DOR: 20.1001.1.24234931.1399.7.2.6.5

سال هفتم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۳۹۹، ص ص ۴۶- ۵۷

فصل‌نامه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو

jrenew.ir

مقاله

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۶/۱۳

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۸/۲۰

بررسی تجربی عملکرد سیستم طاقچه نوری (Light Shelf) برای بهبود کیفیت نور طبیعی در فضای داخلی ساختمان در گیلان

محسن روشن [۱*]، فرزین سعادت [۲]

۱-استادیار، گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، ایران

* لاهیجان، ۱۶۱۶ ، mroshan@liau.ac.ir

چکیده

نیاز روزافزون به انرژی در همه ابعاد و بخصوص در مصارف مسکونی و اداری، نیاز به استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر را به امری حیاتی تبدیل نموده است. عموماً فرض می‌شود که طاقچه نوری ابزاری مفید برای بهره‌وری از نور روز می‌باشد. از این رو، اکثر ساختمان‌های سبز، از این فناوری بدون ارزیابی واقع‌گرایانه‌ای از آن بهره می جویند. هدف این پژوهش، بررسی تجربی توانایی طاقچه‌های نوری برای بهبود نور روز و همچنین آسایش بصری بوسیله آزمایش در منطقه گیلان می‌باشد. این پژوهش، با روش تجربی به بررسی آثار سیستم طاقچه نور روی نمونه ماکت ساخته شده با مقیاس ۱:۵ می‌پردازد که با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری ایلومینانس متر، مقدار نور نقاط مختلف فضای داخلی با مقدار نور بیرونی مدل ضمن تغییر اندازه طاقچه‌های داخلی و خارجی اندازه گیری شد و داده‌ها به صورت آماری بررسی شدند و عملکرد طاقچه نوری درحالات مختلف مورد تجزیه، تحلیل و بررسی قرار گرفت. با بررسی نتایج، اینگونه بدست آمد که در ۷۳٪ اوقات، طاقچه نوری قادر به افزایش نفوذ نور در عمق می‌باشد. بر خلاف این تصور که استفاده از طاقچه نوری قادر به کاهش شدت نور و متعاقباً کاهش خیرگی در نزدیکی پنجره می‌گردد، اینگونه بدست آمد که استفاده از طاقچه نوری تنها در ۴۳٪ حالات قادر به کاهش شدت نور و خیرگی در نزدیکی پنجره می‌شود.

کلید واژه : سیستم طاقچه نوری ، انتقال نور ، آسایش بصری ، منطقه گیلان

ایـن مقالـه برگرفتـه از پایان نامه کارشناسـی ارشـد نگارنده دوم تحت عنوان: « ارزیابی سیستم طاقچه نوری برای بهبود کیفیت نور طبیعی در ساختمان های اداری در منطقه گیلان» به راهنمایی نگارنده اول میباشد.

Experimental Investigation of Light Shelf System Performance to Improve the Quality of Natural Light Indoors in Guilan

Mohsen Roshan[1*], Farzin Saadat[2]

۱. Mohsen Roshan, Assistant Professor, Faculty of Architecture, Islamic Azad University of Lahijan, Iran

۲. Farzin Saadat, Master of Science, Faculty of Architecture, Islamic Azad University of Lahijan, Iran

* P.O.B. 1616 Lahijan, Iran, mroshan@liau.ac.ir

Received: 4 September 2019 Accepted: 11 November 2019

Abstract

The growing need for energy in all dimensions, especially in residential and office use, has made the need to use renewable energy sources a vital issue. It is generally assumed that Light Shelf is a useful tool for daylight utilization. Therefore, most green buildings benefit from this technology without a realistic assessment. The purpose of this study is to objectively investigate the ability of Light Shelf to improve daylight as well as visual comfort by experimental research in Guilan. In this experimental study, the Scale Model on 1:5 scale was built and investigated the effects of a Light Shelf system that uses different illumination (light intensity) interiors with outside amount of light while resizing the interior and exterior Light Shelf size. The data were analyzed statistically and the performance of Light Shelf in different ways was analyzed. The results show that in 73% times, the Light Shelf can increase daylight in the depth. Contrary to the notion that the use of optical light could reduce the intensity of light and subsequently reduce grey near the window, it was found that the use of this system could only 43% reduce the intensity of light and grey near the window.

Keywords: Light Shelf System, Translate Daylight, Visual Comfort, Guilan Private

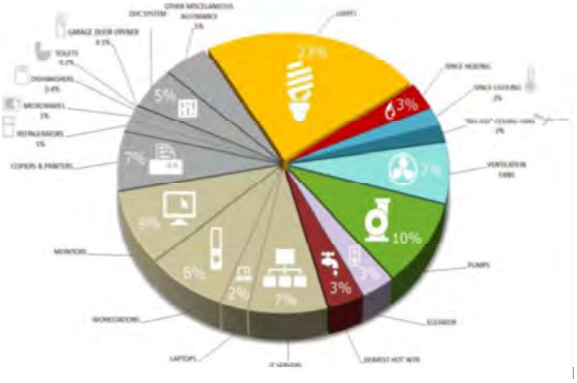
۱- مقدمه

نور ، نقش مهمی در زندگی بشر دارد و خورشید مهمترین منبع نور و انرژی برای موجودات زنده میباشد . اثرات مستقیم و غیر مستقیم نور خورشید از طریق کنترل عوامل زیست محیطی ، حیات بر روی کره خاکی را برای انسان امکان پذیر کرده است. بدن انسان ، مانند غذا و آب در انواع فرایندهای متابولیکی از نور استفاده می کند. درتحقیقات انجام شده در خصوص نور درمانی، ثابت شده که استفاده از طیف روشنایی طبیعی در محیط کار، ضمن افزایش بهره وری کار، میزان استرس و غیبت به علت بیماری را به طور قابل توجهی کاهش میدهد. نور بر توانایی یادگیری تاثیر می گذارد و یک عادت نوری نامناسب مانند عادت غذایی نامناسب که می تواند باعث سوء تغذیه شود، موجب ایجاد پدیده ای موسوم به سوء روشنایی میگردد. روشنایی با طیف کامل به قدری برای انسان ضروری است که به نظر می رسد نور، بخشی از نیازهای تغذیه ای بدن باشد [۱] .

۱-۱- بیان مسئله و ضرورت انجام تحقیق

مسائلی از قبیل مصرف بیش از اندازه انرژی های تجدیدناپذیر عامل اصلی ایجاد ناپایداری هستند. انسان از دیر باز همیشه سعی بر آن داشته که از ابزارهای محیطی خود به بهترین شکل ممکن استفاده نماید ، برای رسیدن به پایداری با ایجاد انگیزه بیشتردر استفاده از مصالح، تکنولوژی، انرژی های تجدید پذیر و فن آوری های نوین می توان جامعه را در مسیر پایداری سوق داد. نور روز را میتوان یکی از عوامل اصلی معماری پایدار دانست که متاسفانه طراحان معماری این اصل را نادیده گرفته اند، همچنین میتوان گفت که با کنترل نور روز و استفاده از سیستم های کنترل کننده ، نور پردازی داخل ساختمان را تحت تاثیر قرار داد که در نتیجه آن به مقدار قابل توجهی انرژی مصرفی نور مصنوعی را کاهش داد. یکی از این سیستمها که برای کنترل وهدایت نور روز به داخل ساختمان استفاده میشود سیستم طاقچه نور میباشد که در نیمه بالایی پنجره ها نصب میگردد که در آن ابعاد ، فرم و زاویه چرخش دامنه ها در توزیع نور طبیعی و آسایش بصری تاثیر بسزایی دارد[۲].

آمارها نشان می دهد مصرف انرژی در ساختمانهای مسکونی و تجاری در حدود ۳۷٪ کل مصرف سوخت می‌باشد. که این بخش در مقایسه با سایر بخشها نظیر صنعت، کشاورزی، حمل و نقل سهم قابل توجهی را به خود اختصاص داده است. این در حالی است که روشنایی، خنک‌سازی و تهویه مطبوع فضا، مهمترین عوامل مصرف الکتریسیته درساختمان ها هستند.اگر اقدامات و تدابیرخاصی برای استفاده از نور طبیعی خورشید در ساختمانها به کار گرفته شود. با وجود آنکه در زمان اجرا موجب افزایش هزینه ساخت می‌شود، اما به میزان قابل ملاحظه‌ای هزینه مصرف انرژی را کاهش می‌دهد. به نحوی که پس ازطی چندسال بهره‌برداری از ساختمان، هزینه اضافی ساخت جبران شده و به‌کارگیری آن توجیه پذیر خواهد بود[۳].



شکل۱ درصد انرژی مصرفی سیستم های مختلف ساختمان (Lee et al., ۲۰۱۷)

حدود ۲۳ درصد انرژی مصرفی ساختمان متعلق به انرژی روشنایی میباشد (شکل۱) به همین دلیل آزمایشات و تحقیقات مختلفی برای کاهش مصرف انرژی نور مصنوعی داخل ساختمان انجام شده است، این آزمایشات نشان میدهد که سیستم طاقچه نور میتواند مقدار قابل توجه ای در مصرف انرژی روشنایی داخل ساختمان تاثیرگذار باشد [۴].

