

### مقایسه محاسبه بار گرمایش ماهانه با استفاده از دو روش نرم افزار انرژی پلاس و استاندارد با هدف ارزیابی عملکرد انرژی ساختمان دانشکده انرژی دانشگاه صنعتی شریف

مسعود کیشانی<sup>۱</sup>، مرتضی کلی‌وندی<sup>۲</sup>

<sup>a</sup> کارشناسی ارشد مهندسی انرژی، گرایش محیط زیست، دانشگاه صنعتی شریف

<sup>b</sup> کارشناسی ارشد مهندسی انرژی، گرایش تکنولوژی انرژی، دانشگاه صنعتی شریف

کلمات کلیدی	خلاصه
۱- عملکرد انرژی ساختمان	به دنبال صدور دستورالعمل در مورد "عملکرد انرژی ساختمان‌ها" فعالیت‌های تحقیقاتی بین‌المللی گسترده‌ای در زمینه تدوین و تصویب استانداردهایی که حاوی متدولوژی‌های رایج برای ارزیابی عملکرد انرژی ساختمان هستند، انجام شده است. یکی از موارد مهم مربوط به تعریف روش ساده شده برای محاسبه مصرف انرژی برای گرمایش و سرمایش فضا استاندارد (ISO / FDIS 13790:2008) می‌باشد. در این مطالعه محاسبه انرژی گرمایش به صورت ماهانه با روش استاندارد مذکور مورد بررسی قرار گرفت. نتایج محاسبات حاصل از این روش با روش شبیه‌سازی دینامیکی با استفاده از EnergyPlus مقایسه و اعتبارسنجی شد. این مطالعه نشان می‌دهد که روش محاسبه انرژی گرمایش مورد نیاز دانشکده انرژی دانشگاه صنعتی شریف بصورت ماهانه چه مقدار از انرژی گرمایشی بدست آمده با استفاده از روش استاندارد ISO 13790 متفاوت خواهد بود.
۲- ISO 13790:2008	
۳- تقاضای گرمایش ساختمان	
۴- Energy Plus	

سال ۲۰۰۲، اتحادیه اروپا دستورالعمل عملکرد انرژی ساختمان‌ها را تصویب کرد که حداقل استانداردها را برای ساختمان‌های مسکونی و تجاری تعیین می‌کند [۱]. برای مثال، از سال ۲۰۲۰، همه کشورهای عضو اتحادیه اروپا باید

#### ۱. مقدمه

در تلاش برای کاهش مصرف انرژی، بهره‌وری انرژی ساختمان‌ها از طریق سیاست‌های مختلف ارتقا یافته است. در

<sup>1</sup> Masoud.k.f.7@Gmail.com

<sup>2</sup> Morteza.kolivandi@energy.sharif.ir

اطمینان حاصل کنند که تمام ساختمان‌های ساخته شده، ساختمان‌های انرژی تقریباً صفر (NZEB<sup>3</sup>) هستند [۲]. به همین طریق اقدامات مشابهی در سراسر جهان پیشنهاد شده است. به عنوان مثال، در ایالات متحده آمریکا، کمیسیون خدمات عمومی کالیفرنیا قصد دارد تا سال ۲۰۲۰ به NZEB برای تمام ساخت و سازهای مسکونی جدید و برای تمام ساخت و سازهای تجاری جدید تا سال ۲۰۳۰ دست یابد [۳]. اهداف بلندپروازانه انگیزه‌ای برای پیشرفت قابل توجه در صنعت ساختمان ایجاد کرده است، مانند توسعه سیستم‌های رتبه بندی عملکرد انرژی، مقاوم سازی انرژی ساختمان‌های قدیمی و بهبود در طراحی و ساخت NZEB. همچنین پیشرفت‌های زیادی در زمینه‌های فناوری سنجش، نظارت بر انرژی و کنترل پیشرفته صورت گرفته است. همچنین تلاش‌های تحقیقاتی مرتبط با مشارکت ساختمان در شبکه‌های هوشمند حاصل شده است. پیش نیاز همه این پیشرفت‌ها داده‌های قابل اعتماد در مورد عملکرد انرژی ساختمان و به طور خاص‌تر، مدلی است که بتواند رفتار دینامیکی ساختمان را به عنوان تابعی از عوامل مختلف، مانند ویژگی‌های پوشش، شرایط آب و هوایی، استراتژی‌های کنترل و نوع استفاده ثبت کند [۴-۵]. در طی چند دهه اخیر، افزایش تقاضا برای شبیه سازی انرژی ساختمان منجر به توسعه برنامه‌های کامپیوتری متعددی برای تجزیه و تحلیل رفتار دینامیکی ساختمان و عملکرد سیستم‌های ساختمان شده است. یک نمای کلی از برخی از برنامه‌های کامپیوتری معتبر را می‌توان در مطالعه [۶] یافت. در مطالعه [۷] تمرکز ویژه ای به ابزارهای شبیه سازی انجام شد که می‌توانند برای تجزیه و تحلیل ادغام انرژی‌های تجدیدپذیر در سیستم‌های

