

تحلیل عملکرد فرم و ارتفاع سقف نورگیر داخلی مرکزی ساختمان‌های تجاری اقلیم سرد و خشک (شهر مشهد)^۱

سمانه زین العابدین زاده^۲

حسین مدی^{۳*}

Medi@arc.ikiu.ac.ir

مصطفی مافی^۴

تاریخ دریافت: ۹۸/۷/۶

تاریخ پذیرش: ۹۹/۳/۱۳

چکیده

زمینه و هدف: در دهه‌های گذشته، آتریوم در ساختمان‌های عمومی در جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی و تامین آسایش حرارتی تعبیه می‌شد و از این رو همواره مورد توجه مهندسان مکانیک، معمار و طراحان بوده است. همچنین آتریوم در فضای زیرین خود، ریز اقلیم‌هایی متفاوتی با لایه بندی‌های گوناگون حرارتی را ایجاد مینمود که بر بار سرمایش و آسایش حرارتی داخل ساختمان تاثیر می‌گذاشتند. از این رو هدف از این پژوهش دستیابی به مناسب ترین فرم و ارتفاع سقف نورگیر داخلی جهت کاهش میزان انرژی مصرفی، بارسرمایش و لایه‌بندی حرارتی در ساختمان‌های تجاری اقلیم سرد و خشک شهر مشهد است.

روش بررسی: جهت بررسی داده‌های کمی از نرم افزار فلونت و معادلات ریاضی استفاده شده است. ابتدا ساختمان تجاری الماس شرق شهر مشهد با نورگیر داخلی به فرم کروی با ارتفاع ۵ متر انتخاب و پس از اندازه‌گیری میدانی و ثبت داده‌ها توسط دیتالاگرها در طی دو ماه بحرانی (تیر و دی ماه) سال ۱۳۹۸، در نرم افزار فلونت شبیه سازی و سپس فرم‌های رایج نورگیر داخلی (کروی، منشوری، سهموی و مسطح در ارتفاع‌های ۳متر، ۵ متر، ۷متر و ۱۰متر) جایگزین آن شدند و در جهت سنجش میزان لایه بندی حرارتی، از فرمول‌های ریاضی استفاده شد.

یافته‌ها: با توجه به مشاهدات میدانی و اندازه گیری داده‌ها، طبقه پنجم و زیرسقف نورگیر داخلی به دلیل نفوذ نورخورشید و عدم تهویه هوا، محدوده بحرانی لایه بندی حرارتی است و کل سال از محدوده آسایش حرارتی خارج است. لذا میزان مصرف انرژی نیز در طول سال

۱- مقاله حاضر برگرفته از رساله دکتری سمانه زین العابدین زاده با عنوان «تدوین معیارهای بهبود شکل نورگیر داخلی ساختمان‌های تجاری به منظور افزایش کارایی انرژی در اقلیم سرد و خشک شهر مشهد» به راهنمایی دکتر حسین مدی و مشاور دکتر مصطفی مافی می‌باشد.
۲- گروه معماری، واحد بین الملل کیش، دانشگاه آزاد اسلامی، جزیره کیش، ایران.
۳- استادیار گروه معماری، دانشگاه بین المللی امام خمینی، قزوین، ایران.^۴ (مسوول مکاتبات)
۴- دانشیار گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه بین المللی امام خمینی، قزوین، ایران.

درجهت تامین آسایش حرارتی در این طبقات زیاد است که با کاهش سطوح جداره نورگیر داخلی و استفاده از مصالح با ظرفیت حرارتی بالا می‌توان آن را کاهش داد.

بحث و نتیجه گیری: فرم مسطح با ارتفاع سقف ۳ متر، بدلیل کاهش سطوح جداره نورگیر داخلی و اختلاف دما میان طبقات، مناسبترین فرم سقف و ارتفاع نورگیر داخلی جهت کاهش میزان انرژی مصرفی و بارسرمایش تا ۷ درصد و کاهش لایه‌بندی حرارتی در ساختمان‌های تجاری اقلیم سرد و خشک شهر مشهد می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: نورگیر داخلی، لایه بندی حرارتی، انرژی مصرفی، آسایش حرارتی، اقلیم سرد و خشک.

Performance Analysis of the Form and Height of Central Skylight of Commercial Buildings in Cold and Dry Climate of Mashhad City¹

Samaneh Zeinolabedinzadeh²

Hossein Medi^{3*}

Medi@arc.ikiu.ac.ir

Mostafa Mafi⁴

Admission Date: June 2, 2020

Date Received: September 28, 2019

Abstract

Background and Objective: In recent decades, atriums have been installed in public buildings to optimize energy consumption and provide thermal comfort, and therefore have always been of interest to mechanical engineers, architects and designers. Atrium also created different microclimates with different thermal layers in its lower space, which affected the cooling load and thermal comfort inside the building. Therefore, the purpose of this research, is to find the most suitable form and height of atrium for reducing energy consumption and heat stratification in commercial buildings of Mashhad city with cold and dry climate.

Method: This research has used fluent software and Mathematical equations. Initially, Almase Shargh commercial building in Mashhad with central atrium in a spherical form of 5 m height was selected and after field measurements and data recording by dataloggers, the common atrium forms (spherical, prismatic, parabolic and flat at 3 m, 5 m, 7 m and 10 m) were replaced and in order to measure the heat stratification, the Mathematical formulas was used.

Findings: According to field observations and data measurements, the fifth floor and attic of the indoor skylight due to the influence of sunlight and lack of air conditioning, are critical areas of heat stratification and are out of range of thermal comfort throughout the year. Therefore, the amount of energy consumption during the year to provide thermal comfort in these floors is high, which can be reduced by reducing the levels of light-absorbing interior walls and using materials with high thermal capacity.

Discussion and Conclusion: The results show that the flat form with a height of 3 meters, due to the reduction of light levels in the interior wall and the temperature difference between the floors is the most appropriate form of atrium for reducing energy consumption and cooling load up to 7% and reducing heat stratification in commercial complex in cold and dry climate of Mashhad city.

Keywords: Internal Skylight, Heat Stratification, Energy Consumption, Cold and Dry Climate.

1- The Present article is taken from a doctoral dissertation Samaneh Zeinolabedinzadeh."Compilation of criteria for improving the atrium of commercial buildings in order the energy efficiency in a cold and dry climate in mashhad" under the guidance of Dr. Hossein Medi and Consultant of Dr. Mostafa Mafi.

