



## تحلیل عملکرد مصرف انرژی مجتمع تجاری الماس شرق بر مبنای مناسب‌ترین نوع شیشه اتریوم و رنگ آبی لاجوردی با نماد معماری اسلامی

سمانه زین العابدین‌زاده<sup>۱</sup>، حسین مدی<sup>۲</sup> ، مصطفی مافی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی دکتری معماری، واحد بین‌الملل کیش، دانشگاه آزاد اسلامی، کیش، ایران abedinzadeh@gmail.com

<sup>۲</sup>(نویسنده مسئول) استادیار گروه معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، قزوین، ایران hossein.medi92@gmail.com

<sup>۳</sup>استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، قزوین، ایران m.mafi@gmail.com

### چکیده

انتخاب نوع شیشه همواره نقش مهمی در سازه کالبدی در معماری اسلامی داشته است. این انتخاب تأثیر مستقیمی بر انرژی و مصرف آن در بناها دارد. در این میان، رنگ آبی لاجوردی به‌عنوان یکی از رایج‌ترین رنگ‌ها در معماری اسلامی مورد توجه ویژه‌ای قرار داشته است. پژوهش حاضر به موضوع نوع پنجره نورگیر داخلی در مجتمع‌های تجاری شهر مشهد به دلیل اهمیت آن در میزان بار سرمایش؛ گرمایش؛ روشنایی، تهویه و درجه حرارت داخل ساختمان پرداخته شده است. با توجه به این اهمیت، در پژوهش حاضر با استفاده از روش تحقیق تطبیقی؛ به شبیه‌سازی مناسب‌ترین نوع شیشه در مجتمع‌های تجاری دارای نورگیر داخلی با استفاده از نرم‌افزار دیزاین بیلدر پرداخته می‌شود. بدین منظور ابتدا مجتمع الماس شرق شهر مشهد در نرم‌افزار شبیه‌سازی گردید و سپس به منظور تعیین مناسب‌ترین نوع شیشه نورگیر داخلی مجتمع‌های تجاری، از لحاظ تأثیر بر بارگرمایش، سرمایش، روشنایی، تهویه و درجه حرارت در مجتمع تجاری الماس شرق شهر مشهد؛ ۵ نوع شیشه انتخاب گردید و با شبیه‌سازی آن‌ها در نورگیر داخلی مجتمع تجاری مذکور در دو حالت Hvac خاموش و روشن؛ مشخص گردید که در مجتمع تجاری الماس شرق شهر مشهد به لحاظ نوع شیشه؛ شیشه ترموکورومیک مناسب‌ترین نوع شیشه در راستای کاهش درجه حرارت، میزان مصرف انرژی سرمایشی به میزان ۱۰٪، و افزایش ورود روشنایی طبیعی در مجتمع‌های تجاری اقلیم سرد و خشک شهر مشهد در هر دو حالت سیستم تهویه خاموش و روشن می‌باشد.

### اهداف پژوهش:

۱. انجام شبیه‌سازی مناسب‌ترین نوع شیشه در مجتمع‌های تجاری مشهد.

۲. بررسی تأثیر نوع شیشه در مدیریت انرژی در مجتمع‌های تجاری مشهد.

### سوالات پژوهش:

۱. نوع پنجره نورگیر داخلی چه تأثیری بر مدیریت جریان انرژی در مجتمع‌های تجاری مشهد دارد؟

۲. با توجه به اقلیم مشهد چه نوع شیشه‌ای برای کاربرد در مجتمع‌های تجاری مناسب‌تر است؟

### اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی

شماره ۴۲

دوره ۱۸

صفحه ۴۴۲ الی ۴۵۷

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۸/۰۱/۰۳

تاریخ داوری: ۱۳۹۸/۱۲/۰۷

تاریخ صدور پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۱۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۰/۰۶/۰۱

### کلمات کلیدی

نورگیر داخلی،

شیشه،

آسایش حرارتی،

عملکرد اقلیمی،

شبیه‌سازی مصرف انرژی.

### ارجاع به این مقاله

زین العابدین‌زاده، سمانه، مدی، حسین،

مافی، مصطفی. (۱۴۰۰). تحلیل عملکرد

مصرف انرژی مجتمع تجاری الماس شرق

بر مبنای مناسب‌ترین نوع شیشه اتریوم و

رنگ آبی لاجوردی با نماد معماری اسلامی.

هنر اسلامی، ۱۸(۴۲)، ۴۴۲-۴۵۷.



[dori.net/dor/20.1001.1.](https://doi.org/10.22034/IAS.1735708.1400.18.42.27.8)

[1735708.1400.18.42.27.8](https://doi.org/10.22034/IAS.1735708.1400.18.42.27.8)



[dx.doi.org/10.22034/IAS](https://dx.doi.org/10.22034/IAS.1735708.1400.18.42.27.8)

[.2020.225968.1222](https://dx.doi.org/10.22034/IAS.1735708.1400.18.42.27.8)



## مقدمه

در دهه‌های آخر قرن بیستم و در پی بحران‌های انرژی و محیط زیست لزوم کاهش مصرف انرژی و آلاینده‌های محیطی مورد توافق اغلب کشورهای جهان قرار گرفت. حدود ۵۰ درصد انرژی مصرفی جهان را ساختمان‌ها به خود اختصاص داده‌اند و از این مقدار ۲۰ درصد در ساختمان‌های تجاری امروزه استفاده می‌شود. در گذشته آتریوم به حیاط مرکزی روبازی گفته می‌شد که اتاق‌های مجاور، آن را احاطه می‌کرد. در معماری مدرن، آتریوم به فضای وسیع و گشوده‌ای اطلاق می‌شود که اغلب چندین طبقه ارتفاع داشته و با سقف شیشه‌ای یا پنجره‌های بزرگ و یا هر دو پوشانده می‌شود. در اواخر قرن ۱۹ نورپردازی طبیعی آگاهانه برای افزایش نور مطرح شد که آتریوم‌ها در این زمینه نقش ارزنده‌ای داشتند. آتریوم به نور طبیعی اجازه می‌دهد به مرکز مناطق تاریک اتاق‌های مجاور نفوذ کند و نیاز به استفاده از انرژی نورانی مصنوعی را کاهش و باعث حداکثر کردن مزایای دریافت انرژی مستقیم انرژی خورشیدی شود. آتریوم علاوه بر ایجاد ارتباط بین طبقات ساختمان فضای میانی مناسبی بین محیط داخلی و بیرونی شکل می‌دهد. نورگیرها در واقع مانند فیلتری در برابر اثرات عوامل نامناسب محیط بیرون مانند باران، برف، باد و غیره عمل کرده؛ در عین حال امکان استفاده از عوامل مطلوب محیط بیرون مانند پرتو خورشید، هوای تازه و چشم‌انداز را فراهم می‌کنند و اتلاف گرما از فضاهای مجاور را کاهش می‌دهند.

