فصلنامه علمی انرژی ایران

دوره ۲۴، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰، صفحه ۳۳ – ۷

ارایه الگویی برای رده‌بندی مصرف انرژی سیستم روشنایی در ساختمان‌ها

[۱] سجاد سعدی، [۲] جواد غلامی، [۳] مسعود علیلو*

تاریخ دریافت:
۱۴۰۰/ ۴ / ۱۰

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۰/ ۴ / ۲۷

کلمات کلیدی:
برچسب انرژی A،
رده‌بندی مصرف سیستم روشنایی،
روش لومن مبتنی بر شاخص فضا،
شرایط آب و هوایی،
نسبت انرژی روشنایی ساختمان.

چکیده

در این پژوهش، روشی محاسباتی برای رده‌بندی مصرف انرژی سیستم روشنایی در ساختمان‌ها ارائه شده است. به منظور رده‌بندی مصرف سیستم روشنایی ساختمان، ابتدا با استفاده از روش لومن مبتنی بر شاخص فضا، شدت روشنایی فضاهای مختلف ساختمان مدل‌سازی می‌شود. سپس، شاخص نسبت انرژی روشنایی ساختمان با توجه به نسبت شدت روشنایی ساختمان مورد مطالعه به شدت روشنایی ساختمان استاندارد مدل‌سازی می‌شود. به منظور کاربردی‌تر کردن روش پیشنهادی، پارامترهای زمانی و مکانی نیز در رابطه نسبت انرژی روشنایی ساختمان در نظر گرفته می‌شود. به عبارت دیگر، نسبت انرژی روشنایی ساختمان با در نظر گرفتن مصرف انرژی در طول روز، مصرف انرژی در طول شب، مدت زمان در دسترس بودن نور خورشید در روزهای مختلف سال، شرایط آب و هوایی و متراژ فضاهای مختلف ساختمان مدل‌سازی می‌شوند. در نهایت، با پیاده‌سازی نسبت انرژی روشنایی ساختمان و بیان نحوه محاسبه پارامترهای مختلف آن، رده‌بندی مصرف انرژی سیستم روشنایی ساختمان با استفاده از رده‌های انرژی A+++ تا G ارائه می‌شود. با توجه به نتایج پژوهش و رده‌بندی ارائه شده، اگر مصرف انرژی سیستم روشنایی یک ساختمان حداکثر ۱۰ درصد بیشتر از مصرف سیستم روشنایی ساختمان استاندارد باشد، شایستگی برخورداری از برچسب انرژی A را دارا است.

۱. مهندسی بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران s.sadi@modares.ac.ir
۲. دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران javadgholami@mecheng.iust.ac.ir
۳. دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران (نویسنده مسئول) masoud.alilou@yahoo.com

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-04]

۱. مقدمه

رشد فزاینده مصرف سوخت‌های فسیلی در قرن بیستم، افزایش چشم گیر قیمت آنها و تاثیر این سوخت‌ها بر مسئله‌ی آلودگی محیط زیست از یک سو و از سوی دیگر نیاز رو به رشد جوامع پیشرفته بشری به انرژی، ضرورت مدیریت مصرف انرژی و افزایش بهره‌وری انرژی در تمام سطوح تولید و مصرف را بیش از پیش آشکار ساخته است. از آنجا که بخش بزرگی از مصرف انرژی الکتریکی تولید شده در ساختمان‌های مسکونی، تجاری و اداری مصرف می‌شود، افزایش ضریب بهره‌وری انرژی در تجهیزات مورد استفاده در ساختمان‌ها به معنای جلوگیری از هدر رفت بخش بزرگی از انرژی به اشکال گوناگون از انرژی الکتریکی گرفته تا گاز، نفت و غیره است. لذا لزوم تهیه و تدوین معیارها و مشخصات فنی مرتبط با مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی و غیر مسکونی بر کسی پوشیده نیست (سرتوری[1] و دیگران، ۲۰۲۱) (فقیه و زاید[2]، ۲۰۲۱).

مصرف برق در ساختمان‌ها، اعم از مسکونی و غیر مسکونی ارتباط مستقیمی هم با راندمان تجهیزات مصرف‌کننده انرژی در ساختمان و هم با ساختار خود ساختمان دارد. به عنوان مثال، اگر به منظور سرمایش ساختمان از کولرهای آبی با راندمان بسیار کم استفاده شود، هدر رفت انرژی زیاد خواهد بود؛ از سوی دیگر، اگر از بهترین نوع چیلرها با راندمان بسیار بالا برای سرمایش ساختمان استفاده شود درحالیکه با نصب پرده یا سایبان مناسب از تابش مستقیم نور خورشید به ساختمان جلوگیری نشده است، بهره وری انرژی کم شده و مشابه حالت قبل، هدر رفت انرژی زیاد خواهد بود. بنابر این هر دو عامل راندمان انرژی تجهیزات و راندمان انرژی ساختمان در بحث بهره‌وری انرژی در ساختمان تاثیر گذار هستند (اسکویی و دیگران، ۲۰۲۱).

انرژی الکتریکی مصرف شده در ساختمان‌ها را می‌توان در دو بخش مصارف روشنایی و مصارف تجهیزات الکتریکی ساختمان همچون کولر و یخچال تقسیم‌بندی کرد. رده‌بندی مصرف انرژی الکتریکی

1 Sartory
2 Fagih and Zayed

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-04]

برای تجهیزات الکتریکی ساختمان از روی برچسب انرژی هر تجهیز مشخص است. اگر بتوان به گونه‌ای رده‌بندی مصرف انرژی الکتریکی در بخش روشنایی را نیز در ساختمان مشخص کرد، می‌توان در نهایت با یک میانگین وزن دار میان عوامل مصرف انرژی، رده‌بندی کل مصرف انرژی الکتریکی ساختمان را تعیین کرد. تعیین رده مصرف روشنایی ساختمان از این حیث دشوار است که به ساختار ساختمان و عوامل محیطی وابسته است. درنتیجه، صرفا از روی برچسب انرژی لامپ قابل تعیین نبوده اما برای سایر تجهیزات الکتریکی ساختمان چنین وابستگی ای وجود ندارد و به راحتی برچسب انرژی تجهیز کفایت می کند (وانگ[1] و دیگران، ۲۰۲۱).

در این پژوهش، الگویی برای رده‌بندی مصرف انرژی سیستم روشنایی ساختمان ارائه شده است. در روش محاسباتی پیشنهادی، رده‌بندی مصرف سیستم روشنایی ساختمان بدون توجه به سلایق مصرف انرژی ساکنین ساختمان تعیین می‌شود. در روش پیشنهادی برای رده‌بندی مصرف انرژی سیستم روشنایی ساختمان، مصرف انرژی سیستم روشنایی در طول یک سال با توجه به شرایط آب و هوایی محل قرارگیری ساختمان محاسبه می‌شود. به عبارت دیگر، میزان بهره‌مندی فضاهای مختلف ساختمان از روشنایی طبیعی (نور خورشید) در روزهای مختلف سال در محاسبه شدت توان روشنایی مورد نیاز ساختمان در نظر گرفته می‌شود. در نتیجه می‌توان بیان کرد که شرایط زمانی و مکانی ساختمان در تعیین رده مصرف انرژی سیستم روشنایی ساختمان لحاظ می‌شوند.