یکنواختی توزیع نور روز در داخل فضا نه فقط به دلیل بحث خیرگی، بلکه به خاطر احتمال استفاده ساکنین از نور مصنوعی، اهمیت بسزایی دارد. معمولا افراد اینگونه احساس می‌کنند که اتاق با توزیع نور یکنواخت روشن‌تر به نظر می‌رسد، حتی اگر میزان نور در آن اتاق کمتر باشد[۵].

دسترسی کشور های در حال توسعه به انواع منابع جدید انرژی برای توسعه اقتصادی انها اهمیت اساسی دارد. باتوجه به پیشرفت تکنولوژی و نیازانسان به رویکردهای جدید، سیستم طاقچه نور (light shelf) میتواند انسان را به سمت دنیایی جدید رهنمون سازد، این سیستم مسیری برای رسیدن به معماری پایدار و استفاده بهینه از امکانات بدون به خطر انداختن نیاز آیندگان می باشد. در بحث طراحی و انتخاب سیستم جمع آوری و انتقال نور باید به موضوع حریم و عدم اشراف بصری که اصلی مهم در معماری ایرانی – اسلامی است نیز توجه شود. در سیستم های جمع آوری وسیع و غیر فعال امکان نقض حریم خانه و ایجاد اشراف بصری به فضای داخلی خانه بیشتر است وچنانچه از پرده برای رفع این نقیصه و یا جلوگیری از ورود حرارت و خیرگی استفاده شود، نور روز به قدری کاهش میابد که نور مصنوعی و الکتریکی موردنیاز میباشد، که این مهم با استفاده از سیستم های انتقال نور ضمن تامین نور طبیعی مورد نیاز میتواند بر طرف گردد. طاقچه نوری سیستمی است که به نظر میرسد ضمن کاهش خیرگی در کناره پنجره ها باعث افزایش نفوذ نور روز به داخل ساختمان‌ها می‌شود. طاقچه‌های نوری عموماً سطوح افقی و یا شیب‌دار با ضریب انعکاس بالا هستند که بر روی پنجره نصب می‌شوند. بدین گونه عمل می‌کنند که با انعکاس نور خورشید به سقف فضا، روشنایی عمق فضا را افزایش می‌دهند. عموماً فرض می‌شود که طاقچه نوری ابزاری مفید برای بهره‌وری از نور روز می‌باشد.

از این رو، اکثر ساختمان‌های سبز، از این فناوری بدون ارزیابی واقع‌گرایانه‌ایی از آن بهره میجویند. هدف این پژوهش، بررسی عینی توانایی طاقچه‌های نوری برای بهبود نور روز و همچنین آسایش بصری بوسیله‌ی شبیه‌سازی و آزمایش می‌باشد. تمرکز این پژوهش بر روی حالت بهینه ابعاد طاقچه‌های نوری تخت از جنس آلومینیوم براق در اقلیم معتدل شمال ایران است.

۲- مروری بر ادبیات موضوع (مبانی نظری)

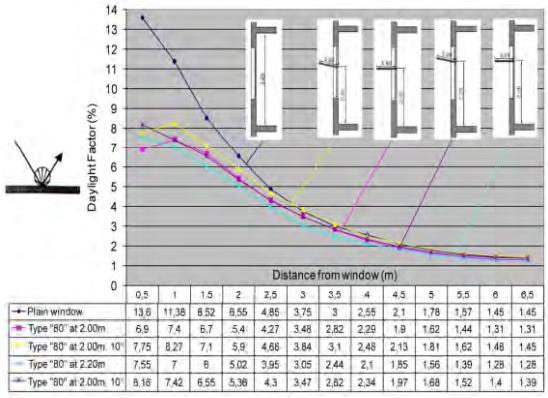
در سال های اخیر به جهت گرانی و افزایش هزینه های سوخت و رویکرد مردم در جهت حمایت از محیط زیست و کاهش مصرف انرژی، تفکر حفظ انرژی داخل ساختمان از اهمیت ویژه برخوردار شده است. با وجود این، دور از ذهن نیست که بتوان تصور نمود که رویکردهای مزبور بسته به شرایط، در حال تغییر و بازسازی باشند تا بدین وسیله بتوان در تامین نیازهای رو به گسترش انسان ها اقدام شود.

از این رو موذنی و قیابکلو ، ۱۳۹۳ [۲] در مقاله خود چنین اعلام نمودند که سیستم طاقچه نور ضمن کاهش قابل ملاحظه مصرف الکتریکی ساختمان در کیفیت روشنایی فضای داخلی بسیار موثر میباشد . آنها سیستم طاقچه نور را یکی از سیستم های غیر فعال کنترل نور روز میدانند که باعث کاهش شدت روشنایی در نزدیکی پنجره، افزایش عمق نفوذ نور، توزیع مناسب تر نور روز در فضا و همچنین کاهش چشم زدگی میدانند و در نتایج مطالعات خود در یک اتاق آموزشی با شبیه سازی به این نتیجه میرسند که با افزایش مقدار ابعاد داخلی و خارجی طاقچه شاهد کاهش مقدار نور مضاعف و افزایش نور مناسب و کافی خواهیم بود. همچنین انها در مقالعه دیگری چنین بیان میکنند که برای بدست آوردن آسایش بصری و شیوه توزیع روشنایی بهترین کارایی طاقچه نوری، در ضلع جنوبی می‌باشد: استفاده از طاقچه نوری در این ضلع ، باعث بهبود روشنایی محیط به میزان ۲ تا ۴۰٪ (در مقایسه با نمونه بدون طاقچه نوری) می‌شود. آنها در بررسی های خود به این نتیجه رسیدند که با تغییر زاویه طاقچه خارجی نسبت به افق تفاوت محسوسی اتفاق نمی افتد و زاویه صفر درجه کارایی بهتری نسبت به زاویه ۳۰ درجه دارا میباشد، زاویه ۳۰ درجه فقط باعث کاهش اندک نور مناسب روز و افزایش خیرگی و متعاقباً کاهش آسایش بصری می‌گردد. آنها در نتایج تحقیقات خود چنین اعلام نمودند که استفاده از طاقچه نوری در ضلع شمالی، تأثیر چندانی در آسایش بصری ندارد (به دلیل نرخ تابش کمتر در ضلع شمالی) و استفاده از طاقچه‌های نوری بزرگتر، باعث کاهش نور مفید می‌گردد و استفاده از طاقچه نوری در اضلاع شرقی و غربی، به دلیل کاهش خیرگی و افزایش نور مفید می‌تواند سبب طرحی بهینه شود. آنها بطور کلی طاقچه نوری را ابزاری مناسب برای توزیع روشنایی و ایجاد آسایش بصری معرفی نمودند [۲، ۶].

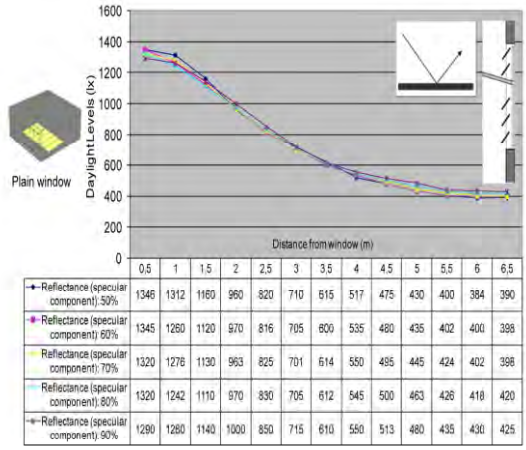
در دیگر مطالعه Warrier and Raphael 2017 [۷] به بررسی تأثیرسیستم طاقچه نوری در نور روز و آسایش بصری آن پرداخته‌اند. تحقیق آن‌ها از دو بخش تشکیل شده بود: ۱- بررسی عملی که شامل اندازه‌گیری‌ها روی نمونه کوچک شده بود. بررسی انها در این قسمت نشان داد که طاقچه نور افقی به طور میانگین قادر به بهبود روشنایی داخل به میزان ۲۱٪ می‌باشد ، همچنین با بهینه‌سازی زاویه طاقچه نور خارجی، تا ۳۰۰٪ امکان بهبود روشنایی در داخل ساختمان می‌باشد. ۲- شبیه‌سازی کاملاً نظری در نرم‌افزار رادیانس. در این قسمت ، آنها با شبیه‌سازی انجام داده شده نشان دادند در ۳۰٪ حالات، طاقچه نوری، روشنایی در اطراف پنجره را بالا برده است؛ که متعاقباً خیرگی را افزایش داده است. پیشنهاد آنها برای رفع این نواقص، طاقچه نوری قابل‌چرخش بوده است[۸].

یکی دیگر از افرادی که تحقیقاتی در این مورد انجام داده Aik. Meresi،۲۰۱۶ [۸] است که او با بهبود توزیع نور در فضا و ایجاد سایه، به بررسی طاقچه نوری در کلاس درسی در شهر آتن یونان پرداخته است. وی در طرح خود از طاقچه نوری در فضای داخل، و از سایه‌بان متحرک نیمه‌شفاف (که بر روی شیشه‌های ضلع جنوبی قرار می‌گیرد) در فضای خارج بهره جسته است. وی از نرم‌افزار رادیانس برای شبیه‌سازی این پروژه استفاده نموده است و در این مقاله، با تغییر پارامترهای در دست (از جمله عرض طاقچه نوری، ارتفاع نصب، شیب و خصوصیات انعکاسی طاقچه نوری) به بررسی طرح بهینه برای طاقچه نوری پرداخته است[۹].

