# ارزیابی کیفیت نور و بهره‌وری انرژی سیستم‌های روشنایی در مدارس متوسطه شهرستان اهواز

نرگس آزادی[۱]، راضیه برون[۱]، مجید حاجی بابایی[۲]

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۲/۰۹ تاریخ ویرایش: ۹۴/۰۶/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۸/۲۹


## چکیده

**زمینه و هدف:** روشنایی مطلوب می‌بایست تعادلی را بین نیازهای انسان، اقتصاد و محیط پیرامون آن ایجاد نموده و یک شرایط مناسب را برای فعالیت‌های چشمی مانند نوشتن، خواندن و غیره فراهم نماید. کیفیت مطلوب روشنایی در فرایند بهره‌وری و یادگیری دانش آموزان بسیار اهمیت دارد. هدف از بهره‌وری انرژی روشنایی، کاهش انرژی روشنایی بدون به خطر افتادن کیفیت روشنایی می‌باشد. موضوع اصلی این مطالعه ارزیابی کیفیت روشنایی و بهره‌وری انرژی سیستمهای روشنایی و درگام بعد، پیداکردن راهکارهای مناسب برای بهبود آن می‌باشد.

**روش بررسی:** این مطالعه مقطعی، در ۱۱ دبیرستان دخترانه شهر اهواز انجام شده است. در همین راستا، با اندازه‌گیری شدت روشنایی برحسب lux به روش شبکه‌ای استاندارد و توان مصرفی اتاق برحسب ($W/m^2$)، دانسیته توان نصب شده (IPD) به‌دست‌آمده و سپس دانسیته توان نرمال (NPD) بر اساس $W/m^2.100\ Lx$ و با در نظر گرفتن شاخص اتاق (RI) محاسبه می‌شود. از تقسیم دانسیته توان نرمال شده بر دانسیته توان نصب شده، معیاری به‌عنوان نسبت بهره‌وری بارنصب شده (ILER) معرفی شده است و در سه کلاس به‌عنوان شاخص عملکرد سیستم تقسیم‌بندی شده است؛ و نتایج با استفاده از SPSS نسخه ۱۶ تحلیل شده است.

**یافته‌ها:** نتایج نشان می‌دهد درمجموع از کل فضاهای اندازه‌گیری شده، ۴۷٫۶٪ در سطح ۳، ۳۶٫۱٪ در سطح ۲ و ۱۶٫۲٪ در سطح ۱ قرار دارند و همچنین سه دبیرستان (۳،۵،۸) دارای بیشترین بهره‌وری می‌باشند.

**نتیجه‌گیری:** در این مطالعه، نواقص موجود ازجمله ضرایب انعکاس کمتر از استاندارد (دیوارها ۰/۵، سقف ۰/۷ و کف نیز حداقل ۰/۳)، استفاده از بالاست‌های معمولی به‌جای بالاست‌های الکترونیکی، به‌کارگیری لامپ‌های کم‌بهره، به‌کارگیری منعکس‌کننده‌های معمولی به‌جای استیل و عدم به‌کارگیری مناسب نور روز، باعث ایجاد بهره‌وری کم و مصرف انرژی بالای سیستم روشنایی می‌شود.


**کلیدواژه‌ها:** دبیرستان، بهره‌وری انرژی سیستم، کیفیت روشنایی

## مقدمه

با افزایش روزافزون هزینه‌های انرژی، وزارت آموزش‌وپرورش می‌بایست راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی را در مدارس، مدیریت نماید، به‌گونه‌ای که استانداردهای کیفیتی روشنایی و الزامات آن به خطر نیافتد. به‌طور مثال در آمریکا سالانه ۶ بیلیون دلار صرف تأمین انرژی کل مدارس می‌شود (۶-۱). در کشور ایتالیا کل مصرف انرژی در مدارس معادل ۱ میلیون تن نفت سالانه می‌باشد که معادل ۷۵۰ میلیون یورو است که برآورد می‌شود، ۱۰-۲۰٪ این انرژی قابل ذخیره باشد (۷)؛ بنابراین تجزیه‌وتحلیل و ممیزی انرژی به‌منظور برآورد انرژی مصرفی و برآورد میزان اتلاف انرژی و به دنبال آن اصلاح سیستم‌ها، بسیار مهم و ضروری می‌باشد. در بسیاری از کشورها اندازه‌گیری کمی شدت روشنایی و انرژی مصرفی از الزامات قانونی می‌باشد تا بتوان سیاست‌ها و استراتژی‌های لازم را برای کاهش انرژی مصرفی با حفظ کیفیت روشنایی بخصوص شدت روشنایی، اتخاذ نمایند (۸). سازمان‌های مختلفی در دنیا استانداردهایی را برای استفاده بهینه از انرژی ارائه می‌دهند. استاندارد اروپا EN-15193 شاخص عددی

