مکانیک سازه‌ها و شاره‌ها/ سال ۱۳۹۶/ دوره ۷/ شماره ۴/ صفحه ۲۰۹-۲۲۱

مجله علمی پژوهشی مکانیک سازه‌ها و شاره‌ها

DOI: 10.22044/jsfm.2018.6415.2510

بررسی استفاده از شیشه‌های آئروژل نانو در بهره خورشیدی و بار سرمایش یک ساختمان اداری در اقلیم‌های گرم و مرطوب، گرم و خشک و سرد، ایران

جلیل شاعری[۱،*]، محمود یعقوبی[۲] ، محمد علی آبادی[۳] و رزا وکیلی نژاد[۴]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه شیراز

[۲] پروفسور، دانشکده مکانیک، دانشگاه شیراز

[۳] استادیار، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه شیراز

مقاله مستقل، تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۱۷؛ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۰۹/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۱۴

چکیده

رشد جمعیت و بالا رفتن سطح زندگی در ایران سبب شده، تقاضا برای انرژی در بخش ساختمان افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته باشد. در ساختمان‌ها انرژی زیادی از طریق پنجره‌ها به هدر می‌رود و عایق نمودن شیشه‌ها امری الزامی شده است. هدف از این پژوهش، بررسی تاثیر شیشه دو جداره با عایق آئروژل نانو (نانوژل) در مقایسه با شیشه ساده سه میلی‌متر و شیشه دو جداره بر بهره خورشیدی و کاهش بار سرمایش ساختمان اداری در شهرهای بوشهر با اقلیم گرم و مرطوب، شیراز با اقلیم گرم و خشک و تبریز با اقلیم سرد است. برای ارزیابی، ساختمانی نمونه اداری سه طبقه در نرم افزار دیزاین بیلدر شبیه سازی شد و بهره خورشیدی و بار سرمایش آن محاسبه شده است. نتایج حاکی از آن است که استفاده از شیشه نانوژل در بوشهر موجب کاهش ۶۲٪ بهره خورشیدی و ۲۱٪ بار سرمایش نسبت به شیشه ساده می‌شود. استفاده از شیشه نانوژل در شیراز، باعث گردیده ۷۰/۳٪ بهره خورشیدی و بار سرمایش ۲۵٪ نسبت به شیشه معمولی و ۸٪ نسبت به شیشه دو جداره کاهش یابد. استفاده شیشه نانوژل در ساختمان تبریز، باعث گردیده میزان بهره خورشیدی حدود ۶۰٪ و بار سرمایش ۱۶/۶٪ نسبت به شیشه ساده تقلیل یابد.

کلمات کلیدی: بار سرمایش؛ بهره خورشیدی؛ شیشه نانوژل؛ ساختمان اداری؛ گرم و خشک؛ گرم و مرطوب؛ سرد.

Analysis of Using Nano Aerogel Glazing on Solar Heat Gain and Cooling Load in an Office at Hot and Dry, Hot and Humid and Cold Climates of Iran

J. Shaeri[1,*], M. Yaghoubi[2], M. Aliabadi[3], R. Vakilinazhad[3]

[1] MA. Student, Arch. Eng., Shiraz Univ., Shiraz, Iran

[2] Prof., Mech. Eng., Shiraz Univ., Shiraz, Iran

[3] Assis. Prof., Arch. Eng., Shiraz Univ., Shiraz, Iran.

Abstract

Population growth and high rise of living standard increased energy demand in the construction sector considerably. In buildings, a lot of energy is lost through windows glasses. The purpose of this study is to investigate the effect of double-glazed glass with nano-aeorgel (nanogel) insulation compared to simple glass of 3mm and double-glazed glass on solar gain reduction of cooling load of an office building in Bushehr with hot and humid, Shiraz with warm and dry and Tabriz with cold climate. For this purpose, a three-floor office building is simulated as a model building by Designbuilder Software and solar heat gain and cooling load are calculated for each case. The results indicate that the use of glass nanogel in Bushehr reduced 62% of solar gain and 21% of cooling load compared to the simple glass window. Using nanogel glass in Shiraz reduced 70.3 % solar gain compared to simple glass, 25 % of cooling load compared to simple glass and 8 % compared to double-glazed glass. Using nanogel glass in Tabriz has caused to decrease solar gain about 60% and cooling load 16.6% compared with simple glass.

Keywords: Cooling Load; Solar Heat Gain; Nanogel Glass; Office Building; Hot and Dry; Hot and Humid; Cold.

* نویسنده مسئول؛ تلفن: ۰۹۳۷۳۰۵۶۲۵۳؛ فکس: ۹۸۷۱۳۲۳۰۳۰۵۱+

آدرس پست الکترونیک: jalil.shaeri@shirazu.ac.ir

۱- مقدمه

امروزه ۵۰٪ از جمعیت جهان در شهرها زندگی می‌کنند و این عدد تا سال ۲۰۳۰ به ۸۰٪ می‌رسد[۱]. مقدار بسیار زیادی از انرژی در بخش ساختمان مصرف می‌شود و شهرها عامل تولید ۷۰٪ درصد گاز کربن در جهان می‌باشند [۲]. چگونگی کاهش مصرف انرژی و در نتیجه کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، یکی از موضوعات کلیدی مرتبط با توسعه پایدار است. در این راستا برای کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها، عایق‌بندی دیوارها و پنجره‌ها رو به افزایش است. در بعضی از ساختمان‌ها، حدود نیمی از بار حرارتی و برودتی ساختمان از طریق پنجره‌ها به هدر می‌رود و عایق نمودن پنجره‌ها، امری الزامی شده است.

با مطالعه خواص انتقال حرارت در مواد آئروژل، مناسب بودن آن‌ها جهت عایق نمودن پنجره‌ها و کاهش انتقال حرارت به نظر مطلوب می‌رسد [۳]. امروزه مواد آئروژل می‌توانند جایگزین خوبی برای عایق حرارتی در ساختمان‌ها باشند که عملکردی بهتر با ضخامتی کم‌تر از عایق‌های رایج را دارا می‌باشند [۴]. مواد آئروژل مقاومت حرارتی بالاتری نسبت به عایق‌های معمولی چون پلی استایرن دارند [۵]. تحقیقات نشان داده، مواد آئروژل مناسب با محیط زیست هستند و به آن آسیب نمی‌رسانند [۶]. بتنس و همکاران [۷] و آلام و همکاران [۸]، در پژوهش‌هایشان به این نتیجه دست یافتند که استفاده از عایق‌های آئروژل، باعث کاهش مصرف انرژی ساختمان شده، ضخامت عایق به صورت چشمگیری کاهش می‌یابد.

آئروژل از سبک‌ترین مواد جامد است و سیلیکای آئروژل با ضریب هدایت ۰/۰۱۴۴ W/mK، پایین‌ترین ضریب هدایت حرارتی را در میان مواد رایج جهت عایق سازی دارد [۹]. از مواد آئروژل در ساخت پنجره به کار می‌رود که بین شیشه‌ها قرار می‌گیرند و وزنی سبک دارند. از آنجا که مقدار ضریب U-value[۱] آن‌ها کم‌تر از ۰/۳ W/m^2K است، این خاصیت پوشش آئروژلی را دارای پتانسیل زیادی در صنعت پنجره و شیشه کرده است و استفاده از آن‌ها در صنعت شیشه باعث گردیده، مقاومت حرارتی شیشه بسیار افزایش یابد [۱۰و۱۱].

