DOR:20.1001.1.24234931.1401.9.2.7.0

سال نهم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۱، ص ص ۵۷- ۶۸

فصل‌نامه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو

jrenew.ir

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۰۰/۰۵/۱۵

تاریخ پذیرش: ۰۰/۰۹/۲۲

بهره‌وری کمی و کیفی نور روز با استفاده از فیبر نوری در مسکن

شکیلا محمدزاده[۱]، سید عباس یزدانفر[۲]* و سعید نوروزیان ملکی[۳]

۱- کارشناس‌ارشد، مهندسی معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران

۲- دانشیار، مهندسی معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران

۳- استادیار، مهندسی معماری منظر، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

* تهران، ۱۶۸۴۶۱۳۱۱۴، yazdanfar@iust.ac.ir

چکیده

وضعیت غم‌انگیز ساختمان‌های مدرن این است که از عناصر طبیعی مانند هوای آزاد، نور خورشید و آسمان دور هستند. این در حالی است که می‌توان به راحتی از نور خورشید برای روشنایی در مکان‌هایی که در روز نیاز به نور دارند، استفاده کرد. این پژوهش در چهار مرحله انجام گرفته است. در بخش اول از طریق روش تحلیل محتوا با جمع‌آوری اطلاعات از مرور ادبیات درباره رویکرد بهینه از نور روز در منابع داخلی و خارجی، چهارچوبی مقدماتی برای ارزیابی بهترین راهکارهای افزایش بهره‌وری از نور روز تدوین شد. در مرحله دوم و سوم برای بهره‌گیری از نور روز در فضاهای داخلی مسکن، روش شبیه‌سازی گزینه‌های موجود انتخاب گردید و در مرحله چهارم با انجام تحلیل‌ها، انتخاب سیستم جایگزین صورت پذیرفته و با استفاده از سیستم‌های انتقال نور روز و به کمک نرم‌افزار دایالوکس مقایسه‌ای با حالت روشنایی مصنوعی انجام شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که استفاده از این سیستم، مصرف توان الکتریکی را برای این فضاها از ۳۸۸.۲ به ۶ وات بر ساعت رسانده که کاهش قابل‌توجهی بوده است. یافته‌ها نشان می‌دهد فیبر نوری می‌تواند جایگزینی برای نور طبیعی در فضاهای داخلی مسکن بوده و نور طبیعی را به درون پلان‌های عمیق در طبقات مختلف وارد نماید و بهره‌وری ساختمان را ارتقا دهد و در نهایت موجب کاهش حجم و انتشار گازهای گلخانه‌ای و صرفه‌جویی در مصرف انرژی گردد.

کلیدواژگان: نورپردازی داخلی، بهینه‌سازی و پایداری، نور طبیعی و مسکن، دایالوکس، فیبرنوری

Quantitative and qualitative efficiency of daylight using optical Fiber lighting systems in Housing

Shakila Mohammadzadeh[1], Seyed-Abbas Yazdanfar[2*]and Saeid Norouzian-Maleki[3]

1- Department of Architecture, School of Architecture and Environmental Design, Iran University of Science & Technology, Tehran, Iran

2- Department of Architecture, School of Architecture and Environmental Design, Iran University of Science & Technology, Tehran, Iran

3- Department of Landscape Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

* P.O.B. 1684613114 Tehran, Iran, yazdanfar@iust.ac.ir

Received: 6 August 2021 Accepted: 13 December 2021

Abstract

The sad situation of modern buildings is that they are far from natural elements such as open air, sunlight and the sky. Many modern apartments are just a windowless dovecote. This research has been done in four stages. In the first step, through content analysis method by collecting information from literature review of the optimal approach to internal and external sources, a preliminary framework for examining the best way of tasks was found for the efficiency of the day light. In the second and third stages, to obtain the daylight in the internal spaces of the housing, the simulation method is selected from the available alternatives and the fourth step is selecting the alternative system and performing calculations using Dialux software with artificial lighting mode. The results show that optical fiber can be an appropriate replacement for natural light in interior spaces. The results of lighting calculations in Dialux software show that the use of this system has increased the power consumption for these spaces from 388.2 to 6 watts per hour, which is a significant reduction. In addition, fiber optics can bring natural light into deep floor plans in different floors and improve the efficiency of the building and increase the quality of living space, including normalizing sleeping and waking conditions, increase disinfecting properties for residents and finally, it reduces the volume of emissions of greenhouse gases and saves energy.

Keywords: Interior Lighting, Optimization and sustainability, Natural Lighting and Housing, Dialux, Optical Fiber

۱- مقدمه

کشور ایران در بین مدارهای ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی قرار گرفته است و در منطقه‌ای واقع شده‌است که به لحاظ دریافت انرژی خورشیدی در بین نقاط جهان در بالاترین رده‌ها قرار دارد. بطوری که حدود ۳۰۰ روز از سال آفتابی بوده و متوسط روزهای آفتابی در ایران، ۶ برابر اروپاست. میزان تابش خورشیدی در ایران بین ۱۸۰۰ تا ۲۲۰۰ کیلووات ساعت بر مترمربع در سال تخمین زده شده که بالاتر از میزان متوسط جهانی است. استفاده از این نعمت بی‌پایان خداوند منجر به کاهش هزینه‌های برق مصرفی روشنایی و نیز کاهش هزینه‌های درمان بیماری‌های ناشی از کار پرسنل در زیر نورهای مصنوعی خواهد شد [۱].

در طراحی نورپردازی با سامانه‌های روشنایی مصنوعی، رسیدن به حداقل مصرف انرژی مدنظر است؛ در نتیجه میزان روشنایی به صورت حداقل برای انجام کارها در نظر گرفته می‌شود. اما با استفاده از نور روز محدودیتی برای صرفه‌جویی وجود نداشته و می‌توان از منبع نور بی‌پایان خورشید استفاده حداکثری را کرد. علاوه بر آن در ادوار گذشته ساختمان‌ها با ضریب بالای سطح به حجم، امکان انتقال نور مناسب به درون فضا را از طریق ابزارهای متداول نورگیری میسر می‌ساخته است اما با گذشت زمان و توسعه شهرهای جدید و افزایش تراکم شهری و شکل‌گیری نیازهای مرتبط؛ موجب طراحی ساختمان‌های متراکم و بلند مرتبه گشته و الگوی غالبی در توده گذاری بنا در قطعه رواج یافته که ایجاد هسته‌های کور و پلان‌های عمیق را به همراه داشته است که تنها با یک یا دو جبهه خارجی سعی در انتقال نور به هسته‌های عمیق پلان را دارند. همچنین فاصله بسیار کم پلاک‌های مجاور نیز باعث سایه‌افکنی بر یکدیگر و کاهش یافتن مقدار نور طبیعی به دست آمده از بدنه‌ی نما می‌شود [۲].

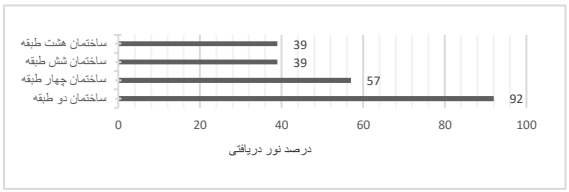
نکته‌ای که در طراحی بر اساس بهره‌گیری از نور طبیعی باید در نظر داشت پیشگیری از خیرگی چشم است و مسئله بعدی، ایجاد گرمای نامطلوب ناشی از تابش آفتاب در تابستان است. همچنین یکی از مهم‌ترین مشکل‌ها، پلان‌های عمیق در ساختمان‌هاست.

از دشواری‌های به کار بردن نور روز در ساختمان‌های با عمق پلان زیاد، می‌توان به این موارد اشاره کرد:

- تفاوت بسیار زیاد بین سطح روشنایی در محدوده‌های پیرامونی با مناطق مرکزی پلان، که باعث ایجاد مشکل «محدوده‌های روشن و تاریک» می‌شود.
- استفاده از پنجره‌های بزرگ برای رساندن نور به عمق ساختمان باعث ایجاد «خیرگی» می‌شود و این خود کاهش سطح بینایی، در عین وجود نور کافی را به همراه دارد.
- گرمای نامطلوب ناشی از تابش آفتاب در تابستان ایجاد می‌شود.

هر سه این مشکلات با سیستم‌های نوین نورپردازی قابل حل هستند. یکی از پاسخ‌ها برای حل مشکل پلان‌های عمیق، استفاده از آتریوم‌ها و چشمه‌های نور بوده که این راه‌حل سطح اشغال قابل‌توجهی را بلااستفاده می‌کند و مخصوصاً در ساختمان‌هایی با طبقات متعدد، به علت عمق زیاد نورگیر و تاریک ماندن طبقات پایینی، مؤثر واقع نمی‌شود و از طرف دیگر به یکپارچگی پلان آسیب می‌زند [۳]. بهره‌گیری از چاه‌های نوری در الگوی توده‌گذاری ساختمان، می‌تواند تا ۴۵٪ به عمق توده افزوده و تا ۲۵٪ از سطح اشغال شهری کاسته و فضای پوشش گیاهی و نورگیری جداره‌های منتهی به خیابان را افزایش دهد که بدیهی است فیبر نوری حتی از چاه‌ها و لوله‌های نوری فضای کمتری را اشغال می‌کند [۴]. بررسی‌ها نشان می‌دهد، چاه‌های نوری به لحاظ تامین روشنایی مناسب، تنها تا ارتفاع ۲ طبقه کارامد بوده و می‌تواند ۹۳٪ ساعات روزانه در طول سال، روشنایی موردنیاز ۳۰۰ لوکس فضا را تامین نماید. این در حالی است که در عمق‌های بیشتر به شدت از کارایی آن کاسته شده و در عمق ۸ طبقه با افت ۷۱درصدی همراه خواهد بود [۴، ۵] (شکل ۱).