۲. مبانی نظری

راندمان انرژی تجهیزات سال‌ها است که در اقصی نقاط جهان با تهیه برچسب انرژی و نصب آن بر روی تجهیز، مورد توجه قرار گرفته شده است ولی راندمان انرژی سیستم‌های انرژی ساختمان مسئله جدیدی بوده که به تازگی در سطح جهانی مطرح شده و مورد استقبال گسترده‌ای نیز قرار گرفته شده است. رده‌بندی انرژی ساختمان و سیستم‌های انرژی آن بر مسائل زیست‌محیطی و اقتصادی تاثیر گذار هستند (یوسفی و دیگران، ۲۰۲۱). در ادامه این بخش، ابتدا به پیشینه پژوهش با بیان مطالعات انجام گرفته در

1 Wang

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-04]

حوزه انرژی ساختمان پرداخته شده و سپس فرضیات و سوالات پژوهش بیان می‌شوند. سپس نوآوری مقاله بیان شده و به ساختار پژوهش پرداخته می‌شود.

پیشینه پژوهش

در سال‌های اخیر، مطالعات و استانداردهای متعددی در مورد برچسب‌دهی انرژی ساختمان‌ها و معرفی ساختمان های با مصرف انرژی پایین منتشر شده که در ادامه به برخی از آنها اشاره شده است. در کشورهای مختلف استانداردهای متعددی با توجه به شرایط هر کشور وجود دارند. در ایران استانداردها و دستورالعمل‌های مختلفی همچون استاندارد ملی ایران ۱۴۲۵۳ (۱۳۹۰) و استاندارد ملی ایران ۱۴۲۵۴ (۱۳۹۰) که شامل دستورالعمل‌هایی برای تعیین درجه کارایی در مصرف انرژی برای ساختمان‌های مسکونی و غیر مسکونی است استفاده می‌شود. این دو استاندارد همچنین دارای روابطی برای محاسبه مقدار بار سرمایشی و گرمایشی ساختمان هستند. مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان (۱۳۸۹) نیز شامل دستورالعمل‌هایی برای کاهش انرژی مصرفی ساختمان بوده که شامل پیشنهادهایی به صورت کلی است. در کشورهای دیگر نیز استانداردها و کتاب‌های راهنمای مختلفی در حوزه انرژی ساختمان وجود دارد. در کشور آمریکا کتاب راهنمای انجمن مهندسین گرمایشی، برودتی و تهویه مطبوع آمریکا و استاندارد سازمان طراحی انرژی و محیط زیست مورد استفاده قرار می‌گیرند. در کشورهای اروپایی نیز هر کدام از کشورها، استانداردهای خاص خود را معرفی می‌نمایند و هم اینکه، مهندسان می‌توانند از استانداردهای اتحادیه اروپا استفاده کنند. مباحث کلی در مورد ساختمان‌های با مصرف انرژی پایین در شیرین‌بخش و هاروی[1] (۲۰۲۱) بیان شده است. در این منبع به تعاریف کلی و مزایای ساختمان‌های با مصرف انرژی پایین پرداخته شده است. به علاوه، مباحثی در مورد نحوه محاسبه میزان انرژی مصرفی یک ساختمان و تعیین نرخ انرژی پایین بودن آن مطالبی بیان شده است. همچنین در سال‌های اخیر، برخی از شرکت ها و سازمان ها که ساختمان‌های با مصرف انرژی پایین را به عنوان یکی از اهداف خود معرفی کرده اند، استانداردها و مقالاتی برای رسیدن به آن منتشر کرده اند. کتابچه‌ای که انجمن مهندسین گرمایشی، برودتی و تهویه مطبوع آمریکا به همراه انجمن‌های دوستدار محیط زیست به چاپ رسانده

1 Shirinbakhsh and Harvey

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-04]

است، یکی از همین منابع است که مطالب کلی در مورد مزایای ساختمان های اداری با مصرف انرژی پایین بیان کرده و به مشکلاتی که در مسیر رسیدن به آن وجود دارد، اشاره کرده است. همچنین در این منبع، معیارهایی برای سنجیدن یک ساختمان با استانداردهای یک ساختمان با انرژی پایین معرفی شده است که می توان از آنها برای طراحی و مدیریت یک ساختمان با انرژی پایین استفاده کرد (انجمن مهندسین گرمایشی، برودتی و تهویه مطبوع آمریکا[1]، ۲۰۱۹). در زو[2] و دیگران (۲۰۲۱) به بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها جهت رسیدن به یک ساختمان با مصرف انرژی پایین پرداخته شده است. در این پژوهش از انرژی‌های تجدیدپذیر برای کاهش وابستگی ساختمان به انرژی شبکه استفاده شده است. در یانگ[3] (۲۰۱۹) و مشکتی[4] (۲۰۱۹) ساختمان های اداری با مصرف انرژی پایین در یک کشور خاص مورد ارزیابی قرار گرفته شده و ویژگی‌ها و امکان اجرای این چنین ساختمان ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته شده است. در السعد و شعبان[5] (۲۰۱۹) و فنگ[6] و دیگران (۲۰۱۹) میزان تأثیر شرایط آب و هوایی خاص بر روی کارایی ساختمان های اداری با مصرف انرژی پایین مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته شده اند. در هارکوس[7] و دیگران (۲۰۱۹) و لو[8] و دیگران (۲۰۱۹) نیز بهینه‌سازی مدیریت تجهیزات با در نظر گرفتن برخی معیارهای فنی، اقتصادی و زیست محیطی به نحوی انجام شده است که ساختمان ها به یک ساختمان با انرژی پایین تبدیل شوند یا به شرایط بهره برداری این چنین ساختمان ها نزدیک شوند. در گکنور و کالفا[9] (۲۰۲۱)، روشی جهت استفاده از سایبان‌های خارجی برای کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها در طول ساعات روز ارائه شده است. با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان بیان کرد که میزان انرژی مصرفی سالانه ساختمان را می‌توان با استفاده مناسب از سایبان‌های خارجی در حدود سی درصد کاهش داد. در قدیریان و ویسی (۲۰۲۱) روشی چندهدفه برای مدیریت بار ساختمان‌ها براساس

1 ASHRAE
2 Zhu
3 Yang
4 Moschetti
5 Al-Saad and Shaaban
6 Feng
7 Harkouss
8 Lu
9 Göknur and Kalfa

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-04]

الگوریتم چندهدفه ژنتیک ارائه شده است. کاهش هزینه‌های ساختمان و افزایش راحتی ساکنین ساختمان از اهداف روش پیشنهادی هستند. در ایل‌بیگی و دیگران (۲۰۲۰) از شبکه‌های عصبی و الگوریتم ژنتیک برای پیش‌بینی و همچنین مدیریت بار ساختمان‌ها استفاده شده است. کاهش انرژی مصرفی و هزینه‌های ساختمان به عنوان اهداف مسئله پیش‌بینی و مدیریت بار در نظر گرفته شده‌اند. در طلایی و دیگران (۲۰۲۱) جهت کاهش آلایندگی ساختمان‌ها روشی مبتنی بر استفاده از روشنایی طبیعی پیشنهاد شده است. تاثیر نوع پنجره‌های استفاده شده در ساختمان بر میزان استفاده از روشنایی طبیعی مورد مطالعه قرار گرفته شده است. افزایش شدت روشنایی طبیعی در بخش‌های مختلف ساختمان و کاهش مصرف انرژی الکتریکی، اهدافی هستند که در این مطالعه مورد نظر قرار گرفته شده‌اند.

