مسئله انرژی، نور خورشید، سیستم‌های پیشرفته روشنایی روز و نقش آن در کاهش انرژی مصرفی در ساختمان‌ها

نویسندگان: مجید کرمانی زاده



چکیده: هدف از ارائه این نوشتار نشان دادن اهمیت مسئله انرژی در سال‌های آینده و نیاز به استفاده از انرژی خورشیدی ازجمله به شکل نور خورشید، جهت تأمین روشنایی طبیعی و بهینه، در داخل ساختمان‌ها، با استفاده از انواع سیستم‌های پیشرفته روشنایی روز می‌باشد. به‌این‌ترتیب مقدار انرژی مصرفی ساختمان‌ها در روز هنگام که به‌منظور ایجاد روشنایی داخل بنا بکار می‌رود و بخش مهمی از انرژی مصرفی ساختمان‌ها را شامل می‌شود، به‌طور چشمگیری کاهش پیدا می‌کند.

۱- مقدمه

از سال‌های نخستین دهه هفتاد میلادی با هشدارهای مجامع علمی بین‌المللی در مورد کمبود سوخت، بحران انرژی و مشکلات انتشار کربن و گرمایش جهانی و مسائل ناشی از سایر آلودگی‌های سوخت‌های موجود، تلاش در ابعاد گوناگون برای شناخت و استفاده از سایر منابع انرژی سالم و تجدید پذیر طبیعی، نظیر انرژی آب و باد و زمین گرمائی و...انرژی خورشید شروع شد.

برای ترسیم نمای کلی از وضعیت انرژی‌های تجدید ناپذیر جهانی اطلاعاتی به شرح زیر ارائه می‌شود:

کل ذغال سنگ شناخته‌شده و قابل استحصال کنونی جهان برابر ۸۹۱۵۳۰ میلیون تن می‌باشد.

کل نفت خام شناخته‌شده و قابل استحصال کنونی جهان برابر ۱۶۵۵ میلیارد بشکه می‌باشد.

کل گاز طبیعی شناخته‌شده و قابل استحصال کنونی جهان برابر ۲۵۰ تریلیون مترمکعب می‌باشد.

کل اورانیوم شناخته‌شده و قابل استحصال کنونی جهان برابر ۵/۹ میلیون تن می‌باشد.

میزان انرژی متوسط، حاصل از این سوخت‌ها، به ترتیب زیر می‌باشد:

هر میلیون تن ذغال سنگ،9 Twh انرژی تولید می‌کند.

هر میلیون مترمکعب گاز طبیعی،11.95 Gwh انرژی تولید می‌کند.

هر هزار بشکه نفت خام،2.2 Gwh انرژی تولید می‌کند.

هر تن اورانیوم،240 Gwh انرژی تولید می‌کند.

با توجه به اطلاعات فوق اگر کل سوخت‌های شناخته‌شده و قابل استحصال جهان تبدیل به انرژی مفید شوند، مقدار انرژی حاصل به ترتیب زیر خواهد بود:

کل انرژی حا صل از م صرف تمامی ذغال سنگ شناخته شده و قابل استحصال جهان برابر:7924717 Twh =891530*9Twh خواهد بود.

کل انرژی حاصل از مصرف تمامی گاز طبیعی شناخته‌شده و قابل استحصال جهان برابر:2987500 Twh =250*1000000*11.95 Gwh خواهد بود.

کل انرژی حاصل از مصرف تمامی نفت خام شناخته‌شده و قابل استحصال جهان برابر ۱۶۵۵ *1000000*2.02 Gwh = 3641000 Twh: خواهد بود.

www.daneshkahroba.ir

کل انرژی حاصل از مصرف تمامی اورانیوم شناخته‌شده و قابل استحصال جهان برابر:1416000 Twh = 5900000*240 خواهد بود.

۱- ذغال سنگ 7924717Twh/130000 Twh =60

یعنی کل ذغال سنگ شناخته‌شده و قابل استحصال فقط تکافوی مدت ۶۰ سال مصرف انرژی جهانی را می‌دهد. (بر اساس معاهدات و مقررات بین‌المللی، استفاده از این سوخت باید به‌شدت محدود شود.)