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای، گروه بهداشت حرفه‌ای، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران
۲-(نویسنده مسئول): دانشجوی دکترای مهندسی بهداشت حرفه ای، گروه بهداشت حرفه‌ای، کمیته تحقیقات و فناوری دانشجویان، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران. mhajibabaei2050@gmail.com

[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-08-25 ]

جدول۱. حداقل نقاط اندازه‌گیری در هر اتاق

| شاخص اتاق | تعداد حداقل نقاط اندازه گیری |
|---|---|
| کمتر از ۱ | ۹ |
| ۱ و کمتر از ۲ | ۱۸ |
| ۲ و کمتر از ۳ | ۲۵ |
| ۳ و بیشتر از آن | ۳۶ |

انرژی روشنایی (LENI) را ارائه می‌دهد که دانسیته توان روشنایی (LPD) برحسب وات بر مترمربع می‌باشد (۹).

بعضی از سازمان‌ها مثل انجمن خبره مهندسان ساختمان (CIBSE) دانسیته توان روشنایی را برحسب LPD به ازای 100 lux معرفی می‌نمایند (۱۰). با بهبود در تکنولوژی بالاست، لامپ، چراغ و فضای محیط کار (ارتفاع سطح کار، ضرایب انعکاس سطوح، ابعاد فضا و غیره) و استفاده هرچه بیشتر از نور روز، می‌توان انرژی الکتریکی را ذخیره نمود به‌گونه‌ای که شدت روشنایی درحد استاندارد حفظ شود (۱۱و۱۲). در مطالعه حاضر در ۱۱ مدرسه متوسطه در سطح شهر اهواز به ارزیابی کمی سیستم روشنایی پرداخته شده است و در هرکدام از آن‌ها مقادیر شدت روشنایی، میزان انرژی مصرف‌شده، اتلاف انرژی و نیز بهره‌وری سیستم روشنایی برآورد شده است.

## روش کار

هدف این مطالعه ارزیابی پارامترهای مؤثر بر بهبود عملکرد سیستم‌های روشنایی ۲۰۹ محدوده در ۱۱ دبیرستان دخترانه شهر اهواز می‌باشد. در این مطالعه اندازه‌گیری‌ها در آبان و آذر سال ۱۳۹۲ در زمان اوج روشنایی روز بین ساعات ۱۰-۱۳، انجام شده است. در راستای این هدف، ابتدا هر محدوده (اتاق) مشخص‌شده و حداقل نقاطی که می‌بایست شدت روشنایی در آن‌ها اندازه‌گیری شود با توجه به شاخص اتاق تعیین‌شده است. شاخص اتاق بر اساس فرمول شماره ۱ محاسبه گردیده است (۱۳-۱۵):

فرمول شماره ۱

$$RI = (L \times W) / [h_m (L+W)]$$

W, L: طول و عرض اتاق اندازه‌گیری شده، $h_m$ نیز ارتفاع دهانه چراغ از سطح کار.

بعد از محاسبه شاخص اتاق، حداقل نقاط اندازه‌گیری در هر اتاق بر اساس جدول شماره ۱ تعیین‌شده است. بر اساس حداقل نقاط اندازه‌گیری، اتاق به مربعات مساوی تقسیم شده و در مرکز هر مربع به‌وسیله یک نورسنج مدل (TES 1339A) در ارتفاع ۸۰ سانتی‌متر از کف، در دو حالت، سیستم روشنایی روشن و خاموش، شدت روشنایی اندازه‌گیری شده است. هنگامی‌که سیستم روشنایی روشن بوده است، نور طبیعی و مصنوعی به‌صورت توأم اندازه‌گیری شده و هنگامی‌که سیستم روشنایی خاموش بوده است، فقط نور طبیعی اندازه‌گیری شده و سپس از تفاضل این دو عدد، نور مصنوعی محاسبه می‌شود. توان کلی هر محدودهٔ اندازه‌گیری از ضرب چند پارامتر که بر روی بالاست ها حک‌شده است ازجمله میزان جریان عبوری، ولتاژ متوسط، فاکتور توان تعیین‌شده و تعداد بالاست های اتاق برحسب وات محاسبه شده است. چنانچه توان کلی مدار بر مساحت و شدت روشنایی اتاق تقسیم شود و در عدد ۱۰۰ ضرب شود، عددی به دست خواهد آمد که به‌عنوان دانسته توان نصب شده (IPD[1]) مطرح می‌شود که واحد آن برحسب وات‌برمترمربع در ۱۰۰ لوکس ($W/m^2.100$ lux) گزارش می‌شود. با تقسیم دانسیته توان نرمال (NPD[2]) که از فرمول شماره ۲ و بر اساس مطالعات آقای *هانسلر* و همکاران به دست می‌آید، یک نسبتی به نام نسبت بهره‌وری بار نصب شده (ILER[3]) محاسبه می‌شود که در

[1] Installed Power Density
[2] Normalized Power Density
[3] Installed Load Efficiency Ratio



[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-08-25 ]

جدول ۲. شاخص عملکرد براساس نسبت بهره‌وری بار نصب شده

| شاخص عملکرد | | |
|---|---|---|
| سطح رضایت | ILER | ارزیابی |
| ۱ | ۰/۸ و بالاتر | خوب و رضایت بخش می باشد |
| ۲ | ۰/۸ – ۰/۶ | ارزیابی مجدد سیستم روشنایی و اقدامات اصلاحی در صورت امکان |
| ۳ | ۰/۶ به پایین | نیاز به اقدامات اصلاحی فوری و فوتی در اسرع وقت و تهیه منابع کارآمدتر |

فرمول شماره ۳ آورده شده است (۱۶).