فرضیات و سوالات پژوهش

از جمله فرضیاتی که در این پژوهش مدنظر قرار گرفته شده است، این نکته بوده که در فضاهای مختلف ساختمان با توجه به نوع کاربری آن فضا به شدت توان روشنایی متفاوتی نیاز است. علاوه بر این، فرض شده است که روشنایی طبیعی روز بر توان روشنایی الکتریکی مورد نیاز ساختمان تاثیر می‌گذارد.

با توجه به فرضیات ذکر شده، از جمله سوالاتی که در این پژوهش به آنها پاسخ داده شده است می‌توان به این سوال اشاره کرد که با محاسبه شدت توان روشنایی فضاهای مختلف ساختمان و مقایسه آنها با مقادیر یک ساختمان استاندارد، آیا می‌توان معیاری برای رده‌بندی مصرف انرژی سیستم روشنایی ساختمان تعیین کرد؟ علاوه بر این، سوال دیگری که مورد مطالعه قرار گرفته شده است، این سوال بوده که محل قرارگیری ساختمان (شرایط آب و هوایی) و در دسترس بودن روشنایی طبیعی چه تاثیری بر رده‌بندی مصرف انرژی سیستم روشنایی ساختمان می‌گذارند؟

نوآوری پژوهش

در ایران، در مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان و استانداردهای ۱۴۲۵۳ و ۱۴۲۵۴ تا حدودی به استانداردهای روشنایی ساختمان پرداخته شده است. مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان با عنوان صرفه‌جویی در مصرف انرژی، سال‌ها است که راهکارهای مناسب طراحی بهینه ساختمان جهت کاهش مصرف انرژی مخصوصا در بخش مهندسی عمران و طراحی بهینه پوسته ساختمان را معرفی کرده است. در نتیجه، این منبع بیشتر وظیفه تعیین حداقل‌های لازم برای طراحی پربازده ساختمان از منظر انرژی را

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-04]

بیان می‌کند و اشاره‌ای به معیارهای مصرف انرژی نمی‌کند. با این وجود مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان منبع خوبی برای تعیین حداقل توقعات از یک ساختمان با بهره‌وری مناسب انرژی است که می‌توان از آن در تدوین معیارهای حداقلی برچسب انرژی ساختمان استفاده کرد. علاوه بر این، در مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان در حوزه انرژی الکتریکی فقط نکاتی در مورد تجهیزات روشنایی و کنترل آنها بیان شده و در مورد رده‌بندی انرژی سیستم روشنایی نکاتی ذکر نگردیده است. از طرف دیگر، سازمان ملی استاندارد ایران در حوزه برچسب‌دهی انرژی ساختمان‌های مسکونی و غیرمسکونی دو استاندارد ۱۴۲۵۳ و ۱۴۲۵۴ را ارائه کرده است. در این استانداردها، از دو روش عملکردی و محاسباتی برای رده‌بندی انرژی ساختمان استفاده شده است. در روش عملکردی، از قبوض برق و سوخت ساختمان برای تعیین برچسب انرژی استفاده می‌شود که به مفهوم وارد کردن سلایق مصرف انرژی ساکنین ساختمان در این مسئله است. در حالی که برچسب انرژی یک ساختمان باید مستقل از خصوصیات ساکنین آن بوده و به ساختار ساختمان و در واقع راندمان ساختمان مربوط باشد. از طرف دیگر، در روش محاسباتی بیان شده در این استانداردها جهت رده‌بندی انرژی در بخش محاسبات روشنایی نیز نقاط ضعفی وجود دارد چون که با فرض‌های متعدد ساده‌کننده، مدلی برای محاسبات ارائه شده که بسیار ساده و غیر دقیق است. برای مثال در محاسبات روشنایی حضور یا عدم حضور پنجره در یک اتاق که باعث عدم نیاز به روشن شدن لامپ در طول روز بوده، به هیچ وجه مورد توجه قرار گرفته نشده است. یا به عنوان مثال دیگر، اگر در اتاقی سه لامپ وجود داشته باشد و دو تا از آنها به دلیل عدم نیاز ساکنین هیچ وقت مورد استفاده قرار نگیرند، باز هم در محاسبات مورد استفاده قرار می‌گیرند چون هیچ راه‌کاری در این محاسبات برای تعیین لامپ‌های رزرو و اصلی وجود ندارد. این ایرادات محدود به موارد خاص نبوده چرا که در این استانداردها، از مواردی همچون تعداد و توان مصرفی لامپ‌ها، زاویه تابش، لوکس تولیدی و شرایط آب و هوایی صرف نظر شده است.

لذا در این مقاله، سعی شده است روشی کامل‌تر جهت رده‌بندی مصرف انرژی سیستم روشنایی ساختمان ارائه شود. به عبارت دیگر، در این پژوهش شیوه‌ای کاملا جدید و علمی بر پایه‌ی محاسبات دقیق روشنایی در طول شب و روز و در نظر گرفتن عوامل مختلف زمانی و مکانی برای تعیین رده مصرف روشنایی ساختمان ارائه شده است. در نتیجه، می‌توان نوآوری‌های این مقاله را به صورت زیر بیان کرد:

- ارائه روش محاسباتی جدید برای رده‌بندی مصرف انرژی سیستم روشنایی ساختمان

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-04]

- استفاده از توان مصرف سیستم روشنایی در شب و روز در طول یک سال در رده‌بندی انرژی سیستم روشنایی
- ارزیابی تاثیر روشنایی طبیعی در کاهش مصرف انرژی بخش روشنایی ساختمان
- برچسب‌دهی سیستم روشنایی ساختمان‌ها با توجه به نسبت انرژی آنها به یک ساختمان استاندارد

