بهار ۱۳۹۵/ سال نهم/ شماره اول

فصلنامه علمی پژوهشی

مهندسی مکانیک جامدات

http://jsme.iaukhsh.ac.ir

فصلنامه علمی پژوهشی
مهندسی مکانیک جامدات

ساخت یک سیستم انتقال نور کاربردی با هدف تامین روشنایی یک اتاق با مصرف انرژی صفر

جواد اشکبوس اصفهانی [۱*]، شاهرخ شجاعیان [۲]

* نویسنده مسئول: ashkboos@iaukhsh..ac.ir

چکیده

از جمله کاربردهای فیبر نوری که در اواخر قرن بیستم بعنوان یک فناوری روشنایی متداول شده کاربرد آن در سیستم‌های روشنایی می باشد. در این مقاله، در راستای همین کاربرد، کاهش انرژی مصرفی بکمک انتقال نور خورشید از بام ساختمان تا یک محل مورد نظر با رعایت استانداردهای مربوطه بررسی شده و طرحی اجرایی برای آن پیاده سازی شده است. اهداف مقاله صرفه جویی در مصرف انرژی، انطباق روشنایی محیط با نیازهای روحی و روانی انسان و محیط زیست، بستر سازی جهت تولید انبوه و ایجاد زمینه های درآمدی آتی برای دانشگاه میباشد. در مقاله حاضر علاوه بر نحوه ی متمرکز کردن نور برای ایجاد چگالی بیشتر، تحقیقاتی هم در مورد نحوه انتقال نور توسط فیبر نوری انجام شد و از آنجا که در این مورد مدل ریاضی لازم هنوز تدوین نشده از آزمایش های عملی و تحلیل آماری نتایج در این تحقیق استفاده گردید. با استفاده از چندین عدسی و چند مدل فیبر نوری و یک دستگاه کنترل موقعیت که بطور خاص برای این مقاله ساخته شده بود، آزمایشهای متعددی انجام شد و مقادیر شدت روشنایی حاصله توسط لوکس متر اندازه گیری گردید و پس از آن نتایج توسط نرم افزار آماری SPSS V. 17 تحلیل گردید. در انتها براساس نتایج اخیر بهترین نوع عدسی و فیبر به همراه روش سرراستی برای طراحی روشنایی یک اتاق نوعی با این روش ارائه گردید.

واژه‌های کلیدی

بهینه‌سازی مصرف انرژی، انتقال نور، فیبر نوری

تاریخ ارسال: ۹۴/۱۱/۰۵

تاریخ بازنگری: ۹۴/۱۲/۱۱

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۵/۲۵

۱- کارشناس ارشد، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خمینی شهر

۲- دکترا، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خمینی شهر

Spring 2016/ vol. 9/ No. 1

Journal of
Solid Mechanics
in Engineering

Journal of

Solid Mechanics in Engineering

http://jsme.iaukhsh.ac.ir

Implementing a Practical Light Transmission System in order to Lighting an Office with Zero Energy Consumption

Javad Ashkboos Esfahani[1,*], Shahrokh Shojaeian[2]

* Corresponding Author: ashkboos@iaukhsh.ac.ir

Abstract:

One of the recently considered applications of fiber optic, in their usage in building lighting systems. In this research, in order to reduce energy consumption, by transmission of sun light from the roof to the desired place (i.e. an office), the required standard luminance is produced. The main aims of this research are:

1. Reduction of energy consumption.
2. Making the place compatible with the human favorable mental conditions and environment.
3. Preparing the basics of mass production of the system and economical benefits for the university

In this research besides concentrating the sun light to magnify its density, some investigations are made for light transmission by fiber optics, because, no mathematical model was found for this per pose, practical tests are made in addition to statistical analysis.

Using different lenses and fiber optics and a position control system (which specially designed for this research), many experiences was made and iluminances were measured by a lux meter. After that by SPSS V.17 software, the results were analyzed. Finally the best Lenz and fiber were selected and a straight forward method was presented for designing a typical office in such manner.

Key words:

Energy Consumption Management, Light Transmission, Fiber Optic.

[1] MSc , Engineering Department, Khomeinishahr Branch, Islamic Azad University,Isfahan, Iran.

[2] Ph.D , Engineering Department, Khomeinishahr Branch, Islamic Azad University,Isfahan, Iran.

۱- مقدمه

در نیم قرن اخیر اقدامات بسیاری در جهان توسط متخصصان بیماری های چشم، دانشگاه ها و مؤسسات حرفه ای همچون بخش روشنایی CIBSE و صنایع روشنایی به منظور تعیین نیازهای اساسی نور صورت گرفته است. این اقدامات مبنای اصلی استانداردهای معرفی شده توسط CIBSE در روشنایی داخلی است. استفاده از روشنایی روز در این استانداردها در اماکن آموزشی بسیار توصیه شده است [۱]. در حال حاضر اقداماتی در این زمینه در جهان پیگیری میشود. برای نمونه یک بوستان زیرزمینی در منطقه منهتن نیویورک طرح شد با استفاده از این سیستم، نور مورد نیاز برای فتوسنتز گیاهان، درختان و چمن ها فراهم می‌شود[۲]. ولی این موضوع در کشورهای دیگر دنیا حتی در کشورهای حوزه خلیج فارس پروژه های متعددی در این زمینه انجام شده است[۳].

در ایران بخصوص قبل از هدفمند شدن یارانه ها مطالعات زیادی در زمینه استفاده مستقیم از نور خورشید صورت نگرفته که شاید دلیل آن پایین بودن قیمت برق مصرفی باشد ولی با هدفمند شدن یارانه ها در چند سال اخیر تلاش هایی صورت گرفته از جمله در زمینه استفاده از لوله های خورشیدی در روشنایی ساختمان تحقیقاتی صورت گرفته و در شهر اصفهان نیز یک نمونه از دستگاه های انتقال روشنایی با تجهیزات آمریکایی در ساختمانی تجاری نصب شده است[۴].

۲- نورشناسی

بعضی با دیدن پدیده های اپتیکی دنبال این هستند که چرایی این پدیده‌ها را پیدا کنند، اما برخی دنبال ابزارهایی هستند که این پدیده‌ها را مشاهده کنند. علم جدید پیشنهاد می‌کند که هر دو گروه بایستی خودش را به معادله عدسی نازک ، قوانین اسنل، چگونگی ردیابی پرتو و ... مجهز نماید. یک فرد کنجکاو وقتی پدیده اپتیکی را می‌بیند سریعاً دنبال طراحی دستگاههای اپتیکی می‌رود. اما باید بدانیم که بدون مجهز شدن به علم اپتیک نمی‌توانیم سیستمی اپتیکی بسازیم. پیشنهاد می‌کنیم که وقایع تجربی اپتیک را مشاهده کنیم و با ملاحظات نظری اپتیک مقدماتی آنها را بیان نماییم، سپس با ارائه ایده خود دنبال وسایل اپتیکی و ساخت آنها و یا چگونگی کارکردشان باشیم[۵].

