بهبود کیفیت و هوشمندسازی روشنایی کلاس‌های درس: مطالعات تئوری و پیاده‌سازی آن در دانشگاه صنعتی قوچان

نوع مطالعه: پژوهشی

جواد مدرسی[1]، استادیار مهندسی برق، سید حسین میرقاسمی[2]، دانش‌آموخته کارشناسی

۱- گروه مهندسی برق- دانشگاه صنعتی قوچان - قوچان- ایران
j.modarresi@qiet.ac.ir
۲- گروه مهندسی برق- دانشگاه صنعتی قوچان- قوچان- ایران
s.hmirghasemi3364@gmail.com

چکیده: روشنایی مطلوب یکی از مهم‌ترین عوامل بهینه‌سازی شرایط فیزیکی اماکن از جمله محیط‌های آموزشی است. هدف از این مقاله ارزیابی روشنایی محیط‌های آموزشی بر اساس استانداردهای جهانی و هوشمندسازی روشنایی کلاس‌های درس است. برای این منظور، کلاس‌های ساختمان A دانشگاه صنعتی قوچان با استفاده از نرم‌افزار دیالوکس شبیه‌سازی شده و مواردی همچون شدت روشنایی، چشم‌زدگی، مصرف انرژی و یکنواختی نور بر روی سطح میزهای دانشجویان مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی و اندازه‌گیری عملی نشان می‌دهد که تقریباً تمامی کلاس‌های این ساختمان از لحاظ چشم زدگی، یکنواختی و مصرف انرژی شرایط مطلوبی ندارند. برای رفع این مشکلات، یک روش ابتکاری برای نورپردازی کلاس‌های درس با در نظر گرفتن، روشنایی مناسب بر روی صندلی دانشجویان و تخته‌ی وایت برد، عدم چشم زدگی دانشجویان و یکنواختی روشنایی ارائه می‌شود. علاوه‌براین، یک سیستم روشنایی هوشمند با استفاده از سنسورهای حرکت برای کلاس‌ها طراحی می‌شود. این سیستم در صورت عدم حضور دانشجویان و اساتید در کلاس درس لامپ‌های کلاس را خاموش کرده و باعث صرفه‌جویی در مصرف می‌شود. نتایج حاصل از شبیه-سازی و پیاده‌سازی عملی کارآمدی روش پیشنهادی را تأیید می‌کنند.

واژه های کلیدی: چشم زدگی، شدت روشنایی، کلاس درس، نورپردازی هوشمند

تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۹۹/۰۳/۰۱

تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۹۹/۱۰/۱۶

نام نویسنده‌ی مسئول : جواد مدرسی

نشانی نویسنده‌ی مسئول : گروه مهندسی برق، دانشگاه صنعتی قوچان، قوچان، ایران

۱- مقدمه

حس بینایی مهم‌ترین و حیاتی‌ترین حس انسان به شمار می‌رود. انسان به کمک حس بینایی بیشترین اطلاعات و یافته‌های خود را از محیط به دست می‌آورد. دید خوب، به روشنایی کافی نیاز دارد. کمبود یا ازدیاد نور می‌تواند موجب ناراحتی‌های گوناگون، مانند خستگی چشم، سردرد، نقص بینایی، چشم زدگی، خستگی جسمی و اثرات روانی شود [۱]. روشنایی تأثیرات زیادی بر روی انسان از قبیل تأثیر بر میزان هوشیاری، دمای بدن و الگو خواب دارد [۲, ۳]. هر اندازه وظایف شغلی فرد دقیق‌تر و ظریف‌تر باشد، توجه به میزان روشنایی محیط کار مهم‌تر خواهد بود. علاوه براین، نور بر روی احساسات انسانی تأثیر گذار بوده و می‌تواند از افسردگی جلوگیری نماید [۴-۶].

طراحی روشنایی مطلوب از اهمیت بالایی برخوردار است. از جمله این موارد می‌توان به کمک و تسهیل در انجام کار، ایجاد یک محیط مناسب برای فرد، کاهش حوادث احتمالی در محیط کار، از بین بردن عوارض و استرس روانی، کاهش بیماری یا ناراحتی‌های چشمی و افزایش بهره‌وری اشاره کرد [۷, ۸]. از جمله ویژگی‌هایی که یک روشنایی خوب می‌بایست داشته باشد این است که نور باید دارای توزیع فرکانس مطلوب باشد، درخشندگی سطوح طوری باشد که چشم زدگی ایجاد نشود، محیط نور کافی داشته باشد و سایه وجود نداشته باشد. علاوه‌براین، مقدار مصرف انرژی الکتریکی نیز در حالت بهینه قرار داشته باشد [۹, ۱۰].

مطالعات زیادی در زمینه‌ی نورپردازی کلاس‌های درس انجام شده است. در [۱۱, ۱۲] یک سیستم روشنایی هوشمند به منظور مدیریت مصرف انرژی کلاس‌های درس پیشنهاد شده است. در [۱۳] کاهش انرژی مصرفی سیستم روشنایی در کلاس‌های درس مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور لامپ‌های فلورسنت معمولی با لامپ‌های LED جایگزین شده و از سنسورهای فتوسل برای روشن و خاموش کردن لامپ‌ها استفاده شده است. مشکلات روشنایی کلاس‌های درس در [۱۴] مورد بررسی قرار گرفته است. کمبود نور، عدم یکنواختی نور و بازتاب نور از سطح تخته‌ی وایت‌برد (چشم‌زدگی) به عنوان مشکلات کلاس‌های درس گزارش شده است. در این مقاله پیشنهاد شده است که تخته‌ی وایت‌برد به اندازه‌ی ۵ تا ۱۰ درجه زاویه‌دار شود تا مشکل چشم‌زدگی ایجاد نشود. در [۱۵] یک مطالعه‌ی آماری در مورد تاثیر لامپ‌های LED و فلورسنت بر دانشجویان انجام شده است. بازه‌ی مورد مطالعه در این مقاله چهارساله بوده و نشان داده شده است که استفاده از لامپ‌های LED حس بهتری را در دانشجویان ایجاد می‌کند. کیفیت کلاس‌های درس دانشگاه پاویا در ایتالیا با توجه به سه پارامتر گرمایش، روشنایی و صوت در [۱۶] مورد بررسی قرار گرفته است. تاثیر مقدار روشنایی بر عملکرد دانشجویان در کلاس‌های درس مختلف در [۱۷] مورد بررسی قرار گرفته است. در [۱۸] انعکاس نور آفتاب برروی تخته‌ی وایت‌برد مورد بررسی قرار گرفته است.

