صفحات ۴۱ - ۴۸
نشریه هنرهای زیبا - معماری و شهرسازی ● دوره ۱۷ ● شماره ۴ ● زمستان ۱۳۹۱

تخمین کارایی کانال‌های انتقال نور افقی در ساختمان‌های عمیق*

نمونه: بناهای اداری تهران

محمدجواد مهدوی نژاد[۱**]، **محمدرضا بمانیان**[۲]، **سها مطور**[۳]
[۱] استادیار دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
[۲] دانشیار دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
[۳] دانشجوی کارشناسی ارشد معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
(تاریخ دریافت مقاله: ۹۱/۲/۲۱، تاریخ پذیرش نهایی: ۹۱/۱۰/۱۷)

چکیده

امروزه بخش ساختمان، از مصرف کننده ترین بخش‌ها در ارتباط با مصرف انرژی الکتریکی می‌باشد. تلاش برای کاهش مصرف انرژی، انسان‌ها را در پی یافتن جایگزینی مناسب برای آن، از میان انرژی‌های تجدیدپذیر، به سمت تحقیق و مطالعه بیشتری سوق داده است. یکی از نتایج محقق شده در این زمینه، استفاده از روشنایی طبیعی در طول ساعات روز به جای روشنایی مصنوعی می‌باشد که این جایگزینی، خود به تمهیدات ویژه‌ای نیاز دارد. از آنجایی که شهر تهران دارای ساعات آفتابی زیادی در طول سال می‌باشد، این منبع روشنایی می‌تواند مورد مطالعه دقیق تر قرار گرفته و ابزار و راهکارهای مناسب در جهت استفاده بهینه از آن شناسایی شود. در این پژوهش به شناسایی و تخمین کارایی یکی از سیستم‌های پیشرفته نور روز به نام کانال انتقال نور افقی پرداخته شده است تا جایی که بتواند برآورده کننده نیازهای کمی و کیفی روشنایی در اتاقی اداری با پلان عمیق باشد. روش تحقیق در این پژوهش توصیفی- تحلیلی می‌باشد. در این راستا از نرم‌افزارهای شبیه سازی اکوتکت و ردینس استفاده شده و کانال انتقال نوری منطبق با شرایط تابش خورشیدی در تهران طراحی و مورد تحلیل قرار گرفته است. نتایج حاکی از افزایش کمیت و کیفیت روشنایی در اتاق مورد مطالعه برای اکثر ماه‌های سال در صورت استفاده از این سیستم می‌باشد.

واژه‌های کلیدی

نور روز، سیستم‌های پیشرفته نور روز، کانال انتقال نور افقی، کمیت و کیفیت روشنایی.

*این مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده سوم تحت عنوان: "بهره‌گیری از روشنایی روز در طراحی ساختمان‌های با پلان عمیق. نمونه موردی: طراحی فرهنگستان‌های جمهوری اسلامی ایران در اراضی عباس آباد تهران" می‌باشد.

**نویسنده مسئول: تلفن: ۸۲۸۸۳۷۳۹-۰۲۱، نمابر: ۸۸۰۰۸۰۹۰-۰۲۱، E-mail:Mahdavinejad@modares.ac.ir.

مقدمه

توجه و علاقه‌ای که انسان‌ها در طول سالیان متمادی نسبت به نور خورشید نشان داده اند، حاکی از اهمیت و ارزشمندی آن برای بشر می‌باشد که خود محرکی برای حضوربخشی آگاهانه به آن در فضاهای معماری بوده است. این واقعیت، چندی پس از ورود روشنایی مصنوعی به ساختمان‌ها و ایجاد روشنایی دلخواه و یکنواخت در همه ساعات شبانه روز برای انسان، کم‌کم به دست فراموشی سپرده شد. در سال‌های اخیر، به دلیل بحران‌های زیست محیطی و بحران انرژی روی داده در سطح کره زمین، به یکباره استفاده از نور روز مورد توجه دوباره قرار گرفته و مطالعات وسیعی نیز بر روی آن در جهت شناخت و نحوه کاربرد صحیح آن صورت پذیرفت. علاوه بر تاثیرات کاهشی مصرف انرژی الکتریکی منتج از استفاده نور روز در ساختمان، می‌توان از دیگر برتری‌های نور روز نسبت به نور مصنوعی، مانند درخشندگی، ترکیب کامل طیف رنگی و پویایی آن نیز بهره گرفت.

باید توجه داشت که در صورت عدم استفاده بهینه و هدفمند از نور روز، شاید این مهم خود باعث افزایش مصرف انرژی در ساختمان شود. به طوری که با افزایش سطوح شفاف در ساختمان بخش عظیمی از روشنایی خورشیدی به داخل اتاق انتقال یافته که می‌تواند عدم آسایش بصری را از طریق ایجاد خیرگی در نواحی نزدیک به پنجره، برای ساکنین به همراه داشته باشد. علاوه بر این، موجبات افزایش بار سرمایشی و گرمایشی و نهایتاً مصرف بیشتر انرژی را نیز در پی خواهد داشت. از این رو توجه به استفاده بهینه از نور روز هم از لحاظ کمی و هم کیفی احتیاج به مطالعات دقیق‌تری دارد. در این راستا شناخت راهکارها و تخمین کارایی ابزارهایی برای کاهش سطوح شفاف به ابعاد بهینه آن و همچنین افزایش روشنایی در نیمه دور از پنجره اتاق، می‌تواند در استفاده هدفمند از نور روز مفید واقع شود.

۱- چارچوب نظری پژوهش

در نورپردازی با نور روز، کیفیت نور همواره باید در کنار کمیت آن مورد توجه قرار گیرد. آنچه کاربرد نور روز را با کیفیت مطلوب برای انسان میسر می‌سازد، در قالب اهداف نورپردازی با نور روز شناخته می‌شود. اهدافی که می‌تواند آسایش بصری را برای ساکنین فضا به دنبال داشته باشد. مفهوم کیفیت در نور روز توسط سه عامل مهم تعریف می‌شود: توزیع یکنواخت روشنایی در اتاق، کنترل پدیده درخشندگی روی سطوح مختلف در میدان دید و کنترل انواع خیرگی‌ها در فضای داخلی ساختمان (اونز، ۱۳۷۹، ۷۵). از این میان توزیع یکنواخت روشنایی در اتاق در کنار افزایش کمیت روشنایی، در این پژوهش مورد توجه بیشتر و بررسی واقع شده است.

