

## تاثیر نوع گازهای میانی پنجره‌های دو و سه جداره بر بار سرمایش و گرمایش ساختمان‌های اداری در اقلیم گرم و مرطوب، گرم و خشک و سرد ایران

### Effect of Gas Types in Double and Triple Pane Windows on Cooling and Heating Loads in Office Buildings in Hot-Humid, hot-dry and Cold Climates in Iran

جلیل شاعری<sup>۱</sup>، رزا وکیلی نژاد<sup>۲</sup> (نویسنده مسئول)، محمود یعقوبی<sup>۳</sup>

تاریخ ارسال:	تاریخ بازنگری:	تاریخ پذیرش:	تاریخ انتشار آنلاین:
۱۳۹۶/۰۶/۲۷	۱۳۹۷/۰۲/۱۸	۱۳۹۷/۱۲/۲۲	۱۳۹۸/۱۱/۳۰

#### چکیده

در دهه‌های اخیر افزایش فزاینده جمعیت کره زمین و نیز تولید روز افزون دی اکسید کربن سبب افزایش میزان توجه و اهمیت صرفه جویی در مصرف انرژی خاصه در صنعت ساختمان شده است. از آنجا که بخش عمده اتلاف حرارتی پوسته ساختمان از طریق پنجره‌ها صورت می‌گیرد، کاهش میزان انتقال حرارت و عایق نمودن پنجره‌ها ضروری است. در پژوهش حاضر تاثیر انواع گازهای میانی در پنجره‌های دو و سه جداره بر میزان بار سرمایش و گرمایش یک ساختمان اداری نمونه مورد بررسی قرار گرفته است. اقلیم‌های مورد مطالعه شهرهای بوشهر و بندر عباس با اقلیم گرم و مرطوب، مشهد و تبریز با اقلیم سرد و شهرهای شیراز، یزد، اصفهان و تهران با آب و هوای گرم و خشک است. در هر یک از شهرها ساختمان اداری نمونه در ۱۱ حالت با تغییر نوع گاز میانی پنجره‌ها، مورد سنجش قرار گرفته است. شبیه سازی‌ها با استفاده از نرم افزار دیزاین بیلدر نسخه ۵,۰۲,۰۰۳ انجام شده و مجموع بار سرمایش و گرمایش سالانه در هر حالت محاسبه شده است. نتایج شبیه سازی‌ها نشان می‌دهد که استفاده از پنجره‌های دو و سه جداره سبب کاهش بار سرمایش و گرمایش می‌شود. در تمامی شهرهای مورد مطالعه پنجره‌ی سه جداره با استفاده از هوا و گاز آرگون مناسب‌ترین نوع پنجره است.

#### واژه‌های کلیدی:

شیشه دو جداره، شیشه سه جداره، سرمایش، گرمایش، ساختمان اداری.

۱. دانشجوی دکتری معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. [jalil.shaeri@modares.ac.ir](mailto:jalil.shaeri@modares.ac.ir)

۲. استادیار، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. [arch.rv@shirazu.ac.ir](mailto:arch.rv@shirazu.ac.ir)

۳. استاد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. [yaghoubi@shirazu.ac.ir](mailto:yaghoubi@shirazu.ac.ir)

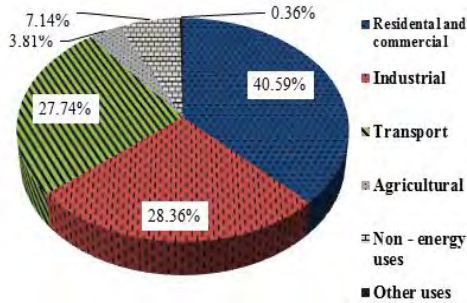


Fig. 1 Energy consumption in different sector of Iran  
(Source: Nasrollahi, 2015: 15)

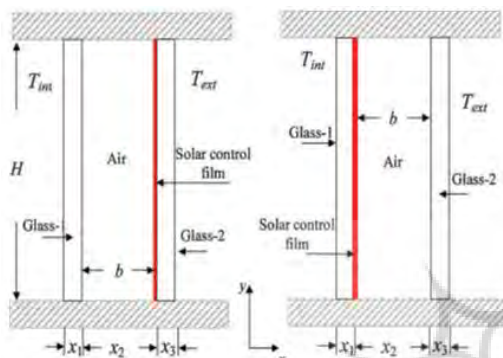


Fig. 2 Components of double glazed window with sunlight control layer in hot climate (left) and cold climate (right) (Source: Xamán et al., 2014: 432)

جهت ایجاد عایق در شیشه می‌توان از مواد آنورژل استفاده نمود که نونه ای از آن در اقلیم گرمسیری هنگ کنگ با استفاده از نرم افزار دیزاین بیلدر بررسی شده است. این نتایج حاکی از آن است که استفاده از موارد آنورژل عایق شیشه باعث کاهش ۴٪ تا ۸٪ بار سرمایش شده و مقدار ضریب آسایش PMV را، ۴٪ تا ۸٪ کاهش میدهد. گاز میانی پنجره‌های چند جداره نیز باعث کاهش انتقال حرارت می‌گردد (Tuchinda, Srivannaboon, & Lim, 2006).

پژوهش‌هایی که به منظور افزایش میزان عایق شیشه صورت گرفته نشان می‌دهد که استفاده از پنجره‌های چند جداره سبب کاهش انتقال حرارت و کاهش مصرف انرژی ساختمان در اقلیم‌های مختلف می‌شود. (Deforest et al., 2015). امروزه در صنعت تولید پنجره از گازهای مختلف در لایه‌های میانی پنجره‌های چند جداره استفاده می‌گردد که در میزان انتقال حرارت و عایق بودن شیشه تاثیر بسیار دارد. هر چند میزان تاثیر انواع گازهای متداول بر مصرف انرژی ساختمان و نوع بهینه پنجره در اقلیم‌های مختلف مورد بررسی قرار نگرفته است. پژوهش حاضر به دنبال تعیین میزان تاثیرگذاری انواع گازهای میانی پنجره‌های چند جداره بر کاهش مصرف انرژی در ساختمانهای اداری در اقلیم‌های گرم

#### ۱- مقدمه

در دهه‌های اخیر افزایش فزاینده جمعیت کره زمین و نیز تولید روز افزون دی اکسید کربن سبب افزایش میزان توجه و اهمیت صرفه جویی در مصرف انرژی خاصه در صنعت ساختمان شده است. (Cuce & Riffat, 2015; Cuce & Riffat, ) Pérez-Lombard, Ortiz, & Pout, 2008) مطابق شکل ۱ تقریباً ۴۰٪ از انرژی مصرفی در ایران مربوط به بخش ساختمان بوده (Nasrollahi, 2015) و از این میان بخش زیادی از انرژی جهت تامین دمای آسایش محیط داخل از طریق دستگاه‌های سرمایش و گرمایش مصرف می‌گردد. از طرفی تقریباً نیمی از بار حرارتی و برودتی در ساختمانها از طریق پنجره‌ها اتلاف می‌شود. بنابراین عایق کردن پنجره‌ها ضروری است (Granqvist, 2014). تاکنون راهکارهای مختلفی جهت عایق نمودن پنجره‌ها و تنظیم نور خورشید به کار رفته است. در پژوهشی شیشه‌های دو جداره جهت کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌های اداری شهر میامی آمریکا پیشنهاد داده شده است (Jonsson & Roos, 2010). شیشه‌های چند جداره علاوه بر کاهش مصرف انرژی در کاهش انتقال صدا نیز تاثیر گذار هستند (Miskinis, Dikavicius, Bliudzius, & Banionis, 2015). همچنین جهت تنظیم نور و جریان هوا از بیرون به داخل می‌توان از پرده کرکره‌ای در بیرون پنجره استفاده کرده و با کاهش ضریب انتقال حرارت، نور خورشید را تنظیم نمود. در این صورت بهترین حالت کرکره‌ها جهت ورود جریان هوا، حالت افقی است (Cuevas, Fissore, & Fonseca, 2010). استفاده از شیشه‌ی دو جداره همراه با پرده غلتکی در اروپای مرکزی باعث کاهش ۲۹٪ تا ۴۴٪ در مصرف انرژی ساختمان گردیده است (Oleskowicz-popiel & Sobczak, 2014). آریکی و همکاران با استفاده از تحلیل عددی به بررسی تاثیر تعداد جداره‌های شیشه بر انتقال حرارت پرداخته و به این نتیجه دست یافتند که با افزایش تعداد جداره می‌توان ۵۰٪ تا ۶۷٪ میزان انتقال حرارت را کاهش داد (Atıcı & Karabay, 2015). همچنین می‌توان از فیلم‌هایی جهت تنظیم نور خورشید در پنجره‌های دو جداره استفاده کرد (Fernandes et al., 2015; Li, Tan, Chow, & Qiu, 2015). همانگونه که در شکل ۲ نشان داده شده است، محل قرارگیری فیلم‌های تنظیم خورشیدی با توجه به اقلیم متفاوت می‌باشد. استفاده از این فیلم‌ها باعث کاهش ۵۲٪ مصرف انرژی در اقلیم گرم و ۱۰٪ در اقلیم سرد می‌گردد (Xamán et al., 2014).

