

نشریه پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، سال هشتم، شماره سی و یکم، زمستان ۱۳۹۶

شاپا چاپی: ۵۲۲۹-۲۲۲۸، شاپا الکترونیکی: ۳۸۴۵-۲۴۷۶

دریافت: ۱۳۹۶/۵/۲۲ - پذیرش: ۱۳۹۶/۸/۱۹

<http://jupm.miau.ac.ir/>

صص ۲۴۹-۲۶۶

سنجش میزان تأثیر زاویه تمایل آتریوم بر آسایش بصری دانش آموزان توسط کارایی نور روز در ساختمان های آموزشی شهر تهران " یک مطالعه میدانی و شبیه سازی "

احمدرضا تورانی: دانشجوی دکتری معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد امارات، دبی، امارات متحده عربی،
سید مجید مفیدی شمیرانی^۱: استادیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران،
منصوره طاهباز: دانشیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیده:

در این تحقیق به این موضوع که چگونه می توان از راهکارهای جدید جهت مهیا کردن آسایش بصری دانش آموزان و کاهش مصرف انرژی در ساختمان های آموزشی استفاده کرد، پرداخته شده است، چرا که ساختمان های آموزشی زمانی مورد استفاده قرار می گیرند که نور روز وجود دارد. به دلیل اهمیت نور روز در افزایش بهره وری و تأثیر آن بر سلامتی، رفاه و افزایش کارایی بصری در یادگیری، خواندن و نوشتن، ضرورتاً این نوع ساختمان ها مورد توجه واقع شده اند. هدف این مقاله بررسی تأثیر زاویه تمایل آتریوم بر عملکرد نور روز به وسیله تحلیل پارامترهای مؤثر است به گونه ای که تأمین کننده آسایش بصری باشد. در راستای تحقق این هدف یک مدرسه ابتدایی که دارای آتریوم مورب می باشد و در شمال غربی شهر تهران قرار دارد به عنوان نمونه مطالعاتی بر اساس روش تحقیق کمی و طبق ماهیت داده ها انتخاب شد که در راستای تحقق تحقیق میدانی، بر مبنای محاسبات کمی در روش تحقیق بنیادین-کاربردی بوده است. زاویه های تمایل متفاوت آتریوم بر مبنای جهت گیری به سمت دیاگرام خورشیدی و تأثیر آن بر مقدار نفوذ نور روز در زمان های مشخص در ۳ کلاس مجاور آتریوم با زاویه های تمایل رو به شمال و جنوب تحلیل شدند. نتایج محاسبه شده نرم افزارهای شبیه سازی رادینانس^۱ و دیسیم^۲ بر اساس موضوع ضوابط انرژی روشنایی،^۳ CIBSE (LG10^۴ & Guide A) و CIBSE (2007)^۵ (طراحی مدرسه) و (طراحی محیطی) و شاخص سنجش اعتبار در ساختمان های سبز^۶ (LEED8.1) به عنوان شاخص های کمی برای بررسی سنجش اعتبار روشنایی بررسی شده اند و مورد استفاده قرار گرفتند. نهایتاً آزمون میدانی فوتومتریک با استفاده از ابزار سنجش روشنایی^۷ مورد استفاده قرار گرفت تا نتایج تحلیلی و یافته های تحلیل محاسباتی تأیید اعتبار شوند و بنابراین نتیجه گیری ارائه شد.

کلمات کلیدی: آتریوم- زاویه تمایل - کارایی نور روز- برنامه شبیه ساز رادینانس- آزمون فوتومتریک

¹ Radiance

² Daysim

³ Chartered Institute of Building Services Engineers, a Guide for Designers, Daylighting and window design

⁴ Chartered Institute of Building Services Engineers, a Guide for Designers, CIBSE, (2006).

Environmental design: CIBSE guide A. 7th ed., London: CIBSE: p. 2- 8.

⁵ CABE, (۲۰۰۷), CABE's new schools design quality program, London

۱- مقدمه

به دنبال اهمیت علوم آسایش انسانی و مخاطراتهای بحران انرژی در دهه اخیر و همچنین گزارش‌های منتشر شده به وسیله سازمان جهانی انرژی^۸، روشنایی با بیش از ۲۵٪ سرانه مصرف انرژی در جایگاه دوم پس از سیستم‌های سرمایش-گرمایش با ۴۵٪ سرانه مصرف انرژی در یک ساختمان قرار می‌گیرد، لذا طراحی صحیح آتریوم‌ها در کاهش مصرف انرژی و عدم وابستگی به سیستم‌های مکانیکی و الکترونیکی، پتانسیل قابل توجهی دارد، زیرا که طراحی نامناسب آتریوم‌ها که تحت تأثیر فاکتورهای مهمی چون زاویه تمایل آتریوم‌ها، تناسبات چاه^۹، کنترل سایه اندازی، شکل آتریوم، نسبت ظرفیت حرارتی و سطوح به دیوارها می‌باشد، مشکلات خاصی را ایجاد می‌کند. (shokuhmand et al, 2016) ویژگی‌های فیزیکی یک آتریوم و به ویژه زاویه تمایل آن به طور قابل توجهی می‌تواند توزیع میزان بهینه نور روز و شدت مناسب آن را تحت تأثیر قرار دهد و از خیرگی، درخشندگی و تنوع درخشندگی در فضاهای مجاور جلوگیری کند. یک آتریوم، در صورتی که تمام فاکتورهای مؤثر بر طراحی آن که در بالا اشاره شد، در آن مد نظر قرار گرفته شوند، می‌تواند نقش بسزایی در کاهش میزان مصرف و نیز هزینه مصرف روشنایی مصنوعی داشته باشد و می‌تواند به عنوان یک سیستم انرژی غیرفعال در جهت ایجاد اثربخشی انرژی مؤثر واقع شود (kazemzadeh, 2015, 246-251).

در یک تحقیق در سال ۲۰۱۶، محققین نشان دادند که اکثر دانش‌آموزان ترجیح می‌دهند در جاهایی با نور روز بیشتر کار کنند و طول مدت زمان مطالعه به عنوان مهم‌ترین خروجی آموزشی در مکان‌هایی که از نور روز مناسب بهره می‌برند، افزایش می‌یابد (zomorodian et al, 2016, 15-24) و در تحقیق دیگری نقش معیارهای استاندارد در توسعه پایدار جهت پیش‌بینی نور روز در یک آتریوم و روش مرحله به مرحله خلاصه شده طراحی آن بر اساس نور روز مورد بررسی قرار گرفته است (calcagni et al, 2004, 669-682). از یک سو باید گفت که طراحی نامعقول آتریوم، کاربران را با چالش‌هایی چون بیش‌گرمایش، تنوع درخشندگی و افزایش مصرف انرژی مواجه می‌سازد (shokuhmand et al, 2016) و از سوی دیگر انعکاس سطوح آتریوم به جداره‌های آتریوم، از فاکتورهای اصلی هستند که بر تحلیل شدت نور روز در فضاهای مجاور تأثیر می‌گذارند (cole, 1990, 37-42) و همچنین نسبت سطوح شیشه‌ای به دیوارها می‌تواند به طور چشمگیری نور روز را افزایش داده و بنابراین مصرف انرژی‌های الکتریکی را کاهش دهد (Vetch, 1998, 92-106) اما توصیه می‌شود که تأثیر انعکاس‌های نور از جمله درخشندگی و خیرگی نیز در نظر گرفته شوند. علیرغم مطالعات متعددی که به منظور درک مزایای آتریوم‌ها که شامل تناسبات چاه، ارتفاع سایه اندازی، نوع شفافیت سقف و ظرفیت حرارتی دیوارهای آتریوم انجام شده است، در هیچ یک از این مطالعات به تأثیر

⁹ Well: The proportion space which is enclosed by the boundary surfaces of an atrium (i.e. walls, floor, and roof).

