



# تأثیر جانمایی فضاهای داخلی مجاور آتریوم از نظر پراکنش نور و حرارت دریافتی

(مطالعه موردی: ساختمان اداری پژوهشگاه نیرو)

محیا چشمه‌نور<sup>1</sup>، فاطمه مهدیزاده سراج<sup>2</sup> و سید عباس یزدانفر<sup>3</sup>

تاریخ دریافت: 97/10/10

تاریخ پذیرش: 98/10/16

**چکیده:** به‌کارگیری آتریوم در ساختمان‌هایی با حجم کاربری بالا و ابعاد بزرگ روشی متداول در نور رسانی و تهویه فضاهای مرکزی داخلی است. عدم توجه به فاکتورهای مؤثر طراحی اقلیمی در آتریوم‌ها می‌تواند موجب عملکرد نامطلوب روشنایی و حرارتی فضاهای داخلی شود. یکی از موارد مهم در طراحی، محل قرارگیری فضاهای داخلی و فاصله آن‌ها از چاه آتریوم یا به عبارتی میزان عمق بالکن است. بر این اساس سؤال پژوهش این است که در طبقات مختلف و مابین فاصله‌های مختلف داخلی از چاه آتریوم، کدام فاصله مناسب‌تر است؟ و پاسخ به این سؤال هدف اصلی پژوهش است.

با توجه به هدف این تحقیق، دو فاکتور متأثر از یکدیگر، یعنی نسبت فاصله فضاهای داخلی از چاه آتریوم (عمق بالکن) به ارتفاع طبقه مربوط به آن، در 4 حالت 1/2، 1، 3/2 و آتریوم بدون بالکن (فضای بلافصل) در نظر گرفته شد. فاکتورهای مربوط به نور روز پویا شامل (sDA300/50%)، (ASE1000/250)، (UDI100-2000) با کمک نرم‌افزار (Design Builder v.6) به صورت سالیانه و دمای هوا در گرم‌ترین و سردترین روز سال در فضاهای مورد مطالعه داخل طی روش شبیه‌سازی با کمک نرم‌افزار (Ansys workbench) در محیط (fluent) به دست آمد. در پایان نتایج تحقیق حاکی از آن است که انتخاب فاصله مناسب از چاه آتریوم یا به عبارتی عمق بالکن مناسب برای جانمایی فضاهای داخلی مجاور آتریوم متناسب با جهت‌گیری آن‌ها می‌تواند بر عملکرد روشنایی و حرارتی سالانه این فضاها تأثیر به‌سزایی بگذارد. بر این اساس در جبهه شمالی داخل آتریوم مناسب‌ترین جانمایی فضاهای داخلی برای طبقات اول تا سوم (طبقات پایین و میانی) در حوزه بلافصل با چاه آتریوم است. همچنین در طبقه چهارم یا آخر بهترین وضعیت زمانی است که فاصله تا چاه آتریوم برابر با ارتفاع طبقه باشد. در جبهه جنوبی داخل آتریوم جانمایی فضاها برای طبقات اول و دوم نیز بهتر است در حوزه بلافصل باشد، اما برای طبقات سوم و چهارم (طبقات آخر) بهترین فاصله، زمانی است که عمق بالکن نصف ارتفاع طبقه باشد.

**واژگان کلیدی:** آتریوم، آسایش حرارتی، روشنایی نور روز پویا، فضاهای داخلی آتریوم.

<sup>1</sup> دانشجوی دکتری معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

<sup>2</sup> استاد، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران. (نویسنده مسئول)، پست الکترونیکی:

mehdizadeh@iust.ac.ir

<sup>3</sup> دانشیار، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

## 1- مقدمه

آتریوم‌ها با هدف نور رسانی به فضاهای مرکزی در ساختمان‌های با حجم وسیع تأثیر به‌سزایی در گرمایش، سرمایش، تهویه طبیعی و روشنایی نور روز می‌گذارند. عملکرد اقلیمی نورگیرهای داخلی ممکن است نقش تشدید کننده و یا در یک طراحی خردمندانه نقش تعدیل کننده‌ای داشته باشند (Medi, 2010, p.231). یکی از نکات مهم طراحی این‌گونه فضاها، انتخاب مناسب‌ترین حوزه برای جانمایی فضاهای داخلی در مجاورت آتریوم است. اما در صورتی که این موضوع رعایت نشود، می‌تواند موجب عدم تأمین نور روز کافی، خیرگی بصری و نور نامطلوب، حرارت اضافی در تابستان، هدر رفت انرژی و در نهایت عدم آسایش حرارتی کاربران شود. با توجه به این که ساختمان‌های با ابعاد وسیع و سطح اشغال جمعیتی بالای فضا در طول روز مصرف انرژی بیشتری دارند، اهمیت توجه به این مسأله دو چندان می‌شود که ضرورتی بر انجام این تحقیق است. در این پژوهش عملکرد روشنایی و حرارتی آتریوم مورد بررسی قرار می‌گیرد.

### 1-1- مروری بر پیشینه پژوهش

تحقیقات متعددی در حوزه روشنایی طبیعی آتریوم‌ها با لحاظ نمودن متغیرهای مختلفی انجام شده است. (Li et al., 2019) عملکرد روشنایی طبیعی را برای چند مدل آتریوم با سه پلان مربع، مستطیل و دایره با 5 ارتفاع مختلف و 5 نسبت متفاوت سطوح شیشه پوش بررسی کرده‌اند. طبق نتایج، پلان مربعی شکل عملکرد بهتری نسبت به بقیه دارد و هر چقدر ارتفاع آتریوم کمتر باشد نور بیشتری وارد فضاهای داخلی مجاور می‌شود. همچنین با افزایش نسبت سطوح شیشه‌ای سقف آتریوم، روشنایی داخلی برای هر سه مدل بیشتر می‌گردد. et (Ghasemi al., 2015) با در نظر گرفتن 11 اندازه مختلف در عرض آتریوم و همچنین تغییر نسبت ارتفاع نورگیر جداره فوقانی آتریوم به ارتفاع کلی آتریوم به 4 حالت مختلف، مطالعه‌ای بر روی تأثیر این متغیرها بر روی نورگیری فضاهای داخلی مجاور آتریوم انجام داده‌اند. این تحقیق طی روش شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار (IES

(VE)) با بهره‌گیری از موتور (Radiance) و روش تجربی برای اعتبارسنجی روشنایی نور روز در یک نمونه ماکت انجام شده است. اطلاعات به دست آمده از هر دو روش 90% به هم نزدیک بودند که بیانگر قابل اعتماد بودن این نرم‌افزار برای شبیه‌سازی نور روز است. نتایج حاکی از آن است که با افزایش ارتفاع نورگیرهای عمودی قسمت فوقانی جداره آتریوم، فاکتور متوسط نور روز در آتریوم و اتاق‌های مجاور آن افزایش می‌یابد. در اقلیم مورد مطالعه مؤثرترین عرض آتریوم برای حداکثر نورگیری تمام طبقات اندازه‌های 8، 12 و 16 متر است.

(Mohsenin and Hu, 2015) با در نظر گرفتن تناسبات آتریوم در سه مدل آتریوم مرکزی، الحاق شده و نیمه بسته با سه ابعاد مختلف که نشانگر سه نوع شاخص چاه 0/5، 1 و 2 است، عملکرد نور روز را از نظر اتونومی نور روز فضایی و دریافت سالانه نور مستقیم خورشید بررسی کردند. همچنین ارتفاع پایه‌های سقف نورگیر به عرض چاه آتریوم به عنوان عامل کنترل کننده با سه نسبت 1/3، 1/6 و بدون ارتفاع در اقلیمی مشخص برای 9 حالت بررسی کردند که نتایج حاکی از آن است که آتریوم‌ها با ابعاد مختلف ولی با شاخص چاه یکسان تقریباً مقدار میانگین نور روز، پویایی یکسانی دارند. (Ahadi et al., 2017) اتونومی و روشنایی مفید نور روز را در 4 ابعاد مختلف چاه آتریوم، 2 نوع شکل هندسی سیلندری و مکعب مستطیلی، 4 نوع ارتفاع مختلف و 3 نوع شیب جداره چاه آتریوم تهران با روش شبیه‌سازی نور روز در نرم‌افزار (Daysim) بررسی کردند و نشان دادند که آتریوم استوانه‌ای شکل عملکرد بهتری نسبت به آتریوم مربع شکل دارد، همچنین آتریوم با مساحت 16 مترمربع و ارتفاع 5 الی 4 طبقه نیز نسبت به دریافت روشنایی مورد نیاز یک ساختمان مسکونی بهینه است که این ارتفاع در آتریوم نسبت به ابعاد مختلف، متفاوت است. همچنین شیب دیواره بین 0 تا 9 درجه نیز برای نورگیری طبقه همکف چاه نور بهترین حالت است.

در حوزه عملکرد حرارتی آتریوم‌ها نیز تحقیقاتی صورت گرفته است. به منظور دستیابی به کارایی انرژی، لازم است یک آتریوم سه نیاز را برآورده کند: (1) باید طوری طراحی شود که فاکتور شکل یا نسبت سطح پوسته به

آسایش حرارتی را کاهش می‌دهند. همچنین دیوارهای واگرا عملکرد حرارتی را بهبود نمی‌بخشند. اما ترکیب دیوارهای مورب و عمودی در حالتی که دیوارهای مورب در طبقات پایین و دیوارهای عمودی در طبقات بالا استفاده شوند، مؤثرند. ارتفاع محل قرارگیری بازشوه‌های فضای داخلی نیز بر نرخ جریان هوا تأثیر می‌گذارد. بیشترین نرخ جریان هوا مربوط به حالتی است که بازشوی ورود و خروج هوا در نیمه بالایی فضا قرار گرفته و کمترین آن مربوط به حالتی است که بازشوها نزدیک به کف قرار گرفته‌اند (Shirzadi et al., 2018). (Mofidi et al., 2010) برای بررسی عملکرد اقلیمی نورگیرهای اداری در تهران شامل وضعیت دمایی، رطوبتی، جریان هوا و دمای سطحی دو نمونه موردی را طی فرایند تجربی با اندازه‌گیری‌های میدانی با کمک ابزار دیتالاگر و تحلیل مقایسه‌ای بررسی کردند که نتایج حاکی از آن است که نورگیرها از تغییرات دمای بیرون، تنها در طبقات بالا تأثیر پذیرفته و طبقات میانی و تحتانی با تغییر میانگین دمای بیرون همبستگی دارند. با ترسیم میانگین داده‌های دمایی-رطوبتی ماهانه هر نورگیر بر روی نمودار زیست‌اقلیمی ساختمانی مشخص شد فضاهای نورگیر موجود در ساختمان‌های اداری شهر تهران نه تنها عملکرد اقلیمی قابل قبولی ندارند بلکه باعث اختلال در آسایش انسان می‌شوند.