مکانیسم توزیع یکنواخت روشنایی در بیان چارچوب نظری پژوهش از اهمیت به سزایی برخوردار است. در اغلب مکان‌ها و به خصوص مکان‌هایی که بیشتر فعالیت‌ها بصری می‌باشد مانند محیط‌های آموزشی و اداری، یکی از اهداف اصلی در طراحی نورپردازی با نور روز، توزیع یکنواخت نور در قسمت‌های مختلف فضای داخلی است. نوری که از پنجره‌های کناری وارد می‌شود، معمولاً در کنار پنجره روشنایی زیاد و در انتهای اتاق نور بسیار کمی بوجود می‌آورد. بنابراین ایجاد شیب کمتر در نمودار توزیع روشنایی اتاقی که با از پنجره‌های کناری نور می‌گیرد، و همچنین افزودن بر میزان روشنایی انتهای اتاق، یکی از مهم‌ترین اهداف در طراحی با نور روز می‌باشد(لکنر، ۱۳۸۵، ۳۹۱). نکته مهم در این زمینه این است که الزاماً نور زیاد در قسمتی از اتاق مانع از روشن کردن لامپ‌های الکتریکی در آن اتاق نمی‌شود، بلکه نسبت یکنواختی نور است که در این زمینه نقش موثری دارد. در واقع تضاد نوری شدید در قسمت‌های مختلف اتاق، نوعی عدم آسایش بوجود می‌آورد که موجب می‌شود ساکنین برای برطرف کردن آن از نور مصنوعی استفاده کنند و در زمانی که نور به اندازه کافی وجود دارد، تنها به دلیل توزیع نامناسب آن در اتاق، انرژی الکتریکی زیادی صرف می‌شود.

تحقق این مهم در ساختمان‌هایی که عمق بیشتری دارند و فاصله از پنجره‌های کناری بیش از دو برابر ارتفاع کف تا سقف آن باشد (با احتساب متوسط ضریب انعکاس سطوح ۰/۵)، به تنهایی تقریباً امکان پذیر نخواهد بود (Baker & Steamers, 2002) به طوری که استفاده از سیستم‌های الحاقی به پنجره اجتناب ناپذیر می‌باشد. برخی از این سیستم‌ها که با عنوان سیستم‌های پیشرفته نور روز شناخته شده‌اند در ادامه بررسی شده اند.

۲- سیستم‌های پیشرفته نور روز

چالش‌های مربوط به هدایت نور طبیعی از پنجره به عمق بیشتری در ساختمان و در عین حال حفظ کیفیت آن را می‌توان به بهترین وجه از طریق انعکاس نور طبیعی از سقف برآورده ساخت. به طور کلی سیستم‌های نور روز، تجهیزات نوری تکمیل‌کننده‌ای هستند که یا به پنجره و نورگیر اضافه می‌شوند و یا به صورت پیوسته و ترکیب شده با آنها کار می‌کنند(Compagnon, 2002) . این تجهیزات برای تطبیق با شدت و توزیع نور روز در فضای داخلی طراحی شده‌اند تا بتوانند نیازهای روشنایی فعالیت مورد نظر در محیط را بدون ایجاد درخشندگی برآورده کنند. سیستم‌های نور روز می‌توانند با استراتژی‌های روشنایی مصنوعی کارکنند به گونه‌ای که توسط کلیدها و یا دیمرهایی نور مصنوعی مطابق با میزان نور طبیعی موجود کنترل شود تا اهداف کاهش مصرف انرژی در ساختمان نیز برآورده شود (Benya etal, 2001). برای

طبقـه بندی سیستم‌هـای نـور روز چندین حالت وجـود دارد. یکی از این طبقه بندی‌ها براساس ویژگی‌های هندسه آنهاست که بـه سه دسـته تقسیـم می‌شوند: عناصـر یکپارچه بـا پنجره، بازتابنده‌ها و قفسه‌های نوری و هدایتگرهای نور.

سیستم‌های هدایتگر نور، نور طبیعی را به بخش‌های داخلی ساختمـان انتقـال می‌دهـد بنابرایـن موجـب افزایـش کمیت روشنایـی در ساختمان می‌شوند و می‌توانـد بخش‌های عمیق ساختمـان را نیـز با نـور طبیعی روشـن سازند. در ایـن پژوهش سیستم‌های هدایتگر نور، به دلیل اینکه امکان انتقال روشنایی تـا عمق ساختمان را دارند، بـرای اتاق‌های اداری با پلان عمیق مناسب ارزیابی شده و مورد تحلیل بیشتری قرار گرفته است.

۲-۱ سیستم‌های هدایتگر نور

سیستم‌هـای هدایتگر نور، شارنـوری را از متمرکزکننده‌ها به سمت منتشـر کننده‌هـا توسط عناصـر واسطه انتقـال دهنده، هدایت می‌کننـد. در این روش اشعه‌های نـور خورشید کانالیزه شـده و در فضای داخلی منتشر می‌شونـد. برای رسیدن به این هـدف تکنولوژی‌هـای متفاوتـی ایجـاد شده است کـه در چهار گروه می‌توان دسته بندی کرد: ایجاد کننده روشنایی از راه دور[1]، سیستـم فیبر نوری، کانال‌های انتقال نور عمودی[2] و کانال‌های انتقال نور افقی[3].

در ساختمان‌هـای چنـد طبقـه، بـرای انتقـال روشنایی از جداره ساختمان بـه عمق فضاهای عمیق، از کانال‌های انتقال نـور افقـی می‌تـوان بهـره گرفـت. سایـر سیستم‌هـای هدایتگر نـور، روشنایـی را از منابع متمرکز کننـده نور مستقر بـر روی بام ساختمـان دریافـت کـرده و بـا روش‌هـای مختلـف بـه صورت عمودی به عمق ساختمان انتقال می‌دهند.

۲-۱-۱ کانال‌های انتقال نور افقی

این کانال‌های انتقال نور برای شرایط آسمان آفتابی و نسبتاً آفتابی طراحی شده است که راه حل مناسبی برای اصلاح شرایط روشنایی در ساختمان‌های با پلان عمیق به نظر می‌رسند. یکی از مهـم ترین مزیت‌هـای آن این است کـه می‌توانـد در فضای اشغـال شـده برای سقف هـر طبقه نصب شود کـه خود موجب مناسب بـودن آنها حتی برای ساختمان‌هـای موجود می‌شود. بـرای کارایـی بهتر ایـن سیستم‌هـا بایـد در حالت بهینـه برای عرض‌های جغرافیایی و جهت گیری‌های مختلف قرار گیرد. این سیستم می‌تواند روشنایی یکنواختی را در طول اتاق‌های عمیق ایجـاد کند و انتهای اتاق را نیز برای فعالیت‌های بصری نیازمند به نور کافی، مناسب کند. به طور کلی می‌توان کانال‌های انتقال نـوری را که تـا به حال بررسـی و مطالعه شده‌انـد را در دو دسته عمده تقسیم کرد: کانال‌های انتقال نور افقی ساده و کانال‌های انتقال نور مجهز شده.

