

تعیین زاویه تمایل بهینه برای روشنایی طبیعی آتریوم در تهران بر اساس زوایای خورشید و ویژگی‌های اقلیمی

علیرضا باقری^۱

محمد علی خانمحمدی^{۲*}

khanmohammadi@iust.ac.ir

هانیه صنایعیان^۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۷/۱۸

چکیده

زمینه و هدف: نور روز تاثیر مثبتی بر سلامتی افراد، بهره‌وری کارمندان و ارزندگی املاک دارد. لیکن با افزایش بلندمرتبه سازی در شهرهای پرجمعیت، دسترسی طبقات تحتانی به روشنایی طبیعی با چالش‌هایی همراه است. آتریوم یکی از استراتژی‌های تامین نور طبیعی برای طبقات تحتانی است. عملکرد روشنایی طبیعی آتریوم قبل از ساخت به لطف شبیه سازی رایانه‌ای قابل ارزیابی است. تا پیش از این، شبیه سازی نور روز تنها محدود به شرایط آسمان ابری بود. لیکن با روش‌های جدید شبیه سازی رایانه‌ای نور روز، می‌توان متغیرهای وضعیت خورشید و شرایط آسمان را در طول یکسال و در تمام ساعات روز بررسی کرد. این پیشرفت اعمال مولفه‌ی نور مستقیم خورشید در شبیه سازی ممکن کرده و در نتیجه امکان بررسی تاثیر شاخصه‌هایی از معماری که با جهت نور مستقیم در ارتباط هستند فراهم شده است. با توجه به نکته فوق، این پژوهش بر تاثیر زاویه تمایل دیوارهای داخلی آتریوم بر روشنایی اتاق‌های مجاور آن تمرکز دارد.

روش بررسی: زوایای مختلف آتریوم، در جهت شمال و جنوب به روش "مدل سازی روشنایی طبیعی مبتنی بر اقلیم" برای شهر تهران بررسی شده‌اند. از معیارهای سنجش روشنایی طبیعی «sDA»، «ASE» و «UDI» برای انجام شبیه سازی‌های رایانه‌ای استفاده شده است.

یافته‌ها: متمایل شدن جداره‌های داخلی آتریوم با زاویه ۲۰ درجه به سمت جنوب باعث بهبود هر سه معیار ذکر شده در طبقات تحتانی آتریوم می‌شود. لیکن تمایل دیوارهای آتریوم به سمت شمال، علاوه بر تاثیر نامطلوب بر روشنایی طبقات پایین، در طبقات بالا نیز خیرگی را افزایش می‌دهد.

۱- دانشجوی ارشد مهندسی معماری دانشگاه علم و صنعت تهران.

۲- دانشیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت تهران. * (مسوول مکاتبات)

۳- استادیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت تهران.

بحث و نتیجه گیری: اگرچه تاثیر زاویه تمایل بر عملکرد روشنایی طبیعی آتریوم به برجستگی سایر عوامل نیست، با این حال طراح می‌تواند در مراحل اولیه طراحی، به کمک چیدمان صحیح و الویت بندی مناسب فضاها برای بهره گیری از روشنایی طبیعی، این تاثیر را به حداکثر برساند.

واژه‌های کلیدی: آتریوم، روشنایی طبیعی، مصرف انرژی، خیرگی، شبیه سازی رایانه‌ای.

Determining the Optimal Inclination Angle for Atrium Daylighting in Tehran Based on Sun Angles and Climatic Features

Alireza Bagheri¹

Mohammadali Khanmohammadi^{2*}

khanmohammadi@iust.ac.ir

Haniyeh Sanaieian³

Admission Date: March 6, 2022

Date Received: October 10, 2021

Abstract

Background and Objective: Daylight has a positive effect on people's health, employee productivity and property value. However, with the growth of high-rise buildings in populated cities, access to natural light for the lower floors are challenging. Atrium is one of the strategies for bringing daylight to these floors. Atrium's daylight performance can be evaluated before construction thanks to computer simulations. Until now, daylight simulation has been limited to one cloudy sky condition. With the help of new methods of computer simulation of daylight, it is possible to study the effects of sun angles and sky conditions throughout the entire hours of a year. This development has made it possible to apply the direct sunlight component to the simulation and study its impacts of architectural features that are related to it. This study focuses on the effect of the angle of inclination of the inner walls of the atrium on the daylight performance of adjacent rooms.

Material and Methodology: Different angles of the atrium in the north and south direction have been studied by the method of "Climate-based daylight modeling" for the city of Tehran. (sDA), (ASE) and (UDI) are daylight metrics which have been used in computer simulations.

Findings: The inclination of the inner walls of the atrium at an angle of 20 degrees to the south improves all three criteria mentioned in the lower floors of it. However, the inclination of the atrium walls to the north, not only reduces the daylight in the lower parts, but also increases the glare in the upper floors.

Discussion and Conclusion: Although the effect of inclination angle on daylight performance of atrium is not as prominent as other factors, the designer can maximize this effect in the early stages of design, with the correct arrangement and prioritization of spaces to benefit from daylight.

Keywords: Atrium, Daylighting, Energy Consumption, Glare, Computer Simulation.

1- M. Arch Student, School of Architecture and Environmental Design, University of Science and Technology, Tehran, Iran. **(Corresponding Authors)*

2- Associate professor, School of Architecture and Environmental Design, University of Science and Technology, Tehran, Iran

3- Assistant professor, School of Architecture and Environmental Design, University of Science and Technology, Tehran, Iran

مقدمه

انتشار دی اکسید کربن هستند (5). استفاده از برق برای گرمایش، سرمایش، روشنایی و لوازم خانگی باعث افزایش انتشار دی-اکسید کربن می‌شود. استفاده از روشنایی روز یک استراتژی ایستای موثر در کاهش مصرف انرژی ساختمان است که علاوه بر کاهش میزان مصرف الکتریسیته برای روشنایی، به دلیل پتانسیل معماری بالا طراحان را به خود جذب کرده است.

تحقیقات گذشته در زمینه شبیه سازی روشنایی طبیعی در آتریوم‌ها، عمدتاً با معیارهای سنجش روشنایی استاتیک انجام شده‌اند. برخی از متغیرهای تاثیر گذار بر روشنایی، در معیارهای استاتیک بی تاثیراند یا تاثیر معکوس دارند. زاویه تمایل (شیب) بهیچ‌نهی دیوارهای داخلی آتریوم و جهت گیری آن، متغیری است که یافتن آن، بدون در نظر گرفتن زاویه تابش خورشید در طول ساعات و فصول مختلف، امکان پذیر نمی‌باشد. از طرف دیگر، مطالعاتی که در گذشته با معیار داینامیک انجام شده‌اند نیز درباره‌ی زاویه تمایل نبوده است. این پژوهش با استفاده از مدل سازی نور روز بر اساس اقلیم، زاویه تمایل مناسب و جهت گیری بهینه برای آتریوم‌ها را، برای شهر تهران ارزیابی می‌کند. متمایل کردن آتریوم تحت شرایط خاص می‌تواند روشنایی مفید نور روز را افزایش دهد ضمن این که در بعضی موارد بر کاهش خیرگی نیز موثر است. انجام مراحل مشابه، برای سایر مناطق در سطح کشور می‌تواند بانک اطلاعاتی جامعی را برای بهره‌وری بیشتر نور روز در آتریوم‌ها پدید آورد.