ساختار پژوهش

همانطور که در بخش‌های پیشین نیز ذکر گردید، بهترین روش برای تعیین رده مصرف انرژی ساختمان، استفاده از روش محاسباتی به دلیل عدم استفاده از سلایق مصرف انرژی ساکنین است. در ادامه این مقاله، روش محاسباتی جدید در بخش سیستم روشنایی ساختمان جهت ارزیابی و تعیین رده‌بندی مصرف انرژی سیستم روشنایی ساختمان به منظور تدوین برچسب انرژی این بخش از ساختمان ارائه شده است. روش پیشنهادی ارائه شده در این مقاله، مبتنی بر اصول دقیق مهندسی روشنایی و معادلات حاکم بر سیستم‌های روشنایی است. علاوه بر این، در روش پیشنهای، مصرف انرژی در بخش روشنایی در دو نوبت روز و شب به صورت جداگانه بررسی شده است تا تاثیر مثبت نصب مناسب نورگیرها و پنجره‌ها در کاهش مصرف انرژی بخش روشنایی ساختمان لحاظ شود. با استفاده از این روش پیشنهادی رده‌بندی مصرف انرژی ساختمان در بخش روشنایی تعیین می‌شود. در ادامه این مقاله، در بخش ۳، مدل‌سازی روش پیشنهادی برای رده‌بندی سیستم روشنایی ساختمان ارائه شده است. در این بخش، با معرفی مفاهیم سیستم روشنایی، معادلات حاکم برای محاسبه شدت روشنایی فضای ساختمان بیان شده و سپس نسبت انرژی روشنایی ساختمان‌ها که با توجه به شدت روشنایی ساختمان استاندارد ارزیابی می‌شود، مدل‌سازی می‌گردد. پیاده‌سازی روش پیشنهادی و بحث در مورد نحوه اجرای آن، در بخش ۴ آورده شده است. رده‌بندی مصرف انرژی سیستم روشنایی ساختمان با توجه به روش پیشنهادی نیز در این بخش بیان شده است. در بخش ۵ نیز نتیجه‌گیری پژوهش و پیشنهاداتی برای کارهای آتی ارائه شده است.

۳. مدل‌سازی روش پیشنهادی برای رده‌بندی سیستم روشنایی

برای تعیین رده‌ی مصرف انرژی روشنایی ساختمان، ضمن آشنا بودن با مفاهیم روشنایی، ابتدا باید نسبت انرژی روشنایی را برای ساختمان مورد بررسی پیدا کرد. منظور از نسبت انرژی روشنایی، حاصل تقسیم انرژی مصرفی روشنایی ساختمان مورد بررسی به انرژی مصرفی روشنایی ساختمان ایده‌آل (استاندارد) با

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-04]

همان مساحت زیر بنا و در همان منطقه جغرافیایی است. سپس بر اساس مقدار نسبت انرژی روشنایی و با توجه به این که این نسبت در کدام رده از رده های هفت گانه انرژی جای می‌گیرد، رده‌ی مصرف انرژی روشنایی ساختمان محاسبه می‌شود. در این بخش، ابتدا نحوه محاسبه شدت روشنایی فضا و سپس نسبت انرژی روشنایی ساختمان مورد مطالعه مدل‌سازی می‌شوند.

محاسبه شدت روشنایی فضا

در این پژوهش، از روشی مبتنی بر روش لومن با استفاده از شاخص فضا برای محاسبه شدت روشنایی فضا استفاده می‌شود. در این روش تعداد چراغ ها و محل دقیق آنها برای تامین شدت روشنایی متوسط فضا استفاده می‌شود. در روش لومن، شدت روشنایی متوسط روی سطح کار مورد نظر ارزیابی شده و تغییرات شدت روشنایی از نقطه‌ای به نقطه دیگر مورد توجه نیست. لازم به ذکر است که میزان روشنایی رسیده به سطح کار از هر چراغ به منحنی توزیع نور چراغ، اندازه اتاق و ضرایب انعکاس دیوارها و سقف بستگی دارد چون که مقداری از نور چراغ به طور مستقیم به سطح کار می‌رسد و مقداری از آن پس از انعکاس از سقف، دیوارها و یا بعد از انعکاس‌های متعدد به سطح کار می‌رسد. با توجه به روش لومن، شدت روشنایی متوسط روی میز کار با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود (کلهر، ۱۳۹۷) (اصلان‌اوغلو[1] و دیگران، ۲۰۲۱).

$$E_r = \frac{\emptyset}{A} \times CU \qquad (۱)$$

در رابطه فوق، E_r نشان‌دهنده شدت روشنایی فضا است. پارامتر $\emptyset$ شار نوری تابیده شده به سطح بوده که با دارای مساحت A است. پارامتر CU نیز نسبت شار نوری مفید به کل شار نوری ساطع شده از لامپ است.

به منظور تاثیر گذاری طول (L_r) و عرض اتاق (W_r) و همچنین ارتفاع نصب چراغ‌ها از نیم‌متری سطح زمین (H_l) در شدت روشنایی فضا از پارامتر KR که با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود می‌توان استفاده کرد.

1 Hamada

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-04]

$$KR = \frac{L_r \times W_r}{H_l \times (L_r \times W_r)} \quad (۲)$$

پارامتر دیگری که در میزان شدت روشنایی فضا تاثیر گذار است، ضریب نگهداری لامپ (MF) بوده که میزان کثیفی، کهنگی و کیفیت چراغ را مشخص می‌کند.

بازده یا بهره الکتریکی لامپ نیز بر شدت روشنایی فضا تاثیرگذار است. جهت محاسبه بازدهی الکتریکی لامپ از رابطه (۳) می‌توان استفاده کرد. در این رابطه، P_l و η_l به ترتیب توان الکتریکی و بازده الکتریکی لامپ هستند.

$$\eta_l = \frac{\emptyset \times 100}{P_l \times 680} \quad (۳)$$

با ترکیب پارامترهای تاثیر گذار بر شدت روشنایی با رابطه اولیه شدت روشنایی فضا، رابطه نهایی شدت روشنایی فضا با استفاده از روش لومن به صورت رابطه (۴) محاسبه می‌شود.

$$E_r = \frac{P_l}{A} \times K \quad (۴)$$

در این رابطه، K نشان‌دهنده ویژگی‌های اتاق شامل طول و عرض اتاق، ارتفاع نصب چراغ، ضرایب انعکاس دیوارها و کف و سقف اتاق و همچنین ویژگی‌های لامپ شامل کثیفی، کهنگی، کیفیت لامپ و بهره الکتریکی آن بوده که با استفاده از رابطه (۵) با توجه به مشخصات فضا و لامپ محاسبه می‌شود.

$$K = 6.8 \times \eta_l \times CU \times MF \times KR \quad (۵)$$

لازم به ذکر است که رابطه (۴) برای حالتی است که در فضای مورد مطالعه، یک عدد لامپ وجود داشته باشد. در بسیاری از اتاق‌های ساختمان بیش از یک عدد لامپ وجود دارد و شدت روشنایی موجود در اتاق برآیند شدت نور تمام تجهیزات روشنایی اتاق است. در نتیجه، با استفاده از قاعده ی جمع آثار می توان فرض کرد که شدت نور کل در یک اتاق برابر است با مجموع شدت نور تک تک تجهیزات روشنایی در اتاق که با استفاده از رابطه (۴) محاسبه شده است. بنابراین شدت نور کل در یک بخش از ساختمان (اتاق یا فضا) با N منبع روشنایی با استفاده از رابطه (۶) محاسبه خواهد شد.

