighting, ventilation, and water consumption models for the building. This software is a graphical user interface and uses the Energy Plus engine. Energy Plus is a well-known energy simulation engine that has been developed and sponsored since 1996 by the United

States Department of Energy (DOE) (Simulation and Energy Plus, 2012; Crawley, Lawrie, Winkelmann, Buhl, Huang, Pedersen, Strand, Liesen, Fisher, Witte, & Glazer, 2001; Crawley, Hand, Kummert, & Griffith, 2008).

3.3. Climate and Location

Various climate classifications have been proposed in the world one of which is the Köppen climate classification proposed by Wladimir Köppen (1846-1940), a Russian scientist, in 1884. This classification includes five climate zones based on the vegetation on a global scale. Various climate zones have been also proposed for Iran, the most well-known of which includes 4 climate zones: 1. 1) Temperate and humid climate (the southern coastline of Caspian Sea); 2) cold climate (western mountains); 3) arid and hot climate (the Central Plateau); and 4) hot and humid climate (southern coasts) (Kasmaee, 2003, p.82). The cities studied in the present study are located in the arid region of Iran. Moreover, with a population ranging from 529,000 to 1,900,000 people, they are the most populous hot arid cities in Iran. Table 2 shows the longitudes, latitudes, altitudes, and population of these cities.

Table 2. General Characteristics of the Studied Cities

| City | Latitude | Longitude | Altitude (m) | Population (in 2016) (People) |
|---------|-------------|-------------|--------------|-------------------------------|
| Isfahan | 32°31'3" E | 51°42'22" N | 1550 | 1961260 |
| Zahedan | 60°54'1" E | 29°28'20" N | 1370 | 587730 |
| Shiraz | 52°36'9" E | 29°33'41" N | 1488 | 1565572 |
| Qom | 53°51'19" E | 34°46'29" N | 879.1 | 1201158 |
| Kerman | 56°57'45" E | 30°15'22" N | 1754 | 537718 |
| Yazd | 48°31'23" E | 36°39'37" N | 1230.2 | 529673 |

(Iran's Statistical Yearbook, 2018)

3.4. Meteorological Data

The outdoor hourly weather data is used as one of the most important parameters to explain the interior temperature and the energy required for thermal comfort. The United States Department of Energy (DOE) freely provides weather data for more than

2,100 regions of the world, including six cities of Bandar Abbas, Tehran, Tabriz, Shiraz, Isfahan, and Yazd in Iran, in epw and ITMY formats. For this study, the hourly weather files of Yazd, Shiraz, and Isfahan were freely downloaded in ITMY format from the Energy Plus website¹.

To prepare the hourly weather file for Zahedan, Kerman, and Qom cities in epw format (which are not available on Energy Plus website), the data measured in the period from 1997 to 2017 by the Iranian Meteorological Organization were used. The data provided by the Iranian Meteorological organization

are available for every three hours. So, to prepare epw files, it is necessary to prepare hourly data after selecting the required months in a given year. To this end, the Lagrange interpolation formula was used for the three reported data to obtain the unreported data related to every two hours.

Table 3. List of Data for Lagrange Interpolation

| Hours (from the First Day) | Parameter Value | Hours | Parameter Value | Hours | Parameter Value |
|----------------------------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|
| 1 | F1 | 5 | F5 | 9 | F9 |
| 2 | F2 | 6 | F6 | 10 | F10 |
| 3 | F3 | 7 | F7 | 11 | F11 |
| 4 | F4 | 8 | F8 | 12 | F12 |

To this end, first, all available data (bolded data in Table 3) were listed in a table in an hourly order (from 1 to 8760). Next, the missing data (non-bolded data in Table 3) were calculated from the three available data using the Lagrange interpolation formula. For example, to determine the values of F4 and F5 data, the F3, F6 and F9 data were interpolated, or to find

the values of F7 and F8 data, the F6, F9, and F12 data were interpolated. Similarly, all the missing data were calculated for the whole year and to find the values of F7 and F8 data, the F3, F6, and F8760 data were interpolated. The Lagrange interpolation formula for the three data is as follows:

Table 4. Data Adaptation in Lagrange Interpolation

| X | X ₀ | X ₁ | X ₂ |
|---|----------------|----------------|----------------|
| F | F ₀ | F ₁ | F ₂ |

$$p(x) = L_0F_0 + L_1F_1 + L_2F_2$$

$$L_0(x) = \frac{(x-x_1)(x-x_2)}{(x_0-x_1)(x_0-x_2)}, \quad L_1(x) = \frac{(x-x_0)(x-x_2)}{(x_1-x_0)(x_1-x_2)}, \quad L_2(x) = \frac{(x-x_0)(x-x_1)}{(x_2-x_0)(x_2-x_1)}$$

3.5. Case Studies

For this study, the selected plan can be easily constructed in remote hot arid villages using minimal human forces and materials. A great number of schools

with the same plan were built in hot arid regions of Iran. For example, in Sistan and Baluchistan Province, as one of the vast hot arid region in Iran, there are 439 schools with the same plan².

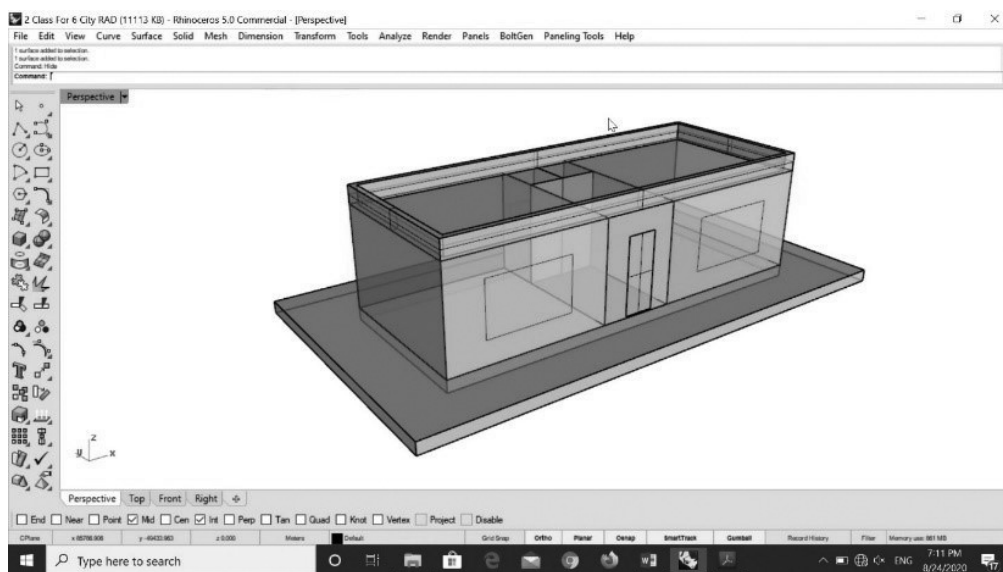


Fig. 1. Rhino Model, Based on the Sample Building Built In Sistan and Baluchistan, Iran-E Man School No. 5, Khajeh Mask Village, Zahedan