۱-۱- معیارهای سنجش روشنایی طبیعی

معیارهای سنجش روشنایی طبیعی ابزاری مفید برای کمی سازی پتانسیل دریافت نور طبیعی در یک فضای معماری است که در دو گروه استاتیک و داینامیک دسته بندی می‌شوند. معیارهای استاتیک تنها به هندسه و ویژگی‌های معماری ساختمان وابسته هستند و ویژگی‌های اقلیمی محل طراحی و جهت گیری ساختمان در آن بی‌تاثیراند (6). شدت روشنایی، یکنواختی روشنایی^۲ و فاکتور نور روز^۴ «DF» مهمترین

رشد جمعیت و افزایش قیمت زمین در شهرهای بزرگ، باعث احداث ساختمان‌هایی بلند مرتبه، با پلان عمیق شده است. براساس اطلاعات مرکز آمار ایران در سال ۱۳۹۷، از کل پروانه‌های صادر شده، ۲۲٪ مربوط به احداث ساختمان‌های ۵ طبقه و بیشتر بوده، در حالی که در سال ۱۳۸۰، تنها ۳٪ از کل پروانه‌ها برای این ساختمان‌ها صادر شده است. این عدد برای شهر تهران، در بازه زمانی مشابه نیز، از ۲۶٪ به ۶۵٪ رسیده است (1). فراهم کردن نور روز در ساختمان‌های چند طبقه با پلان عمیق، به کمک پنجره‌های دیواری یا سقفی امکان پذیر نیست و استراتژی‌هایی نظیر آتریوم، برای انتقال نور طبیعی به هسته‌ی ساختمان‌های عمیق لازم است (2). آتریوم مناسب، می‌تواند مزایای متعددی برای تامین نور طبیعی داشته باشد. تاثیر نور بر ما فراتر از کمک به مشاهده و درک محیط اطراف است. نور مسئولیت تنظیم ساعت بیولوژیکی بدن را بر عهده دارد، نور می‌تواند با تاثیر بر هسته‌های هابنولار در مغز، نقش بسزایی در خلق و خو، شناخت، هوشیاری، عملکرد و تنظیم خواب داشته باشد. نور درمانی، روشی اثبات شده برای درمان افسردگی زمستانی و اختلالات ریتم شبانه روزی خواب است. همچنین نور روز با تاثیر بر رشد چشم، از بروز نزدیک بینی در کودکان جلوگیری می‌کند (3). در مقابل، آتریوم‌هایی با طراحی نامناسب می‌توانند منجر به ناراحتی بصری، خیرگی و در نتیجه کم شدن تمرکز، رضایت و بهره‌وری کاربران شوند (4).

از منظر زیست محیطی نیز، جهان با پیامدهای ناشی از استفاده گسترده سوخت‌های فسیلی روبرو است. دو عامل اصلی که بر قابلیت تاب آوری سیاره زمین تأثیر می‌گذارد عبارتند از: مصرف انرژی و انتشار گاز دی-اکسید کربن. بر اساس گزارش سازمان همکاری و توسعه اقتصادی، بخش ساختمان بزرگترین مصرف کننده انرژی در جهان است و بیش از یک سوم کل انرژی جهان را مصرف می‌کند. ساختمانها همچنین منبع قابل توجهی از

3- Illumination Uniformity

4- Daylight Factor

1- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)

2- Illumination Level

دارای آستانه بالا یا پایین در میزان روشنایی هستند،^۵ «UDI» دارای هر دو آستانه است که نور مفید را نشان می‌دهد. این محدوده معمولاً بین ۱۰۰-۲۰۰ لوکس تعریف می‌شود که بر اساس یک بررسی جامع از آخرین داده‌های مطالعات میدانی مربوط به رفتار مخاطبین در شرایط نور روز تعیین شده است (12).

به طور کلی مزایای معیار سنجش روشنایی داینامیک نسبت به استاتیک به صورت زیر است:

- محاسبه‌ی حالات مختلف نور، اعم از پراکنده و مستقیم
- محاسبه‌ی تاثیر تغییرات فصل‌ها و ساعات مختلف روز
- محاسبه‌ی تاثیر جهت گیری بازشوها بر روشنایی طبیعی
- محاسبه‌ی مولفه‌های اقلیمی تاثیر گذار بر شرایط نوری محل (13)

به دلیل این که مولفه‌های اقلیمی تاثیر گذار بر شبیه سازی نور، تنها برای همان موقعیت مکانی قابل استفاده هستند، سنجش روشنایی طبیعی بر اساس معیارهای داینامیک، علی رغم دقت بالاتر، رواج کمتری نسبت به معیارهای استاتیک دارند (6).

۲-۱- عوامل موثر بر روشنایی آتریوم

بر سی عملکرد نور روز در ساختمان‌های دارای آتریوم مستلزم تجزیه و تحلیل ویژگی‌های آتریوم و فضاهای مجاور آتریوم است. درک درستی از هر دو، بر تعیین کمیت و کیفیت مناسب برای نور در این فضاها کمک می‌کند. عملکرد نور روز در آتریوم و فضاهای مجاور آن دارای روابط پیچیده است که از پنج عامل زیر تأثیر می‌گیرد.

۱-۲-۱- نوع، شکل و هندسه آتریوم

نوع، شکل و هندسه آتریوم از پارامترهای اساسی است که می‌تواند به طور مستقیم بر عملکرد روشنایی آتریوم‌ها تأثیر بگذارد. آتریوم‌ها به طور کلی در چهار نوع خطی، نیمه بسته، الحاقی و

معیارهای استاتیک می‌باشند. «DF» گسترده ترین معیار در تحلیل نور روز است (7) که برابر است با نسبت روشنایی بیرون، به روشنایی داخل ساختمان، تحت شرایطی که آسمان پوشیده از ابر باشد (6). با توجه به ابرناکی شرایط شبیه سازی، دو ایراد به این واحد اندازه گیری وارد می‌شود:

- جهت گیری ساختمان تأثیری بر نتایج شبیه سازی نور طبیعی ندارد. زیرا توزیع نور در آسمان ابری یکنواخت است.
- شرایط اقلیمی حاضر در محل تأثیری بر نتایج شبیه سازی ندارد. زیرا شرایط مختلف آسمان (میزان ابرناک یا آفتابی بودن) و زوایای سمت و ارتفاع خورشید در واحد اندازه گیری «DF» در نظر گرفته نمی‌شود (8).

برخلاف معیارهای استاتیک، معیارهای سنجش روشنایی داینامیک به شرایط اقلیمی، موقعیت مکانی و همچنین ساعات استفاده از ساختمان نیز بستگی دارد (9). «DA»، «ASE»^۲ و «UDI»^۳، مهمترین معیارهای داینامیک هستند که برای برتری یافتن بر محدودیت‌های معیارهای استاتیک ارائه شده‌اند و نتایج آن‌ها از طریق مدل سازی روشنایی طبیعی مبتنی بر اقلیم «CBDM»^۴ و انجام شبیه سازی به دست می‌آید. (10).