سیستم‌های تامین روشنایی مصنوعی علاوه بر مصرف انرژی الکتریکی، تولیدکننده عمده گرما در ساختمان‌ها نیز هستند که این امر باعث کاهش راندمان و افزایش مصرف سیستم‌های تهویه مطبوع شده است [۶]. به طور کلی تولید برق از طریق نیروگاه‌های سوخت فسیلی صورت می‌گیرد. از این رو، سوخت‌های فسیلی باعث افزایش گازهای آلاینده از جمله کربن دی‌اکسید [۱]، گوگرد دی‌اکسید [۲] و نیتروژن دی‌اکسید [۳] شده که موجب افزایش دما و تغییر اقلیم نیز می‌شود [۷].



شکل ۱ افت میزان نور دریافتی فضای متصل به چاه نوری با افزایش ارتفاع طبقات بر اساس دی‌لایت آتونومی ۹۲۲ لوکس [۲]

با توجه به اینکه امروزه ۹۰٪ از انواع فعالیت‌های انسان در فضاهای بسته انجام می‌شود [۸، ۹]، از این رو، کیفیت و کمیت نور در فضای بسته اهمیت می‌یابد. این درحالی است که کیفیت نور تامین شده توسط لامپ‌های الکتریکی، سهم بالایی از طول موج‌های مفید که در نور آفتاب هستند را نداشته و بر سلامت فیزیکی و روانی انسان در درازمدت تاثیر چشم‌گیری می‌گذارد. بر اساس آمار منتشره توسط آژانس بین‌المللی انرژی ، ٪۲۰-۱۵ از سهم مصرف برق در کل جهان و ۵٪ از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای مربوط به روشنایی است (جدول ۱).

جدول ۱ سهم روشنایی مشترکین از مصرف انرژی الکتریکی در سال ۹۶ [۱۰]

مشترکین	سهم انرژی مصرفی	سهم روشنایی	درصد سهم روشنایی
خانگی	۳۲.۷	۳۰	۱۰.۲
صنعتی	۳۳	۱۰	۳.۲
کشاورزی	۱۵.۵	۱	۰.۱۶
عمومی	۹.۵	۵۰	۴.۵
تجاری	۷.۳	۵۰	۳.۵
روشنایی معابر	۲	۱۰۰	۲
جمع کل	۱۰۰	--	۲۳.۵۶

مقدار گازهای آلاینده حاصله از سوخت‌های فسیلی جهت تولید یک کیلووات ساعت انرژی الکتریکی در جدول ۲ آورده شده است که در مجموع Gr/Kwh 922.6 است.

1. Co_2
2. So_2
3. No_2

جدول ۲ انواع گازهای آلاینده تولید شده با یک کیلو وات ساعت انرژی الکتریکی [۱]

نوع گاز آلاینده	مقدار (Gr/Kwh)
NO_2 اکسیدهای نیتروژن	۲.۶۲۵
SO_2 دی اکسید گوگرد	۳.۴۳۵
SO_3 تری اکسیدگوگرد	۰.۰۲۲
CO منواکسید کربن	۰.۶۷۵
SPM ذرات معلق	۰.۱۳۳
CO_2 دی اکسید کربن	۷۱۹.۴۶۸
CH_4 متان	۰.۰۱۸
N_2O منواکسید نیتروژن	۰.۰۰۳
C کربن	۱۹۶.۲۱۹
جمع کل	۹۲۲.۶

جنبهٔ دیگر جهت‌گیری ناخودآگاه اغلب افراد در استفاده از نور روز است که هنگام قرار گرفتن در داخل یک ساختمان تمایل به ارتباط با دنیای خارج دارند، حداقل برای اینکه از زمان و وضع هوا اطلاع یابند. به خصوص در میانهٔ روز که حداکثر نور روز وجود دارد و از طرفی در طراحی‌های موجود، بیشترین جلوگیری از ورود نور روز در این ساعات صورت می‌پذیرد. لذا می‌بایست امکاناتی برای به کارگیری نور روز در این زمان‌ها در نظر گرفته شود [۱۱].

علاوه بر تمام موارد ذکر شده؛ نور کافی موجب تحریک گردش خون، افزایش تولید ویتامین D، افزایش جذب کلسیم در روده، تنظیم متابولیسم پروتئین، و کنترل سطح هورمون‌ها مثل سروتونین، دوپامین (هورمون شادی)، کورتیزول (هورمون استرس) و ملاتونین (هورمون خواب)، که اطلاعات زمانی را در بدن توزیع می‌کند [۱۱، ۱۲]. از سویی دیگر، اگرچه این فناوری مستقیما ساکنین را به فضای بیرون اتصال نمی‌دهد، اما قادر است تغییرات شرایط بیرون و دینامیک نوری را به فضای داخلی منتقل نموده و در کیفیت ادراکی فضا نقش مهمی ایفا نماید [۱۳].

هدف این پژوهش استفاده از سیستمی نوین به منظور استفاده بهینه از روشنایی طبیعی است که منجر به حس سرزندگی بیشتر نیز می‌شود. بنابراین پرسش‌های اساسی پژوهش به این صورت مطرح می‌شود:

- چگونه می‌توان نور طبیعی را به درون پلان‌های عمیق کشاند تا بهره‌وری ساختمان رشد یافته و کیفیت فضایی برای ساکنان ارتقا یابد؟
- استفاده از سیستم‌های انتقال نور خورشید چه تاثیری در میزان روشنایی و صرفه‌جویی در مصرف الکتریسیته دارد؟

۲- مرور ادبیات موضوع

محل سکونت، مهم‌ترین و در عین حال پیچیده‌ترین فضایی است که انسان در آنجا به نیازهایش پاسخ می‌دهد. از همان غارهای نخستین، روشنی روز نویدبخش زندگی برای ساکنین بود و تفاوت میان شب و روز را به ساکنان خبر می‌داد. اما همچنان که محل‌های سکونت پیچیده‌تر و مصنوعی‌تر شدند، نور از طریق منافذ یا پنجره‌ها وارد می‌شد. تاریخ معماری هم ردیف با تاریخ ایجاد پنجره و تاریخ ورود روشنی روز از روزنه‌های اولیه است که به نور، هوا، گرما و سرما اجازه ورود می‌دادند [۱۴].

هر قسمت از ساختمان با توجه به کاربری خود نیازمند میزان شدت روشنایی خاصی است تا انسان بتواند در آن به آرامش لازم برای زندگی برسد. جهت قرارگرفتن یک اتاق یا خانه، اندازه یا شکل آن، ابعاد و تعداد پنجره‌های آن و اینکه چه چیزهایی در اطراف خانه قرار گرفته باشد، همگی در مقدار نور طبیعی که آن خانه یا اتاق دریافت می کنند موثرند [۱۵]. در دهه‌های اخیر در دنیا، مطالعات زیادی در زمینه رسیدن به استانداردهایی در رابطه با شدت روشنایی برای اماکن مختلف انجام شده است.

۲-۱- پلان‌های عمیق در ساختمان

پلان عمیق به پلانی گفته می‌شود که عمق آن از محدوده‌ی غیرفعال فراتر رود، عمقی که برای نورپردازی و تهویه، به انرژی الکتریکی نیازمند است [۱۶، ۱۷]. در مباحث بهره‌وری انرژی در ساختمان، محدوده‌ی غیرفعال، به محدوده‌ای گفته می‌شود که بتواند به صورت غیرفعال از نور روز و تهویه‌ی طبیعی برخوردار باشد. عمق محدوده‌ی غیرفعال را می‌توان حدود ۲ برابر ارتفاع سقف در نظر گرفت [۱۸].

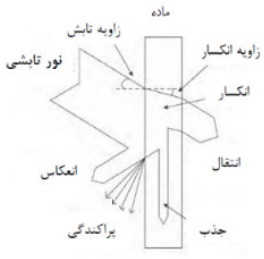
امروزه در بسیاری از نقاط جهان، شهرنشینی باعث متراکم شدن شهرها گردیده و این بدان معناست که نور روز یک چالش خواهد بود. ساختمان‌های عمیق، ساختار بلوک‌های متراکم، افزایش تقاضا برای بهره‌وری انرژی و انطباق ساختمان‌های قدیمی‌تر با انواع جدیدی از کاربردها به معنای این است که بیشتر افراد در محیط‌های زندگی و کار در معرض نور کافی نیستند. برای استفاده هر چه بیشتر از فضای ساختمان، ممکن است بعضی مکان‌ها، در وسط ساختمان و یا زیر سطح زمین قرار بگیرند. برای به دست آوردن دید و چشم‌انداز مطلوب، نور طبیعی و احساس تماس با بیرون در ساعات روز می‌توان از سیستم روشنایی نور روز استفاده کرد [۱۹].

راهبردهای کنونیِ استفاده از نور خورشید در ساختمان، در سه حوزه عمده قابل تقسیم‌بندی می‌باشند:

- تبدیل انرژی تابشی خورشید به انرژی گرمایی
- تبدیل انرژی تابشی خورشید به انرژی الکتریکی
- استفاده از انرژی تابشی خورشید برای تأمین روشنایی که بی‌واسطه‌ترین و پربازده‌ترین روش است [۱۷].

۲-۲- سامانه‌های خورشیدی

با توجه به شکل ۲ از نظر علم اپتیک، هنگام برهم‌کنش نور و ماده ۵ اصل فیزیکی قابل توصیف است [۲۰].



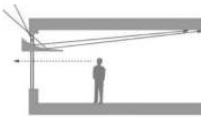
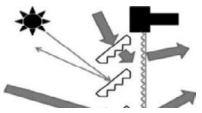
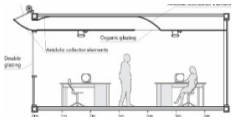
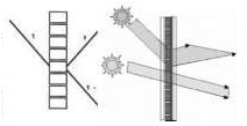
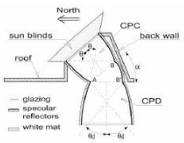
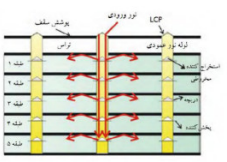
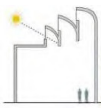
شکل ۲ انواع برهم‌کنش نور و ماده [۲۰]

۱- انتقال نور
۲- انکسار نور (شکست نور)
۳- بازتاب نور (انعکاس نور)

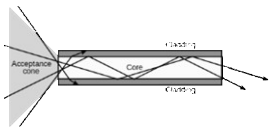
۳- پراکندگی نور (پخش نور)
۴- جذب نور

می‌توان به طور خلاصه، انواع سامانه‌های خورشیدی کاربردی در ساختمان را بر اساس نوع عملکرد دسته‌بندی کرد (جدول ۳).