Due to the large number of schools built and being built with this plan, it is of great importance to save the annual energy in a building, even as many as a few kilowatts per hours, because on the scale of the entire hot arid regions of Iran, the large number of buildings will result in significant energy savings, significantly reducing carbon dioxide emissions. The study building is a double-class one-storey school with a total area of 72.36 m². It composed of two

classrooms each with an area of 23.50 m², a teacher office of 7.80 m², and two bathrooms each with an area of 1.3 m². The remaining area of the building is related to the wall thickness. The distance between the floor and the top of the roof is 340 cm and the window-to-wall (WWR) in the classrooms is 18% considering the east-west orientation on the north and south sides. The eastern and western walls of the classrooms have no windows. All doors and windows have no sunshades.

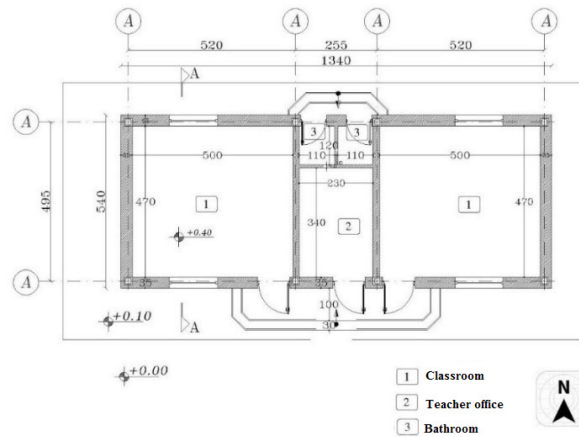


Fig. 2. Ground Floor Plan
(Archive of School Renovation Organization Documents)

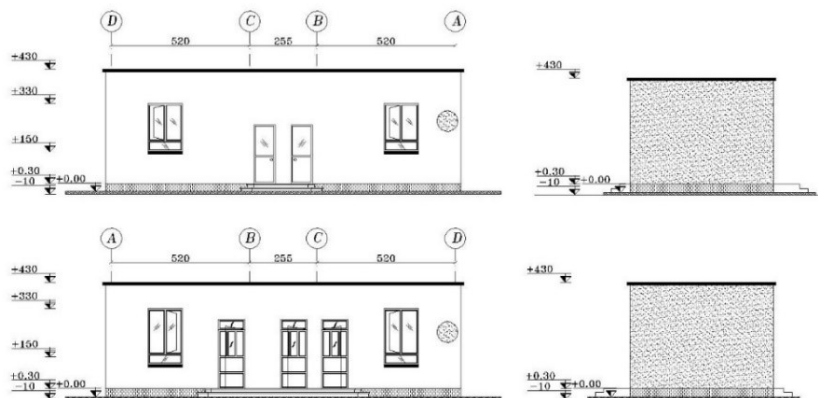


Fig. 3. Facades
(Archive of School Renovation Organization Documents)

Table 5 presents information on the occupancy density, fresh air supply rate, and equipment densities according to ASHRAE³ standard for different spaces in the building (ASHRAE, 2007; 2009).

Table 5. Zones and Related Information

| Zone | Flor area (m ²) | Zone volume (m ³) | Occupancy (people/m ²) | Lighting (lux) | Equipment (w/m ²) | Fresh Air (L/s-person) |
|----------------|-----------------------------|-------------------------------|------------------------------------|----------------|-------------------------------|------------------------|
| Classroom 1 | 23.5 | 72.25 | 0.875 | 300 | 4.70 | 5.5 |
| Classroom 2 | 23.5 | 75.12 | 0.875 | 300 | 4.70 | 5.5 |
| Teacher office | 7.8 | 24.65 | 0.23 | 200 | 18.54 | 10 |
| WC 1 | 1.29 | 3.98 | 0.1124 | 150 | 5.48 | 12 |
| WC 2 | 1.29 | 3.98 | 0.1124 | 150 | 5.48 | 12 |

3.5.1. Building Components

The plans, details, materials of walls, roofs and other building components were provided by the Organization for Development, Renovation and Equipping of Schools (DRES) of Iran. Since, in the current conditions for the implementation of this plan, thermal insulation is not used in the ceiling layers and walls, the actual conditions and materials were considered in the

present study. Because this study aimed to compare the building orientation models. In fact, optimization of the wall materials, ceiling insulations, structural layers used in the ceiling, the window-to-wall ratio, window-sill height, window orientation, classroom depth, optimal length of sunshades, etc. can be the subjects of future studies. Table 6 shows the layers of materials used in walls, ceilings and window panes of the models and the U-Value calculated for them.

Table 6. Layers of Materials Used in the Models

| Section | U-Value W/(m ² k) |
|------------------------------|------------------------------|
| External Walls: | 1.725 |
| Brickwork, Outer Leaf (30mm) | |
| Mortar (10 mm) | |
| Brick (225 mm) | |
| Gypsum Plastering (20mm) | |
| Internal Partitions: | 1.639 |
| Gypsum Plasterboard(25 mm) | |
| Air Gap (100mm) | |
| Gypsum Plasterboard (25 mm) | |
| Roof: | 0.570 |
| Asphalt (20mm) | |
| Mortar (10mm) | |
| Bitumen/Felt Layers (10mm) | |
| Mortar (10mm) | |
| Mineral Fibre (100 mm) | |
| Cast Concrete (250mm) | |
| Mortar (10mm) | |
| Gypsum Plastering (10mm) | |
| Glazing: | 2.665 |
| Generic BLUE (6mm) | |
| AIR (13mm) | |
| Generic CLEAR (6mm) | |