این فضاها با تحولی کالبدی از حیاط‌های مرکزی ایرانی و حیاط‌های رواق دار و اتاق‌های بدون سقف رومی تا فروشگاه‌ها و فضاهای سبز داخلی برج‌ها، در تمامی تمدن‌های بزرگ جهان مشاهده شده‌اند. پس از مشخص شدن ایجاد پدیده گلخانه‌ای در فضاهای شیشه‌ای و انباشت گرما در فضای محبوس زیر آن، روش‌هایی برای بکارگیری آن در گرمایش زمستان و تهویه تابستان برای ساختمان‌ها بدون استفاده از تأسیسات مکانیکی مطرح و با موضوع سامانه‌های ایستای خورشیدی توسعه داده شده‌اند. میزان دریافت این انرژی به شرایط اقلیمی محیط، جهت‌گیری ساختمان و ویژگی‌های کالبدی ساختمان بستگی دارد اما زمینی که بواسطه تنوع کاربری‌ها و نیازهای عملکردی بر وسعت نورگیر افزوده می‌شود و حجم آن نیز به همان نسبت بزرگ شده و سطوح وسیع شیشه‌ای پوشاننده آن به طور بالقوه تأثیرات نامناسبی به واسطه گرمایش اضافی، اتلاف حرارتی از سطوح خود، عدم هوابندی، لایه‌بندی حرارتی، اثر دودکشی و خیره‌کنندگی نور ایجاد می‌نمایند. علاوه بر این‌ها تأثیر متقابل شرایط کالبدی و محیطی بر نورگیرها از یک‌سو و شرایط درونی فضاهای مجاور نورگیر، مسائل ایمنی و تأسیساتی از سوی دیگر، طراحان را با عوامل پیچیده‌ای مواجه نموده است. از آنجا که کاهش مصرف انرژی و بکارگیری نیروهای محیطی در یک طراحی یکپارچه نیازمند تصمیماتی همه جانبه است، از این رو آتریوم‌ها از منظرهای مختلف و در شرایط اقلیمی متفاوت مورد بررسی و پژوهش قرار گرفته‌اند.

هدف از انجام این پژوهش، تحلیل عملکرد نوع شیشه نورگیر داخلی ساختمان‌های تجاری اقلیم سرد و خشک در راستای بهینه‌سازی مصرف انرژی است. از این رو فرضیه مطرح در نیل به این هدف این است که با شناسایی مناسب‌ترین نوع شیشه نورگیر داخلی در ساختمان‌های تجاری اقلیم سرد و خشک می‌توان تا میزان ۲۰ درصد مصرف انرژی را کاهش داد.

در دهه پنجاه جان پورتمن<sup>۱</sup> که مبدع به کارگیری نورگیرهای داخلی در هتل‌ها و فضاهای تجاری بود؛ اتریوم‌ها در فضاهای تجاری را مورد بررسی قرار داد و به مقایسه مفرح و گشوده اتریوم‌ها پرداخت که امکان چشم اندازی مناسب را به طبقات و سطوح ساختمان میسر می‌سازد. قابلیت‌های اتریوم‌ها در مجتمع‌های تجاری عبارتند از: مکانی برای فضاهای سبز و آب‌نما، بازی، همایش، گفتگو و کافی شاپ‌ها. در همین راستا؛ ماریا وال<sup>۲</sup> از عبارت فضاهایی با پوشش شیشه‌ای برای تمام فضاهای دارای نورگیرهای سقفی و گلخانه‌های بالکنی، ایوانی و حیاط‌های مرکزی مسقف استفاده کرده است. او علت برداشت‌های مختلف از عملکرد حرارتی نورگیرهای داخلی را ناشی از وابستگی شدید این فضاها به شرایط اقلیمی بیرون و عدم انطباق ویژگی‌های کالبدی نورگیر مورد مطالعه با شرایط محیط دانسته است. همچنین در پژوهشی که در سال (۲۰۱۳)، توسط گیلانی و همکارانش<sup>۳</sup> که با استفاده از CFDها، به تجزیه و تحلیل لایه‌بندی حرارتی ساختمان‌ها پرداختند، مشخص گردید که با کاهش سیستم‌های تهویه مطبوع می‌توان با شناخت و کنترل لایه‌بندی حرارتی در محیط داخلی ساختمان، به کارایی کارآمدتر و کنترل تهویه مطبوع دست یافت. لیلیا موسوی و همکارانش نیز در سال (۲۰۱۴) میلادی مطالعه‌ای بر روی لایه‌بندی حرارتی اتریوم به صورت تهویه طبیعی و بهره‌گیری از راهکارهای آن در طراحی انجام دادند و دریافتند که تهیه هوای تازه با استفاده از تهویه طبیعی همراه با سیستم‌های غیرفعال می‌تواند لایه بندی حرارتی و تهویه اتریوم را بهبود بخشد [۱۴]. کارلسن<sup>۴</sup> نیز در سال (۲۰۱۶) دریافت که: مزیت احتمالی بعضی از هندسه نورگیرهای داخلی این است که: آنها می‌توانند سطح کل ساختمان را کاهش دهند. از آنجایی که انتقال حرارت معمولاً به طور مستقیم با سطح ساختمان متناسب است، این کاهش می‌تواند یک مسیر در صرفه جویی در انرژی را فراهم کند [۱۵]. سوزان باجراکاریا<sup>۵</sup> نیز در سال (۲۰۱۶) به شبیه‌سازی لایه‌بندی حرارتی در اتریوم‌ها با تایید ظاهر مدل‌های اولیه پرداخت و دست یافت که یک مدل ESP-r نسبتاً پایدار می‌تواند لایه‌بندی حرارتی در اتریوم‌ها را با دقت زیاد، شبیه‌سازی کند و بدین منظور علاوه بر انتقال حرارت اولیه، از نرم افزارهای شبیه‌سازی کامپیوتری استفاده می‌کند: الف) ظرفیت برای اجرای شبیه‌سازی با مراحل زمان تا ۱۰ دقیقه، ب) توانایی مدل‌سازی جریان توده، ج) ظرفیت انتقال تابش خورشیدی از اولین نقطه برخورد. روند اعتبار سنجی مدل، ارزش داده حرارتی را برای روزهایی با شرایط مختلف آب و هوایی متفاوت نشان داد. یک مدل شبیه‌سازی که نتایج خوبی برای داده‌های هوای یک روز را ارائه می‌دهد، لزوماً نتایج خوبی برای داده‌های آب و هوایی دیگر نیست. بنابراین مطالعات اعتبارسنجی برای مدل سازی اتریوم باید براساس داده‌های تجربی برای حداقل دو روز با شرایط مختلف آب و هوایی باشد. فرهودی<sup>۶</sup> نیز در سال (۲۰۱۶) به چگونگی ورود اشعه‌های نور خورشید به طور مستقیم به اتریوم‌های مستطیل شکل پرداخت و دریافت که اگر دیوارهای اتاق مجاور و پنجره‌ها به خوبی طراحی شده باشند، اختلاف در

<sup>۱</sup> John portman

<sup>۲</sup> Maria Wall

<sup>۳</sup> Gilani&et al

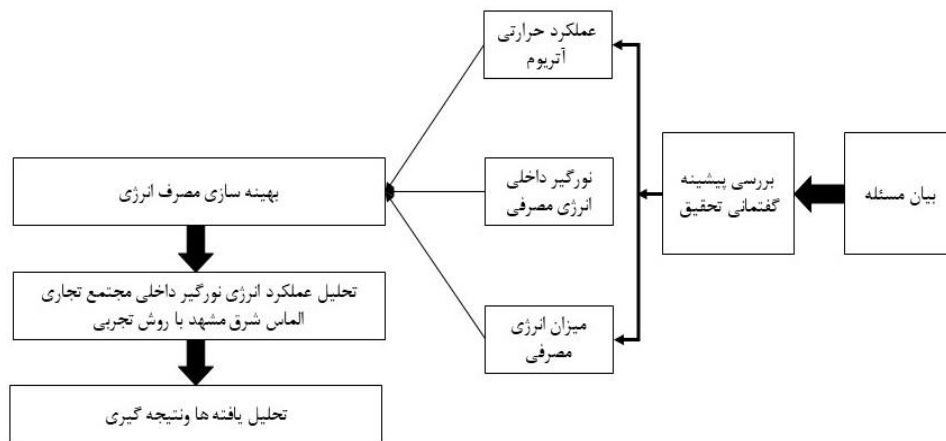
<sup>۴</sup> Karlsen

<sup>۵</sup> Susan Bajracharya

<sup>۶</sup> FARHOUDI

نفوذ نور طبیعی بین کف طبقات بالایی و میانی می‌تواند به حداقل برسد. این بدان معنی است که بین ساخت و ساز ارزان‌تر و روشنایی یکنواخت طبیعی برای مناطق نزدیک کف آتریوم مبادله‌ای وجود دارد.