جدول ۳ سیستم‌های روشنایی (مأخذ: نگارندگان)

سیستم	تصویر	انعکاس نور	انتقال و انتشار نور	انکسار و پخش نور
قفس‌های نوری[1]		×		
صفحه‌های منشور[2]				×
سقف‌های آنیدولیک[3]		×		
لوورها و کرکره‌ها[4]		×		
صفحه‌های برش خورده لیزری[5]				×
نورگیر سقفی انتخابی زاویه‌دار		×	×	
بازشوهای آنیدولیک زنیتال[6]				×
داکت‌های انتقال نور افقی و عمودی		×		×
اسکوپ‌های نوری				×

1. Light shelves
2. Prismatic panels
3. Anidolic Cellings
4. Louvres and Blind Systems
5. Laser-Cut Panels
6. Anidolic Zenithal Openings

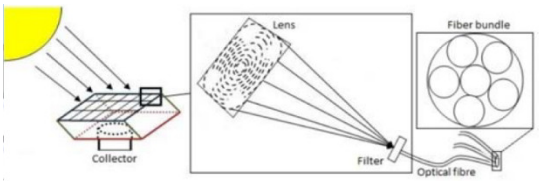
فیبرهای نوری[7]  ×

اهداف اصلی این سیستم‌ها، یکنواخت کردن نور در کل فضا، کنترل نور مستقیم، کاهش خیرگی و افزایش عمق نفوذ نور است. وجه تمایز سیستم‌ها را در سه عامل زیر می‌توان خلاصه نمود:

۱- تفاوت در نحوه دریافت نور: آینه و منشور ثابت و یا دارای آینه ردیاب زاویه خورشید
۲- نحوه انتقال نور: مستقیم، غیرمستقیم و یا از طریق فیبر نوری
۳- مکان نصب: بر روی پنجره یا انعکاس نور به داخل از طریق بازشویی کوچک در سقف یا دیوارهای جانبی

۲-۳- فیبر نوری

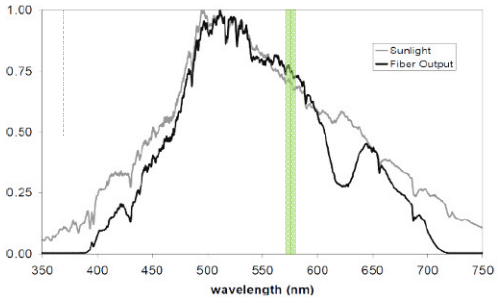
فیبر نوری رشته باریک و بلندی است که از یک ماده شفاف مثل شیشه یا پلاستیک ساخته شده است و می‌تواند نوری که از یک سمت به آن وارد شده را از سمت دیگر خارج کند. این سیستم از منبع نور، بازتابنده‌ها (جهت انعکاس بهینه نور مستقیم خورشید)، فیلترها و لنزهایی جهت انتخاب طیف و جاری کردن نور در کابل‌های فیبر نوری و همچنین عنصری برای انتشار نور در نقطه موردنظر تشکیل شده است و قادر است نور طبیعی خورشید را به صورت کارآمدی در فضای داخلی منتشر کند [۲۰].



شکل ۳ اساس کار سیستم روشنایی خورشیدی با فیبر نوری [۲۰]

مزیت این نور که موجب توجه به این فناوری در این پژوهش شده جداسازی نور از سایر مولفه‌های الکترومغناطیسی در فیبر نوری است؛ به عبارت دیگر نور خورشید علاوه بر نور مرئی شامل مولفه‌های دیگری نظیر تشعشعات ماوراء بنفش (یکی از عوامل اصلی ابتلا به سرطان پوست) و تشعشعات مادون قرمز است که مقادیر بالای آنها برای سلامت انسان و محیط‌زیست وی مضر تلقی می‌شوند. نور خروجی از فیبر نوری فاقد تمام این گونه تشعشعات بوده و خالص‌ترین نور برای مصارف روشنایی است که می‌توان این نور باکیفیت را به داخل ساختمان‌ها و نقاط غیر قابل‌دسترس به نور خورشید منتقل کرد [۲۱].

7. Optical fiber



شکل ۴ مقایسه‌ای از طول موج نور خورشید و نور خروجی از فیبر نوری

فیبرهای نوری نازک و قابل‌انعطاف هستند و آزادانه می‌توانند در هر قسمت از ساختمان، نور را انتقال دهند که به سیستم توزیع انرژی الکتریکی در ساختمان بسیار نزدیک است. می‌توان گفت که فیبرهای نوری، نور روز را در ساختمان توزیع می‌کنند؛ با این تفاوت که خطرات برق‌گرفتگی و اتصالات الکتریکی نیز وجود ندارد. انعطاف‌پذیری فیبرهای نوری موجب سادگی در حوزه اجرا می‌گردد. این سادگی علاوه بر کاهش هزینه‌های اولیه نیاز به نیروی متخصص فنی را کاهش داده و عاملی اساسی در اجرایی شدن این سیستم نوین، در کشورهای کمتر توسعه یافته است [۱۷].

از دیگر مزایای انعطاف‌پذیری ذاتی فیبرهای نوری، امکان تجهیز ساختمان‌های در حال استفاده به سیستم‌های انتقال نور روز است. این ویژگی در تجهیز ساختمان‌های ارزشمند تاریخی به سیستم‌های هدایت‌گر نور روز بسیار راه گشاست؛ به طوری که با کمترین آسیب به بدنه ساختمان می‌توان به نتیجه مطلوب رسید و این سیستم می‌تواند به عنوان یکی از راهکارهای دست‌یابی به ساختمان‌های انرژی صفر تلقی گردد و اگر نور روی دیوارها با گیاهان ترکیب شود، می‌تواند باعث افزایش جذابیت بصری در محیط داخلی شود [۱۸].

از این رو، در یک جمع‌بندی می‌توان مزایای فیبر نوری را در موارد ذیل خلاصه کرد:

۱- انتقال نور به هسته‌ی مرکزی ساختمان [۱۹].
۲- ایجاد ارتباط ساکنین با تغییرات نور روز در فضاهای بدون پنجره که باعث ارتباط بیشتر با طبیعت شده و در تداوم سلامتی بینایی موثر است و کاهش اضطراب و افسردی افراد را در پی خواهد داشت.
۳- بالا بردن سطح نور طبیعی در ساختمان (چه در حوزه نور عمومی و چه در محدوده نورپردازی‌های خاص) [۲۱].
۴- پایین آوردن سطح مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر. وابستگی کمتر به نوردهی مصنوعی می‌تواند به کاهش حداقل ۱۰ درصدی مصرف انرژی الکتریکی کمک کند [۱۸].
۵- ساختن فضایی سالم‌تر و پویاتر برای ساکنین. بسیاری از پژوهش‌ها به این نتیجه رسیده‌اند که در محیط‌های برخوردار از نور طبیعی، بهبود قابل‌توجهی در کارایی استفاده‌کنندگان مشاهده می‌شود. همچنین مقدار فراوان نور خورشید می‌تواند از کمبود ویتامین‌های د و ب ۱ که ممکن است باعث ایجاد بیماری‌هایی از قبیل نرمی استخوان شوند، جلوگیری کند [۱۹].
۶- افزایش جذابیت‌های بصری در طراحی داخلی. روشنایی طبیعی هنوز هم یکی از بهترین انواع سیستم‌های نوردهی بوده که در طراحی داخلی استفاده می‌شود و می‌تواند چالش برانگیز و در عین حال کاری رضایت‌بخش در ترکیب موفقیت‌آمیز آن با سازه یا ساختمان باشد. همچنین نور طبیعی استفاده هر چه بیشتر از گیاهان و فضای سبز در داخل پلان‌ها را ممکن می‌سازد [۱۱، ۱۸].

۳- روش انجام پژوهش

این پژوهش در چهار گام اصلی انجام پذیرفت. گام نخست با بررسی متون تحصصی و پیشینه موضوع با هدف دستیابی به تعاریف و مبانی موردنیاز در فرآیند اصلی پژوهش مرتبط است. گام دوم انتخاب روش کار، گام سوم روش شبیه‌سازی و انتخاب سیستم روشنایی و گام نهایی پژوهش، تحلیل داده‌ها و نتیجه‌گیری است که بر اساس اطلاعات به دست آمده از گام‌های پیشین، سعی در ارائه راهکارهای نهایی شده است.

۳-۱- گام اول: جستجوی منابع و جمع‌آوری اطلاعات

هدف این پژوهش، بررسی ادبیات موضوع جهت دستیابی به حداکثر میزان نور روز در حوزه مسکن است؛ بنابراین جستجو در ارتباط با این هدف، در میان مقالات منتشر شده، کتب موجود، پایان‌نامه‌ها و گزارش‌های تحقیق صورت گرفت. در منابع داخلی از پایگاه‌های اطلاعاتی موجود نظیر: نورمگز[۱]، اس.آی.دی[۲]، مگ ایران[۳] و در منابع خارجی نیز با استفاده از پایگاه‌های اطلاعاتی معتبر نظیر ساینس دایرکت[۴]، پروکوئست[۵]، اشپرینگر[۶] و سولار دکاتلون[۷] با جستجو در میان عناوین، کلیدواژه‌ها و چکیده‌های مقالات در محدوده واژگان: نور روز[۸]، سامانه انتقال نور روز[۹]، معماری پایدار[۱۰]، فیبر نوری، انتقال دهنده‌های نور روز[۱۱]، روشنایی داخلی[۱۲]، کاهش انرژی ساختمان، دخیره انرژی خورشیدی[۱۳]، ۱۱۱ منبع مرتبط با رویکرد موردنظر در حیطه معماری حاصل شد. در این فرایند، ۴۰ منبع فارسی و ۷۱ منبع انگلیسی در اختیار قرار گرفت. بازه زمانی که در منابع داخلی بررسی شد، سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۹ بوده و در منابع خارجی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ مورد ارزیابی قرار گرفت.