در تحقیقات پیشین متغیرهایی نظیر تناسبات شاخص چاه و ابعاد آن، فرم آتریوم، تناسبات ارتفاع آتریوم، شکل و جهت‌گیری چاه نور و نسبت بازشو فضاهای مجاور آن در کیفیات نوررسانی و عملکرد حرارتی فضاهای داخلی مؤثر بوده‌اند. این در حالی است که فاصله فضاهای مجاور آتریوم نسبت به چاه نور و ارتفاع طبقات به‌عنوان متغیر تأثیرگذار بر میزان نفوذپذیری نور روز در فضاهای داخلی و عملکرد حرارتی چاه نور حائز اهمیتند. با توجه به اینکه در آتریوم‌ها نیاز به برقراری تعادل بین نورگیری و حرارت دریافتی مناسب است، یافتن جانمایی مناسب فضاهای داخلی و پاسخ‌ده به این موارد، هدف این تحقیق است. بنابراین با در نظر گرفتن نسبت بین عمق بالکن و ارتفاع طبقات می‌توان به بررسی موارد مؤثر دیگر در نورگیری فضاهای داخلی پرداخت.

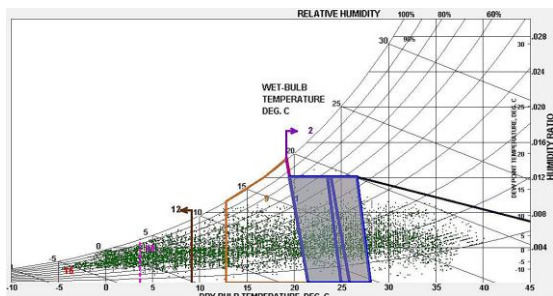
حجم را برای کل ساختمان، به منظور جلوگیری از انتقال حرارت، کاهش دهد؛ (2) باید حداقل سطوح شیشه‌ای را برای نیاز ساختمان از قبیل روشنایی طبیعی و آسایش بصری داشته باشد؛ و (3) بر روی نماهای آتریوم باید سایبان خورشیدی قابل تنظیم برای کنترل نور خورشید جهت جلوگیری از گرمای اضافی ناخواسته نصب شود (Danielski et al., 2016). (Vujović and Krstić, 2017) در تحقیقی کلی بر روی ساختمان‌های آتریوم‌دار و بدون آتریوم، 4 نمونه ساختمان از قبیل ساختمان U شکل با حیاط داخلی روباز، ساختمان آتریوم‌دار با سقف شیشه‌ای، ساختمان آتریوم‌دار با سقف شیشه‌ای عایق‌بندی شده و ساختمان آتریوم‌دار با سایبان‌هایی بر جداره شیشه‌ای با جهت‌گیری‌های مختلف را در نرم‌افزار (Energy Plus) شبیه‌سازی و طی فرایند تحلیلی-مقایسه‌ای، نتیجه‌گیری کرده‌اند. در ساختمان بدون آتریوم اتلاف انرژی بیشتر از حالات دیگر است. اما مشکل ساختمان با آتریوم، گرمای بیش از حد در تابستان است که با استفاده از سایبان می‌توان تا 30% از گرما جلوگیری کرد. متغیرهای تأثیرگذار نظیر ارتفاع آتریوم و میزان بازشوی بین فضاها نیز می‌تواند بر عملکرد حرارتی آتریوم‌ها تأثیر بگذارد. بازشوی خروجی با ابعاد بزرگتر در چاه آتریوم دمای هوا را در مرکز آتریوم نسبت به فضاهای جانبی کاهش می‌دهد. همچنین زمان آسایش را تا 30 درصد افزایش و نیاز به وسایل سرمایشی را تا 12 درصد کاهش می‌دهد (Moosavi et al., 2018). (Ahadi et al., 2018) توزیع نور و جریان حرارتی را در سه مدل تناسبات چاه آتریوم با اضلاع مربعی 4 در 4 و مستطیلی با جهت‌گیری شمالی-جنوبی و شرقی-غربی بررسی کرده‌اند. آتریوم با پلان مربعی شکل عملکرد روشنایی طبیعی بهتری برای فضاهای مجاور دارد ولی جریان هوا به داخل فضاهای مجاور در آتریوم با پلان مستطیلی و جهت‌گیری شرقی-غربی بهتر است. (Shafiei and Moosavi, 2016) زاویه دیوارهای آتریوم را با در نظر گرفتن بازشوه‌های مساوی برای هر طبقه جهت مطالعه عملکرد حرارتی و تهویه بررسی کرده‌اند. در پایان مشخص شد آتریوم با دیوارهای همگرا تنها در طبقاتی که پایین‌تر از فشار خنثی هستند آسایش حرارتی را بهبود می‌بخشند و در طبقات بالاتر

## 2-1- مبانی نظری

### 2-1-1- شرایط نور روز برای فضاهای داخلی آتریوم

نور روز به صورت پویا برای بررسی دریافت سالیانه نور مستقیم خورشید (ASE)، استقلال فضایی نور روز (sDA) و روشنایی مفید نور روز (UDI) تحلیل شده است. طبق استاندارد (LEED v.4) و تحقیقات مختلف دریافت بیش از 1000 لوکس تابش مستقیم خورشید باعث خیرگی چشم می‌شود. بر این اساس اگر 10% فضا یا بیشتر در معرض تابش 1000 لوکس به مدت بیش از 250 ساعت (ASE1000/250h)، در طول سال باشند، باعث عدم رضایت آسایش بصری می‌شود. این مقدار برای 7% فضا خنثی و 3% فضا قابل قبول است (Dutra de Vasconcellos, 2017). در نرم‌افزار (Design Builder v.6) میزان قابل قبول برای (ASE1000/250h) بر حسب درصد مطلوبیت فضایی بیان شده است. بدین صورت که بازه 90 تا 100 درصد به معنای آن است که این مقدار از فضا در معرض تابش مستقیم نیست و همان 10% استاندارد یا کمتر است. طبق استاندارد (IES) بهتر است حداقل 55% فضا دارای روشنایی 300 لوکس برای 50% ساعات اشغال فضا (8 صبح تا 6 بعدازظهر) در طول سال باشد که آن را با (sDA300/50%) نشان می‌دهند (Dutra de Vasconcellos, 2017). بر این اساس طبق استاندارد (LEED v.4) برای (sDA300/50%)، باید حداقل مقادیر 55%، 75% و 90% به دست آیند. روشنایی مفید نور روز برای ارزیابی فضاهای پلان-عمیق متصل به آتریوم‌ها و چاه نوری بسیار مؤثر است. شدت روشنایی طبیعی یا مفید در بازه 100 تا 2000 لوکس (UDI100-) روشنایی مفید نور روز تعریف می‌شود. اگر (Miri and Kompani, 2000) برابر یا بیشتر از 50% باشد، مکانی با دسترسی به روشنایی مفید تلقی می‌شود (Saeed, 2014).

دمای آسایش معرفی شده‌اند. اما یکی از روش‌های دقیق و کامل برای سنجش دمای آسایش مدل دمای استاندارد مؤثر (SET<sup>1</sup>) است که عبارت است از دمای خشک هوایی با رطوبت نسبی 50 درصد که متناسب با نوع پوشش فصل برای نوع فعالیت مورد نظر در محیط واقعی استاندارد باشد. در این مقیاس معیار سنجش دما بر حسب دمای عامل (T<sub>o</sub><sup>2</sup>) است که میانگین دمای متوسط تشعشعی و دمای خشک را در نظر می‌گیرد. در این مدل تأثیر سرعت باد بر روی آسایش حرارتی در رابطه با دمای هوا، دمای تشعشعی و رطوبت مخصوص سنجیده می‌شود (ASHRAE Standard 55, 2010). شکل (1) محدوده آسایش را در نمودار سایکرومتریک شهر تهران بر اساس دمای هوا و میزان رطوبت با در نظر گرفتن نوع پوشش در هر فصل با استفاده از نرم افزار (climate consultant) نشان می‌دهد. نرم افزار (climate consultant) شرایط اقلیمی و آسایش هر منطقه را با کمک داده‌های آب‌وهوایی در قالب استانداردهای مختلف از جمله (ASHRAE) ارائه می‌دهد.



شکل 1- محدوده آسایش طبق استاندارد (ASHRAE 55, 2010)

(ناحیه خاکستری) در نمودار سایکرومتریک شهر تهران

Fig. 1- Comfort Zone based on (ASHRAE 55, 2010) Standard (gray area) in Psychrometric chart of Tehran city.