تحقیق حاضر از نوع کاربردی، به لحاظ روش تحقیق از نوع شبیه‌سازی می‌باشد؛ که روش تحقیق مورد استفاده در این پژوهش براساس یک روند تجربی، اندازه‌گیری میدانی و تحلیل مقایسه‌ای است. در ابتدا مطالعه عمومی از شرایط اقلیمی محدوده مرکزی، اقلیم سرد و خشک و نحوه استقرار نورگیرهای داخلی در مجتمع‌های تجاری و میزان بار سرمایش، گرمایش، روشنایی، تهویه و درجه حرارت، در شهر مشهد انجام شده و سپس مجتمع تجاری الماس شرق که دارای نورگیر داخلی در مرکز ساختمان (پوشیده شده با شیشه پلی کربنات سبز رنگ در بدنه سقف نورگیر و سازه خرپا شکل می‌باشد) است؛ به عنوان نمونه موردی انتخاب گردید. در مرحله بعدی به وسیله نرم افزار شبیه‌ساز دیزاین بیلدر<sup>۷</sup> که دارای موتور تحلیل گر انرژی پلاس<sup>۸</sup> و قادر به تحلیل و محاسبه بار سرمایش، گرمایش، روشنایی، آسایش و تهویه در ساختمان‌ها می‌باشد؛ در طول یک سال با HVAC خاموش و روشن؛ مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. (تا چگونگی میزان مصرف انرژی در خود ساختمان و آسایش حرارتی در هردو زمان خاموش و روشن بودن سیستم های HVAC مشخص شود). زمان اندازه‌گیری‌ها از فروردین ماه تا اسفند ماه ۱۳۹۸ می‌باشد. مقدار روشنایی مطابق استاندارد اشری ۴۰۰ لوکس<sup>۹</sup> در نظر گرفته شده است. مقدار روشنایی مطابق استاندارد اشری ۴۰۰ لوکس<sup>۱۰</sup> در نظر گرفته شده است. ضمن اینکه نتایج بدست آمده براساس نرم افزار قابل استفاده در تمامی مجتمع های تجاری اقلیم سرد و خشک دارای نورگیر داخلی در شهر مشهد می‌باشد. با توجه به اینکه تمامی مجتمع های تجاری در شهر مشهد از لحاظ تعداد طبقات یکسان هستند؛ می‌توان نتایج فوق را در دیگر مجتمع های اسن شهر نیز تعمیم داد. نمودار شکل ۱ ساختار تحقیق را نشان می‌دهد.



نمودار ۱- مدل مفهومی تحقیق، منبع: (نگارندگان)

<sup>۷</sup> Design Builder/uidler

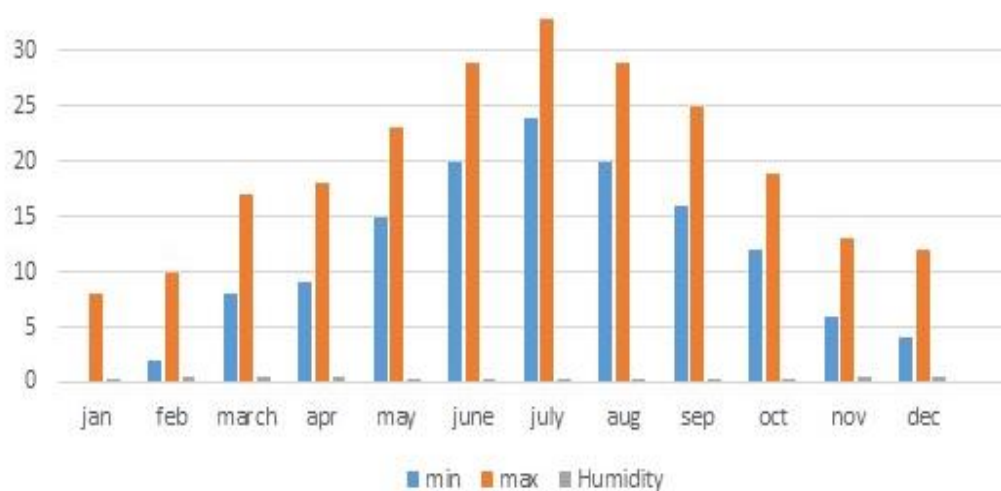
<sup>۸</sup> ENERGY PLUS

<sup>۹</sup> LUX

<sup>۱۰</sup> LUX

### ۱. بررسی اقلیم

این پژوهش در شهر مشهد که دارای مختصات (۳۰°۵۹' تا ۶۰°۳۵' درجه شرقی و ۳۶°۱۲' شمالی) است؛ انجام گرفته است. حداقل ارتفاع این منطقه از سطح دریا ۷۵۰ متر و حداکثر آن ۱۸۰۰ متر می‌باشد و ارتفاع متوسط شهر مشهد از سطح دریا ۹۴۳ متر است. حداکثر ارتفاع کوه‌ها در دو طرف این دره ۳۱۵۰ متر است؛ بدین ترتیب ارتفاع خط الراس کوه‌ها و خط‌القعر دره کشف رود ۲۴۰۰ متر است که این امر تأثیر فراوان در تنظیم شبکه آب‌های سطح‌الارضی دارد (zahang, Bokel: ۲۰۱۷). بنابراین شهر مشهد دارای آب و هوای سرد و خشک می‌باشد. همانطور که در نمودار شماره ۲ نشان داده می‌شود، دمای هوا در سردترین دوره سال در این منطقه بین ۱ تا ۵ درجه و در گرم‌ترین روز سال ۳۵-۳۸ درجه است و حداکثر رطوبت نسبی ماهانه در مشهد ۷۲ درصد در پایان ماه دسامبر بوده و حداقل رطوبت نسبی ماهانه در ماه جولای برابر با ۱۳.۲ درصد بوده است، که این اعداد نشان دهنده این واقعیت است که اختلاف شرایط آب و هوایی در فصل‌های گرم و سرد زیاد است و طراحی آن دشوار است.