«DA» اولین بار در سال ۱۹۸۹ معرفی و سپس در ۲۰۰۶ ویرایش شد. این معیار نشان دهنده در صدی از سال است که نور روز حداقل آستانه روشنایی لازم در یک فضا را تامین می‌کند. بنابراین هرچه «DA» نور روز بیشتر باشد، مصرف انرژی برای روشنایی الکتریکی نیز کاهش می‌یابد (11). «ASE» معیاری داینامیک برای توصیف نور بیش از حد نور خورشید است. اساس کار «ASE» محاسبه در صدی از فضا است که در طول یک سال، بیش از مقدار مشخصی روشنایی دریافت می‌کند، برای مثال «ASE^(1000, 250h)» نشان می‌دهد چند درصد از فضا، در طول یک سال بیش از ۲۵۰ ساعت ۱۰۰۰ لوکس روشنایی دریافت می‌کند (8). «DA» و «ASE» تنها

4- Climate based Daylight Modeling

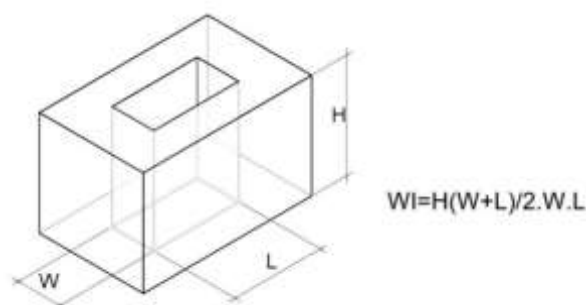
5- Useful Daylight Illuminance

1- Daylight Autonomy

2- Annual Sunlight Exposure

3- Usful Daylight Illuminance

یک آتریوم چهار گوش را می‌توان به کمک طول، عرض و ارتفاع آن توصیف کرد. برای مطالعه روشنایی طبیعی، امکان بررسی همه‌ی آتریوم‌ها با ابعاد مختلف وجود ندارد. لذا ابعاد مختلف آتریوم به کمک شاخص چاه «WI» به صورت یک کمیت در آمده است. فرمول شاخص چاه در «شکل ۱» بیان شده است (17). در این فرمول «L» نشان دهنده‌ی طول آتریوم، «W» عرض آتریوم و ارتفاع آتریوم با حرف «H» نشان داده شده است. هرچه شاخص چاه بالاتر باشد، آتریوم باریکتر و عمیق‌تر است و بالعکس شاخص چاه کمتر نشان دهنده‌ی آتریوم پهن و کوتاه است. عملکرد روشنایی نور طبیعی آتریوم، با ثابت نگه داشتن شاخص چاه آتریوم و افزایش تعداد طبقات، تقریباً ثابت می‌ماند (18).



شکل ۱- شاخص چاه آتریوم (17)

Figure 1. Atrium Well Index

عملکرد روشنایی فضاهای مجاور آتریوم، با باز شدن دیوارهای آتریوم با زاویه ۹ درجه، تا ۸۰٪ افزایش می‌یابد (2).

۲-۲-۱- ضریب انتقال نور از شبکه سقف آتریوم

میزان انتقال روشنایی طبیعی به درون فضا به هندسه شبکه سقف و ساختار آن، جهت‌گیری و نوع سایه بان بستگی دارد (16). سقف کنگره‌ای کمترین میزان نور را به فضا وارد می‌کند. از طرف دیگر سقف دندان اره‌ای میزان نور بیشتری وارد فضا می‌کند، اما در توزیع یکنواخت نور ضعیف‌ترین عملکرد را دارد. سقف مسطح تمام شیشه‌ای دارای بهترین عملکرد از منظر میزان نور دریافتی و یکنواختی آن دارد. اما این مزیت‌ها باید در کنار گرمای بیش از حد فضا یا دیگر نگرانی‌های حرارتی که

مرکزی قرار می‌گیرند (14). عمده‌ی پژوهش‌ها بر روی عملکرد روشنایی آتریوم‌ها، بر روی نوع مرکزی آن انجام گرفته است. به طور کلی، هرچه فضای یک آتریوم عریض‌تر و کم عمق‌تر باشد، عملکرد بهتری در روشنایی طبیعی دارد. (15). آتریوم با پلان مربع، «DF» بهتری در کف آتریوم نسبت به آتریوم با پلان مستطیل یا مثلث دارد (16). پژوهش دیگری که به روش «مدل سازی نور روز بر اساس اقلیم» برای شهر تهران انجام شده بود، نشان می‌دهد که «DA» آتریوم دایره‌ای بهتر از آتریومی مربعی با همان مساحت است. عملکرد روشنایی آتریوم در طبقات بالا ۰/۲ درصد و در طبقات پایین تا ۲۳/۲۵ درصد در آتریوم استوانه‌ای بهبود پیدا می‌کند. آتریوم‌های دایره‌ای به ویژه در طبقات پایین و در ابعاد کوچک عملکرد بهتری نسبت به موارد مربعی دارند (2).

با باز شدن دهانه آتریوم به شکل حرف «V»، عملکرد روشنایی آن بهبود می‌یابد. پژوهشی در این زمینه به کمک ماکت‌های فیزیکی انجام گرفته که در آن دیوارهای آتریوم با زوایای ۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درجه باز شده‌اند. آتریوم مورد آزمایش از نوع آتریوم مرکزی و آزمایش با معیار «DF» انجام گرفته شده است. برای آتریوم‌های پهن، با باز شدن با زاویه ۱۰ درجه، میزان «DF» در کف آتریوم ۴۰٪ افزایش پیدا کرد. این عدد برای زاویه ۳۰ درجه به ۸۰٪ رسید. برای آتریوم‌های باریک افزایش میزان «DF» چشمگیرتر بود، به گونه‌ای که برای زاویه ۱۰ درجه تا ۳۰۰٪ و برای زاویه ۳۰ درجه تا بیش از ۱۰۰۰٪ درصد افزایش پیدا می‌کند (19). نتیجه‌ی پژوهش دیگری که به روش «CBDM» در شهر تهران انجام شده است نشان می‌دهد،

منابع متعددی پیشنهاد می‌کنند نسبت سطح پنجره به دیوار در طبقات مختلف آتریوم متفاوت باشد. از آنجا که نور روز در طبقات بالایی آتریوم بیشتر است، فضاهای مجاور برای دستیابی به میزان نور مطلوب به پنجره‌های کوچکتری نیاز دارند. افزایش تدریجی مقدار بازشو از طبقات بالا به پایین می‌تواند میزان روشنایی طبیعی را در طبقات پایین آتریوم افزایش دهد. این استراتژی همچنین به کنترل روشنایی بیش از حد و جلوگیری از خیرگی در طبقات بالا کمک می‌کند (24-26). در پژوهشی ماکت فیزیکی یک آتریوم ۵ طبقه، با بازشوه‌های عریض‌تر در طبقات پایین ساخته شد. نسبت پنجره به دیوار برابر با ۱۰۰٪ برای طبقه اول، ۸۰٪ برای طبقه دوم، ۶۰٪ برای طبقه سوم، ۴۰٪ برای طبقه چهارم و ۲۰٪ برای بالاترین طبقه بود. نتیجه پژوهش نشان داد که این استراتژی، سبب افزایش «DF» در فضاهای مجاور آتریوم در طبقات پایین می‌شود (24). پژوهش دیگری به کمک نرم افزارهای شبیه سازی روشنایی "رادیانس" و "اکوتکت" انجام گرفته است. در این پژوهش آتریومی پنج طبقه با شاخص چاه ۰/۸ در نظر گرفته شده و نتیجه شبیه سازی نشان می‌دهد که مناسب‌ترین نسبت باز شو برای طبقات به ترتیب از بالا به پایین برابر با ۶۰٪، ۷۹٪، ۹۲٪، ۹۸٪ و ۱۰۰٪ از کل دیوار است (27).