فرمول شماره۲ $NDP = (2.25+\frac{1.5}{RI})$

NDP = دانسیته توان نرمال

RI= شاخص اتاق

فرمول شماره ۳ $ILER = \frac{NPD}{IPD}$

IPD =دانسیته توان نصب شده

$ILER$ = بهره‌وری بار نصب شده

بر اساس اعداد به دست آمده از نسبت بهره‌وری بار نصب شده (ILER) شاخص عملکرد به‌صورتی که در جدول شماره ۲ آمده است، مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد (۱۷).

در هر مدرسه نسبت بهره‌وری بار نصب شده (بهره‌وری سیستم روشنایی) و شاخص عملکرد محاسبه و سپس، سطح رضایت تعیین‌شده است. جهت برآورد مصرف انرژی سالانه سیستم روشنایی مصنوعی و همچنین اتلاف انرژی ناشی از عدم بهره‌وری سیستم روشنایی به ترتیب از فرمول ۴ و ۵ استفاده‌شده است و میزان اتلاف انرژی هم ازلحاظ اضافه‌بار و هم به لحاظ ناکارآمدی سیستم‌های روشنایی موردبررسی قرارگرفته‌اند (۱۷).

فرمول شماره ۴

$AEC(Kwh/m^2.year)=Total\ load\ (W/m^2)\times 2500\ h\ /yr$

فرمول شماره ۵

$AEW(Kwh/yr.m^2)=(1.0-ILER)\times Total\ load\ (W/m^2)\times 2500\ h\ /yr$

AEC =مصرف انرژی سالانه

AEW =میزان اتلاف انرژی سالانه

در این فرمول زمان متوسط کارِ مدارس در سال، ۲۵۰۰ ساعت در نظر گرفته‌شده است (۱۰).

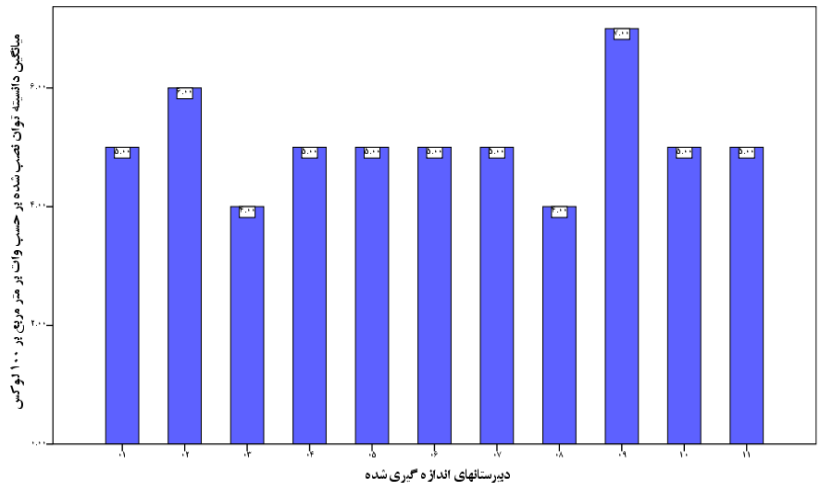
به‌منظور محاسبه یکنواختی توزیع روشنایی، کمترین شدت روشنایی بر میانگین شدت روشنایی اندازه‌گیری شده در هر مکان، تقسیم شده است که این میزان نبایستی از ۰/۷ کمتر باشد (۳،۱۷،۱۸). جهت انجام آنالیزهای آماری از SPSS نسخه ۱۶ و انجام آزمون‌های آماری t- test آنالیز واریانس و کای دو با سطح معنی‌داری ۵٪ استفاده شده است. از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه برای مقایسه بهره‌وری سیستم روشنایی، میزان اتلاف انرژی و شاخص اتاق بین مدارس مختلف و از کای دو برای مقایسه سطوح عملکرد مکان‌های اندازه‌گیری استفاده شده است.