نمودار ۲- حداقل و حداکثر دمای سالانه و متوسط رطوبت نسبی شهر مشهد در سال ۲۰۱۸

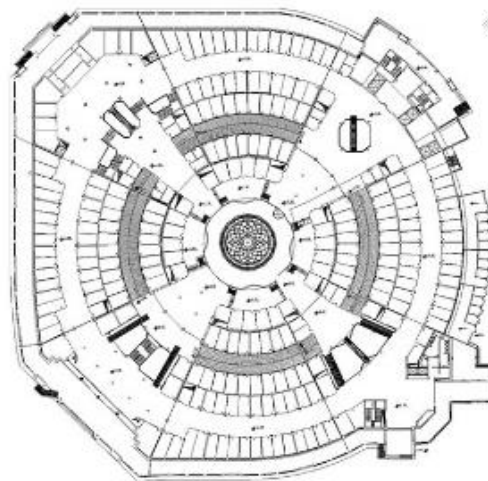
منبع: سازمان هواشناسی کشور

### ۲. نورگیر داخلی در مجتمع تجاری شهر مشهد

به طور کلی در مجتمع‌های تجاری شهر مشهد الگوی استفاده از نورگیرهای داخلی به صورت O شکل یا با فرم بیضی در طبقات است. نورگیرها در مجتمع‌های تجاری از طبقه ی ۱- شروع می‌شوند که معمولاً در طبقات ۱- تا ۲+ راهروهای دسترسی به غرفه‌های تجاری و در طبقات بالاتر (۳+ و ۴+) محدوده‌ای از فضاهای بازی و کافی‌شاپ‌ها و رستوران‌ها را در خود جای داده‌اند و روشنایی روز را برای فضاهای مذکور تأمین می‌کنند. در برخی از مجتمع‌های تجاری ترکیب بندی نورگیرها شامل سازه‌های فولادی با قاب آهنی یا آلومینیومی با جداره‌های شیشه‌ای تک جداره و دو

جداره است. معمولاً نورگیرها از نظر عایق‌بندی حرارتی، هوابندی و آب‌بندی دارای مشکل بوده و پدیده نشتی هوا، ورود باران و میعان بخار آب مشاهده شده و از سامانه‌های سایه‌بانی استفاده نشده است. در غالب نورگیرهای مجتمع‌های تجاری شهر مشهد درپچه‌های تهویه مطبوع تعبیه شده نشده است. دیوار مجاور و بدنه نورگیرها معمولاً دارای نمای سنگی یا پوشش‌های پلیمری و به رنگ روشن بوده است. مصالح به کار گرفته شده در جداره نورگیر سبک بوده و تنها درکف و سقف راهروها سازه بتنی وجود دارد و پوشش سقف نورگیرها نیز به طور معمول از پلی کربنات و در بعضی از موارد پوشش دو جداره سه لایه می‌باشد.

در این مطالعه، ابتدا، از طریق بازرسی‌های میدانی نسبت طول به عرض و ارتفاع متوسط در نورگیرهای داخلی ساختمان‌های تجاری مورد بررسی قرار گرفت. سپس از نرم‌افزار دیزاین بیلدر نسخه ۳.۲۰.۰۷۰ جهت مدل‌سازی جنبه‌های مختلف ساختمان مانند: سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی، روشنایی و میزان مصرف انرژی استفاده شده است. ضمن اینکه مجتمع تجاری الماس شرق مشهد که دارای نورگیر داخلی می‌باشد؛ توسط نرم‌افزار عنوان شده شبیه‌سازی شده است تا اعتبار این نرم‌افزار را به عنوان یک ابزار شبیه‌سازی واقعی زیست محیطی مورد سنجش قرار دهد. همچنین اطلاعات این ساختمان مانند سیستم‌های سرمایشی، گرمایشی و میزان روشنایی در این نرم‌افزار برای شبیه‌سازی بکار گرفته شد.



شکل ۱: الف) عکس سمت راست پلان طبقه همکف الماس شرق (ب) عکس سمت چپ عکس موقعیت الماس شرق

منبع: نگارندگان

جدول ۱: شرح ساختمان الماس شرق مشهد

مشخصات	عنوان
تجاری	نوع کاربری
شهر مشهد (ایران)	موقعیت
دایره	فرم
۶ طبقه	تعداد طبقات
حدود ۵۵۰۰ متر مربع	مساحت زمین
۲۰۰۰۰ متر مربع	زیربنا مجتمع
حدود ۵ متر	ارتفاع هر طبقه
۳۰۵ متر مربع	سطوح شیشه خور
۲۵ درصد	درصد سطوح شیشه خور
۹ تا ۲۴	ساعات استفاده

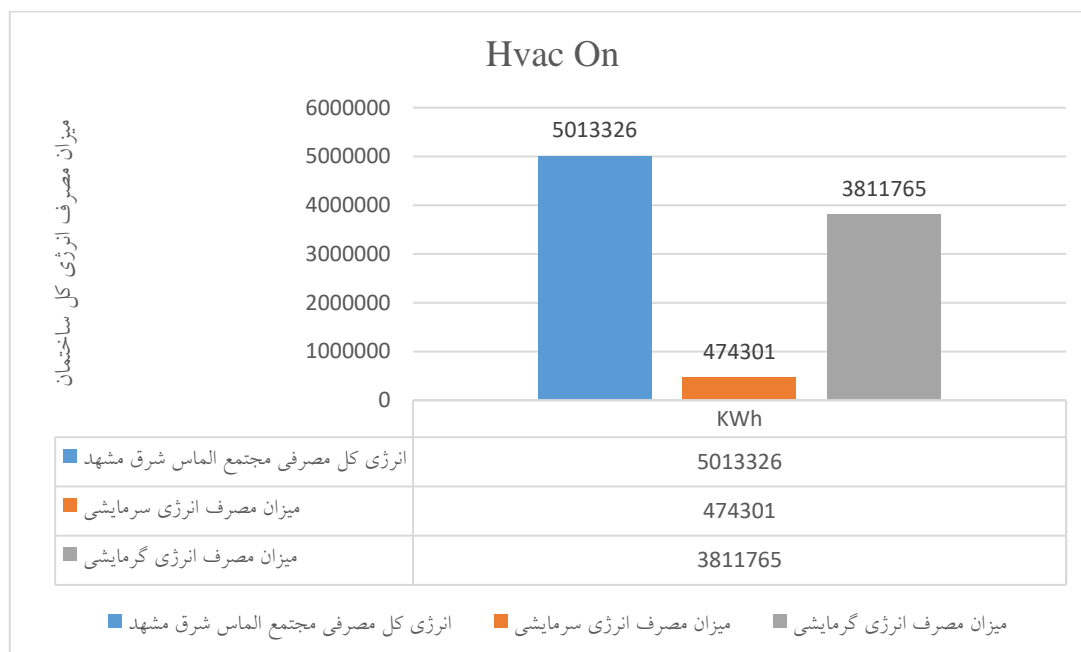
منبع: نگارندگان

مجتمع تجاری الماس شرق مشهد دارای ۶ طبقه بدون احتساب پارکینگ در میدان بهارستان در شهر مشهد واقع شده است. این ساختمان دارای نورگیری به ارتفاع ۳۷ متر با آسمانه کروی شکل است. قطر سیلندر در تراز کف ۱۶ متر است. نورگیر از طبقه منفی یک تا طبقه چهارم توسط فضاهای مجاور خود محصور شده است و در انتها به صورت فرم کروی شکل درآمده که تنها از بدنه نورگیری دارد و شیشه‌ها از مصالح پلی کربنات به رنگ سبز تشکیل شده است. سازه ساختمان فلزی است و قاب‌های آلومینیومی شیشه دوجداره به سازه فولادی نورگیر اتصال یافته است. بازشوئی در سقف نورگیر برای مکش هوا تعبیه نشده است. بنابراین امکان ایجاد تهویه شبانه و تخلیه حرارتی در تابستان برای نورگیر وجود ندارد. از طرف دیگر، تجهیزات سایه‌اندازی و عایق کاری پوسته خارجی هم در این ساختمان وجود ندارد. نورگیر در تمامی طبقات دارای کانال‌های تهویه مطبوع بوده و پوشش جداره داخلی نورگیر مواد رنگی پاششی با رنگ روشن است. علاوه بر آسانسور و راه پله فولادی مارپیچی، نیز طبقات را به هم ارتباط می‌دهد.