او در بررسی های خود چنین اعلام نمود که درتمامی موارد بررسی شده، درروزهایی که نور خورشید مایل‌تر بود (ماه دسامبر) و همچنین در ماه مارچ طاقچه نوری با انعکاس مستقیم، عمق نور بیشتری نسبت به نوع پخشی فراهم نمود و برخلاف مورد بالا، در ماه ژوئن که خورشید عمودتر به زمین می‌تابد، طاقچه با نوع انعکاس پخشی عملکرد بهتری از خود نشان میدهد، به این دلیل که نوع انعکاس مستقیم قادر به هدایت نور به عمق اتاق را نداشته.آن‌ها به این نتیجه رسیدند که طاقچه با زاویه‌ای بین ۱۰ تا ۱۵ درجه، در اقلیم آتن بهترین بازده را دارد و از تمامی حالات و مراحل موردبررسی، اینگونه نتیجه گرفتند که طاقچه نوری، با ایجاد توزیع یکنواخت نور در داخل کلاس، باعث افزایش بهره‌وری از نور روز می‌شود.و حالت بهینه طاقچه نور با ارتفاع نصب ۲ متر از کف ، عرض ۸۰ سانتی‌متر طاقچه نوری، با شیب ۱۰درجه و همچنین ضریب انعکاس ۹۰٪ میباشد (تصویر۲،۳).



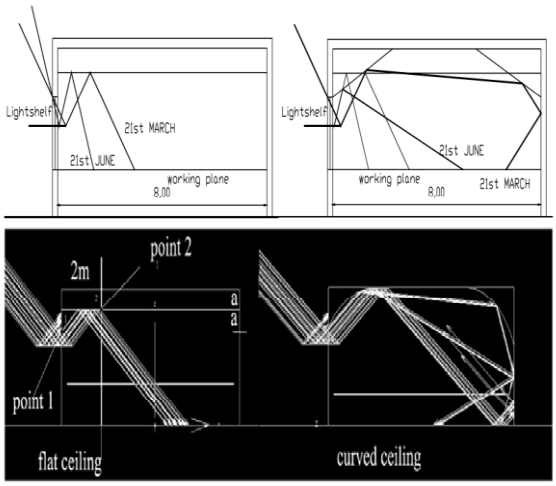
شکل۲ توزیع نور برای طاقچه نوری با ضریب انعکاس ۸۰٪ (Meresi , 2016)



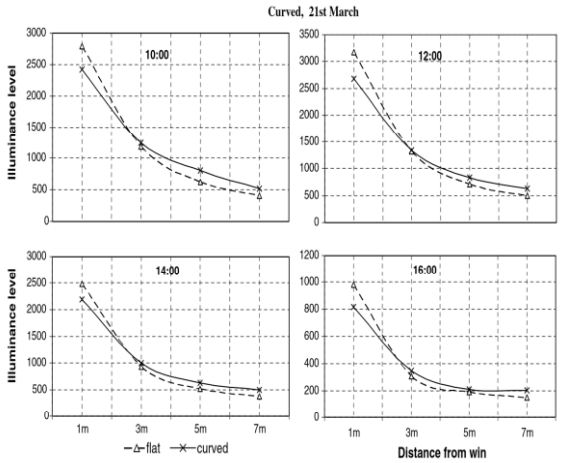
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5
Reflectance (specular component): 50%	1346	1312	1160	960	820	710	615	517	475	430	400	384	390
Reflectance (specular component): 60%	1345	1260	1120	970	816	705	600	535	480	435	402	400	398
Reflectance (specular component): 70%	1320	1276	1130	963	825	701	614	550	495	445	424	402	398
Reflectance (specular component): 80%	1320	1242	1110	970	830	705	612	545	500	463	426	418	420
Reflectance (specular component): 90%	1290	1280	1140	1000	850	715	610	550	513	480	435	430	425

تصویر۳ توزیع نور برای شاخصهای انعکاس مختلف برای طاقچه نوری باشیب ۱۰درجه در شرایط هوای آفتابی۲۱ مارس،۱۲ ظهر (Meresi , 2016)

Freewan، Sha و Riffat ۲۰۰۸ نیز در مقاله‌ای با استفاده از شبیه‌سازی رادیانس و همچنین آزمایشات فیزیکی، به بررسی تأثیر هندسه سقف بر عملکرد طاقچه نوری پرداخته‌اند. آنها تحقیق خود را برای فضای کاری بزرگ در اقلیم استوایی انجام دادند. آنها نشان دادند تغییر هندسه سقف می‌تواند در عملکرد طاقچه نوری مؤثر باشد و در مقایسه با سقف‌های افقی متداول، تغییر در هندسه سقف، سطح روشنایی در پشت و جلوی اتاق را به‌ترتیب افزایش و کاهش داده است. شبیه‌سازی‌های نرم‌افزار رادیانس در مطالعه آنها مطابقت خوبی با داده‌های فیزیکی و آزمایشی داشته است. آنها بهترین طرح برای سقف را طرحی دارای انحنا در جلو و پشت سقف دانسته‌اند (تصویر۵،۴) [۱۰و ۱۱و۱۲].



تصویر۴ ملاحظات اولیه برای هندسه‌ی سقف و فواصلی که برای طراحی سقف استفاده شده است(Freewan et al., 2008)



تصویر۵ اثر انحنای سقف بر میزان روشنایی در راستای طول اتاق، در ساعات مختلف در روز ۲۱ مارس(Freewan et al., 2008)

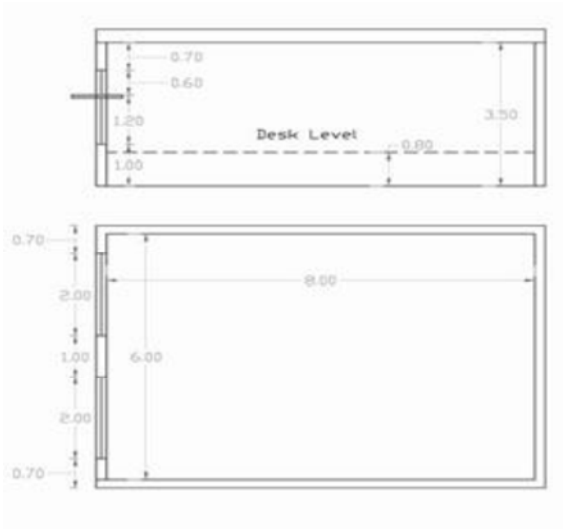
روشن و همکاران در مقاله ای تحت عنوان بررسی پارامتر های نور روز توسط سیستم (Anidolic) بیان نمودند که روشنایی خارجی نور روز در آسمان بارانی یکسان بوده ، آنها با بررسی شبیه سازی انجام داده در دو عمق ۱۲ و۲۰ متر در هوای بارانی و ابری به این نتیجه رسیدند که در هوای ابری میتوان با این سیستم، نور را تا عمق ۱۲ متر به نحو مطلوب هدایت نمود و درعمق بالاتر با کاهش مقدار انتقال نور روبرو خواهد شد[۱۳]. اودرمقاله دیگری تحت عنوان بررسی عملکرد نوردهی روزانه سیستم (Anidolic) با توجه به جهت گیری ساختمان به این نتیجه میرسد که جهت گیری جنوبی بهینه ترین جهت گیری در انتقال نور نسبت به جهات دیگردر این سیستم میباشد و زمان بیشتری میتوان از نور طبیعی استفاده نمود، او در مقاله خود توصیه میکند که کاربرد سیستم (Anidolic) ضمن بهبود استفاده از نور روز در ساختمان میتواند صرفه جویی در انرژی را به همراه داشته باشد[۱۴].

۳- روش پژوهش

هر آزمایش و نتیجه گیری از سیستم طاقچه نور، به یک طرح بهینه برای مشخصات سیستم از قبیل عرض طاقچه‌ی نوری (داخلی، خارجی)، ارتفاع نصب، شیب و همچنین شاخص انعکاس نیاز دارد ، تا قادر به بهبود عملکرد نور روز در فضای مورد مطالعه باشد[۸].