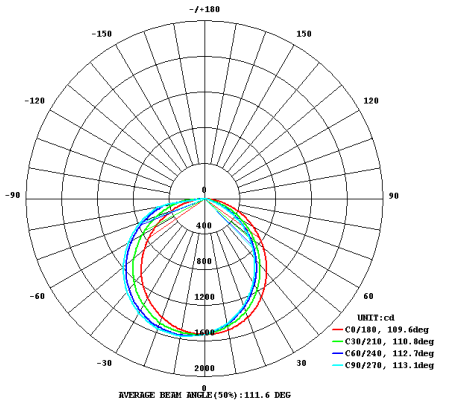
در این مقاله، ساختمان A دانشگاه صنعتی قوچان برای مطالعه انتخاب شده است. ارتفاع کلاس‌های درس در این ساختمان همانند اکثر کلاس‌های درس موجود در ایران برابر ۲/۹ متر است. این ارتفاع کم باعث ایجاد یک‌سری معایب همچون چشم‌زدگی دانشجویان از طریق تخته‌ی وایت برد و روشنایی غیر یکنواخت شده است. علاوه براین، چراغ‌های کلاس‌ها معمولاً همیشه روشن باقی می‌مانند. زیرا روشنایی هوشمند نیست و افراد حاضر در کلاس درس بعد از اتمام آن خاموش کردن لامپ‌های کلاس را فراموش می‌کنند. با توجه به بررسی انجام شده، روشی تحلیلی برای مقابله با چشم‌زدگی ناشی از لامپ‌ها در مقالات ارائه نشده است. روش ارائه شده در [۱۴] تحلیلی نبوده و قابل اعمال به همه‌ی کلاس‌ها نیست. زیرا در برخی از کلاس‌ها تخته‌ی وایت‌برد برروی دیوار کلاس اجرا شده و نمی‌توان آن را زاویه‌دار کرد. در این مقاله، یک روش تحلیلی برای مقابله با پدیده‌ی چشم‌زدگی پیشنهاد می‌شود. روش پیشنهاد شده با استفاده از قانون بازتاب نور طول مانع جلو لامپ‌ها را طوری تعیین می‌کند که لامپ‌های موجود در سقف کلاس در تخته‌ی وایت‌برد بازتاب نداشته باشند. به منظور بررسی دقیق‌تر کلاس‌های درس، ابتدا وضعیت فعلی کلاس درس در نرم‌افزار دیالوکس شبیه‌سازی شده و نتایج حاصل از شبیه‌سازی با نتایج حاصل از اندازه‌گیری عملی مقایسه می‌شود. این مقایسه نشان می‌دهد که نتایج حاصل از شبیه‌سازی به نتایج حاصل از اندازه‌گیری عملی بسیار نزدیک بوده و دقت شبیه‌سازی‌ها مورد تائید قرار می‌گیرد. سپس، معایب کلاس‌های ساختمان A با راهکارهایی همچون استفاده از لامپ‌های LED، ایجاد مانع در جلو چراغ‌ها برای جلوگیری از چشم زدگی، حذف لامپ‌های نصب شده بر روی دیوارها و استفاده از سنسور حرکت رفع می‌شود. روش‌های ارائه شده در این مقاله در کلاس ۲۰۶ ساختمان A پیاده‌سازی شده و کیفیت روشنایی با استفاده از شبیه‌سازی در نرم‌افزار دیالوکس و مشاهدات میدانی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲- منحنی پخش نور

منحنی پخش نور یا توزیع شدت نور منحنی است که برای مشخص کردن شدت نور منتشر شده توسط یک چراغ در زوایای مختلف به کار می‌رود. از آنجایی‌که بیشتر منابع نوری نقطه‌ای نیستند، بنابراین شدت نور ثابتی در جهات مختلف ندارند. در محاسبات روشنایی دانستن نحوه‌ی توزیع نور منبع اهمیت دارد. به همین دلیل، سازندگان لامپ‌های مختلف منحنی پخش نور لامپ را با استفاده از اندازه‌گیری ارائه می‌کنند. یکی از معمول‌ترین روش‌ها برای نمایش منحنی پخش نور استفاده از منحنی قطبی است. با توجه به اینکه در بسیاری از

چراغ‌ها پخش نور نسبت به محور عمود چراغ متقارن است، در نتیجه تنها یک منحنی در یکی از صفحات قائم برای مشخص شدن پخش نور کافی است. منحنی‌های قطبی به شکل خطوطی بسته در پیرامون چراغ هستند. فاصله‌ی این خطوط تا چراغ در زوایای مختلف متفاوت بوده و بیانگر شدت نور در آن زاویه است.

برای مشخص کردن پخش نور چراغ‌هایی که تقارن محوری ندارند از دو یا چند منحنی استفاده می‌شود. اگر نور چراغ خیلی متمرکز باشد، برای دقت بیشتر، به جای منحنی قطبی از منحنی‌های مستطیلی استفاده می‌شود که محور افقی آن زاویه و محور عمودی شدت نور است. بسیاری از لامپ‌ها با وجود داشتن شارهای نوری متفاوت، منحنی شدت پخش نور هم‌شکلی دارند (توزیع شدت نور آن‌ها مشابه است). با توجه به این موضوع، تنها یک منحنی پخش نور برای شار نوری ۱۰۰۰ لومن ترسیم می‌شود که برای یافتن توزیع واقعی هر لامپ باید مقادیر به دست آمده از منحنی را در ضریب مخصوص آن لامپ ضرب کرد. این ضریب به صورت نسبت شار نوری لامپ به ۱۰۰۰ لومن تعریف می‌شود. یک نمونه از منحنی‌های پخش نور در شکل (۱) نشان داده شده است. با توجه به این شکل، در زوایای بیشتر از ۸۰ درجه نسبت به خط عمود، پخش نور لامپ تقریباً برابر صفر است. یعنی در این زوایا، چراغ دارای نور مستقیم نیست.



شکل (۱): منحنی پخش نور پنل LED ۶۰×۶۰ [۱۹]

۳- استاندارد روشنایی کلاس درس

انجمن مهندسان روشنایی آمریکای شمالی (IESNA) استانداردی را برای روشنایی مکان‌های مختلف پیشنهاد داده است. این استاندارد میزان شدت روشنایی ۳۰۰ تا ۵۰۰ لوکس را برای مطالعه مناسب می‌داند [۲۰]. مطابق استانداردهای جهانی، فضاهای لازم برای کلاس‌های درس نظری ۶/۵ در ۸/۵ مترمربع است. در این کلاس‌ها که اصطلاحاً به کلاس‌های درس سنتی معروف هستند، فضای لازم برای هر دانشجو ۲ مترمربع است؛ در حالی که اگر چنین کلاسی برای کلاس‌های آزاد و هنری مورد استفاده قرار گیرد به ازای هر نفر ۴/۵ مترمربع فضا نیاز است [۲۱]. ارتفاع کلاس‌های درس باید بین ۲/۷ تا ۳/۴ در نظر گرفته شود و ایجاد هرگونه بالکن متصل به کلاس درس ممنوع است. همچنین دیوارهای کلاس تا ارتفاع ۱/۵ متر باید با سنگ پوشیده شده و بعد از آن با رنگ‌های روشن و براق رنگ شود. پوششی که در کف کلاس به کار می‌رود باید غیرقابل نفوذ بوده و لغزنده نباشد تا به راحتی قابل شستشو باشد. علاوه براین، این پوشش باید براق نباشد تا از کثیف شدن مداوم آن جلوگیری شود [۲۲].