نورشناسی، اپتیک یا فیزیک نور، شاخه‌ای از فیزیک است که به بررسی نور و خواص آن و برهمکنش آن با ماده می‌پردازد. نورشناسی به مطالعه حوزه مرئی، ماوراء بنفش و زیر قرمز امواج الکترومغناطیسی می‌پردازد. از همان بدو خلقت اپتیک نقش و تأثیر خودش را در زندگی داشته و از همان اوایل نیز بررسیها و مطالعات در این زمینه شروع و اختراعاتی به ثبت رسیده است. در قرن ششم میلادی، آنتمیوس در آزمایش‌های خود از دوربین تاریکخانه‌ای استفاده کرد[۶-۸].

در تمامی محاسبات و اندازه گیری ها مربوطه در این تحقیق از اپتیک هندسی استفاده شده که به طور مختصر در زیر به آن اشاره می شود.

۳- اپتیک هندسی

این علم قادر است اکثر پدیده‌های اپتیک کلاسیک را که به ناحیه مرئی طیف الکترومغناطیسی مربوط می‌شود را مورد بررسی و مطالعه قرار دهد. این علم کاربردهای وسیعی در زندگی روزمره و مصارف عمومی دارد. بهتر است بدانید که پدیده‌های اولیه‌ای که در اپتیک کشف و ضبط شد، تماما به فرم کلاسیکی بود و قبول داشته باشید که فرمولبندی کلی اپتیک کلاسیک همان فرمولبندی اپنیک هندسی است. جهت معرفی اپتیک هندسی تقسیمات داخلی آن به صورت زیر لازم است: اصول و مباحث اپتیک هندسی و تئوریهای مورد نیاز ، معادلات و محاسبات مربوطه ، قطعات اپتیکی (اجزای نوری) تشکیل دهنده تمام سیستمهای نوری، دستگاههای نوری و مکانیزم حاکم بر آنها.

۳- قوانین اپتیک هندسی

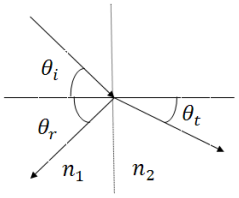
پس از شرح کلیاتی در مورد علم اپتیک و با توجه به موضوع تحقیق، قوانین مربوط به اپتیک هندسی را که در ادامه مطالب به آن نیاز داریم، مورد بررسی قرار می دهیم.

قانون تراگسیل (اصل بازگشت نور) : در یک ناحیه با ضریب شکست ثابت، نور به خط مستقیم انتشار می‌یابد.

قانون بازتابش: اگر پرتو فرودی P بر صفحه ای تحت زاویه تابش Θ_i نسبت به خط عمود بر آن صفحه بتابد، شکل (۱)، پرتو بازتاب Q با زاویه بازتاب Θ_r مساوی با زاویه تابش، بازتاب می‌کند (زاویه تابش مساوی زاویه بازتابش $(\Theta_i = \Theta_r)$

قانون شکست (قانون اسنل): در سطح جدایی دو محیط با ضرایب شکست n_1 و n_2 اگر پرتو فرودی P به سطح جدایی در محیط اول تحت زاویه Θ_i نسبت به عمود بر سطح جدایی بتابد، پرتو عبوری S در محیط دوم تحت زاویه Θ_t نسبت به عمود بر سطح جدایی شکست می‌یابد بطوری که:

$$\frac{\sin\theta_i}{\sin\theta_t}=\frac{n_2}{n_1}$$



شکل(۱) : نمایش عبور و بازتاب پرتو نور در مرز دو محیط شفاف

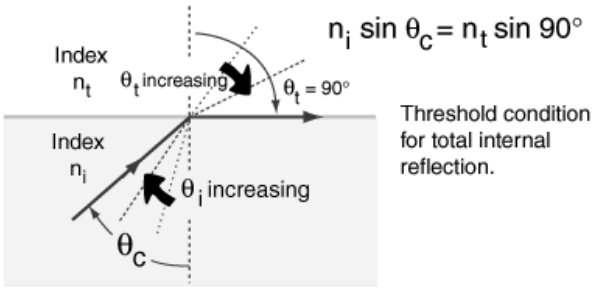
برخی از نتایج به دست آمده از قوانین فوق عبارتند از:

الف -صفحه تابش : پرتوهای تابش، بازتابش، عبوری و امتداد عمود بر سطح همگی در یک صفحه قرار دارند که صفحه تابش نامیده می‌شود. این صفحه بصورت صفحه ای شامل خط عمود بر سطح و امتداد تابش تعریف می‌شود.

ب -زاویه حد : اگر ضریب شکست محیط تابش بزرگتر از ضریب شکست محیط عبورباشد زاویه Θ_t از رابطه فوق به دست می آید و$\sin(\Theta_i)$ مقداری بین صفر و یک دارد. بنابراین برای زوایای تابشی بزرگ ممکن است $\sin(\Theta_t) >1$ شود. در صورتی که باید $\sin(\Theta_t)$ کوچکتر از یک باشد، پس در اینجا یک زاویه بحرانی)زاویه حد $\Theta_i = \Theta_c$ شکل (۲)) وجود دارد که به ازای آن داریم:

$$\sin\theta_C=\frac{n_2}{n_1}$$

و $\Theta_t = 90$. این بدین معنی است که پرتو عبوری مسیری قائم بر خط عمود یعنی موازی با مرز مشترک دو محیط طی می‌کند. بنابر این برای زوایای تابش Θ_i بزرگتر از Θ_c هیچ نور عبوری در محیط دوم نخواهیم داشت، در عوض نور در محیط تابش بطور کامل به عقب بازتابش می‌کند و هیچ نور و انرژی وارد محیط دوم نمی‌شود، این پدیده بازتابش داخلی کلی (TIR)نام دارد.



شکل (۲) : نتیجه برابری زاویه تابش با زاویه حد

ج -زاویه بروستر : از پدیده بازتاب کلی در سایر ناحیه های طول موجی امواج الکترومغناطیسی نیز استفاده های وسیعی می شود. اگر زاویه تابش را چنان تنظیم نماییم که در مرز مشترک دو محیط هیچ بازتابی نداشته باشیم و تمام نورها بر محیط دوم گذر نمایند در چنین حالتی ضریب بازتاب در سیستم صفر می‌شود، در این صورت زاویه تابش را زاویه بروستر(B) می‌نامند.