هوانگ و نیو [۱۲]، به مطالعه رفتار حرارتی و خواص نوری شیشه‌ای پرداخته‌اند که در بین دو شیشه ساده از مواد آئروژل استفاده شده بود. آن‌ها مطالعه خود را روی ساختمان‌های تجاری در اقلیم گرم و مرطوب چین انجام دادند. برای بررسی از نرم افزار دیزاین بیلدر[۲] [۱۳]، جهت شبیه‌سازی استفاده نمودند و ادعا شده که استفاده از آئروژل در آب و هوای گرم و مرطوب، باعث کاهش ۴٪ تا ۶۰٪ بار سرمایش ساختمان شده است. همچنین راشوان و همکاران [۱۴]، به بررسی تاثیر مواد نانو جهت عایق در ساختمان و تاثیر آن بر مصرف انرژی در آب و هوای گرم و خشک مصر پرداخته‌اند. آن‌ها از نرم افزار اکوتکت[۳] جهت شبیه‌سازی ساختمان استفاده کردند. نتایج نشان داد، استفاده از عایق نانو در دیوارهای خارجی، باعث کاهش ۴۵٪ انتقال حرارت در مقابل عایق پلی استایرن شده است. همچنین شیشه دو جداره با عایق نانو، باعث کاهش ۸۱٪ تبادل حرارت در مقایسه با شیشه ساده و ۵۵٪ در مقایسه با شیشه دو جداره شده است. در مجموع با استفاده از عایق‌های نانو در پنجره، درب و دیوار، باعث بهره‌وری انرژی ۷۲٪ ساختمان نسبت به ساختمان‌های معمولی گردیده است. همچنین مجیبو و همکاران [۱۵]، در پژوهشی به تاثیر مواد عایق آئروژل بر مصرف انرژی ساختمان اداری کوچکی در شهر ظهران عربستان پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که استفاده از عایق‌های نانو، موجب کاهش ۱۶٪ مصرف انرژی ساختمان گردیده است و شیشه‌های نانوژل به تنهایی باعث کاهش ۱۶٪ انرژی کل مصرفی در مقایسه با شیشه‌های دو جداره شده است. در پژوهشی دیگر، به تاثیر عایق‌های نانو بر مصرف انرژی و هزینه آن در ساختمان اداری چند طبقه پرداختند، مشخص شد که استفاده از عایق‌های نانو، موجب کاهش ۱۴٪ مصرف انرژی سالانه شده است. همچنین از لحاظ هزینه و بازگشت سرمایه عایق آئروژل پیشنهاد داده شده است [۱۶].

جنسن و همکارن [۱۷و ۱۸]، کاربرد شیشه‌های شفاف سیلیکا آئروژل یکپارچه را مطالعه نموده‌اند. آن‌ها ادعا نمودند که میزان انتقال تابش خورشیدی[۴]شیشه آئروژل با ضخامت ۱۰mm، ۷۶٪ است و ضریب انتقال گرمای آن کم‌تر از

[۱] ضریب انتقال حرارت سطحی

[2] DesignBuilder
[3] Ecotect
[4] Solar transmittance

$۰/۰۷W/m^2$ است؛ همچنین آن‌ها به ارزیابی عملکرد شیشه آئروژل در مقایسه با شیشه معمولی در مصرف انرژی خانه مسکونی پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که استفاده از شیشه آئروژل باعث گردیده، kWh ۱۲۰۰ مصرف انرژی کاهش یافته که ۱۹٪ از آن مربوط به کاهش تقاضای گرمایش بوده است [۱۹].

ریم و همکاران [۲۰]، عملکرد حرارتی شیشه‌های آئروژل را بررسی و ادعا نمودند که شیشه با عایق نانوژل با ضخامت کم‌تر از mm۵۰، میزان انتقال خورشیدی آن ۳۵٪ است. مطالعه روی شیشه‌های نوع ساندویچی آئروژل با ضخامت‌های مختلف نشان داده است، این نوع شیشه علاوه بر عملکرد مناسب در کاهش مصرف انرژی در اقلیم سرد، از لحاظ آکوستیک نیز بسیار مناسب می‌باشند [۲۱]. علاوه بر این، داوسن و همکاران [۲۲] به بررسی تجربی عملکرد حرارتی آئروژل‌های دندانه دار پرداختند. آن‌ها آئروژل ساده را در یک شیت پلی کربنات شفاف گذاشتند و وضعیت اتلاف حرارتی آن را با شیشه ساده تک لایه مقایسه نمودند. آن‌ها ادعا کردند که اتلاف حرارتی شیشه آئروژل روی شیت پلی کربنات ۸۰٪ کاهش یافته است.

شیشه با عایق آئروژل از لحاظ تنظیم نور طبیعی وارد شده به فضای داخلی، عملکرد بسیار مناسبی دارد و نور پخش شونده[1]با کیفیت بالایی را وارد فضا می‌کنند که برای آسایش افراد بسیار مناسب است؛ اما باید توجه شود که از لحاظ طراحی، محل قرارگیری پنجره، بزرگی پنجره، کشیدگی و نوع افقی یا عمودی بودن پنجره، مهم و باید ارزیابی شود، در غیر این صورت عملکرد پایینی از لحاظ نور خواهد داشت [۱۲و ۲۲]. همچنین عایق نانوژل، باعث کاهش مصرف انرژی و دی اکسید کربن تولیدی ساختمان شود، باید از این مواد طبق استانداردهای مربوطه و اصول ایمنی از آن استفاده گردد؛ همچنین در صورتی که این مواد طبق استانداردهای مربوطه تولید نشود، غیر قابل بازیافت بوده و بهره‌گیری غیر اصولی، باعث آسیب به محیط زیست می‌شود و سلامتی انسان را به خطر می‌اندازد [۱۵و ۲۱]. علاوه بر تفاوت فوق، شیشه‌های آئروژل در مقابل شیشه‌های ساده و دو جداره از قیمت بالاتری برخوردار است، اما چون عملکرد بسیار مناسب‌تری از لحاظ کاهش مصرف انرژی نسبت به بقیه شیشه‌ها دارد، توصیه می‌شود [۱۶].

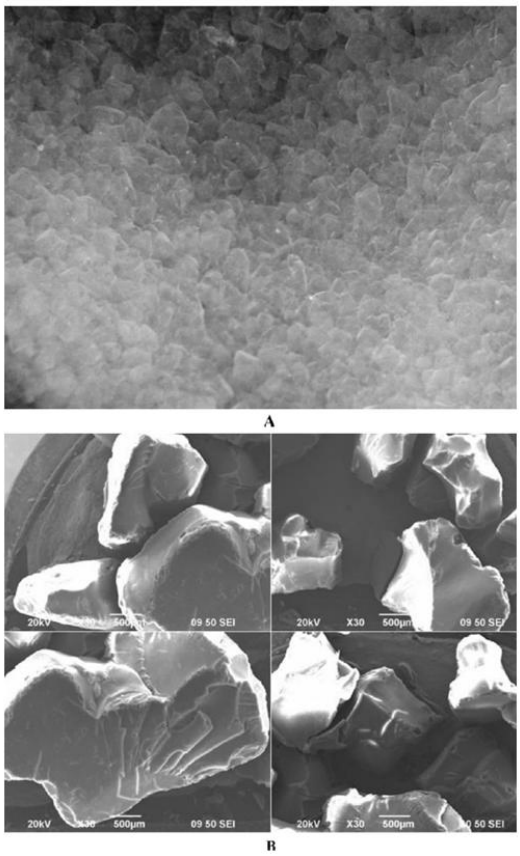
با بررسی مطالعات انجام شده مشخص گردید که شیشه آئروژل، تاثیر به سزایی در کاهش مصرف انرژی و کاهش اتلاف حرارت دارد و پژوهشگران از مواد آئروژل نانو، به شکل‌های گوناگون در شیشه استفاده می‌کنند. متاسفانه اطلاعات اندکی از عملکرد آن در ساختمان‌های اداری موجود است، همچنین پژوهشی در زمینه تاثیر شیشه آئروژل بر بهره خورشیدی ساختمان در اقلیم‌های مختلف ایران انجام نگردیده است. هدف از این پژوهش، بررسی و کاربرد عایق نانوژل در بین شیشه دو جداره است تا مشخص شود، شیشه با عایق نانوژل در مقایسه با شیشه ساده و دو جداره تا چه میزان در اقلیم گرم و مرطوب، گرم و خشک و سرد ایران بر بار سرمایش ساختمان‌های اداری و بهره خورشیدی تاثیر گذار است.