۲- گاز طبیعی 2987500Twh/130000 Twh =23

یعنی کل گاز طبیعی شناخته‌شده و قابل استحصال فقط تکافوی مدت ۲۳ سال مصرف انرژی جهانی را می‌دهد.

۳-نفت خام 3641000Twh/130000 Twh =28

یعنی کل نفت خام شناخته‌شده و قابل استحصال جهان اگر جهت تأمین کل انرژی مصرفی جهان صرف شود، فقط ۲۸ سال تکافو خواهد کرد.

۴-اورانیوم 1416000Twh/130000 Twh =11

و اگر کل اورانیوم شناخته‌شده و قابل استحصال جهان جهت تأمین کل انرژی مصرفی جهان صرف شود، فقط به مدت ۱۱ سال مصرف انرژی جهان را بسنده می‌کند.

این اطلاعات از منابع زیر استخراج‌شده‌اند:

۱. Golobal energy statistical year book 2015
۲. 2014 key world energy statistics
۳. E.I.A (US. Energy information administration)
۴. WNA (world nuclear association)
۵. IEA(International energy agency)
۶. World Energy Resources 2013

با توجه به اطلاعات فوق، نیاز به جایگزینی جدی سوخت‌های فسیلی و هسته‌ای، با یک انرژی سالم و مطمئن و تجدید پذیر با منابع غنی و تمام‌نشدنی کاملاً مشهود است.

از بین انرژی‌های تجدید پذیر طبیعی، نظیر انرژی خورشید، آب، باد، زمین گرمائی و...، انرژی خورشید که درواقع بی‌پایان و رایگان و در همه‌جا در دسترس می‌باشد، از اهمیت خاصی برخوردار است.

مقدار کل انرژی که از خورشید به زمین می‌رسد، سالانه 1070300000Twh می‌باشد و مقدار مصرف کل انرژی سالانه جهانی در تمام اشکال مختلف آن با توجه به مطالب اخیرالذکر اگر 150000Twh در نظر گرفته شود، در این صورت اگر فقط یک ساعت در سرتاسر سال انرژی خورشید به‌طور مفید استحصال شود، کل مصرف انرژی سالانه بشر را تکافو خواهد کرد و چون یک‌هشتم مصرف کل انرژی جهانی به‌صورت الکتریکی می‌باشد. اگر در سرتاسر سال فقط چند دقیقه انرژی‌ای که از خورشید به زمین می‌رسد استحصال شود، برای کل مصرف انرژی الکتریکی سالیانه بشر بسنده خواهد کرد.

این آمار جهت تأکید به کمبود انرژی‌های غیرقابل بازیافت (انرژی فسیلی و مواد رادیواکتیو) و نیز اشاره به فراوانی، دسترس‌پذیری و رایگان بودن انرژی خورشید، این انرژی لایزال و اهمیت استفاده از آن برای تأمین انرژی موردنیاز و تأمل و تلاش در استفاده‌ی هوشمندانه از این موهبت خداداد، ارائه‌شده است. بخصوص که کشور ما نیز در منطقه‌ای از جهان قرار دارد که این نعمت به‌وفور و در اکثر روزهای سال و به مدت طولانی، در عرض روز در دسترس می‌باشد.

به شرحی که گذشت، در حال حاضر، در جهان سالانه 170000Twh انرژی در اشکال مختلف آن مصرف می‌شود. یک‌هشتم این انرژی یعنی حدود ۲۱۲۵۰Twh ، به شکل انرژی الکتریکی مصرف مشود. ۲۰٪ این مقدار نیز یعنی حدود ۴۲۵۰ Twh، جهت تأمین روشنایی ساختمان‌ها بکار می‌رود. بر اساس تحقیقات انجام‌گرفته پیک مصرف انرژی الکتریکی در اکثر ساختمان‌ها حدود نیمروز یعنی زمانی که بیشترین مقدار روشنایی از خورشید قابل استحصال می‌باشد، اتفاق می‌افتد. طبق همین تحقیقات در صورت استفاده مناسب از نور روز، ۳۰٪ الی ۷۷٪ (بسته به نوع کاربری ساختمان)، از انرژی مصرفی الکتریکی در روشنایی ساختمان‌ها، در روز هنگام را می‌توان صرفه‌جوئی کرد. بامنظور نمودن مقدار کاهش انرژی سیستم‌های تهویه، ناشی از کاهش حرارت ایجادشده، توسط روشنایی الکتریکی، حداقل ۲۰٪ از کل مصرف انرژی الکتریکی روزانه ساختمان‌ها کاسته می‌شود. یعنی سالانه امکان صرفه‌جویی حدود ۸۵۰Twh از مصرف انرژی، فراهم می‌شود. با در نظر گرفتن قیمت متوسط جهانی هر کیلووات ساعت برق که حدود ۲۰ سنت می‌باشد، میزان صرفه‌جویی حاصل، سالانه حدود ۱۷۰ میلیارد دلار (۱۷۰۰۰۰۰۰۰۰۰ دلار) خواهد بود. این آمار صرفاً برای نشان دادن پتانسیل و اهمیت اقتصادی استفاده بهینه از روشنایی روز در داخل ساختمان‌ها ذکر می‌شود.