۳-۲- گام دوم: انتخاب روش

تخمین و محاسبه روشنایی این امکان را فراهم می‌کند تا نتایج طراحی، قبل از اجرای طرح به دقت مورد سنجش قرار گیرد و به طراحان کمک می‌کند تا نتایج عملکرد و فرآیند تصمیم‌گیری خود را پیش‌بینی، مقایسه و بهینه‌سازی کنند، بدون این که بهای سنگین و احتمال تغییرات و اجرای جدید را متحمل شوند. با تخمین درست، می‌توان هزینه‌ها و ریسک اتخاذ تصمیم‌های نادرست را کاهش داد و کیفیت و کمیت روشنایی را بهبود بخشید.

1. Noormags
2. SID
3. Magiran
4. ScienceDirect
5. ProQuest
6. Springer
7. Solardecathlon
8. Daylighting
9. Sun lighting systems, Hybrid sunlight
10. Sustainable Architecture
11. Guided daylight
12. Indoor lighting
13. Solar energy saving

برای تخمین روشنایی روز سه روش وجود دارد، که می‌توانند به صورت جداگانه و یا تلفیقی مورداستفاده قرار گیرند [۱۸]:

- اندازه‌گیری توسط ساخت مدل (ماکت)
- شبیه‌سازی کامپیوتری
- محاسبات دستی با استفاده از معادلات، جداول و نمودارها

در این پژوهش، از روش تخمین روشنایی توسط نرم‌افزارهای شبیه‌سازی نور روز استفاده می‌شود.

۳-۳- گام سوم: انتخاب نرم‌افزار شبیه‌سازی

نرم‌افزارهایی که در شبیه‌سازی سنجش نور روز در پروژه‌های مختلف، بیشترین استفاده از آن‌ها شده، در جدول ۴ دسته‌بندی شده است.

جدول ۴ نرم‌افزارهای شبیه‌سازی سنجش نور روز در پروژه‌های مختلف

نرم‌افزار شبیه‌سازی	ویژگی‌های شبیه‌ساز
دیالوکس	نرم‌افزار دیالوکس یکی از نرم‌افزارهای محاسبات روشنایی فنی داخلی و خارجی است که محاسبات آن با توجه به روش‌های مرسوم و فرمول‌های پیشنهادی که در استاندارد دین[1] توصیه گردیده انجام می‌پذیرد. پشتیبانی از استانداردهای جهانی و پشتیبانی از محصولات شرکت‌های مطرح در زمینه تولید لامپ‌های روشنایی باعث گردیده که محاسبات و داده‌های خروجی این نرم‌افزار از دقت و کیفیت مناسبی برخوردار باشد. این نرم‌افزار غیر از نورپردازی، تعداد لامپ‌ها و وات موردنیاز را به راحتی پیدا می‌کند [۲۲].
انرژی پلاس[2] و دی سیم[3]	انرژی پلاس برنامه جامع شبیه‌سازی انرژی ساختمان است که مهندسان، معماران و محققان برای مدل‌سازی انرژی مصرفی (گرمایش، سرمایش، تهویه، روشنایی و آب مصرفی) در ساختمان از آن استفاده می‌کنند. دی سیم به کاربران اجازه مدل‌سازی سیستم‌های نماهای پویا اعم از پرده‌های استاندارد پنجره تا عناصر هنری هدایت‌کننده نور، شیشه‌های قابل تعویض و ترکیب‌های آن را می‌دهد [۲۳].
تریس پرو[4] و ریدینس[5]	تریس پرو نرم‌افزار تخصصی جهت طراحی و آنالیز سیستم‌های اپتیکی و روشنایی است که در طراحی روشنایی و بهینه‌سازی لوله‌های نوری و لنزهای غیرتصویربرداری و آینه مورداستفاده قرار می‌گیرد [۲۴]. ریدینس مجموعه‌ای از برنامه‌های تحلیل و نمایه‌سازی نور در طراحی است. داده‌های ورودی، هندسه صحنه، مصالح، چراغ‌های روشن، زمان، تاریخ و شرایط آسمان هستند. مقادیر محاسبه شده شامل تابش طیفی، تابش نور و شاخص‌های انعکاس است [۲۵].
لیدی باگ[6] و هانی بی[7]	لیدی باگ، فایل‌های آب و هوایی را از داده‌های انرژی پلاس برای ساخت نمودارهای گرافیکی در گرس‌هاپر به منظور بهبود روند تصمیم‌گیری در مراحل اولیه طراحی می‌گیرد. همچنین برای کاربران امکان کار با موتورهای انرژی و نور روز مانند انرژی پلاس، رادیانس و دی سیم را فراهم کرده است. هانی بی: همانند لیدی باگ، هانی بی نیز برای حجم‌های ساختمانی اما در سطح پیشرفته‌تر طراحی شده است [۲۶].

1. DIN (Deutsches Institut für Normung)
2. EnergyPlus
3. Daysim
4. Trace Pro
5. Radiance
6. Ladybug
7. Honeybee

در این پژوهش برای شبیه‌سازی سنجش نور روز، از نرم‌افزار دایالوکس استفاده شده است (پی‌نوشت ۱).

۳-۴- گام چهارم: انتخاب سیستم روشنایی

در جدول زیر مقایسه‌ای بین توان نور روز و لوازم روشنایی الکتریکی دیگر نمایش داده شده است [۱۹]. همان‌طور که در جدول ۵ و ۶ مشاهده می‌شود نور روز از بیشتر جنبه‌ها دارای برتری نسبت به لوازم روشنایی الکتریکی است و با وجود فیلترهای مخصوص اشعه‌های ماوراء بنفش، مادون قرمز و حرارت که در سیستم‌های روشنایی خورشیدی فیبر نوری موجود بوده، یکی از بهترین گزینه‌ها برای روشنایی مکان‌های سرپوشیده در طی روز است. علاوه بر آن سیستم فیبر نوری می‌تواند با استراتژی‌های روشنایی مصنوعی کار کنند؛ به گونه‌ای که توسط کلیدها و یا دیمرها، نور مصنوعی مطابق با میزان نور طبیعی موجود کنترل شود تا اهداف کاهش مصرف انرژی در ساختمان نیز برآورده شود [۲۷].

جدول ۵ مقایسه‌ی بهره نوری لامپ‌ها با نور خورشید [۲۸]

لامپ	ورودی (وات)	نور خروجی (لومن)	بهره نوری (لومن بر وات)
رشته‌ای	۱۰۰	۱۳۶۰	۱۳.۶
فلورسنت	۵۸	۵۲۰۰	۹۰
سدیم	۴۰۰	۴۸۰۰۰	۱۲۰
نور خورشید	---	---	۹۰-۱۱۷
روشنایی روز	---	---	۱۱۰-۱۷۵

جدول ۶ مقدار روشنایی معمول [۲۸]

از شمع به فاصله یک متر	۱ لوکس
لامپ بر روی میز در ادارات	۵۰۰ لوکس
آسمان پوشیده از ابر	۱۰۰۰۰ لوکس
نور خورشید روی زمین در تابستان	۱۰۰۰۰۰ لوکس

در این پژوهش، از فیبر نوری برای تامین روشنایی بخش‌هایی از ساختمان که نور دریافت نمی‌کنند استفاده شده است و این شیوه با نور مصنوعی لامپ‌های مختلف مقایسه می‌شود. اهداف اصلی این سیستم‌ها، یکنواخت کردن نور در کل فضا، کنترل نور مستقیم، کاهش خیرگی و افزایش عمق نفوذ نور است. برای این منظور، ابتدا باید استاندارد روشنایی فضاها و فعالیت‌های مختلف استخراج شود و متناسب با آن نورپردازی فضاها انجام شود. در جداول ۷ و ۸، استاندارد شدت روشنایی فضاها و فعالیت‌های مختلف ذکر شده است.

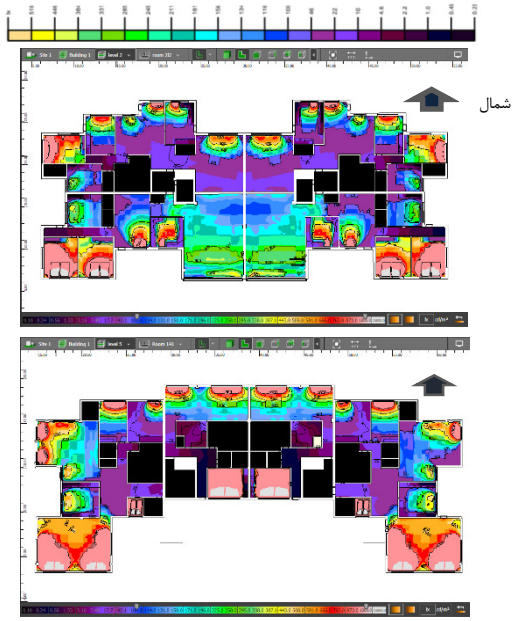
جدول ۷ مقایسه استاندارد شدت روشنایی در ایران و آمریکا [۲۹]

محل	استاندارد کمیته ملی روشنایی ایران		استاندارد جامعه مهندسان روشنایی آمریکا
محل‌های مسکونی (لوکس)	کمینه	پیشنهادی	
اتاق مطالعه	۳۰۰	۵۰۰	۳۲۰
آشپزخانه	۱۰۰	۲۰۰	۵۴۰
روشنایی عمومی اتاق خواب	۵۰	۱۰۰	
اتاق خواب	۲۰۰	۵۰۰	
روشنایی عمومی حمام	۵۰	۱۰۰	
آینه حمام	۲۰۰	۵۰۰	
راهرو، سرسرا و آسانسور	۵۰	۱۵۰	