مشخصه مهم دیگر روشنایی مطلوب درجه حرارت و یا دمای رنگ است. از ترکیب رنگ‌های مختلف با طول موج‌های متفاوت نور جدیدی تشکیل می‌شود که برای مشخص کردن این نور آن را با درجه کلوین می‌سنجند. هر چه نور ایجاد شده سفیدتر باشد، دمای بالاتری دارد و هرچه نور زردتر باشد دمای کلوین آن پایین‌تر است. نور لامپ‌ها طبق استاندارد به سه دسته تقسیم می‌شوند [۲۳]. دسته‌ی اول این لامپ‌ها آفتابی یا سفید گرم هستند. نور این لامپ‌ها دارای دمای رنگ کمتر از ۳۳۰۰ کلوین است و باعث ایجاد گرمی و آرامش در محیط می‌شود. رنگ نور این لامپ‌ها مشابه لامپ‌های التهابی است. این لامپ‌ها برای محیط‌هایی که قرار است فرد در آن به استراحت بپردازد یا در آن احساس آرامش داشته باشد مثل هتل‌ها، بیمارستان‌ها و اتاق خواب مناسب است. دسته دوم لامپ‌ها سفید خنثی یا سفید سرد هستند. دمای رنگ آن‌ها بین ۳۳۰۰ تا ۵۰۰۰ کلوین است رنگ نور آن‌ها بین آفتابی و مهتابی قرار دارد. رنگ نور این لامپ‌ها مشابه لامپ‌های فلورسنت با نور سفید خنثی است. این لامپ‌ها برای محیط‌های کار نظیر کارگاه‌ها، دفاتر اداری، نمایشگاه‌ها، سالن‌های ورزشی، سالن‌های انتظار، بانک‌ها، مراکز آموزشی و نیز آشپزخانه‌ها ایده‌آل است. دسته‌ی سوم لامپ‌ها مهتابی یا نور روز هستند. این لامپ‌ها نوری با دمای رنگ بالاتر از ۵۰۰۰ کلوین تولید می‌کنند و برای تأمین روشنایی اماکنی که به روشنایی زیاد نیاز دارند بسیار مناسب هستند. رنگ نور این لامپ‌ها مشابه لامپ‌های فلورسنت مهتابی است. سوپر مارکت‌ها، فروشگاه‌ها، صنایع تولیدی و کارخانه‌ها می‌توانند از این لامپ‌ها استفاده نمایند [۲۴].

ملزومات طراحی روشنایی در محیط آموزشی شباهت زیادی به محیط‌های اداری دارد. با این حال، یک سری نکات به صورت خاص برای محیط‌های آموزشی باید در نظر گرفته شود. برای محیط‌های آموزشی نور سفید سرد (دمای ۴۰۰۰ کلوین) و حداقل نمود رنگ ۸۰٪ مناسب است. استفاده از نورهای گرم باعث خواب آلودگی افراد شده و نورهای سرد باعث خستگی اعصاب چشم می‌شوند.

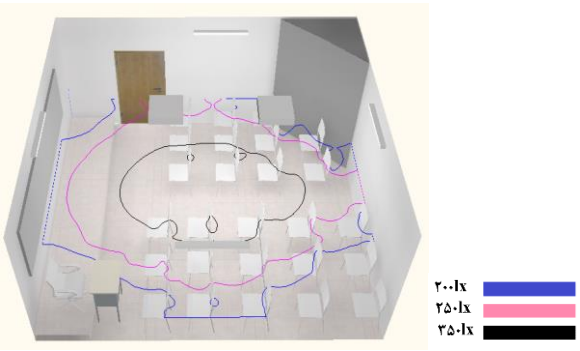
۴- بررسی ساختمان A دانشگاه صنعتی قوچان

لامپ‌های استفاده شده در کلاس‌های این ساختمان از نوع لامپ‌های فلورسنت FPL است. این لامپ‌ها بازده نوری پایینی دارند. به طوری‌که با توان ۲۴W شار نوری تولیدی آن‌ها ۱۷۰۰ لومن است. علاوه بر این، نور بازتاب شده از سطح تخته‌ی وایت برد باعث ایجاد چشم زدگی در دانشجویان می‌شود. چشم زدگی نتیجه وجود روشنایی بیش از حد در یک ناحیه است و باعث دیده نشدن مطالب روی تخته می‌شود. این پدیده در شکل (۲) نشان داده شده است. عواملی همچون استفاده از

چراغ نامناسب، موقعیت قرارگیری نامناسب چراغ یا پنجره و ضریب انعکاس زیاد سطوح می‌توانند بر روی چشم‌زدگی تأثیر بگذارند [۲۴]. تخته‌های وایت برد موجود در کلاس‌های درس ضریب انعکاس بالایی دارند و همانند آینه عمل می‌کنند؛ یعنی هر پرتو نوری که به سطح تخته برخورد می‌کند بازتاب شده و باعث ایجاد چشم‌زدگی در دانشجویان می‌شود. در نتیجه، برخی از دانشجویان حاضر در کلاس درس، مطالب نوشته شده بر روی برخی از قسمت‌های تخته را نمی‌توانند ببینند.

شکل (۲): چشم‌زدگی بر روی تخته‌ی وایت‌برد

مشکل بعدی نورپردازی این کلاس‌ها عدم وجود روشنایی مناسب در کلاس‌ها است. همان‌طور که گفته شد، شدت روشنایی استاندارد بر روی صندلی دانشجویان باید بین ۳۰۰ تا ۵۰۰ لوکس باشد. در شکل (۳)، شبیه‌سازی کلاس ۲۰۶A با استفاده از نرم‌افزار دیالوکس نشان داده شده است. با توجه به این شکل، شدت روشنایی در بسیاری از نقاط این کلاس کمتر از ۳۰۰ لوکس است. بقیه‌ی کلاس‌ها نیز دارای وضعیتی مشابه هستند. عیب بعدی این کلاس‌ها عدم وجود سیستم روشنایی هوشمند است تا لامپ‌های کلاس را در مواقع ضروری خاموش کرده و باعث کاهش مصرف برق شود.