۱-۱- مواد آئروژل

آئروژل‌ها از مواد خاص به شمار می‌روند که خواص خیره کننده‌ای در مقابل انتقال حرارت نشان می‌دهند. آئروژل‌ها را می‌توان به عنوان موادی با پایین‌ترین چگالی نسبت به هر ماده شناخته شده ساختمانی دیگر تعریف نمود. این مواد شامل، نانو ذراتی هستند که در یک شبکه سه بعدی با درجه تخلخل بالا قرار دارند [۲۳]. در واقع آئروژل‌ها مواد جامد متخلخلی هستند که از طریق یک فرایند سل- ژل[2] همراه با یک مرحله خشک کردن ویژه بدست می‌آیند. در اثر یکپارچگی، مواد متخلخل از نظر ریخت شناسی، مشابه با رشته‌های مرواریدی هستند. این مواد مساحت سطح بالا در محدوده ۳۰۰-۱۰۰۰ گرم برمترمربع و هدایت حرارتی پایین دارند. این حفره‌ها قطرهای متفاوتی دارند و از چند نانومتر تا چند میکرومتر متغیر است. اندازه قطر حفره‌های مذکور، معمولا در حدود ۱۰ نانومتر است. تقریبا ۹۵ درصد حجم آئروژل‌ها را تخلخل یا حفره‌ها تشکیل می‌دهند [۲۴]. در شکل ۱، تخلخل مواد نانو آئروژل در زیر میکروسکوپ نشان داده شده است.

[1] Diffuse Light

[2] Sol-Gel

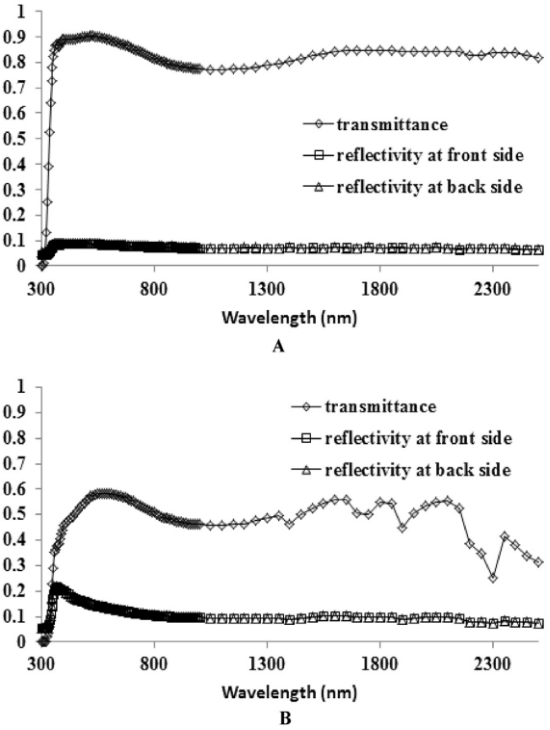


شکل ۱- تخلخل مواد آئروژل (A)، دانه‌های نانو آئروژل زیر میکروسکوپ (B) [۱۲]

۱-۲- تاثیر مواد آئروژل در انتقال نور

عایق نانوژل در شیشه به مقدار اندکی انتقال نور مرئی را کاهش می‌دهد. هوانگ و نیو [۱۲]، در پژوهشی به مقایسه شیشه با عایق نانوژل و شیشه معمولی در انتقال نور از شیشه و میزان انعکاس در دو طرف شیشه پرداختند که در شکل ۲ نشان داده شده است. طبق این شکل، استفاده از عایق نانوژل، حدود ۳۵٪ انتقال نور را کاهش می‌دهد که بر کاهش بهره خورشیدی[1] موثر است و باعث کاهش بار سرمایش می‌شود. بوراتی و مورتی [۲۵] ، در پژوهشی تجربی نشان دادند که میزان کاهش نور توسط شیشه با عایق نانوژل، باعث افزایش نرخ روشنایی یا گرمایش نمی‌گردد و برای استفاده در ساختمان بسیار مناسب است.

[1] Sloar Heat Gain



شکل ۲- مقایسه میزان انتقال نور، انعکاس نور از طریفین شیشه در دو حالت (A). شیشه بدون عایق نانوژل (B). شیشه با عایق نانوژل[۱۲]

۱-۳- اقلیم ایران و شهرهای مورد بررسی

اولین گام برای طراحی معماری متناسب با محیط پیرامون، مطالعه عوامل اقلیمی مکان مورد نظر است. با توجه به تقسیم بندی اقلیمی کوپن، ایران دارای چهار اقلیم گرم و مرطوب، گرم و خشک، سرد و معتدل و مرطوب است که در شکل ۲ نشان داده شده است. در این پژوهش، شهرهای شیراز با اقلیم گرم و خشک، تبریز با اقلیم سرد و بوشهر با اقلیم گرم و مرطوب، برای مطالعه انتخاب شده‌اند (شکل ۳).

باد غالب در بوشهر شمال و شمال غرب است و متوسط سرعت باد در سال ۲/۵ m/s است و متوسط دمای بوشهر در سال ۲۵ ^{o}C است. همچنین متوسط تابش خورشیدی افقی پخش شده[2] در سال برای بوشهر، ۷۳/۳kWh/m^2 و متوسط تابش خورشید معمولی مستقیم[3]

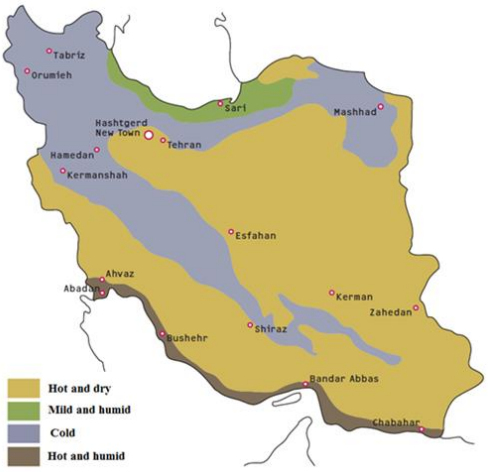
[2] Diffuse Horizontal Solar Radiation
[3] Direct Normal Solar Radiation

در سال برای بوشهر Wh/m^2 ۹۵/۸ است. باد غالب در تبریز غرب است و متوسط سرعت باد در سال m/s ۳ است و متوسط دمای سالانه نیز، ^oC ۱۱/۹ است که مشخص می‌کند، گرمایش ساختمان امری مهم است؛ همچنین متوسط تابش خورشیدی افقی پخش شوده در سال برای تبریز، kWh/m^2 ۷۶/۲ و متوسط تابش خورشید معمولی مستقیم در سال برای بوشهر، kWh/m^2 ۷۲/۷ است. شیراز که در منطقه گرم و خشک قرر گرفته، دارای متوسط دمای سالانه ^oC ۱۷/۸ است و باد غالب در این شهر، شمال و شمال غرب است و متوسط سرعت باد سالانه m/s ۲/۲ است. متوسط تابش خورشیدی افقی پخش شوده در سال برای شیراز kWh/m^2 ۱۱۰/۲ و متوسط تابش خورشید معمولی مستقیم در سال، Wh/m^2 ۹۶/۷ است.