مبنای استاندارد بین‌المللی در آسایش حرارتی در مدل فنگر بیان می‌شود که طی آن تخمین میانگین آرای افراد (PMV<sup>3</sup>) نسبت به شرایط گرمایی محیط سنجیده می‌شود. این مقیاس در بازه -4 تا +4 درجات متفاوت احساس دمایی را از بسیار گرم تا بسیار سرد و حالت صفر معادل خنثی ارائه می‌دهد. شکل (2) محدوده آسایش را طبق دمای مؤثر استاندارد در حالتی که نرخ متابولیسم

### 2-2-1- شرایط آسایش حرارتی برای فضاهای داخلی

#### آتریوم

دمای هوا، دمای متوسط تشعشعی، رطوبت هوا، جریان هوا، میزان فعالیت و نوع پوشش از جمله عوامل مؤثر بر آسایش حرارتی هستند است (Ghiabaklou, 2011). تاکنون استانداردهای مختلفی برای سنجش

می‌رود. نرم‌افزار (Daysim) که بر پایه (Radiance) کار می‌کند، تغییرات نور روز را به طور سالانه و در فواصل زمانی 5 دقیقه تا 1 ساعت (با استفاده از فایل اقلیمی epw. که شامل داده‌های سالانه آب‌وهوایی شهرهای مختلف است) به صورت دینامیک و پویا بررسی می‌کند.

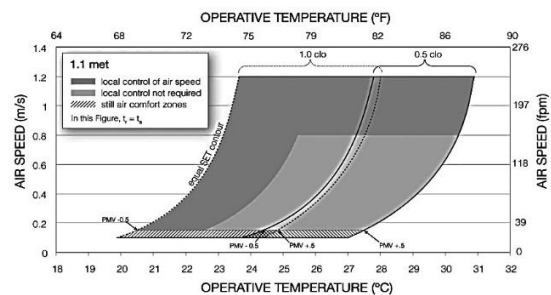
با توجه به اینکه آتریوم‌ها با پدیده دودکشی، چند لایه بودن دمای هوا و تهویه ترکیبی روبه‌رو هستند، در این تحقیق دمای هوا با کمک دینامیک سیالات محاسباتی (CFD<sup>5</sup>) که جریان هوا و دما را به عنوان یک سیال به طور دینامیک بررسی می‌کند، اندازه‌گیری می‌شود. در ساختمان‌های بلند مرتبه که تهویه به صورت ترکیبی است، شبیه‌سازی (CFD) می‌تواند الگوی پراکندگی سرعت، فشار، تغییرات دما و نرخ توزیع جریان هوا را در ارتباط با حوزه‌های مختلف ارزیابی کند (Sha and Qi, 2020). برای سنجش میزان تأثیر دینامیکی جریان تهویه طبیعی بر دمای فضاهای مجاور آتریوم و لایه‌بندی حرارت داخلی، حالات مختلف جانمایی این فضاها در فصول تابستان و زمستان در نرم‌افزار (Ansys Workbench) با کمک سیستم تحلیلگر (fluent) بررسی شدند. (fluent) ابزاری قدرتمند برای شبیه‌سازی انواع مدل‌های فیزیکی در حوزه دینامیک سیالات محاسباتی است.

هدف این تحقیق به دست آوردن عمق بالکن مناسب بر مبنای روشنایی دریافتی نور روز و دمای هوای داخلی است. بر این اساس فاصله فضای داخلی از چاه آتریوم (عمق بالکن) به ارتفاع طبقه، در 4 نسبت مختلف مطابق فرمول (1) در نظر گرفته شده است.

$$\frac{A}{B} = X \quad (\text{فرمول 1})$$

در فرمول (1)، (A) فاصله از چاه آتریوم (عمق بالکن)، (B) ارتفاع طبقه و (X) نسبت حاصل است. 4 نسبت حاصل از فرمول (1) عبارتند از: فاصله صفر یا به عبارتی آتریوم بدون بالکن (زمانی که فضا به صورت بلافاصل با چاه آتریوم است)، فاصله با نسبت 1/2 (زمانی که عمق بالکن نصف ارتفاع طبقه است)، فاصله با نسبت 1/1 (زمانی که عمق بالکن برابر ارتفاع طبقه است) و فاصله با

بدن 1.1 (در حالت نشسته و ساکن مانند فضای اداری) و میزان عایق حرارتی لباس (clo<sup>4</sup>) در زمستان (1.0clo) و تابستان (0.5clo) می‌باشد را در بازه -0.5 (PMV) تا +0.5 (PMV) نشان می‌دهد که در آن احساس تعادل دمایی برقرار است. طبق نمودار شکل (2) محدوده آسایش بر اساس دمای عامل در تابستان در بازه 23.5 تا 27 درجه سانتی‌گراد و در زمستان در بازه 20 تا 24.5 درجه سانتی‌گراد است.



شکل 2- محدوده آسایش برای انسان طبق دمای مؤثر استاندارد (ASHRAE 55)

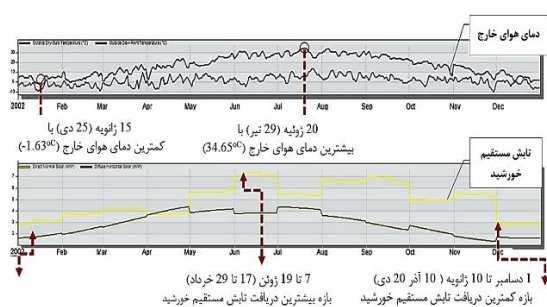
Fig. 2- Comfort Zone for human based on Standard Effective Temperature (ASHRAE 55, 2010)

## 2- روش تحقیق

روش این تحقیق بر پایه شبیه‌سازی رایانه‌ای است. (Wanga and Zhai, 2016) مروری بین تکنیک‌های مختلف شبیه‌سازی رایانه‌ای بین سال‌های 1987 تا 2014 داشته‌اند. بر پایه این تحقیق نرم‌افزار (ECOTECT) و موتور (Energy Plus) در شبیه‌سازی نور روز و فاکتورهای دیگر کارآمدترند. (Builder Design) برای شبیه‌سازی انرژی به عنوان رابط گرافیکی قوی بر روی موتور (Energy Plus) به کار می‌رود. قابلیت‌های این نرم‌افزار شامل محاسبه کل انرژی مصرفی ساختمان، محاسبه بار سرمایش و گرمایش ساختمان، تصویرسازی تشعشعات خورشیدی روی پنجره‌ها و دیگر سطوح، محاسبه عوامل نور روز و نمایش موقعیت خورشید و مسیر خورشید نسبت به مدل در هر روز و ساعت است (MehdiZadeh Saradj et al., 2014). (Radiance) نیز مجموعه‌ای از برنامه‌هایی است که در تجزیه و تحلیل و تصویرسازی نور و روشنایی به کار



بیشترین دمای خارج در طول سال در 20 ژوئیه مطابق با 29 تیر 34.65 درجه سانتی‌گراد و در سردترین روز سال یعنی 15 ژانویه مطابق با 25 دی -1.63 درجه سانتی‌گراد است. همچنین از 10 آذر تا 20 دی کمترین دریافت از تابش مستقیم خورشید و 17 تا 29 خرداد بیشترین دریافت از تابش مستقیم خورشید اتفاق می‌افتد. بر این اساس این دو روز به عنوان روزهای بحرانی دمای هوای داخل در محدوده‌های مورد مطالعه شبیه سازی شدند.

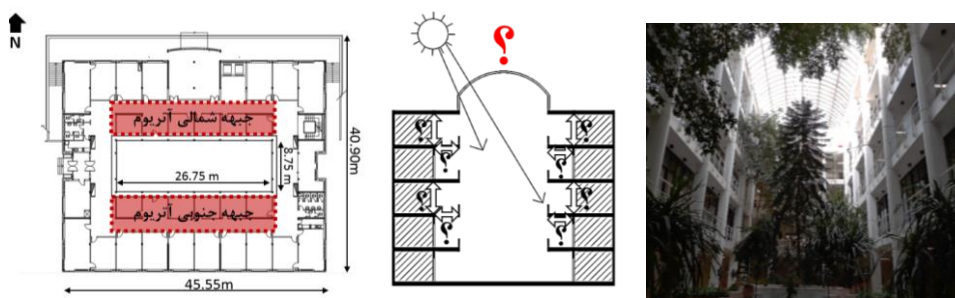


شکل 4- بالا: نمودار دمای هوای خارج و پایین: تابش مستقیم خورشید

Fig. 4- Top: Outside air temperature diagram and bottom: direct sunlight

### 3-1- بررسی دمای فضاهای داخلی

دمای فضاهای داخلی آتریوم در دو روز 29 تیر و 25 دی به عنوان گرم‌ترین و سردترین روز بررسی شدند. نمونه‌ای از لایه‌بندی حرارتی آتریوم که توسط نرم افزار (fluent) محاسبه شده است، در شکل‌های (5 و 6) در دو حالت مختلف نشان داده شده است. با توجه به اطلاعات به دست آمده از تحلیل جریان دما توسط تهویه طبیعی داخل آتریوم، دمای هر فضای مورد نظر در فصول تابستان و زمستان بررسی شده است.