2- Department of Architecture, Kish international Branch, Islamic Azad University, Kish Island, Iran

3-Assistant Professor, Faculty of Architecture, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.*(Corresponding Authour)

4- Associate Professor of Mechanical Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

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 ۲۰٪ انرژی مصرفی جهان را ساختمان‌های تجاری امروزه به خود اختصاص داده اند که در این ساختمان‌ها آتریوم نقش مهمی را در میزان مصرف انرژی و افزایش بار حرارتی ایفا می‌نماید. در گذشته آتریوم به حیاط مرکزی روبازی گفته می‌شد که اتاق‌های مجاور، آن را احاطه می‌کرد (۱). 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 (۲). آتریوم علاوه بر ایجاد ارتباط بین طبقات ساختمان، فضای میانی مناسبی بین محیط داخلی و بیرونی ایجاد می‌کند (۳). همچنین آتریوم امکان استفاده از عوامل مطلوب محیط بیرون را فراهم می‌کند و اتلاف گرما از فضاهای مجاور را کاهش می‌دهد (۴). آتریوم به عنوان یک فضای میانجی، گرمای خورشید را پس از دریافت، در اختیار فضاهای مجاور می‌گذارد (۵) و به واسطه توان ایجاد یک ریز اقلیم درونی و ایجاد آسایش حرارتی در فصول نامناسب (۶) باعث شده تا در طول تاریخ و در معماری معاصر به ویژه در ساختمان‌های عمومی، اداری و تجاری مورد استقبال قرار گیرد (۷) و امروزه در تمامی تمدن‌های بزرگ جهان مشاهده شود (۸). در ساختمان‌هایی که به واسطه تنوع کاربری‌ها و نیازهای عملکردی بر وسعت آتریوم افزوده شود، سطوح وسیع شیشه‌ای پوشاننده آن به طور بالقوه تاثیرات نامناسبی به واسطه گرمایش اضافی، اتلاف حرارتی از سطوح خود، عدم هوابندی، افزایش لایه‌بندی حرارتی، اثر دودکشی و خیره کنندگی نور ایجاد می‌نمایند (۹). علاوه بر این‌ها تاثیر متقابل شرایط کالبدی و محیطی بر نورگیرها از یک سو و شرایط درونی فضاهای مجاور نورگیر، مسائل ایمنی و تاسیساتی از سوی دیگر، طراحان را با عوامل پیچیده‌ای مواجه نموده است تا از رخدادهای انرژی داخل فضای نورگیر داخلی مطلع شوند (۱۰) و آتریوم‌ها را از منظرهای مختلف و در شرایط اقلیمی متفاوت مورد بررسی و پژوهش قرار دهند. در عمده‌ترین پژوهش‌های

آتریوم؛ ماریا وال از عبارت فضاهایی با پوشش شیشه‌ای استفاده کرده است و 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 (۱۱). بیکون پی و همکارانش در سال ۲۰۰۹ دریافتند که تابش خورشید از طریق سقف شیشه‌ای آتریوم، در موجب کاهش دما طبقات زیرین خود تا ارتفاع ۱۰ متری می‌شود (۱۲). دو و شارپلس در سال ۲۰۱۱ دریافتند که چگونه اشعه‌های نورخورشید به طور مستقیم وارد آتریوم‌های مستطیل شکل می‌شود و در طبقات بالا نور بیشتر و در اتاق‌های طبقات پایین تر میزان عمق نفوذ نور خورشید کاهش می‌یابد (۱۴). اینکروپرا در سال ۲۰۱۱ دریافت که افزایش عایق بندی پوشش آتریوم‌ها اغلب به معنای لایه‌های بیشتر از مصالحی است که پوشش آتریوم را از حالت شفاف بودن خارج می‌کند و سبب انتقال نور نمی‌شوند (۱۵). شفق حسین در سال ۲۰۱۲ بیان نمود که شرایط آسایش حرارتی برای افراد در حالت نشسته در پاسخ به کمترین ورود شدت خورشید، ارتفاع دودکش کمتر، جذب کمتری دارد، و انتقال حرارت پایین، محیط داخلی را در تمامی طبقات حتی اگر شرایط حرارتی کمی سرد باشد، قابل قبول است (۱۶). همچنین در سال ۲۰۱۳، توسط گیلانی و همکارانش بیان نمودند که با شناخت و کنترل لایه‌بندی حرارتی در محیط داخلی ساختمان، می‌توان به کارایی کارآمدتر و کنترل تهویه مطبوع دست یافت (۱۷). لایلا موسوی و همکارانش در سال ۲۰۱۴؛ بیان نمودند که تهیه هوای تازه با استفاده از تهویه طبیعی همراه با سیستم‌های غیرفعال می‌تواند لایه بندی حرارتی و تهویه آتریوم را بهبود بخشد (۱۸). باجراکارا نیز در سال ۲۰۱۶ بیان کرد که یک مدل ESP-I نسبتاً پایدار می‌تواند لایه بندی حرارتی در آتریوم‌ها را با دقت زیاد، شبیه‌سازی کند (۱۹). ژانگ و همکارانش در سال ۲۰۱۷ در رابطه با لایه بندی حرارتی در آتریوم‌ها دریافتند که شکل‌های بهینه آتریوم به ترتیب عبارتند از: دایره، مربع و مستطیل (۲۰). پژوهش حاضر به بررسی تحلیل عملکرد فرم و ارتفاع سقف نورگیر داخلی

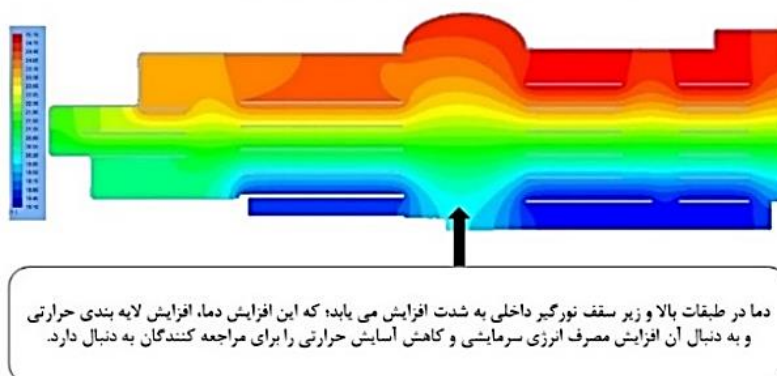
لایه بندی حرارتی در نورگیر داخلی

درجه حرارت هوا در داخل آتریوم به طور قابل توجهی با افزایش اندازه دهانه ها کاهش می‌یابد (۲۱)؛ بنابراین برای ایجاد جریان قوی و توزیع مناسب هوای مطلوب در ساختمان نسبت درجه‌های ورودی به خروجی مهم است. تئوری لایه بندی حرارتی بر انتقال گرما، انتقال حرارتی طبیعی و مدل‌های زاویه ای متمرکز است که در ابتدا در محدوده‌های محیطی مانند: دریاچه ها و جو زمین مورد بررسی قرار گرفت و در آن بسته به درجه حرارت؛ دما به صورت لایه‌های افقی تقسیم می‌شود (شکل ۱) (۲۲). حال این تئوری در آتریوم؛ جایی که فرایند انتقال گرما وجود دارد؛ بدین معنا که هوای گرم در بالا و هوای سرد در پایین جریان دارد؛ هوای گرم به فضاهای مجاور بالاتر رفته و سبب گرم شدن آن‌ها می‌شود، نمود پیدا می‌کند (۲۳). این تغییرات دما با توجه به ارتفاع در یک سیال به عنوان لایه بندی هوا شناخته می‌شود که اگر این لایه‌بندی هوا کاهش پیدا کند، میزان آسایش حرارتی در فضاهای مجاور آتریوم افزایش خواهد یافت (۲۴).