انرژی مختلف مورد استفاده قرار گیرند. از ۶۸ ابزار اولیه‌ای که در نظر گرفته شد، تنها ۳۷ ابزار در تحلیل نهایی گنجانده شد و محققان به این نتیجه رسیدند که هیچ ابزار مناسبی وجود ندارد که به تمام مسائل مربوط به یکپارچه سازی انرژی‌های تجدیدپذیر بپردازد. نتیجه گیری شد که هیچ یک از ابزارهای موجود در حال حاضر قادر به تجزیه و تحلیل انواع سیستم‌های مدیریت انرژی مسکونی نیست. در میان پیچیده ترین ابزارهای شبیه سازی انرژی ساختمان از نظر قابلیت های مدل سازی و دقت مدل می توان به [۸] TRNSYS و EnergyPlus [۹] اشاره کرد. این برنامه ها تجزیه و تحلیل بسیار دقیقی از سیستم‌های ساختمانی پیچیده را امکان پذیر می‌کنند و بنابراین عمدتاً در تحقیقات دانشگاهی استفاده می‌شوند.

از آنجایی که ابزارهای مدل‌سازی انرژی فراوانی با تفاوت‌های اساسی در دقت مدل و سطح پیچیدگی وجود دارد، استانداردهای اروپایی (CEN) و بین‌المللی (CEN & ISO) ( با هدف هماهنگ سازی روشی بین‌المللی برای ارزیابی عملکرد کلی انرژی ساختمان‌ها در حال توسعه هستند [۱۰]. استاندارد ISO 13790:2008 برای ارزیابی عملکرد انرژی ساختمان‌ها، عمدتاً برای محاسبه مصرف انرژی برای گرمایش و سرمایش فضای ساختمان ایجاد شده است [۸]. این استاندارد متشکل از روش‌های محاسباتی است که محاسبات ساعتی و ماهانه انرژی مورد نیاز گرمایش و سرمایش را امکان پذیر می‌کند. روش ساده استفاده شده در ISO 13790:2008 بر اساس تقریب حالت شبه پایدار است، در حالی که عناصر ساختمان به چند پارامتر گروهی تجمیع شده‌اند. در سال

<sup>3</sup> Net Zero Energy Building

۲۰۱۷، استاندارد ISO 13790:2008 با استاندارد جامع تر ISO 52016:2017 جایگزین شد [۱۲، ۱۱].

## ۲- مرور بر ادبیات

در این بخش نتایج موجود در حال حاضر را در مورد ارزیابی دقت و استفاده از استاندارد ISO 13790:2008 ارائه می‌دهد و این استاندارد قدیمی در حال حاضر هنوز هم در حال استفاده است و در طول دوره گذار خواهد بود. به سبب نیاز به مقایسه ابزارهای مختلف، استاندارد ANSI/ASHRAE ۱۴۰-۲۰۰۴ [۱۳] به عنوان روشی برای مقایسه بین برنامه‌های کامپیوتری مختلف برای تجزیه و تحلیل عملکرد انرژی ساختمان ایجاد شد. مقالات متعددی در مورد استفاده و دقت استاندارد ISO 13790:2008 منتشر شده است. بالارینی و همکاران [۱۴] بررسی کردند که آیا یک روش شبه حالت پایدار ساده شده که در این استاندارد تعریف شده، قادر است عملکرد انرژی ساختمان‌های کم انرژی را با دقت کافی در مقایسه با مدل شبیه سازی دینامیکی در EnergyPlus پیش بینی کند. در این مطالعه دو نوع ساختمان به عنوان نماینده ساختمانی کشور ایتالیا، واقع در سه منطقه مختلف ایتالیا با آب و هوای متفاوت (استان‌های کاتانیا، رم، میلان) مقایسه شدند. روش شبه ایستا نیاز به انرژی سرمایشی را دست کم گرفته و نیاز به انرژی گرمایشی را در همه موارد بیش از حد برآورد کرد. تخمین بیش از حد در مورد عملکرد انرژی گرمایشی با اختلاف تا ۵۶٪ بارزتر بود. برآورد بیش از حد و دست کم گرفتن عملکرد انرژی ساختمان نیز در مطالعه ایوان و همکاران تایید شد [۱۵]. نویسندگان سه نوع ساختمان را از سه دوره ساخت و ساز تجزیه و تحلیل کردند که همگی در رم، ایتالیا واقع شده اند. محاسبات شبه پایدار بر اساس استاندارد ISO 13790:2008 با شبیه سازی