۲- روشنایی داخل ساختمان

تلاش‌های جهانی در زمینه بهبود مصرف انرژی در داخل ساختمان‌ها، به معرفی و تبیین استراتژی‌های جامع برای بهره‌وری ساختمان‌ها ازنظر مصرف انرژی- که در حال حاضر چهل درصد کل مصرف جهانی انرژی را شامل می‌شود- منجر شده است. طراحی ساختمان‌های مطمئنsustainable ، معماری مناسب با محیط و استفاده بهینه از نور روز در داخل ساختمان‌ها، ازجمله این راهکارهای استراتژیکی می‌باشند. استفاده از نور و روشنایی روز در داخل ساختمان‌ها علاوه بر اینکه موجب کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها می‌شود، باعث راحتی و آسایش ساکنین و سالم‌سازی محیط داخل ساختمان نیز خواهد بود. سیستم‌های پیشرفته روشنایی روز نه‌تنها عامل مهمی در بهبود کیفیت نور روز انتقالی به داخل ساختمان می‌شود؛ بلکه نقش ارزنده‌ای هم در کاهش انرژی مصرفی ساختمان‌ها بازی می‌کند.

در این نوشتار نخست اهمیت روشنایی روز* ازنقطه‌نظر معماری توضیح داده می‌شود. سپس انواع سیستم‌های پیشرفته روشنایی طبیعی که امروزه مورداستفاده قرار می‌گیرند، با ذکر مشخصات آن‌ها طبقه‌بندی می‌شوند. باید توجه داشت که برخی از این سیستم‌ها کاملاً جدید بوده و هنوز استفاده از آن‌ها همه‌گیر نشده است و تحقیقات زیادی جهت افزایش کارایی و بهینه‌سازی آن‌ها در دست اقدام می‌باشد.

۲-۱- روشنایی و معماری

برای درک بهتر رابطه بین روشنایی، معماری و اهمیت نور برای زندگی بشر، خاطرنشان می‌شود که هفتاد درصد ادراکات و محسوسات بشری توسط چشم و از طریق نور حاصل می‌شود.

گفتنی است احساس و ادراک بشر وابسته به نور است. در حقیقت به‌وسیله نور و روشنایی است که انسان معماری و ظرایف آن را تجربه و احساس می‌کند. نور کلید کشف واقعیات است. چشم‌ها فضا و اشکال و بافت و رنگ را تشخیص می‌دهند.

۲-۲- نقش روشنایی روز در معماری

می‌گویند تاریخ معماری تاریخ تلاش بشر برای انتقال نور به داخل بناها می‌باشد. تا قبل از قرن هیجده که بشر شروع به استفاده از گاز طبیعی برای روشنایی داخل ساختمان کرد؛ و قرن نوزده که انرژی الکتریکی را برای این منظور بکار گرفت، روشنایی روز مهم‌ترین منبع نور بوده است. از بناهای طاق دار قدیمی تا قصرهای شیشه‌ای قرن نوزدهم تمام تغییرات در معماری و ساخت‌وسازها، نشانگر تلاشی برای انتقال بهتر و بیشتر روشنایی روزبه داخل ساختمان‌ها بوده است.