مرکزی ساختمان‌های تجاری اقلیم سرد و خشک می‌پردازد که تاکنون پژوهشی از این باب انجام نشده است. در این راستا تحقیق حاضر از نوع کاربردی، به لحاظ روش تحقیق از نوع شبیه سازی می‌باشد؛ که روش تحقیق مورد استفاده بر اساس یک روند تجربی، اندازه گیری میدانی و تحلیل مقایسه‌ای است. در ابتدا مطالعه عمومی از شرایط 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 است؛ به عنوان نمونه موردی انتخاب گردید. سپس دو عدد دیتالاگر به جهت برداشتهای میدانی دمای داخل نورگیر داخلی در طبقات در دو ماه (تیر و دی ۱۳۹۸) قرار گرفت و با ثبت داده‌های محیطی اطلاعات خروجی از دیتالاگرها در نرم‌افزارهای مورد نظر در جهت انطباق، صحت سنجی و دقت خروجی‌های نرم افزار، وارد شده و در مرحله بعدی به وسیله نرم افزار شبیه ساز فلونت، سقف نورگیر داخلی در ۴ فرم رایج (کروی (وضع موجود)، مشنوری، مسطح و سهموی) با چهار ارتفاع ۳ متر، ۵ متر، ۷ متر و ۱۰ متر شبیه سازی و میزان لایه بندی حرارتی و بار سرمایش در هر کدام از این مدل‌ها علاوه بر شبیه‌سازی توسط معادلات ریاضی سنجیده تا مناسب ترین مدل جهت کاهش لایه‌بندی حرارتی، بار سرمایش و افزایش آسایش حرارتی در مجتمع‌های تجاری دارای نورگیر داخلی مرکزی در اقلیم سرد و خشک استخراج گردد. از پیش فرض‌های مطرح شده در مدل‌سازی، در نظر گرفتن دمای مبنای سرمایش و گرمایش بر اساس معیار آسایش حرارتی استاندارد آمریکا، اشری^۱ برابر ۲۱/۵ تا ۲۷ درجه سانتی‌گراد، استخراج دمای وضع موجود از دیتالاگرهای نصب شده در محل، ثابت و بسته در نظر گرفتن بازشوها همراه با در نظر گرفتن ورود و خروج جریان هوا به صورت حائل هوا و تهویه طبیعی می‌باشد.

1- Ashrae (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.) 2010- 55.

مدل شماتیک لایه بندی حرارتی در نورگیر داخلی مجتمع تجاری



شکل ۱- نمودار شماتیک معرفی پدیده لایه بندی حرارتی در نورگیر داخلی و مشکل ایجاد شده به سبب این فرآیند، ماخذ (نگارندگان).

Figure 1. Schematic diagram introducing the phenomenon of thermal stratification in the interior Atrium and the problem caused by this process, Reference: (Authors).

دما برای مجموع داده‌ها بر حسب فارنهایت است و در بعضی از قسمت‌های ساختمان مانند فضای نورگیر، آسانسور و راه پله که در تماس با فضای آزاد نمی‌باشند؛ جهت محاسبه دمای این فضاها از رابطه ذیل استفاده می‌شود: $\Delta T = 0.5 * (Ti - To)$ که در این فرمول، $To = 0.5(75 - 14) = 30.5^\circ F$ ضرایب جهت برای دیوارهای خارجی هستند (۲۶). میزان انتقال حرارت از طریق پارتیشن‌های داخلی ما بین فضای نورگیر داخلی و فضاها مجاور آن از فرمول ذیل محاسبه می‌گردد:

$$A \left[\sum_{n=0} b_n (t_{bt} - n\Delta) - d_n \sum_{n=1} \frac{q_{pt} - n\Delta}{A} - t_{rc} \sum_{n=0} c_n \right] = q_{et}$$

q_{et} = میزان انتقال حرارت از طریق پارتیشن‌های داخلی بر حسب وات.

$t_{rc} =$ میزان درجه حرارت در فضاها مجاور نورگیر داخلی بر حسب درجه سانتی‌گراد.
 $d = b - d$ = ضرایب انتقال حرارت.
 $t_{rc} =$ دمای هوا محیط داخلی (۲۷).

بر اساس معادلات فوق بدیهی است که بارهای تهویه و گرما از تابش خورشید به دست می‌آید. انتقال حرارت در طول شبانه روز از طریق نورگیر داخلی به فضاها مجاور به دلیل متمرکز شدن لایه‌های حرارتی در زیر سقف نورگیر داخلی، بسیار زیاد است. این درحالی است که میزان انتقال حرارت از طریق دیوارهای داخلی با ضریب انتقال حرارت بالا به دلیل اختلاف

مولفه‌ها و معادلات پایه در بررسی لایه بندی حرارتی

جهت محاسبه بار گرمایشی داخل ساختمان از فرمول $Q = A * U * \Delta T$ استفاده می‌شود. در این فرمول A برابر است با مساحت جداره که در محاسبات بر حسب فوت مربع و U ضریب انتقال حرارت و واحد آن (Btu/h) می‌باشد (۲۵). جهت درک بهتر اهمیت نسبی انتقال‌های حرارتی و ایجاد لایه بندی حرارتی در نورگیر داخلی مجتمع‌های تجاری با توجه به پارامترهای فرم، ارتفاع و مصالح بر اساس فرمول‌های ذیل برخی محاسبات دستی برای سنجش شرایط لایه بندی حرارتی نورگیر داخلی در روزهایی که برای آن‌ها اندازه‌گیری گزارش شده است، انجام شده است: انتقال حرارت از طریق فضاها بیرونی و درونی ساختمان می‌تواند با استفاده از فرمول $q_{cond} = U A \Delta t$ محاسبه گردد. میزان تابش حرارت به سطوح داخل نورگیر داخلی را می‌توان با استفاده از فرمول $q_{rad} = G_{global} A$ تخمین زد و محاسبه میزان تهویه نیز با استفاده از فرمول $q_{vent} = 1200 Q \Delta t$ صورت می‌گیرد که در این راستا، q_{cond} میزان انتقال حرارت بر حسب (Btu/h) ، q_{rad} میزان انتقال حرارت رسانا تابشی بر حسب (Btu/h) ، q_{vent} بار تهویه بر حسب (Btu/h) ، A مساحت جداره بر حسب فوت مربع و U ضریب انتقال حرارت بر حسب (Btu/h) ، G_{global} تابش جهانی بر حسب (Btu/hft^2) و Q میزان گردش هوا بر حسب (cfm) است، Δt نیز حداکثر اختلاف