به ازای این زاویه بخصوص قانون اسنل به شکل زیر در می‌آید :

$$\frac{\sin\theta_i}{\sin(\pi-\theta_i)}=\frac{n_2}{n_1}$$

و داریم

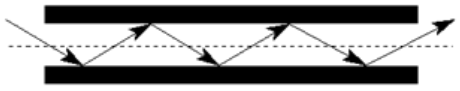
$$i = B = \arctan(\frac{n_2}{n_1})$$

د -ردیابی پرتو : یکی از سودمندترین روشها در طراحی اپتیکی ، مطالعه سریع اجزای سیستم آنها و مسیر نور در آنها است. این کار همانند طراحی سریعی است که یک نقاش قبل از تصمیم گیری نهایی روی ترکیب رنگها انجام می‌دهد. ابتدائی‌ترین شکل آن ، طرح مقدماتی با یک عدسی شیئی غالبا نامشخص شروع می‌شود. سپس یک سری از عدسیها ، آینه‌ها ، منشورها ، مدوله کننده‌ها، آشکارسازهای نوری و اجزای دیگر اپتیکی بصورت متوالی و پشت سر هم قرارداده می‌شوند و همراه آن چند پرتو مهم عبوری از این اجزا، در طول مسیرهایی که از طریق محاسبات مسیر پرتو تخمین زده شده‌اند، ترسیم

می‌شود . یکی از سودمندترین روشها در طراحی اپتیکی ، مطالعه سریع اجزای سیستم آنها و مسیر نور در آنها است. این کار همانند طراحی سریعی است که یک نقاش قبل از تصمیم گیری نهایی روی ترکیب رنگها انجام می‌دهد. ابتدائی‌ترین شکل آن ، طرح مقدماتی با یک عدسی شیئی غالبا نامشخص شروع می‌شود. سپس یک سری از عدسیها ، آینه‌ها ، منشورها ، مدوله کننده‌ها، آشکارسازهای نوری و اجزای دیگر اپتیکی بصورت متوالی و پشت سر هم قرارداده می‌شوند. و همراه آن چند پرتو مهم عبوری از این اجزا، در طول مسیرهایی که از طریق محاسبات مسیر پرتو تخمین زده شده‌اند، ترسیم می‌شوند .

٤- فیبرنوری

فیبرنوری یک موجبر استوانه ای از جنس شیشه (یا پلاستیک) که دو ناحیه مغزی وغلاف با ضریب شکست متفاوت ودولایه پوششی اولیه وثانویه پلاستیکی تشکیل شده است . تنها پدیده‌ی حاکم بر انتقال نور در فیبر نوری، بازتاب کلی است، یعنی غلاف مانند آینه عمل می‌کند و باعث حرکت نور برخوردی در طول فیبر می‌شود. (شکل (۳)).



شکل (۳) شماتیکی از حرکت پرتو نورانی در فیبرنوری

براساس قانون اسنل برای انتشار نور در فیبر نوری می بایست ضریب شکست مغزی بیشتر از ضریب شکست غلاف باشد. البته در حین انتشار نور در فیبر نوری شدت روشنایی تحت تاثیر عواملی ذاتی و اکتسابی دچار تضعیف می شود. این عوامل عمدتاً ناشی از جذب ماورای بنفش، جذب مادون قرمز، پراکندگی رایلی، خمش و فشارهای مکانیکی بر آنها هستند .

٥-سیستم های روشنایی با نور خورشید

با افزایش جمعیت و به دنبال آن کمبود فضاهای مناسب برای زندگی، ایده ها و طرحهای مختلفی برای استفاده از فضاهای ساختمان ها ارائه شده است که از تبعات آن می توان به کاهش فضاهای انتقال نور به داخل فضای ساختمان از طریق پنجره ها و نورگیرها نامبرد. با عنایت به خواص مفید نورخورشید و رایگان بودن این انرژی بهره گیری از این انرژی می تواند در کاهش هزینه ها و نیز بهداشت محیط تاثیر گذار باشد. سیستم های روشنائی فیبر نوری بر اساس سیستم های هدایتگر کار می‌کنند. از جمله سیستم های هدایتگر یک سیستم ساده انتقال آب جهت آبیاری(شامل پمپ – شلنگ و آب پاش) می باشد در این سیستم ساده آب توسط پمپ داخل شلنگ پمپاژ می شود سپس آب ازطریق شلنگ به محل مصرف منتقل می شود در محل مصرف آب توسط آبپاش سرشلنگ به مصرف آبیاری می رسد. سیستم روشنائی فیبر نوری نیز یک سیستم هدایتگر نور می باشد. یک سیستم فیبر نوری شامل سه جزء مولد نور، فیبر نوری و چراغ نوری می باشد در این سیستم, نور توسط قسمتی که به آن نورده یا ژنراتور میگویند تولید می شود. نور تولید شده وارد فیبر نوری شده، فیبر نوری نور را به محل مصرف (که جائی غیر از محل تولید نور می باشد), منتقل میکند. محل مصرف نور در هر جایی نسبت به نورده میتواند واقع شود و معمولاً این محل در نقطه‌ای خارج از دسترس و تشعشع مستقیم نور تولیدی نورده قرار دارد. نور منتقل شده در محل مصرف، توسط فیکسچر یا چراغ نوری متناسب با نوع مصرف به منظور روشنائی، نورپردازی, علایم نوری و, تابلوی نوری و یا هر مصرف دیگری مورد استفاده قرار می گیرد. چون مشخصهٔ اصلی سیستم های هدایتگر نوری انتقال نور به محلی جدا و دور از محل تولید نور می باشد به آنها سیستم های روشنائی با منبع نوری مجزا هم می گویند .

عمده ترین خصیصهٔ روشنائی فیبر نوری که آنرا از سایر تکنولوژیها و روشهای طراحی روشنائی متمایز می سازد جداسازی نور از سایر مولفه‌های الکترومغناطیسی آن می باشد. به عبارت دیگر تمام اشعه‌های نوری که تاکنون بطور متداول بکار رفته‌اند علاوه بر نور مرئی شامل مولفه‌های دیگری چون حرارت – تشعشعات ماوراء بنفش UV ، تشعشعات مادون قرمز IR)در مورد نورهای طبیعی) هستند و روشنائی الکتریکی علاوه بر این مولفه‌ها امواج الکترومغناطیسی و الکتریسیته را نیز شامل می شود. اما نور فیبر نوری فاقد تمام این گونه تشعشعات

است و خالصترین نور جهت مصارف روشنائی و سایر موارد استفاده اختصاصی میباشد .

در پاسخ این سوال که فیبرهای نوری از چه موادی ساخته شده اند باید گفت آن ها را می توان از شیشه، شیشه همراه با پلیمر یا فقط از پلیمر (فیبرهای نوری پلاستیکی (POF ساخت. در طول های کوتاه فیبرهای پلاستیکی بهتر از فیبرهای شیشه ای عمل می کنند[۹]. فیبرهای پلاستیکی، به خاطر داشتن سطح مقطع بزرگ، انعطاف پذیری بالا و راحتی اتصال به منبع نور و آشکارساز بسیار مورد توجه هستند[۱۰].

٦- روش تحقیق

در این تحقیق برای حصول نتیجه پیش بینی شده در طرح پژوهشی بر آن شدیم با محور قرار دادن اهداف ویژه تعیین شده در مقاله روند مشخصی را برای انجام تحقیق در نظر بگیریم. بنابر این تحقیق را به پنج مرحله تقسیم کردیم که به طور دقیق اهداف مقاله را پوشش می داد. این چهار مرحله عبارت بودند از : انتخاب متمرکز کننده، انتخاب سیستم انتقال نور، طراحی سیستم کنترل موقعیت، ساخت وآزمایش و رفع عیب سیستم، انجام آزمایش های لازم و حصول نتیجه.