حرارت از پنجره را نشان داده و از اختلاف درجه حرارت داخل و خارج به دست می‌آید (Deforest et al. 2015).

مطابق شکل ۴ پنجره ایده آل برای آب و هوای گرم اشعه‌ی مادون قرمز را انعکاس داده و به نور مرئی اجازه ورود به محیط داخلی دهد و به نور فرو سرخ اجازه عبور از داخل به بیرون را می‌دهد. پنجره‌ای مناسب اقلیم سرد مناسب تابش‌های طول موج بلند را به داخل انتقال داده و مانع عبور تابش از داخل به بیرون می‌شود. بایستی میزان انتقال حرارت شیشه در تمامی اقلیم‌ها باید کمترین مقدار ممکن باشد (Long & Ye, 2014) [17].

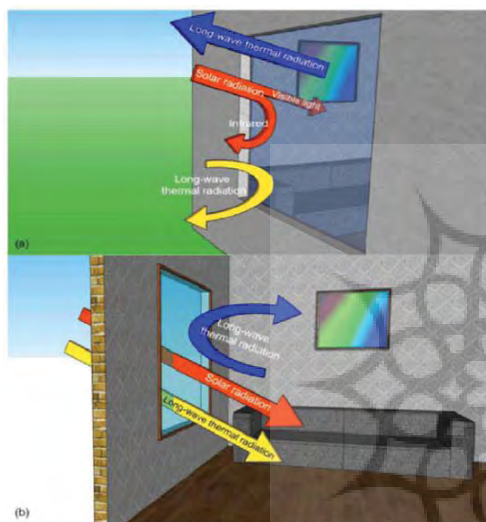


Fig. 4 Properties of ideal window for hot climates (a) and cold climate (b) (Source: Long & Ye, 2014: 2)

جدول ۱ خصوصیات پنجره پیشنهادی برای سه اقلیم گرم، سرد و معتدل را نشان می‌دهد.

Table 1: Properties of proposed window for different climates (Source: Piccolo & Simone, 2015: 97)

U ( $Wm^{-2}k^{-1}$ )	SHGC	$T_v$	Climate
2<	0.6>	0.7>	<b>Cold</b>
205<	0.5>	0.7>	<b>Moderate</b>
4<	0.4<	0.6>	<b>Hot</b>

## ۲- اقلیم ایران و شهرهای مورد بررسی

اولین گام برای طراحی معماری متناسب با محیط پیرامون، مطالعه‌ی 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 بوده (Nasrollahi, 2015) که در شکل ۵ نشان داده شده است. در این پژوهش شهرهای شیراز، تهران، یزد و اصفهان با اقلیم گرم و خشک، تبریز و مشهد با اقلیمی سرد و بوشهر و بندرعباس با اقلیم گرم و مرطوب جهت مطالعه انتخاب شده‌اند.

و مرطوب، سرد و گرم و خشک ایران است. با مقایسه میزان تفاوت مصرف انرژی در ساختمانهایی با انواع مختلف پنجره و گازهای میانی، میتوان گزینه‌های مطلوب را تعیین نمود. به این ترتیب نتایج پژوهش میتواند طراح و سازنده ساختمان را جهت انتخاب مناسب‌ترین پنجره دو جداره و سه جداره در ساختمان‌های اداری با توجه به اقلیم یاری رساند.

### ۱-۱- شیشه در اقلیم‌های مختلف

انرژی تابشی خورشید در برخورد با شیشه به سه قسمت تقسیم میشود. مقداری از این انرژی منتقل شده، بخشی از آن منعکس می‌گردد و مقداری توسط شیشه جذب می‌شود. نور خورشید از نور مرئی و نامرئی تشکیل شده و طیف گسترده‌ای از موج را تشکیل می‌دهد و انرژی خورشیدی میان این طیف توزیع شده است. در شکل ۳ توزیع انرژی خورشیدی برای طول موج‌های مختلف نشان داده شده است (Daqiqeh, Shannigrahi, & Ramakrishna, 2017). کنترل طیف نامرئی خورشید که بیش از ۵۰٪ از انرژی خورشید را تشکیل می‌دهد نقش مهمی در صرفه جویی انرژی می‌تواند ایفا کند. این کنترل عمدتاً با استفاده از پوششهای مختلف روی شیشه‌ها و یا تزریق انواع گازها در فضای میانی شیشه‌های چندجداره انجام می‌شود.

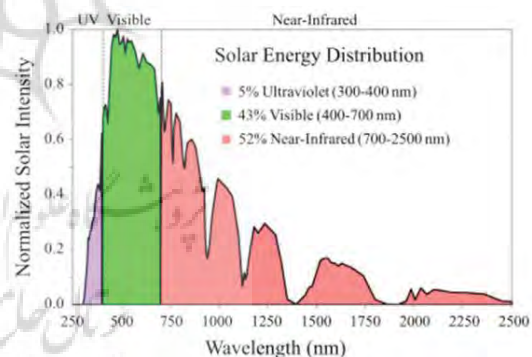


Fig. 3 Solar energy distribution (Source: Daqiqeh et al., 2017: 27)

سه پارامتر کلیدی برای ارزیابی عملکرد پوشش شیشه‌ای، ضریب انتقال حرارت (U)، میزان انتقال نور مرئی  $T_v$  و ضریب افزایش گرمای خورشیدی  $SHGC$  است. ضریب  $T_v$  وابسته به میزان شفافیت شیشه بوده و شامل بخشی از نور مرئی است که از شیشه عبور می‌کند. ضریب افزایش گرمای خورشیدی، میزان انرژی خورشیدی منتقل شده به صورت مستقیم و غیر مستقیم به داخلی بوده و عددی بین ۰ و ۱ است. هر چه این مقدار بیشتر باشد حرارت بیشتری از خورشید به داخل انتقال می‌یابد. ضریب انتقال حرارت U میزان اتلاف

## ۳- روش تحقیق

به منظور بررسی تاثیر گازه‌های میانی پنجره‌های دو جداره و سه جداره در ساختمان‌های اداری، یک ساختمان یک طبقه جهت انجام شبیه سازی انتخاب شد. مطابق شکل ۷ ساختمان به ابعاد  $20 \times 10$  m و با کشیدگی شرقی- غربی است. ارتفاع ساختمان ۴ متر و دارای فضاهای کار، اتاق مدیر، بایگانی، فضای انتظار و توالت می‌باشد که در برخی پژوهش‌های پیشین نیز به عنوان نمونه‌ای از ساختمان اداری کوچک در نظر گرفته شده است (Mujeebu, Ashraf, & Alsuwaygh, 2016).

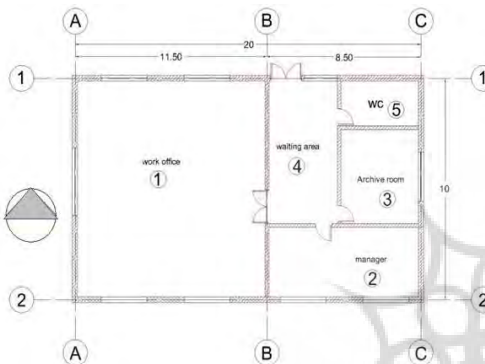


Fig. 7 Plan of office building for simulation

جهت انجام شبیه سازیها از نرم افزار دیزاین بیلدر به عنوان یکی از نرم افزارهای قدرتمند در شبیه سازی انرژی ساختمان استفاده شده است که کلیه جزئیات ساختمان را در ارتباط با اقلیم هر شهر در بازه زمانی مربوطه در محاسبات در نظر می‌گیرد. شکل ۸ ساختمان شبیه سازی شده در نرم افزار را نشان میدهد.

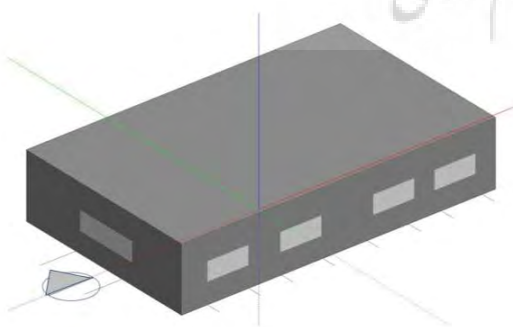


Fig. 8 Simulated building in DesginBuilder software

## ۳-۱- مصالح و دمای سرمایش و گرمایش ساختمان

در شبیه سازیها مطابق با استاندارد اشری ۳، نقطه گرمایش ۲۲<sup>۴</sup> درجه سانتی گراد و نقطه سرمایش ۲۴<sup>۵</sup>



Fig. 5 Divisions of climates of Iran (Source: Nasrollahi, 2015:14)

در شکل ۶، متوسط دمای ماهانه شهرهای مورد مطالعه در ماه‌های سال نشان داده شده است. تبریز و مشهد در اکثر ماه‌های سال دارای آب و هوایی سرد می‌باشند. متوسط دمای سالانه شهر مشهد  $12.9^{\circ}\text{C}$  و متوسط دمای تبریز  $11.9^{\circ}\text{C}$  است که نشان می‌دهد تبریز از مشهد سردتر است. متوسط دمای بوشهر بین  $15^{\circ}\text{C}$  تا  $33^{\circ}\text{C}$  و متوسط دمای سالانه آن  $25^{\circ}\text{C}$  است. متوسط دمای سالانه بندر عباس  $26.7^{\circ}\text{C}$  است که اهمیت سرمایه‌گذاری را در این شهرها نشان میدهد. شیراز دارای حداقل دمای متوسط  $5.8^{\circ}\text{C}$  در دی ماه و بیشترین دمای متوسط  $28.1^{\circ}\text{C}$  در تیر ماه می‌باشد. یزد با آب و هوایی گرم و خشک است حداقل دمای  $4.7^{\circ}\text{C}$  در زمستان و بیشترین دمای  $30.9^{\circ}\text{C}$  را در تابستان دارد. متوسط دمای سالانه اصفهان نیز  $16.18^{\circ}\text{C}$  بوده و دمای متوسط تهران بین  $2.8^{\circ}\text{C}$  تا  $26^{\circ}\text{C}$  درجه سانتی گراد قرار دارد. به علت متغیر بودن دمای هوای شهرها از هر اقلیم دو شهر به عنوان نمونه انتخاب شده است.