دوره آماری، دمای هوا در سردترین دوره سال ۱۳۹۸ در این منطقه بین ۵ تا ۳۵ درجه و در گرم‌ترین روز سال ۳۵-۳۸ درجه است. حداکثر رطوبت نسبی ماهانه در مشهد ۷۲٪ در پایان ماه دسامبر و حداقل رطوبت نسبی ماهانه در ماه جولای برابر با ۱۳/۲ درصد بوده است، که این اعداد نشان می‌دهند که اختلاف شرایط آب و هوایی در فصل‌های گرم و سرد زیاد و طراحی آن دشوار است. از این رو با بررسی دمای موثر که ناشی از دمای تابش میانگین، دمای مرطوب و دمای محسوس است، نمودار سایکرومتریک شهر مشهد و موقعیت نورگیر داخلی مجتمع تجاری مشخص شده است (شکل ۲). بر اساس این نمودار، نورگیر داخلی مجتمع تجاری در شهر مشهد در تمام روزهای تیرماه کاملاً در محدوده آسایش قرار گرفته است؛ حال در دی، بهمن و اسفند ماه طبقات همکف تا چهارم در محدوده آسایش قرار دارند و دو طبقه آخر نیز در ۱۰ روز اول ماه‌های دی و اسفند در محدوده آسایش و بقیه روزهای ماه از محدوده آسایش خارج است و نیاز به تهویه تبخیری، مصالح با ظرفیت حرارتی بالا، افزایش کارکرد وسایل سرمازا و کاهش تولید حرارت دارد. این درحالی است که در ماه‌های فروردین، اردیبهشت، مرداد و شهریور دمای نورگیر داخلی از محدوده آسایش خارج بوده و نیاز به تهویه طبیعی و مصالح سنگین است. در ماه‌های مهر و آبان تنها ۱۰ روز اول دمای نورگیر داخلی در محدوده آسایش قرار دارد و بقیه روزهای این دو ماه از محدوده آسایش خارج بوده و علاوه بر تهویه طبیعی و مصالح سنگین به رطوبت زنی نیاز دارد و آذر ماه نیز که نورگیر داخلی از محدوده آسایش خارج است نیاز به سیستم‌های گرمایش غیر فعال جهت رهیافت به آسایش حرارتی ضروری است. بر این اساس در نورگیر داخلی مجتمع تجاری اقلیم سرد و خشک شهر مشهد، نیاز به استفاده از سیستم‌های تاسیساتی جهت رهیافت به آسایش حرارتی ضروری است که عملکرد این سیستم‌ها میزان مصرف انرژی را افزایش می‌دهد.

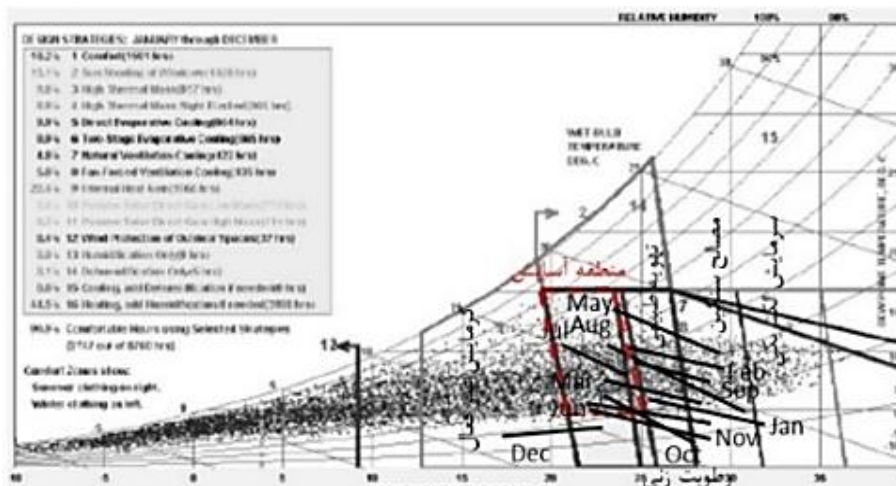
دمای ناچیز، بسیار ناچیز می‌باشد. همچنین میزان انتقال حرارت از دیواره‌ها و جداره بیرونی با توجه به سطح اشغال کم و ضریب انتقال حرارت بالا، نسبت به سقف نورگیر داخلی نیز بسیار ناچیز و اندک است (۲۸).

آسایش حرارتی

آسایش حرارتی را می‌توان به عنوان "شرایط ذهنی" که رضایت از حرارت محیطی را ایجاد می‌کند؛ بیان کرد (۲۱). آسایش حرارتی نمی‌تواند در شرایط مطلق تعریف شود و همواره تغییرات در هر شخص نسبت به شخص دیگر متفاوت است (۲۹). ابزار سنجش میزان آسایش حرارتی در ساختمان‌ها، ابزار فانگر است که در این ابزار، میزان PMV (میانگین رای پیش بینی شده توسط محققین بر اساس شش پارامتر دمای هوا، میانگین دمای تابشی، هوای نسبی، میزان پوشش لباس، رطوبت نسبی و میزان متابولیسم بدن) می‌بایست بر اساس استاندارد اشری در محدوده $+0/5$ تا $-0/5$ نگه داشته شود، به گونه‌ای که میزان عدم رضایت شرایط حرارتی (PPD) توسط ساکنان بیش از ۱۰٪ نباشد (۳۲). حال ارتباط میان لایه بندی حرارتی و آسایش حرارتی در نورگیر داخلی نیز به واسطه اختلاف دما و حرارت ناشی می‌شود که هرچه این اختلاف دما بیشتر باشد؛ آسایش حرارتی کمتر می‌گردد و عکس. چرا که اختلاف دما زیاد میان طبقه اول و آخر سبب ایجاد لایه بندی حرارتی بسیاری می‌شود که هرکدام از این لایه بندی‌های حرارتی، حرارت جمع شده در درون خود را به فضاهای مجاور می‌دهند و فضاهای مجاور خود را نیز از محدوده آسایش حرارتی خارج می‌نمایند. از این رو با کاهش لایه بندی حرارتی می‌توان به آسایش حرارتی دست یافت (۳۱).

شرایط محیطی نمونه مورد مطالعه

این پژوهش در شهر مشهد با اقلیم سرد و خشک در مختصات (۳۵°۳ تا ۳۵°۶۰' شرقی و ۱۲°۳۶ شمالی) و ارتفاع متوسط از سطح دریا ۹۴۳ متر، انجام شده است (۳۲). در طول



شکل ۲- نمودار سایکرومتری یک شهر مشهد همراه با مشخص نمودن محدوده حرارتی نورگیر داخلی مجتمع تجاری در شهر مشهد، ماخذ: (نگارندگان).

Figure 2. Mashhad psychrometric diagram with determining the thermal range of the interior Atrium of the commercial complex in Mashhad, Reference: (Authors).

نمونه مورد مطالعه

اتصال یافته است (جدول ۱). بازشویی 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 سایه اندازی 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 و علاوه بر آسانسور و راه پله فولادی مارپیچی، نیز طبقات را به هم ارتباط می‌دهد.

مجتمع تجاری الماس شرق شهر 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 و 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

جدول ۱- شرح ساختمان الماس شرق مشهد، ماخذ: (نگارندگان).