## ۳. تحلیل داده‌ها با اعتبار سنجی

نتایج بدست آمده در این پژوهش براساس حل عددی و شبیه‌سازی تجربی بوده است. آتریوم مجتمع تجاری نام برده با هندسه گنبدی مورد بررسی قرار گرفت. ابعاد مدل طراحی مطابق اشکال فوق عبارت است از: مجتمع تجاری الماس شرق دارای ابعاد طول و عرض (۱۳۶×۱۴۶) متر و ارتفاع ۲۹ متر تا زیر گنبد آتریوم است، و در مرکز آن آتریومی به ابعاد ۱۶×۱۶ متر به ارتفاع ۳۶/۹۷ متر (از طبقه زیرزمین با احتساب ارتفاع گنبد آتریوم که ۵.۴۱ متر می باشد) قرار گرفته است. بر همین اساس؛ بعد از شبیه‌سازی ساختمان مورد نظر، میزان بهره‌برداری خورشیدی، بار سرمایش، بار گرمایش و میزان روشنایی سالانه ساختمان برای درصدهای مختلف پنجره برای شهر مشهد در مجتمع تجاری الماس شرق محاسبه شده است. لازم به ذکر است که، سیستم سرمایشی مجتمع از نوع چیلر جذبی شعله مستقیم می‌باشد و مشعل اختصاصی دارد. از ابتدای فروردین ماه سیستم سرمایشی به صورت پاره‌وقت و در گرمای بالای ۲۰ درجه محیط روشن می‌شود و عمده مصرف انرژی در ساعات بعد از ظهر همزمان با حضور حداکثر مراجعان، و از ابتدای مهرماه تا اواسط آبان‌ماه سیستم‌های سرمایش و گرمایش خاموش است. ضمن اینکه سیستم گرمایشی به دلیل گرمای طبیعی مجتمع حاصل از مراجعه‌کنندگان، نورگیر داخلی، وسایل روشنایی و... در فصول گرم مقدار بسیار کارکرد کمی دارد و با حداقل ممکن در مدار است. از این رو براساس شبیه‌سازی‌های صورت گرفته در حالت سیستم تهویه روشن مشخص گردید که: انرژی کل مصرفی مجتمع الماس شرق مشهد  $5013326 \text{ kWh}$  شامل انرژی‌های مصرفی در بخش سرمایش  $\text{kWh}$  ۴۷۴۳۰۱، گرمایش  $\text{kWh}$  ۳۸۱۱۷۶۵ است و میزان دریافت روشنایی ۳۲۹۵ لوکس می‌باشد. ضمن اینکه میزان مصرف انرژی در هر منطقه از کل ساختمان  $41460 \text{ kWh/m}^2$  شامل  $3811765 \text{ kWh/m}^2$  در بخش گرمایش و  $\text{kWh/m}^2$  ۴۷۴۳۰۱ در بخش سرمایش است و بر اساس موارد بدست آمده از قبوض گاز و برق مجتمع تجاری در طول یکسال مشخص گردید که میزان انرژی مصرفی در بخش گاز  $752930$  مترمکعب ( معادل  $2785841$  کیلووات ساعت) و میزان مصرف انرژی در بخش برق  $2776000$  کیلووات ساعت است، (مصرف گاز در فصول گرم‌تر بیشتر از فصول سرد می‌باشد) که این امر بیانگر آن است که نتایج فوق حاکی از دقت نرم افزار دیزاین بیلدر برای مدلسازی است.



روشن، (نگارندگان) HVAC نمودار ۲: مشخصات سالانه‌ی کل مصرف انرژی ساختمان در حالت

نمودار فوق (نمودار با HVAC روشن) وضعیت دمای بیرون را که مابین ۵ درجه تا ۳۲/۴۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد؛ در رابطه با درجه حرارت تابشی و حرارت موثر ساختمان را در دوره یکساله و میزان گرما را به صورت kWh نشان می‌دهد. در همین راستا پنجره‌های نورگیر داخلی سبب ورود اشعه‌های خورشیدی به داخل ساختمان می‌شوند و عامل اصلی در افزایش حرارت و گرما به داخل و بالا رفتن دمای داخلی فضا در تابستان هنگامی که نفوذ خورشید از طریق پنجره‌های خارجی به داخل بیشتر از ۴۱/۵۵ kW هستند؛ سبب بالا رفتن بار سرمایشی ساختمان می‌شود. سرمایش در ساختمان‌ها توسط دستگاه‌های خنک‌کننده در ماه‌های مارس و آوریل شروع بکار می‌کند و اوج کارکردن این دستگاه‌ها در ماه جولای هنگامی که بیشترین مصرف انرژی سرمایشی به ۳۶۳/۲۹ kWh است؛ می‌باشد و قبل از ماه سپتامبر شروع به کاهش مصرف انرژی سرمایشی نمی‌کند. در همین راستا نفوذپذیری فضا در طول زمستان نسبت به تابستان به دلیل بالا بودن دما در فصل تابستان، باعث تلفات بیشتر حرارت می‌شود. لازم به ذکر است که؛ روشنایی‌های مصنوعی و موتورخانه نیز علت‌های اصلی افزایش گرما در تمام طول سال هستند. با این حال، نسبت به پنجره‌ها در سطح دوم قرار دارند. همچنین انرژی سرمایشی که کارکرد وسایل‌های خنک‌کننده را در فصل تابستان شامل می‌شود؛ با وجود اتریوم و دریافت نور خورشید به داخل آن؛ طبقات بالاتر از دریافت گرمای بیشتری برخوردارند و به دلیل خنثی کردن گرمای دریافتی نیاز به انرژی سرمایشی بیشتری هست و در طبقات پایین‌تر به دلیل دریافت کمتر نور خورشید و حرارت آن، نیاز به انرژی سرمایشی کمتری هست. به همین دلیل هرچه به طبقات بالاتر می‌رویم میزان کارکرد دستگاه‌های خنک‌کننده افزایش می‌یابد. به همین جهت میزان کارکرد وسایل گرم‌کننده که بیشترین مصرف انرژی در مجتمع تجاری الماس شرق را دارا هستند؛ در طبقات بین ۱۰٪ تا ۱۲٪ متغیر است. این درحالیست که مابقی