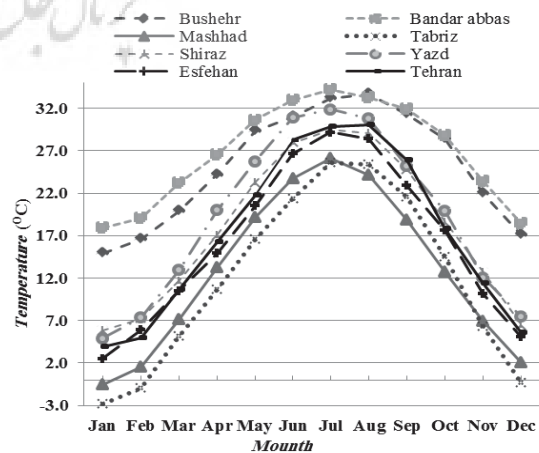


Fig. 6 Average monthly temperature of Bushehr, Bandar abbas, Mashhad, Tabriz, Shiraz, Yazd, Esfahan and Tehran during the year



درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده و مصالح و لایه‌های  
تشکیل دهنده‌ی اجزای ساختمان مطابق با جدول ۲ و در  
همه حالت‌های شبیه‌سازی یکسان در نظر گرفته شده  
است.

Table 2: Details of Wall and ceiling in simulation and calculations

Layers (Outermost to innermost)	Rc-value (m <sup>2</sup> K/W)	U-value (W/m <sup>2</sup> K)
Exterior Wall:		
- Brickwork outer leaf (100mm)	2.85	0.358
- EPS Expanded polystyrene (100mm)		
- Concrete block (100mm)		
- Gypsum plastering (10mm)		
Interior Wall:		
- Gypsum plasterboard (20mm)	0.61	1.63
- Air (10mm)		
- Gypsum plasterboard (20mm)		
Rooftop		
- Asphalt (10mm)	2.09	0.47
- Fiberboard (10mm)		
- XPS Extruded polystyrene (40mm)		
- Concrete (100mm)		
- Gypsum plastering (15mm)		

خورشید<sup>۶</sup> (DST)، میزان انتقال مرئی و ضریب هدایت حرارتی  
نشان داده شده است. حالت‌های #۱ تا #۵ مربوط به جزئیات  
پنجره‌ی دو جداره با تغییر گاز میانی به گازهای آرگون،  
اکزنون، کریپتون و هوا از گازهای رایج مورد استفاده در  
پنجره‌های چند جداره است (Cuce & Riffat, 2015). در  
حالت #۴ گاز بین دو شیشه ترکیبی از هوا و گاز آرگون است.  
حالت‌های #۶ تا #۱۱ مربوط به جزئیات پنجره‌های سه جداره  
است. انواع مختلف پنجره‌ها در ساختمان اداری مورد نظر  
شبیه‌سازی شده و میزان بار سرمايش و گرمایش ساختمان  
اداری برای شهرهای مورد مطالعه محاسبه گردیده است.

### ۲-۳- انواع پنجره‌های مورد مطالعه

جهت بررسی تاثیر انواع پنجره‌ها، ۹ نوع پنجره شامل پنج  
پنجره‌ی دو جداره و شش پنجره‌ی سه جداره در نظر گرفته  
شده و عملکرد آنها در مقایسه با عملکرد شیشه معمولی  
۳mm قرار گرفته است. با توجه به مطالعات انجام گرفته  
نسبت پنجره به سطوح بیرونی ۳۰٪ و ارتفاع کف پنجره تا  
سطح زمین ۱/۰۵ متر در نظر گرفته شد. در جدول ۳ نوع  
پنجره و میزان ضخامت لایه‌های تشکیل دهنده‌ی شیشه‌های  
مورد مطالعه و نیز خصوصیات پنجره، از جمله ضریب انتقال  
گرمای خورشیدی، میزان انتقال تابش مستقیم

Table 3: Details of simulated windows

Window Type	Layers (Outermost to innermost)	Heat transfer coefficient (W/m <sup>2</sup> -K)	Visible transfer rate	The amount of direct sunlight transmission	Solar heat transfer coefficient
#SG	clear glass (3mm)	5.849	0.898	0.837	0.861
# 1	- Clear glass (3mm)	2.811	2.97	0.678	0.748
	- Air (10mm)				
# 2	- Clear glass (3mm)	2.6	0.801	0.67	0.742
	- Argon (10mm)				
	- Clear glass (3mm)				
# 3	- Clear glass (3mm)	2.478	0.801	0.67	0.743
	- Krypton (10mm)				
	- Clear glass (3mm)				
# 4	- Clear glass (3mm)	2.623	0.801	0.67	0.742
	- Argon/Air 90/10 (10mm)				
	- Clear glass (3mm)				
# 5	- Clear glass (3mm)	2.45	0.801	0.67	0.744
	- Xenon (10mm)				
	- Clear glass (3mm)				

Window Type	Layers (Outermost to innermost)	Heat transfer coefficient (W/m <sup>2</sup> -K)	Visible transfer rate	The amount of direct sunlight transmission	Solar heat transfer coefficient
# 6	- Clear glass (3mm)	2.049	0.738	0.595	0.681
	- Xenon (6mm)				
	- Clear glass (3mm)				
	- Argon (6mm)				
	- Clear glass (3mm)				
# 7	- Clear glass (3mm)	1.88	0.738	0.595	0.679
	- Air (6mm)				
	- Clear glass (3mm)				
	- Clear glass (3mm)				
	- Krypton (6mm)				
# 8	- Clear glass (3mm)	1.795	0.738	0.595	0.678
	- Xenon (6mm)				
	- Clear glass (3mm)				
# 9	- Clear glass (3mm)	1.781	0.738	0.592	0.682
	- Argon (6mm)				
	- Clear glass (3mm)				
	- Clear glass (3mm)				
	- Krypton (6mm)				
#10	- Clear glass (3mm)	1.703	0.738	0.595	0.681
	- Xenon (6mm)				
	- Clear glass (3mm)				
	- Clear glass (3mm)				
	- Argon (6mm)				
#11	- Clear glass (3mm)	1.578	0.738	0.595	0.684
	- Xenon (6mm)				
	- Clear glass (3mm)				
	- Clear glass (3mm)				
	- Krypton (6mm)				

#### ۴- اعتبارسنجی داده‌ها

جهت اعتبارسنجی داده‌ها نرم افزار DOE-2 مورد استفاده قرار گرفته و تمامی معادلات طبق معادلات استفاده شده در نرم افزار دیزاین بیلدر تنظیم گردید. داده‌های حاصل از شبیه سازی ساختمان اداری واقع در شهر بوشهر در تمامی حالات شیشه‌های مورد مطالعه در دو نرم افزار برای بار سرمایش مقایسه شد. مطابق شکل ۹ تفاوت میان داده‌های بار سرمایشی حدود ۴٪ است. این میزان تفاوت قابل قبول بوده و اعتبار تحلیل نرم افزاری انجام شده به وسیله دیزاین بیلدر را نشان میدهد.

#### ۵- یافته‌ها و تحلیل

پس از انجام شبیه سازیها نتایج مرتبط با میزان بار سرمایشی و گرمایشی هر نوع شیشه در شهرهای مختلف استخراج شده و در مقایسه با یکدیگر قرار گرفته است. در مرحله بعد مجموع بار سرمایشی و گرمایشی ساختمان در هر حالت با استفاده از انواع شیشه‌ها مقایسه شده و بهترین نوع گاز میانی شیشه در اقلیم مورد نظر تعیین شده است.

#### ۵-۱- بار گرمایش

شکل ۱۰ میزان بار گرمایش سالانه ساختمان نمونه اداری را با استفاده از انواع پنجره‌های مورد مطالعه نشان میدهد. بار گرمایش در بندرعباس با توجه به گرم بودن اقلیم در کل سال در تمامی حالات بسیار اندک بوده و در بوشهر با پنجره‌های دو و سه جداره کم‌تر از ساختمان با شیشه‌ی معمولی است. مطابق شکل ۱۰ ساختمان با پنجره‌های دو جداره میزان بار گرمایش کم‌تری نسبت به ساختمان با پنجره‌های سه جداره دارد. در میان پنجره‌های دوجداره مورد مطالعه نمونه #۴ و در میان سه جداره‌ها نمونه #۱۱ کم‌ترین بار گرمایش را دارند.