Table 1. Description of the East Diamond Mashhad Building, Reference: (Authors).

| عنوان / مشخصات | عنوان / مشخصات | تصویر |
|---|---------------------|-------|
| عنوان / مشخصات: زیربنا مجتمع: ۲۰۰۰۰ مترمربع | نوع کاربری: تجاری | |
| ارتفاع هر طبقه: حدود ۵ متر | موقعیت: شهر مشهد | |
| ساعات استفاده: ۹ تا ۲۴ | فرم: دایره | |
| درصد سطوح شیشه خور: ۲۵ درصد | تعداد طبقات: ۶ طبقه | |

دمای محیط بیرونی و کاهش روزهای آفتابی سبب افزایش مصرف انرژی و کارکرد بیشتر سیستم‌های تاسیساتی شده است. از این رو با تغییر پارامترهای تشکیل دهنده لایه‌های حرارتی در نورگیر داخلی مجتمع الماس شرق شهر مشهد با توجه به معادله $Q=A*U*\Delta T$ مشخص گردید که اوج انتقال حرارت از طریق دیواره‌های انتهایی بیرونی در حدود ۸ kW، اوج انتقال حرارت از طریق دیوار داخلی ۱۵ kW، اوج انتقال حرارت از طریق نورگیر داخلی ۴۳ kW، میزان انرژی تابشی به داخل فضای نورگیر داخلی ۳۹۰ kW، از بین رفتن اوج گرما از طریق تهویه در ۱ ACH به میزان ۸۴ kW و در ۶ ACH به میزان ۵۱۰ kW می‌باشد. با افزایش ارتفاع سقف نورگیر داخلی که به سبب آن مساحت جداره دیواره‌های نورگیر داخلی (A) افزایش می‌یابد، اختلاف درجه لایه بندی حرارتی در طبقات ۳۵/۰ درجه سانتی‌گراد بوده و هرچه این لایه‌های حرارتی به سقف نورگیر نزدیک‌تر می‌شوند، نسبت به طبقات زیرین متراکم‌تر و فشرده‌تر می‌شوند. همچنین با افزایش ارتفاع سقف نورگیر داخلی میزان فشرده‌گی لایه‌های حرارتی در طبقات میانی کاسته شده و حجم انبساط گرما در زیر سقف نورگیر داخلی بیشتر می‌گردد. از این رو هرچه ارتفاع سقف نورگیر داخلی کمتر باشد، میزان انبساط لایه‌های حرارتی و گرما در زیر سقف کمتر و به سبب آن انرژی مصرفی کاهش می‌یابد. با کاهش درجه حرارت در فضای زیر نورگیر داخلی، میزان لایه بندی حرارتی نیز کاهش می‌یابد. مطابق با شبیه‌سازی‌های انجام گرفته، میزان مصرف انرژی در فرم کرووی با ارتفاع ۳ متر، نسبت به وضع موجود ۱۵ KW و در ارتفاع ۷ متر ۳ KW کاهش داشته است. این در حالی است که در ارتفاع ۱۰ متر میزان مصرف انرژی ۸ KW افزایش یافته است. حال با جایگزینی فرم مسطح با ارتفاع ۵، ۷، ۱۰ و متر (A) جهت سقف نورگیر داخلی مجتمع تجاری الماس شرق شهر مشهد، در فرمول فوق مشخص می‌شود که میزان مصرف انرژی سرمایه‌ی در فرم مسطح با ارتفاع ۳ متر ۲۵۷۲/۷۸ kW، ارتفاع ۵ متر ۲۵۸۴/۷۲ kW، ارتفاع ۷ متر ۲۵۹۷/۱۴ kW، ارتفاع ۱۰ متر ۲۶۳۶/۷۱ kW است. از آنجایی که افزایش ارتفاع

در پژوهش حاضر تعداد ۴ مدل فرم هندسی رایج آتریوم (منشوری، مسطح، کرووی و سهموی) شبیه‌سازی شده و جایگزین فرم اصلی آتریوم ساختمان تجاری الماس شرق که در شهر مشهد با مساحت ۵۳۸ متر مربع در کف می‌باشد، شدند. لازم به ذکر است که نسبت طول به عرض آتریوم در تمامی شبیه‌سازی‌ها به دلیل همخوانی با نورگیر منتخب ۱:۱ و تغییر ارتفاع گنبد آتریوم به میزان ۳ تا ۱۰ متر در نظر گرفته شده است. چرا که اگر «نسبت h/\sqrt{s} کمتر از ۳ متر در نظر گرفته شود، لایه بندی حرارتی و تاثیر تابش خورشیدی به داخل ساختمان بسیار بیشتر از موقعی خواهد بود که h/\sqrt{s} ۱۰ یا بیشتر از آن است؛ و در این حالت تاثیر تابش خورشیدی از طریق سقف شیشه‌ای به منطقه مورد نظر آتریوم کوچک و قابل اغماض بوده و لایه بندی دمایی کاهش می‌یابد» (۳۳)، از این رو در تمامی ۴ فرم مورد نظر مقدار h/\sqrt{s} مابین ۳ تا ۱۰ می‌باشد. همچنین در جهت شبیه‌سازی لایه بندی حرارتی در داخل فضای آتریوم از نرم افزار فلونت استفاده شد. در این شبیه‌سازی نقطه مبنا ۲۵ درجه سانتی‌گراد و سطوح مجاور آتریوم به عنوان مرزهای دیواری با دمای ثابت مدل‌سازی شدند و عواملی مانند: تجهیزات و مصالح کف آتریوم، میزان روشنایی و تهویه نیز ثابت فرض شدند. این در حالی است که در چپه ورودی هوا در دیوار کناری مجاور پایین‌ترین سطح آتریوم با دمای ۱۲ درجه سانتی‌گراد قرار دارد و خروج هوا از طریق سقف آتریوم صورت نمی‌گیرد. دمای هوای مطلوب داخل ساختمان ۱۸ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده است و از اقلیم بین‌المللی محاسبات انرژی IWEC شهر مشهد در شبیه‌سازی استفاده شد.

فرم کرووی، مسطح، سهموی و منشوری

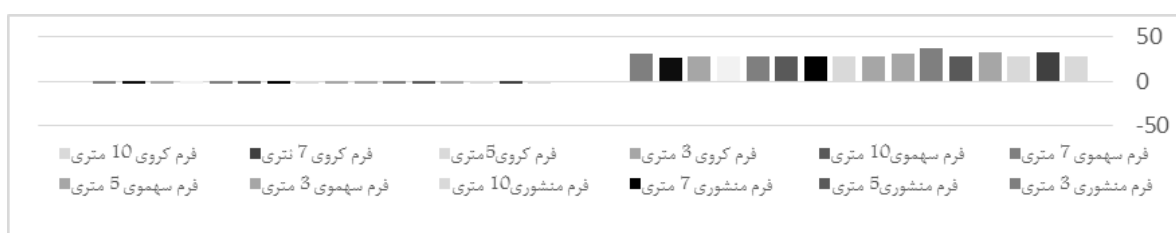
میزان مصرف انرژی در نورگیر داخلی بر اساس شبیه‌سازی و سنجش داده‌های موجود ۶۴۲۹/۳۲ kW است، محدوده بحرانی به لحاظ لایه‌بندی حرارتی طبقه پنجم و زیر سقف نورگیر داخلی است که در ماه‌های گرم سال از جمله تیر و مرداد ماه (۱۳۹۸) به دلیل افزایش دمای محیط بیرونی سبب افزایش دمای داخل و در دی و بهمن ماه (۱۳۹۸) نیز به دلیل کاهش