دینامیکی در TRNSYS مقایسه شد. تفاوت در نیاز سالانه انرژی گرمایشی برای همه انواع ساختمان‌ها حدود ۲۸ درصد بود، در حالی که تفاوت‌های زیادی در نیازهای سرمایشی سالانه مشاهده شد که از ۱۱ درصد تا ۱۴ درصد متغیر بود. در تجزیه و تحلیل نیازهای ماهانه انرژی، بیشترین اختلافها برای ماه‌های میانی مشاهده شد که با یافته‌های بالارینی و همکاران [۱۴] مطابقت دارد. نویسندگان مطالعه [۱۶] به این نتیجه رسیدند که روش شبه حالت پایدار نمی‌تواند به اندازه کافی اثرات اینرسی حرارتی را نشان دهد. منجر مرشد و همکاران [۱۷] از روش ISO 13790:2008 با استفاده از مدل‌های سه بعدی برای محاسبه نیازهای انرژی ماهانه در سطح منطقه شهری (مدل CityBEM) استفاده کرد. منطقه ای در شهر کارلسروهه (آلمان) با ۳۳ نوع ساختمان مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نیازهای انرژی گرمایشی به‌دست‌آمده توسط مدل CityBEM مطابقت خوبی (۵-۱۰٪ اختلاف) با نتایج TRNSYS نشان داده شد، در حالی که نیازهای انرژی سرمایشی به‌دست‌آمده با هر دو روش به طور قابل‌توجهی متفاوت بود (۸۰-۱۸٪ تفاوت). تحلیل جامع دیگری در پروژه ENTRANZE [۱۸] ارائه شد که در آن روش EnergyPlus و ISO 13790:2008 برای چهار نوع ساختمان در ده شهر اروپایی مقایسه شده است. نتایج برای ساختمان‌های مورد مطالعه نشان داد که در مقایسه با EnergyPlus، استاندارد ISO 13790:2008 نیازهای گرمایشی را بیش از حد برآورد می‌کند و نیازهای سرمایشی را برای همه اقلیم‌ها دست کم می‌گیرد. از سوی دیگر، نتایج برای ساختمان‌های اداری برآورد کمتر از نیازهای گرمایشی را تا ۶۵ درصد (سوئیل) و برآورد بیش از حد نیازهای سرمایشی تا ۴۰ درصد (مادرید و رم) را نشان می‌داد.

این بخش یک نمای کلی از ساختمان تجزیه و تحلیل شده، داده های هواشناسی، روش های محاسباتی مورد استفاده برای محاسبه نیازهای انرژی سالانه و همچنین فرضیات اصلی برای تجزیه و تحلیل ارائه می دهد.

### ۳-۱- روش های محاسبه گرمایش ماهانه

دو روش بر اساس انرژی مورد نیاز برای گرمایش مقایسه شده است: شبیه سازی های دینامیکی عددی با استفاده از نرم افزار مدل سازی انرژی EnergyPlus و روش محاسبه از استاندارد ISO 13790:2008 (که در متن به آن استاندارد اشاره شد) انجام شد. نیازهای اولیه انرژی، همانطور که در ISO 13790:2008 تعریف شده است، بدون تأثیر انتخاب خاصی از سیستم های فنی ساختمان محاسبه شده است.

### ۳-۲- مدل سازی ریاضی طبق روش استاندارد

نیاز انرژی برای گرمایش به عنوان گرمایی برای افزودن به یک فضای در نظر گرفته شده برای حفظ شرایط دمایی مورد نظر در طول زمان معین در ISO 13790 تعریف می شود. هدف از محاسبه گرمایش، ارزیابی عملکرد انرژی است. طراحی ساختمان شامل پوشش، مواد، تهویه، مصرف انرژی داخلی، الزامات آسایش و کنترل هاست. در روش شبه پایدار ماهانه ISO 13790، انرژی مورد نیاز برای گرمایش فضا طبق رابطه (۱) معرفی شده است.

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} Q_{H,gn} \quad (1)$$

جایی که  $Q_{H,nd}$  انرژی مورد نیاز ساختمان برای گرمایش فضا و  $Q_{H,ht}$  گرمای اتلافی از طریق انتقال حرارت است. همچنین گرمای اضافه شده به ساختمان با  $Q_{H,gn}$  نمایش داده شده

است که مقدار آن با ضریبی تحت عنوان ضریب بهره وری  $\eta_{H,gn}$  بدست می آید.

$$Q_{H,ht} = Q_{tr} + Q_{ve} \quad (2)$$

گرمای از دست رفته در ساختمان طبق معادله (۲) از مجموع حرارت های اتلافی از طرق انتقال حرارت از دیوارها و انتقال حرارت از تهویه است که به ترتیب با  $Q_{tr}$  و  $Q_{ve}$  نمایش داده می شود.

$$Q_{tr} = H_{tr}(\theta_{int,set,H} - \theta_e) \quad (3)$$

جایی که  $H_{tr}$  ضریب انتقال حرارت کلی با انتقال منطقه است که برای اختلاف دمای فضای داخلی تنظیم شده است و بر حسب وات بر کلین بیان می شود. همچنین  $\theta_{int,set,H}$  نقطه تنظیم حرارت منطقه ساختمان برای گرمایش است که مطابق با بند ۱۳ ISO 13790 تعیین می شود و بر حسب درجه سانتیگراد بیان می شود و  $\theta_e$  دمای خارج ساختمان است.