⁸ IEA(International Energy Agency)

ماهیت داده ها از روش های کمی و کیفی استفاده شده است و در بخشی از این مقاله که به محدوده مطالعاتی مربوط است، تحقیق به صورت میدانی و بر مبنای محاسبات کمی می باشد. داده های تحقیق و طرح ها و نقشه های ساختمان احداث شده به عنوان منابع دست اول و از طریق مشاهده و مصاحبه، مطالعه ی کتابخانه ای، مطالعات میدانی و تحلیل های نرم افزاری پس از ورود اطلاعات اولیه در نرم افزار انجام پذیرفته است. در این تحقیق یک ساختمان آموزشی با یک آتریوم مورب در تهران به عنوان نمونه مطالعاتی انتخاب شد و سپس میزان عمق نفوذ و نور روز دریافت شده در ۳ کلاس مجاور آتریوم مورب با نرم افزارهای سنجش انرژی، دیسیم و رادیانس مورد ارزیابی قرار گرفتند.

روش هدایت شده در این مقاله به چهار قسمت تقسیم شده است. در ابتدا، مرور متون از بین مطالعات مرتبط، استخراج مفاهیم، چارچوب نظری و محاسبات کمی جهت ارزیابی مؤثر بودن کارایی نور روز مورد بررسی قرار گرفته است. در مرحله ی دوم، نرم افزارهای مناسب انتخاب شدند تا اهداف تحقیق، را محقق گردانیده و ارزیابی نتایج در مقایسه با روش های تجربی مورد تأیید واقع شوند. در مرحله ی سوم به منظور تحلیل پارامترهای مؤثر، مدل های شبیه سازی شده با زوایای مورب متفاوت یک آتریوم به منظور تشخیص افزایش کارایی نور روز در فضای اطراف آتریوم، مورد تحلیل قرار گرفتند و در مرحله ی آخر، مدل های خروجی به شکل داده های عددی در تحلیل آزمون فوتومتریک نرم افزار به منظور اعتبارسنجی یافته

زاویه تمایل آتریوم و ارتباط بین زاویه بهینه و دیگرام خورشیدی در یک منطقه اقلیمی ویژه در جهت افزایش عمق نفوذ روشنایی، میزان نور دریافت شده و ایجاد یکنواختی با شدت مناسب که اساسی ترین مسائل برای معماران هستند، پرداخته نشده است و این در حالی است که بیان این مسئله می تواند بسیاری از فاکتورهای کلیدی را تحت تأثیر قرار داده تا بهره وری میزان آسایش بصری دانش آموزان را افزایش دهد و باعث کاهش مصرف انرژی های تجدید ناپذیر شود.

همچنین قابل ذکر است که عدم وجود یک الگوی جامع که با ضوابط طراحی ای سازگار باشد که قادر به در نظر گیری معیارهای استاندارد جهت دریافت تأثیرات زاویه تمایل آتریوم باشد و همچنین فقدان و کمبود نمونه های مطالعاتی (نمونه موردی) که دارای آتریوم مورب باشند، انجام این تحقیق را دارای اهمیت و ضروری می نماید.

در بخش یافته های این مقاله، نتایج تحلیل به شکل شبکه بندی های عددی و نمودارهای گرافیکی در شرایط شبیه سازی از خروجی نرم افزارهای سنجش نور روز در مقایسه با داده های ضبط شده ی دستی در موقعیت مکانی موردنظر قرار گرفته که منجر به اثبات نقش مفید زاویه تمایل شمال- جنوب آتریوم در نمونه موردی و افزایش میزان کمی مناسب نور روز و عمق نفوذ آن بدون به خطر انداختن شاخص نور روز مفید ۱۰ برای کاربران ساختمان می گردد.

۱-۱- روش شناسی تحقیق

با در نظر گرفتن موضوع این مقاله، روش این تحقیق بنیادین کاربردی و بر اساس هدف تحقیق و طبق

¹⁰ Useful Daylight Illuminance

های تحقیق با داده های خروجی آزمون فوتومتريک میدانی مقایسه و تأیید شده است.

۱-۲- مرور متون:

وجود فاکتورهای متعدد تأثیرگذار بر طراحی یک آتریوم در اقلیم مشخص، طراحی را پیچیده تر می کند. یکی از این فاکتورهای مهم اقلیمی شرایط آسمان بوده که در طی یک سال تحصیلی در تهران به صورت ابری یا آفتابی یا ترکیبی می باشد. از آنجایی که ۲/۳ سال تحصیلی در فصل های پاییز و زمستان قرار دارد و در بیش از ۳۰٪ مواقع، آسمان به صورت ابری می باشد، (۱۵٪ نیمه ابری، ۱۵٪ ابری^{۱۱}) و همین امر دلیل اصلی در نظر گرفتن شرایط آسمان ابری به عنوان بدترین شرایط آب و هوایی از جهت میزان دریافت نور و روشنایی می باشد که می توان این اطمینان را حاصل کرد که حتی در بدترین شرایط آب و هوایی امکان استفاده از حداقل نور روز مطلوب وجود دارد (new construction-technical manual, 2012,391-397) و این در حالیکه که زاویه تمایل یک آتریوم، فرصت ورود نور روز به قلب و مرکز یک ساختمان را مهیا میکند و در نتیجه با انتخاب زاویه بهینه می توان در حد امکان میزان عمق نفوذ روشنایی مطلوب را افزایش و از خیرگی و روشنایی زننده جلوگیری نمود.

تعاریف فاکتورهای تأثیرپذیر از زاویه تمایل آتریوم به شرح زیر می باشد:

۱- نور روز

بر اساس تعاریف شورای ساختمان سبز نوژ و مؤسسه تحقیقات ساختمان^{۱۲} (BRE)، فاکتور جهانی نور روز،

میانگین روشنایی در محیط داخلی در کلاس ها می باشد که به صورت درصدی از شبیه سازی نور روز بیرونی روی یک صفحه افقی و تحت استاندارد (کمیسیون بین المللی روشنایی)^{۱۳} در شرایط آسمان ابری^{۱۴} CIE تعریف می شود.

۱- میزان روشنایی نور روز

مقدار نوری که با معیار سنجش لوکس بر روی یک سطح به ازای هر واحد سطح اندازه گیری می شود. در مطالعات بیشتر طیف مناسب نور (۳۰۰ لوکس) برای کارهای بصری و دیداری، در کلاس های آموزشی پیشنهاد گردیده است (zomorodian et al, 2016,15).

(24)

۲- شدت درخشندگی نور روز

اندازه گیری شدت روشنایی به ازای یک واحد سطح می باشد و میزان توصیف شده نوری می باشد که از یک سطح خاص (که در سیستم جهانی^{۱۵} با cd/foot^2 نشان داده شده) تابیده شده یا بازتاب یافته است و با فوت کندل اندازه گیری می شود.

۳- یکنواختی

به صورت نسبت فاکتور حداقل نور روز به میانگین آن در درون فضا، تعریف شده است (simm et al, 2011, 329-334). نسبت فاکتور نور روز حداقل به میانگین آن (یکنواختی DF %) در بسیاری از استانداردهای روشنایی میزان ۰.۷ تعریف شده است.

۲- مفاهیم، دیدگاه ها و مبانی نظری پژوهش:

پس از تعاریف ذکر شده در مرور متون مرتبطه بر اساس تحقیق های هدایت شده توسط محققینی چون

برگرفته شده از سامانه ی ایستگاه هواشناسی تهران (شمال غرب)^{۱۱}

^{۱۲} Building Research Establishment (UK)

^{۱۳} International Commission on Illumination

^{۱۴} International Commission on Illumination

^{۱۵} SI(International System of units)

شبیه سازی انرژی همچون رادیانس و دیسیم که بر روی موتورهای شبیه ساز اکوتکت^{۲۰} و دیزاین بیلدر^{۲۱} قرار داده شده اند، مدل سازی گردیده تا حوزه هایی قابل تشخیص برای شبیه سازی نرم افزار را ایجاد کنند.