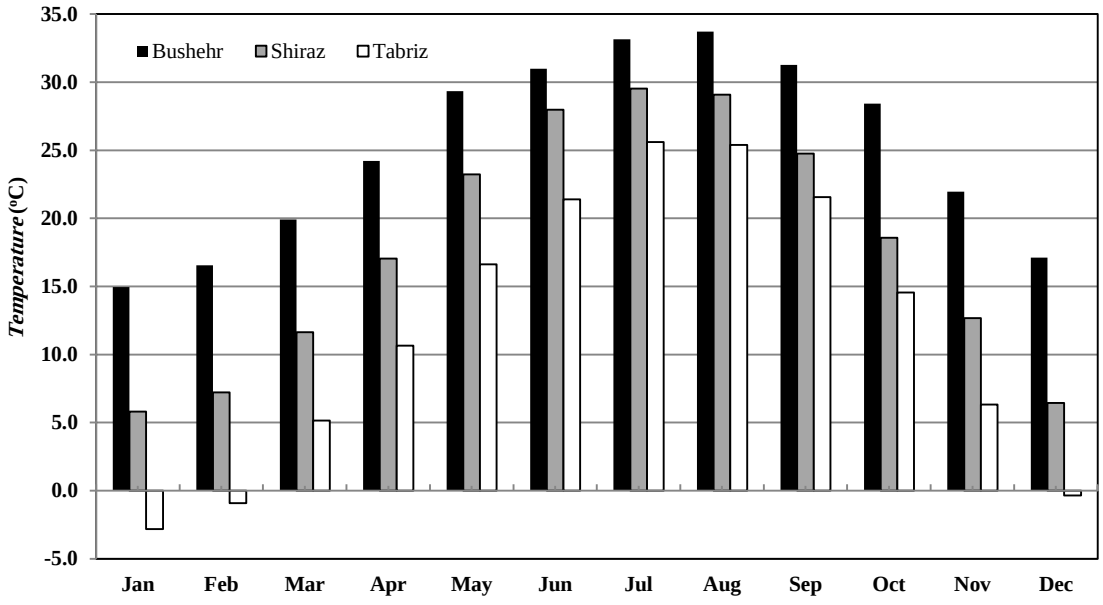
در شکل ۴، متوسط دمای ماهانه شهرهای تبریز، بوشهر و شیراز در ماه‌های سال نشان داده شده است. تبریز در اکثر ماه‌های سال، دارای آب و هوایی سرد است و متوسط دمای بوشهر در اکثر ماه‌ها بالا است و بین ^oC ۱۵ تا ^oC ۳۳ قرار دارد و شیراز دارای حداقل دمای ^oC ۵/۸ در دسامبر و بیشترین دما ^oC ۲۸/۱ در جولای است.

۲- روش تحقیق

در این پژوهش به منظور بررسی تاثیر شیشه با عایق نانوژل بر بهره خورشیدی و بار سرمایش ساختمان‌های اداری، ابتدا ساختمانی سه طبقه به عنوان نمونه در نظر گرفته شد که پلان آن در شکل ۵ نشان داده شده است. این ساختمان دارای کشیدگی شرقی – غربی است که فضاهای اداری نور شمال و جنوب را از طریق پنجره‌ها دریافت می‌کنند.

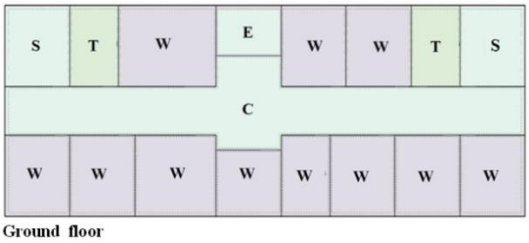


شکل ۳- تقسیات اقلیمی ایران [۲۶]

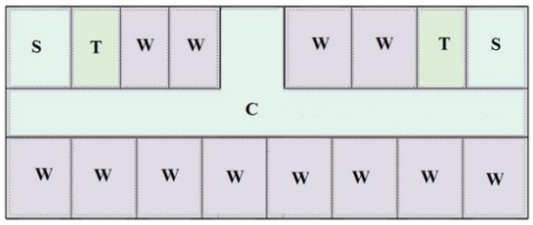


شکل۴- متوسط دمای ماهانه شهرهای شیراز، تبریز و بوشهر طی سال (متوسط دما از سال ۱۳۹۵-۱۳۸۵ برگرفته شده از سازمان هواشناسی کشور)

در این پژوهش جهت شبیه‌سازی ساختمان، از نرم افزار دیزاین بیلدر[1] استفاده شده است. این نرم افزار دارای موتور تحلیل انرژی پلاس[2] است و قادر به شبیه‌سازی ساختمان و محاسبه بار سرمایش، گرمایش، نور و غیره را در طول سال دارد. در شکل ۶، ساختمان شبیه سازی شده در نرم افزار دیزاین بیلدر[1] نشان داده شده است.



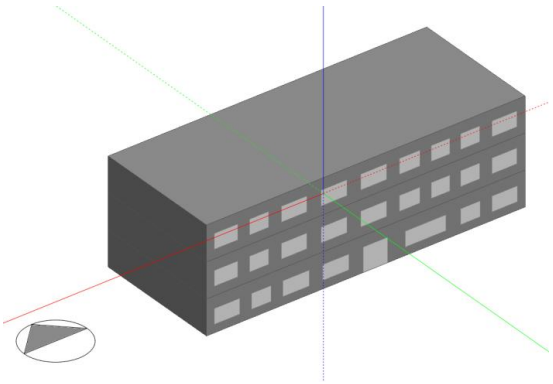
Ground floor



First and second floor

E : Enter
W : Office working area
C: Circulation area
S: Stair
T: Toilet

شکل ۵- پلان‌های طبقات ساختمان برای شبیه سازی



شکل ۶- ساختمان شبیه سازی شده در دیزاین بیلدر[1]

ساختمان اداری مورد مطالعه، ساختمانی به ابعاد ۱۳m در ۳۲m در نظر گرفته شد که مساحت زیربنا هر طبقه $۴۱۶m^2$ است و مقدار روشنایی طبق استاندارد اشری[3] ۴۰۰ لوکس[4] در نظر گرفته شده است. مشخصات ساختمان از لحاظ جهت‌گیری، میزان ظرفیت اشغال و غیره در جدول ۱ آورده شده است.

در موارد شبیه‌سازی طبق استاندارد اشری نقطه گرمایش،[5] ۲۲ درجه سلسیوس و نقطه سرمایش،[6] ۲۴ درجه سلسیوس در نظر گرفته شد. همچنین مصالح به کار رفته در ساختمان شبیه‌سازی شده و لایه‌های تشکیل دهنده دیوارهای بیرونی، داخلی و سقف در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات ساختمان مورد مطالعه

عنوان	مشخصات
نوع کاربری	ساختمان اداری چند طبقه
موقعیت	بوشهر، شیراز، تبریز، ایران
مساحت زیربنا	$۴۱۶m^2$ هر طبقه
تعداد طبقات	۳
ارتفاع هر طبقه	۳/۵ m
ظرفیت اشغال (m^2/نفر)	۷ (استاندارد ASHRAE)
ساعت کاری اداری	۸ AM تا ۴ PM
نسبت پنجره به دیوار بیرونی	٪۳۰
جهت گیری	شمال - جنوبی
روشنایی	۴۰۰ لوکس

۲-۱- شیشه‌های مورد مطالعه

بعد از شبیه‌سازی ساختمان اداری، سه نوع شیشه برای پنجره‌های بیرونی ساختمان در نظر گرفته شد. نوع اول، شیشه ساده (#Sgl)[7] با ضخامت ۳mm و نوع دوم، شیشه دو جداره (#Dbl)[8] و نوع سوم، شیشه با عایق نانوژل(#Ng)[9]. نوع شیشه‌های مورد مطالعه و ضریب انتقال حرارت مربوط به

[1] DesignBuilder
[2] Energyplus

[3] ASHRAE
[4] Lux
[3] Heatng Setpoint
[4] Cooling Setpoint
[7] Single glass
[8] Double glass
[9] Nanogel glass

جدول ۲- مشخصات مصالح ساختمان شبیه سازی شده در نرم افزار دیزاین بیلدر[1] بر گرفته شده از کتابخانه نرم افزار انرژی پلاس[2] بر اساس استاندارد اشری[3]