از شروع قرن بیستم و با دسترسی فراوان، آسان و ارزان به انرژی الکتریکی، نور مصنوعی به‌طور گسترده و همه‌گیر در روشنایی ساختمان‌ها بکار رفت. باکمال تأسف در استفاده از نور مصنوعی به‌ویژه در ساختمان‌های تجاری راه افراط در پیش‌گرفته شد. به‌طوری‌که دیگر روشنایی حاصل از انرژی الکتریکی جهت تکمیل و رفع کمبود روشنایی روز در داخل ساختمان‌ها، مورداستفاده قرار نگرفت، بلکه جایگزین نور طبیعی و موجب حذف روشنایی روز در داخل ساختمان‌ها گردید. به‌ویژه با تلفیق تکنولوژی‌های جدید در بکار گیری روشنایی الکتریکی و سیستم تهویه مطبوع، انعطاف‌پذیری و توانائی فراوانی در طراحی فضاهای ساختمان حاصل شد؛ و این دستاوردها، امکان طراحی ساختمان‌ها را مستقل از محیط بیرون و روشنایی طبیعی کاملاً فراهم نمود. روش‌های جدید معماری و استفاده مداوم و بی‌ملاحظه از برق موجب افزایش مصرف انرژی در ساختمان‌ها نیز شد.

این رویکرد ادامه یافت؛ و فقط بعد از بحران انرژی در دهه هفتاد قرن بیستم بود که پتانسیل و امکان استفاده از نور روز و اساساً استفاده از نور خورشید مجدداً موردتوجه قرار گرفت. با استفاده بهینه و کارآمد از نور طبیعی، به مقدار قابل‌توجهی از مصارف انرژی، در بخش روشنایی و سرمایش و گرمایش ساختمان‌ها کاسته می‌شود.

*روشنایی روز یا day lighting و sky lighting امروزه یکی از گرایش‌ها و زمینه‌های مهم علمی و تحقیقی در معماری ساختمان‌ها می‌باشد؛ روشنایی روز اساساً غیر از مبحث روشنایی خورشیدی solar lighting- نظیر سیستم‌های فتوولتائیک و انواع نیروگاه‌های خورشید (concentrated solar power) می‌باشد؛ و در طبقه‌بندی شاخه‌های مختلف انرژی‌های خورشیدی solar (energy) نظیر گرم‌کن‌های خورشیدی، دودکش خورشیدی، پمپ خورشیدی، توربین خورشیدی و... نیز قرار نمی‌گیرد؛ بنابراین، بررسی این نوع کاربردهای انرژی خورشیدی هدف این نوشتار نمی‌باشد.

بر اساس مطالعات به‌عمل‌آمده، میزان انرژی مصرفی در بخش روشنایی ساختمان‌های مسکونی حدود ۲۰ درصد و در ساختمان‌های تجاری و خدماتی حدود ۶۰ درصد کل مصرف انرژی را شامل می‌شود. شایان‌ذکر است که امروزه در ساختمان‌های

www.daneshkahroba.ir

تجاری، بیشترین مقدار مصرف انرژی روشنایی در روز هنگام که کسب‌وکار جریان دارد، یعنی موقعی که خورشید در وسط آسمان بوده و بیشترین مقدار انرژی مصرفی از نور طبیعی قابل تأمین است، اتفاق می‌افتد. این موضوع اهمیت استفاده بهینه از نور روز در داخل ساختمان‌ها و پتانسیل کاهش انرژی مصرفی ساختمان‌ها در این بخش را کاملاً برجسته می‌کند. بعلاوه، با مطالعات متفاوت و متعدد انجام‌یافته در شرایط و مناطق مختلف، معلوم شده است: در صورت استفاده از نور روز و نور طبیعی، مقدار انرژی مورداستفاده در سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی این ساختمان‌ها نیز به‌طور قابل‌توجهی تقلیل می‌یابد، کیفیت روشنایی داخل ساختمان‌ها بهبود پیدا می‌کند، تولید دی‌اکسید کربن و مسائل زیست‌محیطی ناشی از آن کاهش پیدا می‌کند و نور باکیفیت بهتر، سالم‌تر باعث بهبود کیفیت معیشت، کمتر شدن مشکلات و تنش‌های روحی و جسمی، بهبود در کسب‌وکار، ایجاد راندمان کاری و افزایش بازده آموزشی و..... می‌شود. نور خورشید به ۴ حالت سوخت خورشیدی، حرارتی، الکتریکی و مستقیماً به‌صورت نور طبیعی خورشید قابل‌استفاده است. بازده تبدیل انرژی در شرایط فعلی و با توجه به تکنولوژی‌های موجود به ترتیب برای سوخت خورشیدی ۱۰٪، برای انرژی حرارتی خورشیدی ۲۲/۵٪، انرژی الکتریکی خورشیدی ۳۰٪ می‌باشد، ولی بازده نور طبیعی در سیستم‌های روشنایی پیشرفته بیشتر از ۷۰٪ است؛ که با توجه به هزینه‌های بالای تکنولوژی‌های تبدیل انرژی خورشیدی، امتیاز استفاده از سیستم‌های روشنایی طبیعی و نور روز که موضوع اصلی این نوشتار است، بیشتر مشخص می‌شود.