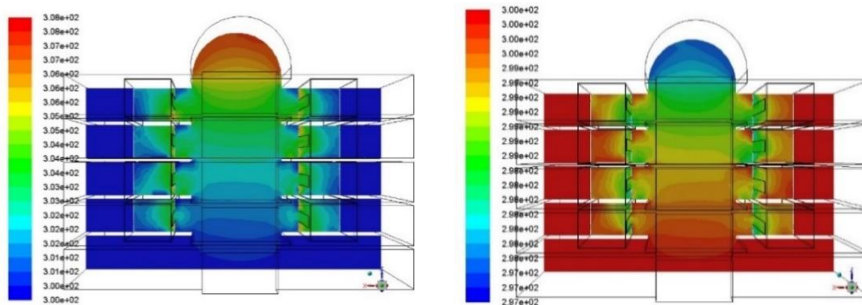
شکل 3- محدوده پلان و مقطع مورد مطالعه آتریوم

Fig. 3- Plan and section of studied area of the atrium

نسبت 3/2 (زمانی که عمق بالکن 1.5 برابر ارتفاع طبقه است). لازم به ذکر است که نسبت 2/1 (زمانی که عمق بالکن 2 برابر ارتفاع طبقه است) به دلیل فاصله بیش از حد با مقادیر مطلوب روشنایی و حرارتی حذف گردید. نسبت فاصله فضاهای داخلی مجاور آتریوم از چاه نور آتریوم به عنوان متغیر مستقل و میزان دریافت نور روز به صورت پویا و دما در این فضاها به عنوان متغیرهای وابسته در نظر گرفته شدند. همچنین به دلیل بررسی تأثیر عامل جانمایی اتاق‌ها، مابقی فاکتورها از قبیل شاخص چاه، ابعاد پنجره سطوح نورگذر داخلی، سایبان‌ها و ... به عنوان متغیرهای کنترل، ثابت در نظر گرفته شدند. برای این کار یک نمونه آتریوم اداری در تهران به دلیل تناسب با موضوع تحقیق و ابعاد عملکردی آن و همچنین استفاده از شیشه شفاف و مهار نکردن تابش خورشید، انتخاب شد. فضاهای داخلی مجاور چاه نور آتریوم با پارتیشن‌های سراسر شیشه شفاف از فضای آتریوم جدا شدند که ابعاد آن‌ها در حقیقت ابعاد کلی جداره متصل به چاه نور است و این ابعاد خود نیز از متغیرهای کنترل است. در این تحقیق ساختمان پژوهشگاه نیرو واقع در شهر تهران با پنج طبقه حول آتریوم مرکزی با سقف سراسر شیشه‌ای بررسی شده است (شکل 3).

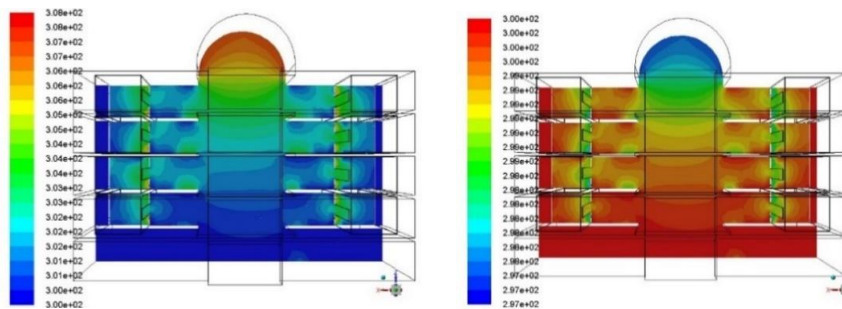
### 3- نتایج و بحث

طبق شکل (4) پارامترهای اقلیمی و روشنایی مربوط به سایت موردنظر توسط نرم‌افزار (Design Builder) با بهره‌گیری از فایل اقلیمی و آب و هوایی (epw.) برای تهران نشان داده شده است.



شکل 5- رفتار حرارتی در زمستان (شکل سمت راست) و تابستان (شکل سمت چپ) در فضاهای داخلی آتریوم در حالی که نسبت عمق بالکن به ارتفاع طبقه 1/2 باشد.

Fig. 5- Thermal behavior in winter (right figure) and summer (left figure) in atrium interior spaces when the ratio of balcony depth to floor height is 1/2.



شکل 6- رفتار حرارتی در زمستان (شکل سمت راست) و تابستان (شکل سمت چپ) در فضاهای داخلی آتریوم در حالی که نسبت عمق بالکن به ارتفاع طبقه 3/2 باشد.

Fig. 6- Thermal behavior in winter (right figure) and summer (left figure) in atrium interior spaces when the ratio of balcony depth to floor height is 3/2.

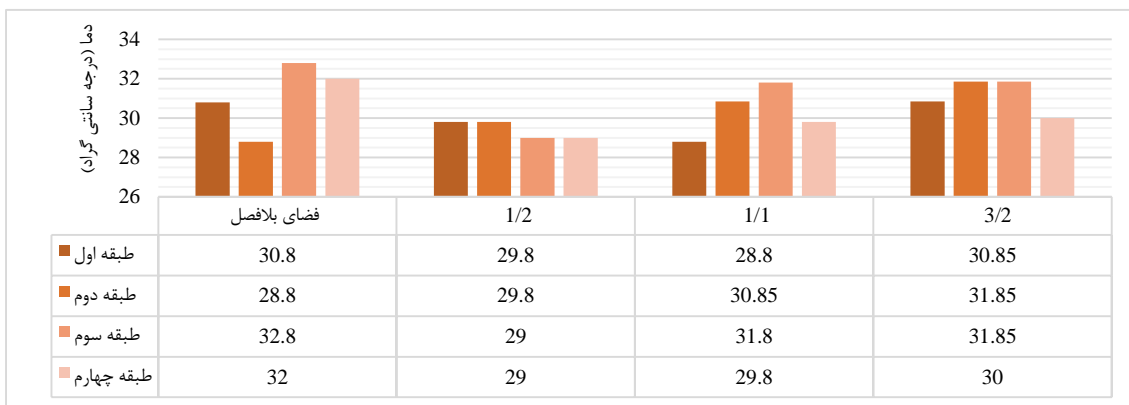
شکل‌های (9 و 10) دمای جبهه شمالی و جنوبی را در زمستان نشان می‌دهند که این میزان خارج از بازه آسایش حرارتی (20 تا 24.5 درجه سانتی‌گراد) در این فصل است. اما در مجموع نسبت به تابستان دما در تمامی حالات با حداکثر 1 درجه اختلاف از محدوده آسایش، متعادل‌تر است و نیاز به وسیله گرمایشی احساس نمی‌شود.

### 3-2- بررسی روشنایی فضاهای داخلی

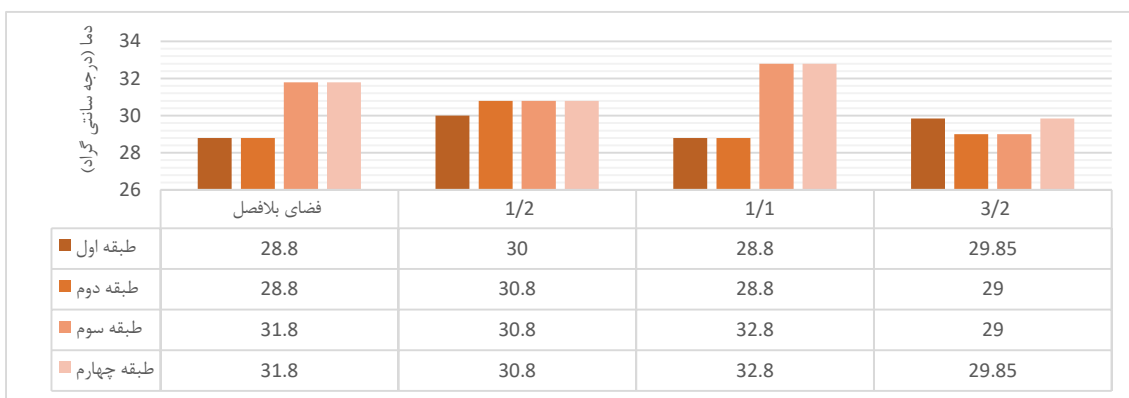
(شکل‌های 11 تا 16) روشنایی پویا به صورت اتونومی فضایی نور روز ( $sDA^6$ )، دریافت سالیانه نور خورشید ( $ASE^7$ ) و روشنایی مفید نور روز ( $UDI_{100-2000}^8$ ) را در جبهه شمالی و جنوبی چاه آتریوم در هر طبقه برای 4 حالت قرارگیری فضای بلافاصله با آتریوم، فضا با فاصله نسبت 1/2، فضا با فاصله نسبت 1/1 و فضا با فاصله نسبت 3/2 نشان می‌دهند. دامنه مطلوب تعریف شده برای اتونومی فضایی نور روز باید برابر یا بیشتر از 55% باشد.

دمای به دست آمده با در نظر گرفتن دمای هوا و دمای تشعشعی حاصل از دریافت خورشید است. شکل‌های (7 تا 10) دمای فضاهای داخلی را در 4 حالت قرارگیری فضای بلافاصله با آتریوم، فضا با فاصله نسبت 1/2، فضا با فاصله نسبت 1/1 و فضا با فاصله نسبت 3/2 نشان می‌دهند.

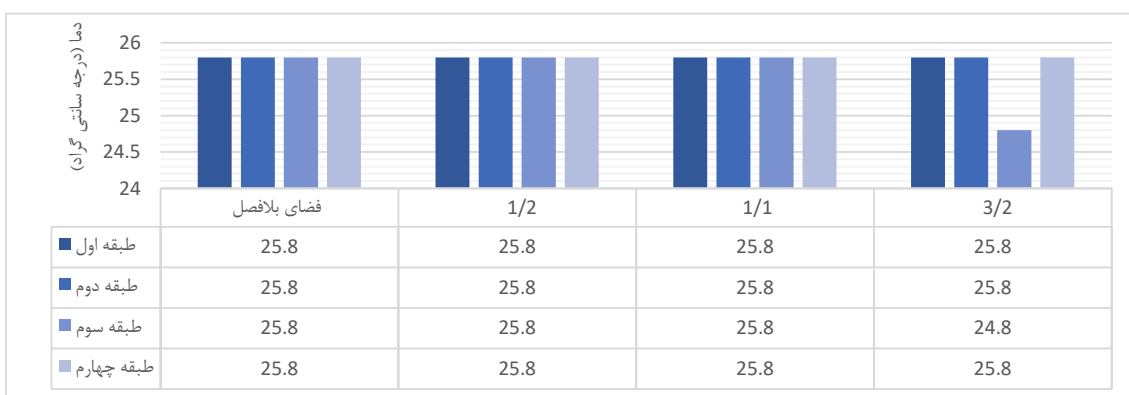
شکل‌های (7 و 8) میزان دمای هر طبقه را در دو جبهه شمالی (رو به تابش مستقیم آفتاب) و جبهه جنوبی (خلاف جهت تابش آفتاب) در فصل تابستان نشان می‌دهد. با توجه به بازه آسایش حرارتی (23.5 تا 27 درجه سانتی‌گراد) در تابستان، هیچ یک از فضاها در این حوزه قرار نمی‌گیرند. اما در مجموع برای جبهه شمالی در حالی که فاصله فضای داخلی تا چاه آتریوم به نسبت 1/2 و برای جبهه جنوبی در حالی که فاصله فضای داخلی تا چاه آتریوم به نسبت 3/2 است، دمای داخل کمتر از حالات دیگر است.