سقف نورگیر داخلی سبب افزایش درجه حرارت محیط داخلی و نفوذ بیشتر اشعه خورشید به داخل می‌شود، میزان مصرف انرژی و لایه بندی حرارتی تعیین می‌گردد. براین اساس میان ارتفاع‌های منتخب این فرم، فرم مسطح با ارتفاع ۳ متر نسبت به وضع موجود $23,22 \text{ kW}$ میزان مصرف انرژی سرمایشی را کاهش می‌دهد که به دنبال این کاهش مصرف انرژی و با توجه به کاهش ارتفاع سقف نورگیر داخلی (A) اختلاف دما میان طبقه همکف تا زیر سقف نورگیر داخلی (ΔT) کاهش و به دنبال آن لایه بندی حرارتی به میزان $0,28$ درجه سانتی‌گراد کاهش پیدا می‌کند. در فرم سهموی مانند فرم کروی و مسطح محدوده بحرانی به لحاظ لایه بندی حرارتی طبقه پنجم و زیر سقف نورگیر داخلی است، با افزایش ارتفاع سقف نورگیر داخلی که به سبب آن مساحت جداره دیوارهای نورگیر داخلی افزایش می‌یابد، اختلاف درجه لایه بندی حرارتی در طبقات با این فرم سقف $0,35$ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و با جایگزینی ابعاد سقف نورگیر داخلی (A) در فرمول $Q=A*U*\Delta T$ تعیین می‌گردد که میزان مصرف انرژی سرمایشی در فرم سهموی با ارتفاع $3 \text{ متر } 26,04/25 \text{ kW}$ ، ارتفاع $5 \text{ متر } 25,91/73 \text{ kW}$ ، ارتفاع $7 \text{ متر } 25,97/82 \text{ kW}$ ، ارتفاع $10 \text{ متر } 26,08/74 \text{ kW}$ است که مابین ارتفاع‌های منتخب این فرم، فرم سهموی 5 متر نسبت به وضع موجود $4,27 \text{ kW}$ میزان مصرف انرژی سرمایشی را کاهش می‌دهد که به دنبال این کاهش مصرف انرژی و با توجه به کاهش ارتفاع سقف نورگیر داخلی (A) اختلاف دما میان طبقه همکف تا زیر سقف نورگیر داخلی کاهش و به دنبال آن لایه بندی حرارتی نیز کاهش پیدا می‌کند. در فرم منشوری محدوده بحرانی از طبقه چهارم آغاز و در طبقه آخر و زیر سقف نورگیر داخلی به اوج می‌رسد. این محدوده بحرانی به لحاظ نفوذ اشعه خورشید به داخل نورگیر داخلی در تابستان و بالا رفتن دمای بیرونی است که در ماه‌های گرم سال از جمله تیر و مرداد ماه رخ می‌دهد. در دی و بهمن ماه به دلیل کاهش دمای محیط بیرونی و کاهش روزهای آفتابی، دما محیط داخل کاهش می‌یابد و در جهت رهیافت به آسایش حرارتی کارکرد سیستم‌های تاسیساتی بیشتر می‌شود که به دنبال خود افزایش مصرف انرژی را به همراه دارد. از این رو با تغییر پارامترهای

تشکیل‌دهنده لایه‌های حرارتی در نورگیر داخلی مجتمع تجاری الماس شرق شهر مشهد از جمله فرم و ارتفاع سقف نورگیر داخلی که سبب افزایش مساحت جداره دیوارهای نورگیر داخلی می‌گردد، اختلاف درجه لایه بندی حرارتی در طبقات $0,5$ درجه سانتی‌گراد نسبت به وضع موجود افزایش می‌یابد. با جایگزینی ابعاد سقف نورگیر داخلی (A) در فرمول فوق و با افزایش ارتفاع سقف نورگیر داخلی که سبب افزایش درجه حرارت محیط داخلی و نفوذ بیشتر اشعه خورشید به داخل می‌شود، میزان مصرف انرژی و لایه بندی حرارتی تعیین می‌گردد که بر این اساس میزان مصرف انرژی سرمایشی در فرم منشوری با ارتفاع $3 \text{ متر } 26,18/96 \text{ kW}$ ، ارتفاع $5 \text{ متر } 26,14/32 \text{ kW}$ ، ارتفاع $7 \text{ متر } 26,00 \text{ kW}$ ، ارتفاع $10 \text{ متر } 26,04 \text{ kW}$ است که تمامی ارتفاع‌های مورد سنجش در این فرم نسبت به وضع موجود از 4 تا 18 kW مصرف انرژی سرمایشی را افزایش می‌دهند. زیرا افزایش سطح جداره نورگیر داخلی با فرم منشوری (A)، و میزان ضریب انتقال حرارت شیشه نورگیر داخلی (پلی کربنات سبز رنگ) ($u=1/287$)، میزان مصرف انرژی و به دنبال آن لایه بندی حرارتی را افزایش می‌دهد. بنابراین از میان فرم‌های فوق که رایج ترین فرم‌ها جهت سقف نورگیر داخلی می‌باشند، فرم مسطح با ارتفاع 3 متر به لحاظ کاهش میزان مصرف انرژی و لایه بندی حرارتی نسبت به وضع موجود (فرم کروی با ارتفاع 5 متر) مناسب ترین فرم و ارتفاع جهت سقف نورگیر داخلی مجتمع تجاری اقلیم سرد و خشک است. همچنین آسایش حرارتی نیز در این فرم برای نورگیر داخلی مجتمع تجاری الماس شرق تا حدودی تامین گشته است. در ادامه در جهت کاهش میزان بار سرمایشی و لایه بندی حرارتی و تامین آسایش حرارتی برای مراجعه کنندگان، مصالحی با ظرفیت حرارتی بالای یک (مانند گرانیت با ضخامت $30/00$ میلی متر با گرمای ویژه 1000 J/Kg-k و ضریب هدایت حرارتی $2/8 \text{ W/m-k}$ و چگالی $2600 \text{ کیلوگرم بر مترمکعب}$ برای کف طبقات و بتن ویژه با ضخامت $100/00$ میلی متر با گرمای ویژه 1000 J/Kg-k و چگالی $2400 \text{ کیلوگرم بر مترمکعب}$ و ضریب هدایت حرارتی 2 W/m-k برای سقف طبقات لحاظ گردید. سپس میزان لایه بندی حرارتی، بار

بدون عایق کاهش دهد. لیکن به لحاظ تامین آسایش حرارتی (نسبت به حالت بدون عایق) تغییری ایجاد نمی‌شود. لذا با قراردادن عایق پلی یورتان می‌توان میزان 24 Kw نسبت به وضع موجود کاهش بار سرمایشی را شاهد بود. از این رو با کاهش پارامتر سطوح جداره نورگیر داخلی همراه با افزایش ضریب انتقال حرارت مصالح و استفاده از عایق حرارتی میزان اختلاف دما میان پایین ترین سطح نورگیر داخلی و بالاترین قسمت آن کاهش می‌یابد و به تبع آن لایه بندی حرارتی نیز کاهش پیدا می‌کند (شکل ۳ تا ۵).