۲-۳- دسترسی به نور روز و شرایط اقلیمی و محیطی

مقدار و شدت روشنایی روز در آسمان پیوسته یکسان و یکنواخت نمی‌باشد. یکی از دلایل اصلی این اختلاف حرکت خورشید بسته به ساعت روز و فصل سال می‌باشد. شرایط جوی و اقلیمی نیز از عوامل هستند که در تغییرات روشنایی روز تأثیر دارند. وقتی آسمان ابری و هوا پر از ابرهای سیاه است در این صورت عملاً خورشید دیده نمی‌شود، ولی شدت روشنایی در حدود ۵۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ لوکس است. در شرایطی که آسمان صاف و هوا آرام است شدت روشنایی حدود ۶۰۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ لوکس می‌باشد.

شرایط جغرافیایی و منطقه‌ای نیز تأثیر به سزایی در مقدار و دسترس‌پذیری روشنایی روز دارد. مثلاً ارتفاع منطقه تأثیر مستقیمی در مدت‌زمان دسترسی به نور روز دارد، موقعیت ساختمان نیز حائز اهمیت فراوان است. طراحی ساختمان در اشکال مناسب و در جهت درست باعث می‌شود که نور بیشتری وارد ساختمان شود. توجه و رعایت این نکات موجب کاهش مصرف انرژی و آسایش ساکنین ازنقطه‌نظر روشنایی و تهویه مطلوب و بهداشت روانی می‌شود. شیب زمین و وضعیت ریخت‌شناسی محیط نیز در نحوه نورگیری فضای داخل ساختمان از روشنایی روز مؤثر می‌باشد. با توجه به این موارد، به‌ویژه در بخشی که کشور ما قرارگرفته است، در اکثر روزهای سال و در طول روز، نور طبیعی قابل‌ملاحظه‌ای وجود دارد که باید ماهرانه و با در نظر گرفتن موارد ارگونومیکی و به‌صورت مؤثر، آن را به داخل ساختمان، مخصوصاً به اعماق بنا، قسمت‌های داخلی و نقاط غیرقابل‌دسترس، منتقل کرد.

۲-۴- جنبه‌های فیزیکی و اثرات نور

مشخصات روشنایی را از دو جنبه فیزیکی و اثرات آن، می‌توان بررسی و ارزیابی کرد. نور محدوده‌ای از تشعشعات الکترومغناطیسی می‌باشد که چشم انسان توانائی احساس آن‌ها را دارد. تصور ما از فضا، طبیعت، بناها و .... اساساً نتیجه بازتاب نور در سطوح مختلف می‌باشد. برای ارزیابی و تشخیص کیفیت و مقدار نور ورودی به داخل ساختمان، عوامل و ویژگی‌های چندی در نظر گرفته می‌شود. اصلی‌ترین ویژگی در تعیین مقدار نور و روشنایی در طراحی ساختمان، سطح شدت روشنایی و ضریب روشنایی روز هستند.-ضریب روشنایی روز DF(daylighting factoer) نسبت شدت روشنایی در یک نقطه مشخص، در داخل ساختمان به‌شدت روشنایی هم‌زمان در خارج از ساختمان، در خط افق و بدون مانع دید، می‌باشد.- با این ویژگی‌ها مقدار نور داخل ساختمان را می‌توان تعیین کرد، اما آسایش و راحتی نوری ساختمان به کیفیت نور داخل ساختمان بستگی دارد. کیفیت نور نشانگر نحوه توزیع و یکنواختی روشنایی داخل ساختمان می‌باشد. توزیع یکنواخت نور می‌تواند مانع خیرگی و تضاد نوری (Contrast) شدید داخل ساختمان‌ها باشد. با توجه به موارد مذکور، روشنایی نور روز در داخل ساختمان، وقتی دارای کیفیت و کمیت مطلوب خواهد بود که هم‌شدت روشنایی لازم را برای کاربردهای مختلف فراهم آورد و هم یکنواختی توزیع نور، مطلوب باشد تا موجب خیرگی و تضاد نوری آزاردهنده نشود.