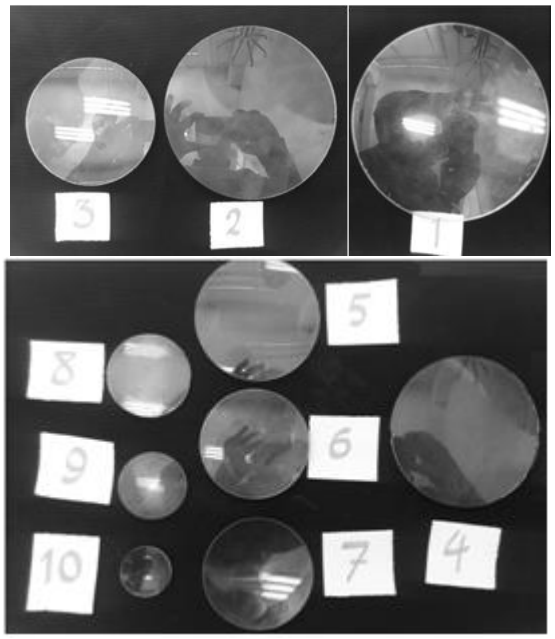
٦-١ انتخاب متمرکز کننده

نورگیرها عمده ترین مسیر برای انتقال روشنایی به فضاهای تاریک می باشند که بدون ابزار نوری متمرکز کننده، نور طبیعی را به نقاطی که دسترسی مستقیم به نور خورشید ندارد منتقل می کنند. این روش با وجود این که متداول ترین روش برای انتقال نور می باشد، به دو دلیل اصلی زیر روشی غیر اقتصادی و با اتلاف زیاد است که باید برای رفع آن چاره اندیشی می شد

الف) عدم تمرکز نور دریافتی به منطقه هدف

ب) اشغال فضایی بسیار بزرگ توسط نورگیر

برای حل مشکل اول باید ابزار متمرکز کننده نور جهت انجام تحقیق را مشخص می کردیم. آینه و عدسی ابزارهایی ساده، متنوع و در دسترس جهت متمرکز کردن نور می باشند. برای انتخاب یکی از این ابزار باید توجه داشت گر چه برای انتقال از طریق فیبر نوری تنها نیاز به کانونی کردن نور است و توسط آینه های شلجمی شکل نیز امکان کانونی کردن نور وجود دارد ولی بدیهی است عدسی علاوه بر اینکه برای کانونی کردن نور مناسب تر است و اتلاف کمتری دارد تنظیم آن راحت تر صورت می پذیرد. لذا عدسی را به عنوان ابزار متمرکز کننده نور در نظر گرفتیم. برای انتخاب عدسی مناسب نیاز بود عدسی های متفاوت از لحاظ سطح و کانون را مورد بررسی قرار دهیم. تعداد ده عدسی تهیه شد که در شکل (۴) مشاهده می شود. شماره گذاری عدس ها به ترتیب سطح از بیشتر به کمتر می باشد.



شکل (۴) : عدسی های تهیه شده جهت تحقیق

تمامی عدسی ها از هر دو طرف محدب بودند جز عدسی شماره ۷ که یک طرف آن مقعر بود و برای بررسی تاثیر شکل عدسی انتخاب شد. به این منظور سطح این عدسی با سطح عدسی شماره ۶ یکسان انتخاب شد تا با مقایسه نتایج حاصل از عدسی های شماره ۶ و ۷ امکان بررسی تاثیر شکل عدسی فراهیم گردد. همان طور که در جدول شماره (۱) دیده می شود عدسی ها با سطوح و کانون های مختلف انتخاب شدند تا تاثیر گذاری این دو پارامتر مهم مورد ارزیابی قرار گیرد.

جدول (۱) : مشخصات عدسی ها (مح = محدب، مق= مقعر)

شماره	نوع عدسی	قطر (cm)	مساحت (cm^2)	فاصله کانونی(cm)
۱	مح– مح	۱۵	۱۷۶/۶	۳۶
۲	مح– مح	۱۳/۵	۱۴۳/۱	۴۴
۳	مح– مح	۱۰	۷۸/۵	۳۰
٤	مح– مح	۹	۶۳/۶	۲۴/۷
۵	مح– مح	۷/۵	۴۴/۲	۲۷/۳
٦	مح– مح	۶/۵	۳۳/۲	۱۷
۷	مح– مق	۶/۵	۳۳/۲	۴۹
۸	مح– مح	۵	۱۶/۹	۲۴/۵
۹	مح– مح	۴	۱۲/۶	۱۰/۳
۱۰	مح– مح	۳	۷/۱	۹/۵

٦-۲- تعیین سیستم انتقال نور

همان طور که گفته شد مشکل دوم مطرح شده در رابطه با نورگیرها، فضای بسیار بزرگ است که توسط نورگیر اشغال می شود. جهت حذف کانال می توان از ابزاهای نوری مانند لوله نوری و یا فیبر نوری استفاده کرد. واضح است انعطاف ناپذیری لوله های نوری و همچنین اتلاف نور در اثر برخورهای مکرر با بدنه لوله از عیوب این ابزار است که نمی توان از آن صرفنظر نمود. به این دلیل در این تحقیق فیبرنوری برای انتقال نور به فضاهای تاریک مورد استفاده قرار گرفت. البته به کار بردن عبارت کلی فیبر نوری در مورد انتقال نور شاید خالی از اشکال نباشد زیرا این فیبرها برای انتقال امواج الکترومغناطیسی بکار می روند ولی فرکانس این امواج همیشه در محدوده‌ی طیف فرکانس نور مرئی قرار ندارد. در واقع برای این تحقیق به فیبرهای نوری که قادر به انتقال طیف فرکانسی نور مرئی با حداقل تلفات باشد، نیاز بود. قطر این فیبرها بسیار متفاوت و از کسری از میلیمتر تا چند سانتی متر می باشد. فیبرهای با قطر کم به علت گرمای زیاد مناسب نبوده و قطرهای بالا نیز مقرون به صرفه نمی باشد لذا فیبر با قطر ۱۰ میلیمتر انتخاب شد. جهت استفاده فیبرها عملیاتی چون برش و صیقلی کردن (شکل (۵)) مورد نیاز است که باید با دقت بسیار بالایی صورت پذیرد زیرا مقطع ورودی فیبر در بحث انتقال نور بسیار مهم است. در این تحقیق این عملیات به صورت دستی انجام گرفت و طبیعی است اگر جهت انجام این عملیات دستگاهی طراحی و ساخته شود که با دقت بیشتری این فرایند صورت پذیرد، به طور قطع می تواند بین ۱۰ تا ۲۰ درصد انتقال نور را افزایش دهد.