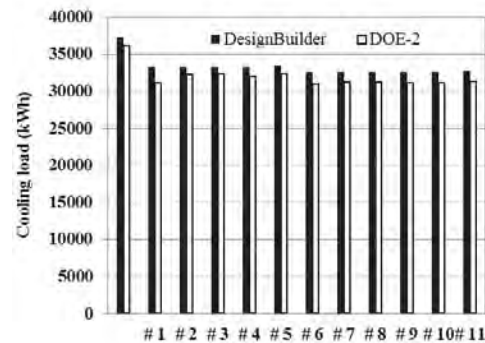


Fig. 9 Comparison of cooling load of building with study glasses in DesignBuilder and DOE-2 softwares

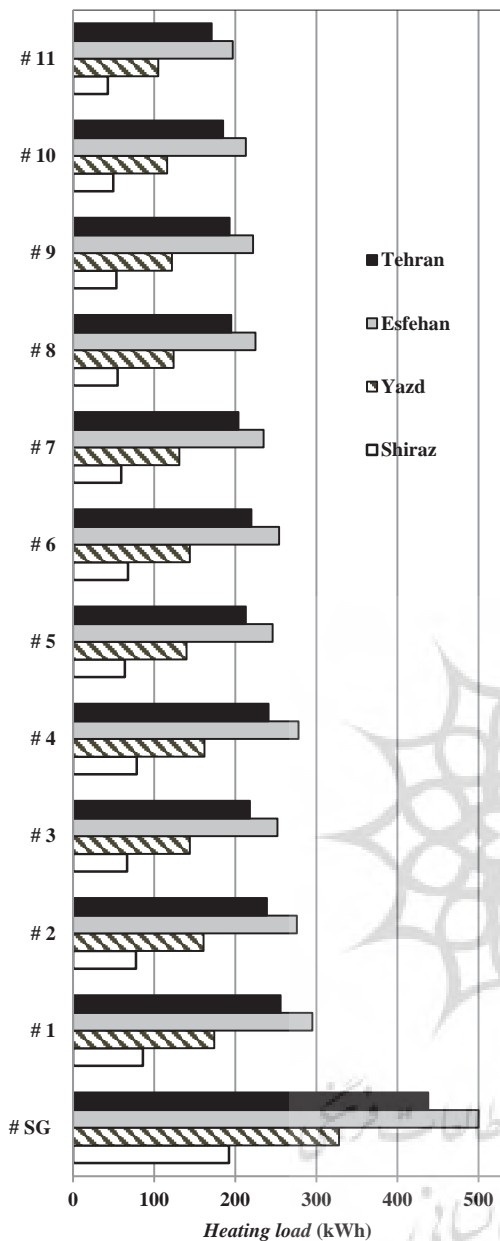


Fig. 12 Total annual heating load of office building, Tehran, Esfahan, Yazd and Shiraz

در شکل ۱۳، میزان کاهش بار گرمایش در انواع حالت‌های #۱ تا #۱۱ نسبت به ساختمان با پنجره‌ی معمولی نشان داده شده است. طبق شکل ۱۳، در بوشهر در میان کلیه نمونه‌های مورد مطالعه، حالت #۶ با ۱۴٫۷٪ کم‌ترین و حالت #۵ با ۲۰٫۸٪ درصد بیشترین کاهش بار گرمایی را دارد. برای بوشهر، حالت #۵ مناسب‌ترین حالت بین پنجره‌های دو جداره می‌باشد و در میان پنجره‌های سه جداره حالت #۱۱ بیشترین کاهش مصرف بار گرمایش را داشته است. حالت‌های #۷، #۸، #۹ و #۱۰ میزان مصرف

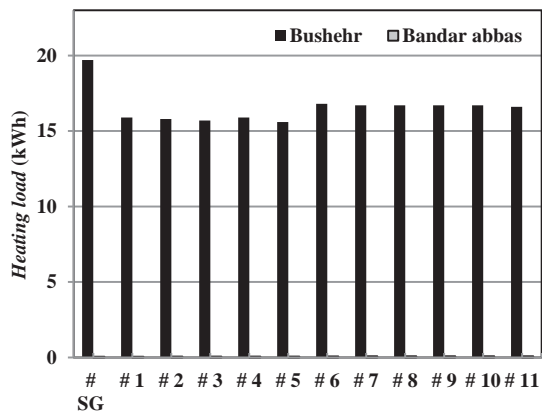


Fig. 10 Total annual heating load of office building, Bushehr and Bandar Abbas

در مشهد و تبریز با آب و هوای سرد میزان بار گرمایش سالانه مطابق شکل ۱۱ است. طبق شکل، ساختمان با پنجره‌های دو و سه جداره بار گرمایشی کم‌تری نسبت به پنجره معمولی دارد. در این دو شهر نمونه #۱۱ کم‌ترین بار گرمایشی و نمونه #۱ با پنجره‌ی دو جداره و هوا بیشترین بار گرمایشی را دارد.

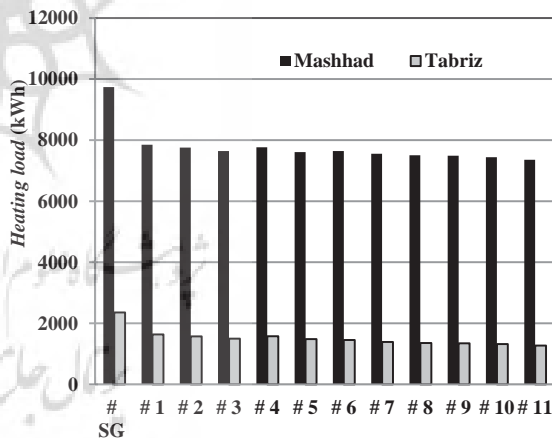


Fig. 11 Total annual heating load of office building, Mashhad and Tabriz

در شکل ۱۲ بار گرمایشی سالانه ساختمان با انواع پنجره‌های مورد مطالعه برای شهرهای شیراز، یزد، اصفهان و تهران با آب و هوای گرم و خشک نشان داده شده است. طبق شکل، از میان تمامی پنجره‌های دو و سه جداره مورد مطالعه، نمونه #۱۱ در تمامی شهرها کم‌ترین بار گرمایش را دارد. از میان نمونه‌های پنجره دوجداره نمونه‌ی #۵ کم‌ترین بار گرمایش را داراست.

دارد و مناسبترین حالت می‌باشد. همچنین مناسبترین پنجره‌ی دو جداره در کلیه‌ی شهرهای مورد مطالعه جهت کاهش مصرف بار گرمایی حالت #۵ است و مناسبترین حالت در میان پنجره‌های سه جداره در کلیه شهرهای دارای آب و هوای سرد و گرم و خشک مورد مطالعه حالت #۱۱ می‌باشد. استفاده از حالت #۵ در تبریز و مشهد به ترتیب باعث کاهش بار گرمایی ۲۲٪ و ۳۷٫۱٪ می‌گردد، همچنین استفاده از حالت #۵ در شیراز، یزد، اصفهان و تهران به ترتیب باعث کاهش بار گرمایی ۶۶٫۸٪، ۵۷٫۳٪، ۵۰٫۸٪ و ۵۱٫۴٪ در بار گرمایش می‌گردد.

استفاده از حالت #۱۱ در شهرهای تبریز و مشهد به ترتیب باعث کاهش بار گرمایی ۲۴٫۵٪ و ۴۶٫۱٪ می‌گردد که بیشترین کاهش بار گرمایی در تمامی حالات می‌باشد. در شیراز استفاده از حالت #۱۱ باعث کاهش ۷۷٫۷٪ بار گرمایی و در یزد، اصفهان و تهران به ترتیب باعث کاهش ۳۸٪، ۶۰٫۶٪ و ۶۱٪ بار گرمایی می‌گردد.

#### ۵-۲- بار سرمایش

بررسی نتایج شبیه سازی در مورد میزان سالانه بار سرمایش ساختمان اداری نمونه برای بوشهر و بندر عباس در هر یک از حالت‌ها در شکل ۱۴ نشان داده شده است. مطابق شکل، کمترین بار سرمایش در بوشهر ۳۲۵۶۰ kW و مربوط به حالت #۶ و کمترین حالت در بندرعباس مربوط به حالت #۸ و #۹ با مقدار ۴۲۴۶۸ kWh می‌باشد.

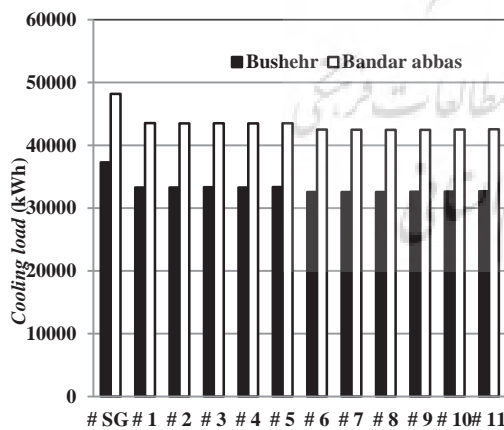


Fig. 14 Total annual cooling load of office building, Bushehr and Bandar Abbas

مجموع بار سرمایش سالانه ساختمان اداری نمونه در شهرهای مشهد و تبریز در شکل ۱۵ نشان داده شده است. طبق شکل، بار سرمایش ساختمان در کلیه حالت‌های پنجره‌های دو و سه جداره از بار سرمایش ساختمان با شیشه‌ی معمولی کمتر است. همچنین در هر دو شهر تبریز

بار گرمایی یکسانی دارند و استفاده از آن‌ها در بوشهر در مصرف بار گرمایش تفاوتی را ایجاد نمی‌کند.