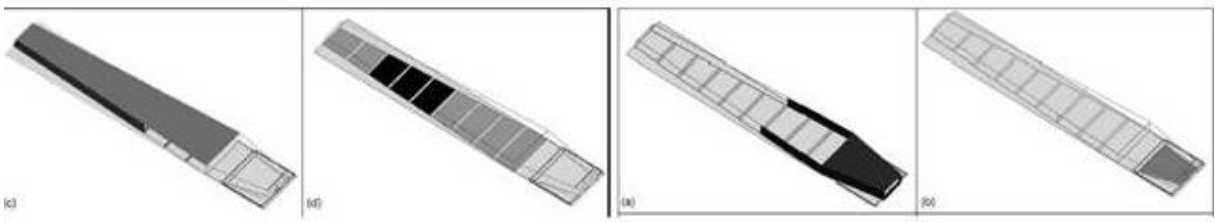
الف- کانال‌های انتقال نور افقی ساده شده

از آنجا که وظیفه اصلی کانال‌های انتقال نور، انتقال نور روز از جـداره بیرونی ساختمان بـه عمق اتاق می‌باشـد، دریچه آن بایـد رو به سمت جنوب داشته باشـد (نیمکره شمالی) تا بتواند نـور مستقیـم خورشید را دربیشتـر مواقع روز دریافـت کند. این کانال‌هـا از سه بخش عمده تشکیل شده اند: ۱) جمع آور نور، ۲) انتقال دهنده نـور و ۳) انتشار دهنده نور. این سه بخش عمده از اجـزای ثابتی تشکیل شده‌اند (تصویـر۱) که در اکثر تحقیقات و مطالعات برای کانال‌های انتقال نور در نظر گرفته شده اند.

۱- محفظه بازتاب: در این فضا، پرتوهای مستقیم خورشید جمع آوری شده و به درون بازتاب می‌شود. این محفظه از لایه‌های نـازک مصالح با ضریب انعکـاس زیـاد (۰/۹۵) پوشیده می‌شود.

۲- بازتابنـده: ایـن بخـش از سیستـم اشعه‌هـای خورشید را متمرکـز و بازتـاب می‌دهند کـه باید بتواند خـود را با جهات و ارتفاع‌هـای مختلف خورشید در طـول روز و فصول سال تطبیق دهد تـا کارایی سیستم را در همه مواقع به خوبی حفظ کند. در برخـی از پژوهش‌ها، ایـن بخش را از صفحـه‌ای مسطح و مورب در نظـر گرفته‌انـد که به صورت مکانیکی با توجـه به زاویه تابش خورشیـد تنظیم می‌شـود (Peron et al., 2004). در برخی دیگر از مطالعـات که اجزا ثابـت هستند و متحرک عمـل نمی‌کنند، این صفحـه دارای شیب‌هـای مختلفـی منطبق با زوایـای متوسط خورشیـد در طول چهار فصـل از سال می‌باشـد (Beltran et al., 1996). در ایـن حالت نیـز می‌تواند به صـورت بهینه تابش‌های خورشیـد را در زمسـتان، تابسـتان و پاییز و بهار بـه درون کانال بازتاب دهد.

۳- محفظه انتشار: این محفظه جهت انتشار پرتوهای نوری کـه بوسیله محفظه بازتاب جمـع آوری شده، به طرف بازشوهای داخلـی، استفاده می‌شود. این محفظه دارای مقطعی طولی و در امتداد اتاق است که با نزدیک شدن به انتهای اتاق باریک تر شده حالت مخروطی به خود می‌گیرد. این حالت در جبران میرایی شار نـوری می‌تواند مؤثـر باشد. مصالح به کاررفته بـرای این بخش از سیستم معمولاً باید خاصیت انتشاردهندگی زیادی داشته باشند.



تصویر۱- اجزای اصلی یک سیستم کانال انتقال نور افقی ساده. a) محفظه بازتاب، b) بازتابنده، c) محفظه انتشار، d) شیشه‌های نیمه شفاف بازشوهای داخلی.
ماخذ: (Canziani et al., 2004)

۴- بازشوهای شیشه‌ای: بازشو خارجی سیستم بوسیله شیشه معمولی با ضریب شفافیت تقریبی ۰/۸۶ در نظر گرفته می‌شود. بازشوهایی که از کانال به سمت داخل باز می‌شوند توسط شیشه‌های نیمه شفافی بسته می‌شود که نور را بدون ایجاد خیرگی در فضای داخلی منتشر می‌کنند (Canziani et al., 2004).

ب- کانال‌های انتقال نور مجهز شده

در این سیستم ها، از مصالح و عناصر جدید و کارآمدی مانند LCP برای بازتاب نور و جهت دهی به آن در دهانه‌های ورودی و خروجی کانال انتقال نور استفاده می‌شود. در این صورت قسمت بازتابنده در سیستم احتیاجی به تغییر زاویه در طول سال ندارد و این عنصر می‌تواند همه پرتوهای برخورد کرده را جمع آوری کرده و به سمت بالا و سقف مکان مورد نظر هدایت کند (تصویر ۲) از این رو میزان بازتاب‌ها و انعکاس‌های داخلی کانال انتقال نور نیز کمتر شده و شار نوری وارد شده، در انتهای کانال، دچار میرایی کمتری می‌گردد و در نتیجه میزان روشنایی بیشتری به درون اتاق انتقال داده می‌شود (Garcia-Hansen et al., 2001). از آنجایی که این صفحه‌ها به راحتی در دسترس نمی‌باشند و به صورت عمده وارد بازار نشده اند، استفاده از آنها در این سیستم نیز با محدودیت همراه است و تاکنون در مرحله پژوهش و آزمایش باقی مانده است.

۳- شیوه پژوهش

هدف پژوهش: هدف از این پژوهش، شناسایی و تخمین کارایی سیستم کانال انتقال نور، جهت افزایش کیفیت و کمیت روشنایی در ساختمان‌های با پلان عمیق می‌باشد.

سوالات پژوهش: کانال‌های انتقال نور در طول سال و ساعات کاری چه میزان روشنایی را به نیمه انتهایی اتاق انتقال می‌دهد؟، ابعاد و تناسبات بهینه برای این سیستم در شهر تهران به چه صورت می‌باشد؟ و این سیستم روشنایی روز را تا چه عمقی از اتاق‌های عمیق با پنجره کناری رو به جنوب، می‌تواند انتقال دهد؟

روش پژوهش: روش تحقیق توصیفی- تحلیلی برای این پژوهش انتخاب شده است. همچنین از نرم افزارهای Analysis Autodesk Ecotect نسخه ۲۰۱۰ جهت مدل سازی و Radiance ControlPanel جهت آنالیز روشنایی، استفاده شده است.