The calculated u-value for it is 0.57(W/m²-K). Insulated glazing with a thickness of 6 mm was used in the building with a 13-mm intermediary air layer. Their U-value is 2.785 (W/m²-K) and their Solar Heat Gain Coefficient (SHGC) is 0.497. Table 9 shows the properties of the insulated glazing. The window frames are made of aluminum plates with a thickness of 2 mm, in the middle layer of which a polyvinyl chloride (PVC) layer with a thickness of 5 mm is used as a thermal break. The U-value of this window frame is 4.719(W/m²-K). In the present study, according to previous research, the lighting required in the classrooms is at least 300 lux at a height of 80 cm from the floor and the lighting required for the teacher office and bathrooms is 200 lux, and 150 lux⁴, respectively (Mahlabani et al., 2011). (Mahlabani, Faizi, & Khakzand, 2011; Rea, 2000). Table 5 shows the lighting density required for different rooms in lux. LED lights with linear control were used to meet the lighting shortage at hours when there is little daylight or the weather is cloudy. The radiation fraction⁵ of the lights is 0.37 and their visible fraction⁶ is 0.18. The normalized power density is also 2.5 (W/m²-100 lux). The linear lighting control was considered for the lights and the radiation was

automatically adjusted to only compensate for the lighting shortage relative to daylight. The properties of the abovementioned lights are listed in Table 10.

Table 11 shows the thermal properties of the exterior walls, ceiling, and window frames used in the models. Of course, the optimum properties of the glazing, window profiles, and the sunshade size and form required for the maximum annual energy efficiency are the subjects of future research

3.6. Simulation Parameters

The settings required in the Design Builder software to perform required calculations are including the precise definition of building components, building use schedule, climate file in (epw) or (ITMY) format according to the hourly weather data of each region, HVAC systems and their schedule, the type of activity performed in each Zone and its daily occupancy, the heating and cooling temperatures required for thermal comfort, the lighting required and the occupancy density for each zone, some of which are described in Table 5 and section 3.5. The remaining is described below.

3.6.1. Occupancy Schedule

Considering the yearly curricula of Iranian schools, especially in tropical areas, the daily occupancy of the building and the yearly HVAC schedules cannot be calculated according to standards such as ASHRAE. Schools in the rural tropical regions of Iran are usually open from Saturday to Wednesday from 7 A.M. to 5 P.M. Moreover, they are closed from June 1 to Sep. 20 (summer holidays) as well as from March 18 to April 5 (Nowruz holiday during these periods, the HVAC systems are turned off and minimum lighting is required in the buildings⁷. In other months, the school buildings are closed after 5 P.M. and on Thursdays and Fridays. Hence, minimum lighting and thermal requirements are calculated depending on the heating/cooling setback temperature. Given that Design Builder software and the Energy Plus engine are developed for the Gregorian months, the solar months are not necessarily used in this article, but the times are generally converted.

3.6.2. Thermal Comfort and Ventilation System

Considering the area of the building and problems such as the difficult transportation of fossil fuels to rural areas, the need to reduce the risk of fire in schools, and also the reduction of carbon dioxide emissions, a split system without mechanical ventilation was considered for cooling and heating this type of building. The

heating seasonal CoP (Coefficient of Performance) of the system is 2.35 and its cooling seasonal CoP is 1.83. It should be noted that the present study aimed to find the optimal building orientation by comparing various model, so, the efficiency of the heating and cooling system played no role in the final result. In the modeled building, to provide thermal comfort, the heating and cooling temperatures for thermal were considered to be 21 and 24 °Celsius, respectively and the heating setback temperature⁸ was considered to be 12 °C.

3.6.3. Schedule of HVAC Systems

In the design of building, thermal comfort is the condition of mind that expresses satisfaction with various factors such as temperature, humidity, and proper air flow rate. Most researchers believe that "thermal neutrality" is a more accurate definition of thermal comfort. Thermal neutrality refers to a condition where the human body does not feel the cold, nor the heat, nor the local discomfort caused by asymmetrical radiation, draft, cold room floor, heterogeneous clothes and so on. (Watson & Labs, 2010, p. 29). Researchers of the University of Kansas have found that people wearing plain office clothes are most satisfied in an environment with a dry temperature of 79 F and relative humidity of 50 percent and an air flow rate of less than 35 feet per minute (ASHRAE, 1981).

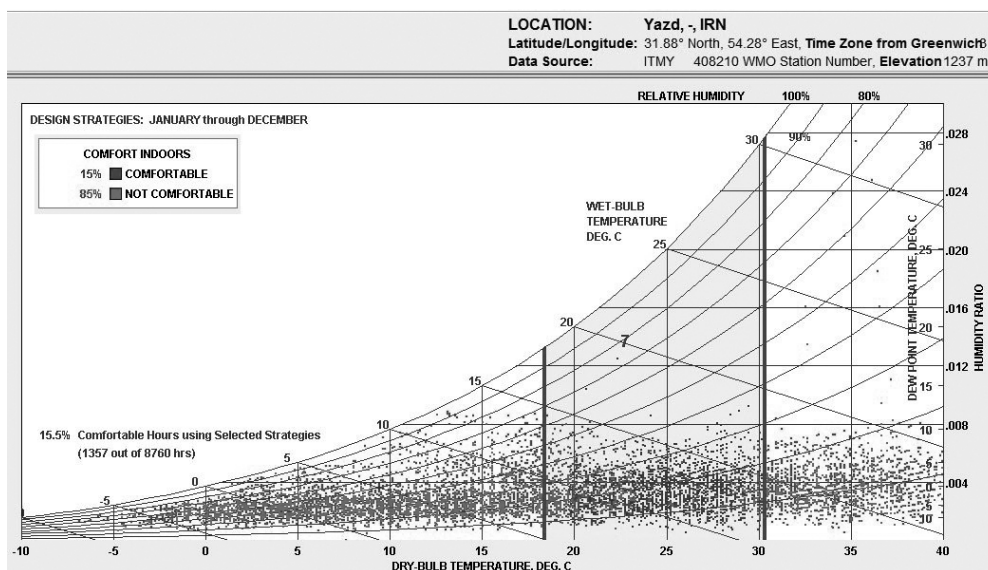


Fig. 4. Psychrometric Curve of Yazd City According to the Standard
(Output of Climate Consultant Software, ASHRAE 55-2010)

Figure 4 shows the psychrometric curve of Yazd City for a period from Jan. 1 to Dec. 31, according to the ASHRAE 55-2010, from January 1 to December. The horizontal axis shows the dry bulb temperature and the vertical axis shows the relative humidity (%). The red dots represent the hours when there is no thermal comfort and green dots shows the hours when there is thermal comfort. As seen in this figure, it is found that

the total hours of thermal comfort during the year for Yazd City is 15.5% of the total hours of the year, i.e. 1357 hours out of 8760 hours. Similarly, for the cities of Isfahan, Zahedan, Shiraz, Qom, and Kerman, the same value was estimated to be 16.1, 16, 14.6, 17.3 and 14.9%, respectively. To make the study shorter, the psychrometric curves of the other five cities are not presented here.