۴-۲-۱- شرایط آسمان

پژوهش‌های «DF» در آسمان کاملاً ابری تحت "استاندارد آسمان ابری «CIE»" انجام می‌شوند (20). طبق استاندارد «CIE»، با افزایش عرض جغرافیایی، میزان روشنایی محیط کاهش پیدا می‌کند، که در نتیجه میزان لوکس نور موجود در آتریوم را نیز کاهش می‌دهد. به عنوان مثال، سطح اشغال ساختمانی ۶ طبقه با آتریوم مرکزی در عرض جغرافیایی ۵۴ درجه، ۳،۳ برابر سطح اشغال ساختمانی شش طبقه با «DF» مشابه در عرض جغرافیایی ۲۸ تا ۳۸ درجه است (28). در پژوهشی به کمک محاسبات عددی، ابعاد مناسب آتریوم در

ممکن است با پوشش تمام شیشه‌ای به وجود آید در نظر گرفته شود (20).

۳-۲-۱- ویژگی‌های جداره‌های آتریوم (ضریب انعکاس نور از جداره‌ها و ابعاد بازشوها)

ساختار سقف آتریوم میزان ورود نور روز به آن را تعیین می‌کند، اما نحوه توزیع نور روز در آتریوم و فضاهای مجاور آن به ضریب انعکاس سطوح آتریوم بستگی دارد (15). با افزایش عمق آتریوم، روشنایی کاهش می‌یابد. زیرا در هر طبقه، نور وارد فضاهای مجاور آتریوم می‌شود. بنابراین بازشوه‌های دیواره آتریوم بر میزان نور کشیده شده به فضاهای مجاور تأثیر خواهد گذاشت. لذا بازشوه‌های بزرگ نور بیشتری را به فضاهای کناری می‌کشند. از این رو، ضریب انعکاس دیواره آتریوم از اهمیت زیادی برخوردار است زیرا انعکاس بالاتر دیواره باعث افزایش میزان نور در چاه آتریوم می‌شود (21).

دیوارهای با بازتاب کم صرفاً برای روشنایی آتریوم‌هایی که عرض آنها از ارتفاعشان بیشتر است، مناسب‌اند (15). افزایش ضریب انعکاس دیوارها باعث بهبود قابل توجه «DF» بر روی سایر دیوارها می‌شود. علاوه بر این افزایش ضریب انعکاس کف آتریوم نیز می‌تواند روشنایی را بر روی دیوارها بهبود بخشد. با این حال، تأثیر ضریب انعکاس کف تنها برای آتریوم‌های کم ارتفاع محسوس است (22). تأثیر ضریب انعکاس دیوارها بر میانگین «DF» کف، در آتریوم‌های متوسط و یا کم عمق نیز اندک است و در آتریوم‌های عمیق عملاً تاثیری ندارد (15). در پژوهشی به کمک ماکت فیزیکی و آسمان مصنوعی، تأثیر ضریب انعکاس ۵۶٪، ۴۲٪، ۲۸٪ و ۱۴٪ بر روی «DF» دیوارهای آتریوم بررسی شد. با افزایش ضریب انعکاس از ۱۴٪ به ۵۶٪، میانگین «DF» طبقات فوقانی از ۲۳٪ به ۳۷٪ افزایش یافت. این عدد در طبقات تحتانی آتریوم نیز از ۱۱٪ به ۲۳٪ رسید. پژوهش دیگری با روشی مشابه برای آتریومی با شاخص چاه یک نشان داد که با افزایش ضریب انعکاس از ۰/۲ به ۰/۵ میزان روشنایی روی دیوارها تا دو برابر افزایش می‌یابد (23).

دارد (30)، (27). ضریب انعکاس فضاهای مجاور، علاوه بر توزیع نور در فضا، بر آسایش بصری نیز موثر است و لازم است تا در مرحله طراحی، ضریب بازتاب سطوح به عنوان یکی از پارامترهای اصلی بهینه سازی بازتاب و توزیع نور طبیعی در نظر گرفته شود. از این رو انجمن تخصصی «ASHRAE» ضرایب انعکاس مناسب سطوح را در ساختمان‌های اداری طبق «جدول ۱» منتشر کرده است (31).

طبقات و عرض‌های جغرافیایی متفاوت به دست آمده است (28).

۵-۲-۱- ویژگی‌های فضاهای مجاور

آتریوم‌ها عموماً قادر به تامین روشنایی کافی در فضای خود هستند، اما معمولاً در تامین نور کافی برای فضاهای مجاور، که نور خود را مستقیماً از آتریوم دریافت می‌کنند ناموفق بوده‌اند (29). میزان «DF» در فضای مجاور آتریوم، با «DF» میانه‌ی سطوح عمودی جداره‌های آتریوم در آن طبقه، نسبت مستقیم

جدول ۱- ضرایب انعکاس سطوح بر اساس استاندارد ASHRAE (31)

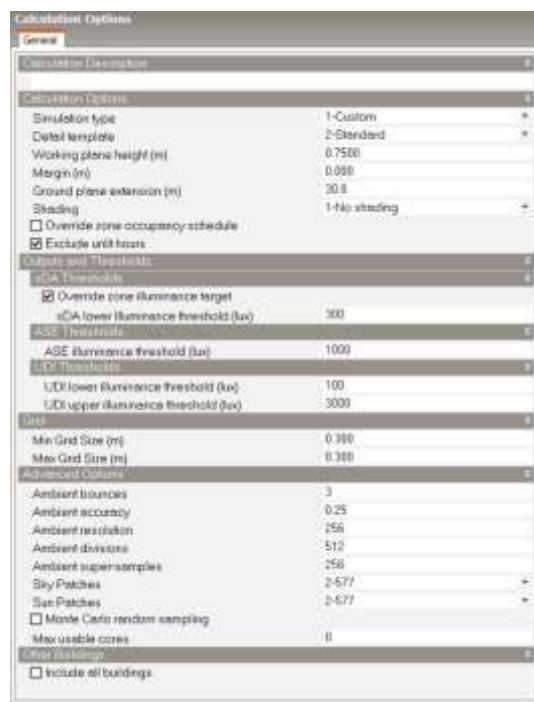
Table 1. Surface reflection according to ASHRAE standard

مبلمان	سقف	کف	دیوار	سطح
۰/۵	۰/۷	۰/۲	۰/۵	ضریب انعکاس

روش تحقیق

است که با استخراج داده‌های وضعیت خورشید و شرایط آسمان از داده‌های اقلیمی و انجام شبیه سازی‌های ساعتی در تمام ماه‌های سال، میزان روشنایی طبیعی را به دست می‌آورد (32).