۴- ساختار مدل شبیه سازی شده برای تهران

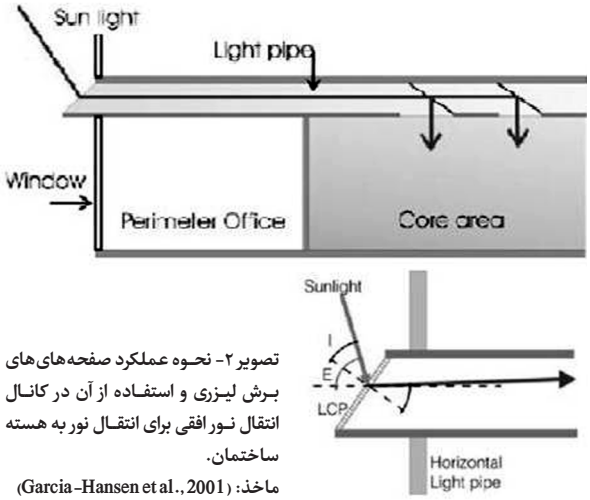
۴-۱ مشخصات اتاق مورد مطالعه

در این پژوهش از مدل پیشنهادی لابراتوار بین المللی لورنس برکلی[۴] (Beltrán et al., 1994) برای کانال انتقال نور مورد مطالعه استفاده شده است و در پی آن است که این مدل را با شرایط تابش خورشیدی در شهر تهران مطابقت بخشیده و تغییرات مورد نیاز اعمال شود. اتاقی که برای این سیستم در نظر گرفته شده است، اتاقی با ساختار معمولی یک اتاق اداری در ساختمان چند طبقه می‌باشد که امکان استفاده از پنجره را به عنوان نورگیر تنها در یک جداره (جنوبی) دارد. ابعاد این اتاق در تصویر ۳ نشان داده شده اند. ضریب انعکاس سطوح داخلی این اتاق به شرح جدول ۱ می‌باشد.

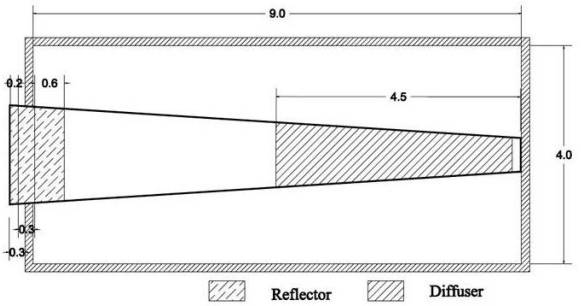
اتاق مورد نظر در دوحالت مورد بررسی قرار گرفته است. در حالت اول اتاق تنها یک پنجره در جداره جنوبی دارد و در حالت دوم کانال انتقال نور نیز به آن اضافه شده است. ابعاد این پنجره بر اساس حداقل نسبت مساحت پنجره به مساحت دیوار خارجی (WWR[5]) در نظر گرفته شده است. این نسبت در پژوهش‌های سابق نگارندگان برای شهر تهران بین ۳۰٪ تا ۴۰٪ تخمین زده شده است (Mahdavinejad. et al., 2012). در این حالت پنجره می‌تواند در کنار تامین نور کافی در فضای داخلی، انتقال انرژی را به حداقل برساند. براین اساس مساحت پنجره برای اتاق در حدود ۳۰٪ مساحت دیوار در نظر گرفته شده است. در اطلاعات داده شده به نرم افزارهای مورد نظر، ضریب

جدول ۱- مشخصات سطوح اتاق شبیه سازی شده.

اجزای مدل فرضی	ضریب انعکاس
سقف	۰/۸۰
دیوار	۰/۴۷
کف	۰/۴۰



تصویر ۲- نحوه عملکرد صفحه‌های برش لیزری و استفاده از آن در کانال انتقال نور افقی برای انتقال نور به هسته ساختمان.
ماخذ: (Garcia-Hansen et al., 2001)



تصویر ۳- پلان اتاق و کانال انتقال نور شبیه سازی شده (ابعاد به متر می‌باشد).

عبـور نور[۶] برای شیشه پنجره ۴۵٪ در تابستان و ۳۰٪ در زمستان در نظـر گرفتـه شـد. این ضریـب عبور نور بـا توجه بـه این نکته می‌باشـد که در اتـاق از سایه اندازهای داخلـی مانند پرده‌های کرکـره‌ای استفـاده شده اسـت و میزان نـور ورودی قابل تنظیم می‌باشد. این حالت باعـث می‌شود که میزان روشنایی در هیچ جای اتاق از ۲۰۰۰ لوکس(محـدوده آزار دهنده روشنایی) بیشتر نشـود و در واقع تقریباً معادل بـا عملکرد سایه اندازهای داخلی در نظر گرفته شده است.