شکل (۳): شبیه‌سازی کلاس ۲۰۶ در نرم‌افزار دیالوکس

۵- راهکارهای رفع مشکلات نورپردازی

در این بخش، راهکارهای رفع مشکلات نورپردازی و هوشمندسازی روشنایی کلاس‌های درس ارائه می‌شود. این راهکارها شامل استفاده از لامپ‌های LED، نصب مانع در مقابل چراغ‌ها و استفاده از سنسورهای حرکت است.

۵-۱- بهبود روشنایی کلاس‌ها

به منظور افزایش بازده نوری چراغ‌ها، پیشنهاد می‌شود تا از لامپ‌های LED برای نورپردازی کلاس‌ها استفاده شود. این لامپ‌ها با توان ۴۸W شار نوری ۴۲۰۰ لومن تولید می‌کنند. استفاده از لامپ‌های LED باعث ایجاد شار نوری بیشتر با توان کمتر می‌شود. لامپ‌های LED و FPL در شکل (۴) نشان داده شده‌اند.

(ب) (الف)

شکل (۴): دو نوع لامپ: الف) لامپ FPL ب) لامپ LED

به منظور افزایش شدت روشنایی کلاس‌ها و حذف عدم یکنواختی نور، می‌توان کلاس‌ها را در نرم‌افزار دیالوکس شبیه‌سازی نموده و تعداد چراغ‌های مورد نیاز و فاصله‌ی مناسب آن‌ها را به دست آورد.

۵-۲- مقابله با چشم‌زدگی

برای حذف چشم‌زدگی باید روشی ارائه شود که توانایی خارج ساختن چراغ‌ها از محور دید تخته‌ی وایت برد را داشته باشد. برای این منظور، می‌توان ارتفاع نصب چراغ‌ها را افزایش داد. اما استفاده از این روش در کلاس‌هایی که از قبل ساخته شده‌اند امکان‌پذیر نیست. در کلاس‌های ساختمان A معمولاً از لامپ‌هایی بر روی دیوارهای عمودی نیز استفاده شده است. این لامپ‌ها نیز همانند لامپ‌های نصب شده در سقف باعث ایجاد چشم‌زدگی می‌شوند. علاوه بر این، این لامپ‌ها نور را در فضای بالای سر دانشجویان پخش می‌کنند. درحالی‌که هدف از نورپردازی تمرکز نور بر روی سطح میز دانشجویان است. به عبارت دیگر، این لامپ‌ها شدت روشنایی را در ارتفاعات بالا زیاد می‌کنند اما به سطح میز دانشجویان نور کافی نمی‌رسد. در این مقاله سه راهکار زیر برای حذف چشم‌زدگی پیشنهاد می‌شود:

۱- حذف لامپ‌های موجود بر روی دیوارهای عمودی کلاس‌ها؛

۲- زاویه‌دار کردن چراغ‌ها؛

۳- استفاده از مانع در جلو چراغ‌ها.

با توجه به مطالب گفته شده اگر تمامی لامپ‌ها بر روی سقف قرار گیرند، باز هم به علت کوتاه بودن سقف لامپ‌ها در محور دید تخته قرار می‌گیرند و بازتاب آن‌ها چشم‌زدگی ایجاد می‌کند. برای حل این مشکل می‌توان چراغ‌ها را زاویه‌دار نمود و یا یک مانع را در جلوی چراغ‌ها قرار داد. برای تعیین زاویه‌ی چراغ‌ها و یا طول مانع جلو چراغ‌ها می‌توان از قانون بازتاب نور در آینه‌های تخت استفاده نمود. همان‌طور که می‌دانیم، در آینه‌های تخت پرتو نور با هر زاویه‌ای که به آینه تابیده شود با همان زاویه بازتاب می‌کند. تخته‌ی وایت برد همانند آینه‌ی تخت نور را با هر زاویه‌ای که دریافت می‌کند با همان زاویه آن را بازتاب می‌دهد. حال اگر بخواهیم نور را از محور دید دانشجویانی که

بر روی صندلی‌ها نشسته‌اند خارج کنیم، باید پرتوهای نور بازتاب شده از سطح تخته‌ی وایت‌برد مستقیماً وارد چشم دانشجویان نشود. هر چه چراغ‌ها به تخته‌ی وایت‌برد نزدیک‌تر باشند، زاویه‌ی پرتوهای نور باید بیشتر باشد تا بازتاب نور از سطح تخته از محور دید دانشجویان خارج شود. اما اگر چراغ‌ها از حد معینی بیشتر به تخته نزدیک شوند، چراغ‌ها خود به خود از محور دید تخته خارج می‌شوند. از اینرو، به منظور اجتناب از زاویه‌دار کردن لامپ‌های نزدیک به تخته یا استفاده از مانع جلو چراغ‌ها، حداکثر فاصله‌ی ممکن از تخته که در آن لامپ‌ها در محور دید تخته قرار نمی‌گیرند محاسبه می‌شود. برای این منظور شکل (۵) را در نظر بگیرید. طبق قانون سینوس‌ها در مثلث‌های بالایی و پایینی داریم:

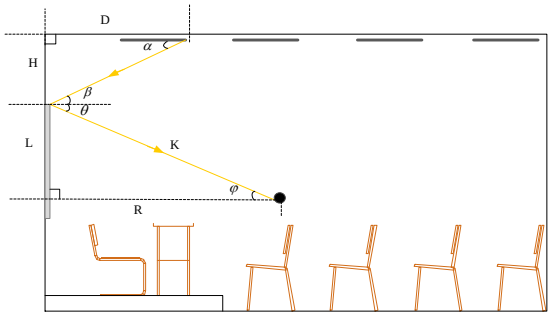
$$\frac{\sin\alpha}{H}=\frac{\sin(90-\alpha)}{D} \qquad (۱)$$

$$\frac{\sin\varphi}{L}=\frac{\sin(90)}{K} \qquad (۲)$$

با توجه به قانون بازتاب نور در آینه‌های تخت و قضیه‌ی خطوط موازی، چهار زاویه‌ی α، β، θ و φ با هم برابر هستند. با استفاده از رابطه‌ی (۱) و جایگزینی زاویه‌ی φ به جای α از رابطه‌ی (۲) داریم:

$$D=\frac{H\sqrt{K^2-L^2}}{L} \qquad (۳)$$

در این رابطه D بیشترین فاصله‌ی چراغ از دیوار عمودی است که در آن لامپ‌ها در محور دید تخته قرار نمی‌گیرند.