In general, thermal comfort depends on many factors such as air temperature, humidity, air flow, type of clothing, average radiant temperature, and so on. Since there is no approved standard for the Iranian cities, in the present study, the annual schedule of HVAC systems was determined according to the available weather data.

So, the weather data collected from 2013 to 2017 for each of the six cities were used to determine the annual schedule of HVAC systems as follows. Here, as an example, the weather data analyzed for Yazd city are presented:

To decide on the schedule of HVAC systems for Yazd City, the minimum and maximum monthly temperatures obtained from 2013 to 2017 were listed in a table and the 5 values reported for each month were averaged. Here, the tables are omitted and based on their results, Figure 5 was plotted. Analyzing this figure indicates that for Yazd City, only in April, May, and October, there is a need for a cooling system and there is no need for a heating system in May. During the summer holidays (June 1 to Sep. 20) and Nowruz (Mar. 18 to Apr. 5), the heating and cooling systems are turned off.

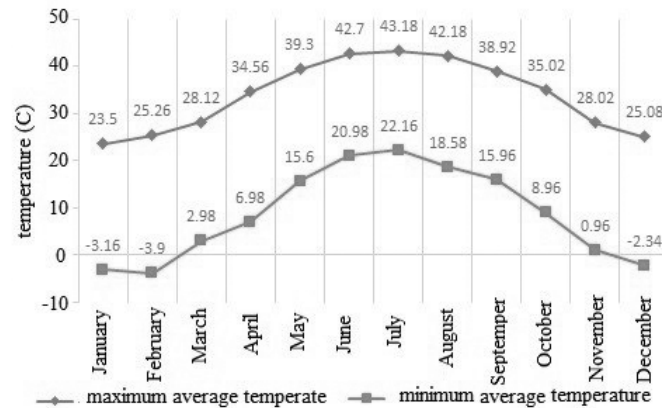


Fig. 5. The Maximum and Minimum Average Temperature of Yazd from 2013 to 2017 (The Specified Zone is the Thermal Comfort Limits)

Similarly, the abovementioned values were determined for the other five cities. Table 7 shows the average maximum and minimum temperatures from 2013 to

2017 for the six cities studied and the on/off status of the heating and cooling systems in different months of the year.

Table 7. Maximum and Minimum Monthly Average Temperature of the Six Cities in the Last Five Years and the On/Off Status of HVAC Systems in Each Month

| | | Jan | Feb | Mar | Apr | May | June | July | Aug | Sept | Oct | Nov | Dec |
|--|---------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Maximum Monthly Average Temperature (in the Last Five Years) | Isfahan | 18.48 | 20.64 | 23.84 | 29.84 | 34.76 | 39.6 | 40.84 | 39.28 | 35.84 | 31.68 | 22.84 | 21.04 |
| | Shiraz | 20.6 | 21.4 | 24.6 | 31.52 | 36.6 | 40 | 41.16 | 40.08 | 37.08 | 32.56 | 25.56 | 21.88 |
| | Zahedan | 24.10 | 24.58 | 28.24 | 35.08 | 39.34 | 41.78 | 41.3 | 38.94 | 36.92 | 34.96 | 27.4 | 26.08 |
| | Qom | 19.64 | 23.02 | 27.2 | 34.86 | 38.98 | 43.78 | 45.56 | 43.66 | 40.88 | 36.36 | 25.86 | 19.86 |
| | Kerman | 22.14 | 23.14 | 25.62 | 31.94 | 36.36 | 39.52 | 39.66 | 38.28 | 35.76 | 32.82 | 27 | 24.66 |
| | Yazd | 23.5 | 25.26 | 28.12 | 34.56 | 39.3 | 42.7 | 43.18 | 42.18 | 38.92 | 35.02 | 28.02 | 25.08 |
| Minimum Monthly Average Temperature (in the Last Five Years) | Isfahan | -8.12 | -5.84 | -0.32 | 3.84 | 10.12 | 16.44 | 18.92 | 15.72 | 11.56 | 5.32 | -3.04 | -5.72 |
| | Shiraz | -4.52 | -3.88 | -0.56 | 4.16 | 9.28 | 13.48 | 17.32 | 15.36 | 11.36 | 6.44 | 0.2 | -4.04 |
| | Zahedan | -7.7 | 4.14 | 0.22 | 6.04 | 12.84 | 15 | 16.52 | 13.7 | 10.50 | 5.2 | -1.88 | -8.46 |
| | Qom | -5.6 | -4.92 | -0.02 | 3.52 | 12.2 | 16.16 | 19.86 | 16.52 | 11.84 | 4.74 | -3.06 | -5.18 |
| | Kerman | -11.58 | -7.16 | -2.56 | 3.22 | 8.08 | 11.74 | 12.62 | 9.24 | 8.22 | 2.68 | -5.1 | -10.06 |
| | Yazd | -3.16 | -3.9 | 2.98 | 6.86 | 15.6 | 20.98 | 22.16 | 18.58 | 15.96 | 8.96 | 0.96 | -2.34 |
| Heating | Isfahan | + | + | + | + | + | - | - | - | - | + | + | + |
| | Shiraz | + | + | + | + | + | - | - | - | - | + | + | + |
| | Zahedan | + | + | + | + | - | - | - | - | - | + | + | + |
| | Qom | + | + | + | + | - | - | - | - | - | + | + | + |
| | Kerman | + | + | + | + | + | - | - | - | - | + | + | + |
| | Yazd | + | + | + | + | - | - | - | - | - | + | + | + |