۲-۲-۲- شبیه سازی

شبیه سازی نور روز به وسیله نرم افزار دیسیم به صورت سالانه و نیز به وسیله نرم افزار رادیانس در زمان های مشخص (در آغاز، میانه و پایان ماه تحصیلی) انجام می شود. در این نرم افزار یک شبکه بندی در ارتفاع ۷۰ سانتی متر از زمین و به اندازه طول کلاس ها تعریف شده و به ۱۳ قسمت در راستای طولی تقسیم شده است. قابل ذکر است که در این نرم افزار، همه پنجره های ورودی نور روز از سایر جهت ها مسدود شده اند و تنها نور دریافتی از سمت آتریوم به عنوان یک متغیر تحلیل شده است.

۲-۲-۳- مقایسه خروجی ها

در این قسمت همه اطلاعات ذکر شده در بالا، در نرم افزار SPSS^{۲۲} در قالب ارقام وارد شده اند و نتایج در قالب یک نمودار دو متغیره استخراج شده اند تا توزیع میزان روشنایی و عمق نفوذ روشنایی در زمان های معین بر طبق تقویم آموزشی روی شبکه بندی حاصل از آزمون فوتومتریک ارائه شود تا یکنواختی روشنایی و خیرگی و تابش نامناسب ناشی از آن تعیین شوند. این متغیرها شامل عمق نفوذ و میزان روشنایی دریافت شده می باشند.

مردالجویک^{۱۶} (Merdaljevic, 1995, 181-188)، نیبل^{۱۷} (Nabil et al, 2005, 41-57)، اتمن^{۱۸} (Othman, 2012, 244-257) و دیگران^{۱۸}، CIBSE LG10، (2007) CABE، به منظور مهیا نمودن یک معیار ارزیابی میزان نور روز طبیعی، جدول ۱ استخراج و گردآوری گردید و به عنوان چارچوب نظری به منظور ارزیابی نمونه موردی و نتایج شبیه سازی شده، به کار گرفته شد.

جدول ۱: میزان مفید روشنایی نور روز بر اساس آسایش

شرایط نور	محدوده روشنایی	مطرح شده توسط
نور ناکافی	< 100 lux	Merdajevic, (مرداجویک)
نور کمی	100- 300 lux	Cibse LG 10
مناسب برای وظایف بصری همانند خواندن و نوشتن	300 -600 lux	Othman et al (اتمن و دیگران)
محدوده مورد قبول	300-900 lux	Merdajevic (مرداجویک)
نور روز قابل استفاده	900- 2400 lux	Cibse 2007
نور بیش از حد	> 2400 lux	Merdajevic (مرداجویک)

منبع: نگارندگان

بصری: به صورت سطح روشنایی مورد نیاز فضای آموزشی بر مبنای عملکرد بوده به نحوی که به تنهایی توسط روشنایی طبیعی قابل دسترس در محدوده مفاد جدول زیر باشد:

۲-۲-۲- روند استفاده از نرم افزارها در تحقیق:

۲-۲-۱- مدل سازی

نمونه موردی در محیط نرم افزار سه بعدی سازی رویت^{۱۹} و با توجه به استانداردهای طراحی، به منظور وارد کردن فایل مدل سه بعدی به درون برنامه های

²¹ Design Builder

²² Statistical Package for the Social Sciences: SPSS is a Windows based program that can be used to perform data entry and analysis and to create tables and graphs.

¹⁶ Merdajevic

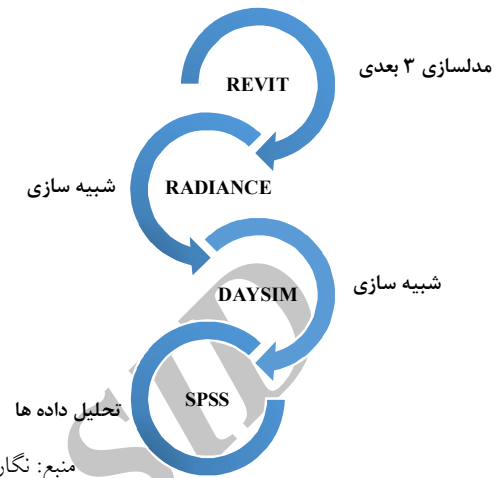
¹⁷ Nabil

¹⁸ Othman et al

¹⁹ Revit

²⁰ Ecotect

نمودار ۱: روند استفاده از نرم افزارها در تحقیق



منبع: نگارندگان

۲-۳- واحدهای کمی سنجش نور روز:

تاکنون بسیاری از واحدهای کمی سنجش نور روز برای اندازه گیری آن مطابق با معیارهای استاتیک و دینامیک مورد بررسی قرار گرفته اند. واحد سنجش کارایی نور روز استاتیکی تنها می تواند بر شرایط مطمئن آسمان اقلیمی مانند نور روز معمول در یک زمان مشخص متمرکز شود که صرفاً شامل روشنایی نور روز و یکنواختی آن می باشد (Reinhart, 2017) در صورتی که واحد سنجش کارایی نور روز دینامیکی هم زمان، چند عامل را در نظر می گیرد که این عوامل شامل شاخص نور روز مفید (UDI) (Dubois, 2001)، ساعت های بهره وری از نور روز (DA²³) و ساعتهای بهره وری در معرض تابش سالانه (ASE²⁴) و بهره وری مداوم از نور روز (CAD²⁵) می باشند. همچنین در واحدهای سنجش کمی دینامیکی، میزان کمی روشنایی انتخاب گردید که دیسیم نامیده می شود و تنوع فصلی نور روز در همه سال با رویدادهای آب و

هوایی نامنظم به عنوان فواید کلیدی عملکرد نور روز دینامیک در نظر گرفته می شوند (Reinhart et al., 2006, 31-37) پس همانگونه که در این تحقیق به اندازه گیری ها و شبیه سازی با معیارهای استاتیک و دینامیک تکیه شده، نرم افزار دوم پس از رادینانس انتخاب گردید که دیسیم نامیده می شود که به دلیل توانمندی های این نرم افزار به علت قابلیت و توانمندی آن در بهره وری پویا از نور روز در جهت به کار گیری مؤلفه های میزان روشنایی، شدت درخشندگی، یکنواختی و جلوگیری از خیرگی و تابش زننده گزینش شناسی شده است.

۲-۴- اعتبار سنجی نرم افزار:

رادینانس یک ردیاب تابش نور روز معتبر، بر مبنای بازتابش (بازخورد، انعکاس) فیزیکی است که نتیجه واقعی تری نسبت به روش شکست نوری²⁶ که توسط اکوتکت برای محاسبه فاکتور نور روز استفاده می شود (www.Radiance.com)، ارائه می کند و این روش می تواند، تصویری قابل اعتماد از محیط مدل سازی شده ایجاد نماید، تصویری که می تواند در ارزیابی آسایش بصری مؤثر باشد (Kazemzadeh et al., 2015, 246-251).

نرم افزار رادینانس قابلیت این را دارد که شرایط آسمان مثل آسمان صاف (با خورشید یا بدون خورشید)، استاندارد (آسمان ابری)، یا آسمان یکنواخت را شبیه سازی کند (Boyer et al, 1994, 676-681). به علاوه، برنامه شبیه ساز دیسیم نیز برای محاسبه سطح نور روز با همه شرایط آسمانی ممکن در طول سال براساس

²⁵ Continuous Daylight Autonomy

²⁶ split flux

²³ Daylight Autonomy

²⁴ Annual Sunlight Exposure



تصویر ۲: از درون آتریوم مورب منبع: نگارندگان

در سال ۲۰۱۲ مورد بهره برداری قرار گرفته است به عنوان نمونه موردی، انتخاب و تحلیل شد. (شکل ۱ و ۲).