شکل (۵): حداکثر فاصله‌ی لامپ‌های ردیف اول از تخته

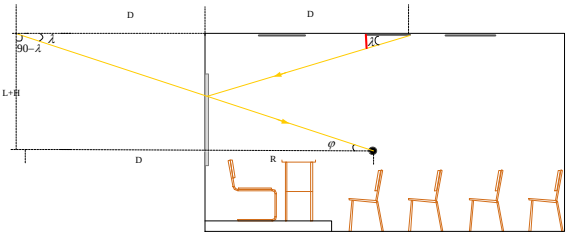
اگر فاصله‌ی چراغ‌ها از صفحه‌ی تخته‌ی وایت‌برد بیشتر از D باشد، لامپ‌ها در دید تخته قرار گرفته و ایجاد چشم‌زدگی می‌کنند. برای آنکه نور چراغ‌ها ایجاد چشم‌زدگی نکند، باید پرتو نور دریافتی تخته وایت‌برد طوری باشد که نزدیک‌ترین دانشجو به تخته قادر به دیدن چراغ در تخته‌ی وایت‌برد نباشد. برای محاسبه‌ی زاویه‌ی مناسب پرتوهای نور، همانند شکل (۶) یک مانع در جلو چراغ ردیف دوم در نظر می‌گیریم. براساس رابطه‌ی سینوس‌ها در شکل (۶) داریم:

$$\frac{\sin(90-\lambda)}{R+D}=\frac{\sin(90)}{\sqrt{(L+H)^2+(R+D)^2}} \qquad (۴)$$

در نتیجه داریم:

$$\lambda=\cos^{-1}\left(\frac{R+D}{\sqrt{(L+H)^2+(R+D)^2}}\right) \qquad (۵)$$

که λ زاویه‌ی پرتو نور تابیده شده از چراغ به سطح تخته است.



شکل (۶): محاسبه زاویه ایجاد شده در قاب لامپ‌ها

برای ایجاد این زاویه می‌توان از دو راهکار استفاده نمود. راهکار اول این است که چراغ‌های ردیف دوم به بعد همانند شکل (۷) به صورت زاویه-دار با زاویه‌ی λ نصب شوند. راهکار دوم استفاده از یک مانع همانند شکل (۶) است. طول این مانع (K) را می‌توان با داشتن طول چراغ (Y) و زاویه‌ی λ به صورت زیر محاسبه نمود:

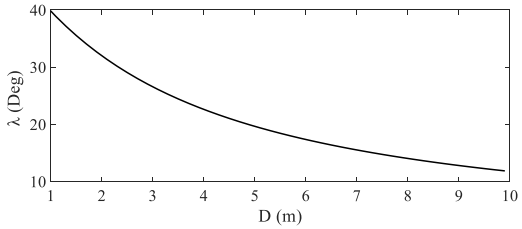
$$K=Y\times\tan\lambda \qquad (۶)$$

شکل (۷): نمایی از طرح زاویه‌دار کردن چراغ‌ها در کلاس‌ها

راه‌کار دیگر برای مقابله با چشم زدگی، استفاده از تخته‌های قدیمی است. این تخته‌ها مشکی هستند و ضریب بازتاب نور بسیار پایینی دارند. چون در اکثر کلاس‌ها از تخته‌ی وایت برد استفاده می‌شود، از این‌رو مطالعات با در نظر گرفتن تخته‌ی وایت برد انجام می‌شود. باید به این نکته نیز توجه نمود که اگر به قاب لامپ‌ها زاویه داده شود و یا از یک مانع در جلو چراغ‌ها استفاده شود، ممکن است شدت روشنایی بر روی تخته کاهش پیدا کند. برای حل این مشکل می‌توان یک لامپ بر روی تخته وایت‌برد قرار داد تا کمبود روشنایی جبران شود. اگر از یک سطح بازتاب دهنده بر روی لامپ استفاده شود، نور به‌جای پخش شدن در فضا بر روی تخته متمرکز خواهد شد. چون نور این لامپ به طور غیر مستقیم و از طریق یک بازتاب دهنده به سطح تخته می‌رسد، مشکل چشم زدگی ایجاد نمی‌شود.

در صورتی‌که لامپ‌ها و تخته‌ی وایت برد در یک راستا قرار نداشته باشند، چشم‌زدگی ایجاد نمی‌شود. اما برای اینکه غیر یکنواختی نور در سطح کلاس ایجاد نشود، معمولا مجبور هستیم تعدادی از لامپ‌ها را در راستای تخته‌ی وایت برد نصب کنیم. بنابراین، همیشه لازم است تا در مورد تعدادی از لامپ‌ها روش‌های مقابله با چشم‌زدگی را استفاده کنیم. قرار دادن مانع در جلوی لامپ‌ها باعث کاهش کیفیت روشنایی کلاس نمی‌شود. زیرا، لامپ‌های نزدیک به تخته باعث ایجاد چشم‌زدگی در بالای تخته می‌شوند و معمولا بالای تخته برای نوشتن مورد استفاده قرار نمی‌گیرد، از اینرو، می‌توان برای لامپ‌های ردیف جلو از مانع

استفاده نکرد. علاوه براین با توجه به شکل (۸)، با افزایش فاصله از تخته زاویه‌ی چراغ‌ها کاهش یافته و باعث کاهش طول مانع می‌شود.



شکل (۸): تغییرات زاویه‌ی چراغ‌ها نسبت به فاصله‌ی آنها از تخته

۵-۳- هوشمندسازی روشنایی

در این مقاله، هوشمندسازی روشنایی به معنی نصب سیستمی است که بتواند در مواقع عدم حضور استاد و دانشجو در کلاس درس چراغ‌ها را خاموش کرده و بعد از ورود دانشجویان و استاد چراغ‌ها را روشن نماید. برای این منظور، از سنسورهای حرکت که به سنسورهای راه‌پله معروف هستند استفاده می‌شود. دو نمونه از این سنسورها در شکل (۹) نشان داده شده است. در این سنسورها از حسگر امواج فروسرخ به عنوان آشکارساز اجسام متحرک به همراه یک سنسور نوری استفاده شده است. اساس کار این سنسورها به این صورت است که وقتی منبع انتشار امواج فروسرخ مانند بدن از جلوی منبع فروسرخ دیگری مانند دیوار عبور می‌کند، با دریافت دماهای متفاوت توسط حسگر، آشکارسازی صورت می‌گیرد. تا زمانی که در محدوده دید سنسور، انسان یا اجسام در حال حرکت وجود داشته باشد، مدار بسته می‌ماند و پس از دریافت آخرین حرکت و طی شدن زمان تایمر، مدار باز می‌شود. این سنسورها می‌توانند شب و روز را تشخیص دهند و با توجه به تنظیماتی که کاربر در آن انجام می‌دهد در زمان مناسب چراغ را روشن نمایند.