$$E_R = \sum_{i=1}^{N} E_i = \sum_{i=1}^{N} \frac{P_i}{A} \times K_i \quad (۶)$$

در رابطه فوق، E_i و P_i به ترتیب نشان‌دهنده شدت روشنایی و توان مصرفی منبع روشنایی شماره i ام هستند. پارامتر نیز ضریب ویژگی منبع شماره i ام است. باید به این نکته توجه شود که رابطه (۶) در

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-04]

صورتی برقرار است که در اتاق تمام کلیدها (تجهیزات روشنایی) همزمان روشن باشند و این فرض غیر معقولی است. در نتیجه، E_R می تواند برابر با هر یک از مقادیر E_1 تا E_N یا مجموع تعدادی از آنها همچون $E_1 + E_2 + E_7$ باشد. با توجه به مسائل احتمالاتی، کل حالات ممکن برای روشن بودن تجهیزات روشنایی برابر با $2^N - 1$ حالت خواهد بود. پس کل حالات شدت روشنایی فضا به صورت رابطه (۷) بیان می‌شود. در این رابطه، اندیس p نشان‌دهنده احتمالی بودن وقوع این شدت تابش است.

$$E_R = \{E_1^p, E_2^p, \dots, E_{2^N-2}^p, E_{2^N-1}^p\} \quad (۷)$$

باید به این نکته توجه شود که مشابه با حالات روشن بودن تجهیزات روشنایی با توجه به شدت‌های روشنایی احتمالی فضا که در رابطه (۷) بیان شده، توان مصرفی کل تجهیزات روشنایی که در هر حالت احتمالی روشن هستند نیز به صورت ترکیب توان مصرفی آنها محاسبه می‌شود. به عنوان مثال، در حالتی که دو منبع روشنایی ۱ و ۳ روشن هستند، توان مصرفی کل برابر با مجموع توان مصرفی هر کدام از لامپ‌های ۱ و ۳ است.

نسبت انرژی روشنایی ساختمان

پس از مدل‌سازی شدت روشنایی فضاهای ساختمان، می‌توان نحوه محاسبه نسبت انرژی روشنایی ساختمان را مدل‌سازی کرد. همانطور که قبلا نیز بیان گردید، نسبت انرژی روشنایی مصرفی ساختمان در واقع نسبت انرژی مصرفی روشنایی ساختمان مورد بررسی به انرژی مصرفی روشنایی ساختمان ایده‌آل با همان مساحت زیر بنا و در همان منطقه جغرافیایی است. با توجه به مطالعات انجام گرفته در طول پژوهش، نسبت انرژی روشنایی ساختمان (R_{bl}) را می‌توان با استفاده از رابطه (۸) محاسبه کرد.

$$R_{bl} = \frac{E_B}{E_s} = \frac{\sum_{j=1}^{m} C_j \times \sum_{i=1}^{365}\left[\left(a_i \times P_{nj}\right) + \sum_{h=1}^{b_i} P_{djih}\right]}{\sum_{j=1}^{m} C_j^s \times \sum_{i=1}^{365}\left[\left(a_i \times P_{nj}^s\right) + \sum_{h=1}^{b_i} P_{djih}^s\right]} \quad (۸)$$

در این رابطه، E_B نشان‌دهنده انرژی روشنایی مصرفی سالانه ساختمان مورد بررسی بوده و E_s نیز انرژی روشنایی مصرفی ساختمان استاندارد (ایده‌آل) با همان مساحت و در همان منطقه جغرافیایی است. پارامتر m تعداد فضاهای موجود ساختمان را نشان می‌دهد. اندیس‌های j ، i ، h ، n ، d و s به ترتیب نشان‌دهنده شماره فضای ساختمان، شماره روز در طول یک سال، شماره ساعت در طول یک روز، نماد شب، نماد روز و استاندارد بودن پارامتر (ساختمان ایده‌آل) هستند. پارامترهای C_j و C_j^s به ترتیب نشان‌دهنده ضریب زمان کاری (فعالیت) فضای j ام ساختمان مورد مطالعه و ساختمان استاندارد هستند.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-04]

پارامترهای a_i و b_i به ترتیب نشان‌دهنده ضریب زمان موثر برای i امین روز سال در طول شب و روز هستند. پارامترهای P_{nj} و P_{nj}^{s} به ترتیب نشان‌دهنده توان مصرفی سیستم روشنایی فضای j ام ساختمان مورد مطالعه و ساختمان استاندارد در طول شب هستند. پارامترهای P_{djih} و P_{djih}^{s} به ترتیب نشان‌دهنده توان مصرفی سیستم روشنایی فضای j ام ساختمان مورد مطالعه و ساختمان استاندارد در طول روز در i امین روز سال هستند.

٤. پیاده‌سازی روش پیشنهادی و بحث

در بخش پیشین، مدل‌سازی رده‌بندی مصرف انرژی سیستم روشنایی ساختمان انجام شد. در این بخش با استفاده از رابطه نهایی بیان شده برای رده‌بندی انرژی روشنایی ساختمان (رابطه (۸))، به نحوه پیاده‌سازی این رابطه در ساختمان‌های مختلف پرداخته می‌شود و در نهایت نحوه برچسب‌دهی سیستم روشنایی ساختمان با توجه به روش پیشنهادی بیان می‌شود. به منظور پیاده‌سازی روش پیشنهادی، نحوه محاسبه پارامترهای مختلف رابطه (۸) در ساختمان‌های ایده‌ال و مورد مطالعه، بیان می‌شود.

ضرایب زمان موثر و زمان کاری

همانطور که بیان گردید، پارامترهای a_i و b_i به ترتیب نشان‌دهنده ضریب زمان موثر برای i امین روز سال در طول شب و روز هستند. برای محاسبه این ضرایب، زمان‌های طلوع و غروب آفتاب باید در منطقه مورد مطالعه استخراج شود. به عنوان مثال، در شهر تهران در روز سوم مهرماه (روز ۱۸۹ سال)، طلوع آفتاب در ساعت ۶ صبح و غروب آفتاب در ساعت ۶:۳۰ بعد از ظهر اتفاق می‌افتد. در نتیجه در روز ۱۸۹ سال، تعداد ساعات روز برابر با ۱۲/۵ بوده و تعداد ساعات شب برابر با ۱۱/۵ است (وزارت راه و شهرسازی- سازمان هواشناسی کشور). پس ضرایب a_{189} و b_{189} به ترتیب با استفاده از روابط (۹) و (۱۰) به واحد دقیقه محاسبه می‌شوند. برای سایر روزهای سال روند مشابهی طی می‌شود.

$$a_{189} = 11.5 \times 60 = 690 \quad (۹)$$

$$b_{189} = 12.5 \times 60 = 750 \quad (۱۰)$$

ضرایب زمان کاری که با استفاده از پارامترهای C_j و C_j^{s} نشان‌داده شده‌اند، به ترتیب بیانگر ضریب زمان کاری (فعالیت) فضای j ام ساختمان مورد مطالعه و ساختمان استاندارد هستند. همانطور که می‌دانید، ساعت روشن بودن چراغ های بخش‌های مختلف ساختمان متفاوت است. به عنوان مثال، در یک روز،