مساحت کلی این مدرسه ۱۶۰۰ مترمربع بوده و دارای ۵ طبقه میباشد که، در طبقات همکف و اول ۳ کلاس آموزشی، پیرامون آتریوم قرار دارد و سایر کلاس ها در قسمتهای دیگر طبقات هستند. ساختمان مدرسه به سمت شمال و جنوب جهت گیری شده است که دارای ۳ کلاس اصلی برداشت شده در دو طرف آتریوم شمالی-جنوبی می باشد. کلاس های جنوبی در طبقه همکف (کلاس ۱) و طبقه اول (کلاس ۲) قرار دارند و کلاس های شمالی در طبقه اول (کلاس ۳) به عنوان نمونه انتخاب شده اند. (به ترتیب در جدول های ۱ و ۲ و ۳).

بر اساس داده های ایستگاه هواشناسی شمال غربی تهران، آسمان تهران در ۷۰٪ طول یک سال صاف و ۱۵٪ مواقع نیمه ابری و در ۱۵٪ مواقع نیز به صورت ابری می باشد. با توجه به اطلاعات ذکر شده در بالا، اندازه گیری میدانی در یک روز ابری انجام شده است.

بهره وری نور روز (معیارهای دینامیکی)^{۲۷} اعتبار سنجی می شود و این مهم ترین دلیل برای ایجاد نتایج واقعی تر و سنجش معتبرتر می باشد (Roy, 2000). در ادامه به اعتباردهی محققین زیر درباره ی نرم افزارهای مورد استفاده پرداخته شده است. بررسی لائودی نشان داد که شبیه سازی رادیانس می تواند به یک مدل عددی بسیار دقیق در فضاها در مقایسه با یک تحلیل تئوری و مدل اندازه گیری دست یابد (Laouadi et al, 2008, 3-15). مطمئناً یک مدل شبیه سازی و عددی کامپیوتری می تواند محققین را به ارزیابی سریع تر گزینه های طراحی سوق دهد (Hopkirk, 1999).

۲-۵- اندازه گیری نمونه مورد مطالعه:

از آنجایی که هدف این تحقیق تعیین نقش مفید زاویه تمایل آتریوم در عملکرد نور روز در ساختمان های آموزشی شهر تهران می باشد، مدرسه ابتدایی شهید مهدوی واقع در شمال غرب شهر تهران با طول جغرافیایی ۳۵/۷ و عرض جغرافیایی ۵۱/۳۸، که دارای یک آتریوم مورب با زاویه ۶۶° می باشد و توسط دکتر مجید مفیدی شمیرانی در سال ۲۰۰۹ طراحی شده و

مدرسه ابتدایی شهید مهدوی



منبع: Google Earth.com

تصویر ۱: موقعیت مکانی مدرسه شهید مهدوی

²⁷ Daylight Autonomy

جدول ۱: کلاس ۱				
نام	موقعیت	ارتفاع (متر)	طول (متر)	عرض (متر)
کلاس (۱)	طبقه همکف جنوبی	۳ متر	۸.۵ متر	۴ متر
<p>پلان طبقه همکف</p>				
جدول ۲: کلاس ۲				
نام	موقعیت	ارتفاع (متر)	طول (متر)	عرض (متر)
کلاس (۲)	جنوبی - طبقه اول	۳ متر	۷.۲ متر	۴ متر
<p>پلان طبقه اول</p>				
جدول ۳: کلاس ۳				
نام	موقعیت	ارتفاع (متر)	طول (متر)	عرض (متر)
کلاس (۳)	شمالی - طبقه اول	۳ متر	۳.۷ متر	۴ متر
<p>پلان طبقه اول</p>				
جدول ۴: ارتفاع کل				
جهت گیری		شمالی - جنوبی		
۱۸ متر				
<p>برش A-A</p>				

منبع: نگارندگان

جهت دستیابی به نتایج معتبرتر داده‌ها، تمامی نورهای مصنوعی خاموش شده و به جز پنجره‌های جداره‌ی آتریوم، سایر بازشوها با سطوح سیاه پوشیده شدند و فقط جداره‌های سمت آتریوم که پنجره دوجداره به کار گرفته شده و تأمین کننده نور روز بوده، مورد ارزیابی قرار گرفتند. داده‌ها هر یک ساعت از ساعت ۹ صبح تا ۳ بعدازظهر ثبت گردیدند.

(۵مارچ ۲۰۱۶، ۱۴ اسفند ۱۳۹۵). میزان روشنایی به وسیله نورسنج ST-1302 با دقت $\pm 1\%$ od $\pm 3\%$ ($<10,000 \text{ lux/ft}^2$) در ۱۳ نقطه روی شبکه بندی نمونه‌های از پیش تعریف شده براساس نرم افزار به عنوان یک شبه آزمایش فتومتریک در برنامه‌های دیسپیم و رادیانس بر سطح میز با ارتفاع ۰.۷ متر ثبت شدند.

۲-۶- نمونه مورد مطالعه:

آتریوم و فضاهای مجاور آن با شباهتی نزدیک به شرایط واقعی مدل سازی شدند و ویژگی های سطوح به صورت جدول زیر می باشند.

جدول ۵: ویژگی های نوری سطوح منبع: نگارندگان

عناصر ساختمان	ویژگی های نوری سطوح
پنجره (دو جداره)	۰.۷۸ انتقال نور
سقف	۸۵٪ انعکاس
دیوار داخلی	۷۵٪ انعکاس
کف	۶۰٪ انعکاس
دیوار بیرونی	۴۵٪ انعکاس
کف بیرونی	۷٪ انعکاس

تحلیل پارامترهای مؤثر تحت گنبد آسمان با شرایط آسمان ابری (10,000 lux) در ارتفاع ۰.۷ متر از کف (مشخص کننده ارتفاع میز) در فضای کلاس های مجاور آتریوم انجام شده است. علیرغم همه شرایط پیچیده در مورد محاسبه استفاده از پنجره های دو جداره در بهره برداری نور روز، این نوع پنجره ها مدل سازی شدند. علاوه بر آن، متغیرهای شبیه سازی شامل ارتفاع و عرض روزنه ها، در هر سه کلاس به صورت یکسان در نظر گرفته شده اند.

۳- یافته ها:

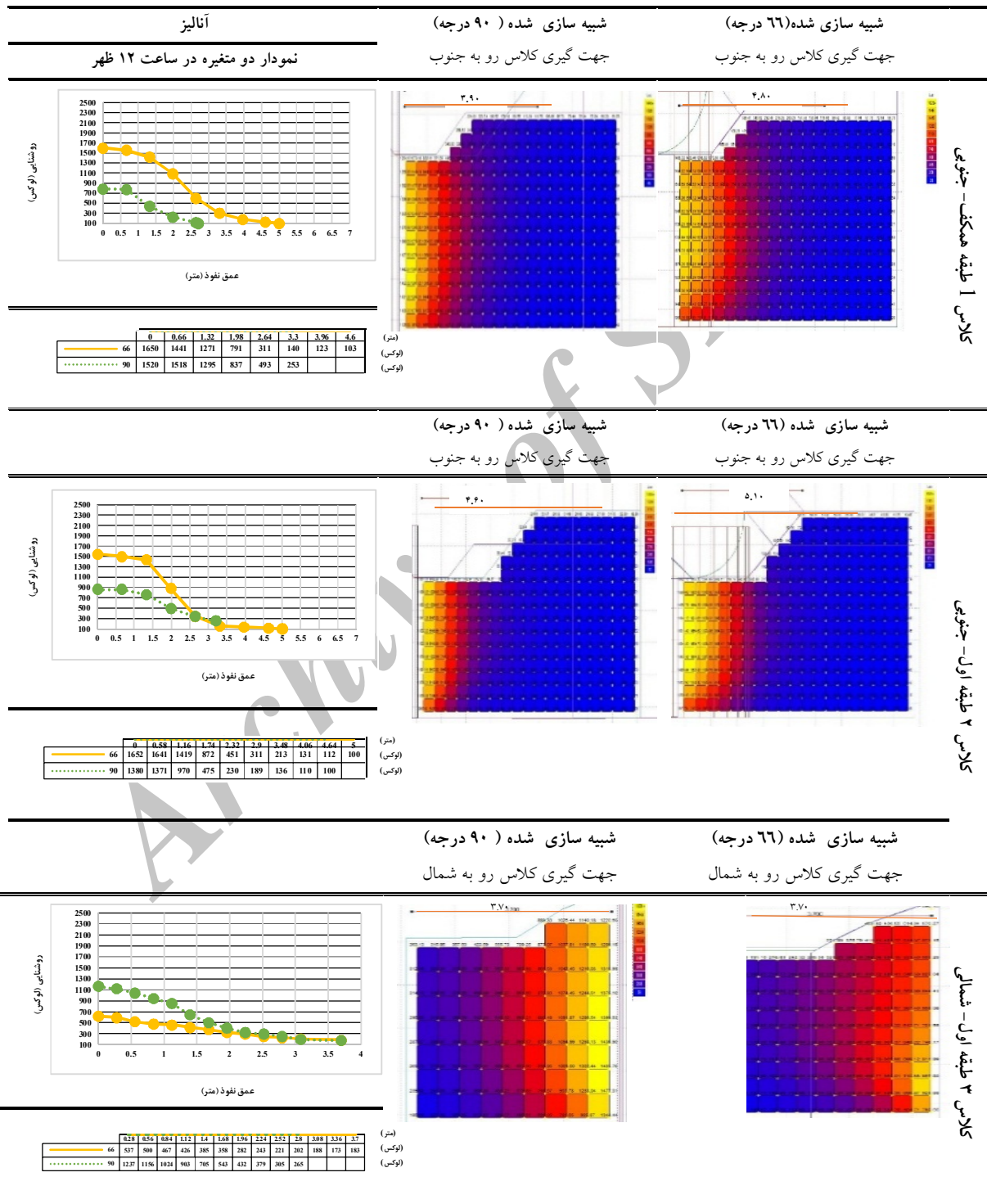
۳-۱- اعتبارسنجی:

مشخصه های کمی نور روز که شامل فاکتور نور روز، روشنایی، عمق نفوذ نور و یکنواختی می باشند، برای مدل هر کلاس محاسبه شدند. در تحلیل های صورت گرفته در پژوهش پیش رو، نرم افزار شبیه ساز رادیانس که دو متغیر عمق نفوذ نور روز و میزان نور دریافتی را

مورد بررسی قرار می دهد، به عنوان نرم افزار پایه در نظر گرفته شده است. اما برای اعتبارسنجی و موثق بودن اطلاعات مستخرج از این نرم افزار متناسب با متغیر عمق نفوذ نور روز، از نرم افزار شبیه ساز دیسیم که سنجش را به صورت سالانه مورد بررسی قرار می دهد، استفاده شده است و برای سنجش نور دریافتی به روش میدانی با ابزار سنجش نور روز، داده های مستخرج، مورد اعتبارسنجی قرار می گیرند و در نمودارهای زیر قیاس تطبیقی نتایج شبیه سازی نرم افزاری و نتایج بدست آمده میدانی، مشهود است و به دلیل محدودیت در تعداد صفحات از نمودارهای مذکور فقط نمودارهای خروجی یک روز (14 اسفند) منتخب گردیده که مصادف با زمان سنجش نور دریافتی با ابزار نورسنج در موقعیت مکانی نمونه موردی می باشد، که مطرح شده اند.

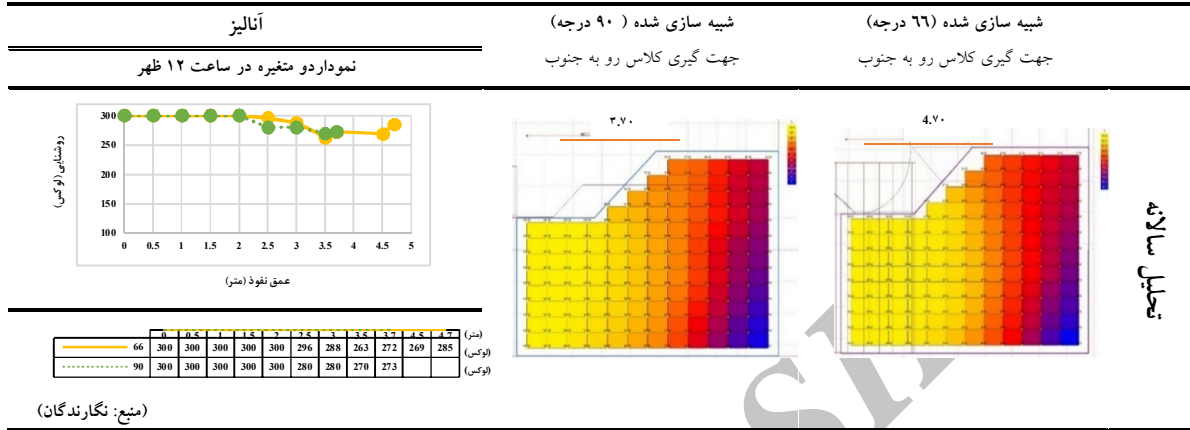
برای اعتبارسنجی خروجی های عمق نفوذ نور که توسط نرم افزار شبیه سازی رادیانس گرفته شده اند، عمق نفوذ نور مجدداً توسط نرم افزار شبیه ساز دیسیم که خروجی آن به صورت سالانه (با در نظر گرفتن ۱۰۰ لوکس به عنوان حداقل میزان نور دریافت شده) می باشد سنجیده شد و بر اساس نمودار ستونی زیر مورد مقایسه قرار گرفته اند و نتایج آن حاکی از تصدیق و اعتبار عمق نفوذ مشخص شده توسط نرم افزار رادیانس با موتورهای شبیه سازی اکوتکت و دیزاین بیلدر می باشد.

جدول ۶: مقایسه میزان روشنایی شبیه سازی شده در هر متر در آزمایش های فوتومتریک در ۱۴ اسفند (۵ مارچ) (با استفاده از نرم افزار شبیه ساز

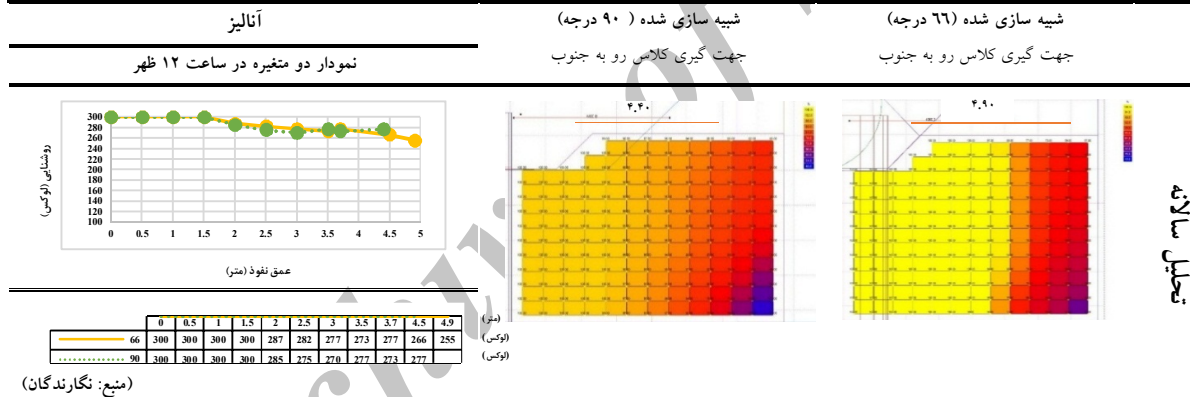


(منبع: نگارندگان)