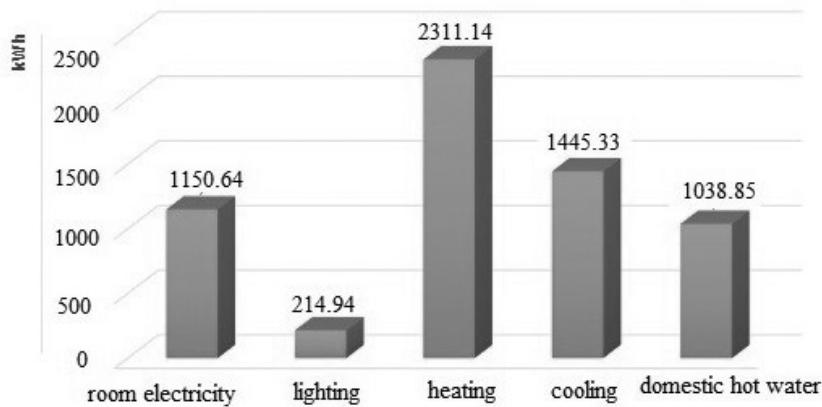


Fig. 8. Details of the Annual Energy Consumption of the Building with the Orientation of 90°, Yazd City

Here, for example, it is explained how the data are analyzed for Yazd City. The same was followed for other cities.

Examining the total annual energy consumption for Yazd city suggests that out of 72 simulated models, the eight models Nos. 15 to 22, which are related to the

orientations of 70 to 105 degrees, have the minimum annual energy consumption. It is clear from Figure 9 shows a decreasing trend in the two ranges and the above mentioned range (from 70 to 105 degrees). Figure 10 shows the annual energy consumption of the models Nos.15 to 22.

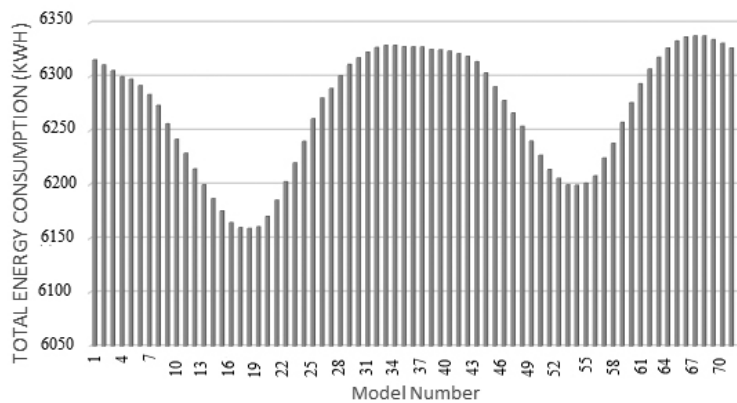


Fig. 9. Total Annual Energy Consumption of 72 Simulated Models with Different Orientations, Yazd City

Analyzing the latest figure shows that for Yazd City, with the orientation ranging 80-90 degrees, the annual energy consumption is less than 6190 kWh. So, the final model with the minimum annual energy consumption is found in this range. To achieve this model, the abovementioned ten-degree range was investigated

with eleven models as follows: the longitudinal axis of each model is rotated one degree clockwise (geographical direction) relative to its previous model. The results of these 11 final models are found in Figure 11.

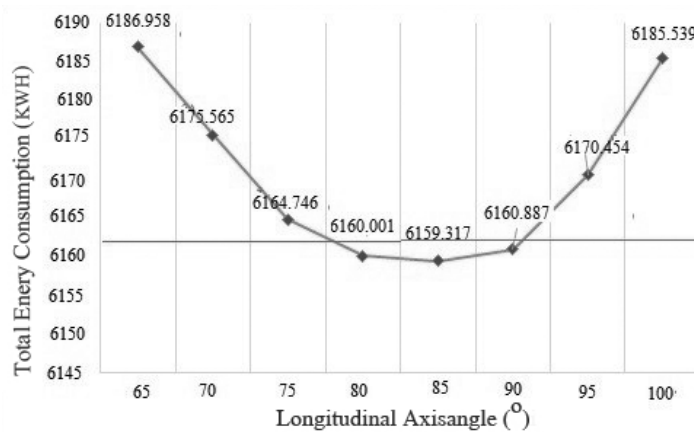


Fig. 10. Total Annual Energy Consumption of the Eight Models with the Minimum Energy Consumption in Yazd City (The Area under the Blue Line Has the Minimum Annual Energy Consumption)

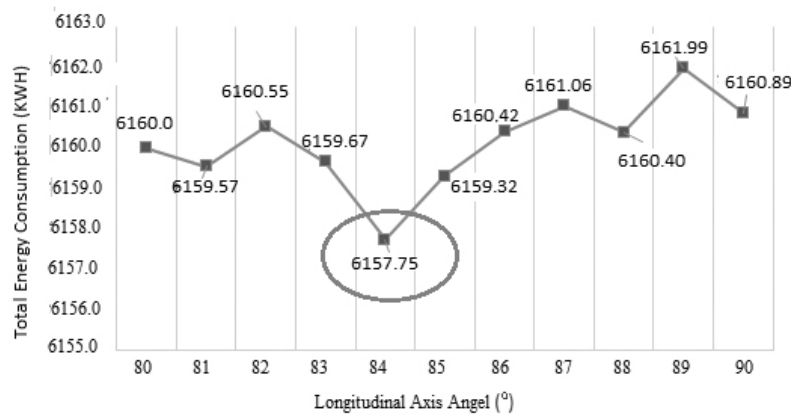


Fig. 11. Total Annual Energy Consumption of Final Models with 1-Degree Difference in Orientations, Yazd City

As this figure shows, for Yazd City, with the orientation ranging 80-90 degrees, the total annual energy consumption of the building is periodic and its minimum value (6157.75 kWh) is obtained at an angle of 84 degrees. Similarly, for the cities of Isfahan, Zahedan, Shiraz, Qom, and Kerman, the values of 6593.653, 5109.634, 5630.829, 6446.135, 5527.306

kWh were obtained as the minimum annual energy consumption, which are related to the orientations of 84, 98, 76, 80, and 84 degrees, respectively. In the current conditions of construction, using survey cameras allows implementing the building orientation with a 1-degree precision, but no higher precision is possible. Therefore, modeling was not continued.