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-04]

لامپ حمام فقط دو ساعت در کل روز روشن است ولی لامپ اتاق نشیمن تمام طول شب روشن است. با در نظر گرفتن ضرایب وزنی مناسب می‌توان این مشکل را حل کرد. این ضرایب وزنی همان ضرایب کاری C_j و C_j^s هستند که برای هر بخش ساختمان به صورت ساعت معمول روشن بودن آن بخش در شبانه‌روز، تقسیم بر ۲۴ ساعت بیان می‌شوند. البته مقدار ضرایب کاری برای هر بخش ساختمان تا حد زیادی به عادات مصرف انرژی ساختمان بستگی دارد ولی چون برچسب انرژی سیستم روشنایی باید مستقل از عادات و سلایق ساکنین آن باشد و همچنین هدف این پژوهش، تعیین برچسب انرژی سیستم روشنایی ساختمان‌هایی است که هنوز ساخته نشده اند و در نتیجه ساکنی ندارند، مقادیر متوسط ضرایب کاری به طور تقریبی در نظر گرفته شده‌اند.

جدول ۱. مقدار ضرایب کاری C_j و C_j^s در فضاهای مختلف ساختمان مسکونی

نوع کاربری بخش j ام ساختمان	مقدار ضریب کاری C_j		مقدار ضریب کاری C_j^s
	در صورت عدم استفاده از سنسور نوری	در صورت استفاده از سنسور نوری	
نشیمن (هال)	۰/۳۵۰	۰/۳۵۰۰	۰/۳۵۰۰
پذیرایی	۰/۰۵۰	۰/۰۵۰۰	۰/۰۵۰۰
اتاق مطالعه	۰/۰۵۵	۰/۰۵۰۰	۰/۰۵۰۰
آشپزخانه	۰/۰۴۰	۰/۳۶۰۰	۰/۳۶۰۰
روشنایی عمومی اتاق خواب	۰/۲۷۰	۰/۲۳۰۰	۰/۲۳۰۰
روشنایی تخت خواب در اتاق خواب	۰/۰۹۰	۰/۰۶۰۰	۰/۰۶۰۰
روشنایی عمومی حمام و دستشویی	۰/۰۹۰	۰/۰۷۰۰	۰/۰۷۰۰
روشنایی آینه حمام و دستشویی	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳۵	۰/۰۰۳۵
پلکان	۰/۲۵۰	۰/۱۲۰۰	۰/۱۲۰۰
راهرو، سرسرا و آسانسور	۰/۲۵۰	۰/۱۲۰۰	۰/۱۲۰۰

منبع: انجمن مهندسین روشنایی آمریکا (۲۰۲۰)، مودب و دیگران (۲۰۲۱)، بلانی[1] و دیگران (۲۰۲۱)

1 Belany

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-04]

جدول ۲. مقدار ضرایب کاری C_j و C_j^s در فضاهای مختلف ساختمان غیرمسکونی

نوع کاربری بخش j ام ساختمان	مقدار ضریب کاری C_j		مقدار ضریب کاری C_j^s
	در صورت عدم استفاده از سنسور نوری	در صورت استفاده از سنسور نوری	
راهرو	۰/۴۵	۰/۳۰	۰/۳۰
اتاق انتظار و اطلاعات	۰/۳۵	۰/۳۲	۰/۳۲
آبدارخانه	۰/۴۰	۰/۱۰	۰/۱۰
آسانسور و پلکان	۰/۴۰	۰/۲۵	۰/۲۵
روشنایی محیطی اتاق اداری	۰/۳۳	۰/۲۸	۰/۲۸
روشنایی موضعی اتاق اداری	۰/۲۰	۰/۱۰	۰/۱۰
روشنایی محیطی اتاق جلسات	۰/۲۰	۰/۱۸	۰/۱۸
روشنایی موضعی اتاق جلسات	۰/۱۰	۰/۰۵	۰/۰۵
حیاط	۰/۱۰	۰/۰۵	۰/۰۵
پارکینگ	۰/۱۰	۰/۰۲	۰/۰۲

منبع: انجمن مهندسین روشنایی آمریکا (۲۰۲۰)، مودب و دیگران (۲۰۲۱)، بلانی و دیگران (۲۰۲۱)

مقادیر ضرایب کاری C_j و C_j^s در بخش‌های مختلف ساختمان مسکونی و غیرمسکونی به ترتیب در جداول (۱) و (۲) بیان شده‌اند. برای فضاهایی که در این جداول موجود نیستند، می‌توان از مقادیر فضاهای مشابه استفاده کرد. در این جداول، ضریب کاری C_j که برای ساختمان مورد مطالعه بوده، در دو حالت استفاده و عدم استفاده از سنسور نوری برای کنترل روشن و خاموش شدن چراغ ها بیان شده است. مسلما مقدار استفاده از انرژی الکتریکی در حالت استفاده از سنور نوری کمتر خواهد بود. از این‌رو، مقدار ضریب کاری C_j^s که برای ساختمان استاندارد بوده، مساوی با مقدار ضریب کاری C_j با حالت استفاده از سنور نوری است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-04]

توان مصرفی سیستم روشنایی در طول شب

در این بخش، نحوه پیاده‌سازی و محاسبه پارامترهای P_{nj} و P_{nj}^{s} که به ترتیب نشان‌دهنده توان مصرفی سیستم روشنایی فضای j ام ساختمان مورد مطالعه و ساختمان استاندارد در طول شب هستند، بیان می‌شود. همانطور که قبلا نیز بیان گردید، در هر بخش از ساختمان امکان وجود چندین تجهیز روشنایی وجود دارد. اینکه چه تعداد از این تجهیزات مورد استفاده قرار می‌گیرند تا حد زیادی به عادات ساکنین ساختمان بستگی دارد ولی چون برچسب انرژی سیستم الکتریکی ساختمان باید مستقل از عادات و سلایق ساکنین آن باشد و همچنین تعیین برچسب انرژی برای ساختمان‌هایی است که هنوز ساخته نشده اند و مسلما ساکنی ندارند، در این پژوهش، برای بدست آوردن توان مصرفی سیستم روشنایی بخش j ام ساختمان در طول شب (P_{nj})، فرض شده است که ساکنین به حد نیازشان لامپ روشن می‌کنند. این حد نیاز برای هر بخش ساختمان، مثل بخش j ام ساختمان، از روی شدت روشنایی استاندارد آن بخش تعیین می گردد. شدت روشنایی استاندارد بخش های مختلف ساختمان‌های مسکونی و غیرمسکونی به ترتیب در جداول (۳) و (۴) ارائه شده است. برای فضاهایی که در این جداول موجود نیستند، می‌توان از مقادیر فضاهای مشابه استفاده کرد. در نتیجه، فرض می‌شود که در هر بخش از ساختمان، تعداد مورد نیاز لازم به نحوی روشن می‌شود که شدت روشنایی فضا برابر یا بزرگ‌تر از شدت روشنایی استاندارد آن فضا با توجه به جداول (۳) و (۴) باشد.