شکل 7- دمای جبهه شمالی در تابستان  
Fig. 7- Temperature of the northern side in summer



شکل 8 - دمای جبهه جنوبی در تابستان  
Fig. 8- Temperature of the southern side in summer



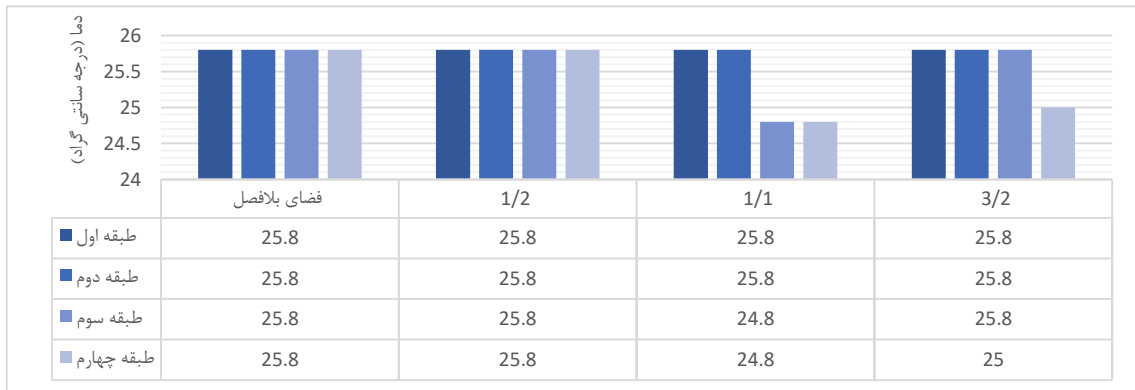
شکل 9- دمای جبهه شمالی در زمستان  
Fig. 9- Temperature of the northern side in winter



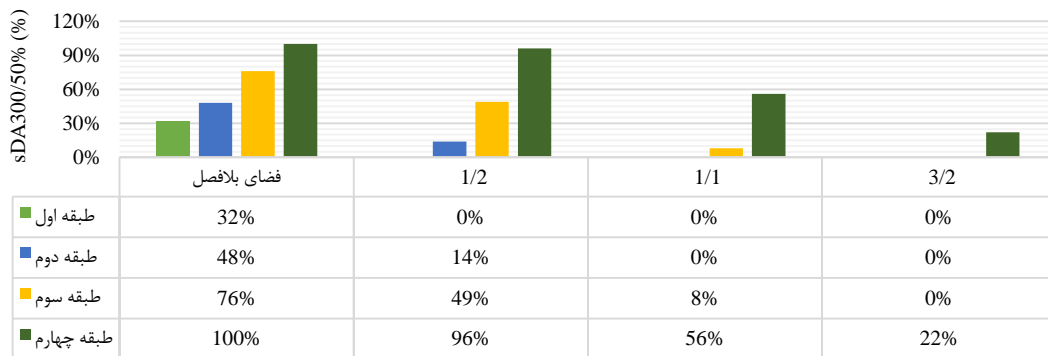
در نرم افزار دیزاین بیلدر این درصد نشانگر عدم دریافت تابش مستقیم خورشید و آسایش بصری است. بدین صورت که مطابق شکل های (13 و 14) وقتی نسبت فاصله فضاها از چاه آتریوم  $3/2$  و  $1/1$  است، در جبهه شمالی در اغلب موارد خارج از دریافت نور مستقیم خورشید و خیرگی هستند و در جبهه جنوبی در 100 درصد موارد تابش مستقیم خورشید را دریافت نمی کنند.

مطابق شکل های (11 و 12) در جبهه شمالی و جنوبی برای کل سال زمانی که فضاها در حوزه بلافضل چاه آتریوم قرار دارند، شرایط اتونومی فضایی نور روز نسبت به بقیه حالات مناسب تر است.

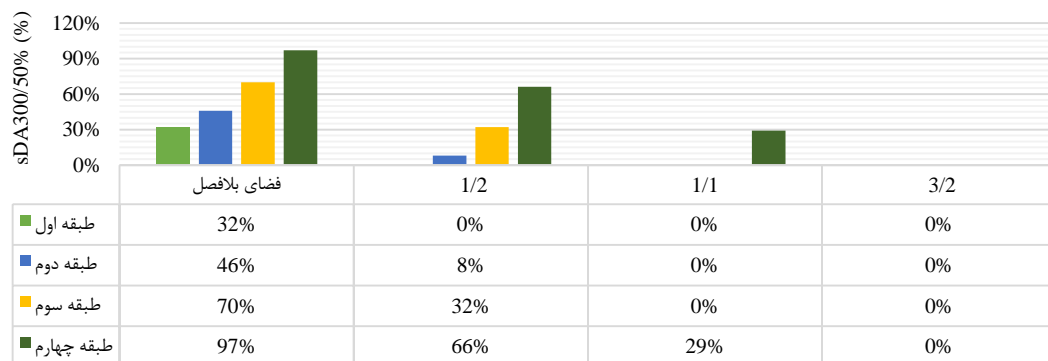
طبق استاندارد اگر سالانه بیشتر از 90% فضا در معرض تابش نور مستقیم خورشید باشد، باعث خیرگی و عدم آسایش بصری می شود.



شکل 10- دمای جبهه جنوبی در زمستان  
Fig. 10- Temperature of the southern side in winter



شکل 11- درصد اتونومی فضایی نور روز (sDA300/50%) بر اساس موقعیت قرارگیری فضاهای جبهه شمالی چاه آتریوم  
Fig. 11- Percentage of Spatial Daylight Autonomy (sDA300/50%) based on the northern spaces position of the atrium well

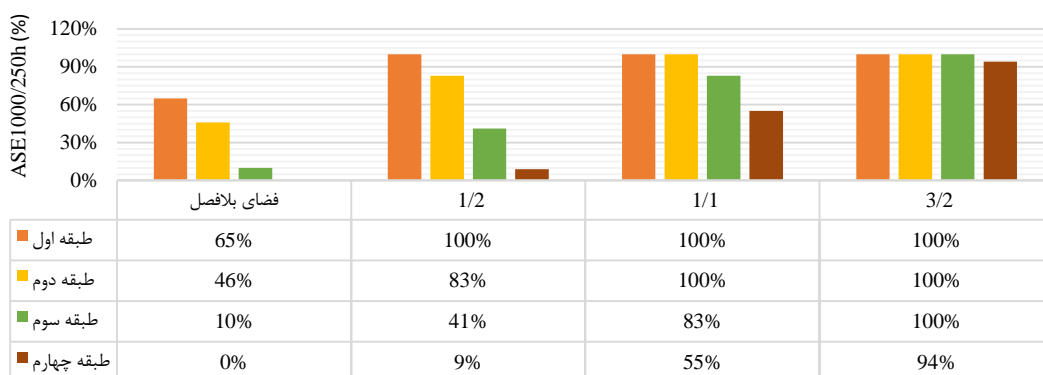


شکل 12- درصد اتونومی فضایی نور روز (sDA300/50%) بر اساس موقعیت قرارگیری فضاهای جبهه جنوبی چاه آتریوم  
Fig. 12- Percentage of Spatial Daylight Autonomy (sDA300/50%) based on the southern spaces position of the atrium well

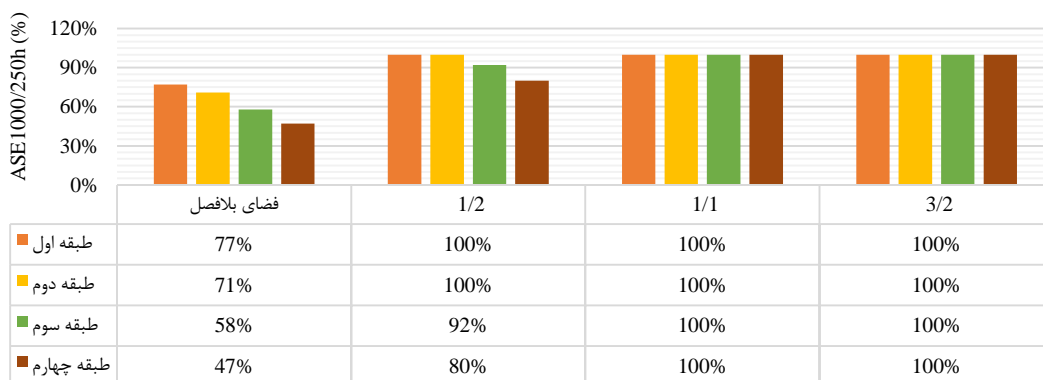
### 3-3- اعتبار سنجی نتایج

برای بررسی اعتبار نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی روش‌های مختلفی در تحقیقات معرفی شده است. به طور کلی، این روش‌ها به سه دسته کلی روش‌های تحلیلی، مقایسه‌ای و تجربی تقسیم می‌شوند.