جدول ۸ حداقل شدت روشنایی لازم برای فعالیت در فضاهای داخلی [۲۸]

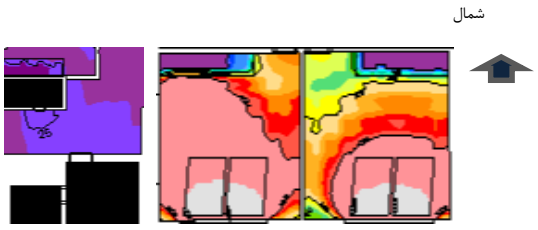
نوع کار	شدت روشنایی (لوکس)
کارهایی که برای آنها به دید طبیعی نیاز است	۷۰۰
کارهایی که نیازمند به دید دقیق هستند	۱۰۰۰
کارهایی که نیازمند به دید خیلی قوی نیاز است	۱۵۰۰
مطالعه	۷۰۰
غذا خوردن	۱۵۰
اتو کشیدن لباس‌ها	۵۰۰
خواندن روزنامه و مجله	۳۰۰

در این پژوهش، ابتدا یک بلوک ۵ طبقه طراحی شد که در طراحی آن از پلان‌های عمیق استفاده شده است تا بتوان مشکل پلان‌های عمیق را مشاهده کرد و راهکاری برای برطرف شدن مشکل ارائه نمود. با توجه به آنچه در بخش‌های قبلی ذکر شد از پاسیو نیز در وسط ساختمان استفاده نمی‌شود تا هم در فضا و هم در بحث سرمایش گرمایش صرفه‌جویی شود. سپس پلان طبقات مختلف در نرم‌افزار دایالوکس برای نور روز در فصل زمستان در یک آسمان تقریبا صاف شبیه‌سازی شد و داده‌های زیر به دست آمد:



شکل ۵ شبیه‌سازی نور روز برای پلان طبقه دوم (بالا) و پنجم (پایین) با استفاده از نرم‌افزار دایالوکس در فصل زمستان

همان‌طور که در شکل ۵ مشخص است، در فضاهایی که پنجره و بازشوهایی مخصوصا رو به جنوب وجود دارد، فضا از روشنایی زیادی برخوردار است اما این روشنایی زیاد دو مشکل اساسی دارد: خیرگی و گرمای زیاد (به ویژه در فصل بهار و تابستان) که در شکل ۵ این نواحی با رنگ سفید و قرمز مشخص شده‌اند. شاید استفاده از بازشوهای کوچک‌تر، یک راهکار مطلوب برای آن بوده و همچنین برای روشنایی بیشتر و یکنواخت‌تر می‌توان از فیبر نوری استفاده کرد. نقطه مقابل این فضاها، فضاهایی است که به علت عمق زیاد و یا عدم امکان داشتن پنجره، نور کافی دریافت نمی‌کنند یا حتی در بعضی فضاها عملا هیچ نوری دریافت نمی‌شود. که در شکل ۶ با رنگ‌های مشکی و بنفش نشان داده می‌شوند.



شکل ۶ فضاهایی با نور بیش از اندازه و غیریکنواخت (سمت راست) و فضاهای دارای عمق زیاد و یا فاقد بازشو (سمت چپ)

در ادامه فضاهایی که نور کافی دریافت نمی‌کنند، در دو حالت روشنایی با استفاده از سیستم روشنایی نور روز (فیبر نوری) و روشنایی با نور مصنوعی (لامپ‌های الکتریکی) مجددا در نرم‌افزار دایالوکس شبیه‌سازی شده‌اند. مشخص شده است که در هر واحد قسمت‌هایی از ساختمان که نور دریافت نمی‌کنند، علاوه بر سرویس‌ها، حمام و راهرو شامل یکی از فضاهای اصلی اتاق و آشپزخانه نیز بوده که ابعاد و شکل‌های متفاوتی دارند.

جدول ۹ فضاهایی که در پلان طراحی شده نور دریافت نمی‌کنند (فضاهای انتخاب شده، مشخص شده‌اند).

طبقه دوم تا چهارم		طبقه پنجم	
سرویس	۱.۵*۱.۲	سرویس	۱.۲*۲
حمام	۱.۵*۲.۸	حمام	۱.۵*۲.۵
راهرو	۵*۱.۲	راهرو	۱.۲*۴
اتاق	۴.۵*۳.۵	اتاق	۴*۳.۵
		آشپزخانه	۴.۲*۳

همان‌طور که در جدول ۹ نشان داده شده است، چهار فضای اتاق، آشپزخانه، راهرو و حمام انتخاب شدند که در ادامه هر یک از فضاها به صورت جداگانه تحلیل شده است. مشخصات انواع سیستم‌های فیبر نوری در جدول ۱۰ آمده است.

جدول ۱۰ پنج نوع از سیستم‌های شرکت پرنز که که بسته به بزرگی و تعداد لنز و طول کابل توان و روشنایی خروجی متفاوتی دارند.

نوع سیستم	Sp_{4-20}	Sp_{4-12}	Sp_{4-8}	Sp_{4-6}	Sp_{4-4}
تعداد کابل فیبر نوری	۲۰	۱۲	۸	۶	۴
نور خروجی	۱۸۰۰۰-۲۶۰۰۰	۱۰۸۰۰-۱۵۶۰۰	۷۲۰۰-۱۰۴۰۰	۵۴۰۰-۷۸۰۰	۳۶۰۰-۵۲۰۰
بیشترین حد طول کابل	۱۰۰ متر				
قطر کابل فیبر نوری	۶ میلیمتر				
توان مصرفی	۰-۱۲ وات				
مصالح	آلومینیوم، فولاد، شیشه، اکریلیک				
دمای کار	۲۰- درجه تا ۵۰+ درجه				

جدول ۱۰ بیان می‌کند که به ازای هر کابل نوری حدود ۱۰۰۰ لومن (۹۰۰-۱۳۰۰) بسته به طول کابل خروجی، روشنایی وجود دارد و هر سیستم بسته به تعداد کابل‌ها و تعداد لنزها برای سیستم ردیابی خورشید به توان متفاوتی از ۲-۱۲ وات نیاز دارد و این تنها توان مصرفی این سیستم است. پس برای داشتن روشنایی بین ۳۶۰۰-۵۲۰۰ از مدل sp_{4-4} و برای روشنایی بین ۵۴۰۰-۷۸۰۰ از مدل sp_{4-6} و به همین ترتیب از مدل‌های بعدی استفاده شده است.

۴- تحلیل یافته‌ها

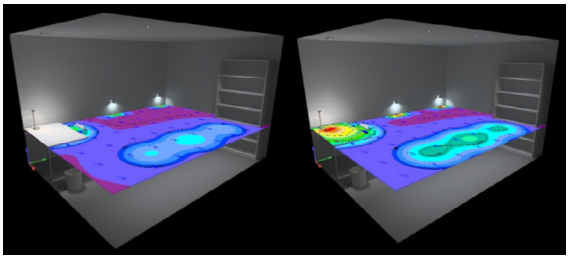
۴-۱- اتاق خواب

با توجه به جدول ۷، استاندارد شدت روشنایی عمومی برای اتاق خواب، ۵۰-۱۰۰ لوکس (۵۰-۱۰۰ لومن بر هر متر مربع فضا) و برای قسمت‌های میز توالت و میز کار (برای نوشتن، خواندن کتاب، مجله و روزنامه)، ۲۰۰-۵۰۰ لوکس است (پی‌نوشت ۲). طراحی سیستم روشنایی این فضا به نحوی انجام گرفته که از شدت نور استاندارد ذکر شده پیروی کند. ابعاد فضا ۳.۵*۴.۵ در نظر گرفته شده و برای روشن کردن این فضا با استفاده از نور مصنوعی، از ۴ نوع لامپ با مشخصات ذکر شده در جدول ۱۱ استفاده شده است. در مقابل برای سیستم فیبر نوری از مشخصات لامپ‌های شرکت پرنز که امکان اضافه کردن آنها در نرم‌افزار دایالوکس وجود دارد، استفاده شده است که از نظر نسبت نور خروجی بیشترین شباهت را با لامپ‌های نور مصنوعی انتخابی دارند.

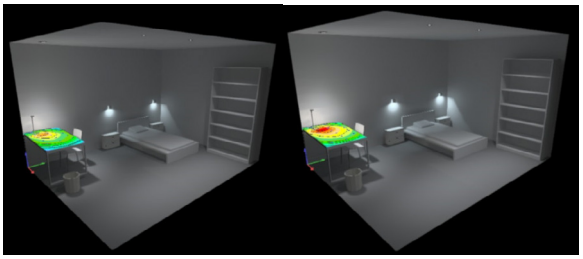
جدول ۱۱ مقایسه دو سیستم از نظر روشنایی و توان

نوع سیستم روشنایی	تعداد هر نوع	مشخصات	مقدار/ واحد	جمع توان	جمع روشنایی
نور مصنوعی (لامپ الکتریکی)	۲	شار نوری	۲۰۰ لومن	۱۳۶ وات	۲۰۵۰ لومن
		توان	۱۰ وات		
	۱	شار نوری	۲۰۰ لومن		
		توان	۸ وات		
	۳	شار نوری	۳۵۰ لومن		
		توان	۳۲.۲ وات		
	۱	شار نوری	۴۰۰ لومن		
		توان	۱۲ وات		
نور طبیعی (فیبر نوری)	۲	شار نوری	۴۰۰ لومن	۲ وات برای سیستم	۲۹۵۰ لومن
		توان	۰ وات		
	۱	شار نوری	۳۰۰ لومن		
		توان	۰ وات		
	۳	شار نوری	۴۵۰ لومن		
		توان	۰ وات		
	۱	شار نوری	۵۰۰ لومن		
		توان	۰ وات		

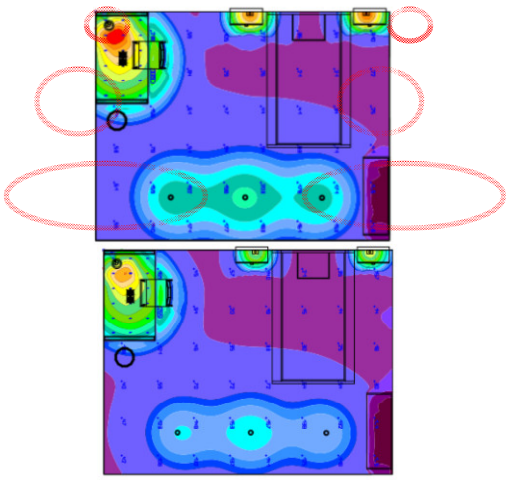
از داده‌های جدول ۱۱ می‌توان نتیجه گرفت که برای رسیدن به روشنایی تقریباً برابر با روشنایی حاصل از نور مصنوعی از سیستم sp_{4-4} استفاده شده که روشنایی بین ۳۶۰۰-۵۲۰۰ را فراهم می‌کند و توان کل مصرفی آن برابر با ۲ وات بوده که به منظور ردیابی مسیر خورشید است.