این پژوهش در نظر دارد با رویکرد "مدل سازی نور روز بر اساس اقلیم" به اختصار «CBDM»، به ارزیابی روشنایی طبیعی فضاهای مجاور آتریوم بپردازد. رویکردی دینامیک



شکل ۲- اطلاعات ورودی به نرم افزار برای شبیه سازی

Figure 2. Simulation input data

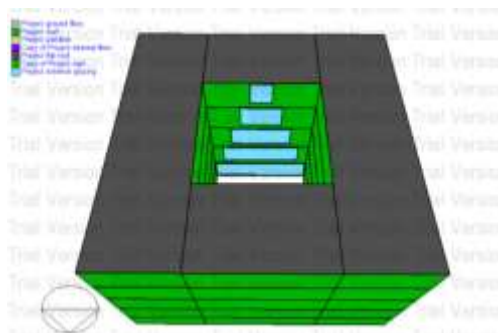
۲-۱- شبیه سازی رایانه‌ای

برای انجام این پژوهش از نرم افزار "دیزاین بیلدر" ورژن ۷ استفاده شد است. این نرم افزار قادر است تمامی شبیه سازی‌های «sDA»، «ASE»، «UDI» و موارد مرتبط را، به کمک موتور شبیه سازی "دیسیم" انجام دهد. "دیسیم" معادلات را بر پایه موتور شبیه سازی دیگری به نام "رادیانس" انجام می‌دهد که از معتبرین ابزارهای سنجش روشنایی است (33). متغیرهای اقلیمی مورد نظر در این نرم افزار، از فایل‌های «EPW» استخراج شده‌اند. این فایل‌ها، داده‌هایی اقلیمی هستند که توسط وزارت انرژی ایالات متحده تهیه و در قالب استاندارد "انرژی پلاس" ذخیره شده‌اند که حاوی داده‌های آب و هوایی است که از آن برای اجرای شبیه سازی ساعتی در تمام روزهای سال استفاده می‌شود (2).

در شبیه سازی، متغیرهای ضریب انعکاس نور از شبکه سقف آتریوم، ویژگی‌های جداره‌های آتریوم، شرایط آسمان، ویژگی‌های فیزیکی فضاهای همجوار و نوع، شکل و هندسه آتریوم (به جز شیب دیواره‌ها) ثابت در نظر گرفته شده که به آن متغیر کنترل می‌گویند. شیب جداره‌ی آتریوم که در حالات مختلفی بررسی شده است، متغیر مستقل در گرفته شده و میزان روشنایی طبیعی در اتاق‌های همجوار در معیارهای «sDA»، «UDI» و «ASE» متغیر وابسته هستند. سایر اطلاعات ورودی به نرم افزار برای شبیه سازی در «شکل ۲» نشان داده شده است.

۲-۲- مدل سازی

برای انجام شبیه سازی، هفت ساختمان با پلان مربع و اضلاع ۳۱ متر مدل سازی شده‌اند. در مرکز آن آتریومی با پلان مربع و اضلاع ۱۳/۵ متر قرار دارد. نورگیری مستقیماً از سقف آن و بدون در نظر گرفتن فریم پنجره و شیشه انجام می‌گیرد. ابعاد بهینه آتریوم بر اساس عرض جغرافیایی، به کمک مرور ادبیات به دست آمده است. زاویه‌ی جداره‌های شمالی و جنوبی آتریوم‌ها از ۳۰ درجه تمایل به سمت شمال تا ۳۰ درجه تمایل به سمت جنوب متغیر است «جدول ۲». تمایل آتریوم تنها در جهت شمال و جنوب بررسی شده، لذا تنها اتاق‌های همجوار آتریوم در اضلاع شمالی و جنوبی در شبیه سازی لحاظ شده‌اند. ضرایب انعکاس در کف، سقف و دیوارها مطابق «جدول ۱» انتخاب شده است. در همه موارد، ضریب بازتاب جداره‌های آتریوم، ضریب بازتاب جداره‌های اتاق‌های همجوار، اندازه پنجره اتاق‌ها و میزان ضریب عبور نور از پنجره‌ها در همه شبیه سازی‌ها یکسان در نظر گرفته شده است. نسبت پنجره‌ها به سطح، هر چه به طبقات پایینتر آتریوم حرکت کنیم، افزایش می‌یابد (شکل ۳). میزان افزایش بازشوها در هر طبقه مطابق «جدول ۳» است. اطلاعات اقلیمی مورد استفاده در این پژوهش از فایل EPW ایستگاه هواشناسی مهرآباد تهران استخراج شده. سایر مشخصات ساختمان‌ها نیز در «جدول ۳» به نمایش گذاشته شده است.



شکل ۳- نسبت بازشوه به دیوار در طبقات تحتانی افزایش می‌یابد

Figure 3. Window to wall ratio increases in the lower floors

جدول ۲- مقاطع ساختمان و آتریوم‌های بررسی شده

Table 2. Sections of buildings and atriums examined

۳۰° جنوبی	۲۰° جنوبی	۱۰° جنوبی	۰°	۱۰° شمالی	۲۰° شمالی	۳۰° شمالی

جدول ۳- مشخصات آتریوم‌های شبیه سازی شده

Table 3. Specifications of simulated atriums

ضریب انعکاس جداره‌ها	میزان مفید اتاق‌ها	نسبت باز شو به سطح در جداره داخلی آتریوم					تعداد طبقات	ارتفاع کف تا کف هر طبقه	شاخص چاه آتریوم	ابعاد اضلاع پلان آتریوم	ابعاد اضلاع پلان ساختمان
		طبقه پنجم	طبقه چهارم	طبقه سوم	طبقه دوم	طبقه اول					
مطابق (جدول ۱)	۱۱۱ متر مربع	۲۰٪	۴۰٪	۶۰٪	۸۰٪	۱۰۰٪	۵	۴ متر	۰/۴۸	۱۳/۵ متر	۳۰ متر

یافته‌ها

شمالی کاهش پیدا می‌کند. برای نتیجه‌گیری، میانگین اعداد به دست آمده اتاق‌های شمالی و جنوبی در هر طبقه محاسبه شده که نشان می‌دهد بیشترین در صد «sDA» در طبقات فوقانی در آتریوم با شیب ۳۰ درجه به سمت شمال است و در طبقات تحتانی این عدد ۲۰ درجه به سمت جنوب می‌باشد.

۲-۳- نتایج ASE

خیرگی به دست آمده در نتایج پایین است زیرا در طبقات بالا نسبت باز شو به سطح اندک است و در طبقات پایین نور عمدتاً به صورت غیر مستقیم وارد فضا می‌شود. بیشترین میزان خیرگی در اتاق‌های شمالی است. به طور معمول با افزایش تمایل دیواره‌ی آتریوم به سمت شمال، میزان خیرگی در اتاق‌های شمالی بیشتر، و در اتاق‌های جنوبی کمتر می‌شود. در اتاق‌های جنوبی تقریباً خیرگی وجود ندارد. میانگین اعداد اتاق‌های شمالی و جنوبی نشان می‌دهد که با افزایش شیب به ۲۰ تا ۳۰ درجه به سمت جنوب، خیرگی در فضاهای مجاور آتریوم به حداقل می‌رسد. لیکن در طبقات فوقانی در صورتی که

شبیه سازی‌ها با هر سه معیار اندازه گیری روشنایی طبیعی «sDA»، «UDI» و «ASE» انجام شده است. اعداد حاصل از شبیه سازی‌ها، درصدی از فضای هر اتاق را که با در محدوده‌ی این معیارها قرار دارند را نشان می‌دهند. در هر سه این معیارها، نتایج شبیه سازی اتاق‌های مجاور آتریوم در جبهه‌ی شمال، در جبهه‌ی جنوب و میانگین این جبهه در نمودارهای جداگانه‌ای بررسی شده‌اند. اطلاعات در این نمودارها به تفکیک طبقات و زاویه تمایل آتریوم نشان داده شده‌اند.