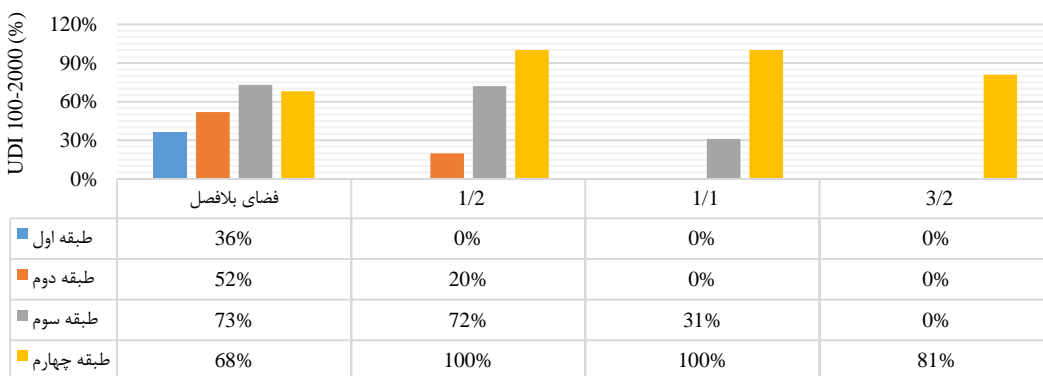
دامنه مطلوب تعریف شده برای درصد روشنایی مفید نور روز (UDI 100-2000) دامنه‌ایست که برابر یا بیشتر از 50% باشد. مطابق شکل‌های (15 و 16) در دو جبهه شمالی و جنوبی در حالتی که فضای مجاور آتریوم در حوزه بلافاصله با چاه آتریوم قرار دارد نسبت به بقیه موارد شرایط مطلوب‌تری دارد.



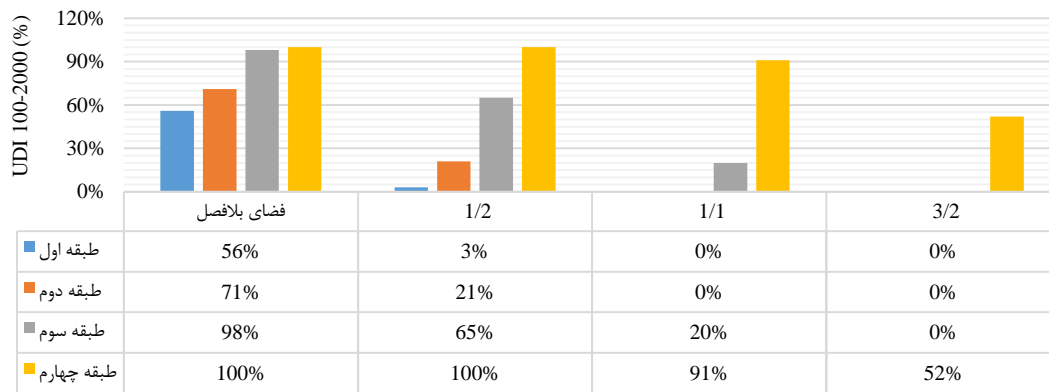
شکل 13- درصد دریافت سالیانه نور خورشید (ASE1000/250h) بر اساس موقعیت قرارگیری فضاهای جبهه شمالی چاه آتریوم  
 Fig. 13- Percentage of Annual Solar Exposure (ASE1000/250h) based on the northern spaces position of the atrium well



شکل 14- درصد دریافت سالیانه نور خورشید (ASE1000/250h) بر اساس موقعیت قرارگیری فضاهای جبهه جنوبی چاه آتریوم  
 Fig. 14- Percentage of Annual Solar Exposure (ASE1000/250h) based on the southern spaces position of the atrium well



شکل 15- درصد روشنایی مفید نور روز (UDI 100-2000) بر اساس موقعیت قرارگیری فضاهای جبهه شمالی چاه آتریوم  
 Fig. 15- Percentage of Useful Daylight Illuminance (UDI 100-2000) based on the northern spaces position of the atrium well



شکل 16- درصد روشنایی مفید نور روز (UDI 100-2000) بر اساس موقعیت قرارگیری فضاهای جبهه جنوبی چاه آتریوم  
 Fig. 16- Percentage of Useful Daylight Illuminance (UDI 100-2000) based on the southern spaces position of the atrium well

روشنایی پویای نور روز به عنوان فاکتور اصلی مورد نظر در این تحقیق که در نرم‌افزار (Design Builder) به دست آمده، با کمک روش مقایسه‌ای در نرم‌افزار (Ecotect) با بهره‌گیری از موتور (Daysim) نیز شبیه‌سازی و نتایج آن اعتبار سنجی شده است. اشکال (19 تا 21) چند نمونه از این بررسی‌ها را نشان می‌دهد. در هر دو شبیه‌سازی تلاش شده تا داده‌هایی نظیر جنس مصالح، پارامترها و تنظیمات مؤثر بر نتایج شبیه‌سازی تا حد قابلیت دو نرم‌افزار به هم نزدیک شوند. در هر دو نرم‌افزار روشنایی سطح کار با ارتفاع 0.75 با فایل اقلیمی (epw). به صورت سالانه بررسی شده است. همچنین فاکتورهای مرتبط با پراکنش‌های محیطی اعمال شده به طور یکسان در دو نرم‌افزار در جدول (1) نشان داده شده است.

#### جدول 1- فاکتورهای اعمال شده مربوط به پراکنش‌های محیطی

Tab.2 - Factors applied to ambient bounces	
Ambient bounces	2
Ambient accuracy	0.25
Ambient resolution	256
Ambient divisions	512
Number of Ambient super-samples	256

همان‌طور که در شکل (19) مشاهده می‌شود سطح وسیعی از مرکز فضا در دو نرم‌افزار دارای اتونومی نور روز 100% است و پیرامون این فضا این مقدار حدود 60% است که دامنه نتایج بسیار نزدیک به هم هستند. در محدوده جبهه شمالی آتریوم با بزرگنمایی تصویر شکل (20) مشخص می‌شود که مقدار (UDI 100-2000)

در میان تحقیقات اعتبارسنجی نرم‌افزارهای انرژی ساختمان، روش‌های تجربی (مقایسه نتایج شبیه‌سازی با اندازه‌گیری‌های میدانی) و مقایسه‌ای (مقایسه نتایج نرم‌افزارهای مختلف شبیه‌سازی انرژی با یکدیگر) رایج‌ترین نوع تحقیقات اعتبارسنجی اند (Zomorodian and Tahsildoost, 2015). در این تحقیق روشنایی ثابت نور روز به دو صورت تجربی و مقایسه‌ای اعتبار سنجی شده است. در روش تجربی با کمک ابزارهای اندازه‌گیری میدانی متشکل از لوکس‌متر و دماسنج (شکل 17) شدت روشنایی حاصل از نور روز و دما در طبقات مختلف آتریوم در روز 5 بهمن‌ماه - که در حوزه سردترین روزهای سرد سال است - در ساعت 12 ظهر اندازه‌گیری شد و به موازات آن طی روش مقایسه‌ای در نرم‌افزار دیزاین بیلدر شبیه‌سازی شد که نتایج در شکل (18) نشان داده شده است. به دلیل محدودیت در زمان و حضور در مکان پژوهش، روشنایی مابقی روزهای سال نیز با مقایسه نتایج شبیه‌سازی نرم‌افزارهای مختلف اعتبار سنجی شده، اندازه‌گیری شد.



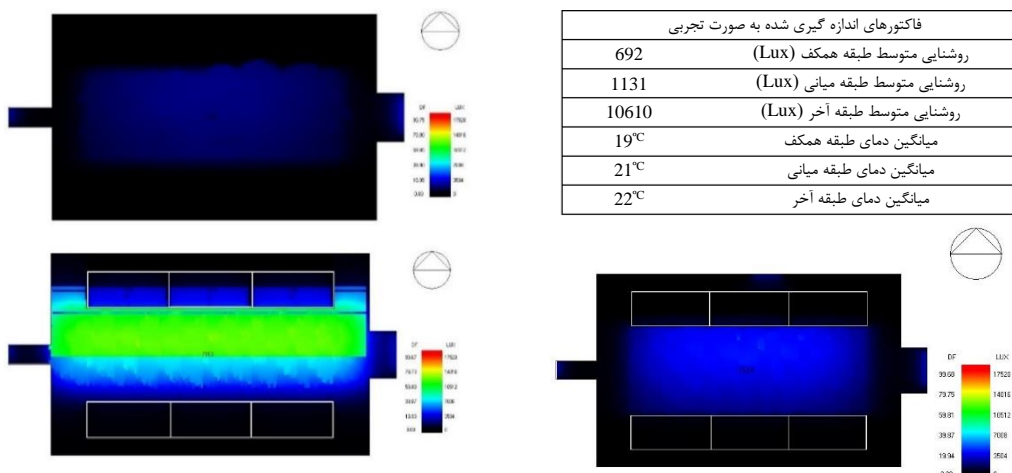
شکل 17- (سمت راست) دماسنج و (سمت چپ) لوکس متر مورد استفاده در تحقیق

Fig. 17- (right side) the thermometer and (left side) the lux meter used in the research

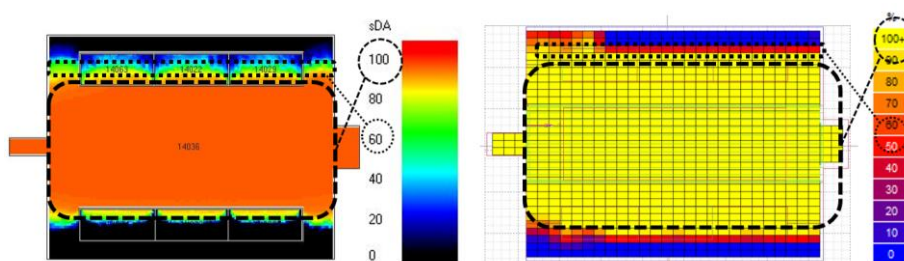


مطابق شکل (21) در محدوده مرکزی کف جبهه شمالی چاه نور آتریوم میزان (UDI 100-2000) در هر دو نرم‌افزار بین بازه 40% تا 60% است. همچنین در جبهه جنوبی این مقدار بین بازه 60% تا 90% است.

در هر دو نرم‌افزار به‌طور تقریبی بین 40% تا 70% است. همچنین این مقدار برای جبهه جنوبی رو به چاه آتریوم بین بازه 60% تا 100% است.