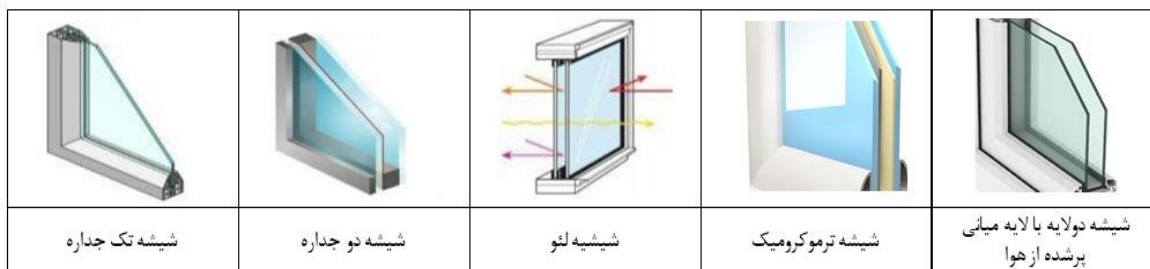
انرژی مصرفی در ساختمان از ۱۰٪ تا ۹۰٪ را انرژی گرمایشی در برمی‌گیرد که شامل دستگاه‌های گرم‌کننده محیط داخلی در تابستان، سیستم روشنایی، موتورخانه، کلیه سطوح داخلی اعم از دیوارها، سقف، کف، پنجره‌ها، مصالح و دیگر جرم‌های حرارتی و گرمای تولیدی توسط مراجعین و تمامی عوامل تولیدکننده حرارت در مجتمع تجاری می‌باشد. با خاموش نمودن سیستم‌های HVAC؛ درجه حرارت داخل بین ۲۰ تا ۴۲/۳۳ درجه سانتیگراد و میزان رطوبت نسبی داخل در طول سال بین ۱۰٪ تا ۴۵٪ متغیر است که بیشترین آن مربوط به آپریل و کمترین آن مربوط به ماه جولای می‌باشد، چرا که در این ماه درجه حرارت بالاترین درجه (۴۲/۳۳) است. میزان شرایط غیر آسایش نیز در تابستان و با لباس تابستانی بین ۱/۹۸ تا ۱۲ و در زمستان با لباس زمستانی بین ۴/۸۷ تا ۱۲ است. بنابراین به صورت کلی شرایط غیر آسایش از کمترین ۰/۴۸ ساعت در ماه مارچ تا بیشترین ۱۲ ساعت در ماه‌های آپریل تا سپتامبر است؛ در حالی که با سیستم‌های HVAC روشن شرایط غیرآسایش در طول سال مقدار ساعات ۲۰۰ تا ۲۶۰۰ ساعت است و میزان آسایش حرارتی نیز مینا شاخص آسایش حرارتی فانگر<sup>۱۱</sup> (شاخص میانگین آراء افراد نسبت به شرایط گرمایی محیط<sup>۱۲</sup>) که می‌بایست بین ۰/۵- تا ۰/۵+ باشد؛ در طول سال با سیستم‌های خاموش بین ۰/۴۱- تا ۵/۱۴ (pmv) متغیر است که نشان‌دهنده عدم توانایی این سیستم در تأمین شرایط آسایش حرارتی است. در این راستا طراحی معماری می‌تواند با شناخت انواع شیشه‌های مصرفی در سطوح خارجی و پیدا کردن بهترین نوع آن با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌ساز دیزاین بیلدر در بهبود شرایط داخلی مجتمع‌های تجاری و همچنین در جهت تهویه‌پذیری از طریق برخی از سطوح و جداره‌ها اقدام نماید؛ تا بتواند شرایط محیط داخلی را در حد آسایش که بر اساس استاندارد فانگر می‌باشد، نگه دارد.

#### ۴. بهسازی نوع شیشه نورگیر داخلی مجتمع تجاری الماس شرق

بهسازی در جهت بار گرمایش ساختمان نیازمند کاهش ورود اشعه‌های خورشید، کنترل نفوذ حرارت به داخل و افزایش مقاومت می‌باشد. در همین راستا بهسازی نیاز زیادی به توجه در اموجنبه‌های زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی برای بدست آوردن راه‌حل‌های کاربردی دارد. هدف از این پژوهش؛ اهمیت مصرف انرژی در مجتمع‌های تجاری دارای نورگیر داخلی در اقلیم سرد و خشک می‌باشد. در تابستان تابش مستقیم خورشید از ساعت ۶ صبح الی ۷ بعد از ظهر است. در روزهای تابستان میزان ورود اشعه‌های خورشید از طریق پنجره‌های خارجی به داخل ساختمان تا میزان ۱۰ کیلووات ساعت در فضای داخلی افزوده می‌شود. از این رو می‌توان با جایگزینی شیشه‌های دیگری به جای شیشه‌های موجود به یک روش کارآمد برای کاهش نفوذ اشعه خورشید و تابش گرما تابستانی به داخل فضا؛ دست یافت. ضمن اینکه شیشه‌های مذکور دارای زیبایی بصری نیز می‌باشند «شکل ۲» و با این روش می‌توان میزان بارسرمایش، گرمایش، تهویه، درجه حرارت و روشنایی را در داخل ساختمان تنظیم نموده و به آسایش حرارتی مراجعه کنندگان کمک نمود.

<sup>۱۱</sup> Fanger

<sup>۱۲</sup> Pmv(Predicted MeanVote )



شکل ۲: شماتیک شیشه‌های جایگزین در نورگیر داخلی مجتمع تجاری الماس شرق مشهد، (نگارندگان)

در نمونه موردی شیشه موجود به صورت پلی‌کربنات با ضخامت ۴۸/۹۱۰۰۰ میلی‌متر و رنگ آن نیز سبز و میزان انتقال حرارت از شیشه ۰/۲۲۱۰ W/(m-K) است. در این راستا تاثیر جایگزینی شیشه در ارتباط با بار سرمایش، گرمایش، روشنایی، درجه حرارت و تهویه در دو حالت HVAC خاموش و روشن مورد بررسی قرار گرفت. استراتژی‌های شیشه‌های جایگزین عبارتند از: شیشه شفاف<sup>۱۳</sup>، شیشه سبز<sup>۱۴</sup>، با ضخامت ۳ تا ۱۳ میلی‌متر پر شده با گاز هوا در لایه میانی، شیشه پلی‌کربنات<sup>۱۵</sup>، شیشه ترموکرومیک<sup>۱۶</sup>، شیشه تک لایه سبز با ضخامت ۳ میلی‌متر و شیشه ۴ لایه<sup>۱۷</sup> لئو فیلم<sup>۱۸</sup>. شیشه لئو دارای پوشش فلزی با ضخامت کم در یک یا چند لایه است که از لایه‌های زیر متشکل شده است: ۳ میلی‌متر و ۸ میلی‌متر کریپتون<sup>۱۹</sup> در لایه خارجی از شیشه شفاف ۳ میلی‌متری، کریپتون ۸ میلی‌متری با پوشش پلی استر با ضریب انتقال ۰/۸۸، و لایه کریپتون ۳ میلی‌متری در وسط و کریپتون ۸ میلی‌متری و شیشه شفاف ۳ میلی‌متری در لایه داخلی تشکیل شده است. در این راستا استراتژی‌های پیشنهادی براساس شیشه‌هایی با ویژگی‌های ذیل است:

(دیزاین بیلدر) ISO ۱۰۲۹۲/EN ۱۶۷۳ جدول (۲): مشخصات شیشه‌های مورد مطالعه براساس استاندارد

LT	D.S	SHGC	U/W/(m <sup>2</sup> -K)	نوع شیشه
۰/۸۹۸	۰/۸۳۷	۰/۸۶۱	۵/۸۹۴	شیشه تک لایه ۳ میلی‌متر
۰/۷۴۳	۰/۵۳۴	۰/۶۱۶	۲/۵۵۶	سبز رنگ با ضخامت ۳ تا ۱۳ میلی‌متر
۰/۵۷۸	۰/۴۰۹	۰/۵۶۹	۲/۱۳۰	شیشه ترموکرومیک
۰/۷۴۴	۰/۶۲۴	۰/۶۹۱	۱/۹۶۰	شیشه دولایه سبز رنگ با ضخامت ۳ میلی‌متر با لایه میانی هوا