$$Q_{ve} = H_{ve}(\theta_{int,set,H} - \theta_e) \quad (4)$$

جایی که  $H_{ve}$  ضریب انتقال حرارت کلی توسط تهویه است که برای اختلاف دمای فضای داخلی تنظیم شده است و بر حسب وات بر کلین بیان می شود.

$$Q_{H,gn} = Q_{int} + Q_{sol} \quad (5)$$

معادله (۵) بیان می کند که چه مقدار بار حرارتی به ساختمان تزریق می شود. این بار حرارتی به دو روش حرارت درونی ساختمان و حرارت خورشید به ساختمان وارد می شود که به ترتیب با  $Q_{sol}$  و  $Q_{int}$  نمایش داده می شود.

$$Q_{int} = Q_{people} + Q_{light} + Q_{elec} \quad (6)$$

مقدار انرژی حرارتی وارد شده به ساختمان در درون ساختمان مجموع انرژی های افراد داخل ساختمان  $Q_{people}$ ، روشنایی

$Q_{light}$  و ادوات الکتریکی  $Q_{elec}$  است که معادله ناظر بر همین موضوع است.

در نهایت ساده شده تمامی معادلات (۱-۶) به معادله (۷) ختم می‌شود:

$$Q_{H,nd} = [(H_{tr} + H_{ve})(\theta_{int,set,H} - \theta_e) - \eta_{H,gn}(Q_{int} + Q_{sol})] \quad (7)$$

### ۳-۲- نرم افزار مدل سازی انرژی

EnergyPlus یک برنامه شبیه‌سازی انرژی کل ساختمان است که مهندسان، معماران و محققان از آن برای مدل‌سازی مصرف انرژی برای گرمایش، سرمایش، تهویه، روشنایی و ... در ساختمان‌ها استفاده می‌کنند. در حال حاضر، این یکی از جامع‌ترین ابزارهای مورد استفاده برای شبیه‌سازی یک ساختمان چند منطقه‌ای با گزینه‌های مختلف از جمله کنترل است. جریان گرمای تشعشی برای دیوارها و پنجره‌هایی که هر منطقه را با در نظر گرفتن بهره‌های داخلی تشعشی، بهره‌های خورشیدی از طریق پنجره‌ها، تبادل تابش امواج بلند با سایر دیوارها و پنجره‌ها، و جریان حرارتی تعریف‌شده توسط کاربر احتمالی به دیوار یا پنجره مدل‌سازی می‌کنند. یکی از تفاوت‌های اصلی بین روش محاسبه مورد استفاده در استاندارد و EnergyPlus این است که بسیاری از پارامترهایی که در استاندارد ثابت هستند در EnergyPlus بر اساس شرایط مرزی در هر مرحله زمانی محاسبه می‌شوند.

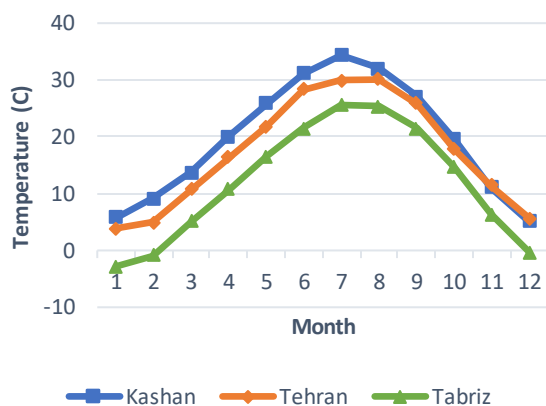
### ۳-۳- توصیف ساختمان دانشکده انرژی

مطالعه ارائه شده شامل تجزیه و تحلیل ساختمان دانشکده انرژی دانشگاه صنعتی شریف است. در این مطالعه میزان گرمایش ماهانه ساختمان مورد نظر در چهار جهت شمال، شرق، جنوب و غرب مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. همچنین علاوه بر بررسی جهت‌های مختلف، به بررسی و

تحلیل میزان گرمایش این ساختمان در سه شهر مختلف یعنی شهرهای تهران، تبریز و کاشان پرداخته خواهد شد. مختصات جغرافیایی و پروفایل دمایی این سه شهر به ترتیب در جدول ۱-۳ و نمودار ۱-۳ آورده شده است.