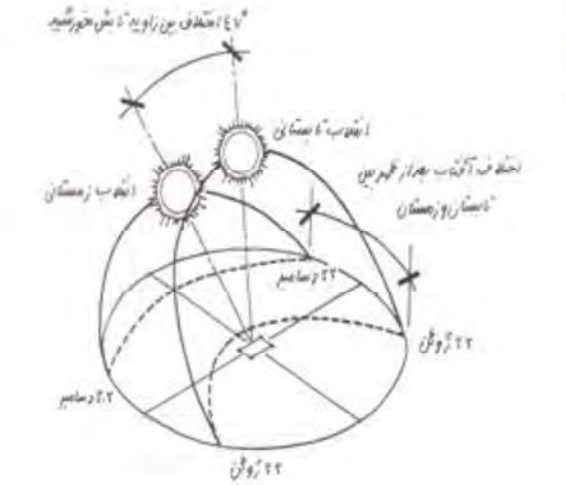
این پژوهش به صورت عینی به بررسی پتانسیل سیستم طاقچه‌های نوری در بهبود نور روز در منطقه گیلان با آب وهوای معتدل میپردازد. در این پژوهش به بررسی آثارسیستم طاقچه نور روی نمونه مقیاس‌شده (ماکت ساخته شده) با مقیاس ۱/۵ می‌پردازد که با استفاده از دستگاه اندازه گیری نور ایلومینانس (نورسنج) مقدار نور نقاط مختلف فضای داخلی با مقدار نورخارج مدل ضمن تغییر اندازه طاقچه های داخلی و خارجی اندازه گیری شد و داده‌ها به صورت آماری بررسی شدند و عملکرد طاقچه نوری درحالات مختلف مورد تجزیه، تحلیل و بررسی قرار گرفت. در این پژوهش سیستم طاقچه نوری بر روی ماکت ساخته شده اتاقی به ابعاد ۶ * ۸ متر با ارتفاع ۳،۵ مترکه در ضلع ۶ متری آن دو عدد پنجره به ابعاد ۱،۸ * ۲ متر و با قرار دادن طاقچه نور با اندازه های

مختلف در ارتفاع ۱,۲ متری پنجره (۲,۲ متری از کف) در حالات مختلف مورد مطالعه قرار گرفت (تصویر۶).



تصویر۶ پلان ومقطع اتاق در نظر گرفته شده برای پژوهش

در این پژوهش آزمایش تحت آسمانی آفتابی ، نیمه ابری و همچنین ابری صورت پذیرفت. انجام آزمایش روی ماکت ساخته شده با مقیاس ۱/۵ درمبدا فصول ، انقلاب زمستانی، انقلاب تابستانی و اعتدال بهاری یعنی در روزهای (۲۲ دسامبر، ۲۲ ژوئن و ۲۱ مارس)بعلت بیشترین تغییرات زاویه تابش خورشید نسبت به زمین صورت پذیرفت (تصویر۷).



تصویر۷ اختلاف بین زاویه تابش در انقلاب تابستانی وانقلاب زمستانی

در انجام آزمایش از آلومینیوم با ویژگی پخشی سطح با ضریب انعکاس ۷۵ ٪ برای طاقچه نوری استفاده شده است. چندین پیکربندی برای آزمایش در نظر گرفته شده است. طاقچه داخلی به عرض ۲۰ ، ۳۰ و۴۰ سانتی متر و طاقچه خارجی با عرضهای ۳۰ ، ۴۵ ، ۶۰ ، ۷۵ و ۹۰ سانتی متر این آزمایشات در ساعت‌های ۹:۰۰، ۱۲:۰۰ و ۱۵:۰۰ طی دو روز برای هر جهت جغرافیایی انجام گردید. به جهت بالا بردن دقت آزمایش با انجام نقاشی دیوار و سقف و همچنین اجرای سرامیک کف و نصب شیشه پنجره در ماکت ساخته شده سعی بر ایجاد ضریب انعکاس واقعی درمحیط آزمایش شده است(تصویر۸)

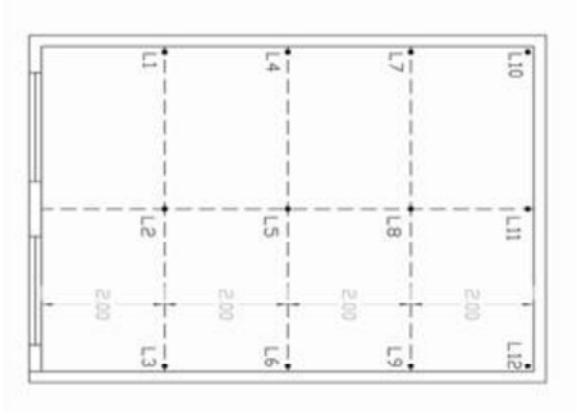
تصویر۸ آزمایش شدت نور با طاقچه داخلی و خارجی

درحالت اول ، با تغییر ابعاد طاقچه‌های داخلی و خارجی مقدار شدت نور فضای داخلی در عمق های ۲ ، ۴ ، ۶ و ۸ متری چپ ، راست و مرکز اتاق نسبت به شدت نور فضای خارجی ثبت و با حالت بدون طاقچه نور در چهار جهت اصلی مقایسه گردید . در حالت دیگر با قرار دادن پرده در زیر طاقچه نور و داخل فضا مقدار شدت نور در حالات مختلف (جهت جنوبی) مجددا بررسی گردید. (تصاویر ۹ و۱۰) ودر نهایت نتایج هر کدام از این موارد با مدل بدون طاقچه نور مقایسه شده اند.

تصویر ۹ نصب پرده در زیر طاقچه

تصویر ۱۰ نصب پرده در زیر طاقچه

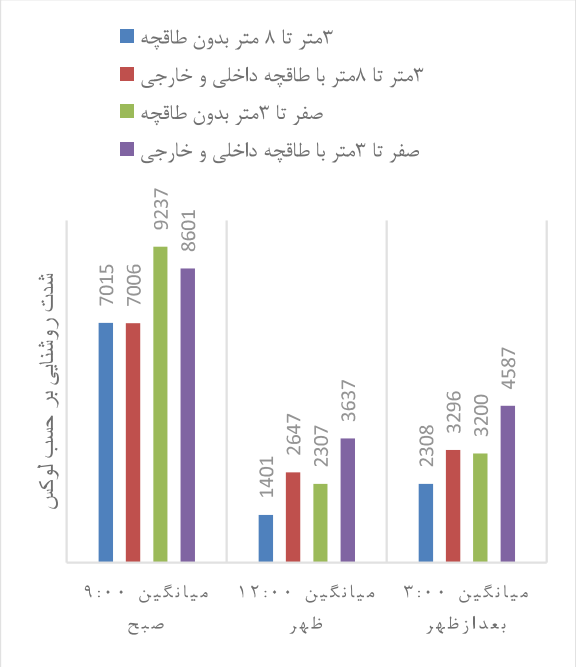
با توجه به تعداد نقاط برداشت(تصویر۱۱) ، تعداد حالات طاقچه نوری و سه زمان برداشت برای هر جهت جغرافیایی ۵۷۶ نقطه برداشت و ثبت گردید (۱۲*۱۶*۳) که در مجموع در نمونه آزمایشی ۸۶۴۰ برداشت ثبت گردیده است.



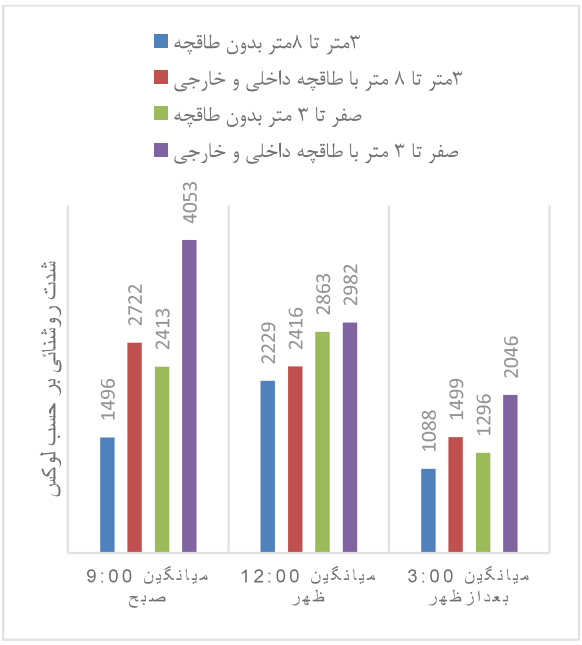
تصویر ۱۱ پلان نقاط برداشت در حالت آزمایشگاهی

۴- تجزیه و تحلیل و استخراج یافته های تحقیق

در ابتدا به منظورتجزیه و تحلیل بهتر برداشت های ثبت شده نقاط مختلف، تمامی برداشت ها در حالات مختلف طاقچه به نمودار های خطی تبدیل گردیده و سپس از میانگین نتایج نمودارهای بدست آمده حالت بهینه انتقال نور توسط سیستم طاقچه نوری در ساعت ها و روزهای مختلف مشخص وضمن مقایسه با حالت بدون طاقچه به نمودارهای میله ای تبدیل گردید (نمودارهای شماره ۱ الی ۱۰).