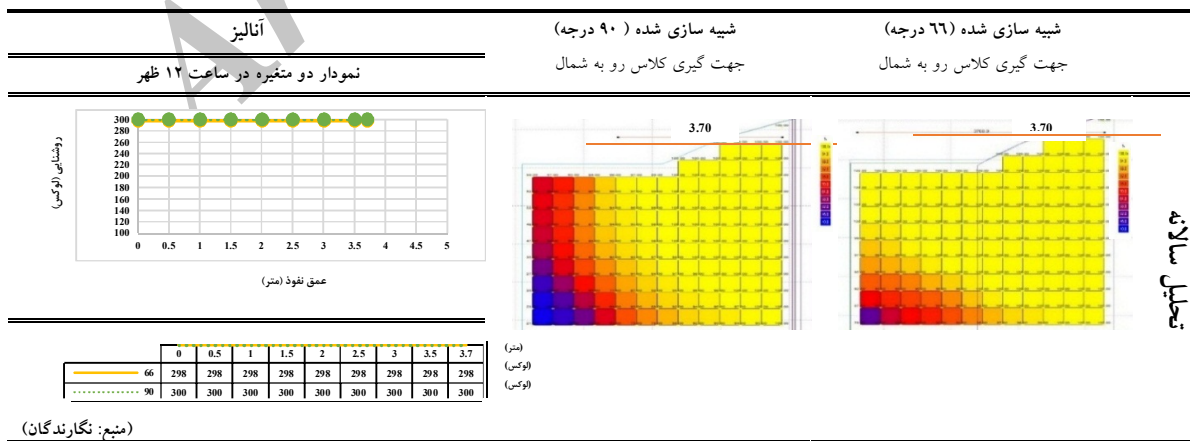
جدول ۷: مقایسه سطوح روشنایی شبیه سازی شده در آزمایش های فوتومتریک در کلاس ۱ (با استفاده از نرم افزار شبیه ساز دیسیم)



جدول ۸: مقایسه سطوح روشنایی شبیه سازی شده در آزمایش های فوتومتریک در کلاس ۲ (با استفاده از نرم افزار شبیه ساز دیسیم)



جدول ۹: مقایسه سطوح روشنایی شبیه سازی شده در آزمایش های فوتومتریک در کلاس ۳ (با استفاده از نرم افزار شبیه ساز دیسیم)



اسفند (۵ مارچ) که تنها یکی از ۳ روز بازدید از مدرسه در طول یک سال می باشد، میزان نور روز توسط ابزار سنجش نور در میانگین ۳ ردیف، در قسمت نزدیک تر به پنجره، در میانه کلاس و در انتهای کلاس بررسی شده است و جهت اعتبار سنجی نور روز دریافتی در نمونه مطالعاتی آزمون های فتومتریک نرم افزاری گرفته شده، نتایج ضبط شدند و در جدول زیر نتایج آزمون میدانی با خروجی های نرم افزار شبیه ساز رادیانس در کلاس های ذکر شده مقایسه شدند و همانگونه که در جدول دیده می شود، نتایج با تقریب ۲٪ اعتبار یافته های این تحقیق را اثبات می کند و اطلاعات راجع به آن در جدول زیر توصیف شده است.

جدول ۱۰: میزان روشنایی اندازه گیری شده در تاریخ ۱۴ اسفند با زاویه تمایل ۶۶ درجه در سه کلاس مجاور آتریوم (میانگین ضبط شده اعداد از ساعت (۹-۱۵) در هر ساعت

(منبع: نگارندگان)

	طبقه اول شمالی (کلاس ۳)	طبقه اول جنوبی (کلاس ۲)	طبقه همکف (کلاس ۱)
	66 درجه	66 درجه	66 درجه
	537 (لوکس)	1400 (لوکس)	1557 (لوکس)
	500 (لوکس)	1440 (لوکس)	1418 (لوکس)
	467 (لوکس)	1008 (لوکس)	1088 (لوکس)
	426 (لوکس)	727 (لوکس)	603 (لوکس)
	385 (لوکس)	435 (لوکس)	304 (لوکس)
	358 (لوکس)	310 (لوکس)	183 (لوکس)
	282 (لوکس)	236 (لوکس)	130 (لوکس)

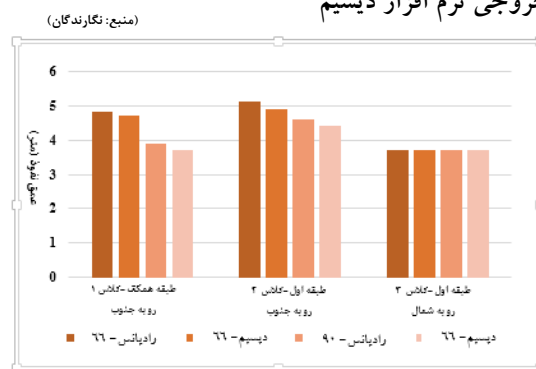
روشنایی (لوکس)

قابل ذکر است که نمودار ستونی رادیانس در زوایای ۶۶ درجه و ۹۰ درجه بر اساس میانگین عمق نفوذ رادیانس در ۱۸ زمان مشخص گفته شده در قسمت ۲-۲ مقاله بوده "ابتدا، وسط و انتهای هر ماه" که بر اساس تقویم آموزشی مدارس انتخاب شده اند و نکته ی حائز اهمیت دیگر این است که خروجی نرم افزار دیسیم به دلیل اینکه میانگین سالانه را محاسبه می نماید و ۳ ماه تابستان با توجه به زاویه ارتفاع نسبتاً عمودی تر خورشید نسبت به بقیه ماه های سال و زاویه جهت آن در منطقه گرم و خشک تهران عمق نفوذ نور حاصله از نرم افزار دیسیم مقداری کمتر از عمق نفوذ حاصله از میانگین زمان های خاص انتخاب شده در نرم افزار رادیانس که فاقد ۳ ماه تابستان در تقویم آموزشی می باشند، خواهد بود.

همان گونه که در بخش روش شناسی ذکر شد، موقعیت کلاس معرفی شده در قسمت ۲-۵ در ۱۴

گراف ۲: اعتبارسنجی عمق نفوذ نور در خروجی نرم افزار رادیانس در ۳ کلاس مجاور آتریوم بر اساس

خروجی نرم افزار دیسیم



تأیید یافته های تحقیق با آزمایش های فتومتریک میدانی:

جغرافیایی از اینترنت به صورت زنده اتفاق می افتد و دسترسی به داده های ایستگاه های هواشناسی در عرض جغرافیایی محل در راستای تشخیص دقیق نوع آسمان و زاویه ارتفاع و زاویه جهت خورشید و ارتفاع مکان از سطح دریا مورد استفاده قرار میگیرد.

آن گونه که خروجی ها و نتایج نشان می دهند، زاویه تمایل آتریوم و شاکله آن می توانند به طور چشمگیری کارایی نور روز در راستای افزایش عمق ورود نور روز به داخل فضای آموزشی را تحت تأثیر قرار دهند.