جدول ۱-۳: مختصات جغرافیایی شهرهای مورد مطالعه

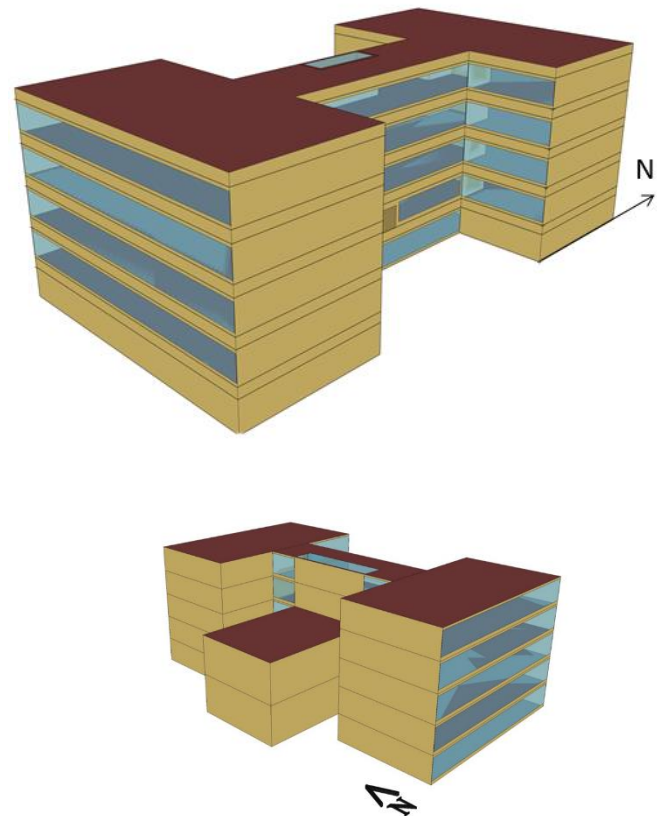
	Tehran	Tabriz	Kashan
<b>Latitude (deg)</b>	35.41	38.13	33.9
<b>Longitude (deg)</b>	51.19	46.24	51.58
<b>Time zone (hr)</b>	3.5	3.5	3.5
<b>Elevation (m)</b>	1190	1359.1	1056.1



نمودار ۱-۳: پروفایل دمایی شهرهای مورد مطالعه

نمایش سه بعدی نماهای شمالی ساختمان تحلیل شده در شکل ۱-۳ نشان داده شده است. مشخصات اصلی ساختمان تحلیل شده و پارامترهای ورودی مورد استفاده برای تحلیل در جداول ۲-۳ ارائه شده است.

Parameter	Value
Location	Tehran- Tabriz- Kashan
Total wall area [m <sup>2</sup> ]	2851
Total window area [m <sup>2</sup> ]	1122.43
Total roof area [m <sup>2</sup> ]	1314
Number of floor	5
Wall U-value [W/°Km <sup>2</sup> ]	0.35
Window U-value [W/°Km <sup>2</sup> ]	3
Roof U-value [W/°Km <sup>2</sup> ]	0.25
$\eta_{H,gn}$	0.9



شکل ۳-۱: سه بعدی ساختمان دانشکده انرژی

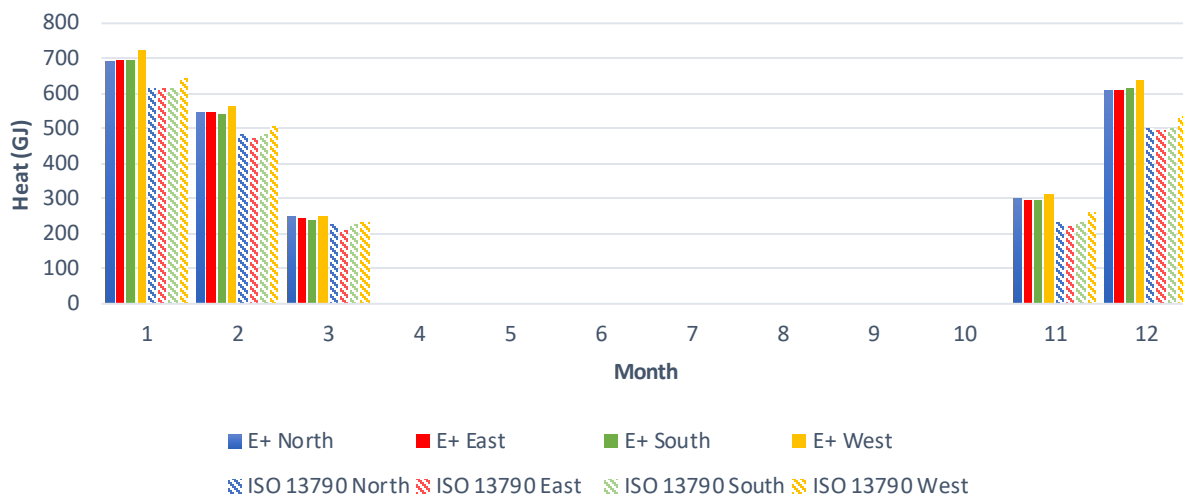
#### ۴- نتیجه گیری

نمودارهای ۴-۱، ۴-۲ و ۴-۳ به ترتیب میزان گرمایش برای شهرهای تهران، تبریز و کاشان را به صورت ماهانه در جهت‌های شمال، شرق، جنوب و غرب را نشان می‌دهند. این نمودارها از شبیه سازی دانشکده انرژی توسط نرم افزار EnergyPlus و محاسبات بر اساس مدل مطرح شده در استاندارد ISO 13790 حاصل شده‌اند. بر اساس این نمودارها بیشترین تقاضای گرمایش ساختمان دانشکده انرژی برای هر سه شهر در ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه و یا ماه‌های آذر، دی و بهمن اتفاق می‌افتد.