۲-۵- خط‌مشی‌های روشنایی روز

برای اینکه روشنایی روز داخل ساختمان‌ها بسته به نوع و کاربرد و موقعیت ساختمان، دارای کیفیت و کمیت مطلوب باشد، باید

www.daneshkahroba.ir

قبل از طراحی، خط و مشی‌های اصلی روشنایی روز را موردتوجه و مداقه قرارداد؛ و مناسب‌ترین راهکار بسته به شرایط و کاربری را برای ساختمان برگزید.

در طراحی روشنایی روز داخل ساختمان‌ها، علاوه برآسایش بصری، باید مطلوبیت دمای محیط و نیز میزان مصرف انرژی در داخل ساختمان مدنظر قرار گیرد. اولین، ساده‌ترین و عملی‌ترین موضوعی که در طراحی ساختمان باید منظور شود، افزایش کارایی و بهره‌وری و کاهش تلفات حرارتی، در داخل ساختمان می‌باشد. که یکی از عوامل تأثیرگذار، انتخاب مناسب نوع، مشخصات و طرز استقرار شیشه‌های بکار رفته حاصل می‌باشد. موضوع بعدی، کاهش انرژی مصرفی ساختمان، با تقلیل و یا حذف نور مصنوعی در داخل ساختمان در روز هنگام و به حداقل رساندن بار مصرفی سیستم تهویه الکترومکانیکی از طریق کاهش نیازهای سرمایشی و گرمایشی ساختمان می‌باشد.

به‌این‌ترتیب، توجه به جهت قرار گرفتن ساختمان، شکل آن، فضاهای داخلی ساختمان، رنگ‌های مورداستفاده، نورگیری ساختمان از پهلو یا سقف (استفاده از نور روز عمودی یا مایل) و... ازجمله موارد اساسی هستند که بایستی در مطالعات استفاده از روشنایی روز و نور طبیعی و گزینش راهکارهای مناسب، مدنظر قرارداد.

۳- سیستم‌های پیشرفته‌ی روشنایی روز

سیستم‌های پیشرفته و نوآورانه روشنایی روز در داخل ساختمان‌ها، ابزار کارآمدی برای بهبود کیفیت نور روز در داخل ساختمان می‌باشند و استفاده مناسب از آن‌ها، به کاهش مصرف انرژی در داخل ساختمان، کمک شایانی می‌کند.

با بکار گیری این سیستم‌ها، کیفیت و نحوه توزیع نور روز در داخل ساختمان بهبود پیدا می‌کند و باعث انتقال نور روز به عمق و مرکز ساختمان مشود؛ و محدودیت دسترسی به نور طبیعی در داخل ساختمان را تا حدودی از بین می‌برد. برای رعایت آسایش بصری ساکنان و جلوگیری از خیرگی در داخلی ساختمان باید، بسته به نوع کاربری ساختمان، در عین انتقال بیشترین مقدار نور روز به داخل ساختمان، در مقابل تابش مستقیم نور خورشید به نحوی مانع ایجاد شود.