شکل ۷ نمودار فالس کالر[1] روی سطح کار[2] اتاق، سمت راست مربوط به فیبر نوری و سمت چپ مربوط به لامپ الکتریکی (خروجی نرم‌افزار دایالوکس)



شکل ۸ نمودار فالس کالر روی سطح میز کار، سمت راست مربوط به فیبر نوری و سمت چپ مربوط به لامپ الکتریکی (خروجی نرم‌افزار دایالوکس)



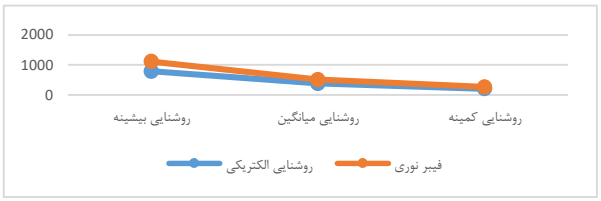
شکل ۹ نمودار فالس کالر پلان اتاق، سمت راست مربوط به فیبر نوری و سمت چپ مربوط به لامپ الکتریکی (خروجی نرم‌افزار دایالوکس)

1. False color
2. Workplane

با توجه به شکل‌های ۷، ۸ و ۹، علاوه بر فراهم شدن نور بهتر در بخش‌هایی که نور کمی دریافت می‌کردند (نواحی بنفش در بخش میانی اتاق و پایین اتاق) نور مناسب‌تری برای مطالعه در بخش میزکار و میزهای کنار تخت با سیستم فیبر نوری فراهم شده‌است (رنگ زرد ۴۰۰-۵۰۰، رنگ نارنجی ۵۰۰-۶۵۰ و رنگ قرمز ۶۵۰-۹۰۰ لوکس).

جدول ۱۲ مقایسه دو سیستم از نظر شدت روشنایی در کل اتاق خواب

	سطح	میانگین / هدف	کمینه	بیشینه
سیستم روشنایی الکتریکی	کل اتاق	۱۰۱ /(۱۰۰-۲۰۰)	۱۰	۳۳۹
	میز کار	۳۸۰ /(۳۰۰-۵۰۰)	۲۰۴	۷۸۸
سیستم فیبر نوری	کل اتاق	۱۲۰ /(۱۰۰-۲۰۰)	۲۰	۲۶۵
	میز کار	۵۰۸ /(۳۰۰-۵۰۰)	۲۶۲	۱۱۱۰



شکل ۱۰ مقایسه دو سیستم از نظر شدت روشنایی در فضای اتاق

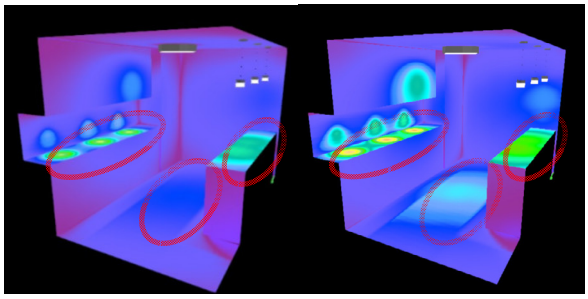
۴-۲- آشپزخانه

با توجه به جدول ۷، استاندارد شدت روشنایی عمومی برای آشپزخانه، ۱۰۰-۲۰۰ لوکس و برای قسمت‌های میز کار، گاز و اپن ۲۰۰-۵۰۰ لوکس است. طراحی سیستم روشنایی این فضا به نحوی انجام گرفته که از شدت نور استاندارد ذکر شده پیروی کند. ابعاد فضا ۴.۵*۳.۵ در نظر گرفته شده و برای روشنایی این فضا با استفاده از نور مصنوعی از ۳ نوع لامپ با مشخصات ذکر شده در جدول ۱۳ استفاده شده است. در مقابل برای سیستم فیبر نوری مشخصات لامپ‌های شرکت پرنز در نرم‌افزار دایالوکس اضافه شده که از نظر نسبت نور خروجی بیشترین شباهت را با لامپ‌های نور مصنوعی دارند.

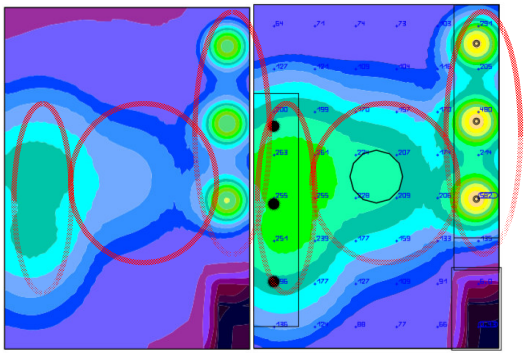
جدول ۱۳ مقایسه دو سیستم از نظر روشنایی و توان

نوع سیستم روشنایی	تعداد	مشخصات	مقدار/ واحد	جمع توان	جمع روشنایی
نور مصنوعی (لامپ الکتریکی)	۱	شار نوری	۱۵۰۰ لومن	۱۳۵.۶ وات	۳۰۰۰ لومن
		توان	۵۴ وات		
	۳	شار نوری	۱۰۰ لومن		
		توان	۱۷.۲ وات		
	۳	شار نوری	۴۰۰ لومن		
		توان	۱۰ وات		
نور طبیعی (فیبر نوری)	۱	شار نوری	۲۵۰۰ لومن	۲ وات برای سیستم ردیابی خورشید در مدل sp4-4	۳۴۵۰ لومن
		توان	۰ وات		
	۳	شار نوری	۱۵۰ لومن		
		توان	۰ وات		
	۳	شار نوری	۵۰۰ لومن		
		توان	۰ وات		

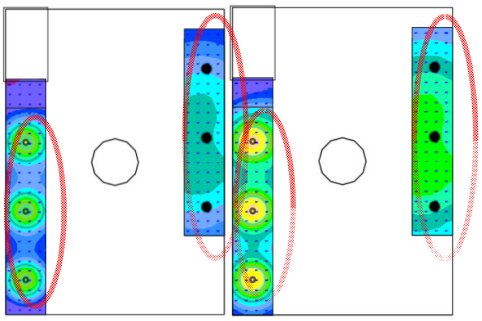
برای رسیدن به روشنایی تقریبا برابر با روشنایی حاصل از نور مصنوعی از سیستم sp4-4 استفاده شد که روشنایی بین ۳۶۰۰-۵۲۰۰ را فراهم می‌کند.



شکل ۱۱ نمودار فالس کالر سه بعدی آشپزخانه، بالا مربوط به فیبر نوری و پایین مربوط به لامپ الکتریکی (خروجی نرم‌افزار دایالوکس)



شکل ۱۲ نمودار فالس کالر پلان آشپزخانه، سمت راست مربوط به فیبر نوری و سمت چپ مربوط به لامپ الکتریکی (خروجی نرم‌افزار دایالوکس)

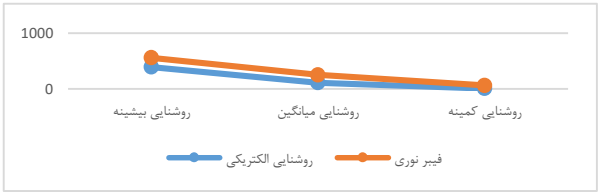


شکل ۱۳ نمودار فالس کالر روی میز کار، سمت راست مربوط به فیبر نوری و سمت چپ مربوط به لامپ الکتریکی (خروجی نرم‌افزار دایالوکس)

با توجه به شکل‌های ۱۱، ۱۲ و ۱۳ علاوه بر فراهم شدن نور بهتر در بخش‌هایی که نور کمی دریافت می‌کردند (نواحی آبی و بنفش در بخش میانی فضا که تنها ۱۰-۴۰ لوکس نور دریافت می‌کنند) نور مناسب‌تری برای کار بر روی میزکار با سیستم فیبر نوری فراهم شده‌است (رنگ زرد ۴۰۰-۵۰۰، رنگ سبز ۲۰۰-۳۵۰ و رنگ فیروزه‌ای ۱۵۰-۲۰۰ لوکس).