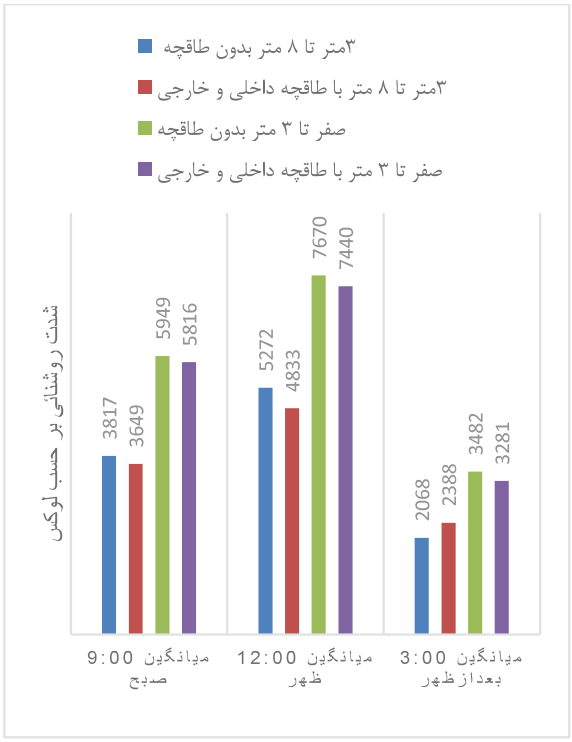


نمودار ۱ –مقایسه میانگین شدت نور جهت جنوبی ۲۲ دسامبر در ساعات مختلف با حالت بهینه طاقچه و بدون طاقچه

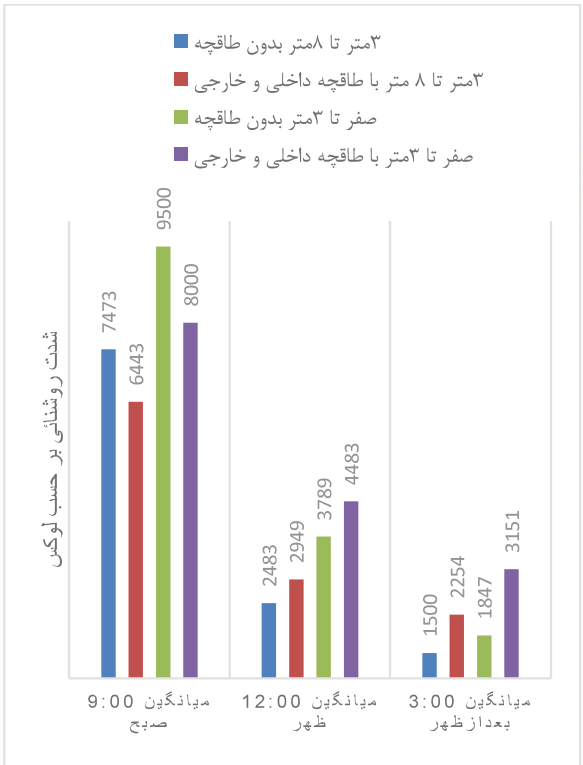


نمودار۲ مقایسه میانگین شدت نور جهت شرقی ۲۲ دسامبر در ساعات مختلف با حالت بهینه طاقچه و بدون طاقچه

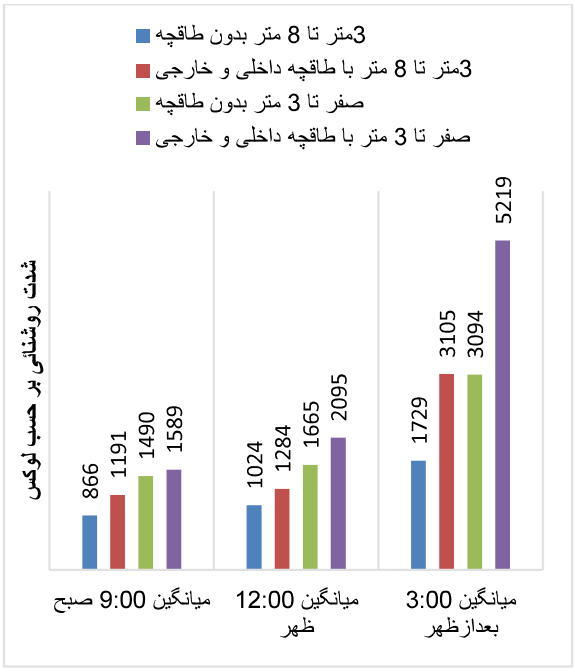
همانطور که از نمودار های(۱و۲) مشخص میباشد در اکثر مواقع ماه دسامبر با افزایش نور در عمق فضا ، افزایش نور نزدیکی پنجره و به تبع آن افزایش خیرگی نیز ایجاد گردید.



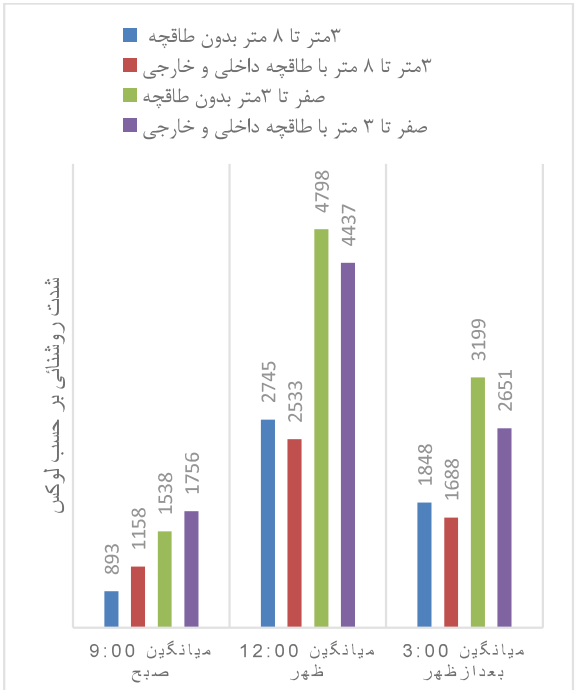
نمودار ۳ مقایسه میانگین شدت نور جهت جنوبی ۲۱ مارس در ساعات مختلف با حالت بهینه طاقچه و بدون طاقچه



نمودار ۴ مقایسه میانگین شدت نور جهت شرقی ۲۱ مارس در ساعات مختلف با حالت بهینه طاقچه و بدون طاقچه



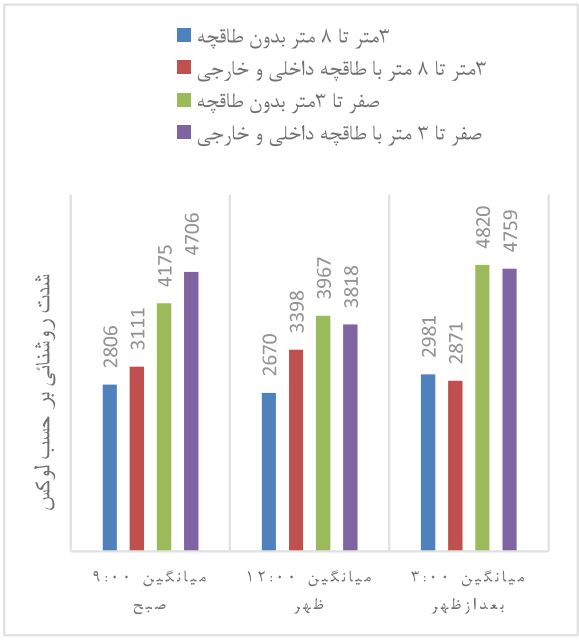
نمودار ۵ مقایسه میانگین شدت نور جهت غربی ۲۱ مارس در ساعات مختلف با حالت بهینه طاقچه و بدون طاقچه



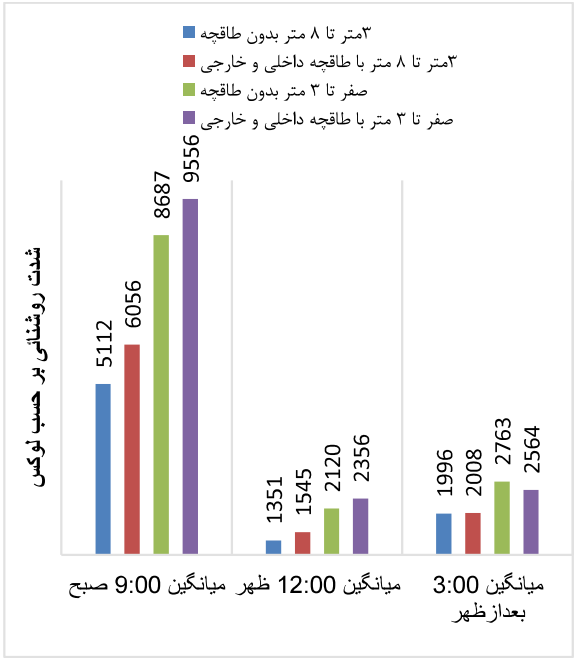
نمودار ۶ مقایسه میانگین شدت نور جهت شمالی در ۲۱ مارس در ساعات مختلف با حالت بهینه طاقچه و بدون طاقچه

با بررسی نمودارهای ماه مارس (نمودار های ۳ الی۶) مشخص میگردد که با افزایش نور عمق فضا ، نور نزدیکی پنجره نیز افزایش پیدا نموده و با کاهش نور در عمق شدت نور نزدیکی پنجره نیز کاهش یافته است.