۲-۴ مشخصات کانال انتقال نور شبیه سازی شده

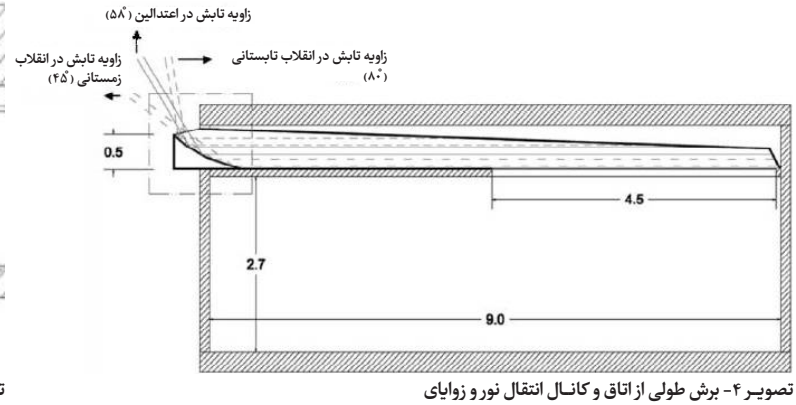
ابعـاد و اندازه‌های کانـال انتقال نور بر اسـاس آنچه توسط لابراتـوار برکلـی مطـرح شـده اسـت و نتیجـه مطلوبـی نیـز در آزمایشـات لوس آنجلـس در سال ۱۹۹۷ بدسـت آورده است، در نظر گرفته شد. در قسمـت انعکاس دهنده‌ها تغییرات مورد نیاز برای تطبیق با شرایط تابش خورشیدی شهر تهران صورت گرفته اسـت. عمکرد اصلی انعکاس دهنده‌ها در این سیستم، دریافت پرتوهای خورشید با زوایای متفاوت و بازتاب آنها به درون کانال به صورتی است که پرتوهای نور کمترین میرایی را در طول مسیر بـر اثـر انعکاس‌های پی در پـی داشته باشد و در واقـع پرتوها را تاحد ممکن به صورت موازی به درون کانال انتقال دهد. از این رو بـرای انعکـاس دهنده‌ها سه زاویه متفاوت بـر اساس زوایای ارتفـاع خورشید در ظهر و در انقلاب تابستانـی، انقلاب زمستانی و اعتدالیـن بدست آمـد (تصویر ۴ و ۵). زوایـای ارتفاع خورشید در ساعـت ۱۲ ظهـر بـرای ایـن سه حالـت خـاص خورشیدی از دیاگرام موقعیـت و زوایای تابش خورشیدی عـرض جغرافیایی ۳۵ درجه شمالی (کسمایـی، ۱۳۸۲) استخراج و زوایای انعکاس دهنده‌هـا نیز در حالتی که بتواند این پرتوهـا را به صورت کاملا افقی بـه درون کانال انتقـال نور منعکس کنـد محاسبه گردید. برای شبیه سازی انعکاس دهنده‌ها از مصالح با ضریب انعکاس زیاد و در حدود ۰/۹۵ و خاصیت آینه‌ای ۰/۹۰ استفاده شد. سایر بخش‌های داخلی کانال انتقـال نور از مصالح با ضریب انعکاس ۰/۹۵ و خاصیـت آینه‌ای ۰/۸۵ می‌باشد و در قسمت خروج نور از شیشـه نیمه شفاف با ضریب عبور نور ۰/۸۰ استفاده شده است. دریچـه بیرونـی کانال انتقال نـور نیز توسط شیشـه‌ای با ضریب عبور نور ۰/۸۸ پوشانده شده است.

۵- تحلیل داده‌ها

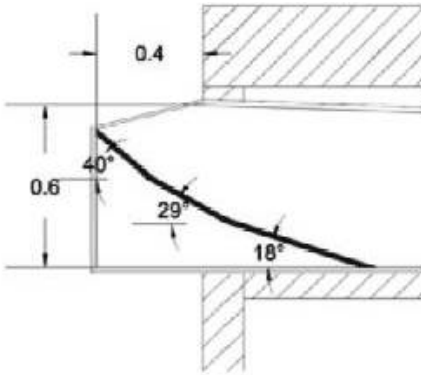
۵-۱ کمیت روشنایی از طریق کانال انتقال نور

بـرای سنجش نحـوه کارکـرد کانال‌هـای انتقال نـور در شهر تهـران، مـدل بدست آمـده را در شرایط آسمان صـاف و آفتابی و در جهت جنوب شبیه سـازی کرده و میزان روشنایی روی سطح میز کـار به ارتفاع ۹۰cm مـورد بررسی قرار گرفـت. همانطور که در مشخصـات مدل مورد مطالعه نیز بیان شد، این اتاق اداری از دو منبـع روشنایی برخوردار است: پنجره کنـاری و کانال انتقال نور. برای بررسـی شرایط روشنایی در اتاقی با ایـن دو منبع روشنایی شبیـه سازی‌های زیر انجام شده است. ابعاد پنجره برابر با ۳۰٪ از مساحت دیوار می‌باشـد که در مدل به صورت ۲×۱/۵ متر در نظر گرفته شده است.

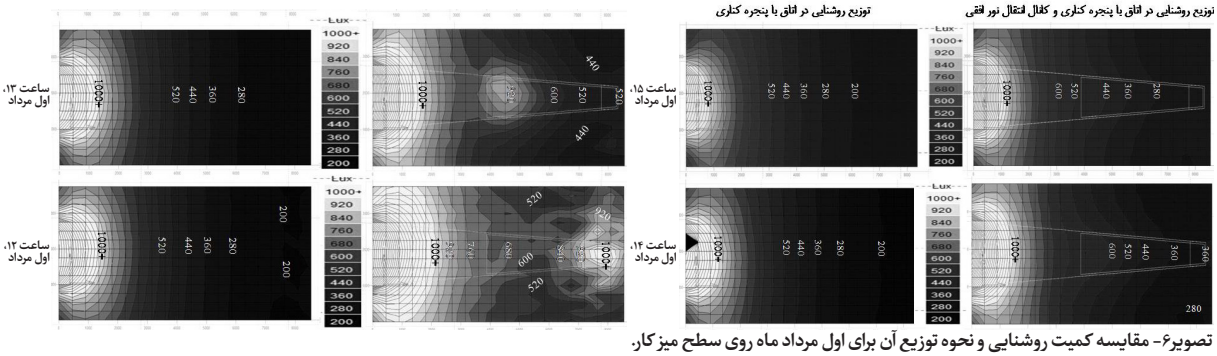
آنچـه از مطالعه شبیـه سازی‌های بر می‌آیـد (تصویر۶)، این



تصویـر ۴- برش طولی از اتاق و کانـال انتقال نور و زوایای تابش خورشید در تهران.



تصویـر ۵- زوایای بدست آمده بـرای انعکاس دهنده‌ها بر اساس زوایای تابش خورشیدی در تهران.



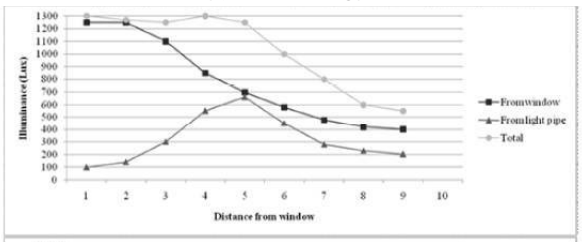
تصویر۶- مقایسه کمیت روشنایی و نحوه توزیع آن برای اول مرداد ماه روی سطح میز کار.

است که کانال‌های انتقال نور بیشترین تاثیر را در ساعات ۱۰،۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۴ داشته و کمترین تاثیر را در ساعات ۹ و ۱۵ بر روشنایی داخلی خواهند داشت. در ساعت ۱۲ ظهر در صورت استفاده از پنجره به تنهایی برای روشنایی داخلی، انتهای اتاق در حدود ۲۰۰ لوکس روشنایی خواهد داشت که این مقدار با استفاده از کانال انتقال نور به بیشتر از ۱۰۰۰ لوکس افزایش می‌یابد. در ساعت ۹ و ۱۵ این افزایش از ۲۰۰ لوکس به ۳۰۰ لوکس برای انتهای اتاق خواهد بود. این شبیه سازی‌ها برای همه ماه‌های سال در ساعات ۹ تا ۱۵ انجام شده است و حداکثر میزان روشنایی بدست آمده توسط کانال انتقال نور در فاصله بین ۵ تا ۹ متری اتاق بدست آمد که در جدول ۲ نشان داده شده است.