جدول ۱۴ مقایسه دو سیستم از نظر شدت روشنایی در آشپزخانه و روی میز کار

	سطح	میانگین / هدف	کمینه	بیشینه
سیستم روشنایی الکتریکی	کل اتاق	۱۱۲ /(۱۰۰-۲۰۰)	۱۰	۳۹۱
	میز کار	۱۶۷ /(۲۰۰-۵۰۰)	۴۱.۷	۳۸۹
سیستم فیبر نوری	کل اتاق	۱۶۴ /(۱۰۰-۲۰۰)	۲۰	۵۹۱
	میز کار	۲۵۳ /(۲۰۰-۵۰۰)	۶۴.۱	۵۵۸



شکل ۱۴ مقایسه دو سیستم در روشنایی فضای آشپزخانه

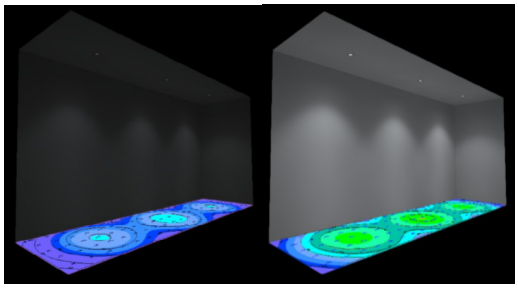
۴-۳- راهرو

با توجه به جدول ۷، استاندارد شدت روشنایی عمومی برای راهرو، ۵۰-۱۵۰ لوکس است. طراحی سیستم روشنایی این فضا به نحوی انجام گرفته که از شدت نور استاندارد ذکر شده پیروی کند. ابعاد فضا ۱.۵*۵ در نظر گرفته شده و برای روشنایی این فضا با استفاده از نور مصنوعی از یک نوع لامپ با مشخصات ذکر شده در جدول ۱۵ استفاده شده است. در مقابل برای سیستم فیبر نوری از مشخصات لامپ‌های شرکت پرنز که امکان اضافه کردن آنها در نرم‌افزار دایالوکس وجود دارد، استفاده گردیده که بیشترین شباهت را از نظر نسبت نور خروجی با لامپ نور مصنوعی انتخابی دارند.

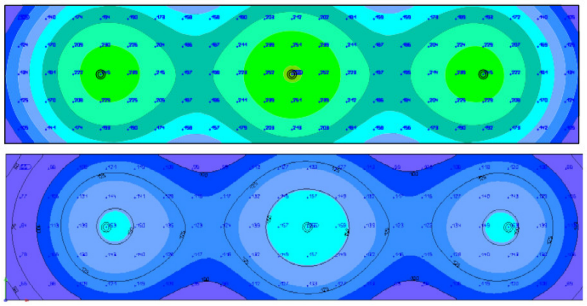
جدول ۱۵ مقایسه دو سیستم از نظر روشنایی و توان

نوع سیستم روشنایی	تعداد	مشخصات	مقدار/ واحد	جمع توان	جمع روشنایی
نور مصنوعی (لامپ الکتریکی)	۳	شار نوری توان	۵۰۰ لومن ۲۲.۲ وات	۶۶.۶ وات	۱۵۰۰ لومن
نور طبیعی (فیبر نوری)	۳	شار نوری توان	۸۰۰ لومن ۰ وات	۱ وات برای سیستم ردیابی خورشید در مدل sp_{4-4}	۲۴۰۰ لومن

برای رسیدن به روشنایی تقریبا برابر با روشنایی حاصل از نور مصنوعی حمام و راهرو، از سیستم sp_{4-4} استفاده گردید که روشنایی بین ۵۲۰۰-۳۶۰۰ را فراهم می‌کند و در نتیجه توان برای هر کدام از آن‌ها، معادل ۱ وات می‌شود.



شکل ۱۵ نمودار فالس کالر روی سطح کار راهرو، سمت راست مربوط به فیبر نوری و سمت چپ مربوط به لامپ الکتریکی (خروجی نرم‌افزار دایالوکس)

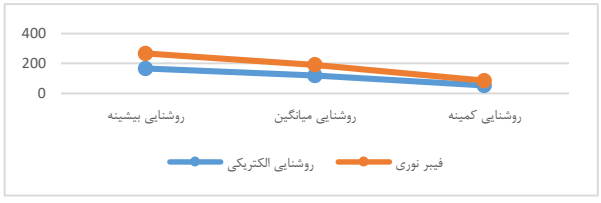


شکل ۱۶ نمودار فالس کالر پلان راهرو بالا مربوط به فیبر نوری و پایین مربوط به لامپ الکتریکی (خروجی نرم‌افزار دایالوکس)

با توجه به شکل‌های ۱۵ و ۱۶ (نواحی آبی و بنفش تنها ۱۰-۴۰ لوکس نور دریافت می‌کنند) نور مناسب‌تری با سیستم فیبر نوری در کل فضای راهرو فراهم شده‌است (رنگ سبز ۲۰۰-۳۵۰ و رنگ فیروزه‌ای ۱۵۰-۲۰۰ لوکس که می‌توان مقادیر را با جداول ۷ و ۸ و استانداردهای موردنیاز مقایسه کرد).

جدول ۱۶ مقایسه دو سیستم از نظر شدت روشنایی در راهرو

	سطح	میانگین / هدف	کمینه	بیشینه
سیستم روشنایی الکتریکی	سطح زمین	۱۱۹ /(۱۵۰-۵۰)	۵۲.۷	۱۶۶
سیستم فیبر نوری	سطح زمین	۱۹۰ /(۱۵۰-۵۰)	۸۴.۳	۲۶۶



شکل ۱۷ مقایسه دو سیستم از نظر شدت روشنایی در راهرو

۴-۴- حمام

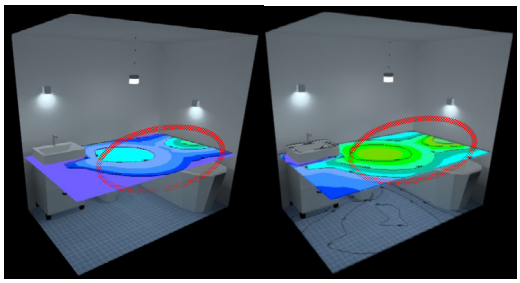
با توجه به جدول ۷، استاندارد شدت روشنایی عمومی برای حمام، ۵۰-۱۰۰ لوکس و برای قسمت‌های روشویی و وان، ۲۰۰-۵۰۰ لوکس است.

طراحی سیستم روشنایی این فضا به نحوی انجام گرفته که از شدت نور استاندارد ذکرشده پیروی کند. ابعاد فضا ۲.۵*۱.۵ در نظر گرفته شده و برای روشن کردن این فضا با استفاده از نور مصنوعی از ۲ نوع لامپ با مشخصات ذکر شده در جدول ۱۷ استفاده شده است. در مقابل برای سیستم فیبر نوری لامپ‌های شرکت پرنز به کار گرفته شده که بیشترین شباهت را از نظر نسبت نور خروجی با لامپ‌های نور مصنوعی انتخابی دارند.

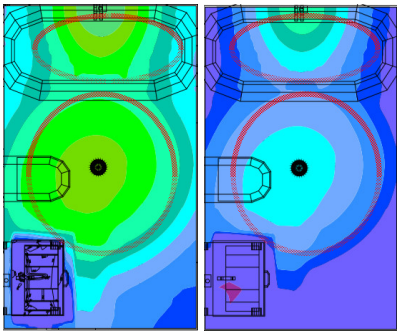
جدول ۱۷ مقایسه دو سیستم از نظر روشنایی و توان

نوع سیستم روشنایی	تعداد	مشخصات	مقدار/ واحد	جمع توان	جمع روشنایی
نور مصنوعی (لامپ الکتریکی)	۱	شار نوری توان	۴۰۰ لومن ۲۰ وات	۵۰ وات	۸۰۰ لومن
	۲	شار نوری توان	۲۰۰ لومن ۱۵ وات		
نور طبیعی (فیبر نوری)	۱	شار نوری توان	۷۰۰ لومن ۰ وات	۱ وات برای سیستم ردیابی خورشید در مدل sp_{4-4}	۱۳۰۰ لومن
	۲	شار نوری توان	۳۰۰ لومن ۰ وات		

برای رسیدن به روشنایی تقریبا برابر با روشنایی حاصل از نور مصنوعی حمام و راهرو، از سیستم sp_{4-4} استفاده شد که روشنایی بین ۵۲۰۰-۳۶۰۰ را فراهم می‌کند و در نتیجه توان برای هر کدام از آن‌ها، معادل ۱ وات می‌شود.



شکل ۱۸ نمودار فالس کالر روی سطح کار حمام، سمت راست مربوط به فیبر نوری و سمت چپ مربوط به لامپ الکتریکی (خروجی نرم‌افزار دایالوکس)

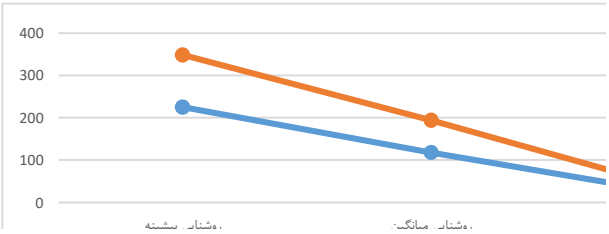


شکل ۱۹ نمودار فالس کالر پلان حمام، سمت راست مربوط به فیبر نوری و سمت چپ مربوط به لامپ الکتریکی (خروجی نرم‌افزار دایالوکس)

با توجه به شکل‌های ۱۸ و ۱۹ علاوه بر فراهم شدن نور بهتر در بخش‌هایی که نور کمی دریافت می‌کردند (نواحی آبی و بنفش در بخش میانی فضا که تنها ۱۰-۴۰ لوکس نور دریافت می‌کنند) نور مطلوب‌تری برای انجام فعالیت‌ها با سیستم فیبر نوری فراهم شده‌است (رنگ زرد ۴۰۰-۵۰۰، رنگ سبز ۲۰۰-۳۵۰ و رنگ فیروزه‌ای ۱۵۰-۲۰۰ لوکس که می‌توان مقادیر را با جداول ۷ و ۸ و استانداردهای موردنیاز مقایسه کرد).