در نتیجه، به راحتی می‌توان با استفاده از رابطه (۷)، شدت روشنایی فضا ($\{E_1^p, E_2^p, \dots, E_{2^N-2}^p, E_{2^N-1}^p\}$) و توان روشنایی کل مصرفی فضا ($\{P_1^p, P_2^p, \dots, P_{2^N-2}^p, P_{2^N-1}^p\}$) را بدست آورد.

برای محاسبه توان مصرفی روشنایی بخش j ام ساختمان استاندارد در طول شب (P_{nj}^{s}) از رابطه (۱۱) استفاده می‌شود.

$$P_{nj}^{s} = \frac{E_j^s \times A_j}{K_j^s} \qquad (۱۱)$$

در این رابطه، A_j مساحت فضای j ام ساختمان است که با توجه به طول و عرض آن محاسبه می‌شود. پارامتر E_j^S نشان‌دهنده شدت روشنایی استاندارد بخش j ام ساختمان بوده که با استفاده از جداول (۳) و (۴) تعیین می‌شود.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-04]

جدول ۳. شدت روشنایی مورد نیاز هر بخش ساختمان مسکونی

نوع کاربری بخش j ام ساختمان	شدت روشنایی حداقل (E_j^{min})	شدت روشنایی استاندارد (E_j^S)
نشیمن (هال)	۷۰	۲۰۰
پذیرایی	۸۰	۲۰۰
اتاق مطالعه	۱۵۰	۵۰۰
آشپزخانه	۱۰۰	۲۰۰
روشنایی عمومی اتاق خواب	۵۰	۱۰۰
روشنایی تخت خواب در اتاق خواب	۲۰۰	۵۰۰
روشنایی عمومی حمام و دستشویی	۵۰	۱۰۰
روشنایی آینه حمام و دستشویی	۲۰۰	۵۰۰
پلکان	۱۰۰	۱۵۰
راهرو، سرسرا و آسانسور	۵۰	۱۵۰

منبع: انجمن مهندسین روشنایی آمریکا (۲۰۲۰)، مودب و دیگران (۲۰۲۱)، بلانی و دیگران (۲۰۲۱)

جدول ۴. شدت روشنایی مورد نیاز هر بخش ساختمان غیرمسکونی

نوع کاربری بخش j ام ساختمان	شدت روشنایی حداقل (E_j^{min})	شدت روشنایی استاندارد (E_j^S)
راهرو	۲۰۰	۵۰۰
اتاق انتظار و اطلاعات	۱۵۰	۵۰۰
آبدارخانه	۳۰۰	۶۰۰
آسانسور و پلکان	۲۰۰	۵۰۰
روشنایی محیطی اتاق اداری	۵۰۰	۱۰۰۰
روشنایی موضعی اتاق اداری	۱۰۰	۳۰۰
روشنایی محیطی اتاق جلسات	۳۰۰	۶۰۰
روشنایی موضعی اتاق جلسات	۱۰۰	۱۵۰
حیاط	۵	۱۰
پارکینگ	۵۰	۱۵۰

منبع: انجمن مهندسین روشنایی آمریکا (۲۰۲۰)، مودب و دیگران (۲۰۲۱)، بلانی و دیگران (۲۰۲۱)

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-04]

پارامتر K_j^s نیز همانطور که قبلا بیان شده، ضریب ویژگی‌های لامپ و فضا بوده که برای بخش j ام ساختمان با استفاده از رابطه (۱۲) محاسبه می‌شود.

$$K_j^s = 6.8 \times \eta_l^s \times CU^s \times MF^s \times KR_j^s \quad (۱۲)$$

در این رابطه، بازده الکتریکی لامپ استاندارد برابر با ۴۰۰ ($\eta_l^s = 400$)،ضریب نگهداری لامپ استاندارد برابر با ۱ ($MF^s = 1$) و نسبت استاندارد شار نوری مفید به کل شار نوری ساطع شده از لامپ نیز برابر با ۰/۸ ($CU^s = 0.8$) در نظر گرفته می‌شود. ضریب استاندارد ویژگی‌های فضا (KR_j^s) نیز با استفاده از رابطه (۱۳) با توجه به طول (L_j) و عرض فضا (W_j) و همچنین ارتفاع نصب استاندارد چراغ‌ها از نیم‌متری سطح زمین (H^s) محاسبه می‌شود.

$$KR_j^s = \frac{L_j \times W_j}{H^s \times (L_j \times W_j)} \quad (۱۳)$$

در رابطه (۱۳)، طول و عرض فضا با توجه به پیش‌بینی مساحت بخش j ام ساختمان تعیین می‌شوند در حالیکه مقدار استاندارد ارتفاع نصب چراغ‌ها از نیم‌متری سطح زمین در حالت ایده‌آل برابر با ۲ متر ($H^s = 2$) در نظر گرفته می‌شود.

توان مصرفی سیستم روشنایی در طول روز

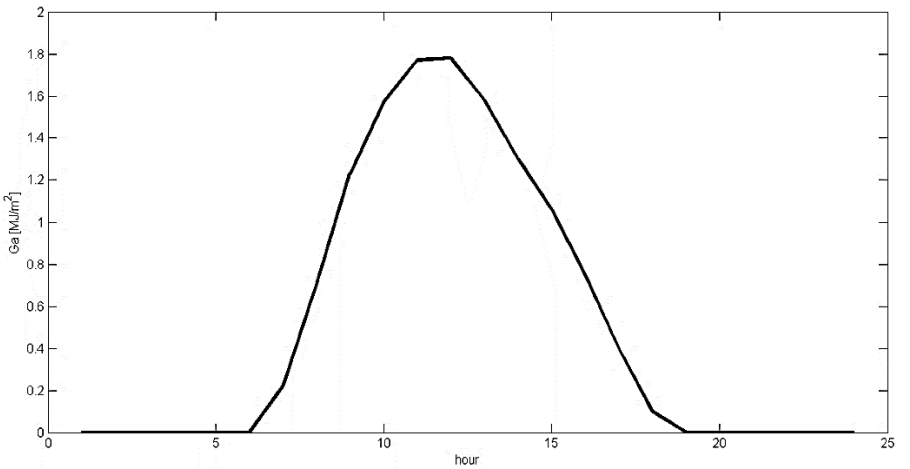
در این بخش، نحوه پیاده‌سازی و محاسبه پارامترهای P_{djih} و P_{djih}^s که به ترتیب نشان‌دهنده توان مصرفی سیستم روشنایی فضای j ام ساختمان مورد مطالعه و ساختمان استاندارد در طول روز در i امین روز سال هستند، بیان می‌شود. تفاوت اصلی توان مصرفی سیستم روشنایی در روز نسبت به شب در میزان نوری است که بخش‌های مختلف ساختمان از محیط و از نور خورشید کسب می‌کنند و در نتیجه، نیاز به روشن کردن لامپ در روز را به شدت کاهش می‌دهند. با این وجود اینکه مصرف انرژی در طول روز و به دلیل تابش نور خورشید باید تا حد ممکن صفر شود و ساختمانی که میزان مصرف انرژی روشنایی اش در روز به صفر نزدیک تر است ساختمانی با بهره وری انرژی بالاتری است، باید به این نکته توجه شود که میزان تابش نور خورشید در مناطق جغرافیایی مختلف و حتی ایام مختلف سال متفاوت است. مثلا استاندارد مصرف روشنایی در زمستان که احتمال ابری بودن هوا بیشتر بوده نسبت به تابستان و همچنین در مناطق شمال کشور که ابری بودن هوا و بارندگی در اکثر اوقات سال استفاده از لامپ در