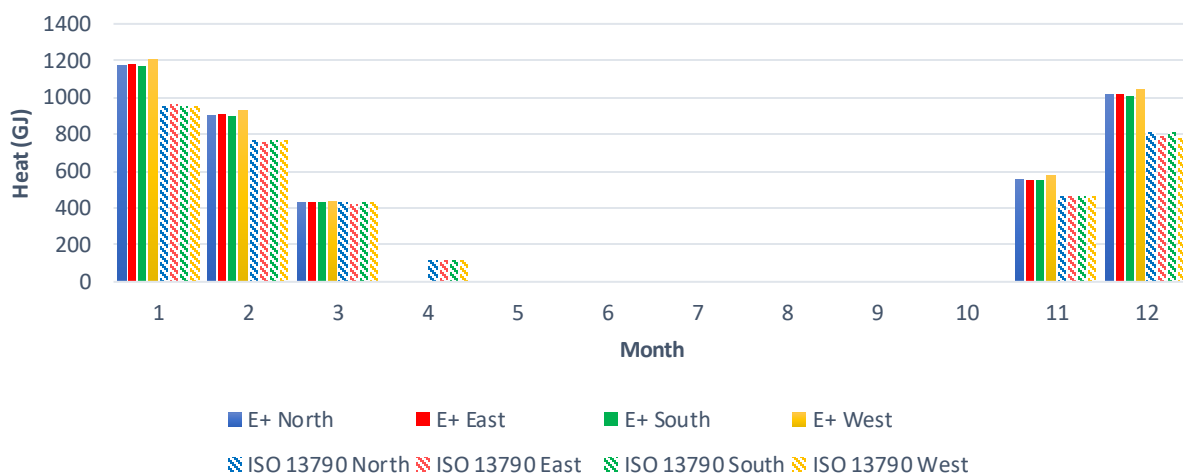
ساختمان دانشکده انرژی در شهر تهران به طور میانگین ۲۴۱۶ گیگا ژول در جهت‌های مختلف در هر سال انرژی گرمایشی مصرف می‌کند. جهت شرق کمترین مصرف انرژی گرمایشی و جهت غرب بیشترین میزان گرمایش را دارا می‌باشد. بنابراین بهترین جهت دانشکده در شهر تهران شرق می‌باشد زیرا این ساختمان در طول یک سال و در جهت شرق ۱۰۱ گیگا ژول گرمایش کمتری نسبت به جهت غرب لازم دارد.

همچنین این ساختمان در شهر تبریز به طور میانگین ۴۱۱۱ گیگا ژول در جهت‌های مختلف در هر سال انرژی گرمایشی مصرف می‌کند. جهت جنوب کمترین مصرف انرژی گرمایشی و جهت غرب بیشترین میزان گرمایش را دارا می‌باشد. بنابراین بهترین جهت دانشکده در شهر تبریز شرق می‌باشد زیرا این ساختمان در طول یک سال و در جهت جنوب ۱۲۸ گیگا ژول گرمایش کمتری نسبت به جهت غرب لازم دارد.

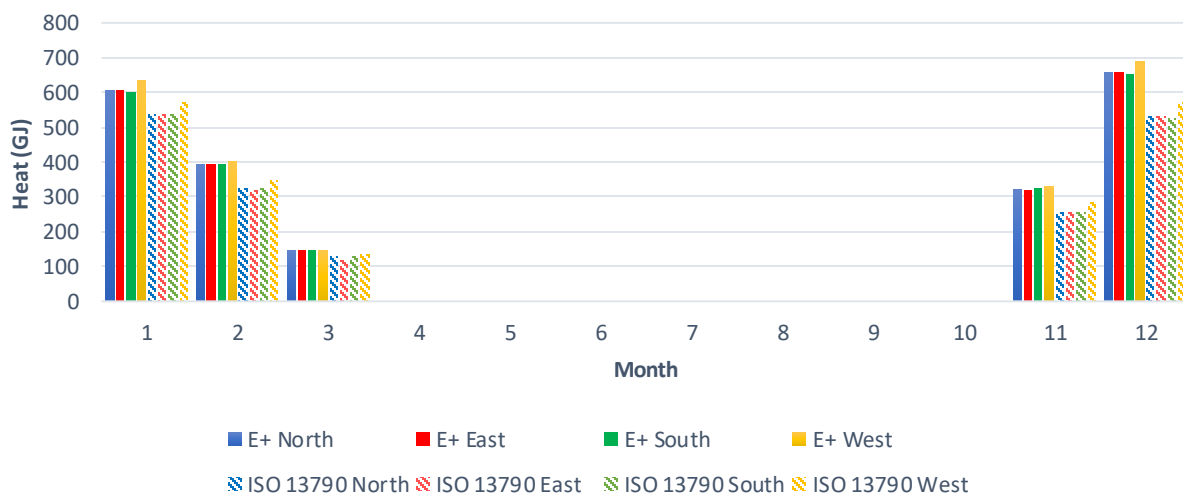
ساختمان دانشکده انرژی در شهر کاشان، همانند شهر تبریز کمترین مصرف انرژی گرمایشی را در جهت جنوب و بیشترین میزان گرمایش را در جهت غرب را در طول سال دارا می‌باشد. به طور میانگین ۲۴۱۶ گیگا ژول در جهت‌های مختلف در هر