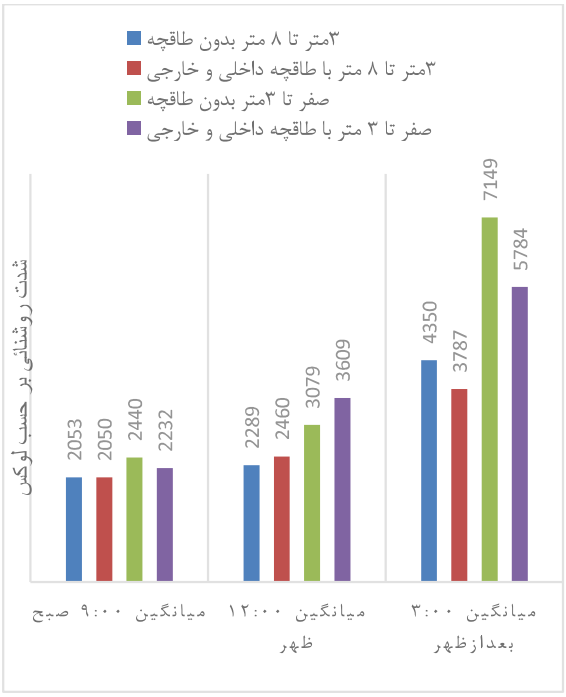
این حالت شدت نور در ماه ژوئن نیز همچنان تکرار گردیده (نمودارهای۷ الی۱۰)، لذا با تحلیل برداشت های آزمایشگاهی میتوان چنین بیان نمود که افزایش شدت نور در عمق فضا توسط سیستم طاقچه نوری امکان پذیر بوده ولی در اکثر مواقع باعث افزایش شدت نور در نزدیکی پنجره نیز میگردد.



نمودار۷ مقایسه میانگین شدت نور جهت جنوبی ۲۲ ژوئن در ساعات مختلف با حالت بهینه طاقچه و بدون طاقچه



نمودار۸ مقایسه میانگین شدت نور جهت شرقی ۲۲ ژوئن در ساعات مختلف با حالت بهینه طاقچه و بدون طاقچه



نمودار۹ مقایسه میانگین شدت نور جهت غربی ۲۲ ژوئن در ساعات مختلف با حالت بهینه طاقچه و بدون طاقچه

نمودار ۱۰ مقایسه میانگین شدت نور جهت شمالی ۲۲ ژوئن در ساعات مختلف با حالت بهینه طاقچه و بدون طاقچه

به منظور بررسی بهتر این گفتارنتایج در جداول (۱، ۲ و ۳) ثبت گردید.

درصد افزایش یا کاهش شدت نور در عمق ۳-۰ متری	میانگین شدت نور در عمق ۳-۰ متری با طاقچه	میانگین شدت نور در عمق ۳-۰ متری بدون طاقچه	ابعاد طاقچه خارجی در بهینه ترین حالت	ابعاد طاقچه داخلی در بهینه ترین حالت	درصد افزایش یا کاهش شدت نور در عمق ۸-۳ متری	میانگین شدت نور در عمق ۸-۳ متری با طاقچه	میانگین شدت نور در عمق ۸-۳ متری بدون طاقچه	ساعت ثبت شدت نور	جهت جغرافیایی
٪۷ -	۸۶۰۱	۹۲۳۷	۴۵	۳۰	٪ ۰/۰۱ -	۷۰۰۶	۷۰۱۵	۹ صبح	جنوبی
٪۵۸ +	۳۶۳۷	۲۳۰۷	۹۰	۴۰	٪۸۹ +	۲۶۴۹	۱۴۰۱	۱۲ ظهر	جنوبی
٪۴۳ +	۴۵۸۷	۳۲۰۰	۹۰	۲۰	٪۴۳ +	۳۲۹۶	۲۳۰۸	۳ بعدازظهر	جنوبی
٪۶۸ +	۴۰۵۳	۲۴۱۳	۳۰	۳۰	٪۸۲ +	۲۷۲۲	۱۴۹۶	۹ صبح	شرقی
٪۴ +	۲۹۸۲	۲۸۶۳	۳۰	۲۰	٪۸ +	۲۴۱۶	۲۲۲۹	۱۲ ظهر	شرقی
٪۵۸ +	۲۰۴۶	۱۲۹۶	۳۰	۳۰	٪۳۸ +	۱۴۹۹	۱۰۸۸	۳ بعدازظهر	شرقی

جدول۱ ثبت و تجزیه و تحلیل برداشت آزمایشگاهی در تاریخ ۲۲دسامبر

درصد افزایش یا کاهش شدت نور در عمق ۳-۰ متری	میانگین شدت نور در عمق ۳-۰ متری با طاقچه	میانگین شدت نور در عمق ۳-۰ متری بدون طاقچه	ابعاد طاقچه خارجی در بهینه ترین حالت	ابعاد طاقچه داخلی در بهینه ترین حالت	درصد افزایش یا کاهش شدت نور در عمق ۸-۳ متری	میانگین شدت نور در عمق ۸-۳ متری با طاقچه	میانگین شدت نور در عمق ۸-۳ متری بدون طاقچه	ساعت ثبت شدت نور	جهت جغرافیایی
٪۲ -	۵۸۱۶	۵۹۴۵	۳۰	۳۰	٪۴ -	۳۶۴۹	۳۸۱۷	۹ صبح	جنوبی
٪۳ -	۷۴۴۰	۷۶۷۰	۳۰	۳۰	٪۸ -	۴۸۳۳	۵۲۷۲	۱۲ ظهر	جنوبی
٪۶ -	۳۲۸۱	۳۴۸۷	۷۵	۲۰	٪۱۵ +	۲۳۸۸	۲۰۶۸	۳ بعدازظهر	جنوبی
٪۱۶ -	۸۰۰۰	۹۵۰۰	۳۰	۲۰	٪۱۴ -	۶۴۴۳	۷۴۷۳	۹ صبح	شرقی
٪۱۸+	۴۴۸۳	۳۷۸۹	۴۵	۴۰	٪۱۹ +	۲۹۴۹	۲۴۸۳	۱۲ ظهر	شرقی
٪۷۰ +	۳۱۵۱	۱۸۴۷	۳۰	۴۰	٪۵۰ +	۲۲۵۴	۱۵۰۰	۳ بعدازظهر	شرقی
٪۷ +	۱۵۸۹	۱۴۹۰	۷۵	۳۰	٪۳۸ +	۱۱۹۱	۸۶۶	۹ صبح	غربی
٪۲۶ +	۲۰۹۵	۱۶۶۵	۳۰	۲۰	٪۲۵ +	۱۲۸۴	۱۰۲۴	۱۲ ظهر	غربی
٪۶۹ +	۵۲۱۹	۳۰۹۴	۳۰	۳۰	٪۸۰ +	۳۱۰۵	۱۷۲۹	۳ بعدازظهر	غربی
٪۱۴ +	۱۷۵۶	۱۵۳۸	۳۰	۲۰	٪۳۰ +	۱۱۵۸	۸۹۳	۹ صبح	شمالی
٪۸ +	۴۴۳۷	۴۷۹۸	۳۰	۲۰	٪۸ -	۲۵۳۳	۲۷۴۵	۱۲ ظهر	شمالی
٪۷ -	۲۶۵۱	۳۱۹۹	۹۰	۳۰	٪۹ -	۱۶۸۸	۱۸۴۸	۳ بعدازظهر	شمالی

جدول۲ ثبت و تجزیه و تحلیل برداشت آزمایشگاهی در تاریخ ۲۱ مارس

جهت جغرافیایی	ساعت ثبت شدت نور	میانگین شدت نور در عمق ۸-۳ متری بدون طاقچه	میانگین شدت نور در عمق ۸-۳ متری با طاقچه	درصد افزایش یا کاهش شدت نور در عمق ۸-۳ متری	ابعاد طاقچه داخلی در بهینه ترین حالت	ابعاد طاقچه خارجی در بهینه ترین حالت	میانگین شدت نور در عمق ۳-۰ متری بدون طاقچه	میانگین شدت نور در عمق ۳-۰ متری با طاقچه	درصد افزایش یا کاهش شدت نور در عمق ۳-۰ متری
جنوبی	۹ صبح	۲۸۰۶	۳۱۱۱	+ ٪۱۱	۴۰	۶۰	۴۱۷۵	۴۷۰۶	+ ٪۱۱
جنوبی	۱۲ ظهر	۲۶۷۰	۳۳۹۸	+ ٪۲۷	۳۰	۳۰	۳۹۶۷	۳۸۱۸	- ٪۴
جنوبی	۳ بعدازظهر	۲۹۸۱	۲۸۷۱	- ٪۴	۳۰	۳۰	۴۸۲۰	۴۷۵۹	- ٪۲
شرقی	۹ صبح	۵۱۱۲	۶۰۵۶	+ ٪۱۹	۲۰	۳۰	۸۶۸۷	۹۵۵۶	+ ٪۹
شرقی	۱۲ ظهر	۱۳۵۱	۱۵۴۵	+ ٪۱۴	۳۰	۹۰	۲۱۲۰	۲۳۵۶	+ ٪۱۰
شرقی	۳ بعدازظهر	۱۹۹۶	۲۰۰۸	+ ٪ ۰/۶	۳۰	۹۰	۲۷۶۳	۲۵۶۴	- ٪۸
غربی	۹ صبح	۲۰۵۳	۲۰۵۰	- ٪ ۰/۱	۴۰	۹۰	۲۴۲۰	۲۲۳۲	- ٪۸
غربی	۱۲ ظهر	۲۲۸۹	۲۴۶۰	+ ٪۷	۳۰	۹۰	۳۰۷۹	۳۶۰۹	+ ٪۱۵
غربی	۳ بعدازظهر	۴۳۵۰	۳۷۸۷	- ٪۱۳	۲۰	۳۰	۷۱۴۹	۵۷۸۴	- ٪۲۳
شمالی	۹ صبح	۲۳۷۰	۲۶۵۴	+ ٪۱۲	۲۰	۹۰	۴۰۱۵	۴۲۳۷	+ ٪۵
شمالی	۱۲ ظهر	۱۹۹۷	۲۱۰۰	+ ٪۵	۲۰	۹۰	۲۸۴۹	۲۸۶۷	+ ٪ ۰/۶
شمالی	۳ بعدازظهر	۲۳۵۲	۲۲۳۷	- ٪۵	۳۰	۳۰	۳۰۵۰	۲۸۰۳	- ٪۹