## نتایج

نتایج اندازه‌گیری فاکتورهای مختلف در مدارس در جدول شماره ۳ و ۴ آورده شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد، مدارس شماره ۳، ۸ و ۵ بیشترین بهره‌وری و عملکرد را در سیستم‌های روشنایی داشته است. در این دبیرستان‌ها به ترتیب ۸۲،۸۰/۴ و ۶۶٪ فضاها دارای شاخص عملکرد در سطح ۱ و ۲ می‌باشند. دبیرستان‌های ۱۱، ۹، ۴ و ۲ به ترتیب با ۶۹، ۸۰، ۶۰ و ۶۸٪ از فضاها دارای شاخص عملکرد، در سطح ۳ برآورد شده‌اند. درمجموع از کل فضاهای اندازه‌گیری شده، ۴۷/۶٪ در سطح ۳، ۳۶/۱٪ در سطح ۲ و ۱۶/۲٪ در سطح ۱ قرار



[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-08-25 ]




نمودار ۱. دانیسته توان نصب شده در مدارس

دارند. دانسیته توان نصب شده برای دبیرستان‌ها در نمودار شماره ۱، برحسب وات بر مترمربع به ازای ۱۰۰ لوکس آورده شده است. در جدول شماره ۴ میزان مصرف انرژی روشنایی سالانه و میزان اتلاف انرژی سالانه ناشی از سیستم روشنایی مصنوعی آورده شده است.

## بحث و نتیجه‌گیری

این مطالعه به بررسی و ارزیابی در سیستم‌های روشناییِ ۱۱ دبیرستان دخترانه در مقطع متوسطه شهر اهواز پرداخته است. بدین منظور تمام پارامترهای تأثیرگذار در طراحی روشنایی ازجمله بهره‌وری بار نصب شده، دانسیته بار نصب شده، شدت روشنایی، انرژی مصرف‌شده، انرژی اتلاف شده، شاخص عملکرد و غیره اندازه‌گیری و محاسبه شده است. استراتژی‌های متفاوتی برای کاهش انرژی در سیستم‌های روشنایی با حفظ پارامترهای کیفی، بخصوص شدت روشنایی وجود دارد که در ذیل آورده شده است:

۱- استراتژی‌هایی که مستقیماً به نصب سیستم روشنایی مربوط می‌شود:

- بهبود در تکنولوژی بالاست
- بهبود در تکنولوژی لامپ
- بهبود در تکنولوژی چراغ
- کاهش روشنایی عمومی و استفاده از روشنایی موضعی
- بهبود در فاکتور نگهداری
- بهبود در فاکتور بهره‌وری
- کاهش زمان استفاده

۲- استراتژی مربوط به نور روز:

- تأثیر موقعیت‌های جغرافیایی
- تأثیر ویژگی‌های پنجره
- تأثیر سایبان
- تأثیر ارتفاع سقف

در اکثر فضاهای مطالعه حاضر بالاست های مغناطیسی، لامپ‌های مهتابی دوقلو $T_{10}$ به طول ۱۲۰ سانتی‌متر استفاده شده است. تفاوت مشاهده شده بیشتر در مدل منعکس‌کننده‌ها (رفلکتورها) و ضرایب انعکاس سطوح بوده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد، بین شاخص عملکرد در مدارس مختلف رابطه معنی‌داری وجود دارد (p=۰/۰۰۰). یافته‌ها تنها ۱۶/۲٪ از فضاهای اندازه‌گیری شده را در سطح ۱ نشان می‌دهد که بر اساس جدول شماره ۲، دارای سطحی خوب و رضایت‌بخش می‌باشند؛ اما ۴۷/۵٪ از فضاها دارای سطح ۳ می‌باشد که نیاز به اقدامات اصلاحی فوری در اسرع وقت و تهیه منابع کارآمدتر بوده و می‌بایست سریعاً در دستور کار قرار گیرد. بر اساس مطالعات آقای هانسلر و



[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-08-25 ]