شکل (۵) : آماده سازی فیبرها

٦-۳- طراحی سیستم کنترل موقعیّت

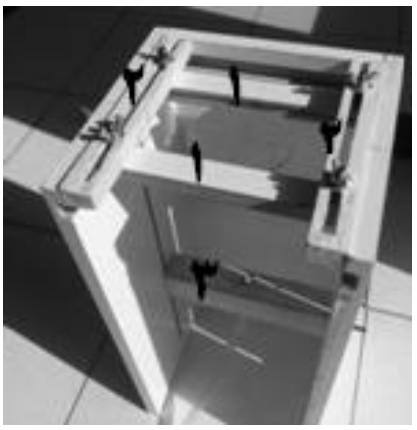
وظیفه این سیستم متمرکز کردن پرتو کانونی شده بر روی ورودی فیبر است. حتی برای بهترین متمرکز کننده پرتو و ایده آل ترین سیستم انتقال نور، اگر تمرکز پرتو کانونی شده در ورودی فیبر دقیق صورت نگیرد کارایی سیستم افت قابل ملاحظه ای خواهد داشت. به این دلیل اهمیّت سیستم کنترل موقعیّت از دو بخش قبلی یعنی از متمرکز کننده و سیستم انتقال بیشتر است. عدسی و فیبر باید نسبت به یکدیگر در ۳ درجه آزادی امکان جابجایی داشته باشند. در این صورت تنظیم نقطه کانون در ورودی فیبر با دقّت بسیار بالا امکان پذیر می شد. همچنین برای تنظیم دقیق تر لازم بود این حرکت سه بعدی بصورت پیوسته باشد. ضمن آنکه سیستم طراحی شده می باید رنج گسترده ای از عدسی ها و فیبرها را در بر بگیرد. سادگی کار با سیستم انتظار دیگری بود که در بخش طراحی سیستم کنترل به آن توجه شد.

٦-٤- ساخت و آزمایش و رفع عیب سیستم

گام بعدی پس از طراحی سیستم کنترل ساخت این سیستم بود. با وجود وقت و دقت زیادی که صرف طراحی سیستم کنترل شده بود ولی به دلیل آن که اولین بار بود چنین تحقیقی صورت می گرفت و سیستمی مشابه آن وجود نداشت، بهتر دیدیم برای ممکن بودن تغییرات احتمالی آتی، دستگاه با چوب ساخته شود. در زیر به شرح قسمت های مختلف دستگاه ساخته شده که در شکل (۶) نشان داده شده است می پردازیم .

دو قطعه چوب که در لبه های آن جهت جایگیری عدسی شیارهایی ایجاد شده بود علاوه بر این که وظیفه نگهداری عدسی را به عهده داشتند جابجایی عدسی در راستای محور x

را امکانپذیر می کردند. دو قطعه چوب که در طول آن ها شیارهایی ایجاد شده بود تا مجموعه ی شامل عدسی و قطعه چوب های قسمت قبل بتوانند آزادانه در راستای محور y جابجا شوند و پس از تنظیم مکان عدسی به کمک دو پیچ در جای مناسب محکم شوند. مجموع چهار قطعه چوب مذکور امکان حرکت عدسی در صفحه افقی دستگاه را امکان پذیر می کرد.



شکل (۶) : دستگاه سیستم کنترل موقعیّت

قطعه چوبی مکعب شکل که در سوراخ وسط آن ابتدای فیبر نوری محکم می شد و توسط دو شیار قائم روی بدنه دستگاه امکان حرکت فیبر را در راستای z راستای قائم) مهیّا می کرد. پس از تنظیم ورودی فیبر در نقطه کانونی شدن پرتو، توسط پیچ ها در جای مناسب محکم می شد.

در این دستگاه همان گونه که در طراحی مورد نظر قرار گرفته بود، فیبر و عدسی را به راحتی و سریع می توان در سه بعد نسبت به یکدیگر جابجا کرد. این دستگاه با وجود کارکردی فوق العاده دقیق، در نهایت سادگی ساخته شد تا از لحاظ اقتصادی نیز امتیازهای لازم را به خود اختصاص دهد.

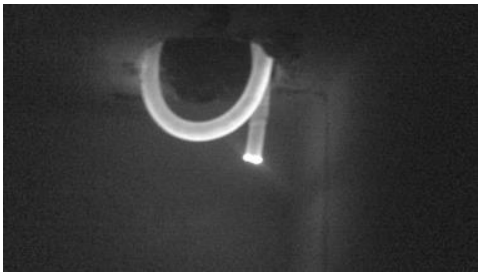
پس از تکمیل ساخت دستگاه کنترل موقعیت، زمان آغاز آزمایش ها فرا رسید. در این مرحله با آزمایش های مختلف باید عدسی مناسب برای کانونی کردن نور انتخاب می شد. طبیعی است متغیرهای قیمت، نوع، سطح، کانون و دما در مقطع ورودی فیبر باید در بوته آزمایش قرار می گرفت. بهتر دیدیم که در مرحله اول ۱۰ عدسی نشان داده شده در (شکل(۱)) را به ترتیب آزمایش کنیم. زمان مناسبی برای آزمایش باید انتخاب می کردیم تا تغییرات جوی تاثیری در آزمایش نداشته باشد و با سرعت باید آزمایش ها انجام می شد تا تغییرات مکان خورشید نیز نتواند تاثیر بسزایی در آزمایش داشته باشد. تعویض و به خصوص تنظیم هر عدسی زمان قابل توجهی را نیاز داشت لذا ابتدا آزمایشی را ترتیب دادیم که بتوان موقعیت هر عدسی و فیبر را برای آزمایش نهایی مشخص نمود تا در آن آزمایش بتوان به سرعت عدسی و فیبر را در موقعیت مناسب قرار داد. بدین منظور خروجی فیبر را در جعبه ای به ابعاد۴۰*۲۰*۱۵ سانتیمتر و لوکس متر را روبروی پرتو خروجی قرار داده شد (شکل (۷)).

شکل (۷) : موقعیّت فیبر و لوکس متر در جعبه

در این قسمت از تحقیق تک تک عدسی ها را در سیستم قرار داده و پس از کانونی کردن پرتو، توسط جابجایی عدسی و فیبر، موقعیت عدسی و فیبر را روی دستگاه با درج شماره عدسی مشخص کردیم. لوکس تعیین شده توسط لوکس متر برای هر عدسی را ثبت کردیم که در جدول (۴-۲) دیده می شود. به دلیل آنکه در این آزمایش پرتو با شدت بالا و مستقیم به لوکس متر می تابید و همچنین ابعاد محیط برای نتیجه گیری بسیار کوچک بود استناد به نتایج آن را صحیح ندانستیم ولی این آزمایش برای برپایی و تنظیم سریع دستگاه در آزمایش اصلی بسیار نتیجه بخش و ضروری بود .