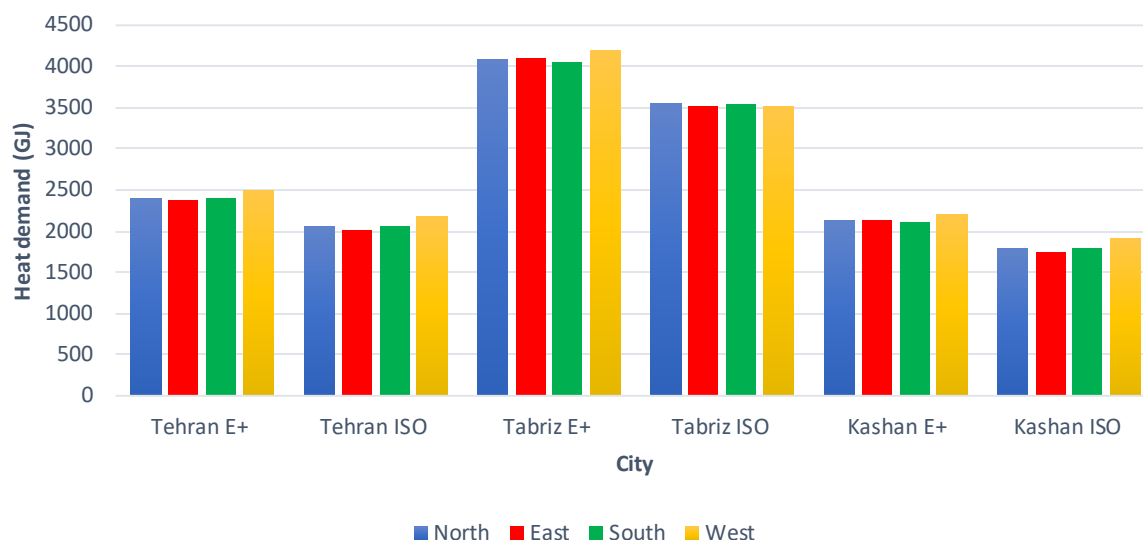
نمودار ۴-۱: میزان گرمایش ماهانه دانشکده انرژی در جهت‌های مختلف در شهر تهران بر اساس دو روش استاندارد و شبیه سازی



نمودار ۴-۲: میزان گرمایش ماهانه دانشکده انرژی در جهت‌های مختلف در شهر تبریز بر اساس دو روش استاندارد و شبیه سازی



نمودار ۴-۳: میزان گرمایش ماهانه دانشکده انرژی در جهت‌های مختلف شهر کاشان بر اساس دو روش استاندارد و شبیه سازی



نمودار ۴-۴: میزان گرمایش سالیانه دانشکده انرژی در جهت‌ها و شهرهای مختلف بر اساس دو روش استاندارد و شبیه سازی

EnergyPlus در هر ماه می‌باشد. همچنین  $n$  تعداد ماه‌های سال که برابر ۱۲ می‌باشد.

$$Error = \frac{|P_i - O_i|}{O_i} \quad (9)$$

این نتایج در جداول ۴-۱ و ۴-۲ آورده شده است. بر اساس این نتایج بیش‌ترین خطا در شهر تهران در جهت شرق رخ می‌دهد. همچنین این دو شاخص برای شهر تبریز بیش‌ترین مقدار خود را در جهت غرب می‌بیند. در نهایت در شهر کاشان، جهت شرق دارای بالاترین خطا می‌باشد.

جدول ۴-۱: شاخص ریشه میانگین مربعات خطا

City	RMSE			
	North	East	South	West
Tehran	46.64	50.48	47.58	44.31
Tabriz	105.28	110.11	101.33	124.14
Kashan	49.15	52.46	48.86	44.41

جدول ۴-۲: شاخص درصد خطا

City	Error (%)			
	North	East	South	West
Tehran	13.88	15.43	13.82	12.55
Tabriz	13.21	14.27	12.51	16.11
Kashan	15.78	17.41	15.79	13.46

سال انرژی گرمایشی مصرف می‌کند. بنابراین بهترین جهت دانشکده در شهر کاشان همانند تبریز، شرق می‌باشد زیرا این ساختمان در طول یک سال و در جهت شرق ۷۸ گیگا ژول گرمایش کمتری نسبت به جهت غرب لازم دارد. طبق نمودار ۴-۴ میزان گرمایش مورد نیاز دانشکده انرژی در شهر تبریز از شهرهای تهران و کاشان بیشتر می‌باشد که دلیل این امر هم آب و هوای سرد و خشک این منطقه می‌باشد.