(ب) **(الف)**

شکل (۹): دو نمونه سنسور حرکت: الف) سنسور حرکت سقفی، ب) سنسور حرکت دیواری

با توجه به تجربیات تدریس در کلاس درس، بیشترین حرکت در کلاس درس را استاد انجام می‌دهد. ازاین‌رو، با توجه به وضعیت استاد می‌توان دو حالت زیر را در کلاس درس در نظر گرفت:

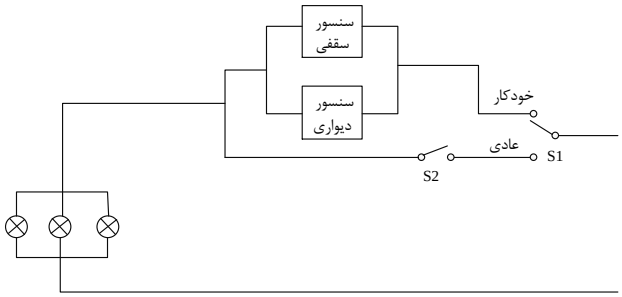
۱- استاد در جلو تخته مشغول به تدریس باشد؛

۲- استاد بر روی صندلی خود نشسته باشد.

در حالت اول، می‌توان با نصب یک سنسور حرکت در وسط سقف کلاس و نزدیک به تخته‌ی وایت‌برد حرکت استاد را تشخیص داد و مانع از خاموش شدن لامپ‌ها شد. در حالت دوم استاد حرکتی ندارد و باید به روش دیگر وجود افراد در کلاس را تشخیص داد. وقتی که استاد در کلاس درس بر روی صندلی خود می‌نشیند، در اکثر موارد دانشجویانی که در ردیف‌های عقب نشسته‌اند تحرک بیشتری را از خود نشان می‌دهند و شروع به صحبت کردن با هم می‌کنند. از این رویداد می‌توان جهت تشخیص حرکت و روشن نگه داشتن لامپ‌ها استفاده کرد. باید به این نکته هم توجه نمود که چون دانشجویان بر روی صندلی نشسته‌اند، نمی‌توان سنسور را در سقف نصب نمود، بلکه برای افزایش دقت سنسور باید این سنسور بر روی دیوار نصب شود. جهت نصب نیز باید طوری باشد که حرکت دانشجوها بر محور دید سنسور عمود نباشد.

یک حالت خاص دیگر هم می‌توان به این صورت در نظر گرفت که در کلاس امتحان در حال برگزاری باشد. در این صورت دانشجویان و استاد ممکن است حرکتی نداشته باشند. برای در نظر گرفتن حالت‌های خاص همانند حالت گفته شده، می‌توان یک کلید دو حالته در نظر گرفت که بتوان با استفاده از آن روشنایی کلاس را به حالت روشنایی قابل کنترل توسط کلید تبدیل کرد.

با توجه به توضیحات داده شده، مدار اتصال سنسورها و لامپ‌ها به صورت شکل (۱۰) پیشنهاد می‌شود. در این مدار کلید S1 به منظور انتخاب حالت عادی و خودکار استفاده شده است و کلید S2 کلید معمولی کلاس است که می‌توان از آن برای خاموش کردن کل سیستم در مواقعی که ویدئو پروژکتور کلاس روشن است استفاده نمود.



شکل (۱۰): مدار پیشنهادی برای سنسورها و لامپ‌ها

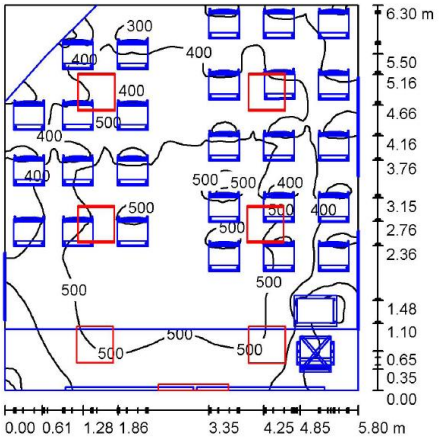
با نصب سنسورهای دیواری و سقفی و تنظیم زمان عملکرد آن‌ها بر روی حداکثر زمان (۷ دقیقه)، مشاهده شد که در حین تدریس لامپ‌های کلاس خاموش نشده و بعد از خروج دانشجویان از کلاس، پس از ۷ دقیقه خاموش می‌شوند.

۶- نتایج شبیه‌سازی

در این بخش، نتایج نورپردازی با استفاده از روش پیشنهادی در کلاس ۲۰۶A ارائه می‌شود. ضریب انعکاس دیوارها، سقف و کف کلاس‌ها به ترتیب برابر ۵۰، ۸۰ و ۵۰ درصد در نظر گرفته می‌شود. علاوه براین، از لامپ‌های LED با منحنی پخش نور شکل (۱) برای نورپردازی استفاده می‌شود. توان مصرفی این لامپ برابر ۴۸W بوده و شار نوری آن ۴۲۰۰ لومن است.

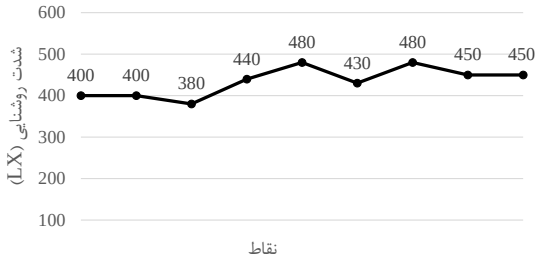
۶-۱- بررسی محاسبات نرم‌افزار

آرایش پیشنهادی نرم‌افزار دیالوکس برای ایجاد شدت روشنایی میانگین ۴۰۰ لوکس بر روی صندلی دانشجویان در شکل (۱۱) نشان داده شده است. با توجه به این شکل، تعداد پنل‌های LED مورد نیاز برابر ۶ عدد است. علاوه‌براین، فاصله‌ی طولی مراکز لامپ‌ها از هم برابر ۲/۳m و فاصله‌ی عرضی مراکز لامپ‌ها برابر ۳m است.

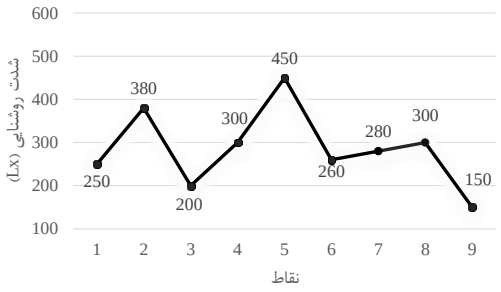


شکل (۱۱): آرایش پیشنهادی لامپ‌ها توسط نرم‌افزار دیالوکس

در شکل (۱۲)، یکنواختی نور قبل و بعد از اصلاح روشنایی نشان داده شده است. با توجه به این شکل، استفاده از نرم‌افزار دیالوکس باعث افزایش شدت روشنایی کلاس و یکنواخت‌تر شدن نور کلاس شده است. در این نمودارها، اندازه‌گیری شدت روشنایی با استفاده از لوکس‌متر در ۹ نقطه انجام شده است که سه نقطه‌ی در ابتدای کلاس، سه نقطه در وسط کلاس و سه نقطه در انتهای کلاس قرار دارد.