آزمایش اصلی را در اتاقکی به ابعاد۱۰۸*۹۸*۱۹۰ سانتیمتر انجام دادیم. دستگاه کنترل موقعیت را بر روی بام اتاقک قرار دادیم و از طریق هواکش اتاقک سر خروجی فیبر نوری به قطر ۱۰میلیمتر و طول ۱ متر را به داخل آن منتقل کردیم. پرتو نور خروجی از سر فیبر پرتوی باریک است و طبیعی است برای توزیع روشنایی در محیط نور باید در اتاقک پخش می شد لذا انتهای فیبر را مطابق شکل (۸) پیچیدیم تا نور

تنها از سر فیبر خارج نشده بلکه از طول بیشتری از فیبر و در جهت های مختلف از فیبر خارج شود. خروج پرتو از فیبر به دلیل آن است که با پیچش فیبر زاویه تابش پرتو کمتر از زاویه حد شده و پرتو از فیبر خارج می شود. در طراحی هایی که برای هر محیط به صورت اختصاصی صورت می گیرد بسته به شرایط محیط و محل ورود فیبر می توان از منکس کننده ها و پخش کننده ها نور استفاده نمود که به طور قطع سهم بسزایی در روشنایی محیط خواهد داشت. اندازه گیری روشنایی یک محیط در پایین ترین نقطه آن صورت می پذیرد لذا لوکس متر را در کف اتاقک قرار دادیم تا لوکس نور در کف اتاقک تعیین شود .



شکل (۸) : موقعیت خروجی فیبر در اتاقک

۷- نتایج و بحث

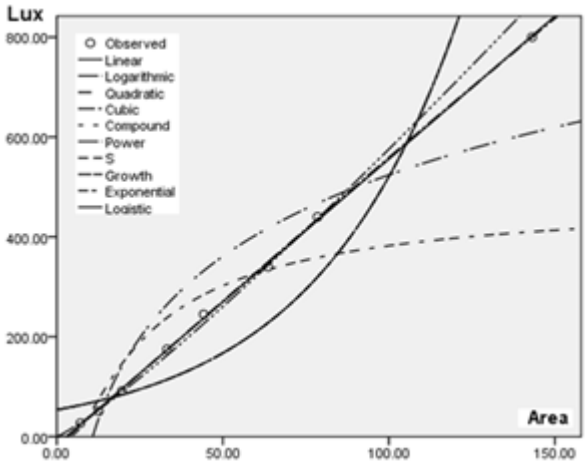
در آزمایش های اولیه و به خصوص آزمایش های انجام شده داخل جعبه که عدسی شماره ۱ با وجود آن که قیمتی حدود ۱۵ برابر عدسی شماره ۲ داشت ولی روشنایی حاصل از آن حتی به ۲ برابر عدسی شماره ۲ هم نمی رسید. علاوه بر این عدسی ۱ در حین آزمایش دمای بسیار بالایی در مقطع فیبر ایجاد می کرد و به مرور به مقطع ورودی فیبر آسیب جدی می رسانید علاوه بر آن تنظیم این عدسی نیز با توجه به قطر ۱۵ سانتیمتری آن کاری سخت بوده و زمان زیادی را به خود اختصاص می داد. بنا بر دلایل ذکر شده عدسی شماره ۱ کنار گذاشته شد. نتایج حاصل از عدسی های دیگر در جدول (۲) درج شده است. آزمایش ها با توجه به تاثیر نوع عدسی، سطح و کانون عدسی صورت پذیرفت و علاوه بر آن بررسی دما در مقطع فیبر، موقعیت فیبر و وضعیت خورشید از دیگر عواملی بود که مورد توجه قرار می گرفت.

جدول (۲) : نتایج آزمایش اصلی

شماره عدسی	قطر عدسی (cm)	مساحت عدسی (cm^2)	فاصله کانونی (cm)	فاصله از فیبر(cm)	لوکس در جعبه	لوکس در اتاقک	زمان آزمایش	دمای مقطع فیبر (^oC)
۲	۱۳/۵	۱۴۳/۱	۴۴	۴۲	۱۷۰۰۰۰	۸۰۰	۱۴:۱۰	۱۵۰
۳	۱۰	۷۸/۵	۳۰	۲۹/۵	۱۱۲۰۰۰	۴۴۰	۱۴:۰۲	۱۰۰
۴	۹	۶۳/۶	۲۴/۷	۲۳/۷	۶۵۰۰۰	۳۴۰	۱۳:۴۸	۹۵
۵	۷/۵	۴۴/۲	۲۷/۳	۲۵	۴۰۰۰۰	۲۴۵	۱۳:۳۸	۸۷
۶	۶/۵	۳۳/۲	۱۷	۱۶	۳۱۰۰۰	۱۷۵	۱۳:۳۰	۸۰
۷	۶/۵	۳۳/۲	۴۹	۴۴	۲۰۰۰۰	۱۴۰	۱۴:۱۴	۸۰
۸	۵	۱۹/۶	۲۴/۵	۱۸/۵	۲۰۰۰۰	۹۱	۱۳:۲۲	۷۲
۹	۴	۱۲/۶	۱۰/۳	۹/۳	۲۶۰۰۰	۵۱	۱۳:۱۶	۷۰
۱۰	۳	۷/۱	۹/۵	۷/۱	۲۴۰۰۰	۲۷	۱۳:۱۰	۶۴

الف- نوع عدسی : عدسی شماره ۶ و ۷ داری قطر و به تبع آن دارای سطح یکسانی بودند ولی همانطور که در جدول دیده می شود لوکس نور در جعبه و اتاقک برای عدسی شماره ۶ به ترتیب، ۵۵٪ و ۲۵٪ نسبت به عدسی شماره ۷ افزایش نشان می دهد. البته این موضوع با توجه به همگرایی نور در سطوح محدب قابل پیش بینی بود. با توجه به نتیجه به دست آمده، عدسی شماره ۷ و نتایج آن نیز (مانند عدسی شماره ۱) در بررسی های بعدی حذف شد و در ادامه نتایج ۸ عدسی دیگر با هم مقایسه می شوند.

ب- سطح عدسی : با توجه به آن که شدت نور متمرکز شده در مقطع فیبر با سطح عدسی متناسب است، پیش بینی می شد سطح عدسی عامل بسیار مهمی در شدت نور متمرکز شده باشد و حتی انتظار می رفت لوکس با سطح عدسی متناسب باشد. توسط نرم افزار SPSS با مدل های مختلف لوکس کف اتاقک را بر حسب مساحت عدسی رسم کردیم که نتایج آن در شکل (۹) قابل مشاهده است. همچنین ضریب همبستگی (R)، ضریب تعیین (R Square) و سطح معنی داری (sig.) مدل ها در جدول (۳) مشخص شده است.



شکل (۹) : نمودار لوکس بر حسب مساحت عدسی – بر اساس مدل های مختلف برازش داده ها

جدول (۳) : ضریب همبستگی ، ضریب تعیین و سطح معنی داری مدل ها در نمودارهای شدت روشنایی بر حسب سطح عدسی

تابع انتخابی	R	R^2	Sig.
Linear	۱/۰۰۰	۰/۹۹۹	۰/۰۰
Logarith	۰/۹۱۳	۰/۸۳۳	۰/۰۰
Quadratic	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰
Cubic	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰
Compoun	۰/۸۹۲	۰/۷۹۶	۰/۰۰۳
Power	۰/۹۹۹	۰/۹۹۷	۰/۰۰
S	۰/۹۳۵	۰/۸۷۴	۰/۰۰۱
Growth	۰/۸۹۲	۰/۷۹۶	۰/۰۰۳
Exponent	۰/۸۹۲	۰/۷۹۶	۰/۰۰۳
Logistic	۰/۸۹۲	۰/۷۹۶	۰/۰۰۳

همانطور که از جدول مشخص است ضریب تعیین برای مدل های Cubic, Quadratic, Linear و Power بیشتر از ۰/۹۹۵ و کلیه مدل ها از لحاظ آماری در خطای کمتر از ۰/۰۱ معنی دار هستند ولی با توجه به آنکه در مباحث آماری ترجیح داده می شود از مدل های ساده تر استقبال می شود، مدل خطی جهت برازش داده ها استفاده شد.