#### Percent of heating load reduce

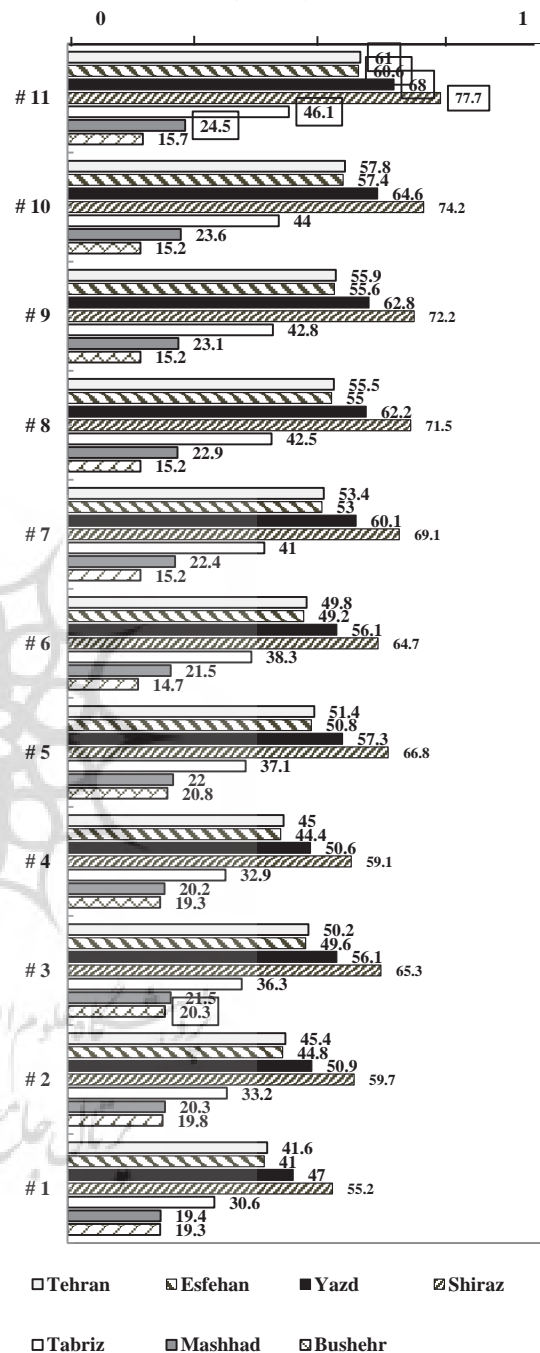


Fig. 13 Percent of reduce of heating load of office building in Bushehr, Mashhad, Tabriz, Shiraz, Yazd, Esfahan and Tehran

در تمامی شهرهای مشهد، تبریز، شیراز، یزد، اصفهان و تهران حالت #۱ با کاربرد هوا در پنجره‌ی دو جداره، کمترین کاهش مصرف بار گرمایی و حالت #۱۱ با گاز اکزنون و کریپتون، بیشترین کاهش مصرف بار گرمایی را



میزان بار سرمایش ساختمان اداری در شهرهای شیراز، اصفهان، یزد و تهران در شکل ۱۶ نشان داده شده است. طبق شکل ۱۶ استفاده از پنجره‌های دو و سه جداره باعث کاهش بار سرمایشی نسبت به شیشه معمولی شده و همچنین استفاده از پنجره‌های سه جداره بار سرمایش کمتری نسبت به پنجره دو جداره دارد. حالت #۶ دارای کمترین بار سرمایش در بین پنجره‌های مورد مطالعه است و در بین پنجره‌های دو جداره حالت #۱ که پنجره دو جداره با هوای معمولی مناسب‌ترین بوده و کمترین بار سرمایشی را دارد.

در شکل ۱۷ درصد کاهش بار سرمایش ساختمان اداری نمونه با پنجره‌های دو و سه جداره نسبت به ساختمان با شیشه معمولی نشان داده شده است. در بوشهر حالت #۶ با ۱۲٫۷٪ دارای بیشترین درصد کاهش بار سرمایش بوده و حالت‌های #۷ و #۸ با اندکی اختلاف بعد از حالت #۶ بهترین پنجره جهت کاهش بار سرمایش هستند. در بوشهر حالت #۴ با ۱۰٫۸٪ بهترین پنجره در میان پنجره‌های دو جداره است. در بندر عباس نیز حالت‌های #۸ و #۹ با ۱۱٫۹٪ بیشترین درصد کاهش بار سرمایش در پنجره‌های سه جداره را دارا هستند و پنجره‌های دو جداره در بندر عباس تقریباً رفتاری نسبتاً مشابه دارند.

حالت #۶ در شهرهای مشهد، تبریز، شیراز، یزد، اصفهان و تهران دارای بیشترین کاهش بار سرمایش در میان کلیه حالت‌ها را داشته است. استفاده از پنجره‌ی دو جداره حالت #۶ در تبریز و مشهد به ترتیب باعث کاهش ۲۷٫۵٪ و ۲۵٫۶٪ بار سرمایش شده است. همچنین استفاده از پنجره حالت #۶ نیز در شهر شیراز باعث کاهش ۱۷٫۳٪ بار سرمایش گردیده و این مقدار در شهرهای یزد، اصفهان و تهران به ترتیب ۱۷٫۳٪، ۱۹٫۶٪ و ۱۸٫۸٪ می‌باشد. در تبریز در میان پنجره‌های دو جداره حالت‌های #۲ و #۴ با ۲۴٫۸٪ بیشترین کاهش بار سرمایش را داشته و در شهر مشهد نیز حالت #۱ با ۲۳٫۵٪ مناسب‌ترین پنجره در میان پنجره‌های دو جداره بوده و با حالت‌های #۲، #۴ و #۵ اختلاف اندکی دارد.

در میان پنجره‌های دو جداره نیز حالت #۱ مناسب‌ترین پنجره جهت کاهش بار سرمایش در شهرهای شیراز، یزد، اصفهان و تهران می‌باشد. استفاده از پنجره حالت #۱ در شیراز سبب کاهش بار سرمایش به مقدار ۱۴٫۸٪ و در شهر یزد ۱۴٫۶٪ و در شهرهای اصفهان و تهران به ترتیب ۱۷٫۳٪ و ۱۵٫۸٪ شده است. همچنین طبق شکل ۱۷ حالت‌های #۲ و #۴ اختلاف کمی با حالت #۱ در شهرهای شیراز، یزد، اصفهان و تهران دارند.

و مشهد، پنجره‌ی سه جداره بار سرمایشی کمتری نسبت به پنجره‌ی دو جداره دارد. حالت #۶ در تبریز با ۱۰۱۹۴ kWh و در مشهد با ۱۰۱۵۰ kWh در میان کلیه پنجره‌ها دارای کمترین بار سرمایش است. در میان حالت‌های پنجره دو جداره، حالت #۱ پنجره دو جداره با هوای معمولی در هر دو شهر تبریز و مشهد کمترین بار سرمایشی را داراست.

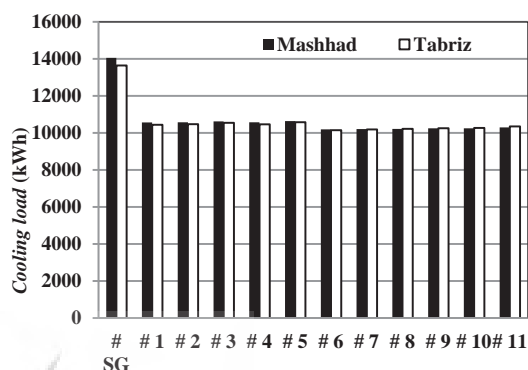


Fig. 15 Total annual cooling load of office building, Mashhad and Tabriz

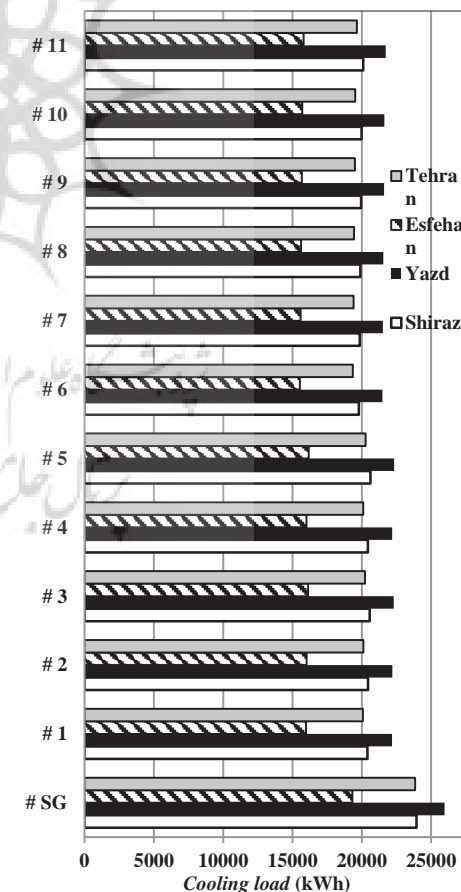


Fig. 16 Total annual cooling load of office building, Tehran, Esfahan, Yazd and Shiraz

مطالعه می‌باشد. پنجره‌ی حالت #۵ کم‌ترین درصد کاهش مجموع بار سرمایش و گرمایش را در میان پنجره‌های مورد مطالعه در بوشهر داشته است و همچنین حالت #۱ برای شهرهای بندر عباس، مشهد و تبریز نیز کم‌ترین درصد کاهش بار را داشته و حالت #۵ نیز کم‌ترین درصد کاهش بار برای شهرهای با آب و هوای گرم و خشک مورد مطالعه‌ی شیراز، یزد، اصفهان و تهران بوده است.