سرمایش و آسایش حرارتی مورد سنجش قرار گرفت و مشخص گردید که این مصالح به مقدار ناچیزی معادل 4 kW در مصرف انرژی سرمایشی کاهش داشته است. در میزان آسایش حرارتی نیز بهبود حاصل گشته و به میزان $1/98$ در تیر ماه و $2/84$ در دی ماه رسیده است. با قراردادن عایق فوم پلی یورتان در قسمت تحتانی گرانیت کف، با ضخامت $30/00$ میلی متر و چگالی 30 کیلوگرم بر متر مکعب و ضریب هدایت حرارتی $0/28 \text{ W/m-k}$ می‌تواند کاهش محسوسی را در میزان مصرف انرژی سرمایشیبه میزان 8 Kw نسبت به مصالح مورد سنجش



شکل ۳- نمودار آسایش حرارتی نورگیر داخلی مجتمع تجاری الماس شرق شهر مشهد با جایگزینی ۴ فرم کرووی، مسطح، سهموی و منشوری با ارتفاع های ۳ متر، ۵ متر، ۷ متر و ۱۰ متر، ماخذ: نگارندگان).

Figure 3. Indoor skylight comfort chart of Almas shargh commercial complex in Mashhad with the replacement of 4 spherical, flat, parabolic and prismatic forms with a height of 3 meters, 5 meters, 7 meters and 10 meters, Reference: (Authors).



شکل ۴- نمودار میزان مصرف انرژی سرمایشی در نورگیر داخلی مجتمع تجاری الماس شرق شهر مشهد با جایگزینی ۴ فرم کرووی، مسطح، سهموی و منشوری با ارتفاع های ۳ متر، ۵ متر، ۷ متر و ۱۰ متر، ماخذ: نگارندگان).

Figure 4. Indoor skylight Cooling energy consumption chart of Almas shargh commercial complex in Mashhad with the replacement of 4 spherical, flat, parabolic and prismatic forms with a height of 3 meters, 5 meters, 7 meters and 10 meters, Reference: (Authors).



شکل ۵- نمودار میزان لایه بندی حرارتی در نورگیر داخلی مجتمع تجاری الماس شرق شهر مشهد با جایگزینی ۴ فرم کرووی، مسطح، سهموی و منشوری با ارتفاع های ۳ متر، ۵ متر، ۷ متر و ۱۰ متر، ماخذ: نگارندگان).

Figure 5. Indoor skylight Heat stratification chart of Almas shargh commercial complex in Mashhad with the replacement of 4 spherical, flat, parabolic and prismatic forms with a height of 3 meters, 5 meters, 7 meters and 10 meters, Reference: (Authors).

بحث و نتیجه گیری

با توجه به مدل سازی صورت گرفته در نمونه مورد مطالعه، نتایج بررسی در سه بخش میزان مصرف انرژی، لایه بندی حرارتی و محدوده آسایش بر اساس استاندارد اشری طبقه بندی می‌گردد. میزان انرژی مصرفی در ساختمان تجاری الماس شرق شهر مشهد با فرم نورگیر داخلی کروی و ارتفاع سقف ۵ متر، $414/6 \text{ KWH/m}^2$ می‌باشد که به طور کلی با شبیه سازی فرم‌های کروی، مسطح، منشوری و سهموی در ارتفاع سقف ۳ متر، ۵ متر، ۷ متر و ۱۰ متر، و جایگیری هر کدام از فرم‌ها در وضعیت موجود، مشخص گردید که فرم مسطح در ارتفاع سقف‌های مطرح شده دارای کمترین میزان مصرف انرژی و فرم منشوری در هر ۴ ارتفاع، دارای بیشترین میزان مصرف انرژی نسبت به وضع موجود می‌باشد که این میزان با افزایش ارتفاع سقف نورگیر داخلی در تمامی فرم‌های مطرح شده افزایش می‌یابد. از آنجا که هدف از انجام مدل سازی نمونه مورد مطالعه بررسی میزان مصرف انرژی، بارسرمایشی و کاهش میزان لایه بندی حرارتی همراه با تامین آسایش حرارتی در نورگیر داخلی مجتمع تجاری اقلیم سرد و خشک شهر مشهد با توجه به فرم و ارتفاع سقف نورگیر داخلی در شرایط بدون استفاده از تجهیزات تاسیساتی می‌باشد؛ اشکال (۴ تا ۶) نشان می‌دهند که میزان مصرف بارسرمایشی و لایه بندی حرارتی در فرم مسطح با ارتفاع سقف ۳ متر نسبت به وضع موجود (فرم کروی با ارتفاع سقف ۵ متر) کاهش به میزان ۷ درصد داشته است. به طور کلی با تغییر ارتفاع در تمامی فرم‌های مورد بررسی، میزان کاهش لایه بندی حرارتی ناچیز خواهد بود. از این رو فرم سقف نورگیرهای داخلی نسبت به ارتفاع آن، درجهت کاهش میزان لایه بندی حرارتی در داخل ساختمان بسیار موثرتر خواهند بود، حال ارتفاع سقف نورگیر داخلی به جهت افزودن به مساحت سطوح جداره نورگیر داخلی سبب افزایش بار سرمایشی می‌گردد. در رابطه با سنجش میزان آسایش حرارتی، در بررسی نمونه مورد مطالعه به جهت این که کلیه سیستم‌های تاسیساتی خاموش می‌باشد، ساختمان در تمامی روزهای دی ماه در وضعیت آسایش حرارتی و در تمامی روزهای تیر ماه، به دلیل افزایش لایه‌های حرارتی و دمای

داخلی همراه با ایجاد شرایط گلخانه ای، از محدوده آسایش فاصله بسیاری دارد. در این میان، به لحاظ آسایش حرارتی نیز فرم مسطح با ارتفاع سقف ۳ متر (A) مناسب ترین فرم و ارتفاع جهت سقف نورگیر داخلی مجتمع تجاری اقلیم سرد و خشک شهر مشهد است. از آنجایی که معماری بدون تاسیسات و سازه کامل نیست، پیشنهاد می‌گردد تا سیستم تهویه طبیعی یا دودکش خورشیدی در سقف نورگیر داخلی در جهت خروج گرمای انباشته شده در زیر سقف نورگیر داخلی تعبیه گردد تا بدین طریق لایه بندی حرارتی و دمای داخل نورگیر داخلی (ΔT) همراه با میزان مصرف انرژی کاهش یابد. همچنین با توجه به فرمول لایه بندی حرارتی ($Q = A * U * \Delta T$) پیشنهاد می‌گردد تا با افزایش ضریب هدایت حرارتی (U)، از مصالحی با ظرفیت حرارتی بالای یک (مانند گرانیت و بتن) همراه با عایق حرارتی در کف طبقات و راهروهای مجاور نورگیر داخلی استفاده نمود. زیرا با افزایش ظرفیت حرارتی مصالح حرارت و دما داخل نورگیر داخلی از طریق مصالح کف راهروها جذب می‌گردد و بدین صورت میزان اختلاف دما میان طبقات تا زیر سقف نورگیر داخلی کاهش و به دنبال آن لایه بندی حرارتی کاهش پیدا می‌کند.