	لایه تشکیل دهنده	ضخامت لایه(mm)	U-value W/(m^2K)[5]	R_c-value (m^2K)/W[4]
دیوار بیرونی	آجرکار بیرونی[6]	۱۰۰	۰/۳۵	۲/۸۵
	عایق پلی استایرن اکس پی اس[7]	۱۰۰		
	بلوک بتنی[8]	۱۰۰		
	پلاستر گچ[9]	۱۰		
دیوار داخلی	صفحه برد گچ[10]	۲۰	۱/۶۳	۰/۶۱
	هوا	۱۰		
	صفحه برد گچ	۲۰		
پشت بام	آسفالت	۱۰	۰/۴۷	۲/۰۹
	صفحه فیبر برد	۱۰		
	عایق پلی استایرن اکس پی اس[11]	۴۰		
	بتن	۱۰		
	پلاستر گچ	۱۵		
سقف داخلی طبقات	فلورینگ اسکرید[12]	۵۰	۱/۴	۰/۷۱
	بتن	۱۵۰		
	عایق استاندارد	۳۰		
	تایل سقف	۱۰		

[1] DesignBuilder
[2] Energyplus
[3] ASHRAE

[4] مقاومت حرارتی
[5] ضریب انتقال حرارت سطحی

[10] Brickwork Outer Leaf
[11] EPS Expanded Polystyrene
[12] Concrete Block
[13] Gypsum Plastering
[14] Gypsum plasterboard
[11] XPS Extruded Polystyrene
[12] Flooring screed

آن‌ها در جدول ۳ نشان داده شده است. میزان شاخص ضریب انتقال حرارت شیشه‌ها بر اساس استاندارد ISO 10292 و EN 673 محاسبه گردیده است.

۳- یافته‌ها و تحلیل

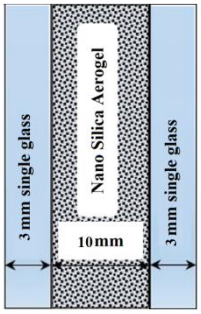
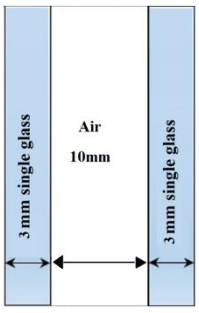
بعد از شبیه سازی ساختمان مورد نظر، میزان بهره خورشیدی و بار سرمایش ساختمان برای سه نوع شیشه برای شهرهای مورد مطالعه در طول سال محاسبه شد.

۳-۱- بهره خورشیدی

بهره خورشیدی[1] از عوامل مهم در بار سرمایش ساختمان است و آن عبارتست از: افزایش دما در یک فضا، شیء یا ساختمان اشاره دارد که از تابش خورشیدی حاصل می‌شود. مقدار بهره خورشیدی با تداوم نور خورشید یا به وسیله هر ماده میانجیگری که بتواند تابش را منتقل یا در برابر آن مقاومت کند، افزایش می‌یابد. همچنین ضریب بهره خورشیدی[2] از مشخصات مهم یک پنجره است که به انتقال انرژی خورشیدی کل پنجره و اجزا شامل : شیشه، مصالح به کار رفته در قاب و غیره می‌شود [۲۷]. ضریب بهره خورشیدی مربوط به شیشه ساده بین ۰/۷۴ و ۰/۸۷، شیشه دو جداره بین ۰/۶۴ و ۰/۷۷ و شیشه با عایق نانوژل ۰/۳۵ است. همچنین در شکل ۷، میزان بهره خورشیدی ساختمان برای سه نوع شیشه برای بوشهر در ماه‌های سال نشان داده شده است. طبق شکل ۷، بیشترین بهره خورشیدی مربوط به شیشه ساده است، به این دلیل که تابش خورشید بیشتری نسبت به شیشه دو جداره و نانوژل از خود عبور می‌دهد. بیشترین بهره خورشیدی برای شیشه ساده، مربوط به ماه اکتبر است. همچنین، شیشه نانوژل کم‌ترین میزان بهره خورشیدی را در طول ماه‌های سال داراست؛ به گونه‌ای که استفاده از این شیشه در ماه جولای به عنوان گرم‌ترین ماه برای بوشهر (شکل۴)، به مقدار ۶۳/۹٪ از شیشه ساده و ۵۴/۳٪ از شیشه دو جداره کم‌تر است. طبق شکل ۷، بهره خورشیدی مربوط به هر شیشه در بازه کمی در طول سال تغییر می‌کند که به علت ضریب بهره خورشیدی مربوط به هر شیشه است. علت تقریبا ثابت بودن بهره خورشیدی شیشه نانوژل در طول سال، به علت داشتن ضریب هدایت حرارتی تقریبا ثابت است و شیشه‌های ساده و دو جداره، دارای بازه ضریب بهره خورشیدی متفاوت هستند؛ به همین دلیل در طول سال دارای تغییرات بیشتری نسبت به شیشه نانوژل هستند. با توجه عدد بزرگ SHGO[3] شیشه ساده، نور بیشتری بیشتری را وارد ساختمان می‌کند. به همین علت، میزان بهره خورشیدی شیشه ساده از شیشه دو جداره و شیشه نانوژل بزرگ‌تر است.

در شکل ۸ میزان بهره خورشیدی ساختمان برای شیراز در ماه‌های مختلف سال نشان داده شده است. طبق شکل ۸، شیشه ساده دارای بیشترین بهره خورشیدی و شیشه نانوژل، دارای کم‌ترین بهره خورشیدی در ماه‌های سال است. میزان بهره خورشیدی برای شیشه ساده در بازه‌ای بین kWh ۱۳۲۳۲ و kWh ۱۶۸۶۲ است، این در حالی است که شیشه دو جداره بین ۸۰۰۰ تا kWh ۱۰۰۰۰ است و شیشه نانوژل، حدود kWh ۴۰۰۰ در طول ماه‌های سال است. در ماه جولای، گرم‌ترین ماه سال برای شیراز (شکل ۴)، میزان بهره

جدول ۳- لایه‌های تشکیل دهنده شیشه نانوژل مورد مطالعه در مقایسه با شیشه دو جداره و شیشه ساده و مقدار U[4] آن‌ها بر حسب W/m^2K طبق کتابخانه انرژی پلاس بر گرفته شده از استاندارد اشری

#Ng	#Dbl	#Sgl
		
U-value= ۰/۹۲۷	U-value= ۲/۹۷۶	U-value= ۵/۸۲۹

[1] Solar heat gain
[2] Solar heat gain coefficient (SHGC)
[3] Solar Heat Gain Coefficient
[4] ضریب انتقال حرارت

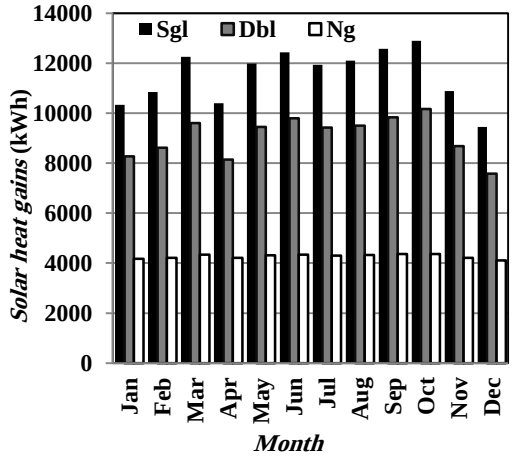
خورشیدی برای شیشه ساده kWh ۱۵۸۱۴ و برای شیشه دو جداره kWh ۹۲۶۹ است. این در حالی است که میزان بهره خورشیدی برای شیشه نانوژل در ماه جولای، فقط kWh۴۵۶۰ است که تاثیر زیادی در کاهش بار سرمایش دارد.

میزان بهره خورشیدی ساختمان در ماه‌های سال برای شهر تبریز، در شکل ۹ نشان داده شده است. طبق شکل ۹، شیشه ساده دارای بیشترین بهره خورشیدی و شیشه نانوژل، دارای کم‌ترین بهره خورشیدی در ماه‌های سال است. به گونه‌ای که در ماه جولای که گرم‌ترین ماه برای تبریز است (شکل ۴)، استفاده از شیشه نانوژل، باعث کاهش ۶۹/۲٪ نسبت به شیشه ساده و ۴۷٪ نسبت به شیشه دو جداره گردیده است.