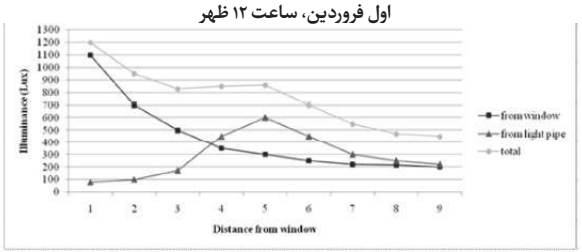
همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، میزان روشنایی بدست آمده از کانال انتقال نور در ساعات ۹ و ۱۵ تقریباً کمتر از ۱۰۰ لوکس می‌باشد که درواقع برآورده کننده نیازهای روشنایی داخلی نخواهد بود و در صورت جوابگو نبودن روشنایی حاصل از پنجره و کانال انتقال نور، استفاده از روشنایی مصنوعی اجتناب ناپذیر است. این میزان روشنایی برای دیگر ساعات کاری بیشتر از ۱۰۰ لوکس و در برخی ساعات بیشتر از ۳۰۰ لوکس نیز می‌باشد که به خوبی می‌تواند پاسخگوی نیازهای روشنایی برای ساکنین یک اتاق اداری باشند. همچنین در انقلاب تابستانی و زمستانی که زوایای انعکاس دهنده‌ها منطبق بر زوایای تابش خورشیدی در این ماه‌ها می‌باشد، بهترین شرایط روشنایی داخلی تامین می‌شود. این خود نشان از این مهم می‌باشد که بهترین کارایی کانال‌های انتقال نور در زمانی خواهد بود که انعکاس دهنده‌ها متحرک باشند و در هر ماه از سال زاویه خاصی منطبق بر زوایای تابشی همان ماه را داشته باشند.

اول تیر، ساعت ۱۲ ظهر

اول دی، ساعت ۱۲ ظهر



اول فروردین، ساعت ۱۲ ظهر



نمودار۱- نحوه توزیع و میزان روشنایی ایجاد شده روی سطح میز کار در طول اتاق.

۵-۲ کیفیت روشنایی از طریق کانال انتقال نور

کانال‌های انتقال نور به عنوان منبعی ثانویه برای تامین روشنایی داخلی فضا، در صورتی می‌توانند بیشترین کارایی را داشته باشند که علاوه بر تامین کمیت روشنایی مورد نیاز در فضای داخلی، بتوانند توزیع یکنواختی از روشنایی را در اتاق ایجاد کنند و تا حد امکان از ایجاد خیرگی جلوگیری کنند. براساس نمودار ۱، همانطور که از عملکرد کانال‌های انتقال نور انتظار می‌رود، توزیع روشنایی در طول اتاق در حالتی که از کانال انتقال نور و پنجره استفاده شود، یکنواخت تر خواهد بود. این مسئله می‌تواند موجب آسایش بصری و قابل استفاده شدن سطح بیشتری از اتاق برای ساکنین شود؛ در حالی که تنها از روشنایی نور روز در اتاق استفاده شده است. زیاد شدن سطح روشنایی در نیمه دور از پنجره اتاق نیز خود در کاهش استفاده از روشنایی مصنوعی مؤثر خواهد بود.

۵-۳ طول مناسب برای کانال انتقال نور

در مدل شبیه سازی شده فوق، طول کانال انتقال نور ۹ متر در نظر گرفته شد. برای نشان دادن کارایی کانال‌ها در عمق‌های بیشتر اتاق، از مدل‌هایی با عمق ۱۰ و ۱۲ متر استفاده شد که با همان روش و همان مشخصات مدل قبلی شبیه سازی شده و مورد ارزیابی قرار گرفت. در اتاق ۱۰ متری میزان روشنایی وارد شده از طریق کانال انتقال نور در ساعت ۱۲ ظهر برای اول دی و اول تیر ماه تامین کننده نیازهای روشنایی در اتاق اداری می‌باشد ولی این میزان از آنچه در اتاق ۹ متری بدست می‌آید کمتر می‌باشد. روشنایی بدست آمده از این سیستم برای ساعات

جدول۲- حداکثر میزان روشنایی ساعتی بر روی سطح میزکار در هر ماه از سال برای ساعات کاری روز.

میزان روشنایی روی سطح میزکار (لوکس)				
ماه‌های سال	۹ و ۱۵	۱۰ و ۱۴	۱۱ و ۱۳	۱۲
اول فروردین	۹۶	۱۳۲	۲۱۵	۳۱۴
اول اردیبهشت	۹۰	۱۴۸	۳۲۹	۵۶۴
اول خرداد	۷۷	۱۰۰	۲۲۰	۵۷۰
اول تیر	۱۰۰	۱۷۰	۳۵۰	۷۰۰
اول مرداد	۱۳۰	۲۱۰	۴۵۰	۸۵۰
اول شهریور	۶۸	۱۰۰	۲۵۰	۴۵۰
اول مهر	۶۶	۸۸	۱۲۰	۲۲۰
اول آبان	۶۰	۱۱۰	۱۴۰	۱۹۸
اول آذر	۶۰	۸۸	۱۷۰	۲۵۰
اول دی	۱۰۰	۱۸۰	۳۲۰	۶۲۰
اول بهمن	۸۰	۱۱۰	۲۲۳	۳۰۰
اول اسفند	۹۳	۱۳۸	۲۵۴	۳۵۰

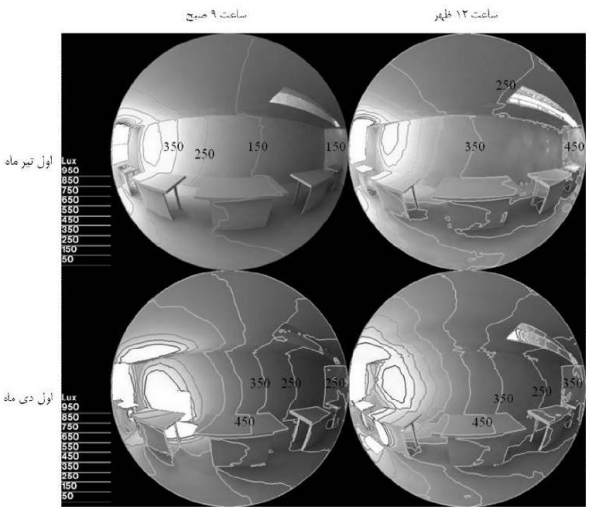
۹ صبح بسیار کاهش یافته و تقریباً نامحسوس است (تصویر ۷).