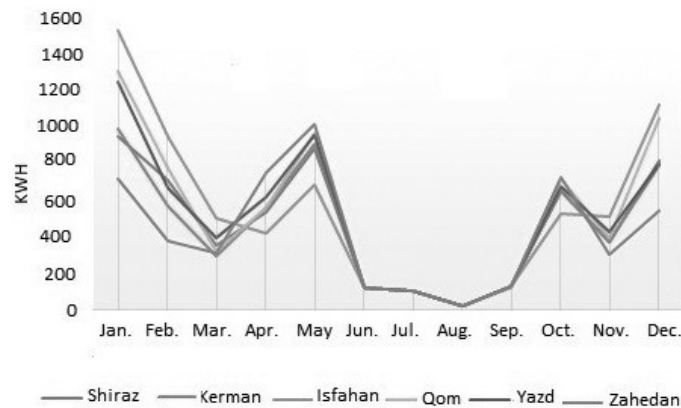


Fig. 12. Monthly Energy Consumption in the Final Optimal Models

Figure 12 shows the monthly energy consumption of the final models obtained for the six cities studied. As seen, in all six models, the maximum energy consumption was calculated for January and the minimum value for March and November (the building is not used from June to September, and also 12 days in March (these are school holidays)).

In Yazd City, using the 335-degree building orientation (considering "0" in the north) results in the highest annual energy consumption of 6337.783 kWh and the difference between this value and the minimum energy consumption is 180.033 kWh.

The useful life span of school buildings in Iran is 50 years¹¹ (Interview with the head of the Iranian Organization for Development, Renovation and Equipping of Schools, August 26, 2009). The value of energy saving (E) in all double-class school buildings

in the country (or a province) during the useful life span of these buildings can be calculated using the following formula:

$$E_t = n \times 50 \times E1$$

Where, n is the number of schools built with this plan across the country (or province) and E1 is the annual energy saving of a school. If the large number of schools built in the country over a five-year period is taken as an example, it will be easy to understand how much energy efficiency will be enhanced only by modifying the building orientation, highlighting how important the results of the present study are.

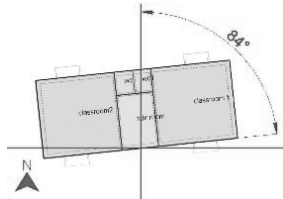
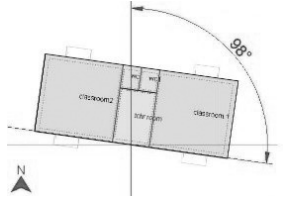
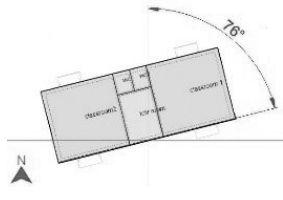
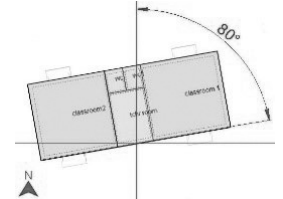
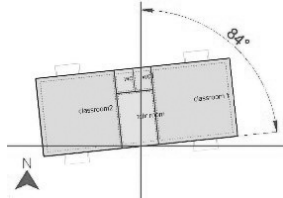
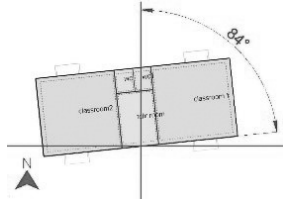
Except for Kerman City, for which the prevalent orientation was found, for other cities, the impact of optimal orientation energy efficiency (in%) can be calculated using the following formula:

$$(\%) \text{ Impact of Optimal Orientation on Annual Energy Efficiency} = 100 \times \frac{(\text{Maximum Annual Energy Consumption}) - (\text{Minimum Annual Energy Consumption})}{(\text{Minimum Annual Energy Consumption})}$$

For Kerman City (where there is a prevalent orientation for school buildings), the formula given in section (1.3) was used. Using the formulas abovementioned, the values obtained for the cities of Isfahan, Zahedan, Shiraz, Qom, Kerman, and Yazd were 3.12, 3.31, 3.27, 6.16, 4.38,

2.92%, respectively. Table 8 shows the minimum and maximum annual energy consumption, the impact of the optimal orientation on energy efficiency and the images of the optimal model for each city. Figure 13 compares the final percentages.

Table 8. Minimum, and Maximum Annual Energy Consumption and the Optimal Models for the Six Cities Studied

| City | Longitude Axis Angle of the Optimal Model (°) | Minimum Annual Energy Consumption (kWh) of the Optimal Model | Maximum Annual Energy Consumption (kWh) of the Most Inappropriate Model | Impact of Optimal Orientation on Energy Efficiency (%) | Optimal Model |
|---------|---|--|---|--|---|
| Isfahan | 84 | 6593.653 | 6799.51 | %3.12 |  |
| Zahedan | 98 | 5109.634 | 5279.047 | %3.31 |  |
| Shiraz | 76 | 5630.829 | 5815.467 | %3.27 |  |
| Qom | 80 | 6446.135 | 6843.55 | %6.16 |  |
| Kerman | 84 | 5527.306 | 5769.405 | %4.38 |  |
| Yazd | 84 | 6157.75 | 6337.783 | %2.92 |  |

Finally, despite the small impact of building orientation on the annual energy consumption, determining the optimal orientation becomes clearly important when a large number of typical buildings are built and their

useful life span of 50 years is considered. As a result, it is found that paying attention to the proper building orientation can save a lot of energy in the long run.