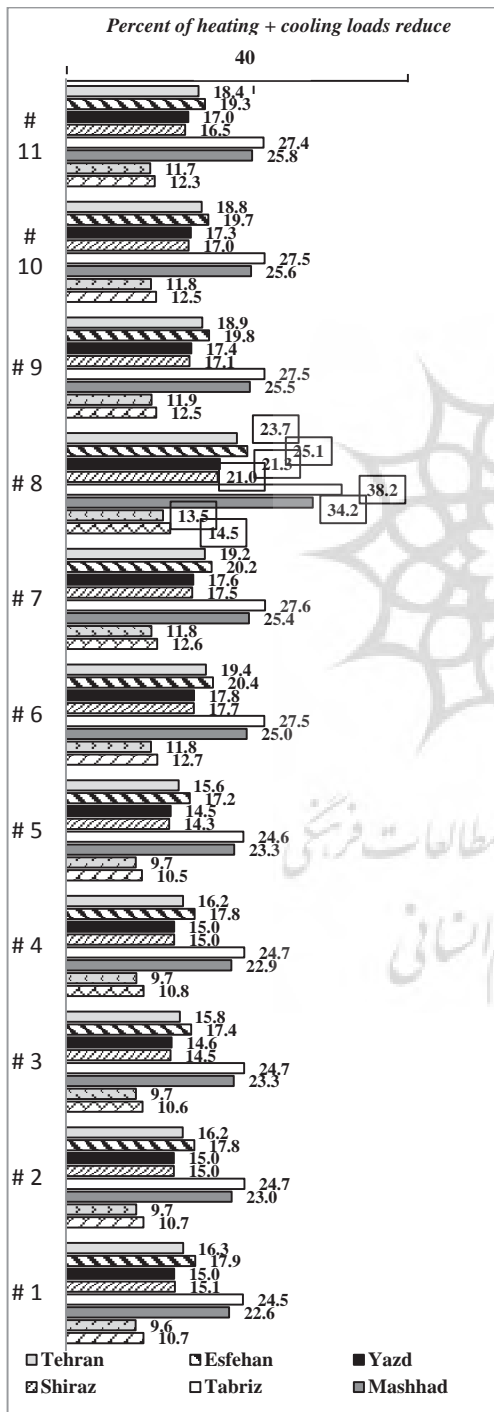


Fig. 18 Percent of reduce of total cooling load and heating load of office building in Bushehr, Mashhad, Tabriz, Shiraz, Yazd, Esfahan and Tehran

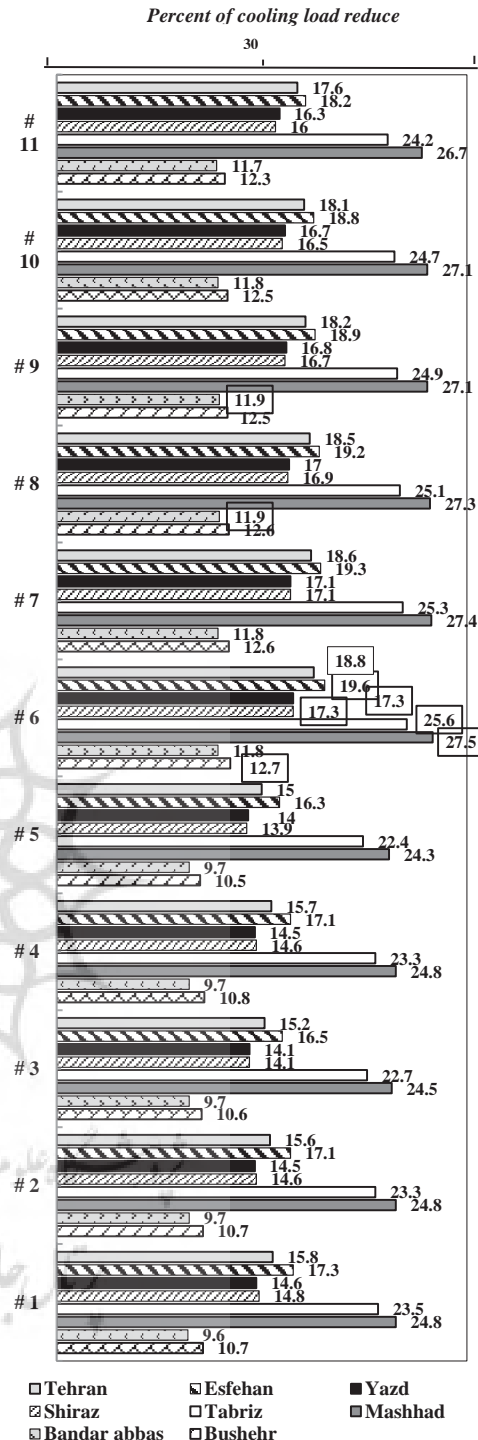


Fig. 17 Percent of reduce of cooling load of office building in Bushehr, Mashhad, Tabriz, Shiraz, Yazd, Esfahan and Tehran

در شکل ۱۸ میزان کاهش مجموع بار سرمایش و گرمایش ساختمان اداری نمونه بر حسب درصد در صورت کاربرد انواع حالت‌های پنجره در مقایسه با شیشه‌ی معمولی نشان داده شده است. مطابق شکل، پنجره‌ی #۸ از نوع سه جداره با گازهای هوا و اکزنون بهترین پنجره جهت کاهش مجموع بار سرمایشی و گرمایشی در همه شهرهای مورد

عملکرد تقریباً یکسان، حدود ۱۶,۳٪ بیشترین درصد کاهش بار را دارند.

در پنجره‌های سه جداره نیز حالت #۸ بهترین عملکرد در جهت کاهش بار در بوشهر به میزان ۱۴,۵٪ و در بندر عباس ۱۳,۵٪ و همچنین در شهرهای مشهد و تبریز به ترتیب باعث ۳۴,۲٪ و ۳۸,۲٪ کاهش بار می‌گردد. استفاده از این پنجره در شهرهای گرم و خشک مورد مطالعه به صورت متوسط سبب کاهش ۲۲,۸٪ درصد در میزان بار می‌گردد.

مقایسه عملکرد شیشه‌های مورد مطالعه در کاهش بار سرمایش و گرمایش ساختمان نمونه به صورت خلاصه در جدول ۴ نشان داده شده است.

در میان پنجره‌های دو جداره در بوشهر، حالت #۴ با ۱۰,۸٪ بیشترین و حالت #۵ کمترین درصد کاهش بار را داشته است. در بندرعباس همه حالت‌های #۱ تا #۵ تقریباً عملکردی نسبتاً مشابه دارند. در مشهد نیز حالت #۳ و #۵ با ۲۳,۳٪ بیشترین کاهش مصرف بار را داشته و حالت #۱ با ۲۲,۶٪ کمترین مصرف بار را دارد. در تبریز حالت‌های #۲، #۳ و #۴ با ۲۴,۷٪ بیشترین درصد کاهش بار را در بین پنجره‌های دو جداره دارند. در شیراز و یزد نیز حالت‌های #۱، #۲ و #۴ با ۱۵٪ بیشترین کاهش بار را دارند و حالت‌های #۳ و #۵ نیز کمترین کاهش بار را داشته‌اند. در اصفهان حالت‌های #۱، #۲ و #۴ با ۱۷,۸٪ بیشترین درصد کاهش بار را دارند. در تهران نیز حالت‌های #۱، #۲ و #۴ با

Table 4: Comparison of the performance of study glasses in reduce cooling and heating load compared to single glass in the study cities

Glass type	Bushahr	Bandar Abbas	Mashhad	Tabriz	Shiraz	Yazd	Esfahan	Tehran
# 1	10.7	9.6	22.6	24.5	15.1	15.0	17.9	16.3
# 2	10.7	9.7	23.0	24.7	15.0	15.0	17.8	16.2
# 3	10.6	9.7	23.3	24.7	14.5	14.6	17.4	15.8
# 4	10.8	9.7	22.9	24.7	15.0	15.0	17.8	16.2
# 5	10.5	9.7	23.3	24.6	14.3	14.5	17.2	15.6
# 6	12.7	11.8	25.0	27.5	17.7	17.8	20.4	19.4
# 7	12.6	11.8	25.4	27.6	17.5	17.6	20.2	19.2
# 8	14.5	13.5	34.2	38.2	21.0	21.3	25.1	23.7
# 9	12.5	11.9	25.5	27.5	17.1	17.4	19.8	18.9
# 10	12.5	11.8	25.6	27.5	17.0	17.3	19.7	18.8
# 11	12.3	11.7	25.8	27.4	16.5	17.0	19.3	18.4