<sup>۱۳</sup> clear glass

<sup>۱۴</sup> green glass

<sup>۱۵</sup> Poly carbonat

<sup>۱۶</sup> THERMOCHROMIC

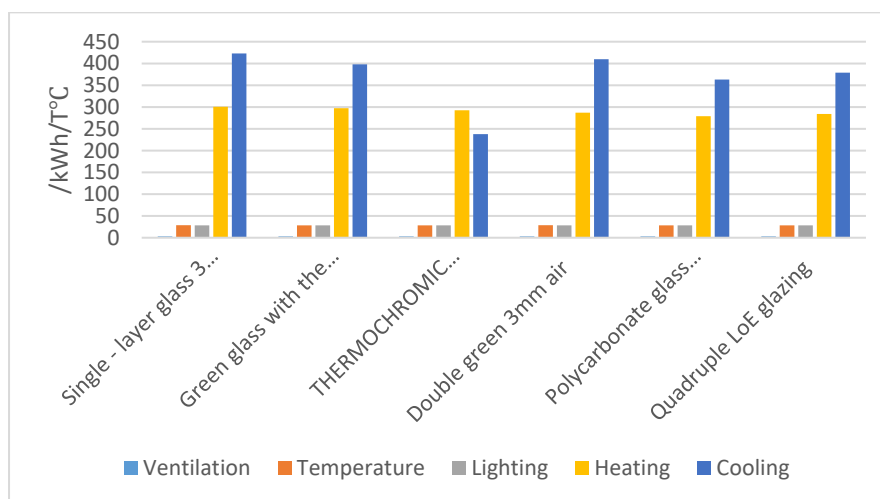
<sup>۱۷</sup> quadruple

<sup>۱۸</sup> LoE glazing

<sup>۱۹</sup> krypton

۰/۲۹۵	۰/۲۸۷	۰/۵۱۱	۱/۲۵۲	شیشه پلی کربنات (نمونه موردی)
۰/۶۲۴	۰/۳۳۸	۰/۴۶۶	۰/۷۸۱	شیشه لئو ۴ لایه

در این راستا  $W/(m^2-K)$  (ضریب انتقال حرارت<sup>۲۰</sup>) و SHGC (میزان کل انتقال انرژی خورشیدی)، D.S (میزان انتقال مستقیم انرژی خورشیدی از پنجره به داخل فضا) و LT (میزان روشنایی طبیعی ساختمان) است. در شیشه‌های مذکور؛ می‌توان تنها با افزایش ضخامت شیشه‌های از ۳ تا ۱۳ میلی‌متر و دو لایه کردن شیشه‌ها ضریب انتقال حرارت به داخل ساختمان را کاهش داد؛ به گونه‌ای که در شیشه‌های تک لایه شفاف؛ ضریب انتقال حرارت  $W/(m^2-K) 5/894$  می‌باشد؛ در حالیکه در شیشه‌های شفاف دولایه با افزایش ضخامت تا ۱۳ میلی‌متر؛ ضریب انتقال حرارت  $W/(m^2-K) 1/96$  می‌شود. این درحالیست که از میان شیشه‌های جایگزین شده در نورگیر داخلی مجتمع تجاری الماس شرق، شیشه لئو ۴ لایه دارای کمترین ضریب انتقال حرارت ( $W/(m^2-K) 0/781$ ) و کمترین میزان انتقال انرژی خورشیدی ( $0/466$ ) به داخل ساختمان است. لیکن در رابطه با میزان انتقال مستقیم انرژی خورشیدی از پنجره<sup>۲۱</sup> به داخل و میزان روشنایی طبیعی، شیشه پلی کربنات با میزان انتقال مستقیم  $0/287$  و میزان روشنایی  $0/295$  دارای کمترین میزان انتقال مستقیم حرارت به داخل و روشنایی فضای داخلی است. لذا در ادامه با جایگزینی این نوع شیشه‌ها در نورگیر داخلی مجتمع تجاری الماس شرق مشهود؛ در رابطه با انرژی ساختمان (بارسرمایش، گرمایش، میزان روشنایی و تهویه و درجه حرارت) در نرم افزار دیزاین بیلدر<sup>۲۲</sup> در دو حالت HVAC خاموش و روشن؛ مورد محاسبه و شبیه‌سازی قرار گرفت که به صورت نمودار ۴ و ۵ در ذیل نشان داده شده است.

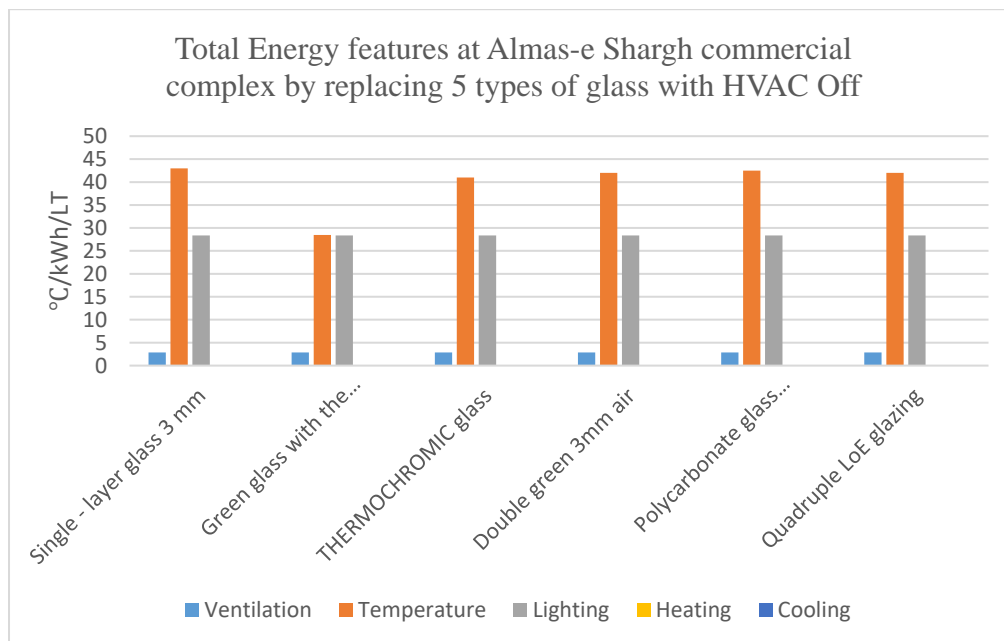


نمودار ۴: مشخصات میزان مصرف انرژی در مجتمع تجاری الماس شرق با جایگزینی ۵ نوع شیشه مذکور با روشن، (نگارندگان) HVAC

<sup>۲۰</sup>  $W/(m^2-K)$

<sup>۲۱</sup> D.S

<sup>۲۲</sup> Design builder



نمودار ۵: مشخصات میزان مصرف انرژی در مجتمع تجاری الماس شرق با جایگزینی ۵ نوع شیشه مذکور با خاموش، (نگارندگان) HVAC

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش به اهمیت مصرف انرژی در جهت کاهش مصرف انرژی انتقال یافته از پنجره‌ها به داخل آتریوم در مجتمع تجاری الماس شرق در شهر مشهد پرداخته شد و در این راستا جهت دستیابی به یک نوع پنجره بهینه که کمترین میزان مصرف انرژی را دارا باشد و بیشترین آسایش حرارتی را برای مراجعه‌کنندگان مجتمع تجاری در اقلیم سرد و خشک فراهم کند؛ میزان بهره‌خوردی، سرمایش، گرمایش، روشنایی و تهویه سالانه مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا؛ و با توجه به اهمیت میزان بهینه‌سازی مصرف انرژی در مجتمع‌های تجاری ۵ نوع شیشه (شیشه شفاف، شیشه سبز با ضخامت ۳ تا ۱۳ میلی‌متر پر شده با گاز هوا در لایه میانی، شیشه پلی‌کربنات، شیشه ترموکرومیک، شیشه تک لایه سبز با ضخامت ۳ میلی‌متر و شیشه ۴ لایه لئو فیلم) انتخاب و شبیه‌سازی آن‌ها در نرم‌افزار دیزاین بیلدر در جهت جایگزینی شیشه نورگیر داخلی مجتمع تجاری الماس شرق انجام گردید. لازم به ذکر است که تمامی شبیه‌سازی هادر دو حالت HVAC خاموش و روشن انجام گرفت و مشخص گردید که در حالت HVAC خاموش (با وجود عدم توانایی ساختمان در ایجاد آسایش حرارتی)، ساختمان دارای عملکرد بهتری نسبت به HVAC روشن می‌باشد. در حالت HVAC روشن تمامی شیشه‌های مذکور دارای یک اندازه تهویه طبیعی بوده‌اند و در میزان روشنایی شیشه پلی‌کربنات که هم‌اکنون در مجتمع تجاری الماس شرق بکار رفته است؛ دارای کمترین میزان روشنایی طبیعی می‌باشد. ضمن اینکه در محاسبه بارگرمایش و سرمایش مصرفی ساختمان شیشه؛ شیشه ترموکرومیک دارای کمترین میزان بار