(الف)



(ب)

شکل (۱۲): یکنواختی روشنایی در کلاس ۲۰۶A ، الف) اصلاح شده ب) حالت فعلی

برای جلوگیری از چشم‌زدگی، باید پنل‌های ردیف دوم و سوم زاویه‌دار شوند یا یک مانع جلو این پنل‌ها قرار داده شود. با توجه به رابطه‌ی (۵) و ساختار کلاس مورد نظر، مقدار زاویه‌ی مورد نیاز برای پنل‌های ردیف دوم و سوم به ترتیب برابر ۱۶/۶ و ۱۱/۷ درجه به دست می‌آید. با توجه به رابطه‌ی (۶) و در نظر گرفتن طول ۶۰ سانتیمتر برای پنل‌ها، طول مانع برای پنل‌های ردیف دوم و سوم به ترتیب برابر ۱۷/۹ و ۱۲/۴ سانتیمتر به دست می‌آید. با استفاده از زوایای محاسبه شده، بازتاب نور لامپ‌ها از دید دانشجویان خارج شده و چشم‌زدگی ایجاد نمی‌شود. زیرا پرتوهای نور بازتاب شده از سطح تخته به پایین‌تر از چشم دانشجویان ردیف اول برخورد می‌کنند.

۶-۲- بررسی دقت شبیه‌سازی

در این بخش، دقت شبیه‌سازی‌های انجام شده مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای این منظور، حالت فعلی یکی از کلاس‌های درس در نرم‌افزار دیالوکس شبیه‌سازی شده و نتایج حاصل از آن با نتایج اندازه‌گیری عملی مقایسه می‌شود. شکل (۱۳) حالت فعلی کلاس ۱۰۹A را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از نرم‌افزار نشان می‌دهد که میانگین شدت روشنایی بر روی سطح میز دانشجویان برابر ۲۸۹ لوکس است. نتایج حاصل از اندازه‌گیری عملی در ۹ نقطه‌ی کلاس نشان می‌دهد که میانگین شدت روشنایی بر روی صندلی دانشجویان برابر ۲۹۱ لوکس است. این نتایج نشان دهنده‌ی دقت بسیار بالای شبیه‌سازی‌های انجام شده است. موقعیت نقاطی که برای اندازه‌گیری عملی انتخاب شده‌اند، همانند موقعیت نقاط بررسی شده در بخش ۶-۱ است.

شکل (۱۳): شبیه‌سازی حالت فعلی کلاس ۱۰۹A

۶-۳- بررسی اقتصادی

با توجه به جدول (۱)، طول عمر پنل‌های LED ۵۰ هزار ساعت و طول عمر مهتابی‌های FPL نصب شده برابر ۸ هزار ساعت است. در پاییز سال ۱۳۹۸ قیمت پنل‌های LED تقریباً ۳۰۰ هزار تومان، قیمت هر پنل مهتابی FPL بدون لامپ تقریباً برابر ۱۵۰ هزار تومان و قیمت هر لامپ مهتابی ۲۴ وات برابر ۱۰ هزار تومان بود. هر پنل دارای ۳ مهتابی است، در نتیجه هزینه‌ی اولیه‌ی نصب هر پنل همراه با ۳ عدد لامپ حدود ۱۸۰ هزار تومان است.

جدول (۱): مشخصات پنل LED و مهتابی FPL

مشخصات	لامپ LED	لامپ FPL
عمر مفید (ساعت)	۵۰۰۰۰	۸۰۰۰
توان مصرفی (وات)	۴۸	۲۴
شار نوری (لومن)	۴۲۰۰	۱۷۰۰

استفاده از لامپ‌های LED به جای مهتابی‌های FPL نیاز به هزینه سرمایه گذاری بیشتری دارد اما با ویژگی‌هایی که این لامپ‌ها دارند می‌توان گفت که استفاده از پنل‌های LED در طولانی مدت اقتصادی‌تر است. در کلاس مورد نظر باید ۶ عدد چراغ LED نصب شود که ۱۵ عدد لامپ FPL شدت روشنایی معادل این LEDها را می‌توانند ایجاد کنند. هزینه استفاده از هر چراغ (C) را می‌توان به صورت زیر در نظر گرفت. که در آن C_0 هزینه‌ی اولیه، C_m هزینه‌ی تعویض و C_{op} هزینه‌ی ناشی از مصرف برق است.

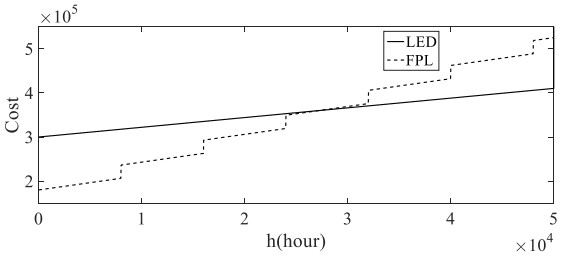
$$C = C_0 + C_m + C_{op} \qquad (۷)$$

در جدول (۲)، پارامترهای مختلف رابطه‌ی (۷) برای لامپ‌های LED و FPL نشان داده شده‌اند. در این جدول h عمر چراغ‌ها بر حسب ساعت، γ قیمت برق مصرفی که برای دانشگاه‌ها در میان‌باری برابر ۴۵/۹ تومان است، P توان مصرفی برحسب وات و [] علامت جزء صحیح است.

جدول (۲): پارامترهای رابطه‌ی (۷) برای لامپ‌های LED و FPL

	C_0 (تومان)	C_m (تومان)	C_{op} (تومان)
LED	300×10^3	$\left[\frac{h}{50000}\right]\times300\times10^3$	$h\times\gamma\times P\times10^{-3}$
قاب سه تایی FPL	180×10^3	$\left[\frac{h}{8000}\right]\times30\times10^3$	$h\times\gamma\times P\times10^{-3}$

در شکل (۱۴)، هزینه‌ی نصب لامپ‌های LED و FPL برای یک دوره‌ی عمر لامپ‌های LED نشان داده شده است. با توجه به این شکل از ساعت ۲۷ هزار به بعد هزینه‌ی استفاده از لامپ‌های FPL بیشتر از لامپ‌های LED می‌شود. در انتهای دوره، هزینه‌ی استفاده از لامپ‌های LED برابر ۴۱۰ هزار تومان و هزینه‌ی استفاده از لامپ‌های FPL برابر ۵۲۵ هزار تومان خواهد شد. این موضوع نشان می‌دهد که استفاده از لامپ‌های LED به جای لامپ‌های FPL باعث صرفه‌جویی ۱۱۵ هزار تومانی در ۵۰ هزار ساعت استفاده از روشنایی کلاس درس می‌شود.