از این رو تمامی موارد انجام شده در پژوهش حاضر در صدد دستیابی به موارد ذیل صورت گرفته است:

- دستیابی به رابطه بین فرم آتریوم و کاهش میزان مصرف انرژی.
- انتخاب مناسب ترین فرم و ارتفاع سقف آتریوم در اقلیم سرد و خشک شهر مشهد.
- کاهش لایه بندی حرارتی درجهت دستیابی به آسایش حرارتی مراجعه کنندگان در مجتمع تجاری اقلیم سرد و خشک شهر مشهد.
- توسعه راه حل های ساده و کم هزینه در جهت کاهش مصرف انرژی ساختمان و هزینه‌های کلی عملیاتی.
- ارائه اندازه گیری تجربی برای پیشرفت الگوریتم‌های آینده و تایید مدل‌های شبیه سازی موجود.

- of natural ventilation effective designs, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol34, pp654-670.
8. Moosavi, L., Mahyuddin, N., Ab Ghafar, N., 2015 Atrium cooling performance in a low energy office building in the Tropics, a field study, *Building and Environment*, vol94 , pp 384-394.
 9. Mak, N., 1991, Thermal stratification in atria, Bachelor of Engineering thesis, Department of Engineering, University of Wollongong.
 10. Bano, F., Kamal, M., 2016 Examining the role of building envelope for energy efficiency in office buildings in India, *Architecture Research*, vol 6, pp 107-115.
 11. Wall, m., 1996, Climate and energy use in glazed spaces, Lund University, Lund Institute of Technology, Department of Building Science.
 12. Laouadi, A., Atif, M., 2002, Prediction model of optical characteristics for barrel vault skylights, *Journal of the Illuminating Engineering Society*, vol 31, pp 52-65.
 13. Yiqun, P., Yuming. L., Zhizhong, H., 2009, STUDY ON ENERGY MODELING METHODS OF Atrium Buildings, Eleventh International IBPSA Conference Glasgow, Scotland, July 27-30.
 14. Du, J., Sharples, S., 2011, Assessing and predicting average daylight factors of adjoining spaces in atrium buildings under overcast sky. *Building and Environment*, 46(11), 2142-2152.
 15. Incropera, F. P., Lavine, A. S., and DeWitt, D. P. (2011). Fundamentals of heat and mass transfer, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ.

Reference

1. Luo, Q. ,2018, Modeling of opening characteristics of an atrium in natural ventilation, Massachusetts Institute of Technology.
2. mahmoudi zarandi, m., 2018, Atrium and Difficulties of Central Lighting in today's architecture of Iran, Tehran University, In Persian.
3. Fernandes, J., Pimenta, C., Mateus, R., Monteiro Silva, S., Bragança, L., 2015, Contribution of portuguese vernacular building strategies to indoor thermal comfort and occupants' perception, *Buildings*, 5(4) 1242-1264.
4. Mehrabi, J., Kazemian, F., 2017, Impact Factors on Energy Saving in Commercial-Residential Complexes for Sustainable Architecture (Case Study: Mahmoudabad City), in: The 2nd National Conference on Research Findings in Architecture, Architecture and Design, Iran-Gorgan, In Persian.
5. Christensen, S., 2014, A Model for Analyzing Heating and Cooling Demand for Atria Between Tall Buildings, Thesis of Master of Science, Brigham Young University, Department of Civil and Environmental Engineering, Richard J. Balling, Chair Matthew R. Jones Grant G. Schultz , July 2014.
6. Niknam, M., Najafgholipour, N., 2016, The Study of Energy Efficiency by Central Atrium in Residential Complexes, *INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED BIOTECHNOLOGY AND RESEARCH*, vol7, pp 1664-1675.
7. Moosavi, L., Mahyuddin, N., Ab Ghafar, N., Ismail, m., 2014, Thermal performance of atria: An overview

22. Holford, J.M. & G.R. Hunt., 2003, Fundamental atrium design for natural ventilation. *Building and Environment*. 38. 409-426.
23. Ashley, John., 2001, Modelification of Atrium To Improve Thermal And Day lighting Performance, School Of Physical And Chemical Sciences.
24. Timothy C.M., Ouzts, P.J., 2012, Zonal Approach to modeling Thermally Stratified Atria, Fifth National Conference of IBPSA-USA Madison, Wisconsin, August 1-3, 2012, pp168-176
25. Ashrae Standard., 2010, Standard 55-2010: thermal environmental conditions for human occupancy; Ashrae. Atlanta USA.
26. Bajracharya, S., 2016, Simulation of Temperature Stratification in Atriums: Validation of Basic Model Features, *Journal of the Institute of Engineering*, Vol. 10, No. 1, pp. 157–171
27. Bajracharya, S., 2016, computer simulation of thermal behavior atriums, Msc dissertation in mechanical engineering, Alberta, university of Calgary, Canada. 157-171.
28. Christensen, S. D., 2014, A Model for Analyzing Heating and Cooling Demand for Atria Between Tall Buildings ,All Theses and Dissertations. 4211, BYU ScholarsArchive Citation.
29. Pitts, A., 2013, Thermal Comfort in Transition Spaces, *Buildings* 2013, 3, 122-142; doi: 10.3390/buildings 3010122.
30. Mak. Nicholas., 1991., Thermal stratification in atria, Submitted in partial fulfilment of the requirements for the award of Bachelor of
16. Shafqat, H., 2012, NumericalL Investigations Of The Indoor Thermal Environment In Atria And Of The Buoyancy- Driven Ventilation In a Simple Atrium Building, A thesis submitted to the Department of Mechanical and Materials Engineering In conformity with the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, Queen's University Kingston, Ontario, Canada.
17. Gilani, S., Montazeri, H., Blocken, B., 2013, CFD simulation of temperature stratification for a building space: validation and sensitivity analysis, in: 13th conference of international building performance simulation association, Chambéry, France.
18. Moosavi, L., Ab Ghafar, N., Mahyuddin, N., 2016, Investigation of thermal performance for atria: A method overview, in: MATEC Web of Conferences, EDP Sciences, vol5, pp29.
19. Bajracharya, S., 2014 ,Simulation of Temperature Stratification in Atriums: Validation of Basic Model Features, *Journal of the Institute of Engineering*, Vol 10, PP 157-171.
20. Zhang, A., van den Dobbelen, A., Sun, Y., Huang, Q., Zhang, Q., 2017, The effect of geometry parameters on energy and thermal performance of school buildings in cold climates of china, *Sustainability*, vol 9, pp 1708.
21. Abdullah a.h, Wang.F., 2015, Modelling Thermal Stratification in Atrium Using Tas program and Verification of Prediction Results, *International Journal of Integrated Engineering*, pp78-89

- climate in Iran, Publications: Shahid Beheshti University Press, First published, Tehran, In Persian.
33. Pan, Y., Li, Y., Huang, Zh., 2009, Study on Energy Modeling Methods of Atrium Buildings, Eleventh International IBPSA Conference, Glasgow, Scotland, July 27-30.
- Engineering(mechanical), University of Wollongong Thesis Collection.
31. Luo, Q., 2018, Modeling of opening characteristics of an atrium in natural ventilation, Massachusetts Institute of Technology, pp178-189.
32. Tahbaz, M., Jalilian, S., 2008, Principles of architectural design with