■ The highest percentage of reduce of cooling and heating load among all simulated cases compared to single glass  
■ The highest percentage of reduce of cooling and heating load among all double glasses simulated compared to single glass  
■ The lowest percentage of reduce of cooling and heating load among all simulated cases compared to single glass

۳mm مقایسه شده است. یک ساختمان نمونه اداری در اقلیمهای گرم و مرطوب، سرد و گرم و خشک ایران با استفاده از نرم افزار دیزاین بیلدر شبیه سازی شده و میزان بار سرمایش و گرمایش سالانه آن محاسبه شده است. از هر اقلیم دو شهر انتخاب شده و شهرهای مورد بررسی بوشهر و بندر عباس با اقلیم گرم و مرطوب و شهرهای مشهد و تبریز با اقلیم سرد و

#### ۶- نتیجه گیری

پژوهش حاضر با هدف تعیین میزان تاثیر گازهای میانی در پنجره‌های دو و سه جداره بر کاهش مصرف بار سرمایش و گرمایش در ساختمان‌های اداری انجام شده است. به این منظور تعداد یازده نوع پنجره دو و سه جداره با تغییر ویژگیهای گاز میانی مورد سنجش قرار گرفته و با پنجره با شیشه به ضخامت

جداره هستند. در شهرهای شیراز، یزد، اصفهان و تهران نیز این پنجره در میان پنجره‌های دو جداره مناسب‌ترین پنجره جهت کاهش بار سرمایش بوده و سبب کاهش ۱۴٫۸٪، ۱۴٫۶٪، ۱۷٫۳٪ و ۱۵٫۸٪ بار سرمایش به ترتیب در شهرهای شیراز، یزد، اصفهان و تهران گردیده است. (۳) بار کل (مجموع بار گرمایش و سرمایش): با توجه به مجموع بار سالانه سرمایش و گرمایش، پنجره‌ی نوع #۸ به صورت پنجره سه جداره پر شده از گازهای هوا و اکزنون، بهترین حالت بین سایر پنجره‌های دو و سه جداره در همه شهرهاست. از میان پنجره‌های دو جداره مناسب‌ترین حالت، در بوشهر پنجره‌ی #۴ با کاهش ۱۰٫۸٪ درصد در بار کل است. در بندرعباس حالت‌های #۱ تا #۵ عملکردی نسبتاً مشابه دارند. در تبریز حالت #۳ و #۵ با ۲۳٫۳٪ کاهش، بیشترین کاهش مصرف بار را در پنجره‌های دو جداره داشته و در مشهد حالت‌های #۲، #۳ و #۴ با ۲۴٫۷٪ بیشترین میزان کاهش بار را در پنجره‌های دو جداره دارند. در شیراز و یزد نیز حالت‌های #۱، #۲ و #۴ با ۱۵٪ و در اصفهان حالت‌های #۱، #۲ و #۴ با ۱۷٫۸٪ درصد بیشترین میزان کاهش بار را دارند. در تهران حالت‌های #۱، #۲ و #۴ عملکردی نسبتاً مشابه داشته و با ۱۶٫۳٪ درصد کاهش بیشترین تاثیر را دارند. در پنجره‌های سه جداره حالت #۸ با بهترین عملکرد در شهرهای بوشهر، بندرعباس، تبریز و مشهد به ترتیب سبب کاهش ۱۴٫۵٪، ۱۳٫۵٪، ۳۴٫۲٪ و ۳۸٫۲٪ درصد در میزان بار کل میگردد. کاربرد حالت #۸ در شهرهای گرم و خشک مورد مطالعه به صورت متوسط ۲۲٫۸٪ درصد در میزان بار کلی ساختمان صرفه جویی میشود.

با مقایسه میزان تفاوت مصرف انرژی در ساختمانهایی با انواع مختلف پنجره و گازهای میانی، میتوان گزینه‌های مطلوب را تعیین نمود. به این ترتیب نتایج پژوهش میتواند طراح و سازنده ساختمان را جهت انتخاب مناسب‌ترین پنجره دو جداره و سه جداره در ساختمان‌های اداری در هر شهر با توجه به ویژگیهای اقلیمی آن یاری رساند.

#### فهرست علائم

DST	انتقال تابش مستقیم خورشید
SG	شیشه ساده
SHG	ضریب افزایش گرمای خورشیدی
Rc-value	مقاومت حرارتی
Tv	انتقال مرئی
U-value	ضریب انتقال حرارت

شهرهای شیراز، یزد، اصفهان و تهران با اقلیم گرم و خشک بوده است. جهت اعتبارسنجی داده ها، بخشی از شبیه سازیها با نرم‌افزار DOE-2 نیز انجام شده و نتایج با یکدیگر مقایسه گردید. نتایج بدست آمده بر اساس سه پارامتر بار گرمایش، بار سرمایش و بار کلی به صورت زیر بیان میشود:

(۱) بار گرمایش: در بوشهر بیشترین میزان کاهش بار گرمایش در حالت #۵ و معادل ۲۰٫۸٪ است. حالت #۵ مناسب‌ترین حالت بین پنجره‌های دو جداره و حالت #۱۱ مناسب‌ترین در میان پنجره‌های سه جداره است. در شهرهای مشهد، تبریز، شیراز، یزد، اصفهان و تهران حالت #۱ پنجره دو جداره پر شده از هوا، کم‌ترین و حالت #۱۱ با گاز اکزنون و کریپتون بیشترین کاهش را در بار گرمایش دارد. این حالت در میان پنجره‌های سه جداره نیز بیشترین درصد کاهش بار گرمایش را دارد. جهت کاهش مصرف بار گرمایش مناسب‌ترین پنجره‌ی دو جداره در سایر شهرهای مورد مطالعه حالت #۵ و در میان پنجره‌های سه جداره حالت #۱۱ می‌باشد. استفاده از حالت #۵ در تبریز، مشهد، شیراز، یزد، اصفهان و تهران به ترتیب سبب کاهش ۲۲٪، ۳۷٫۱٪، ۶۶٫۸٪، ۵۷٫۳٪، ۵۰٫۸٪ و ۵۱٫۴٪ در بار گرمایش می‌گردد. حالت #۱۱ در شهرهای تبریز و مشهد به ترتیب باعث کاهش ۲۴٫۵٪ و ۴۶٫۱٪ بار گرمایش می‌گردد که بیشترین کاهش بار گرمایش است. در شیراز، یزد، اصفهان و تهران نیز استفاده از حالت #۱۱ به ترتیب سبب کاهش ۷۷٫۷٪، ۳۸٫۶٪ و ۶۱٪ در بار گرمایش شده است.

(۲) بار سرمایش: در بوشهر حالت #۶ با ۱۲٫۷٪ دارای بیشترین درصد کاهش بار سرمایش بوده و حالت #۴ بهترین پنجره در میان پنجره‌های دو جداره می‌باشد. در بندرعباس عملکرد پنجره‌های دو و سه جداره در بار سرمایشی نسبتاً مشابه بوده و حالت‌های #۸ و #۹ با ۱۱٫۹٪ بیشترین میزان کاهش در بار سرمایش را دارند. در شهرهای مشهد، تبریز، شیراز، یزد، اصفهان و تهران حالت #۶ بیشترین کاهش بار سرمایش را در میان سایر حالت‌ها داشته است. استفاده از این پنجره در تبریز و مشهد به ترتیب سبب ۲۷٫۵٪ و ۲۵٫۶٪ کاهش در بار سرمایش شده است. همچنین استفاده از پنجره حالت #۶ در شهرهای شیراز، یزد، اصفهان و تهران به ترتیب سبب کاهش ۱۷٫۳٪، ۱۷٫۳٪، ۱۹٫۶٪ و ۱۸٫۸٪ در بار سرمایش شده است. در تبریز در میان پنجره‌های دو جداره حالت‌های #۲ و #۴ با ۲۴٫۸٪ و در مشهد حالت #۱ با ۲۳٫۵٪ مناسب‌ترین پنجره در میان پنجره‌های دو

### قدردانی

بخشی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد جلیل شاعری، مبتنی بر مقاله حاضر و به راهنمایی دکتر محمد علی آبادی، دکتر محمود یعقوبی و مشاوره دکتر رزا وکیلی نژاد انجام شده است. بدین‌وسیله نویسندگان مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از زحمات دکتر محمد علی آبادی در راستای آن پایان‌نامه اعلام می‌دارند.