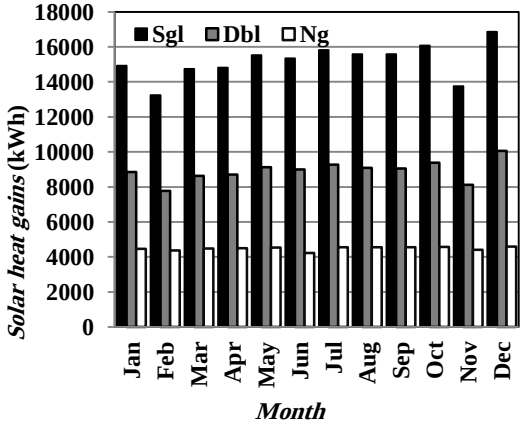
مجموع سالانه میزان بهره خورشیدی ساختمان با سه شیشه متفاوت در سه شهر مورد مطالعه در شکل ۱۰ نشان داده شده است. طبق شکل ۱۰، ساختمان با شیشه نانوژل، دارای کم‌ترین میزان بهره خورشیدی برای هر سه شهر مورد مطالعه است؛ به گونه‌ای که استفاده از شیشه نانوژل در بوشهر باعث گردیده که ۶۲٪ میزان بهره خورشیدی نسبت به شیشه ساده کاهش یابد. این در حالی است، استفاده از شیشه دو جداره، باعث کاهش ۲۱٪ بهره خورشیدی نسبت به شیشه ساده گردیده است. بایستی توجه نمود، بیشترین کاهش بهره خورشیدی مربوط به شیراز است. استفاده ازشیشه نانوژل باعث گردیده، ۷۰/۳٪ بهره خورشیدی نسبت به شیشه ساده و ۳۰٪ نسبت به شیشه دو جداره کاهش یابد. در تبریز نیز استفاده از شیشه نانوژل باعث گردیده که بهره خورشیدی به میزان ۶۲/۵٪ نسبت به شیشه ساده کاهش یابد، همچنین اختلاف بین شیشه دو جداره و شیشه نانوژل در کاهش بهره خورشیدی ۲۰٪ است.

۳-۲- بار سرمایش

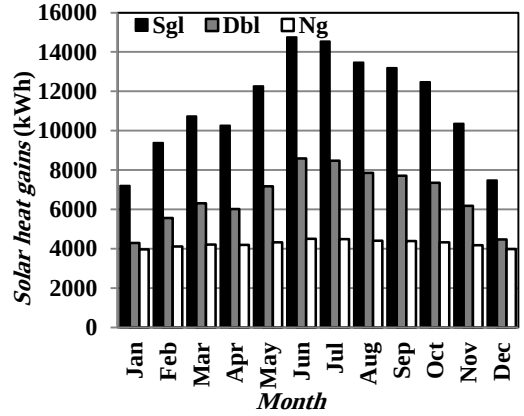
در شکل ۱۱ میزان بار سرمایش ساختمان اداری را در ماه‌های سال برای بوشهر نشان داده شده است. طبق شکل ۱۱ در اکثر ماه‌ها، بار سرمایش ساختمان با شیشه نانوژل، کم‌تر از ساختمان با شیشه دو جداره و معمولی است؛ به گونه‌ای که در ماه مه میزان بار سرمایش ساختمان با شیشه‌های نانوژل، ۲۷/۹٪ کم‌تر از ساختمان با شیشه ساده است و ۱۶٪ کم‌تر از ساختمان با شیشه دو جداره است. همچنین در ماه جولای



شکل ۷- میزان بهره خورشیدی ساختمان اداری در ماه‌های سال در بوشهر



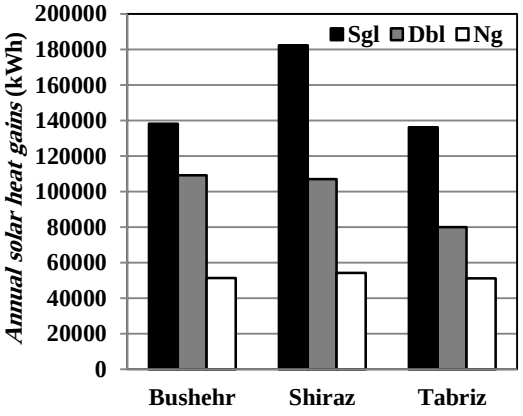
شکل ۸- میزان بهره خورشیدی ساختمان اداری در ماه‌های سال در شیراز



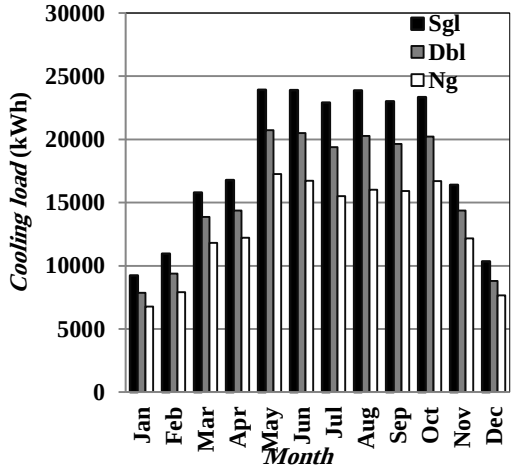
شکل ۹- میزان بهره خورشیدی ساختمان اداری در ماه‌های سال در تبریز

شیشه نانوژل، عملکرد بسیار مناسبی داشته و باعث گردیده میزان بار سرمایش ۳۲٪ نسبت به ساختمان با شیشه معمولی کاهش یابد. این کاهش بار سرمایش به علت کم بودن ضریب انتقال حرارت (جدول ۳) و کم بودن بهره خورشیدی است (شکل ۷ و ۱۰).

در شکل ۱۲ میزان بار سرمایش ساختمان اداری در شیراز برای سه نوع شیشه در ماه‌های سال نشان داده شده است. طبق شکل ۱۲، در اکثر ماه‌های سال میزان بار سرمایش ساختمان با شیشه‌های نانوژل در مقایسه با شیشه ساده و دو جداره کم‌تر است؛ همچنین ساختمان با شیشه دو جداره، عملکرد بسیار بهتری نسبت به شیشه ساده دارد،



شکل ۱۰- مجموع بهره خورشیدی ساختمان اداری در سال برای بوشهر، شیراز و تبریز



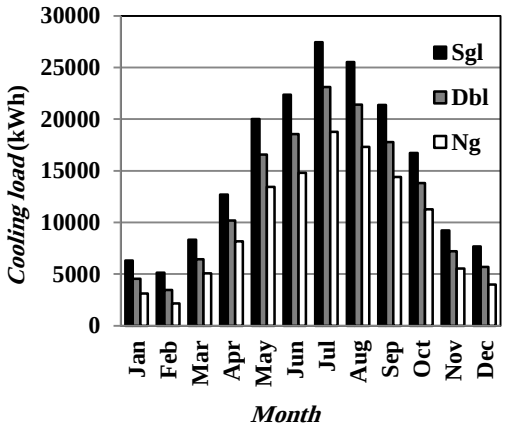
شکل ۱۱- بار سرمایش ساختمان اداری در ماه‌های سال، بوشهر

اما بار سرمایش بیشتری نسبت به ساختمان با شیشه نانوژل را داراست. این تفاوت نای از کم‌تر بودن ضریب انتقال حرارت شیشه نانوژل از دو نوع شیشه دیگر کم‌تر است و میزان بهره خورشیدی آن طبق شکل ۸ و ۱۰، کم‌تر از شیشه دو جداره و شیشه ساده است. بیشترین بار سرمایش ساختمان در هر سه حالت شبیه‌سازی مربوط به جولای است. در ماه جولای بار سرمایش ساختمان با شیشه نانوژل، ۳۱٪ کم‌تر از ساختمان با شیشه ساده و ۱۸/۷٪ کم‌تر از ساختمان با شیشه دو جداره است.