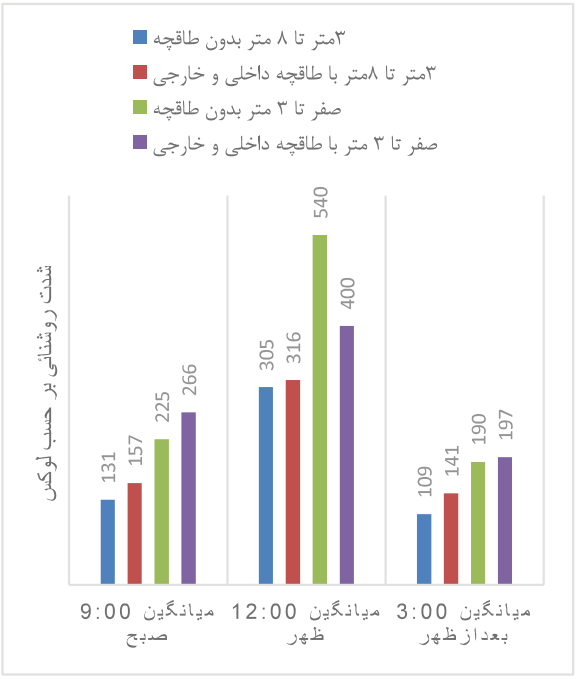
جدول۳ ثبت و تجزیه وتحلیل برداشت آزمایشگاهی در تاریخ ۲۲ ژوئن

همانطور که ازنمودارهای (۱ الی۱۰) و جداول (۲،۱ و۳) مشخص میباشد، استفاده از سیستم طاقچه نور با ابعاد مختلف طاقچه در ساعات و فصول مختلف تاثیرات متفاوتی در انتقال نور از خود نشان میدهند و حالت بهینه انتقال نور در سیستم طاقچه نوری بستگی به ابعاد طاقچه ها دارد، لذا ابعاد طاقچه برای انتقال نور بهتر در عمق فضا میبایست متغییر باشد، بنابراین در طراحی طاقچه باید به این موضوع دقت شده تا به نحوی بتوان عرض طاقچه های داخلی وخارجی را متغییر طراحی نمود.

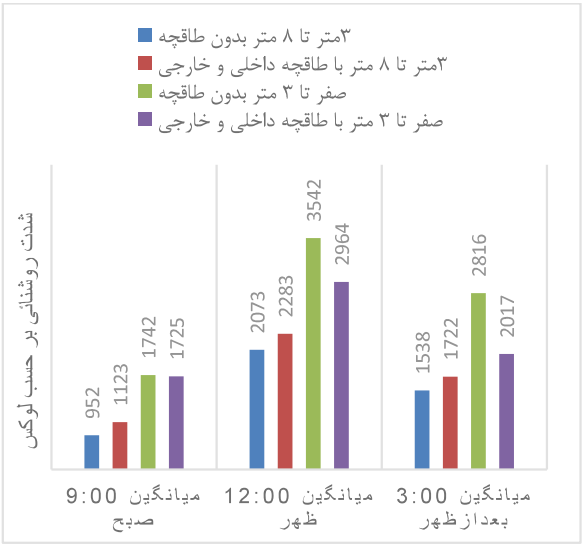
در صورت انجام این عمل میتوان حالت بهینه را در سیستم ایجاد نمود و بطور میانگین در ۲۲ دسامبر۳۵٪ ،۲۱ مارس و۲۲ ژوئن ۱۷٪ به شدت نور در عمق افزود .

اما در مورد کاهش نور در نزدیکی پنجره و به تبع آن کاهش خیرگی، ازنتایج یافته های این پژوهش چنین برداشت میشود که دراکثر مواقع سیستم طاقچه نور با افزایش نور در عمق فضا باعث افزایش شدت نور در نزدیکی پنجره نیز میگردد. لذا به منظور تحقیق بیشتر در این زمینه در یکی ازحالات (جهت جنوبی) از پرده در زیر طاقچه استفاده گردید، که معمولاً در روزهای آفتابی برای جلوگیری از ورود حرارت و کاهش خیرگی استفاده میگردد و به جهت عدم اشراف بصری که در معماری ایرانی – اسلامی اصلی مهمی بشمار می‌آید، آزمایش گردیده است.

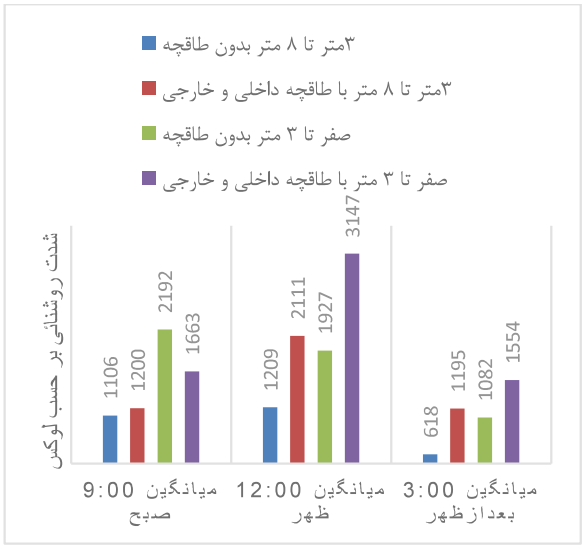
یافته های این حالت در نمودارهای (۱۱ الی۱۳) و جدول (شماره ۴) ثبت و ارائه شده است.



نمودار ۱۱ مقایسه میانگین شدت نور جهت جنوبی۲۲دسامبر درساعات مختلف
با حالت بهینه طاقچه و بدون طاقچه (با نصب پرده در زیرطاقچه)



نمودار ۱۲ مقایسه میانگین شدت نور جهت جنوبی ۲۱ مارس درساعات مختلف
با حالت بهینه طاقچه و بدون طاقچه(با نصب پرده درزیرطاقچه)



نمودار ۱۳ مقایسه میانگین شدت نورجهت جنوبی ۲۲ ژوئن در ساعات مختلف
با حالت بهینه طاقچه و بدون طاقچه(با نصب پرده در زیر طاقچه)

درصد افزایش یا کاهش شدت نور در عمق ۳-۰ متری	میانگین شدت نور در عمق ۳-۰ متری با طاقچه	میانگین شدت نور در عمق ۳-۰ متری بدون طاقچه	ابعاد طاقچه خارجی در بهینه ترین حالت	ابعاد طاقچه داخلی در بهینه ترین حالت	درصد افزایش یا کاهش شدت نور در عمق ۸-۳ متری	میانگین شدت نور در عمق ۸-۳ متری با طاقچه	میانگین شدت نور در عمق ۸-۳ متری بدون طاقچه	ساعت ثبت شدت نور	روز مورد مطالعه
+٪۱۸	۲۶۶	۲۲۵	۴۵	۲۰	+٪۲۰	۱۵۷	۱۳۱	۹ صبح	۲۲ دسامبر
-٪۲۶	۴۰۰	۵۴۰	۶۰	۴۰	+٪ ۳/۶	۳۱۶	۳۰۵	۱۲ ظهر	۲۲ دسامبر
+٪۴	۱۹۷	۱۹۰	۴۵	۳۰	+٪۲۹	۱۴۱	۱۰۹	۳ بعدازظهر	۲۲ دسامبر
-٪۱	۱۷۲۵	۱۷۴۲	۷۵	۲۰	+٪۱۸	۱۱۲۳	۹۵۲	۹ صبح	۲۱ مارس
-٪۱۶	۲۹۶۴	۳۵۴۲	۷۵	۴۰	+٪۱۰	۲۲۸۳	۲۰۷۳	۱۲ ظهر	۲۱ مارس
-٪۲۸	۲۰۱۷	۲۸۱۶	۹۰	۳۰	+٪۱۲	۱۷۲۲	۱۵۳۸	۳ بعدازظهر	۲۱ مارس
-٪۳۲	۱۶۶۳	۲۱۹۲	۷۵	۴۰	+٪۹	۱۲۰۰	۱۱۰۶	۹ صبح	۲۲ ژوئن
+٪۳۸	۳۱۴۷	۱۹۲۷	۷۵	۳۰	+٪۷۵	۲۱۱۱	۱۲۰۹	۱۲ ظهر	۲۲ ژوئن
+٪۳۰	۱۵۵۴	۱۰۸۲	۳۰	۲۰	+٪۹۳	۱۱۹۵	۶۱۸	۳ بعدازظهر	۲۲ ژوئن

جدول ۴ ثبت و تجزیه و تحلیل برداشت آزمایشگاهی بعد از نصب پرده در زیر طاقچه

با تجزیه و تحلیل نمودارها وجدول فوق و استخراج یافته های آن متوجه میشویم که با ایجاد پرده در زیر طاقچه درماه مارس (اعتدال بهاری) ضمن افزایش شدت نور در عمق فضا با کاهش نور در نزدیکی پنجره مواجه میشویم، این حالت در ماه های دسامبر و ژوئن ضمن افزایش نور عمق فضا در تمامی موارد، دربرخی از مواقع، کاهش نوردرنزدیکی پنجره ایجاد میکند، در مجموع با وجود پرده زیر طاقچه در ۵۵٪ مواقع با افزایش شدت نور در نزدیکی پنجره روبرو میشویم.