در نهایت رابطه خطی بین شدت روشنایی و مساحت به شکل زیر استخراج گردید.

$$L = 5{,}722A - 16{,}356 \qquad (۱)$$

که در آن L شدت روشنایی بر حسب Lux و A مساحت عدسی بر حسب cm^2 می باشد. با توجه به ابعاد اتاقک استفاده شده در آزمایش می توان گفت معادله فوق برای روشنایی هر متر مربع از محیط و با فیبر انتقالی به طول ۱ m صادق است.

درحالی که انتظار می رفت فاصله کانونی عدسی که نقش تعیین کننده ای در زاویه تابش پرتو دارد تاثیر بسزایی در روشنایی محیط داشته باشد ولی بررسی لوکس بر حسب فاصله کانونی در هیچ یک از مدل ها نتایج قابل قبولی نداشت. دلیل آن را می توان زاویه حد پایین فیبر دانست که در اینصورت پرتوهای ورودی از تمامی عدسی ها پس از ورود به فیبر بازتاب کلی کرده و در نتیجه اختلاف فاصله کانونی عدسی ها نقشی را در لوکس خروجی از فیبر نشان نمی دهد. از طرفی همخوانی بسیار بالای برازش خطی بین لوکس و مساحت عدسی با داده های تجربی خود موید آن است که به غیر از مساحت متغیرهای دیگر از جمله فاصله کانونی نقش بمراتب کم رنگ تری در لوکس خروجی فیبر دارند

ج- طول و قطر فیبر : موضوع دیگری که در این تحقیق مورد توجه قرار گرفت تاثیر طول و قطر فیبر بر لوکس انتقال یافته توسط آن بود. واضح است با افزایش طول فیبر اتلاف انرژی نورانی در فیبر افزایش یافته و در نتیجه لوکس نور منتقل شده کاهش می یابد. برای تعیین رابطه لوکس نور و طول فیبر آزمایشی به شرح زیر ترتیب دادیم.

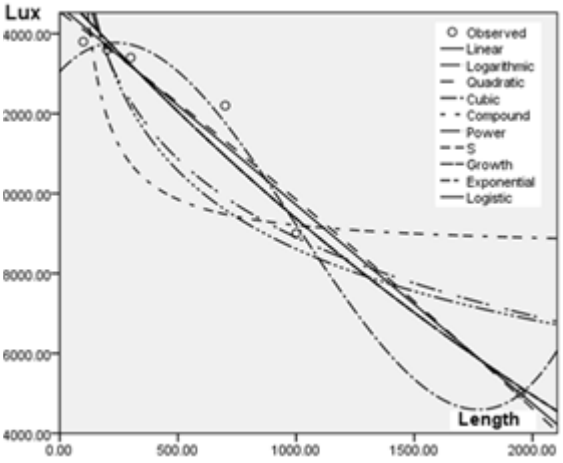
نور خورشید به دلایل مختلف، از جمله شرایط جوی، دارای شدت تابش ثابتی نمی باشد و تغییرات تابش آن زیاد است لذا تصمیم گرفتیم از منبع مناسبی که شدت تابش آن ثابت باشد استفاده کنیم. در این آزمایش نور فلاش تلفن همراه استفاده شد البته در وضعیتی که متصل به منبع شارژ باشد تا در طی آزمایش شدت نور خروجی با کاهش شارژ باتری تغییر نکند. مطابق جدول (۴) طول ها و قطرهای متفاوتی از فیبر را انتخاب و لوکس خروجی آن را در جعبه اندازه گیری کردیم.

نتایج مندرج در سه سطر اول جدول (۴) حاکی از آن است که قطر فیبر تاثیری در شدت روشنایی نداشته است. این عدم تاثیر را می توان به این موضوع ارتباط دارد که چون پرتو در ورودی فیبر کانونی می شود و در واقع در مقطع ورودی فیبر قطر پرتو در حدود ۲ الی ۳ میلیمتر بود تغییر قطر فیبر تاثیری در خروجی فیبر ندارد. البته لازم به ذکر است هر چه قطر فیبر بیشتر

باشد می توان قطر سطح تابش نور در مقطع فیبر را افزایش داد و در نتیجه انرژی تابیده شده در واحد سطح را کاهش دهیم و پیرو این موضوع دما در سطح فیبر کاهش یابد و در این صورت آسیب کمتری به سطح ورودی فیبر وارد می شود.

جدول (۴) : تغییرات شدت روشنایی بر حسب قطر و طول فیبر

طول فیبر (mm)	قطرفیبر (mm)	شدت روشنایی (Lux)
۱۰۰۰	۸	۱۹۰۰۰
۱۰۰۰	۱۲	۱۹۰۰۰
۱۰۰۰	۱۰	۱۹۰۰۰
۱۹۵۰	۱۰	۱۵۰۰۰
۷۰۰	۱۰	۲۲۲۰۰
۳۰۰	۱۰	۲۳۴۰۰
۲۰۰	۱۰	۲۳۶۰۰
۱۰۰	۱۰	۲۳۸۰۰



شکل (۱۰) : لوکس بر حسب طول فیبر – بر اساس مدل های مختلف برازش داده ها

جدول (۵) : ضریب همبستگی، ضریب تعیین و سطح معنی داری مدل ها در نمودارهای شدت روشنایی بر حسب طول فیبر

تابع انتخابی	R	R^2	Sig.
Linear	۰/۹۸۶	۰/۹۷۲	۰/۰۰۰
Logarith	۰/۸۸۷	۰/۷۸۷	۰/۰۱۸
Quadratic	۰/۹۸۷	۰/۹۷۳	۰/۰۰۴
Cubic	۰/۹۹۶	۰/۹۹۳	۰/۰۱۱
Compoun	۰/۹۸۶	۰/۹۷۱	۰/۰۰۰
Power	۰/۸۶۹	۰/۷۵۶	۰/۰۲۴
S	۰/۶۴۶	۰/۴۱۷	۰/۱۶۶
Growth	۰/۹۸۶	۰/۹۷۱	۰/۰۰۰
Exponent	۰/۹۸۶	۰/۹۷۱	۰/۰۰۰
Logistic	۰/۹۸۶	۰/۹۷۱	۰/۰۰۰

همانگونه که پیش بینی می شد با افزایش طول فیبر لوکس خروجی کاهش یافته است (نتایج مندرج در هفت سطر آخر جدول (۴)). محاسبات آماری که توسط نرم افزار SPSS V.17 انجام شد و نتایج آن در شکل (۱۰) قابل مشاهده است. در نهایت رابطه خطی بین لوکس و مساحت به شکل زیر استخراج گردیدکه در آن L شدت روشنایی بر حسب Lux و طول فیبر بر حسب mm می باشد.

$$L = -4{,}974l + 24690{,}117 \qquad (۲)$$

۸- طراحی سیستم روشنایی

در طراحی یک سیستم روشنایی نیاز به تعیین نوع عدسی، ابعاد و تعداد آن می باشد. لازم است مراحل زیر بررسی و محاسبه شود. ابتدا باید با توجه به کاربری فضایی که نیاز به سیستم روشنایی دارد شدت روشنایی مورد نیاز را مشخص نمود. به کمک رابطه (۱) مساحت مورد نیاز عدسی برای روشنایی ۱ مترمربع از فضای مورد نظر مشخص می شود.