#### ۴-۱- محاسبه ریشه میانگین مربعات خطا

در این قسمت اعتبار سنجی نتایج بدست آمده از دو روش شبیه‌سازی و استاندارد بر اساس شاخص ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و شاخص درصد خطا (Error) انجام می‌گردد. روش محاسبات این دو شاخص در معادلات (۸-۹) آورده شده است.

$$RMSE = \sqrt{\sum \frac{(P_i - O_i)^2}{n}} \quad (8)$$

که  $P_i$  مقدار گرمایش بدست آمده از استاندارد ISO 13790 و  $O_i$  مقدار گرمایش بدست آمده از شبیه سازی توسط نرم افزار



با در نظر گرفتن مقادیر گرمایش مورد نیاز در ساختمان شاخص ریشه میانگین مربعات خطاها مقادیر مناسبی را نشان می‌دهد. همچنین میانگین درصد خطا در شهر تهران ۱۳,۹۴ درصد، برای شهر تبریز ۱۴ درصد و در شهر تبریز خطای نسبی ۱۵,۶۱ درصد می‌باشد.

## منابع

- [1]: European Parliament. Directive 2002/91/EC on the energy performance of buildings (EPBD). Off J Europ Union 2002.
- [2]: EPBD recast. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of Council of May 2010 on the energy performance of buildings (recast). Off J Europ Union 2010.
- [3]: California Public Utilities Commission. Decision 07-10-032; 2007.
- [4]: Prívará S, Cigler J, Vana Z, Oldewurtel F, Sagerschnig C, Žáčeková E. Building modeling as a crucial part for building predictive control. *Energy Build* 2013;56:8–22.
- [5]: Blum D, Zakula T, Norford L. Opportunity cost quantification for ancillary services provided by heating, ventilating, and air-conditioning systems. *IEEE Trans Smart Grid* 2016;8:3.
- [6]: Rode C, Woloszyn M. IEA ECBCS Annex 41 Subtask 1 – modelling principles and common exercises (final report); 2007.
- [7]: Connolly D, Lund H, Mathiesen BV, Leahy M. A review of computer tools for analysing the integration of renewable energy into various energy systems. *Appl Energy* 2010;87(4):1059–82.
- [8]: Klein SA et al. TRNSYS 17: a transient system simulation program [Computer software]. Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison, WI; 2010.

[9]: Crawley DB, Lawrie LK, Pedersen CO, Liesen RJ, Fisher DE, Strand RD, et al. EnergyPlus, a new-generation building energy simulation program [Computer software].

[10]: Dijk DV, Spiekman M, Oeffelen LHV. EPB standard EN ISO 52016: Calculation of the building's energy needs for heating and cooling, internal temperatures and heating and cooling load. The REHVA European HVAC J 2016;53(3).

[11]: International Organization for Standardization. Energy performance of buildings – energy needs for heating and cooling, internal temperatures and sensible and latent heat loads – Part 1: Calculation procedures (ISO Standard No. 52016-1:2017); 2017.

[12]: International Organization for Standardization. Energy performance of buildings – energy needs for heating and cooling, internal temperatures and sensible and latent heat loads – Part 2: Explanation and justification of ISO 52016-1 and ISO 52017-1 (ISO Standard No. ISO/TR 52016-2:2017); 2017.

[13]: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Standard method of test for the evaluation of building energy analysis computer programs: ANSI/ASHRAE standard. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers; 2004.

[14]: Ballarini I, Primo E, Corrado V. On the limits of the quasi-steady-state method to predict the energy performance of low-energy buildings Retrieved from *Therm Sci* 2018;22(Suppl. 4):1112–27.

[15]: Evangelisti L, Battista G, Guattari C, Basilicata C, Vollaro DLR. Analysis of two models for evaluating the energy performance of different buildings. *Sustainability* 2014;6(8):5311–21.

[16]: Vollaro RDL, Guattari C, Evangelisti L, Battista G, Carnielo E, Gori P. Building energy performance analysis: a case study. *Energy Build* 2015;87:87–94.

[17]: Murshed SM, Picard S, Koch A. Modelling, validation and quantification of climate and other sensitivities of building energy model on 3D city model. ISPRS Int J GeoInf 2018;7(11):447–69.

[18]: Zangheri P, Armani R, Pietrobon M, Pagliano L, Boneta MF, Müller A. Heating and cooling energy demand and loads for building types in different countries of the EU. Report in the Frame of the EU Project ENTRANZE. Politecnico di Milano, Italy; 2014.