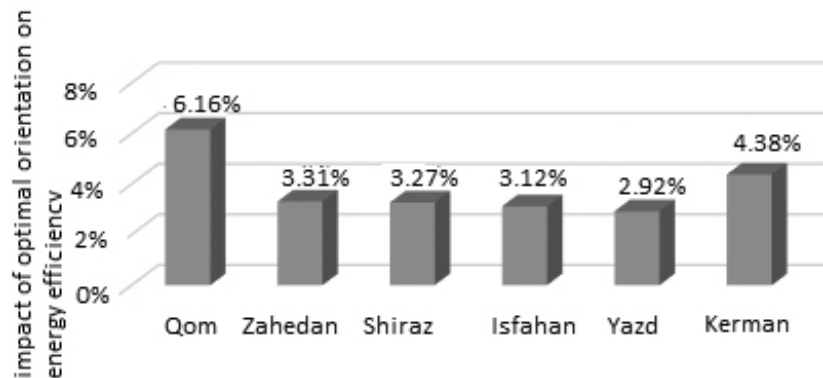


Fig. 13. Comparison of the Six Cities in Terms of the Impact of the Optimal Building Orientation of Schools on Energy Efficiency

6. RESULTS AND SUGGESTIONS

After analyzing the data and reviewing the plotted charts, the research questions were answered and specific results were considered a summary of them are as follows:

- The lowest values of the annual energy consumption for the double-class schools in the cities of Isfahan, Zahedan, Shiraz, Qom, Kerman, and Yazd were estimated 6593.653, 5109.634, 5630.829, 6446.135, 5527.306, 6157.75 kWh, respectively. These values were obtained for the longitudinal axis of 84, 98, 76, 80, 84, and 84 degrees (taking 0 in the north and clockwise rotation).
- Calculations revealed in these cities, in the case of the double-class school, constructing buildings with their optimal orientations would result in 3.12, 3.31, 3.27, 6.16, 4.38, 2.92% rise in energy efficiency, respectively.
- In Kerman City, the northeast-southwest orientation can be considered as the prevalent orientation of most school buildings under construction, but in other cities, no prevalent orientation was found. In rural areas, since there are no limitations on the orientation of urban streets, the optimal building orientation can be carefully determined during the execution of the plan.

- Considering the large number of typical buildings built with this plan and their life span of 50 years, saving a small amount of energy in a building during the year will be result in significant energy savings at the national level, highlighting the importance of determining the optimal building orientation during construction.
- There are no sunshades in the current drawings. However, if the sunshades are considered for the models, the values will be slightly different. Therefore, parametric modeling using Galapagos plugin in Rhinoceros software, to find the optimum shading length and the optimal orientation in accordance with it, can be the topic of future research.
- There are many factors influencing energy efficiency which can be investigated in future research. For example, one can mention the factors of optimization of materials and the use of thermal wall insulation in walls, thermal ceiling insulation, structural layers used in the roof, window-to-wall ration, sill height, window orientation, the optimum shading length and shading form, the classroom depth, and the arrangement and location of classrooms in the plan if there are more classrooms.

END NOTE

1. https://energyplus.net/weather-region/asia_wmo_region_2/IRN%20%20, Received Date:10/Feb/2019
2. Interview with the head of the Iranian Organization for Development, Renovation and Equipping of Schools
3. ASHRAE:(The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)
4. The lux is the SI derived unit of illuminance, measuring luminous flux per unit area. It is equal to one lumen per square metre.
5. The fraction of heat from lights that goes into the zone as long-wave (thermal) radiation.
6. The fraction of heat from lights that goes into the zone as short-wave (thermal) radiation.
7. According to the settings of the simulation software, the Gregorian months were used.
8. It is the minimum temperature that is maintained by heating systems, during the hours when the building is not used temporarily, to reheat the building with less energy or quickly.
9. In the whole text, the values reported for orientations are based on the geographical degree (clockwise rotation) with zero in the north.
10. To receive this table, you can contact the corresponding author.
11. <https://www.mehrnews.com/news/915973>

REFERENCES

- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (1981). ASHRAE Handbook, Fundamentals: An Instrument of Service Prepared for the Profession Containing a Technical Data Section of Reference Material Pertaining to Systems for Heating, Refrigerating, Ventilating, and Air Conditioning.
- ASHRAE. (2007). Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, Atlanta, GA: ASHRAE.
- ASHRAE. (2009). ASHRAE Handbook: Fundamentals, Atlanta, GA: ASHRAE.
- Crawley, D.B., Hand, J.W, Kummert, M., & Griffith, B.T. (2008). Contrasting the Capabilities of Building Energy Performance Simulation Pro-grams. Building and Environment, 43, 661-673. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.027>
- Crawley, D.B., Lawrie, L.K., Winkelmann, F.C., Buhl, W.F., Huang, Y.J., Pedersen, C.O., Strand, R.K., Liesen, R.J., Fisher, D.E., Witte, M.J., & Glazer, J. (2001). Energy Plus: Creating a New-generation Building Energy Simulation Program. Energy and Buildings, 33(4), 319-331. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(00\)00114-6](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(00)00114-6)
- Da Graça, V.A.C., Kowaltowski, D.C.C.K., Petreche, J.R.D. (2007). An Evaluation Method for School Building Design at the Preliminary Phase with Optimisation of Aspects of Environmental Comfort for the School System of the State São Paulo in Brazil. Building and Environment, 42(2), 984-999. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.10.020>
- De Wilde, P., & Coley, D. (2012). The Implications of a Changing Climate for Buildings. Building and Environment, 55, 1-7.
- IEA. (2013). Energy Efficient Building Envelopes. Paris: International Energy Agency.
- Im, P., & Haberl, J. (2006). A Survey of High Performance Schools, Proceedings of the Fifteenth Symposium on Improving Building Systems in Hot and Humid Climates, Orlando, FL.
- Iranian Fuel Conservation Organization. (2009). Modification of Energy Consumption Patterns in Schools and Offices.
- Joshghani, M. (2001). Cooling and Heating Energy Consumption in School Buildings, Organization for Development Renovation and Equipping Schools of Iran. Journal of New School, 26, 18-20.
- Kasmaee, M. (2003). Climate and architecture, 2nd edition, Isfahan, Khak Publications.
- Khosrowshahi, M., & Kalirad, A. (2013). A Research Approach to the Extent and Area of Iran Deserts. Journal of Jangal va Marta. 98, 20-27.
- Laustsen, J. (2008). Energy Efficiency Requirements in Building Codes, Energy Efficiency Policies for New Buildings, IEA Information Paper, International Energy Agency, OECD/IEA, Communication and Information Office, Paris.
- Mahlabani, Y., Faizi, G., & Khakzand, M. (2011). Lighting Program and Iranian Schools Lighting Requirements. International Journal of Architectural Engineering & Urban Planning, 21, 1-11.
- Morrissey, J., Moore, T., & Horne, R.E. (2011). Affordable Passive Solar Design in a Temperate Climate: An Experiment in Residential Building Orientation. Renewable Energy, 36(2), 568-577. <https://doi.org/10.1016/j.renene.08.013>
- N.T. Shabankareh, K., Khosrowshahi, M., & Qolampour, M. (2008). The Vegetative Territory of Desert Areas of Hormozgan Province. Iranian Journal of Range and Desert Research. 15(1)95-113.
- Oberkampf, W.L., & Trucano, T.G. (2002). Verification and Validation in Computational Fluid Dynamics. Progress in Aerospace Sciences, 38(3), 209-272. [https://doi.org/10.1016/S0376-0421\(02\)00005-2](https://doi.org/10.1016/S0376-0421(02)00005-2)
- Pathirana, S., Rodrigo, A., & Halwatura, R. (2019). Effect of Building Shape, Orientation, Window to Wall Ratios and Zones on Energy Efficiency and Thermal Comfort of Naturally Ventilated Houses in Tropical Climate. Int J Energy Environ Eng, 10, 107-120. <https://doi.org/10.1007/s40095-018-0295-3>
- Presidential Office for Management and Planning Organization. (2018). Iran's Statistical Yearbook - 2016, Statistical Center of Iran. Office of the Head, Public Relations and International Cooperation.
- Rea, M.S. (2000). The IESNA Lighting Handbook: Reference & Application; Illuminating Engineering Society of North America: New York, NY, USA.
- Simulation and Energy Plus. General Considerations. Available from: http://pcc5746.pcc.usp.br/Textos_Tecnicos/PCC%205746%20Simula%C3%A7%C3%A3o%20EnergyPlus.PDF, website consulted 10th July 2012
- Susorova, I., Tabibzadeh, M., Rahman, A.L., Clack, H., & Elnimeiri, M. (2013). The Effect of Geometry Factors on Fenestration Energy Performance and Energy Savings in Office Buildings. Energy and Buildings, 57, 6-13. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.10.035>