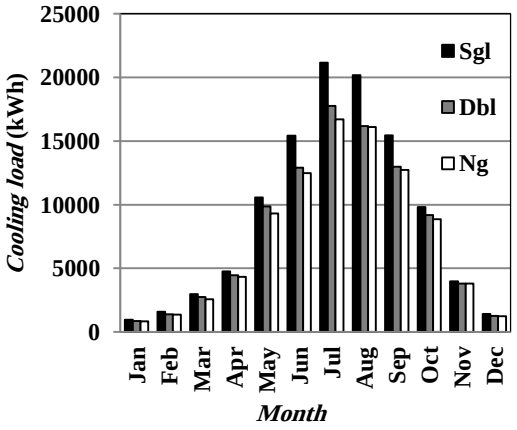
در شکل ۱۳ میزان بار سرمایش ساختمان‌های شبیه سازی شده در ماه‌های سال برای تبریز نشان داده شده است. طبق شکل ۱۳، ماه‌های جولای و آگوست، دارای بیشترین مصرف بار سرمایش است؛ همچنین ساختمان با شیشه نانوژل، کم‌ترین مصرف بار سرمایش نسبت به شیشه ساده و دو جداره داشته است. در ماه جولای، ساختمان با شیشه نانو ژل، موجب کاهش ۲۱٪ نسبت به ساختمان با شیشه ساده و کاهش ۵/۹٪ نسبت به ساختمان با شیشه دو جداره شده است. همانگونه که در شکل ۱۳ دیده می‌شود، اختلاف بین بار سرمایش ساختمان با شیشه دو جداره و نانوژل در ماه‌های سال کم است. این تغییرات ناشی از کم بودن ضریب انتقال حرارت شیشه نانوژل (جدول ۳) و کم بودن بهره خورشیدی در ماه‌های سال (شکل ۹ و ۱۰) است.

در شکل ۱۴ مجموع بار سرمایش ساختمان اداری در سه حالت شبیه سازی برای سه شهر مورد مطالعه بوشهر، شیراز و تبریز در طول سال نشان داده شده است. طبق شکل ۱۴، میزان بار سرمایش ساختمان با شیشه نانوژل در سه شهر مورد مطالعه بوشهر، شیراز و تبریز، کم‌تر از شیشه دو جداره و شیشه ساده است؛ اما اختلاف بین شیشه دو جداره و نانوژل در تبریز کم است.

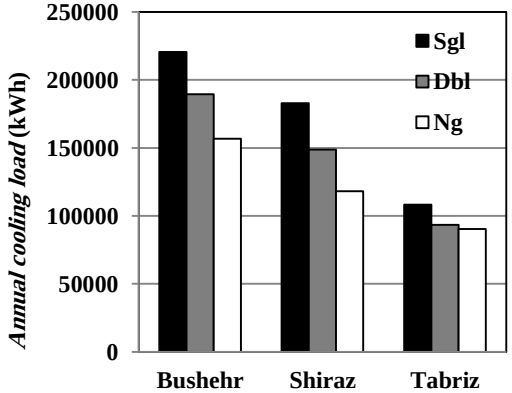
در شکل ۱۵ درصد کاهش بار سرمایش ساختمان اداری با شیشه‌های نانوژل و دو جداره نسبت به بار سرمایش ساختمان با شیشه ساده در شهرهای بوشهر، شیراز و تبریز نشان داده شده است. طبق شکل ۱۵، استفاده از شیشه نانوژل در شهرهای بوشهر، شیراز و تبریز، دارای بیشترین درصد کاهش بوده، به گونه‌ای که در بوشهر، استفاده از شیشه نانوژل موجب ۲۸/۹٪ کاهش بار سرمایش شده است؛ در حالی که شیشه دو جداره در بوشهر، موجب کاهش ۱۴/۱٪ بار سرمایش



شکل ۱۲- بار سرمایش ساختمان اداری در ماه‌های سال در شیراز



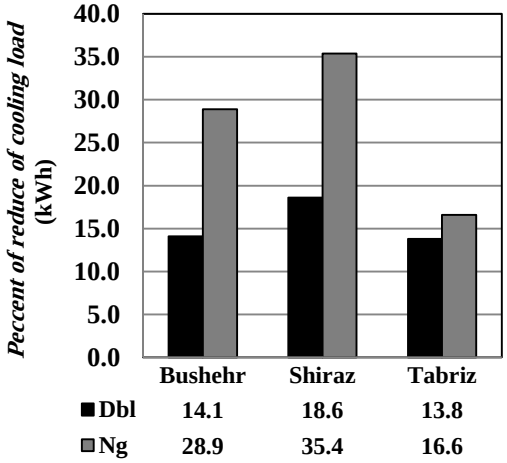
شکل ۱۳- بار سرمایش ساختمان اداری در ماه‌های سال در تبریز



شکل ۱۴- متوسط سالانه بار سرمایش ساختمان اداری در سال، بوشهر، شیراز و تبریز

گردیده که ۱۴/۸٪ کم‌تر از شیشه نانوژل است. ملاحظه می‌شود که نتایج حاصل از این پژوهش در اقلیم گرم و مرطوب در راستای پژوهش انجام شده توسط هوانگ و نیو [۱۲] همخوانی دارد که بیان شده، استفاده از شیشه دو جداره با عایق نانوژل در ساختمان‌های تجاری با اقلیم گرم و مرطوب چین مانند شهر هنک کنگ، باعث کاهش ۴٪ تا ۶۰٪ بار سرمایش گردیده است. مطابق شکل ۱۵ استفاده از شیشه نانوژل در شیراز با آب و هوای گرم و خشک، بهترین عملکرد در میان شهرها را داشته و موجب کاهش بار سرمایش به میزان ۳۵/۴٪ شده است، در حالی که شیشه دو جداره موجب کاهش ۱۸/۶٪ بار سرمایش در شیراز گردیده است. نتایج به دست آمده در راستای نتایج پژوهش مجیبو و همکاران [۱۵] است که استفاده از شیشه‌های نانوژل در ساختمان اداری در شهر ظهران، موجب کاهش ۱۶٪ مصرف انرژی نسبت به شیشه دو جداره شده است.».

همچنین استفاده از شیشه نانوژل در تبریز با آب و هوای سرد، کم‌ترین عملکرد را در بین شهرها داشته، موجب کاهش ۱۶/۶٪ بار سرمایش شده است، این در حالی است که استفاده از شیشه دو جداره در تبریز موجب کاهش ۱۳/۸٪ بار سرمایش می‌شود که حدود ۳٪ کم‌تر از شیشه نانوژل است. با توجه به عملکرد تقریبا مشابه شیشه دو جداره و نانوژل، استفاده از شیشه دو جداره با توجه به قیمت آن در تبریز مقرون به صرفه‌تر است.



شکل ۱۵- درصد کاهش بار سرمایش ساختمان اداری با شیشه نانوژل و دو جداره نسبت به شیشه ساده در بوشهر، شیراز و تبریز

نتایج این پژوهش در عملکرد مناسب شیشه نانوژل در بوشهر با اقلیم گرم و مرطوب و در شیراز با اقلیم گرم و خشک در راستای پژوهش‌های هوانگ و نیو و مجیبو و همکاران است.

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش بررسی شد که استفاده از شیشه‌های نانوژل در جبهه بیرونی ساختمان‌های اداری تا چه مقدار بر بهره خورشیدی و بار سرمایش ساختمان در بوشهر با اقلیم گرم و مرطوب، شیراز با اقلیم گرم و خشک و تبریز با آب و هوای سرد تاثیر گذار است. شبیه سازی در نرم افزار دیزاین بیلدر[1] انجام شد و بهره خورشیدی و بار سرمایش ساختمان با شیشه نانوژل با شیشه دو جداره و شیشه ساده مقایسه شد. خلاصه نتایج به شرح زیر است:

۱. استفاده از شیشه نانوژل در بوشهر باعث شد که ۶۲٪ میزان بهره خورشیدی نسبت به شیشه ساده کاهش یابد. این در حالی است، استفاده از شیشه دو جداره، باعث کاهش ۲۱٪ بهره خورشیدی نسبت به شیشه ساده شده است. همچنین، استفاده از شیشه نانوژل در ساختمان در بوشهر، موجب ۲۸/۹٪ کاهش بار سرمایش شده است؛ در حالی که شیشه دو جداره در بوشهر، موجب کاهش ۱۴/۱٪ بار سرمایش گردیده که ۱۴/۸٪ کم‌تر از شیشه نانوژل است.