در حالی که زاویه بهینه آتریوم با فراهم کردن میزان کمی مناسب روشنایی نور روز بر اساس جدول ۱ از قسمت ۲-۱ (Carla Balocco, 2008: 172-178) از

بدنه مقاله در فضای مجاور آتریوم موجب افزایش توزیع یکنواختی به علت دریافت مستقیم نور روز در آتریوم می گردد. علاوه بر این، طیف مناسب میزان روشنایی بر اساس شاخص مفید نور روز (UDI) در مدل دینامیکی که قبلاً در بخش ۲-۱ از جدول ۱ (merdaljevic, 1995: 181-188) از بدنه مقاله عنوان شد: (300-900) لوکس میزان روشنایی مربوط به نیازهای بصری انسان برای انجام فعالیت های متفاوت در روش بهره وری مفید (دینامیکی) در طیف پذیرفته شده قرار دارد و (۶۰۰-۳۰۰) لوکس و حداقل (۳۰۰) لوکس برای عملکرد بصری شامل خواندن و نوشتن در کلاس های آموزشی توصیه شده اند (Othman et al, 2012: 244-257).

به علاوه در جدول ۱ از بخش ۲-۱ قسمت چارچوب نظری که از مرور متون مرتبط استخراج شده است،

قابل ذکر است که اطلاعات تنها برای زاویه ۶۶ درجه تعریف و اندازه گیری می شود (با توجه به نمونه مطالعاتی) و اگر در موقعیت های مورد نظر در این زاویه میزان روشنایی با خروجی های نرم افزار برابر باشد می توان نتیجه را به زاویه ۹۰ درجه تعمیم داد.

جدول ۱۱: تناظر تطبیقی میزان روشنایی شبیه سازی شده توسط نرم افزار و اندازه گیری شده می میدانی در

کلاسهای نمونه موردی در ساعت ۱۲ بعداز ظهر (منبع: نگارندگان)

کلاس ۳	کلاس ۲	کلاس ۱	بیشینه میزان نور
496 (لوکس)	1577 (لوکس)	1380 (لوکس)	شبیه سازی شده توسط نرم افزار رادیانس
500 (لوکس)	1550 (لوکس)	1410 (لوکس)	اندازه گیری شده به وسیله ابزار سنجش روشنایی
1324 (لوکس)	1153 (لوکس)	1173 (لوکس)	شبیه سازی شده توسط نرم افزار رادیانس
			اندازه گیری شده به وسیله ابزار سنجش روشنایی

۴-۴- بحث

مطابق پیش فرضهای نرم افزار رادیانس، شرایط آسمان این نرم افزار از یک تحلیل استاتیکی از سطوح روشنایی فضای بیرون ناشی می شود و وبسایت رادیانس سطح روشنایی افقی ای را معرفی می نماید که نتیجه ی برداشت بیش از ۸۵٪ زمان های بین ساعت ۹ صبح تا ۱۷ بعد از ظهر در طول یک سال کاری می باشد و بر اساس تعاریف ذکر شده از نرم افزار شبیه ساز دیسیم، پیش فرضهای تمامی شرایط ممکن آسمان در طول سال جهت محاسبه میزان کمی کارایی مؤثر نور روز بر اساس بهره وری مفید از طریق تغذیه عرض

افزایش کارایی نور روز و کاهش مصرف انرژی جهت تأمین روشنایی گردد. در این میان تحلیل‌های عددی ای که از موتور شبیه‌سازی سنجش میزان نور روز گرفته شده‌اند، نشان می‌دهند که فاکتور نور روز در گستره‌ی مناسب روشنایی بر اساس قسمت ۳-۱ بدنه مقاله و بر طبق جدول ۱ از بخش ۲-۱ این مقاله، در کلاس‌های بررسی شده قرار گرفته است که این تحلیل‌های کمی نقش مؤثر کارایی زاویه‌ی تمایل آتریوم را در جهت افزایش عمق نفوذ و افزایش روشنایی و تأمین گستره مناسب میزان روشنایی نور روز جهت بهره‌وری مناسب آموزشی و ایجاد یکنواختی بیشتر که با نسبت حداقل فاکتور نور روز به میانگین آن در فضا (حداقل/میانگین) سنجیده می‌شود را به اثبات رسانیده است.

برای اشاره به تصدیق نتایج با در نظر گرفتن موارد فوق، اولین موضوع قابل ذکر این است که نور وارد شده به کلاس‌های جنوبی با زاویه ۶۶ درجه تمایل آتریوم، عمق نفوذ بیشتری نسبت به کلاس‌های مجاور آتریوم با زاویه ۹۰ درجه را دارد و این که در کلاس شمالی مجاور آتریوم با هر دو زاویه ۶۶ و ۹۰ درجه به دلیل محدودیت طول کلاس در نمونه موردی، روشنایی در هر دو کلاس تا عمق ۳٫۷ متر انتهای کلاس پوشش داده می‌شود. اما در مورد میزان روشنایی کلاس شمالی با زاویه ۹۰ درجه شدت نور نسبتاً بیشتری در مقایسه با کلاس مجاور آتریوم با زاویه ۶۶ درجه وجود دارد که تا حدی بیش از میزان روشنایی گستره‌ی مناسب و توصیه شده در چارچوب نظری این تحقیق می‌باشد و موجب کاهش یکنواختی

طیف مفید روشنایی قید شده (۲۴۰۰-۹۰۰) لوکس (Nabil et al, 2005:41-57) در طیف قابل استفاده نور روز و طیف محدوده حمایتی (روشنایی کمکی) در استاندارد بهره‌وری مفید (UDI) محدود به کمتر (۱۰۰ لوکس) بر اساس (CIBSE (2007) (طراحی مدرسه) می‌باشد. نتایج نشان می‌دهند که تمامی طیف‌های روشنایی گفته شده‌ی فوق که بر مبنای چارچوب نظری این تحقیق می‌باشد، در کلاس‌های ۱ و ۲ جنوبی مجاور آتریوم در زاویه ۶۶ درجه نسبت به زاویه عمودی ۹۰ درجه افزایش یافته و در کلاس شماره ۳ شمالی مجاور آتریوم با توجه به یکسان بودن عمق نفوذ به دلیل طول محدود کلاس در زوایای ۶۶ و ۹۰ درجه یکنواختی توزیع روشنایی افزایش یافته است و این به عنوان دلیل اصلی اثبات فرضیه‌ی این تحقیق که بیان می‌نماید، طراحی آتریوم با زاویه تمایل مناسب می‌تواند بر افزایش کارایی و افزایش میزان کمی روشنایی نور روز در فضاهای آموزشی شهر تهران تأثیرگذار باشد، ایفای نقش می‌نماید.

۵: نتیجه‌گیری:

بر اساس مطالب بیان شده، این تحقیق به مطالعه ارتباط بین زاویه‌های تمایل آتریوم با عمق نفوذ نور روز، طیف مناسب روشنایی جهت بهره‌وری مفید و شرایط روشنایی (یکنواختی) در فضاهای آموزشی مجاور یک آتریوم می‌پردازد. بنابراین در نتیجه‌گیری، نویسندگان بر این باورند که بهینه‌سازی زاویه‌های تمایل در سطوح شمالی و جنوبی آتریوم در فضاهای آموزشی نمونه مورد مطالعه می‌تواند به شکل مؤثری باعث