سرمایش در ساختمان و شیشه پلی کربنات کمترین میزان بار گرمایش در ساختمان تجاری الماس شرق است. در همین راستا؛ در حالت HVAC خاموش نیز شیشه ترموکرومیک دارای کمترین میزان حرارت و شیشه لئو دارای کمترین میزان رطوبت نسبی می باشد. برای همین مناسب ترین شیشه در مجتمع های تجاری شهر مشهد؛ شیشه ترموکرومیک با میزان تهویه و روشنایی بیشتر، درجه حرارت و میزان مصرف انرژی سرمایشی کمتر و میزان مصرف انرژی گرمایشی به مقدار ناچیزی بیشتر؛ نسبت به سایر شیشه های جایگزین و شیشه نمونه موردی (پلی کربنات) است. ضمن اینکه این نوع از شیشه ها علاوه بر جنبه عملکردی به لحاظ زیبایی نیز مورد استفاده قرار می گیرند. تمامی موارد انجام شده در پژوهش حاضر در صدد دستیابی به موارد ذیل صورت گرفته است:

- ایجاد رابطه بین نوع شیشه نورگیر داخلی و میزان مصرف انرژی (گرمایشی، سرمایشی، روشنایی و تهویه)
  - انتخاب مناسب ترین نوع شیشه در راستای دستیابی به آسایش حرارتی و بهینه سازی مصرف انرژی را در اقلیم سرد و خشک در مجتمع های تجاری دارای نورگیر داخلی.
  - راهنمایی نمودن طراحان، مهندسين و معماران مربوطه در جهت بهبود عملکرد حرارتی نورگیر داخلی در مجتمع های تجاری اقلیم سرد و خشک و همچنین بهره‌وری انرژی و آسایش مراجعه کنندگان.
  - توسعه راه حل های ساده و کم هزینه در جهت کاهش مصرف انرژی ساختمان و هزینه های کلی عملیاتی.
  - ارائه اندازه گیری تجربی برای پیشرفت الگوریتم های آینده و تایید مدل های شبیه سازی موجود.
- پژوهش حاضر بیانگر بهترین نوع شیشه در جهت دستیابی به بهینه سازی مصرف انرژی و آسایش حرارتی در نورگیر داخلی مجتمع های تجاری در شهر مشهد با اقلیم سرد و خشک می باشد و شرایط بدست آمده از این پژوهش را می توان برای دیگر مجتمع های تجاری دارای نورگیر داخلی در شهر مشهد؛ بکار برد. ضمن اینکه جهت سنجش کاهش مصرف انرژی می بایست به قابلیت های معماری من جمله مصالح و فرم مناسب و همچنین ابعاد نورگیر داخلی پرداخته شود.

## منابع:

## کتاب‌ها:

طاهباز، منصوره؛ جلیلیان، شهربانو. (۱۳۸۶). اصول طراحی معماری همساز با اقلیم در ایران، تهران: انتشارات دانشگاه شهید بهشتی.

محمودی زرنندی، مهناز. (۱۳۹۶). آتریوم‌ها و معضلات نورگیرهای مرکزی در معماری امروز ایران، کتاب نور در هنر معماری و شهرسازی ایران، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

محرابی، جهانگیر؛ کاظمیان، فرهاد. (۱۳۹۶). «عوامل موثر در کاهش مصرف انرژی در مجتمع‌های تجاری - تفریحی در راستای معماری پایدار (مطالعه موردی: شهر محمودآباد)»، دومین کنفرانس ملی یافته‌های نوع پژوهشی در عمران، معماری و شهرسازی، گرگان.

## منابع لاتین:

Q. Luo . (۲۰۱۸). Modeling of opening characteristics of an atrium in natural ventilation, Massachusetts Institute of Technology..

J. Fernandes, C. Pimenta, R. Mateus, S. Silva, L. Bragança. (۲۰۱۵). Contribution of portuguese vernacular building strategies to indoor thermal comfort and occupants' perception, Buildings, ۵(۱۲) ۱۲۶۴-۱۲۷۴.

S.D. Christensen. (۲۰۱۴). A Model for Analyzing Heating and Cooling Demand for Atria Between Tall Buildings.

M. Niknam, N. Najafgholipour. (۲۰۱۶). The Study of Energy Efficiency by Central Atrium in Residential Complexes, INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED BIOTECHNOLOGY AND RESEARCH, ۷ ۱۶۶۴-۱۶۷۵.

L. Moosavi, N. Mahyuddin, N. Ab Ghafar, M.A. (۲۰۱۴). Ismail, Thermal performance of atria: An overview of natural ventilation effective designs, Renewable and Sustainable Energy Reviews, ۳۴ (۲۰۱۴) ۶۵۴-۶۷۰.

L. Moosavi, N. Mahyuddin, N. Ghafar. (۲۰۱۵). Atrium cooling performance in a low energy office building in the Tropics, a field study, Building and Environment, ۹۴ ۳۸۴-۳۹۴.

N. Mak. (۱۹۹۱). Thermal stratification in atria, Bachelor of Engineering thesis, Department of Engineering, University of Wollongong.

F. Bano, M.A. Kamal. (۲۰۱۶). Examining the role of building envelope for energy efficiency in office buildings in India, Architecture Research, ۶(۵) ۱۰۷-۱۱۵.

M. Wall. (۱۹۹۶). Climate and energy use in glazed spaces, Lund University, Lund Institute of Technology, Department of Building Science.



A. Laouadi, M.R. Atif. (۲۰۰۲). Prediction model of optical characteristics for barrel vault skylights, Journal of the Illuminating Engineering Society, ۳۱(۲), ۵۲-۶۵.

S. Gilani, H. Montazeri, B. Blocken. (۲۰۱۳). CFD simulation of temperature stratification for a building space: validation and sensitivity analysis, in: ۱۳th conference of international building performance simulation association, Chambéry, France..

L. Moosavi, N. Ghafar, N. Mahyuddin. (۲۰۱۶). Investigation of thermal performance for atria: A method overview, in: MATEC Web of Conferences, EDP Sciences , pp. ۰۰۰۲۹.

L.R. Karlsen. (۲۰۱۶). Design methodology and criteria for daylight and thermal comfort in nearly-zero energy office buildings in Nordic climate, Aalborg Universitetsforlag.

S. Bajracharya. (۲۰۱۴). Simulation of Temperature Stratification in Atriums: Validation of Basic Model Features, Journal of the Institute of Engineering, ۱۰(۱) ۱۵۷-۱۷۱.