### پی‌نوشت

1. Visible transmittance
2. Solar heat gain coefficient (SHGC)
3. ASHRAE
4. Heating setpoint
5. Cooling setpoint
6. Direct solar transmission

### فهرست منابع

- Arıcı M, Karabay H (2015). Flow and heat transfer in double , triple and quadruple pane windows, *Energy and Buildings*, Vol. 86, pp. 394–402. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.10.043>.
- Cuce E, Riffat SB (2015). A state-of-the-art review on innovative glazing technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 41, pp. 695–714. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.084>.
- Cuevas C, Fissore A, Fonseca N (2010). Natural convection at an indoor glazing surface with different window blinds, *Energy & Buildings*, Vol. 42, No. 10, pp. 1685–1691. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.05.003>.
- Daqiqeh S, Shannigrahi S, Ramakrishna S (2017). A review of conventional , advanced , and smart glazing technologies and materials for improving indoor environment, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 159, pp. 26–51. <http://doi.org/10.1016/j.solmat.2016.08.026>.
- DeForest N, Shehabi A, O'Donnell J, Garcia G, Greenblatt J, Lee ES, Milliron DJ (2015). United States energy and CO2 savings potential from deployment of near-infrared electrochromic window glazings, *Building and Environment*, Vol. 89, pp. 107–117. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.021>.
- Fernandes LL, Lee ES, Mcneil A, Jonsson JC, Nouidui T, Pang X, Hoffmann S (2015). Angular selective window systems : Assessment of technical potential for energy savings, *Energy & Buildings*, Vol. 90, pp. 188–206. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.10.010>.
- Granqvist CG (2014). Electrochromics for smart windows : Oxide-based thin fi lms and devices, *Thin Solid Films*, Vol. 564, pp. 1–38. <http://doi.org/10.1016/j.tsf.2014.02.002>.
- Jonsson A, Roos A (2010). Visual and energy performance of switchable windows with antireflection coatings, *Solar Energy*, Vol. 84, No. 8, pp. 1370–1375. <http://doi.org/10.1016/j.solener.2010.04.016>.
- Li C, Tan J, Chow T, Qiu Z (2015). Experimental and theoretical study on the effect of window films on building energy consumption, *Energy & Buildings*, Vol. 102, pp. 129–138. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.04.025>.
- Long L, Ye H (2014). How to be smart and energy efficient: A general discussion on thermochromic windows, *Scientific Reports*, Vol. 4, pp. 6427. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1038/srep06427>.
- Miskinis K, Dikavicius V, Bliudzius R, Banionis K (2015). Comparison of sound insulation of windows with double glass units, *Applied Acoustics*, Vol. 92, pp. 42–46. <http://doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.01.007>.
- Mujeebu MA, Ashraf N, Alsawayigh AH (2016). Effect of nano vacuum insulation panel and nanogel glazing on the energy performance of office building, *Applied Energy*, Vol. 173, pp. 141–151. <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.04.014>.
- Nasrollahi F (2015). Office buildings energy efficient: energy efficiency with the architectural design, Berlin University.
- Oleskowicz-popiel C, Sobczak M (2014). Effect of the roller blinds on heat losses through a double-glazing window during heating season in Central Europe, *Energy & Buildings*, Vol. 73, pp. 48–58. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.12.032>.
- Pe L (2008). A review on buildings energy consumption information, *Energy and Buildings*, Vol. 40, pp. 394–398. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.03.007>.
- Pérez-Lombard L, Ortiz J, Pout C (2008). A review on buildings energy consumption information, *Energy and Buildings*, Vol. 40, No. 3, pp. 394–398. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.03.007>.
- Piccolo A, Simone F (2015). Performance requirements for electrochromic smart window, *Journal of Building Engineering*, Vol. 3, pp. 94–103. <http://doi.org/10.1016/j.job.2015.07.002>.
- Tuchinda C, Srivannaboon S, Lim HW (2006). Photoprotection by window glass, automobile glass, and sunglasses, pp. 845–854. <http://doi.org/10.1016/j.jaad.2005.11.1082>.
- Xamán J, Pérez-nucamendi C, Arce J, Hinojosa J, Álvarez G, Zavala-guillén I (2014). Thermal analysis for a double pane window with a solar control film for using in cold and warm climates, *Energy & Buildings*, Vol. 76, pp. 429–439. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.03.015>.



## Effect of Gas Types in Double and Triple Pane Windows on Cooling and Heating Loads in Office Buildings in Hot-Humid, Hot-Dry and Cold Climates in Iran

Jalil Shaeri<sup>1</sup>, Roza Vakilinezhad<sup>2</sup>(Corresponding Author), Mahmood Yaghoubi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ph.D Candidate in Architecture, Faculty of Art and Architecture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran (shaeri@modares.ac.ir)

<sup>2</sup>Assistant Professor, Faculty of Art and Architecture, Shiraz University, Shiraz, Iran (arch.rv@shirazu.ac.ir)

<sup>3</sup>Professor, School of Mechanical Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran (yaghoubi@shirazu.ac.ir)

Received  
18/09/2017

Revised  
08/05/2018

Accepted  
13/03/2019

Available Online  
19/02/2020

In the last decades, increasing world population and carbon dioxide emission, have led to the increasing importance of energy conservation, especially in the building industry. In Iran, almost 40 percent of energy is used in the buildings, where the main part of it is wasted through windows. Hence, reducing the amount of heat transfer and insulating the windows is essential. In recent years, glass technology has offered various alternatives for building energy conservation, including window insulation, transparent covering films and integrated dynamic shadings. Multi-pane windows with various glass layers are one of the solutions to control solar heat, sunlight transmission and noise through windows. They are used in combination with shading devices, especially in office buildings. Studies have shown that using multi-pane windows, heat transfer and building energy consumption decrease depending on the different climates and building thermal properties. However, the impact of different types of filling gases and the optimal window type on building energy consumption in different climates has not been studied.

In the present study, the effect of double- and triple-glazed windows containing different gases on the cooling and heating loads of a sample office building are investigated. Altering window layers, its thermal properties will change, including heat transfer coefficient, visible transfer rate, the amount of direct sunlight transmission and solar heat transfer coefficient. The Air, Argon, Krypton, Xenon gases and the mixture of them are used for the gap filling between two or three layers of clear glass. The case studies are Bushehr and Bandar Abbas cities with hot-humid climate, Mashhad and Tabriz cities with cold climate and Shiraz, Yazd, Isfahan and Tehran cities with hot-dry climate.

In each city, eleven alternatives have been simulated for a typical office building by changing window type and the intermediate gas. The simulations were performed using Design Builder software version 5.02.003 to calculate annual cooling and heating loads for the sample building. Windows in the base model are simple windows with clear glass of three millimeters thickness. According to ASHRIE standard, the heating and cooling set points of 22 °C and 24 °C are considered in the simulations. Comparing total building energy consumption with different types of windows and gases, the proper alternatives are defined. In order to validate the results, DOE-2 simulation software has been used. The building energy consumption in Bushehr City has been examined for the eleven alternatives. Since the difference between two groups of the results is 4 percent, all the results are valid.

Based on the results, applying double- and triple-pane windows leads to reduced cooling and heating loads of the sample office building in all studied cities. In Bushehr City, using triple pane windows will result in 12.7 percent reduction in the building cooling load while it would be 10.8 percent by applying double-pane windows. The reduction in building cooling load would be 27.5, 25.6 and 17.3 percent in Tabriz,

Mashhad and Shiraz cities if triple-pane windows were used. Using double-pane windows, the cooling load reduction would be 14.6 to 17.3 percent in cities with hot-dry climates and 11.9 percent in Bandar Abbas City. According to the total building energy consumption, the triple-pane window filled with air and Xenon gas is the most appropriate window type in all cases. Using such a type of windows will lead to 14.5, 13.5, 34.2 and 38.2 percent reduction in building energy consumption in Bushehr, Bandar Abbas, Tabriz and Mashhad, respectively. So in cities with hot-dry climate, the application of triple-pane windows filled with air and Xenon gas would reduce the building energy consumption by the average of 22.8 percent. Unlike triple-pane windows, the appropriate alternative among double-pane windows is different in each city. In Bushehr City, double-pane window filled with air and argon gas has the most building load reduction. It is also one of the best choices in Mashhad, Shiraz, Yazd, Isfahan and Tehran cities, however the building energy consumption is best reduced using other alternatives filled with argon or krypton gases. By applying such double-pane windows, the amounts of energy reduction in each city equal to 24.7, 15, 15, 17.8 and 16.3 percent for Mashhad, Shiraz, Yazd, Isfahan and Tehran cities, respectively. In Bandar Abbas and Tabriz cities, the most proper windows are those filled with krypton and xenon with 10.8 and 23.3 percent energy reduction. The results of the present study help designers to select the best double- and triple-glazed windows for office buildings in each city.

#### Key words:

Double-pane windows, Triple-pane windows, Cooling, Heating, Office building.

#### COPYRIGHTS

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

(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



نحوه ارجاع به این مقاله:

شاعری، جلیل؛ وکیلی نژاد، رزا و یعقوبی، محمود. (۱۳۹۸). تاثیر نوع گازهای میانی پنجره‌های دو و سه جداره بر بار سرمایش و گرمایش ساختمان‌های اداری در اقلیم گرم و مرطوب، گرم و خشک و سرد ایران. نشریه علمی معماری و شهرسازی ایران، ۱۰(۱۸)، ۲۱۱ - ۲۲۵.

DOI: 10.30475/ISAU.2020.103683

URL: [http://www.isau.ir/article\\_103683.html](http://www.isau.ir/article_103683.html)