جدول ۱۸ مقایسه دو سیستم از نظر شدت روشنایی در حمام

بیشینه	کمینه	میانگین / هدف	سطح
۲۲۵	۱۹.۵	۱۱۸ /(۱۵۰-۵۰)	سطح زمین سیستم روشنایی الکتریکی
۳۴۸	۳۰.۸	۱۹۴/ (۱۵۰-۵۰)	سطح زمین سیستم فیبر نوری



شکل ۲۰ مقایسه دو سیستم در روشنایی فضای حمام

۵- نتیجه‌گیری

همان‌طور که بیان شد، این پژوهش به دنبال رفع مشکل نورگیری طبیعی برخی از فضاهای عملکردی در پلان‌های عمیق واحدهای مسکونی است. استفاده از نور مصنوعی باعث ایجاد مشکلاتی در زمینه سلامتی و پویایی محیط زندگی، مصرف حجم عظیم انرژی‌های تجدیدناپذیر و سوخت‌های فسیلی، انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. به نظر می‌رسد فیبر نوری به ویژه در کشور ایران به دلیل موقعیت و عرض جغرافیایی کم و تابش کافی نور خورشید در ماه‌های مختلف سال و داشتن آسمانی تقریبا صاف در اکثر روزهای سال می‌تواند جایگزین مناسبی برای روشنایی مصنوعی باشد. علاوه بر آن، فیبر نوری می‌تواند نور طبیعی را به درون پلان‌های عمیق در طبقات مختلف وارد نماید و بهره وری ساختمان را ارتقا داده و کیفیت فضای زیستی را برای ساکنین افزایش دهد.

نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که استفاده از این سیستم، مصرف توان الکتریکی را برای این فضاها از ۳۸۸.۲ به ۶ وات بر ساعت رسانده است که کاهش قابل‌توجهی بوده و این تنها برای یک طبقه مسکونی در یک ساعت است که اگر به طور مثال برای ۵ طبقه ۲ واحدی و برای متوسط ۵ ساعت در روز در نظر گرفته شود، ۱۹۴۱۰ وات بر ساعت و برای یک ماه به عدد ۵۸۲۳۰۰ معادل تقریبا ۶۰۰ کیلو وات بر ساعت تنها برای یک ساختمان ۵ طبقه در مصرف انرژی الکتریکی صرفه‌جویی می‌شود (پی‌نوشت ۳).

در فضاهایی که با توجه به محدودیت‌های زمین، سایت و مساحت، قابلیت استفاده از نور روز وجود نداشته و در ارتفاعی بیش از دو طبقه قرار بگیرند، استفاده از فیبر نوری نه‌تنها کمبود نور را جبران می‌کند بلکه از مزایای مشخص زیر بهره‌مند می‌کند:

- کاهش مصرف توان الکتریکی

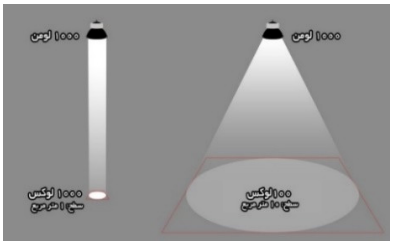
- کاهش انتشار گازهای آلاینده
- خاصیت ضدعفونی‌کنندگی
- تنظیم ریتم شبانه‌روزی و چرخه خواب و بیداری
- کاهش خطرات برق گرفتگی و اتصالات الکتریکی.

در آخر نکته‌ای که باید به آن توجه داشت این است که در طراحی فضاهای مسکن علاوه بر توجه به هندسه و بازشوهای فضا، می‌بایست برای داشتن فضایی روشن‌تر، پویاتر و رسیدن به ساختمانی با مصرف انرژی کمتر، نورپردازی و سیستم‌های مورداستفاده نیز در نظر گرفته شود.

۶- پی‌نوشت

۱- نتایج خروجی شبیه‌سازی‌های نرم‌افزار دایالوکس مربوط به ساعت ۱۲ ظهر ۲۳ دی‌ماه سال ۱۳۹۸ است.

۲- علت استفاده از دو واحد لوکس و لومن برای روشنایی این است که لومن واحد روشنایی چراغ و به طور کلی تولیدکننده نور است ولی لوکس واحد روشنایی فضاست (لومن بر مترمربع).



شکل ۲۱ ارتباط لومن و لوکس

۳- سازمان انرژی هزینه تولید هرکیلو وات ساعت انرژی الکتریکی را با دلار ۱۰۰۰۰ تومان، معادل ۵۰۰-۷۰۰ تومان اعلام کرده است. به عبارتی، اگر تنها ۵۰۰۰ واحد از این سیستم استفاده کنند در ماه ۴۲۰ میلیون تومان و در سال ۵.۰۴۰ میلیارد تومان در مصرف انرژی الکتریکی صرفه‌جویی می‌شود. علاوه بر آن، اگر به بررسی سیستم جدید روشنایی ساختمان از دیدگاه محیط‌زیست پرداخته شود، مشاهده می‌گردد که به ازای تولید یک کیلووات ساعت انرژی الکتریکی از سوخت‌های فسیلی، حدود ۹۲۲.۶ گرم گاز آلاینده در هوا انتشار خواهد یافت که با این سیستم، فقط ۵۵۵ هزار تن از انتشار گازهای آلاینده در سال جلوگیری خواهد شد. مسلماً با در نظر گرفتن بخش‌های دیگر شامل کاربری‌های صنعتی، اداری، آموزشی، درمانی و تجاری می‌توان مقادیر بدست آمده را بسط داد.

۷- مراجع

[1] E. Shiravi, H. Sadeghi, M. E. Sayadzade, and A. sadeghi, Evaluation and utilization of sunlight by using optical fiber in the building lighting system, *3rd International conference of IEA Technology and Energy Managment,* Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, 2017. (in Persian)

[2] M. S. Mayhoub, Innovative daylighting systems, *Energy and Buildings*, No. 80, pp. 394–405, 2014.

[3] M. Gholipour, F. Mehdizadeh, and M. Faizi, Investigating solutions to improve the efficiency of skylight lighting in dense textures and deep plan buildings, *second International conference of Research in Science and Technology,* Istanbul-Turkey, 2016. (in Persian)

[4] R. P. Leslie, Capturing the daylight dividend in building: why and how, *Journal of Building & Environment*, No. 38, pp. 381–385, 2003.

[5] A. Freewan, Interactions between louvers and ceiling geometry for maximum daylighting performance, *Journal of Renewable Energy*, No. 34, pp. 223–232, 2009.

[6] M. Ghasemi, and H. Samet, Solar lighting system using fiber optics, *Sixth Conference on National Building Regulations*, Permanent Secretariat for National Building Regulations, 2016. (in Persian)

[7] D. Jenkins, and M. Newborough, An approach for estimating the carbon emissions associated with office lighting with a daylight contribution, *Applied Energy*, No. 84, pp. 608–622, 2007.

[8] S. Altomonte, Daylight for Energy Savings and Psycho-Physiological Well-Being in Sustainable Built Environments, *Journal of Sustainable Development*, pp. 3-16, 2008.

[9] S. Vardoulakis, and C. Dimitroulopoulou, J. Thornes, Impact of climate change on the domestic indoor environment and associated health risks in the UK, *Environment International*, No. 85, pp. 299-313, 2015.

[10] http://isn.moe.gov.ir/getattachment/a1909f39-ea64-44fc-81f9. Accessed 15 December 2020.

[11] R. M. Lucas, and A. Ponsonby, Ultraviolet Radiation and Health: Friend and Foe, *The Mechanical Journal of Australia*, Tehran University, Iran, No. 177, pp. 594-598, 2002.

[12] J. Choi, The Study of Relationship Between Patients' Recovery and Indoor Daylight Environment of Patient Rooms in Healthcare Facilities, *ISES Asia-Pacific Conference*, 2004.

[13] M. S. Mayhoub, *Hybrid Lighting Systems: Performance, Application and Evaluation*, PHD Thesis, University of Liverpool, 2011.

[14] S. Taravati, and J. Hosseinpoor, Investigating the effect of natural light control tools of traditional Iranian architecture on people's quality of life, *CIVILICA*, 2016. (in Persian)

[15] Z. Barzegar, and SH. Heidari, Investigating the effect of solar radiation on building bodies on energy consumption of the home sector, *Honar-ha-ye-ziba Memaei-va-Shahrsazi*, Tehran University, Iran, No. 18, pp. 45-56, 2013. (in Persian)

[16] M. Kazemzade, and V. Ghobadian, Atrium and Daylight Performance in Office Buildings: Effect of Atrium's Roof Shape on Daylight Reception, *Journal of Architect, Urban Design & Urban Planning,* No. 15, 2016. (in Persian)

[17] A. Iraji, *Design of Saba office complex using innovative daylight systems,* MSc Thesis, Tehran University, 2015. (in Persian)

[18] Z. Ghiabaklou, *Fundamentals of Physics Building 5 (Daylight)*, Tehran, 2016. (in Persian)

[19] H. J. Han, and S. H. Lim, Fiber optic solar lighting: Functional competitiveness and potential, *Solar Energy*, Tehran University, Iran, No. 94, pp. 86-101, 2013.

[20] M. Fox, *Optical Properties of Solids*, Oxford University Press, USA, 2002.

[21] N. Baker, and K. Steemers, J. Thornes, Energy and Environment in Architecture. A technical design guide, *E & FN SPON*, London, 2000.

[22] https://www.dialux.com/en-GB/. Accessed 24 July 2018.

[23] http://daysim.ning.com. Accessed 7 June 2018.

[24] https://lambdares.com/. Accessed 26 Semtember 2019.

[25] https://radiance-online.org//. Accessed 6 November 2019.

[26] M. Gholamian, *Design of a residential complex with an optimized facade approach to increase the optimal efficiency of daylight,* MSc Thesis, Iran University of Science & Technology, 2018. (in Persian)

[27] J. Benya., L. Heschong, N. Miller, N. Clanton, Lighting Design Considerations. *In: Advanced Lighting Guidelines,* 2001.

[28] C. Kandilli, and K. Ulgen, Review and modeling the systems of transmission concentrated solar energy via optical fibers, *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* Vol. 13, No. 1, pp. 67-84, 2009.

[29] H. Kalhor, *Lighting Engineering,* 2018. (in Persian)