۵- بحث و نتیجه گیری

بطور معمول فرض بر این گرفته میشود که سیستم طاقچه نوری میتواند باعث ایجاد سایه در جلوی پنجره و در نتیجه باعث کاهش خیرگی گردد، اما در نمودارها و جداول برداشت های آزمایشگاهی ارائه شده، مشاهده میگردد که سیستم طاقچه نوری در ۵۷٪ مواقع باعث افزایش نور در نزدیکی پنجره و به تبع آن افزایش خیرگی در مقایسه با پنجره های بدون طاقچه گردیده است. نتایج بررسی های دقیقتر جداول ۱ الی۳ و نمودارهای ۱ الی۱۰ از برداشت های آزمایشگاهی نشان میدهد که در ۷۳٪ اوقات با افزایش نور در عمق فضا توسط سیستم طاقچه نوری نسبت به پنجره بدون طاقچه مواجه می شود، این در حالیست که بطور میانگین در کل ۴۳٪ اوقات سیستم طاقچه نوری باعث کاهش نور در نزدیکی پنجره گردیده و در ۱۷٪ اوقات ضمن افزایش نور عمق، باعث کاهش نور نزدیک پنجره شده است. با دقیقتر شدن در نتایج فوق مشاهده میشود ابعاد طاقچه در ساعات و فصول مختلف در انتقال نور تاثیر بسزایی دارد. لذا ابعاد طاقچه برای انتقال نور بهتر در عمق فضا میبایست متغییر باشد، بنابراین در طراحی طاقچه باید به این موضوع دقت شود تا به نحوی بتوان عرض طاقچه های داخلی وخارجی را متغییر طراحی نمود. در صورت انجام این عمل میتوان حالت بهینه را در سیستم ایجاد نمود و بطور میانگین در ۲۲ دسامبر ۳۵٪، ۲۱ مارس و۲۲ ژوئن ۱۷٪ به شدت نور عمق فضا افزود. همانطور که قبلا اعلام شد به جهت جلوگیری از اشراف بصری و کاهش خیرگی بیشتر در نزدیکی پنجره و توزیع یکنواخت تر نور در کل فضا در یکی از حالات این پژوهش از پرده در زیر طاقچه استفاده شده است. بررسی نتایج حاصل شده از این حالت جهت جنوبی فصول مختلف که در جدول ۴ و نمودارهای ۱۱ الی ۱۳ ارائه شده بیانگر این موضوع میباشد که در تمامی اوقات، افزایش شدت نور در عمق فضا نسبت به پنجره بدون طاقچه بوجود آمده است. این در حالیست که در همین حالت کاهش ۵۵٪ شدت نور نزدیکی پنجره مشاهده گردید است. با بررسی دقیقتر میتوان چنین اعلام نمود که به طور میانگین در ۲۲ دسامبر افزایش شدت نور در عمق فضا به مقدار ۱۷٪ وکاهش ۲٪ شدت نور در عمق ۲متری نزدیک پنجره را مشاهده نمود این در حالیست که این افزایش شدت نور در ۲۱ مارس در عمق فضا به ۱۳٪ و کاهش شدت نور در نزدیکی پنجره به ۱۵٪ رسیده است و در ۲۲ ژوئن بطور میانگین با افزایش ۵۹٪ شدت نور در عمق فضا و کاهش ۳۲٪ شدت نور در برداشت ۹ صبح ودر ساعات ۱۲ ظهر و ۱۵ بعدازظهر به ترتیب با افزایش ۳۸٪ و۳۰٪ شدت نور در نزدیکی پنجره مواجه شد. به عبارت دیگر، با افزایش زاویه تابش نسبت به افق انقلاب تابستانی، ۲۲ ژوئن سیستم طاقچه نوری قادر به انتقال نور بهتری به عمق فضا میباشد. اما درماه مارس (اعتدال بهاری) ضمن افزایش شدت نور در عمق فضا با کاهش نور در نزدیکی پنجره مواجعه میشود. بنابراین بطور کلی از نتایج برداشت های آزمایشگاهی میتوان چنین اعلام نمود که سیستم طاقچه نوری قادر به بهبود نور داخلی فضا نسبت به حالت بدون طاقچه بوده و میتواند در یکنواختی نور داخلی فضا موثر باشد و باعث بهره وری بیشتر نور روز گردد. از طرفی میتواند در جلوگیری از اشراف بصری که اصلی مهم در معماری ایرانی-اسلامی میباشد نقش به سزایی ایفا نماید. از نتایج بدست‌آمده میتوان اینگونه بیان نمود که سیستم طاقچه نوری، در حالت تشعشع پخشی (هوای ابری)، عملکرد بهتری از خود نشان داده است. بنابراین، استفاده از سیستم طاقچه نوری، در اقلیم استان گیلان مناسب بوده و می‌توان از این سیستم، در جهت افزایش کیفیت نور درون ساختمان و کاهش مصرف انرژی بهره جست. با توجه به تغییرات در ابعاد، نوع آسمان و جهت قرارگیری طاقچه‌ی نوری، اینگونه نتیجه‌گیری می‌شود که استفاده از سیستم طاقچه‌ی نوری، می‌بایست متناسب با اقلیم و جهت جغرافیایی صورت گیرد و برای رسیدن به طرح بهینه برای سیستم طاقچه نوری، علاوه بر شناخت دقیق اقلیم، طراحی مناسب هندسه و جنس طاقچه نوری متناسب با نوع متریال‌های معماری درون ساختمان اجباری است.

۶- مراجع

[1] خ. بروجردی و همکاران ، جنبه های بهداشتی و زیست محیطی منابع روشنایی ، سازمان بهره وری انرژی ایران، تهران، ۱۳۹۴

[2] م. مودنی و ز. قیابکلو، شبیه سازی میزان توزیع نور روز و چشم زدگی با به کارگیری طاقچه نوری در فضای آموزشی، دومین کنگره بین المللی سازه، معماری و توسعه شهری، تبریز، دبیرخانه دائمی کنگره بین المللی سازه ، معماری و توسعه شهری، ۱۳۹۳.

[3] V.G. Hansen, Innovative Daylighting Systems for Deep-Plan Commercial Buildings, Queensland University of Technology CW. PP 1.1-1.14, 2.1-2.17, 3.21-3.48, 2006.

[4] L. Heangwoo et al., Effectiveness of a perforated light shelf for energy saving', Energy and Buildings, 2017.

[5] Hunt, D.R., Predicting artificial lighting use – a method based upon observed patterns of behavior. Light. Res. Technol., 1980.

[6] M.H. Moazzeni, Z. Ghiabaklou, Investigating the Influence of Light Shelf Geometry Parameters on Daylight Performance and Visual Comfort, a Case Study of Educational Space in Tehran, Iran, Buildings, 2016.

[7] A. Warrier, B. Raphael. Performance evaluation of light shelves, Energy and Buildings, 2017.

[8] A. Meresi, Evaluating daylight performance of light shelves combined with external blinds in south-facing classrooms in Athens, Greece', Energy and Buildings, 2016.

[9] A.A. Freewan, L. Shao, and S. Riffat, Optimizing performance of the lightshelf by modifying ceiling geometry in highly luminous climates, Solar Energy, 2008

[10] M. Roshan, et al., Empirical validation of daylight simulation tool for a test office with anidolic daylighting system. Journal of Basic and Applied Scientific Research, 3(9), 104-112.,2013

[11] M. Roshan, A.S. Barau, Assessing Anidolic Daylighting System for efficient daylight in open plan office in the tropics, Journal of Building Engineering 8, 58-69, 2016.

[۱۲] م. روشن، ز. اثناعشری، سیستم های نوین نورپردازی برای پردازش بهینه نور طبیعی روز در فضای داخلی معماری در راستای کاهش مصرف انرژی، فصلنامه علمی ترویجی انرژی های تجدید پذیر و نو ۵ (۱)، ۹۹-۹۱، ۱۳۹۷.

[۱۳] س. راستی، م. روشن، ارزیابی کاهش مصرف انرژی در ساختمان مسکونی با توجه به جهت گیری بهینه و درصد بازشوها در شهر انزلی، فصلنامه علمی-ترویجی انرژی های تجدید پذیر و نو ۴ (۲)، ۱۰-۹۱. ۱۳۹۶.

[14] M. Ghasemi, M. Roshan, The influence of well geometry on the daylight performance of atrium adjoining spaces: A parametric study, Journal of Building Engineering 3, 39-47, 2015.