Aibaghi Esfahani, H. et al.

- Vasaturo, R., Van Hooff, T., Kalkman, I., Blocken, B., & Van Wesemael, P. (2018). Impact of Passive Climate Adaptation Measures and Building Orientation on the Energy Demand of a Detached Lightweight Semi-portable Building. *Building Simulation*, 11(6), 1163-1177. <https://doi.org/10.1007/s12273-018-0470-8>
- Watson, D., & Labs, K. (2010). *Climatic Design: Theoretical and Practical Principles of Energy Use in Buildings*. (Ghobadian, V., & Feyz Mahda-vi, M. Trans). Tehran, University of Tehran Press.
- Zhang, A., Bokel, R., Dobbelsteen, A.V.D., Sun, Y., Huang, Q., & Zhang, Q. (2017). Optimization of Thermal and Daylight Performance of School Buildings Based on a Multi-Objective Genetic Algorithm in the Cold Climate of China. *Energy and Buildings*, 139, 371-384. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.04.025>
- Zomorodian, Z.S., & Nasrollahi, F. (2013). Architectural Design Optimization of School Buildings for Reduction of Energy Demand in Hot and Dry Climates of Iran. *Int. J. Archit. Eng. Urban Plan*, (23), 41-50.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Aibaghi Esfahani, H., Momeni, K., & Hassan Pour, F. (2021). Impact of Building Orientation on Annual Energy Consumption in Schools in Hot Arid Regions in Iran, Using Climate Modeling, Case Study: A Double-class School. *Armanshahr Architecture & Urban Development Journal*. 14(34), 23-40.

DOI: 10.22034/AAUD.2020.189693.1906

URL: http://www.armanshahrjournal.com/article_131880.html



COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the Armanshahr Architecture & Urban Development Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License.

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Appendix:

Table 9. Properties of External Glazing

| Double- Clear- 6mm/13mm Air | |
|---|-------|
| Total Solar Transmission(SHGC) | 0.497 |
| Direct Solar Transmission | 0.373 |
| Light Transmission | 0.505 |
| U-value(ISO 10292/EN 673) (W/m ² -k) | 2.785 |
| U-value (ISO 15099/NFRC) (W/m ² -k) | 2.665 |

Table 10. Properties of Lights


| LED with Linear Control | |
|---|---|
| Normalized Power Density(W/m ² -100 lux) | 2.50 |
| Luminaire Type |  |
| | Recessed |
| Radiant Fraction | 0.37 |
| Visible Fraction | 0.18 |

Table 11. Properties of Walls, Ceiling and Window Frames Used in the Models

| | External Window Frames | External Wall | Roof |
|---|-------------------------------|----------------------|-------------|
| Inner Surface | | | |
| (Convective Heat Transfer Coefficient (W/m ² -k) | 2.152 | 2.152 | 3.805 |
| Radiative Heat Transfer Coefficient (W/m ² -k) | 5.540 | 5.540 | 5.540 |
| Surface Resistance (m ² -K/W) | 0.130 | 0.130 | 0.107 |
| Outer Surface | | | |
| Convective Heat Transfer Coefficient (W/m ² -k) | 23.290 | 19.870 | 28.203 |
| Radiative Heat transfer Coefficient (W/m ² -k) | 1.710 | 5.130 | 5.130 |
| Surface Resistance (m ² -K/W) | 0.040 | 0.040 | 0.030 |
| With No Thermal Bridge | | | |
| U-Value Surface to Surface (W/m ² -k) | 23.853 | 2.442 | 0.618 |
| R-Value (m ² -K/W) | 0.212 | 0.580 | 1.754 |
| U-Value (W/m ² -k) | 4.719 | 1.725 | 0.570 |
| With Thermal Bridge (Per ISO 6946) | | | |
| Thickness(m) | 0.009 | 0.2850 | 0.0682 |
| Km-internal Heat Capacity (KJ/m ² -K) | 3.9675 | 149.0240 | 195.088 |
| Upper Resistance Limit (m ² -K/W) | 0.0212 | 0.580 | 3.323 |
| Lower Resistance Limit (m ² -K/W) | 0.212 | 0.580 | 3.323 |
| U-Value Surface to Surface (W/m ² -k) | 23.853 | 2.442 | 0.314 |
| R-Value (m ² -K/W) | 0.212 | 0.580 | 3.323 |
| U-Value (W/m ² -k) | 4.719 | 1.725 | 0.301 |