۲. شیشه نانوژل دارای بهترین عملکرد در اقلیم گرم و خشک است. استفاده از شیشه نانوژل در شیراز بیشترین کاهش بهره خورشیدی در میان شهرهای مورد مطالعه داشته است. استفاده ازشیشه نانوژل باعث گردید، ۷۰/۳٪ بهره خورشیدی نسبت به شیشه ساده و ۳۰٪ نسبت به شیشه دو جداره کاهش یابد؛ همچنین استفاده از شیشه نانوژل، موجب کاهش ۳۵/۴٪ بار سرمایش نسبت به ساختمان با شیشه ساده و کاهش ۱۶/۸٪ نسبت به ساختمان با شیشه دو جداره گردیده است.

۳. استفاده از شیشه نانوژل در تبریز باعث گردید که بهره خورشیدی به میزان ۶۲/۵٪ نسبت به شیشه ساده کاهش یابد. همچنین اختلاف بین شیشه دو جداره و شیشه نانوژل در کاهش بهره خورشیدی ۲۰٪ است. استفاده از شیشه نانوژل در تبریز با آب و هوای سرد، کم‌ترین عملکرد را در بین شهرهای مورد مطالعه داشته، موجب کاهش ۱۶/۶٪ بار سرمایش گردیده است. این در حالی است که استفاده از شیشه دو جداره در تبریز، موجب کاهش ۱۳/۸٪ بار سرمایش می‌گردد که حدود ۳٪ کم‌تر از شیشه نانوژل است. با توجه به عملکرد تقریبا مشابه شیشه دو جداره و نانوژل، استفاده از شیشه دو جداره با توجه به قیمت آن در تبریز مقرون به صرفه‌تر است.

با توجه به عملکرد مناسب شیشه‌های نانوژل در کاهش بار سرمایش ساختمان‌های اداری در اقلیم گرم و مرطوب و گرم و خشک، این گونه شیشه را جهت استفاده در جبهه بیرونی ساختمان اداری پیشنهاد می‌شود. در اقلیم سرد نیز، با توجه به اختلاف اندک بین شیشه دو جداره و شیشه نانوژل در کاهش بار سرمایش، شیشه دو جداره پیشنهاد می‌شود که از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه‌تر است.

۵- مراجع

[1] Moonen P, Defraeye T, Dorer V, Blocken B, Carmeliet J (2012) Urban physics: Effect of the micro-climate on comfort, health and energy demand. Front Archit Res 1(3): 197-228.

[2] Vega-Azamar RE, Glaus M, Hausler R, Oropeza-García NA, Romero-Lopez R (2013) An energy analysis for urban environmental sustainability assessment, the Island of Montreal, Canada. Landsc Urban Plan 118: 18-28.

[3] Bouquerel M, Duforestel T, Baillis D, Rusaouen G (2012) Mass transfer modeling in gas barrier envelopes for vacuum insulation panels: A review. Energy Build 55: 903-920.

[4] Bouquerel M, Duforestel T, Baillis D, Rusaouen G (2012) Heat transfer modeling in vacuum insulation panels containing nanoporous silicas—A review. Energy Build 54: 320-336.

[5] Yang J, Tenpierik MJ, Cauberg JJM, Thorsell TI (2007) Integrating vacuum insulation panels in building constructions: An integral perspective. Constr Innov 7(1): 38-53.

[6] Fricke J, Schwab H, Heinemann U (2006) Vacuum insulation panels–exciting thermal properties and

[1] DesignBuilder

most challenging applications. Int J Thermophys 27(4): 1123-1139.

[7] Cuce E, Cuce PM, Wood CJ, Riffat SB (2014) Toward aerogel based thermal superinsulation in buildings: A comprehensive review. Renew Sustain Energy Rev 34: 273-299.

[8] Alam M, Singh H, Limbachiya MC (2011) Vacuum insulation panels (VIPs) for building construction industry – A review of the contemporary developments and future directions. Appl Energy 88(11): 3592-3602.

[9] Huang L (2012) Feasibility study of using silica aerogel as insulation for buildings. Master Sci. thesis, KTH Sch. Ind. Eng. Manag. Stock. Sweden.

[10] Sadineni SB, Madala S, Boehm RF (2011) Passive building energy savings: A review of building envelope components. Renew Sustain Energy Rev 15(8): 3617-3631.

[11] Jelle BP, Hynd A, Gustavsen A, Arasteh D, Goudey H, Hart R (2012) Fenestration of today and tomorrow: A state-of-the-art review and future research opportunities. Sol Energy Mater Sol Cells 96: 1-28.

[12] Huang Y, Niu J (2015) Application of super-insulating translucent silica aerogel glazing system on commercial building envelope of humid subtropical climates – Impact on space cooling load. Energy 83: 316-325.

[13] "Designbuilder," 2017. [Online]. Available: https://www.designbuilder.co.uk/. [Accessed: 16-Apr-2017].

[14] Rashwan A, Farag O, Moustafa WS (2013) Energy performance analysis of integrating building envelopes with nanomaterials. Int J Sustain Built Environ 2(2): 209-223.

[15] Mujeebu MA, Ashraf N, Alsuwayigh AH (2016) Effect of nano vacuum insulation panel and nanogel glazing on the energy performance of office building. Appl Energy 173: 141-151.

[16] Mujeebu MA, Ashraf N, Alsuwayigh A (2016) Energy performance and economic viability of nano aerogel glazing and nano vacuum insulation panel in multi-story office building. Energy 113: 949-956.

[17] Jensen KI, Schultz JM, Kristiansen FH (2004) Development of windows based on highly insulating aerogel glazings. J Non Cryst Solids 350: 351-357.

[18] Schultz JM, Jensen KI, Kristiansen FH (2005) Super insulating aerogel glazing. Sol Energy Mater Sol Cells 89(2): 275-285.

[19] Schultz JM, Jensen KI (2008) Evacuated aerogel glazings. Vacuum 82(7): 723-729.

[20] Reim M, Beck A, Körner W, Petricevic R, Glora M, Weth M, Schliermann T, Fricke J, Schmidt C, Pötter FJ (2002) Highly insulating aerogel glazing for solar energy usage. Sol Energy 72(1): 21-29.

[21] Torgal FP, Mistretta M, Kaklauskas A, Granqvist CG, Cabeza LF (2013) Nearly zero energy building refurbishment. Nearly Zero Energy Build Refurb 555-582.

[22] Dowson M, Harrison D, Craig S, Gill Z (2011) Improving the thermal performance of single-glazed windows using translucent granular aerogel. Int J Sustain Eng 4(3): 266-280.

[23] Bi C, Tang GH, Hu ZJ (2014) Heat conduction modeling in 3-D ordered structures for prediction of aerogel thermal conductivity. Int J Heat Mass Transf 73: 103-109.

[24] Riffat SB, Qiu G (2012) A review of state-of-the-art aerogel applications in buildings. Int J Low-Carbon Technol 8(1): 1-6.

[25] Buratti C, Moretti E (2012) Experimental performance evaluation of aerogel glazing systems. Appl Energy 97: 430-437.

[26] Nasrollahi F (2015) Office buildings energy efficient: Energy efficiency with the architectural design. Berlin University.

[27] Baenas T, Machado M (2017) On the analytical calculation of the solar heat gain coefficient of a BIPV module. Energy Build 151: 146-156.