۱-۳- نتایج sDA

نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد هرچه تمایل دیواره‌های آتریوم به سمت شمال بیشتر شود، روشنایی «sDA» در اتاق‌های شمالی افزایش می‌یابد. اگرچه در این حالت روشنایی در اتاق‌های جنوبی کاهش پیدا می‌کند. متناظر این قضیه برای تمایل دیواره‌های آتریوم به سمت جنوب نیز صادق است. به گونه‌ای که با افزایش زاویه‌ی تمایل آتریوم به سمت جنوب، روشنایی «sDA» در اتاق‌های جنوبی افزایش، و در اتاق‌های

طبقات پایین تاثیر مثبتی دارد و در اتاق‌های جنوبی، انحراف به سمت جنوب مطلوب‌تر است. نتیجه‌ی بررسی میانگین‌های نتایج اتاق‌های شمالی و جنوبی نشان می‌دهد ۱۰ تا ۲۰ درجه انحراف به سمت جنوب تاثیر مثبتی بر «UDI» در طبقات پایین، و ۳۰ درجه انحراف، بیشترین تاثیر را در طبقات بالا دارد.




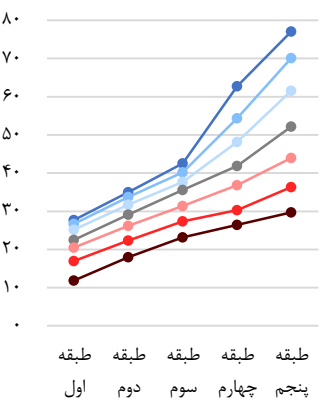
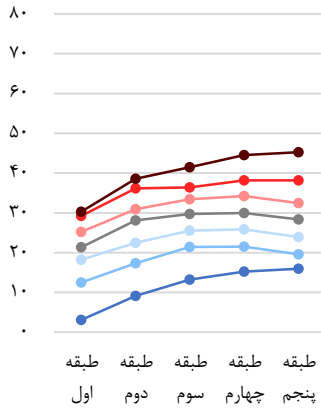
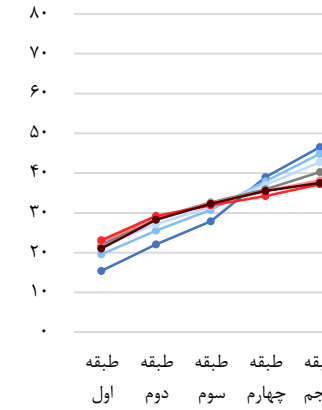
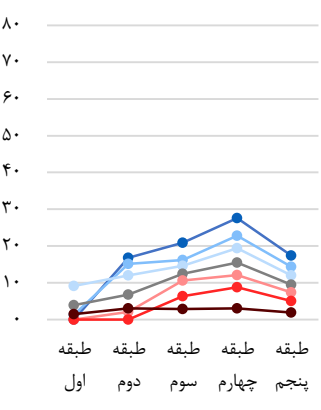
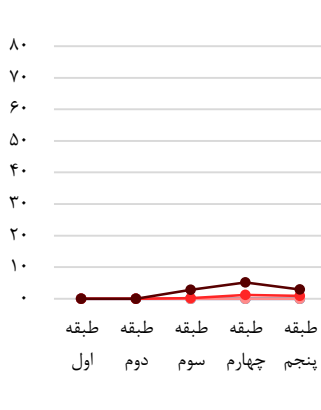
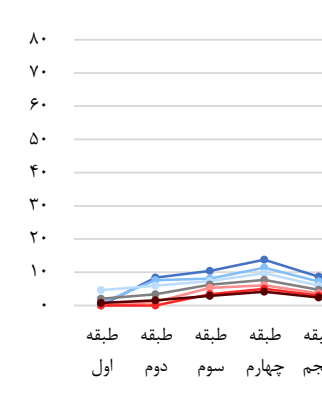
تمایل دیواره‌ها به همین میزان به سمت شمال قرار گرفته شوند، حدود ۲۰ درصد از فضای طبقات بالا در حد نصاب «ASE» قرار می‌گیرد، به عبارت دیگر ۲۰ درصد از فضای اتاق‌های بالا با مشکل خیرگی مواجه می‌شود.

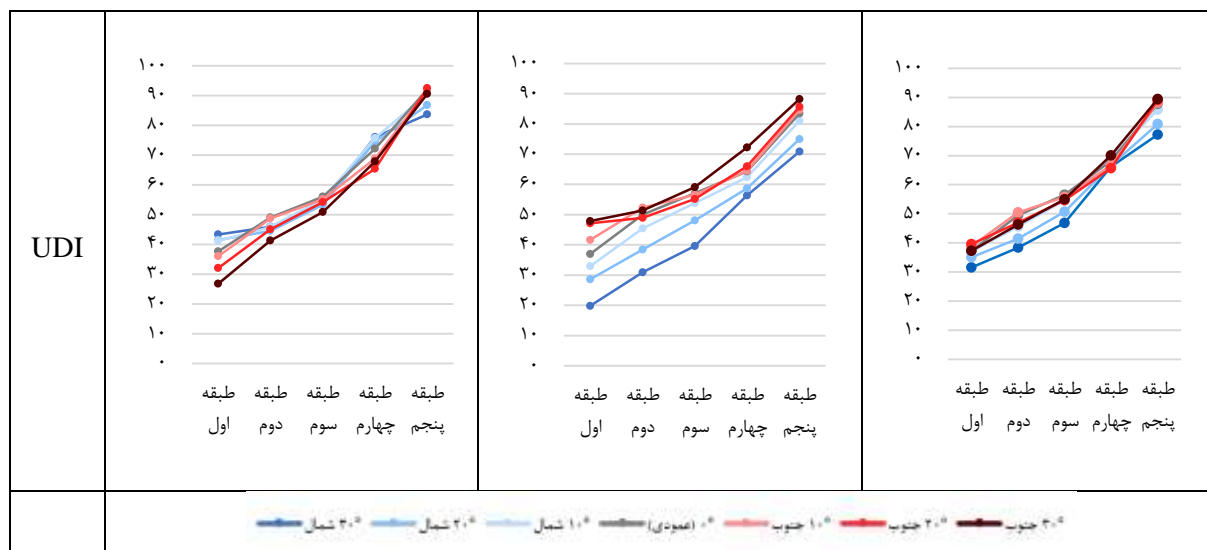
۳-۳- نتایج UDI

رفتار شاخص «UDI» در اتاق‌های شمالی آتریوم در هر طبقه متفاوت است، با این حال انحراف جداره‌ها در جهت شمال در