جدول ۳. پارامترهای اندازه‌گیری شده در دبیرستان های متوسطه

| دبیرستان محل اندازه‌گیری | زمان اندازه‌گیری | شاخص اتاق | یکنواختی در حالت توام | | شدت روشنایی مصنوعی | شدت روشنایی توام ( ط و م ) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ۱* | ۲** | | ۱* | ۲** |
| ۱ | ۱۱٫۷۵±۱٫۵ | ۱٫۸ | ۰٫۵۵ | ۰٫۴۷ | ۱۸۳ ± ۵۴ | ۲۰۲ | ۳۴۱ |
| ۲ | ۱۱٫۱۸±۱٫۹ | ۱٫۵ | ۰٫۴۸ | ۰٫۵۵+ | ۱۱۰± ۳۳ | ۱۲۵ | ۳۱۹+ |
| ۳ | ۱۰٫۱۴±۰٫۸ | ۱٫۳ | پنجره مات | ۰٫۶۲ | ۳۲۹ ± ۱۳۸ | پنجره مات | ۵۱۴ |
| ۴ | ۱۱٫۳۷±۱٫۷ | ۱٫۵۵ | فاقد پرده | ۰٫۵۹+ | ۱۷۲ ± ۸۵ | فاقد پرده | ۳۸۹+ |
| ۵ | ۱۱٫۰۰±۱٫۵ | ۱٫۱ | ۰/۴۹ | ۰٫۵۵ | ۲۰۴ ± ۸۶ | ۳۱۳ | ۴۲۸ |
| ۶ | ۱۱/۱۵±۲ | ۱٫۴۱ | ۰/۴۱ | ۰٫۶۲ | ۱۶۹ ± ۵۰ | ۲۶۹ | ۴۸۰ |
| ۷ | ۱۱٫۷۵±۱٫۹ | ۱٫۵۷ | – | ۰٫۵۵ | ۱۸۱ ± ۳۶ | ۳۰۳ | ۵۶۳ |
| ۸ | ۱۱٫۸۵±۱٫۷۶ | ۱٫۵ | – | ۰٫۴۸ | ۱۰۶ ± ۷۷ | ۱۶۰ | ۵۷۲ |
| ۹ | ۱۱٫۲±۱٫۰۸ | ۱ | فاقد پرده | ۰٫۶۸+ | ۱۳۷ ± ۲۰ | فاقد پرده | ۲۸۰+ |
| ۱۰ | ۱۱٫۰۵±۱٫۲۵ | ۱٫۳۲ | ۰٫۲ | ۰٫۵۷ | ۲۲۷ ± ۴۸ | ۲۷۴ | ۵۳۲ |
| ۱۱ | ۱۰/۷۲±۱/۶ | ۱/۵۸ | ۰/۱۵ | ۰/۵ | ۱۶۰ ± ۴۴ | ۲۱۰ | ۳۵۳ |

+ شیشه ها با کاغذ پوشانده شده و رنگ شده *پرده بسته ** پرده باز

همکاران، در فضاهای اداری و آموزشی، شاخص دانسیته توان نرمال (NPD) بر اساس فرمول شماره ۲ به دست می‌آید. میزان اتلاف انرژی از زمانی که جریان الکتریکی وارد بالاست می‌شود تا زمانی که به‌صورت شار نوری به سطح کار می‌رسد، همان‌طور که مطرح شد رابطه مستقیم با نوع بالاست، لامپ، چراغ و رنگ سطوح انعکاسی و ابعاد محیط کار دارد (۱۶). دانسیته توان نرمال برای کل محدوده‌های اندازه‌گیری شده در این مطالعه برابر با $(W/m^2.100Lx)$ ۳٫۳۶ ±۰٫۴۳ بوده است. نتایج یک تفاوت معنی‌داری بین بهره‌وری بار نصب شده در دبیرستان‌های شماره ۳، ۵ و ۸ با مابقی دبیرستان‌ها نشان می‌دهد (p=۰/۰۰۰). همان‌طور که در جدول شماره ۴ ملاحظه می‌شود، شدت روشنایی با دانسیته توان رابطه مستقیم دارد، هرچه در یک فضا میزان توان بیشتری استفاده شود شدت روشنایی در آن افزایش می‌یابد اما درصورتی‌که بتوانیم بهره‌وری سیستم را افزایش دهیم، با توان کمتری می‌توانیم به همان روشنایی دست‌یابیم و یا با همان توان، به شدت روشنایی بیشتری برسیم. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در دبیرستان ۳ و ۱۰، توان مصرفی رابطه معنی‌داری به لحاظ آماری با یکدیگر ندارند (p=۰/۰۲) اما شدت روشنایی (p=۰/۰۰۰) و بهره‌وری بار نصب شده (p=۰/۰۱۵) در آن‌ها به‌طور چشم‌گیری اختلاف معنی‌داری دارد که نشان می‌دهد، افزایش بهره‌وری، شدت روشنایی را افزایش می‌دهد (۱۹). دبیرستان شماره ۳ به چند دلیل داری بهره‌وری بهتری می‌باشد، ۱- استفاده از سطوح با ضرایب انعکاس بالاتر (دیوارها، میز و صندلی‌ها با روکش روشن‌تر ρ >۰/۶) ۲- وجود رفلکتور برای ۱۰۰٪ لامپ ها ۳- بالا بودن ضریب فاکتور نگهداری به دلیل نوساز بودن دبیرستان شماره ۳ (لامپ ها به نیمه عمر خودشان نرسیده و شار بهینه حفظ شده است)(۱۵-۱۷). دابیوس و همکاران در سال ۲۰۱۱ بیان می‌کنند، بهبود در رفلکتور و چراغ‌ها، ۴۰٪ بهره‌وری سیستم را افزایش می‌دهد که البته این افزایش بهره‌وری با بهبود در بالاست و کنترل‌گرهای و حس‌گرهای حضور نیز همراه بوده است. همچنین فاکتور نگهداری نیز ۵٪ به‌تنهایی این هدف را محقق می‌نماید (۱۱). در مطالعه حاضر به نظر می‌رسد عامل اصلی تفاوت در بهره‌وری سیستم‌های روشنایی در مدارس مختلف، وجود رفلکتورها و ضرایب انعکاس سطوح می‌باشد. از طرفی ممکن است در یک فضا سیستم روشنایی بهره‌وری خوبی داشته باشد اما میزان مصرف انرژی در آن بالا و یا شدت روشنایی در آن بسیار کم باشد. دبیرستان شماره ۸ همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، بهره‌وری نسبتاً خوبی در سطح ۲ دارد و