مطالعات فوق برای اتاق به عمق ۱۲ متر نیز صورت گرفت. در ساعت ۱۲ ظهر اول تیرماه کمیت روشنایی کافی به نظر می‌رسد و در انتهای اتاق به بیش از ۳۰۰ لوکس می‌رسد ولی در اول دی در همین ساعت روشنایی کمتر از ۲۰۰ لوکس ایجاد شده. این خود نشان از روشنایی کمتر در دیگر ساعات روز می‌باشد که برای یک اتاق اداری مناسب نمی‌باشد (تصویر ۸).

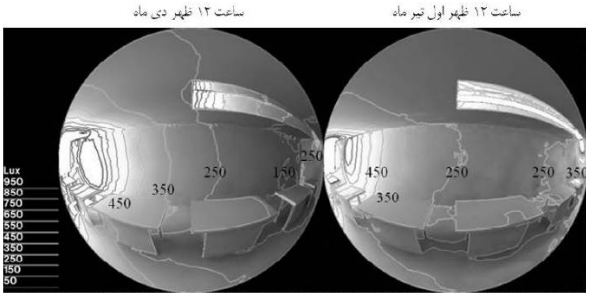
با توجه به شبیه سازی‌های انجام شده برای ساعت ۱۲ ظهر در ماه تیر و دی کانال انتقال نور در این مدل نمی‌تواند کارایی لازم را داشته باشد و بهتر آن است که عمق اتاق را برای این نوع از کانال انتقال نور به ۱۰ متر محدود کرد. هرچند که کانال انتقال نور ۹ متری شرایط بهتری را از لحاظ کمیت و کیفیت روشنایی نسبت به مدل ۱۰ متری ایجاد می‌کند. در صورتی که کانال‌های انتقال نور با طول ۱۰ و ۱۲ متر برای روشن کردن فضاهایی با نیاز روشنایی کمتر مانند راهروها استفاده شوند می‌توانند مناسب واقع شوند و کاهش روشنایی مصنوعی را به همراه داشته باشند.

۴-۵ فواصل مناسب میان کانال‌های انتقال نور

آنچه به عنوان توزیع مناسب روشنایی در عمق اتاق بیان و بررسی شد، این بار در عرض اتاق به عنوان عاملی مهم در بهبود کارایی کانال‌های انتقال نور بررسی می‌شود. آنچه مسلم است هر کانال انتقال نور می‌تواند برای محدوده مشخصی روشنایی مناسب تامین کند و برای اتاق‌های عریض و عمیق بهتر آن



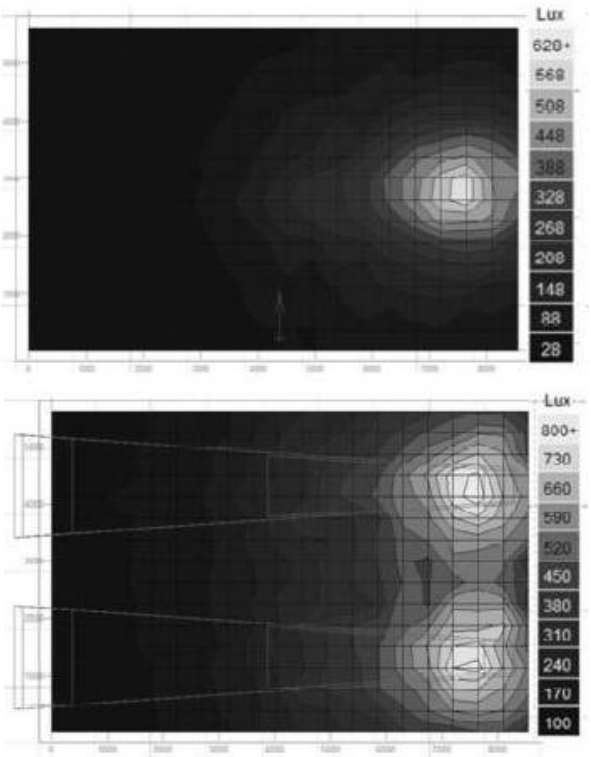
تصویر۷- روشنایی ایجاد شده در اتاقی به عمق ۱۰ متر در اول دی و اول تیرماه.



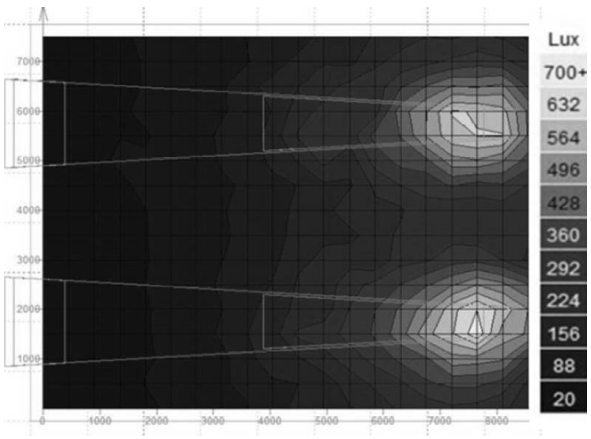
تصویر۸- توزیع روشنایی در اتاقی به عمق ۱۲ متر با استفاده از کانال انتقال نور.

است که از تعداد مناسبی از کانال‌های انتقال نور استفاده شود که در این صورت از ایجاد فضاهای کم نور در فاصله میان کانال‌های انتقال نور و در نهایت توزیع نامناسب روشنایی در عرض اتاق جلوگیری می‌شود.

در قسمت‌های قبلی برای اتاقی با عرض ۴ متر یک کانال انتقال نور در نظر گرفته شد و همانطور که در شبیه سازی‌ها مشاهده شد، در اکثر ساعات روز این سیستم جوابگوی کل عرض اتاق می‌باشد و نیازی به تعداد بیشتر وجود ندارد. در ادامه ابتدا اتاقی با عرض ۶ متر، عمق ۹ متر و وجود یک کانال انتقال نور، شبیه سازی شده و کارایی آن سنجیده می‌شود. میزان روشنایی بدست آمده در این اتاق تفاوت چندانی با اتاق ۴ متری نمی‌کند ولی توزیع عرضی روشنایی نشان می‌دهد که در اتاق ۶ متری



تصویر۹- توزیع عرضی روشنایی ایجاد شده توسط یک و دو کانال انتقال نور در اتاقی به عرض ۶ متر.