جدول ۴- نتایج شبیه سازی

Table 4. Simulation results

	اتاق‌های شمالی 	اتاق‌های جنوبی 	اتاق‌های شمالی و جنوبی 
sDA	 <p>خطی که نشان‌دهنده تغییرات sDA در طبقات اول تا پنجم برای اتاق‌های شمالی است. محور عمودی از ۰ تا ۸۰ و محور افقی از طبقه اول تا پنجم است. چندین خط با رنگ‌های مختلف (سبز، قرمز، آبی، خاکستری) نشان‌دهنده داده‌های مختلف است که در کل به سمت بالا روند دارند.</p>	 <p>خطی که نشان‌دهنده تغییرات sDA در طبقات اول تا پنجم برای اتاق‌های جنوبی است. محور عمودی از ۰ تا ۸۰ و محور افقی از طبقه اول تا پنجم است. چندین خط با رنگ‌های مختلف نشان‌دهنده داده‌های مختلف است که در کل به سمت بالا روند دارند.</p>	 <p>خطی که نشان‌دهنده تغییرات sDA در طبقات اول تا پنجم برای اتاق‌های شمالی و جنوبی است. محور عمودی از ۰ تا ۸۰ و محور افقی از طبقه اول تا پنجم است. چندین خط با رنگ‌های مختلف نشان‌دهنده داده‌های مختلف است که در کل به سمت بالا روند دارند.</p>
ASE	 <p>خطی که نشان‌دهنده تغییرات ASE در طبقات اول تا پنجم برای اتاق‌های شمالی است. محور عمودی از ۰ تا ۸۰ و محور افقی از طبقه اول تا پنجم است. چندین خط با رنگ‌های مختلف نشان‌دهنده داده‌های مختلف است که در کل به سمت بالا روند دارند.</p>	 <p>خطی که نشان‌دهنده تغییرات ASE در طبقات اول تا پنجم برای اتاق‌های جنوبی است. محور عمودی از ۰ تا ۸۰ و محور افقی از طبقه اول تا پنجم است. چندین خط با رنگ‌های مختلف نشان‌دهنده داده‌های مختلف است که در کل به سمت بالا روند دارند.</p>	 <p>خطی که نشان‌دهنده تغییرات ASE در طبقات اول تا پنجم برای اتاق‌های شمالی و جنوبی است. محور عمودی از ۰ تا ۸۰ و محور افقی از طبقه اول تا پنجم است. چندین خط با رنگ‌های مختلف نشان‌دهنده داده‌های مختلف است که در کل به سمت بالا روند دارند.</p>



نتیجه گیری

استفاده از روشنایی طبیعی در ساختمان علاوه بر بهبود سلامت انسان‌ها، سبب کاهش وابستگی به روشنایی مصنوعی و در نتیجه کاهش اثرات نامطلوب استفاده از سوخت‌های فسیلی می‌شود. لیکن افزایش ابعاد بازشوها برای جذب بیشتر نور در فضا می‌تواند بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان را افزایش داده و منجر به مصرف انرژی بیشتر شود. پژوهش‌های گذشته، اطلاعاتی را در خصوص تاثیر زاویه‌ی تمایل (شیب) دیوارهای آتریوم، با حفظ میزان بازشوی دهانه‌ی سقف، بر شاخص‌های روشنایی دینامیک در فضاهای مجاور آن ارائه نکرده‌اند. لذا هدف این پژوهش، پاسخ به این مسئله از طریق مدل سازی روشنایی طبیعی مبتنی بر اقلیم، برای شهر تهران است. در مدل سازی، هفت ساختمان با آتریوم‌های میانی بررسی شده‌اند. در هر هفت مورد، ضریب بازتاب جدارهای آتریوم، ضریب بازتاب جداره‌های اتاق‌های همجوار، اندازه پنجره اتاق‌ها و میزان ضریب عبور نور از پنجره‌ها یکسان در نظر گرفته شده و تنها زاویه تمایل دیوارهای آتریوم در این هفت ساختمان متغیر است. این زوایا از ۳۰ درجه در جهت شمال تا ۳۰ درجه در جهت جنوب مدل سازی شده‌اند و تاثیر آن بر معیارهای سنجش روشنایی طبیعی دینامیک در اتاق‌های شمالی و جنوبی مجاور آتریوم‌ها بررسی شده‌اند.

طبقات بالایی امکان افزایش میزان نور دریافتی از طریق افزایش بازشوها را دارا هستند لذا در بررسی نتایج، اولویت با طبقات

تحتانی آتریوم است. نتایج نشان می‌دهد ۲۰° تمایل دیوارهای داخلی آتریوم در جهت جنوب، تاثیر مثبتی بر هر سه معیار روشنایی دینامیک در میانگین اتاق‌های شمالی و جنوبی طبقات پایینی دارد. در آتریوم عادی که زاویه تمایل جداره‌ها ۰° است، ۲۱٪/۹ از کل فضا در طبقه اول به حد نصاب «sDA» رسیده است، که با ۲۰° تمایل دیوارهای داخلی آتریوم در جهت جنوب، این عدد به ۲۳٪/۱ درصد افزایش پیدا می‌کند. حد نصاب رسیده شده در معیار «UDI» طبقه اول آتریوم با زاویه تمایل ۰° مساوی با ۳۷٪/۳ است. با ۲۰° تمایل دیوارهای داخلی آتریوم در جهت جنوب این عدد به ۳۹٪/۶ افزایش پیدا می‌کند. با این حال در طبقات ۲، ۳ و ۴ عملکرد آتریوم در «UDI» با زاویه قائم کمی بهتر از آتریوم ۲۰° جنوبی است، اما این کمبود با افزایش ابعاد بازشوها قابل جبران است. به طور کلی خیرگی به دست آمده در نتایج اندک است زیرا در طبقات بالا نسبت باز شو به سطح کم است و در طبقات پایین نور عمدتاً به صورت غیر مستقیم وارد فضا می‌شود. از این رو در صد فضایی که در طبقات پایینی به حد نصاب معیار «ASE» قرار می‌رسد قابل اغماض است.