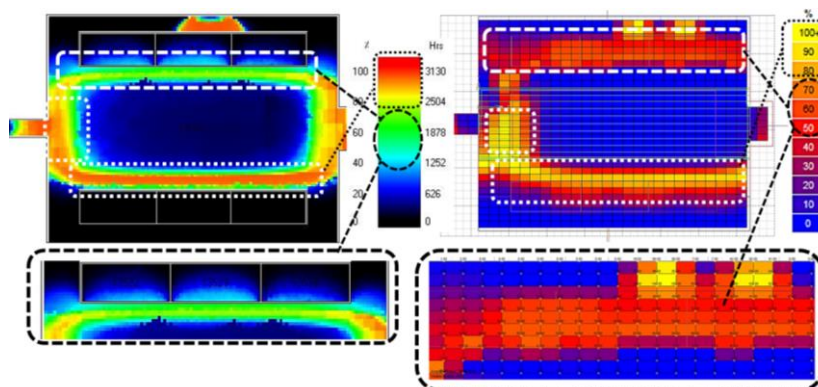


شکل 18- شدت روشنایی و دمای هوا بر اساس اندازه‌گیری میدانی و شبیه‌سازی در نرم‌افزار دیزاین بیلدر  
 Fig. 18-Illuminance and air temperature based on field measurements and simulation in Design Builder software



شکل 19- اتونومی نور روز (DA) در نرم‌افزار اکوتکت (سمت راست) و اتونومی نور روز فضایی (sDA) در نرم‌افزار دیزاین بیلدر (سمت چپ) برای طبقه چهارم

Fig. 19- Daylight Autonomy (DA) in Ecotect Software (right side) and Spatial Daylight Autonomy (sDA) in Design Builder Software (left side) for the fourth floor



شکل 20- روشنایی مفید نور روز (UDI 100-2000) در نرم‌افزار اکوتکت (سمت راست) و دیزاین بیلدر (سمت چپ) برای طبقه دوم

Fig. 20 – Useful daylight illuminance (UDI 100-2000) in Ecotect software (right side) and Design Builder software (left side) for the second floor

با جریان هوای طبیعی طی یک روش تجربی و محاسباتی اندازه‌گیری کردند که طبق نمودار (شکل 22) نتایج حاکی از انطباق بالای نتایج شبیه‌سازی شده و تجربی است.

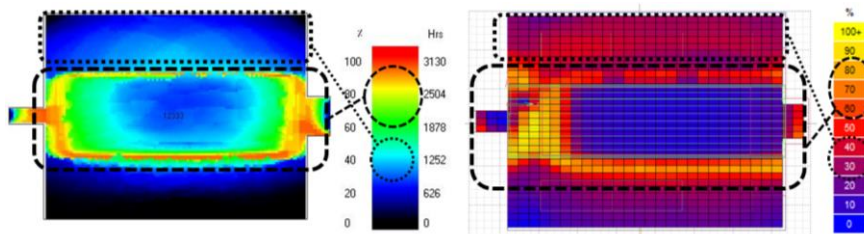
### 4-3- جمع‌بندی یافته‌ها

نتایج مجموع متغیرهای مورد بررسی حاصل از شکل‌های (7 تا 16) با تفسیر و جزئیات بیشتر در جدول‌های (2 و 3) نشان داده شده است:

بر اساس اطلاعات به دست آمده فضاهای مورد مطالعه، در گام نخست باید فاکتور لازم (sDA300/50%) برای حداقل روشنایی مورد نیاز فضا برآورده شود، این در حالی است که این موضوع در اکثر موارد متضاد با (ASE1000,250) است. فضاهای با (ASE1000,250) که باید کمتر از 10% باشند ناگزیر به کاهش (sDA300/50%) می‌شوند. که نتیجه آن کاهش فاکتورهای مطلوبی است که هم‌زمان دو نیاز را برآورده کند. رابطه (ASE1000,250) با روشنایی مفید نور روز (UDI 100-2000) نیز به همین شکل صادق است.

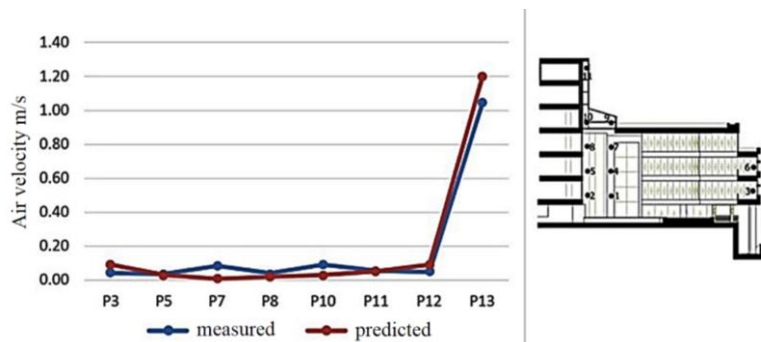
در نمونه‌های تصادفی انتخاب‌شده با مقایسه مقادیر (DA, sDA و UDI100-2000) در دو نرم‌افزار مشاهده می‌شود که نتایج بسیار نزدیک به هم است، اما تفاوت در نمایش سطح اشغال این مقادیر به علت تفاوت‌هایی نظیر ابعاد شبکه خروجی این نرم‌افزارها و تعاریف پیش‌فرض در داده‌های دریافتی این دو نرم‌افزار است که قابل پیش‌بینی است.

در این پژوهش برای سنجش رفتار حرارتی دمای هوای داخل آتریوم به صورت پویا از برنامه (fluent) بر پایه (CFD) استفاده شده است. این برنامه برای حل مسائل دینامیکی جریان سیالات نظیر هوا از مدل آشفتگی (K-ε<sup>9</sup>) استفاده می‌کند که یکی از پرکاربردترین و کامل‌ترین مدل‌هایی است که در سطح وسیعی آزمایش شده و متعلق به خانواده مدل‌های RANS<sup>10</sup> است (Moosavi et al., 2018). برای اعتبارسنجی این مدل به کار رفته در روش‌های شبیه‌سازی، (Moosavi et al., 2018) دما و نرخ جریان هوا را در یک آتریوم سه طبقه



شکل 21- روشنایی مفید نور روز (UDI 100-2000) در نرم‌افزار اکوتکت (سمت راست) و دیزاین بیلدر (سمت چپ) برای طبقه همکف

Fig. 21 – Useful daylight illuminance (UDI 100-2000) in Ecotect software (right side) and Design Builder software (left side) for the ground floor



شکل 22- مقایسه جریان هوای اندازه‌گیری شده با هوای پیش‌بینی شده به وسیله شبیه‌سازی در ارتفاعات مختلف آتریوم (Moosavi et al., 2018)

Fig. 22- Comparison of measured airflow with predicted air by simulation at different height of atrium (Moosavi et al., 2018)



جدول 2- فاکتورهای بررسی شده در فضاهای جبهه شمالی آتریوم (فضاهای خاکستری پررنگ مقادیر مطلوب برای هر پارامتر و خاکستری کم‌رنگ انتخاب نهایی محدوده مورد نظر است).

Tab.2 - Investigated factors on the northern side of the atrium (bold gray spaces are the optimal values for each parameter and pale gray is the final choice of considered target).

طبقات	نسبت عمق بالکن به ارتفاع طبقه	sDA300/50%	ASE1000/250h	UDI 100-2000	دمای داخلی گرم‌ترین روز (درجه سانتی‌گراد)	دمای داخلی سردترین روز (درجه سانتی‌گراد)
طبقه اول	0	32%	65%	36%	30.8	25.8
	1/2	0%	100%	0%	29.8	25.8
	1	0%	100%	0%	28.8	25.8
	3/2	0%	100%	0%	30.85	25.8
طبقه دوم	0	48%	46%	52%	28.8	25.8
	1/2	14%	83%	20%	29.8	25.8
	1	0%	100%	0%	30.85	25.8
	3/2	0%	100%	0%	31.85	25.8
طبقه سوم	0	76%	10%	73%	32.8	25.8
	1/2	49%	41%	72%	29	25.8
	1	8%	83%	31%	31.8	25.8
	3/2	0%	100%	0%	31.85	25.8
طبقه چهارم	0	100%	0%	68%	32	25.8
	1/2	96%	9%	100%	29	25.8
	1	56%	55%	100%	29.8	25.8
	3/2	22%	94%	81%	30	25.8

جدول 3- فاکتورهای بررسی شده در فضاهای جبهه جنوبی آتریوم (فضاهای خاکستری پررنگ مقادیر مطلوب برای هر پارامتر و خاکستری کم‌رنگ انتخاب نهایی محدوده مورد نظر است).

Tab.3 - Investigated factors on the southern side of the atrium (bold gray spaces are the optimal values for each parameter and pale gray is the final choice of considered target).