تصویر ۱۰- توزیع روشنایی در اتاق اداری با عرض ۸ متر با استفاده از دو کانال انتقال نور در ساعت ۱۲ظهر اول تیرماه.

میـزان روشنایی در کناره‌هـای اتاق در حد مطلـوب نمی‌باشد و در واقـع ایـن اتاق توسط یک کانـال انتقال نـور نمی‌تواند توزیع روشنایـی یکنواختـی در عرض اتاق داشته باشـد. در حالت دیگر شرایـط روشنایی این اتاق در صورت استفـاده از دو کانال انتقال نور سنجیده می‌شود. در اتاقی با عرض ۶ متر و استفاده از دو کانال انتقال نور همپوشانی روشنایی حاصل از کانال‌های انتقال نور به شکـل مناسبی ایجاد می‌شـود و فضای بین آنها نیـز از روشنایی مطلوبی بهره مند می‌شود. در نتیجه در عرض‌های بیشتر از ۴ متر استفاده از یک کانال انتقال نور کافی نخواهد بود (تصویر۹).

بـرای اطمینان نسبت به نتیجه بدست آمده و تعیین تقریبی محـدوده تحت تاثیر کانال انتقال نور، اتاقی به عرض ۸ متر و عمق ۹ متـر بـا استفـاده از دو کانـال انتقال نـور، شبیه سـازی و بررسی شده است. در تصویـر۱۰ مشاهده می‌شود که دو کانال انتقال نور توانسته اندروشنایی مناسبی برروی میزکار ایجاد کند که این مسئله نشان از کارایی مناسب این سیستم در ایجاد روشنایی یکنواخت در فضا می‌باشد. ولی این فاصله تقریباً بیشترین فاصله ایست که دو کانال انتقال نور می‌توانند از هم داشته باشند چرا که در غیر این صورت همپوشانی مناسبی در فضای میانشان ایجاد نخواهد شد.

نتیجه

سیستم کانال انتقال نور در شهر تهران به خوبی می‌تواند کمیت و کیفیت نور روز را برای اتاق‌های با پلان عمیق افزایش دهد. این میزان تاثیر در ساعات ۹ و ۱۵ کاهش یافته و سیستم جوابگوی نیازهای روشنایی داخلی به حد نیاز نخواهد بود و این در حالی است که بیشترین میزان روشنایی در ساعت ۱۲ ظهر وارد اتاق می‌شود. از آنجایی که انعکاس دهنده‌های سیستم برای سه حالت ثابت در طول سال (انقلاب تابستانی و زمستانی و اعتدالین) در نظر گرفته شده است، بیشترین میزان انتقال روشنایی در این سه ماه از سال بدست می‌آید بنابراین در صورت متحرک بودن انعکاس دهنده‌ها و در نتیجه انطباق با زوایای تابش خورشید، برای همه ماه‌های سال می‌توان روشنایی مطلوب و کافی دریافت نمود.

طول مناسب برای این کانال‌ها ۹ متر ارزیابی شد و در طول‌های بیشتر کارایی سیستم کاهش خواهد یافت. براساس شبیه سازی‌های انجام شده هر کانال انتقال نور برای عرض ۴ متری اتاق جوابگو خواهد بود و در نتیجه برای هر ۴ متر حداقل یک کانال مورد نیاز است تا توزیع یکنواخت روشنایی در عرض اتاق نیز ایجاد شود. دستاوردهای پژوهش نشان‌دهنده آن است که استفاده از کانال‌های انتقال نور روشی بسیار کارآمد برای ارتقای بهره‌وری در استفاده از نور روز در ساختمان‌های اداری تهران است.

پی‌نوشت‌ها

1 Remote Lighting.

2 Vertical Light-Pipes, Sun Pipe, Sun Tube.

3 Horizontal Light-Pipe.

4 Lawrence Berkeley National Laboratory.

5 Window Wall Ratio.

6 Visible Transmittance.

فهرست منابع

اونز، بنجامین اچ(۱۳۷۹)، *نـور روز در معماری*، ترجمه شهرام پوردیهیمی، حوری عدل طباطبایی، نشر نخستین، تهران.

کسمائی، مرتضی(۱۳۸۲)، *اقلیم و معماری*، نشر خاك، اصفهان.

لکنر، نربرت(۱۳۸۵)، *گرمایش، سرمایش، روشنایی، رویکردهای طراحی برای معماران*. ترجمه محمدعلی کی‌نژاد و رحمان آذری، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز.

Baker. N., Steemers. K (2002), Daylight Design of Buildings, James & James, London.

Beltrán, L.O., Lee, E.S., Papamichael, K.M., Selkowitz, S.E.(1994), The design and evaluation of three advanced daylighting systems: light shelves, light pipes and skylights. LBL Report 34458, Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, CA. Available from http://btech.lbl.gov/papers/34458.pdf. [Accessed 8 December 2012].

Beltrán, L.O., Lee, E.S., Selkowitz, S.E.(1996), Advanced optical daylighting systems: light shelves and light pipes. LBL Report 38133, Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, CA. Available from http://gaia.lbl.gov/btech/papers/38133.pdf. [Accessed 8 December 2012].

Benya, J., Heschong, L., Miller, N., Clanton, N.(2001), *Lighting Design Considerations. In: Advanced Lighting Guidelines*, 2001 Edition. New Buildings Institute, CA. pp. 7, 11. Available from http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/diversos/Lighting%20design%20considerations.pdf [Accessed 8 December 2012].

Canziani, R., Peron, F., Rossi, G.(2004), Daylight and energy performances of a new type of light pipe. *Energy and Buildings*, 36: 1163–1176.

Compagnon, R.(2002), Advanced Daylighting Systems, Chapter 9. In: Baker, N., Steemers, K. (Authors), *Daylight Design of Buildings*, James & James, London, UK.

Garcia-Hansen, V., Edmonds, I., Hyde, R.(2001), The use of light pipes for deep plan office buildings — a case study of Ken Yeang's bioclimatic skyscraper proposal for KLCC, Malaysia. In: 35th Annual Conference of the Australian and New Zealand Architectural Science Association, Wellington, New Zealand.

Mahdavinejad, M., Matoor, S., Feyzmand, N., Doroodgar, A.(2012), Horizontal Distribution of Illuminance with Reference to Window Wall Ratio (WWR) in Office Buildings in Hot and Dry Climate, Case of Iran, Tehran, *Applied Mechanics and Materials*, Vols. 110-116: 72-76.

Peron, F., Canziani, R., Rossi, G.(2004), Daylight and energy performances of a new type of light pipe. *Energy and Buildings*, 36: 1163–1176.