[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-08-25 ]

جدول ۴. انرژی مصرف شده، تلف شده و بهره‌وری سیستم روشنایی

| دبیرستان محل | اندازه‌گیری | مصرف انرژی سالانه ($Kwh/yr.m^2$) | اتلاف انرژی سالانه ($Kwh/yr.m^2$) | بهره‌وری بار نصب شده ٪ | شدت روشنایی مصنوعی (LUX) |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | | ۲۲ ± ۳٫۵ | ۷/۸ ± ۰٫۶۲ | ۰٫۶۵ ± ۰٫۱۲ | ۱۸۳ ± ۵۴ |
| ۲ | | ۱۶٫۹ ± ۶٫۳۳ | ۷/۶ ± ۰٫۹۶ | ۰٫۵۸ ± ۰٫۱۴ | ۱۱۰± ۳۳ |
| ۳ | | ۳۵٫۵ ± ۱۱٫۶۴ | ۷/۱۱ ± ۱٫۶۲ | ۰٫۷۹ ± ۰٫۲۲ | ۳۲۹ ± ۱۳۸ |
| ۴ | | ۲۳ ± ۸٫۷ | ۸٫۷۵ ± ۱٫۳۴ | ۰٫۶۳ ± ۰٫۲۱ | ۱۷۲ ± ۸۵ |
| ۵ | | ۲۵٫۹ ± ۱۱٫۴۴ | ۷/۳۱ ± ۲٫۱ | ۰٫۷۵ ± ۰٫۲۶ | ۲۰۴ ± ۸۶ |
| ۶ | | ۲۴٫۲ ± ۱۰٫۴ | ۹٫۴۱ ± ۱٫۸۶ | ۰٫۶۵ ± ۰٫۱۹ | ۱۶۹ ± ۵۰ |
| ۷ | | ۲۳٫۹ ± ۳٫۹۷ | ۹٫۳۵ ± ۰٫۸۵ | ۰٫۶۲ ± ۰٫۱۴ | ۱۸۱ ± ۳۶ |
| ۸ | | ۱۱٫۸۶ ± ۹٫۵۱ | ۳٫۱۴ ± ۱٫۳ | ۰٫۷۹ ± ۰٫۲۳ | ۱۰۶ ± ۷۷ |
| ۹ | | ۲۳٫۹ ± ۳٫۴ | ۱۰٫۹ ± ۱٫۲ | ۰٫۵۵ ± ۰٫۰۶ | ۱۳۷ ± ۲۰ |
| ۱۰ | | ۳۲٫۴ ± ۱۰٫۸۱ | ۱۲٫۰۱ ± ۱٫۲۵ | ۰٫۶۶ ± ۰٫۱۵ | ۲۲۷ ± ۴۸ |
| ۱۱ | | ۲۳٫۶ ± ۵٫۴ | ۱۰٫۱۳ ± ۰٫۶۶ | ۰٫۵۷ ± ۰٫۱ | ۱۶۰ ± ۴۴ |

این نشان‌دهنده کارآمدی سیستم می‌باشد اما به دلیل کمبود توان الکتریکی(عدم نصب لامپ به تعداد کافی)، شدت روشنایی بسیار پایین است ولی سعی شده است با نور روز در حد استاندارد تأمین شود، اما می‌بایست حداقل روشنایی مصنوعی (۳۰۰Lx) در طراحی روشنایی مصنوعی در نظر گرفته شود زیرا در روزهای ابری و در نوبت عصر نور روز حد استاندارد را تأمین نمی‌نماید. از طرفی به دلیل گرمای شدید در شهر اهواز معمولاً پرده‌ها کشیده می‌شود. می‌بایست به این نکته توجه نمود که میزان انرژی مصرفی و شدت روشنایی در منابع معتبر دارای حدود استاندارد هستند. در سوئد، میزان مصرف انرژی روشنایی $23KWh/m^2.yr$ می‌باشد در حالی که شدت روشنایی در حد ۵۰۰-۳۰۰ لوکس حفظ شده است (۲۰) و بر اساس استاندارد اروپایی EN-15193 مقدار بهینه مصرف انرژی بین $KWh/m^2.yr$ ۲۰-۲۵ تعیین‌شده است (۹). یافته‌ها نشان می‌دهد مصرف انرژی در مدارس $۲۴/۵ \pm ۱۰KWh/m^2.yr$ می‌باشد در حالی که شدت روشنایی برابر با ۸۵Lx ± ۱۸۵ اندازه گیر شده است و این بیانگراین است که این مقدار، حتی از حد پایین استاندارد (۳۰۰Lx) ۱۱۵Lx پایین تر است درصورتی‌که توان مصرف انرژی در حد استاندارد است. البته در بعضی از کشورها مانند سوئد در بعضی از ساختمان های جدید، مصرف انرژی روشنایی را با بهره‌گیری از طراحی روشنایی طبیعی و استفاده از نور روز به حد $KWh/m^2.yr$ ۱۱ رسانده اند (۱۱). در مطالعه حاضر، همان‌طور که در جدول شماره ۳ مشاهده می‌شود، شدت روشنایی با استفاده از نور روز در حالت پرده‌های باز در محدوده استاندارد (۳۰۰-۵۰۰) قرار گرفته است اما معمولا به دلیل درخشندگی و ایجاد خیرگی و همچنین ایجاد گرما در شهری مثل اهواز، بدلیل قرار داشتن در منطقه گرم، سعی می‌شود پرده‌ها کشیده یا پنجره ها با روزنامه پوشیده یا رنگ شوندکه در این صورت همچنان شدت روشنایی از حد استاندارد پایین تر می‌باشد. در بین دبیرستان‌های ارزیابی شده، دبیرستان شماره ۳ به لحاظ آماری به استانداردها نزدیک تر می‌باشد، اما می‌بایست همان‌طور که در جدول شماره ۲ آمده است برای بهره‌وری بین ۰/۶- ۰/۸ ارزیابی مجدد سیستم روشنایی و اقدامات اصلاحی در صورت امکان انجام شود. استفاده از بالاست های الکترونیکی و لامپ‌های فشرده و کم مصرف از نوع PL، بهره‌وری را می‌توان افزایش داده و اتلاف انرژی $۷/۱۱ KWh/m^2.yr$ را از بین برده و توان مصرفی را به استانداردها بیشتر نزدیک نماید. حاجی بابایی و همکاران در سال ۲۰۱۴ نشان دادند، استفاده از بالاست های الکترونیکی و لامپ‌های کم مصرف FPL