طبقات	نسبت عمق بالکن به ارتفاع طبقه	sDA300/50%	ASE1000/250h	UDI 100-2000	دمای داخلی گرم‌ترین روز (درجه سانتی‌گراد)	دمای داخلی سردترین روز (درجه سانتی‌گراد)
طبقه اول	0	66%	77%	56%	28.8	25.8
	1/2	0%	100%	11%	30	25.8
	1	0%	100%	0%	28.8	25.8
	3/2	0%	100%	0%	29.85	25.8
طبقه دوم	0	46%	71%	71%	28.8	25.8
	1/2	8%	100%	21%	30.8	25.8
	1	0%	100%	0%	28.8	25.8
	3/2	0%	100%	0%	29	25.8
طبقه سوم	0	11%	58%	98%	31.8	25.8
	1/2	32%	92%	65%	30.8	25.8
	1	0%	100%	20%	32.8	24.8
	3/2	0%	100%	0%	29	25.8
طبقه چهارم	0	97%	47%	100%	31.8	25.8
	1/2	66%	80%	100%	30.8	25.8
	1	29%	100%	91%	32.8	24.8
	3/2	0%	100%	52%	29.85	25



عنوان متغیر وابسته در نسبت‌های مختلف عمق بالکن به ارتفاع طبقه که متغیر مستقل است، بررسی کرده. این نسبت‌ها شامل 1/2، 1، 3/2 و فضاهای بلافصل با چاه آتریوم است. روش تحقیق بر پایه شبیه سازی رایانه‌ای با کمک نرم‌افزارهای (Design Builder v.6) و Ansys Workbench) با استفاده از سیستم تحلیلیگر (fluent) است. فاکتورهای مورد بررسی در این تحقیق اتونومی فضایی نور روز (sDA300/50%)، دریافت سالیانه نور مستقیم خورشید (ASE1000/250h) و روشنایی مفید نور روز (UDI 100-2000) و دمای عامل داخل با توجه به آسایش حرارتی بر مبنای دمای مؤثر استاندارد است. نتایج تحقیق حاکی از آن است که انتخاب فاصله یا به عبارتی عمق بالکن مناسب برای جانمایی فضاهای داخلی مجاور آتریوم متناسب با موقعیت آن‌ها نسبت به تابش نور خورشید می‌تواند بر عملکرد روشنایی و حرارتی سالانه این فضاها تأثیر به‌سزایی بگذارد. بر این اساس در جبهه شمالی داخل آتریوم (جبهه رو به نور جنوب) مناسب‌ترین جانمایی فضاهای داخلی برای طبقات اول تا سوم (طبقات پایین و میانی) در حوزه بلافصل با چاه آتریوم است. همچنین در طبقه چهارم یا آخر بهترین وضعیت زمانی است که فاصله فضا تا چاه آتریوم برابر با ارتفاع طبقه باشد. بنابراین فاصله بیشتر از این مقدار برای این جبهه مناسب نیست. در جبهه جنوبی داخل آتریوم برای طبقات اول و دوم نیز بهتر است جانمایی فضاها در حوزه بلافصل باشد، اما در طبقات سوم و چهارم (طبقات آخر) بهترین فاصله زمانی است که عمق بالکن نصف ارتفاع طبقه باشد. در فضاهای ذکر شده، نیاز به استفاده از انرژی سرمایشی در طول تابستان است ولی در زمستان نیازی به انرژی گرمایشی نیست. در تحقیقات آینده می‌توان این مقادیر را با شاخص‌های مختلف چاه آتریوم و یا ابعاد مختلف بازشوی پنجره‌ها نیز بررسی کرد.

بنابراین معیار انتخاب مناسب‌ترین وضعیت جانمایی فضاهای مجاور آتریوم حالتی است که تمام یا بیشتر فاکتورهای لازم در شرایط مطلوب باشند. فضاهای داخلی در حوزه بلافصل طبقات اول تا سوم جبهه شمالی آتریوم به ترتیب با میانگین عملکرد روشنایی 44.3%، 48.6% و 53% نسبت به بقیه حالات بهترین شرایط را دارند. در طبقه چهارم نیز زمانی که عمق بالکن برابر ارتفاع طبقه است، با میانگین عملکرد روشنایی 70.3% مطلوب‌ترین مقدار است. در تابستان در جبهه شمالی طبقه اول، زمانی که فاصله فضای داخلی با چاه آتریوم برابر ارتفاع طبقه است و در طبقه دوم زمانی که فضا در حوزه بلافصل آتریوم قرار دارد، دما در کمترین حالت است. در طبقات سوم و چهارم نیز زمانی که عمق بالکن نصف ارتفاع طبقه است، دما از مابقی حالات کمتر است. در زمستان نیز تقریباً همه فضاها دارای دمای مطلوب و نزدیک به حد آسایش هستند.

در جبهه جنوبی طبقات اول و دوم فضاهای حوزه بلافصل آتریوم به ترتیب با میانگین روشنایی 66.3% و 62.6% مناسب‌ترین انتخاب هستند. در طبقات سوم و چهارم نیز زمانی که عمق بالکن برابر نصف ارتفاع طبقه است به ترتیب با میانگین عملکرد روشنایی 63% و 82% مناسب‌ترین حالت است. همچنین از نظر آسایش حرارتی در جبهه جنوبی در زمستان تقریباً تمامی حالات فواصل جانمایی فضاها نزدیک به حد آسایش هستند. در تابستان در طبقه اول و دوم در حالتی که فضاها به صورت بلافصل با چاه آتریوم و یا با فاصله برابر ارتفاع طبقه قرار دارند، دمای کمتری نسبت به بقیه دارند. در طبقات سوم و چهارم نیز زمانی که فاصله فضاها از چاه آتریوم 1.5 برابر ارتفاع طبقه است، دما نسبت به بقیه موقعیت‌ها کمتر است.

#### پی‌نوشت

- <sup>1</sup> Standard Effective Temperature
- <sup>2</sup> Operative Temperature
- <sup>3</sup> Predicted Mean Vote
- <sup>4</sup> Clothing Insulation
- <sup>5</sup> Computational Fluid Dynamics
- <sup>6</sup> Spatial Daylight Autonomy
- <sup>7</sup> Annual Solar Exposure
- <sup>8</sup> Useful Daylight Illuminance
- <sup>9</sup> K-epsilon Turbulence Model
- <sup>10</sup> Reynolds Averaged Navier-Stokes

#### 4- نتیجه‌گیری

استفاده از آتریوم‌ها در بناهای با زیربنای وسیع، روشی اجتناب‌ناپذیر برای نور رسانی و تهویه فضاهای مرکزی است. این تحقیق با در نظر گرفتن یک نمونه آتریوم با شاخص چاه مشخص و جداره سراسر نورگذر فضای داخلی متصل به چاه نور به‌عنوان متغیرهای کنترل، تغییر پویای نور روز و دمای هوا را در فضای داخلی به



- Miri, M. and Kompani Saeed, M. (2014). A New Method for Achieving Daylight in Working Spaces by Finding the Efficient Type and Size of Windows, Shading Systems and Depth of Rooms, ArmanShahr, Selected Articles of the Second Iranian Conference on Lighting and illuminating, 8, 73-89. [in Persian]
- Mofidi, M., Hosseini, B., and Medi, H. (2010). Investigating the Climatic Performance of Interior Lightings of Office Buildings (Case Study: Sample Buildings in Tehran Regional Climate), Journal of Iranian Architecture and Urbanism, 1, 101-108. [in Persian]
- Mohsenin, M., and Jianxin, Hu. (2015). Assessing daylight performance in atrium buildings by using Climate Based Daylight Modeling, Solar Energy, 119, 553-560.
- Moosavi, L., Mahyuddin, N., Ghafar, N., Zandi, M., and Bidi, M. (2018). Numerical prediction of thermal and airflow conditions of a naturally ventilated atrium and validation of CFD models. Renewable and Sustainable Energy, 10(6), 1-17.
- Moosavi, L., Zandi, M., and Bidi, M. (2018). Experimental study on the cooling performance of solar-assisted natural ventilation in a large building in a warm and humid climate. Building Engineering, 19, 228-241.
- Sha, H., and Qi, D. (2020). A Review of High-Rise Ventilation for Energy Efficiency and Safety, Sustainable Cities and Society, 54, 1-22.
- Shafiei Fini, A., and Moosavi, A. (2016). Effects of "wall angularity of atrium" on "buildings natural ventilation and thermal performance" and CFD model. Energy and Buildings, 121, 265-283.
- Shirzadi, M., Mirzaei, P., and Naghashzadegan, M. (2018). Development of an adaptive discharge coefficient to improve the accuracy of cross-ventilation airflow calculation in building energy simulation tools. Building and Environment, 127, 277-290.
- Vujošević, M., and Krstić-Furundžić, A. (2017). The influence of atrium on energy performance of hotel building, Energy and Buildings, 156, 140-150.
- Wanga, H., and Zhai, Z. (2016). Advances in building simulation and computational techniques: A review between 1987 and 2014, Energy and Buildings, 128, 319-335.
- Zomorodian, S., and Tahsildoost, M. (2016). Validation of Energy Simulation Programs: An Empirical and Comparative Approach, 4, 115-132. [in Persian]
- Ahadi, A., Saghafi, M., and Tahbaz, M. (2017). The study of effective factors in daylight performance of light-wells with dynamic daylight metrics in residential buildings, Solar Energy, 155, 679-697.
- Ahadi, A., Saghafi, M., and Tahbaz, M. (2018). The optimization of light-wells with integrating daylight and stack natural ventilation systems in deep-plan residential buildings: A case study of Tehran. Building Engineering, 18, 220-244.
- ASHRAE Standard 55. (2010). Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, Georgia: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- Danielski, I., Nair, G., Joelsson, A., and Froling, M. (2016). Heated atrium in multi-story apartment buildings, a design with potential to enhance energy efficiency and to facilitate social interactions, Building and Environment, 106, 352-364.
- Dutra de Vasconcellos, G. (2017). Evaluation of Annual Sunlight Exposure (ASE) as a Proxy to Glare: A Field Study in a NZEB and LEED Certified Office in San Francisco, Master of Science in Architecture thesis, University of California, Berkeley.
- Ghasemi, M., Noroozi, M., KazemZadeh, M., and Roshan, M. (2015). The influence of well geometry on the daylight performance of atrium adjoining spaces: A parametric study, Building Engineering, 3, 39-47.
- Ghiabaklou, Z. (2011), fundamentals of building physics 2: environmental control. Tehran university press, Tehran. [in Persian]
- Li, J., Ban, Q., Chen, X., and Yao, J. (2019). Glazing Sizing in Large Atrium Buildings: A Perspective of Balancing Daylight Quantity and Visual Comfort. Energies, 12 (701), 1-14.
- Medi, H. (2010). Physical improvement criteria for indoor lighting in office buildings (due to the static thermal performance in semi-hot and dry climates), Ph.D. thesis in Architecture. [in Persian]
- Mehdizadeh Saradj, F., Danesh, M., and Sanayeayan, H. (2014), the effect of inner and outer layers of double glazed façade on the rate of energy consumption in official and educational buildings (case study: Iran university of science and technology), journal of environmental science and technology, 3, 181-190. [in Persian]