اگرچه تاثیر تغییر زاویه تمایل آتریوم از ۰° به ۲۰° در جهت جنوب نسبتاً اندک است با این حال طراح می‌تواند فضاهایی که نیاز بیشتری به نور طبیعی دارند، در ضلع جنوبی آتریوم، و فضاهای خدماتی را در سمت شمال قرار دهد. در این حالت

- Energy*, vol. 211, pp. 1216–1228, Feb. 2018, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.11.104.
7. I. Acosta, M. Á. Campano, S. Domínguez, and J. Fernández-Agüera, “Minimum Daylight Autonomy: A New Concept to Link Daylight Dynamic Metrics with Daylight Factors,” *LEUKOS*, vol. 15, no. 4, pp. 251–269, Oct. 2019, doi: 10.1080/15502724.2018.1564673.
 8. (8) M. Mohsenin and J. Hu, “Assessing daylight performance in atrium buildings by using Climate Based Daylight Modeling,” *Solar Energy*, vol. 119, pp. 553–560, Sep. 2015, doi: 10.1016/j.solener.2015.05.011.
 9. P. Boyce and K. Smet, “LRT symposium ‘Better metrics for better lighting’ – a summary,” *Lighting Research & Technology*, vol. 46, no. 6, pp. 619–636, Dec. 2014, doi: 10.1177/1477153514558161.
 10. P. Xue, C. M. Mak, and Y. Huang, “Quantification of luminous comfort with dynamic daylight metrics in residential buildings,” *Energy and Buildings*, vol. 117, pp. 99–108, Apr. 2016, doi: 10.1016/j.enbuild.2016.02.026.
 11. C. F. Reinhart, J. Mardaljevic, and Z. Rogers, “Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design,” *LEUKOS*, vol. 3, no. 1, pp. 7–31, Jul. 2006, doi: 10.1582/LEUKOS.2006.03.01.001.
 12. A. Nabil and J. Mardaljevic, “Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors,” *Energy and Buildings*, p. 9, 2006.
 13. M. Sudan, R. G. Mistrick, and G. N. Tiwari, “Climate-Based Daylight

استفاده از آتریوم با جداره‌های مورب بیشترین کارایی را دارد. با توجه به اینکه این شبیه سازی به کمک اطلاعات اقلیمی شهر تهران به دست آمده است، نتایج حاصل تنها برای همین شهر قابل استفاده می‌باشد. انجام مراحل مشابه برای سایر مناطق می‌تواند بانک اطلاعاتی کاملی از نحوه‌ی تاثیر زاویه‌ی تمایل آتریوم بر معیارهای داینامیک روشنایی طبیعی به وجود آورد.

References

1. Statistical Center of Iran, “Licenses issued for the construction of buildings by the municipalities of the country 1380-1397.” (In Persian)
2. A. A. Ahadi, M. R. Saghafi, and M. Tahbaz, “The study of effective factors in daylight performance of light-wells with dynamic daylight metrics in residential buildings,” *Solar Energy*, vol. 155, pp. 679–697, Oct. 2017, doi: 10.1016/j.solener.2017.07.005.
3. A. Wirz-Justice, D. J. Skene, and M. Münch, “The relevance of daylight for humans,” *Biochemical Pharmacology*, p. 114304, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.bcp.2020.114304.
4. H. Omrany, A. Ghaffarianhoseini, U. Berardi, A. Ghaffarianhoseini, and D. H. W. Li, “Is atrium an ideal form for daylight in buildings?,” *Architectural Science Review*, vol. 63, no. 1, pp. 47–62, Jan. 2020, doi: 10.1080/00038628.2019.1683508.
5. “Transition to Sustainable Buildings – Analysis,” *IEA*. <https://www.iea.org/reports/transition-to-sustainable-buildings> (accessed Sep. 17, 2021).
6. I. Acosta, C. Varela, J. F. Molina, J. Navarro, and J. J. Sendra, “Energy efficiency and lighting design in courtyards and atriums: A predictive method for daylight factors,” *Applied*

21. U. Iyer-Raniga, "Daylighting in Atrium Spaces," p. 15.
22. J. Du and S. Sharples, "The assessment of vertical daylight factors across the walls of atrium buildings, Part 1: Square atria," *Lighting Research and Technology*, vol. 44, pp. 109–123, Jun. 2012, doi: 10.1177/1477153511412530.
23. (23) B. L. Oretskin, "Studying the efficiency of lightwells by means of models under an artificial sky," Knoxville, 1982, pp. 459–463.
24. R. J. Cole, "The effect of the surfaces enclosing atria on the daylight in adjacent spaces," *Building and Environment*, vol. 25, no. 1, pp. 37–42, Jan. 1990, doi: 10.1016/0360-1323(90)90039-T.
25. B. M., "The Effect of the Cover and Reflective Properties of a Four-Sided Atrium on the Behaviour of Light," *Architectural Science Review*, vol. 38, no. 1, pp. 3–8, Mar. 1995, doi: 10.1080/00038628.1995.9696770.
26. O. Aschehoug, "Daylight design for glazed spaces," Long Beach, CA, Nov. 1986, pp. 237–243.
27. S. Samant, "Atrium and its adjoining spaces: a study of the influence of atrium fac, ade design," *ARCHITECTURAL SCIENCE REVIEW*, p. 14.
28. M. DeKay, "DAYLIGHTING AND URBAN FORM: An Urban Fabric of Light," *Journal of architectural and planning research*, vol. 27, pp. 35–56, Mar. 2010.
29. S. R. Samant, "A parametric investigation of the influence of atrium facades on the daylight performance of atrium buildings," Dec. 2011, Accessed: Apr. 18, 2021. (Online). Modeling (CBDM) for an atrium: An experimentally validated novel daylight performance," *Solar Energy*, vol. 158, pp. 559–571, Dec. 2017, doi: 10.1016/j.solener.2017.09.067.
14. L. Moosavi, N. Mahyuddin, N. Ab Ghafar, and M. Azzam Ismail, "Thermal performance of atria: An overview of natural ventilation effective designs," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 34, pp. 654–670, Jun. 2014, doi: 10.1016/j.rser.2014.02.035.
15. S. Samant and F. Yang, "Daylighting in atria: The effect of atrium geometry and reflectance distribution," *Lighting Research & Technology - LIGHTING RES TECHNOL*, vol. 39, pp. 147–157, Jun. 2007, doi: 10.1177/1365782806074482.
16. N. V. Baker, A. Fanchiotti, and K. Steemers, *Daylighting in Architecture: A European Reference Book*. Routledge, 2013.
17. M. Ghasemi, M. Z. Kandar, and M. Noroozi, "Investigating the effect of well geometry on the daylight performance in the adjoining spaces of vertical top-lit atrium buildings," *Indoor and Built Environment*, vol. 25, no. 6, pp. 934–948, Oct. 2016, doi: 10.1177/1420326X15589121.
18. M. Rastegari, "Daylight optimization through architectural aspects in an office building atrium in Tehran," p. 58.
19. T. Neal and S. Lash, "The influence of well geometry on daylight levels in atria.," 1992, pp. 342–45.
20. M. Boubekri, "The Effect of the Cover and Reflective Properties of a Four-Sided Atrium on the Behaviour of Light," *Architectural Science Review*, vol. 38, no. 1, pp. 3–8, Mar. 1995, doi: 10.1080/00038628.1995.9696770.

- Standard 90.1,” PNNL-22698, 1092662, Aug. 2013. doi: 10.2172/1092662.
32. B. Beckers, *Solar Energy at Urban Scale*. 2013. doi: 10.1002/9781118562062.
33. designbuilder.co.uk-a, “DesignBuilder Software Ltd - Daylighting.” <https://designbuilder.co.uk/daylighting> (accessed Jul. 08, 2021).
- Available:
<http://eprints.nottingham.ac.uk/12303/>
30. J. Du and S. Sharples, “The variation of daylight levels across atrium walls: Reflectance distribution and well geometry effects under overcast sky conditions,” *Solar Energy*, vol. 85, no. 9, pp. 2085–2100, Sep. 2011, doi: 10.1016/j.solener.2011.05.015.
31. R. A. Athalye, Y. Xie, B. Liu, and M. I. Rosenberg, “Analysis of Daylighting Requirements within ASHRAE