[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-08-25 ]

با رفلکتورهای استیل نسبت به بالاست های مغناطیسی و لامپ‌های ۶۰ سانتی‌متری مدل $T_{10}$ ,$T_8$ با رفلکتورهای معمولی می‌تواند بهره‌وری سیستم روشنایی را ۵۸٪ افزایش دهد (۱۷). درمجموع طراحی کارآمد سیستم‌های روشنایی موجب کاهش انرژی مصرفی و حفظ استانداردهای کیفی روشنایی در ساختمان ها خواهد شد. طراحان روشنایی بخصوص طراحان روشنایی در مراکز آموزشی می‌بایست به این نکته توجه نمایند که پارامترهای کیفی نور به لحاظ بهداشتی بسیار مهم بوده و می‌بایست حتماً درطراحی به آن‌ها دقت شود. صرفه جویی در مصرف الکتریکی نباید باعث شود شدت روشنایی، توزیع مناسب روشنایی، رنگ نور و درخشندگی و غیره تحت الشعاع قرار گیرد و از حد استاندارد کاهش یابد. بهینه‌سازی سیستم‌های روشنایی مطالعه حاضر در مدارس به‌صورت ذیل پیشنهاد می‌شود: ۱- سطوح دیوارها در مدارس با ضرایب انعکاس ۰/۷ برای سقف، ۰/۵ برای کف رنگ آمیزی شود ۲- به‌کارگیری بالاست های الکترونیکی و لامپ‌های متناسب با بهره‌وری بالاتر ۳- به‌کارگیری رفلکتورهای استیلی ۴- به‌کارگیری نور روز بدون ایجاد خیرگی و بدون ایجاد مشکل توزیع یکنواخت و افزایش بار سرمایشی ساختمان.

## تقدیر و تشکر

این مقاله با حمایت مالی کمیته پژوهشی دانشجویان دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی صورت گرفته است. نویسندگان مقاله از همکاری صمیمانه مدیران اداره کل آموزش‌وپرورش استان خوزستان و تمامی مسئولین مدارس شاهد بهار اسلام، پروین اعتصامی، حضرت زینب، فروغ، هدف، زاهد، فرهیختگان، آمنه، اقبال نخبگان، معصومیه و شاهد رضوان که مارا در این مطالعه یاری نمودند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

## منابع

1. Winter bottom M, Wilkins A. Lighting and discomfort in the classroom. J Environ Psychol. 2009;29(1):63–75.

2. Warren E. Hathaway. Effects of School Lighting on Physical Development and School Performance. J Edu Res.1995;88 (4).228-42.

3. Reinhold K, Tint P. Lighting of workplaces and health risks. Electron Electr Eng. 2009;90(2):11–4.

4. Bellia L, Bisegna F, Spada G. Lighting in indoor environments:Visual and non-visual effects of light sources with different spectral power distributions. Build Environ. 2011;46(10):1984–92.

5. Bhusal P, Tetri E, Halonen L. Quality and efficiency of office lighting. 27th International AIVC Conference, 20-22 November 2006; Lyon, France.

6. Jennie F, Floress k, Rickert, K. Development of school energy policy and energy education plans: A comparative case study in three Wisconsin school communities. Energy Policy. 2014 Feb 28;65:323-31.