- Cole, R.J., 1990. The effect of the surfaces enclosing atria on the daylight in adjacent spaces. *Building and Environment* 25(1): 37-42
- Vetch JA, Newshan GR. Determinated of Lighting quality I: state of the science, *Journal of the illuminating Engineering Society*, 1998, NO. 1. Vol, 27, pp, 92-106
<http://irimo.ir>
- BNV. New Construction – Technical Manual, Norwegian Green Building Council and BRE Global, (SD 5066A:ISSUE 1.1), 2012, pp. 391-397.)
- Simm S, Coley D. The relationship between wall reflectance and daylight factor in real rooms, *Architectural Science Review*, 2011, No. 4, Vol. 54, pp. 329-334.
- Mardaljevic J. 1995. "Validation of a lighting simulation program under real sky conditions." *Lighting Research & Technology* 27, pp 181-188
- CIBSE, (2006). *Environmental design: CIBSE guide A*. 7th ed., London: CIBSE: p. 2- 8
- Othman AR, Mazli MAM. Influences of daylighting towards readers' satisfaction at Raja Tun Uda public library, Shah Alam, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2012, Vol. 68, pp. 244-257.
- CABE, (2007). Leaflet of CABE's new schools design quality program, London
- Reinhart CF, Andersen M. Development and validation of a Radiance model for a translucent panel, *Energy* and Downloaded from ijaup.iust.ac.ir at 19:03 IRDT on Saturday March 25th 2017
- Dubois MC. *Impact of Shading Devices on Daylight Quality in Offices-Simulations with Radiance*, 2001.
- Reinhart CF, Mardaljevic J, Rogers Z. Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design, *Leukos*, 2006, No. 1, Vol. 3, pp. 7-31.
- Radiance & daysim website. Retrieved from <http://www.Radiance.....com>
- Boyer LL, Song KD. Daylighting prediction and sunlight strategies for atrium design in hot climates. NO-94-3-2, ASHRAE Transactions: Symposia. 1994. p. 676-81.
- Roy G. 2000 & Mardaljevic J. 1995
- در کلاس آموزشی شمالی با زاویه ی ۹۰ درجه می گردد.
- قابل ذکر است که این کلاس شمالی در طبقه اول بوده و نتیجتاً به خاطر ارتفاع چاه آتریوم، نور روز بیشتری در مقایسه با طبقه همکف دارد. با در نظر گرفتن آنچه گفته شد، می توان گفت که طراحی آتریوم ها در ۹۵٪ موارد مشابه مستطیل های قائمه ای می باشند که یک سمت آنها در مجاورت با محیط بیرون است.
- اما نتیجه این تحقیق نشان می دهد که فضاهای آموزشی مجاور قسمت جنوبی آتریوم با زاویه ۶۶ درجه و فضاهای آموزشی مجاور قسمت شمالی آتریوم با زاویه ۶۶ درجه تمامی جنبه های میزان روشنایی و میزان عمق نفوذ و یکنواختی بهینه را تأمین کرده و نقش کلیدی ای در بهره وری از نور روز مفید در ساختمان های آموزشی مطابق داده های این تحقیق، می تواند ایفا نماید.

منابع:

- Melika Shokuhmand, et al. (2016). Architectural Design of Future Sustainable Primary School in Iran Using Multi-Purpose Atrium, proceeding of 24th Rsearch World International , Istanbul, Turkey.
- Kazemzadeh, M, et al. (2015). Influence of surface Parameter on adjacent space in atrium office building, *Enginnering Science and Technology an International Journal(ESTIJ)*, 5(2), 246- 251
- Zomorodian.Z.S, et al. (2016). The effect of window configuration on daylight performance in classrooms: A field and simulation study, *international journal architect, Engineering, urban plan*, 26(1);15-24
- Calcagni,B. & Paroncini, M. (2004). Daylight Factor Prediction in Atria Building Desgns, *Solar Energy*, 76, 669-682.

- Manufactures Association, light, Sight, and Photobiology Lighting Futures, Vol. 2. No. 3. 1991.
- Dilouie C., Personal vs, automatic, Architectural lighting, Vol. 10, No. 3, 1996. Pp.46-49.
- Poordeihimi, SH & Seied Javadi, F. (1387), Daylight Effect on Human Behavior: Perceptual Process and Biological-Psychological Daylight, Soffeh Journal. 17(46): 67-75
- Mahdavinejad, M.J, Tahbaz, M & et al. (1395). Optimization of proportions and how to use light refinement in the architecture of educational classes, Fine Arts magazine, Architecture & Urban planning, 21(2): 81-92
- Le Corbusier. (1989). Towards a New Architecture. Oxford: Butterworth Architecture.
- Gardestad, K. (1986). The Living Atrium-Design Guidelines for Quality Atriums. M.A. Thesis. Massachusetts Institute of Technology.
- Calcagni, B. and Paroncini, M. (2004). Daylight Factor Prediction in Atria Building Design. Solar Energy, 76: 669-682.
- Erlendsson, ö. (2014). Daylighting Optimization: A Parametric Study of Atrium Design. M. A Thesis. Stockholm University, Sweden.
- Kim KS, Boyer LL. (1986). Development of daylight prediction methods for atrium design; p. 345-359. International Daylight Conference Proceedings II, November, Long Beach, CA.
- Lim, Y.-W., Ahmad, M. H., & Ossen, D. R. (2010). Empirical Validation of Daylight Simulation Tool with Physical Model Measurement. American Journal of Applied Sciences, 7 (10)(Science Publications), 1426-1431.
- Baker, N., Franchiotti, Steemers, (Eds.), 1993. Daylighting in Architecture, a European Reference Book. James & James, London
- M.J. Bednar, "The new Atrium." New York, McGraw-Hill Inc, 1986.
- Mahdavinejad M, et al. Estimation of daylight availability and illuminance on vertical south facing surfaces in Tehran, in Advanced Laouadi A., Reinhart CF. and Bourgeois D. 2008. "Efficient calculation of daylight coefficients for rooms with dissimilar complex fenestration systems." Journal of Building Performance Simulation 1, pp 3-15
- Hopkirk, N., 1999. Methodology for the development of a simple design tools for the energy demands in offices adjacent to atria, T21/C4-16/SUI/ 99-05, Swiss Federal Laboratories for Material Testing and Research (EMPA), Building section, Duebendorf, Switzerland.
- Carla Balocco, R. C. (2008). Natural light design for an ancient building: A case study. Journal of Cultural Heritage, 9, 172-178.
- Nabil A, Mardaljevic J. Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings, Lighting Research and Technology, 2005, No. 1, Vol. 37, pp. 41-57.
- Mofidi shemirani, M and et al. (1389), Investigating the Climatic Performance of Internal Lighting Structures of Administrative Buildings, Case Study: Typical Buildings in Tehran's Climatic Area, The Scientific Society of Architecture & Urbanism (SAU) • 1: 101-108
- Murgul, V. (2015). Reconstruction of the Courtyard Spaces of the Historical Buildings of Saint-Petersburg with Creation of Atriums. International Scientific Conference Urban Civil Engineering and Municipal Facilities, 2015.
- Phillips, D. (2004). Daylighting: Natural Light in Architecture. Architectural Press, Oxford.
- Evans G. W. and Maxwell L., Chronic Noise Exposure and Reading Deficits: the Mediating Effects of Language Acquisition, Environment and Behavior, Vol. 29, No. 5, 1999, pp. 638-656.
- Liberman, J. Light of the Future, New Mexico: Bear and Company Publishing, Lighting and Human Performance: A Review, Washington DC, and National Electronical

- Materials Research, Trans Tech Publ, 2012.
- Design I. Guide for daylighting schools, Guide for Daylighting Schools, 2004
- Daylight
Quality in Offices-Simulations with Radiance, 2001.
- Roy G. (2000). "A comparative study of lighting simulation packages suitable for use in architectural design." Report of school of engineering, Murdoch University. Rockingham, Australia.
- BNV. New Construction – Technical Manual, Norwegian Green Building Council and BRE Global, (SD 5066A:ISSUE 1.1), 2012, pp. 1-397.)
- Simm S, Coley D. The relationship between wallreflectance and daylight factor in real rooms, Architectural Science Review, 2011, No. 4, Vol. 54, pp. 329-334.)
- Kazemzadeh, M & Tahbaz, M. (1390). Measuring and studying the conditions of daylight in old Kerman homes (case study of Aminian homes), Fine Arts magazine, Architecture & Urban planning, 18(2): 17-26

Archive