روش‌های مختلفی برای دسته‌بندی سیستم‌های پیشرفته نور روز وجود دارد. ازجمله روش‌های متداول، توجه به مشخصات عملکردی سیستم‌های روشنایی روز می‌باشد. با این رویکرد، سیستم‌های نور روز معمولاً به سه دسته زیر تقسیم می‌شوند:

سیستم‌های بازتاب‌دهنده نور خورشید (reflector systems)

پنجره‌های با اجزای ترکیبی یا مینیاتوری (integrated window element)

سیستم‌های انتقال‌دهنده نور (light transport systems)

منابع

[1] Ben Stein, John S. Reynolds. “Mechanical and Electrical Equipment for Buildings”, Ninth Edition. Copyright © 2000

[2] Brown, G.Z. “Sun, Wind, and Light: Architectural Design Strategies”. Copyright © 1985by John Wiley & Sons, Inc.

[3] L.O. Beltr ل n, E.S. Lee, and S.E. Selkowitz. “Advanced Optical Daylighting Systems: Light Shelves and Light Pipes”. Journal of the Illuminating Engineering Society. Berkley, CA. Winter 1997

[4] Lorne A. Whitehead and Kristin Hoffmann. “ Method for Estimating the Efficiency ofPrism Light Guide Luminaires”. Journal of the Illuminating Engineering Society. Vancouver, BC. Summer 1998

[5] Moeck, M. “On Daylight Quality and Quantity and Its Application to Advanced DaylightSystems”. Journal of the Engineering Society. Lawrence, KS. Winter 1998

[6] Szokolay, V. Steven. “Introduction to Architectural Science: The Basis of SustainableDesign”. Copyright © 2004 by Steven Szokolay.

[7] Whitehead, A. Lorne. “New Simplified Design Procedures for Prism Light GuideLuminaires”. Journal of the Illuminating Engineering Society. Vancouver, BC. Summer1998

[8] W.J. M. van Bommel, G.J. van den Beld: Lighting for Work: Visual andBiological Effects, Philips Lighting, The Netherlands, April 2003. Lange, H.: Handbuch für Beleuchtung, SLG, LiTG, LTG, NSVV, 5. Auflage (1999).

[9] Berson, D.M., Dunn, F.A., Motoharu, Takao: Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock, Science, February 8, (2002).

[10] Rea, M.S.: Licht – Mehr als nur Sehen, Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY, USA.

[11] http:/www.lrc.edu/programs/lightHealth/pdf/moreThanVision.pdf)

[12] IEA International Energy Agency: Daylight in Buildings, A Source Book onDaylighting and Systems and Components. A Report of IEA SHC Task 21, 2000.

[13] Müller, H.F.O., Emembolu, A., Oetzel, M., Schuster, H., Soylu, I.: Sonnenschutz und Tageslicht in Büror ن umen, in: Bauphysik-Kalender 2005, Hrsg. E. Cziesielski, Ernst & Sohn, Berlin.

[14] Wagner; D., Müller, H. e.a.: Holographical Optical Elements (HOE) for High Efficiency Illumination, solar control and Photovoltaic Power in Buildings Final Report, EU- Contract No.: ENK6-CT-2000-00327. Brussels 2004.

[15] R mhild, T., Jentsch, M.: Holographical Optical Elements, University ofTechnology, Business and Design, Wismar, Feb. 2004.

[16] W. Menz, J. Mohr, O. Paul, "Microsystem Technology", Wiley-VCH, 2001.

[17] G. Walze, „Mikrostrukturierte Oberfl ن chen in Kombination mit optischen Schaltungsmechanismen zumTageslichtmanagement", doctoral dissertationat Albert-Ludwigs university Freiburg, Germany, 2005.

[18] P. Nitz, A. Gombert, B. Bl ن si, G. Walze, 2007, „Verglasungen mitmikrostrukturierten optisch-funktionalen Komponenten", OstbayerischesTechnologie-Transfer-Institut e.V. -OTTI-, Regensburg: 13.Symposium „Licht und Architektur", 2007.

[19] BAHAJ, AbuBakr S.; JAMES, Patrick A.B.; JENTSCH, Mark F. – "Potential of emerging glazing technologies for highly glazed buildings in hot arid climates". Energy and Buildings, 40, 2008, pp. 720–731

[20] BAKER, Nick; STEEMERS, Koen – Daylight Design of Buildings. Londres: James & James, 2002.

[21] HOPKINSON, R. G.; PETHERBRIDGE, P. e LONGMORE, J. – Iluminaçao Natural. 2a Ediçao. Lisboa:

www.daneshkahroba.ir