7. Proietti S, Desideri U, Sdringola P, Millucci M. An energy saving solution applied to the final use of electrical and lighting systems of school buildings managed by Perugia Province. Int J Energ Environ Eng. 2011; 2(2):21-29.

8. Almeida, AM. Martins, A.G. Efficient lighting in buildings: The lack of legislation in Portugal. Energy Policy. 2014 Apr 30;67:82-6.

9. European Committee for Standardization (CEN), Energy performance of build-ings – Energy requirements for lighting, EN 15193:2007, Brussels, 2007.

10. Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE), Office Lighting Guide LG7, Society of Light and Lighting, London, 20.

11. Dubois MC, Blomsterberg A. Energy saving potential and strategies for electric lighting in future North European, low energy office buildings: A literature review. Energy Build. 2011;43(10):2572–82

12. Ryckaert WR, Lootens C, Geldof J, Hanselaer P. Criteria for energy efficient lighting in buildings. Energy Build 2010; 42(3):341-7.

13. Hajibabaei M, Kord S, Rasooli E. Comparison of Different Methods of Measuring Illuminance in the Indoor of Office and Educational Buildings. Jundishapur J Health Sci 2014; 6(3):1-5.

14. Li D, H. W, Cheung KL, Wong SL, Lam TNT. An analysis of energy-efficient light fittings and lighting controls. Appl Energy. 2010;87(2):558–67.

15. Kandar MZ, Sulaiman MS, Rashid YR, Ossen DR, Abdullah AM,Wah LY, et al. Investigating Daylight Quality In Malaysian Government Office Buildings Through Daylight Factor and Surface Luminance. Eng Technol. 2011;59.

16. Hanselaer P, Lootens C, Ryckaert W, Deconinck G, Rombauts P. Power density targets for efficient lighting of interior task areas. Lighting Res Technol



[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-08-25 ]

2007;39(2):171-84.

17. Hajibabaei M, Saki A, Golmohamadi R, CHeshmekhavar M, Sarabi M, Isvand M. Performance Indexes Assessment for Lighting Systems Based on the Normalized Power Density and Energy Losses Estimation in University Workrooms, Int J Occup Hygiene,2014; 6(3):131-36.

18. Illuminating Engineering Society of North America. IESNA Lighting Handbook. 9th ed. New York, NY: Illuminating Engineering Society of North America; 2000.

19. Doulos L, Tsangrassoulis A, Topalis F.V. Evaluation of lighting controls in office buildings, 6th WSEAS International Conference on circuits, systems, electronics, control & signal processing. 29-31 Dec 2007, Cairo, Egypt.

20. Borg N. Guidelines for integrating sustainable summer comfort into public procurement schemes for office equipment and lighting, Keep cool program, Deliverable 3.2, Swedish Energy Agency, October 2009.



[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-08-25 ]

# Evaluation of quality of light and energy-efficiency for lighting systems in high schools in Ahvaz city

Narges Azadi[1], Razieh Boroun[1], Majid Hajibabaei[2]

Received: 2015/02/28 Revised: 2015/09/01 Accepted: 2015/11/20

**Abstract**

**Background and aims**: Good quality lighting should make a balance between the needs of humans and economic and environmental issues, and create suitable lighting for particular visual activities like to reading, writing, etc. Quality lighting is very important to increase productivity and learning ability of students. The main idea of energy-efficient lighting is to reduce the amount of electricity used without compromising on the quality of lighting. The first objective of the work was to assess different aspects of lighting quality and energy efficiency and the second objective was to find out ways to improve the efficiency of electric lighting in high school.

**Methods**: This cross-sectional study was conducted in 11 high schools for girls in Ahvaz. In this regard, based on measured artificial light (lux) and electrical power consumption ($w/m^2$), Installed power density (IPD) ($w/m^2$.100 lux) was calculated. Normalized power density (NPD) divided by IPD to compute installed load efficiency ratio (ILER) and performance index classified into three categories. Data were analyzed using unilateral variance analysis test through SPSS v.16.

**Results**: The results show that from all areas measured, 47.6% was at level 3, 36.1% at level 2 and 16.2% at level 1. Maximum efficiency is reported for three high schools (3,5,8).

**Conclusion**: In this study, low efficiency and high energy consumption of lighting systems were identified as the results from defects such as reflection coefficients less than the standard (walls 0.5, ceiling 0.7 and floor at least 0.3), using conventional ballasts instead of electronic ballasts, low-efficiency lamps, conventional reflectors instead of steel, and lack of proper use of daylight.

**Keywords:** High school, Energy efficiency systems, Lighting systems

1- MSc, Department of Occupational Hygiene, School of Health, Students research committee, Ahvaz Jundishapur University of Medical Science, Ahvaz, Iran

2- (Corresponding author) PhD student, Students research committee, School of Public Health, Department of Occupational Health Engineering Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran mhajibabaei2050@gmail.com



[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-08-25 ]