شکل (۱۴): هزینه‌ی استفاده از لامپ‌ها LED و FPL

۷- نتیجه‌گیری

روشنایی یک کلاس درس استاندارد می‌بایست ویژگی‌هایی همچون شدت روشنایی مناسب، عدم ایجاد چشم‌زدگی، یکنواختی نور بر روی سطح کار و مصرف انرژی کم را داشته باشد. در این مقاله، برای استاندارد سازی روشنایی کلاس‌های درس در دانشگاه صنعتی قوچان راهکارهای مختلفی همانند: استفاده از لامپ‌های LED، استفاده از یک مانع در جلو چراغ‌ها، چینش بهینه لامپ‌ها با استفاده از نرم‌افزار دیالوکس و هوشمندسازی نورپردازی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از پیاده‌سازی عملی نشان داد که استفاده از مانع در جلوی چراغ‌ها چشم‌زدگی را از بین می‌برد. علاوه‌براین استفاده‌ی هم‌زمان از دو سنسور حرکت می‌تواند باعث هوشمند شدن روشنایی گشته و مصرف برق را کاهش دهد. نتیجه‌ی بررسی اقتصادی نشان داد که استفاده از لامپ‌های LED به جای FPL در دراز مدت صرفه‌ی اقتصادی دارد.

مراجع

[۱] Karin C.H.J.Smolders and Yvonne A.W.de Kort, "Bright light and mental fatigue: Effects on alertness, vitality, performance and physiological arousal," Journal of Environmental Psychology, vol. 39, pp. 77-91, 2014.

[۲] Jeanne F.Duffy and Charles A.Czeisler, "Effect of Light on Human Circadian Physiology," Sleep Medicine Clinics, vol. 4, no. 2, pp. 165-177, 2009.

[۳] Jonathan S.Emens and Helen J.Burgess, "Effect of Light and Melatonin and Other Melatonin Receptor Agonists on Human Circadian Physiology ",Sleep Medicine Clinics, vol. 10, no. 4, pp. 435-453, 2015.

[۴] Pierre A.Geoffroy, Carmen M.Schroder, and P. Bourgin, "Light treatment in depression: An antique treatment with new insights," Sleep Medicine Reviews, vol. 40, pp. 2018-2019, 2018.

[۵] M.E.Demirkol, Z.Namlı, and L.Tamam, "Efficacy of light therapy on non-seasonal depression and inflammatory markers," The European Journal of Psychiatry, In press, 2019.

[۶] Oliver Keis, Hannah Helbig, Judith Streb, and Katrin Hille, "Influence of blue-enriched classroom lighting on students' cognitive performance," Trendsin Neuro science and Education, vol. 3, pp. 86–92, 2014.

[۷] فرزام نجابت خواه، سید حسین حسینی، سعید دانیالی، "بهسازی مصرف انرژی الکتریکی: چالش ها و راهکارها،" نشریه کیفیت و بهره وری صنعت برق ایران، دوره ۱، شماره ۱، صفحه ۴۵-۳۸، ۱۳۹۱.

[۸] N. E. Khaing et al., "Review of the potential health effects of light and environmental exposures in

underground workplaces," Tunnelling and Underground Space Technology, vol. 84, pp. 201-209, 2019.

[۹] محمد ایمان غیاثی، مسعود علی اکبر گلکار، امین حاجی زاده، "طراحی مدیریت انرژی هوشمند در ساختمان با انرژی صفر با حضور منابع تولید توان خورشیدی و پیل سوختی و خودروهای برقی،" نشریه کیفیت و بهره وری صنعت برق ایران، دوره ۴، شماره ۱، صفحه ۳۲-۲۴، ۱۳۹۴.

[۱۰] صیاد نوجوان، "مدیریت مصرف انرژی الکتریکی و حرارتی در مجتمع‌های مسکونی،" نشریه کیفیت و بهره وری صنعت برق ایران، دوره ۸، شماره ۳، صفحه ۹-۱، ۱۳۹۸.

[۱۱] J. Luansheng, L. Chunxia, G. Xiumei, and M. Chongxiao, "The Design of Intelligent Lighting System in College Classroom," International Conference on Future Electrical Power and Energy Systems, vol. 17, pp. 90 – 95, 2012.

[۱۲] S. Suresh, H.N.S. Anusha, T. Rajath, P. Soundarya, and S. V. P. Vudatha, "Automatic Lighting And Control System For Classroom," International Conference on ICT in Business Industry & Government, pp. 1-6, 2016.

[۱۳] L.T. Doulos, A. Kontadakis, E.N. Madias, M. Sinou, and A. Tsangrassoulis, "Minimizing energy consumption for artificial lighting in a typical classroom of a Hellenic public school aiming for near Zero Energy Building using LED DC luminaires and daylight harvesting systems," Energy & Buildings, vol. 194, pp. 201–217, 2019.

[۱۴] M. Winterbottom and A. Wilkins, "Lighting and discomfort in the classroom," Journal of Environmental Psychology, vol. 29, pp. 63–75, 2009.

[۱۵] N. Castilla, C. Llinares, F. Bisegna, and V. Blanca-Giménez, "Emotional evaluation of lighting in university classrooms: A preliminary study," Frontiers of Architectural Research, vol. 7, no. 4, pp. 600-609, 2018.

[۱۶] P. Ricciardi and CinziaBuratti, "Environmental quality of university classrooms: Subjective and objective evaluation of the thermal, acoustic and lighting comfort conditions," Building and Environment, vol. 127, pp. 23-36, 2018.

[۱۷] N. Castilla, C. Llinares, F. Bisegna, and V. Blanca-Giménez, "Affective evaluation of the luminous environment in university classrooms," Journal of Environmental Psychology, vol. 58, pp. 52-62, 2018.

[۱۸] S. S.Korsavi, Z. S.Zomorodian, and M. Tahsildoost, "Visual comfort assessment of daylit and sunlit areas: A longitudinal field survey in classrooms in Kashan, Iran," Energy and Buildings, vol. 128, pp. 305-318, 2016.

[۱۹] http://www.parsshahab.com/fa/goods/140/%D9%BE%D9%86%D9%84-%D8%A7%D9%84%E2%80%8C%D8%A7%DB%8C%E2%80%8C%D8%AF%DB%8C-50-%D9%88%D8%A7%D8%AA .

[۲۰] the Illuminating Engineering Society of North America, Ninth, Ed. The IESNA lighting handbook. . IESNA 2000.

[۲۱] Classroom Design Guidelines, 2016.

[۲۲] Campus Technology Space Standards, 2019.

[۲۳] https://evo.support-en.dial.de/support/solutions/articles/900-۰۰۷۷۴۴۴ color-temperature .

[۲۴] N. A Smith, Lighting For Health And Safety. Taylor & Francis Group, 2017.