نتایج تحقیق حاکی از آن است که رابطه شدت روشنایی با سطح عدسی و طول فیبر رابطه ای خطی می باشد، لذا مساحت به دست آمده در مرحله ۲ را باید در سطح و طول فیبر ضرب کرد.

با سطح مورد نیاز عدسی و انتخاب عدسی از رابطه (۲) تعداد عدسی مورد نیاز مشخص می گردد. انتخاب عدسی بر اساس آن است که مایل باشیم به دلیل صرفه جویی در فیبر، با تعداد عدسی کمتری طراحی را انجام دهیم یا اینکه ترجیح دهیم از عدس های متعدد استفاده شود تا بتوان روشنایی را در فضا بهتر توزیع کرد.

به طور مثال دفتر کاری که نیاز به ۳۰۰ لوکس روشنایی در کف دارد، دارای سطح ۶ مترمربع است و نیاز به ۳ متر فیبر نوری دارد را در نظر می گیریم. به کمک رابطه (۱) برای روشنایی هر متر مربع از این فضا با فیبری به طول ۱ متر تقریباً نیاز به مساحت ۶۰ سانتیمتر مربع عدسی می باشد. در این صورت اگر از عدسی شماره ۲ در جدول (۴) استفاده شود برای این فضا نیاز به ۸ عدسی با این سطح می باشد.

با وجود آن که این تحقیق درخصوص فضای یک اتاق انجام شده ولی بر اساس تحقیقات انجام شده کاربرد آن در فضاهای دیگر از جمله داخل تونل ها قابل اجرا است [۱۱].

در خصوص افزایش راندمان این سیستم انتقال نور، اضافه کردن سیستم کنترلی که به صورت اتوماتیک بتواند هر لحظه عدسی را مقابل خورشید قرار دهد و طراحی سیستم اپتیکی مطابق با فضای مورد استفاده که بتواند نور خارج شده از فیبر نوری را در فضای مورد نظر به صورت مطلوب پخش کند پیشنهاد می گردد[۱۲].

۹- نتیجه گیری:

انتقال نور از جمله کاربردهای فیبر نوری است که بعنوان یک فناوری جدید در سیستمهای روشنایی متداول شده است. یکی از بارزترین کاربردهای آن در سیستم‌های روشنایی با انرژی صفر است. در این فناوری نور از منبع نوری که می‌تواند نور مصنوعی (نورلامپهای الکتریکی) و یا نور طبیعی (نور خورشید) باشد وارد فیبر نوری شده وازاین طریق به محل مصرف منتقل می‌شود. به این ترتیب نور به هرنقطه‌ای که درجهت تابش مستقیم آن نمی‌باشد منتقل می‌شود. امتیاز این نور که موجبات رشد سریع بکارگیری وتوجه زیاد به این فناوری شده اینستکه فاقد جریان الکتریکی، گرما و تشعشعات خطرناک ماورای بنفش بوده (نور خالص و بی خطر) و دیگر اینکه بااین فناوری می‌شود نور روز را هم به داخل ساختمانها و نقاط غیر قابل دسترسی به نور خورشید منتقل کرد.

در این مقاله استفاده از نور خورشید برای تامین روشنایی یک اتاق اداری مورد بررسی قرار گرفت. علاوه بر نحوه متمرکز کردن نور برای ایجاد چگالی بیشتر، تحقیقاتی هم در مورد نحوه انتقال نور توسط فیبر نوری انجام شد. از آنجا که در موارد اخیر مدلهای تئوریک چندان مفیدی یافت نشد، از روش آزمون و خطا و تحلیل آماری نتایج استفاده گردید .

با استفاده چندین عدسی و چند مدل فیبر نوری و یک دستگاه کنترل موقعیت که بطور خاص برای این تحقیق ساخته شده بود، آزمایشهای متعددی انجام و مقادیر شدت روشنایی حاصله توسط لوکس متر اندازه گیری و متعاقبا توسط نرم افزار آماری SPSS V.17 تحلیل گردید. نهایتاً براساس نتایج اخیر بهترین نوع عدسی و فیبر بهمراه روش سرراستی برای طراحی روشنایی یک اتاق نوعی با این روش ارائه گردید .

۱۰- تشکر و قدردانی

اعتبار مالی این تحقیق، توسط معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر تامین شده است و بدینوسیله از این حمایت سپاسگزاری میشود.

مراجع

۱. معاونت انرژی وزارت نیرو، مدیریت انرژی و تجارت مفید در روشنایی، مجموعه کتابچه های راهنمای فنی مدیریت انرژی، ۱۳۸۱

۲. www.isna.ir

۳. بعنونی س، *روش نوین در روشنایی ساختمان ها*، سومین همایش بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان، تهران، ۱۳۸۲

۴. رضایی م، بعنونی س، *به کارگیری لوله های خورشیدی جهت روشنایی ساختمان ها*، اولین کنفرانس سراسری اصلاح الگوی مصرف انرژی الکتریکی، اهواز، اسفند ۱۳۸۸

5. Bailey D., Wright E., Practical Fiber Optics, Elsevier, 2003

6. Driggers R. G., Encyclopedia of Optical Engineering, Marcel Dekker, New York, 2003

۷. جعفری نائینی ع، ابوعلی ابن‌هیثم، دائره المعارف بزرگ اسلامی، ۱۳۶۷.

8. Grondzik W. T., Kwok A. G., Mechanical and Electrical Equipment for Buildings, Wiley, 2014

9. Golnabi H., and Azimi P., *Design and operation of a double-fiber displacement sensor*, Optics Communications, vol. 281(4), 2008, pp. 614-62.

10. Golnabi H., and Azimi P., *Design and performance of a plastic optical fiber leakage sensor*, Optics & Lasers Technology, vol. 39 (7), 2007, pp. 1346-1350.
11. Xiaochun Q., Xuefeng Z., Shuai Q. and Hao H., *Design of Solar Optical Fiber lighting System forEnhanced Lighting in Highway Tunnel Threshold Zone: A Case Study of Huashuyan Tunnel in China*, Hindawi, Volume 2015, pp. 1-10.
12. Ullah I., Allen J. and Woei W., *Development of Optical Fiber-Based Daylighting System and Its Comparison*, energies, vol. 8, 2015, pp. 7185-7201