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-04]

روز را ناگزیر می‌کند با مناطق جنوبی متفاوت است. به منظور وارد کردن تاثیر عوامل محیطی در محاسبه توان مصرفی سیستم روشنایی از شدت تابش خورشید استفاده می‌شود. برای محاسبه شدت تابش خورشید (Eg_{jih}) در بخش j ام ساختمان در ساعت h ام از i امین روز سال از رابطه (۱۴) استفاده می‌شود.

$$Eg_{jih} = \frac{Ig_{jih}}{A_j} = \frac{\sigma_j \times Ag_j \times G_{ih}}{A_j \times 3600} \quad (۱۴)$$

در رابطه فوق، Ag_j مساحت نورگیر یا پنجره واقع در بخش j ام ساختمان است. پارامتر Ig_{jih} نشان‌دهنده کل تابش خورشید در بخش j ام ساختمان در ساعت h ام از i امین روز سال بوده و A_j نیز مساحت کف فضا (اتاق) است. پارامتر G_{ih} بیانگر شدت تابش خورشید در ساعت h ام از i امین روز سال بوده و در منطقه جغرافیایی ساختمان با واحد ژول بر متر مربع تعیین می‌شود. لازم به ذکر است که مقدار متوسط تابش خورشید برای روزهای مختلف سال و برای مناطق مختلف کشور توسط سازمان هواشناسی جمهوری اسلامی ایران تهیه شده و در دسترس است. در شکل (۱) نمونه‌ای از تغییرات شدت تابش خورشید در طول شبانه‌روز برای یک منطقه و زمان خاص از سال نشان داده شده است.



شکل ۱. مقدار نمونه شدت تابش خورشید در طول شبانه‌روز

(منبع: وزارت راه و شهرسازی- سازمان هواشناسی کشور)

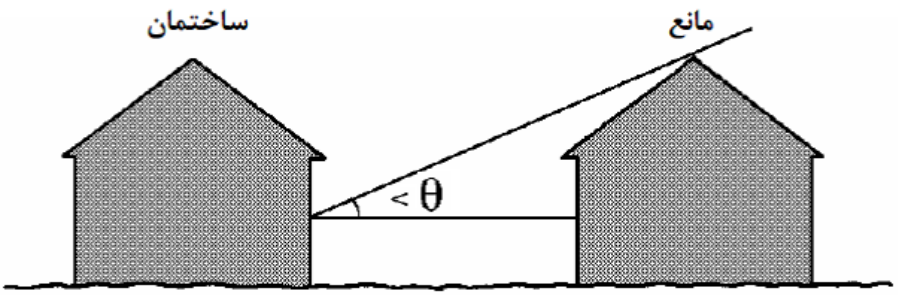
[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-04]

پارامتر دیگر استفاده شده در رابطه (۱۴)، ضریب کاهش شدت تابش خورشید (σ_j) است که مطابق با مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان مربوط به مقعیت سطح نورگذر است. مطابق مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان، اگر مقابل نورگیر بخش j ام ساختمان، مانعی مثل ساختمان همسایه وجود داشته باشد، از میزان تابش نور خورشید بر آن نورگیر کاسته می‌شود. میزان این کاهش با ضریبی به نام ضریب کاهش شدت تابش خورشید در نظر گرفته می‌شود. مقادیر ضریب کاهش شدت تابش خورشید در زوایای مختلف مانع مقابل سطح نورگذر در جدول (۵) آورده شده است. در شکل (۲) نیز نحوه تعیین زوایه رویت مانع مقابل نورگیر نشان داده شده است (مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان، ۱۳۸۹).

جدول ۵. مقادیر ضریب کاهش شدت تابش خورشید (σ_j) در زوایای مختلف مانع مقابل سطح نورگذر

زاویه متوسط رویت مانع مقابل نورگیر (θ) بر حسب درجه	مقدار ضریب کاهش شدت تابش خورشید (σ_j) براساس موقعیت و جهت سطح نورگیر				
	جنوب	شرق	غرب (فضا با استفاده مداوم)	غرب (فضا با استفاده منقطع)	شمال
$0 < \theta < 15$	۱/۰	۰/۶	۰/۶	۰/۴	۰/۳
$15 \leq \theta < 25$	۰/۶	۰/۴	۰/۴	۰/۳	۰/۲
$\theta \geq 25$	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰

منبع: مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان، ۱۳۸۹



شکل ۲. نحوه محاسبه زاویه رویت مانع مقابل نورگیر (منبع: مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان، ۱۳۸۹)

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-04]

پس از محاسبه شدت روشنایی خورشید (Eg_{jih}) با استفاده از رابطه (۱۴)، جهت محاسبه شدت روشنایی مورد نیاز فضا از رابطه (۱۵) استفاده می‌شود.

$$E_j^s \leq E_{djih} + Eg_{jih} \quad (۱۵)$$

در رابطه فوق، E_{djih} شدت روشنایی مورد نیاز بخش j ام ساختمان در ساعت h ام از i امین روز سال با در نظر گرفتن شدت روشنایی خورشید در بخش j ام ساختمان در ساعت h ام از i امین روز سال است. پارامتر E_j^s نیز شدت روشنایی استاندارد فضای j ام ساختمان است که با توجه به جداول ۳ و ۴ تعیین می‌شود. در نتیجه، در هر بخش از ساختمان آنقدر لامپ روشن می‌شود که مجموع شدت تابش خورشید (Eg_{jih}) و شدت روشنایی حاصل از تجهیزات روشنایی (E_{djih}) بزرگ‌تر مساوی شدت روشنایی استاندارد (E_j^s) آن بخش از ساختمان است. پس از محاسبه تعداد تجهیزات روشن مورد نیاز ($\{E_1^p, E_2^p, \dots, E_{2^{N-2}}^p, E_{2^{N-1}}^p\}$)، مقدار توان مصرفی سیستم روشنایی فضای j ام ساختمان مورد مطالعه (P_{djih}) در ساعت h ام از i امین روز سال برابر با مجموع توان الکتریکی همه لامپ‌های روشن فضای j ام ساختمان خواهد بود.

به منظور محاسبه توان مصرفی سیستم روشنایی فضای j ام ساختمان استاندارد در ساعت h ام از i امین روز سال (P_{djih}^s)، ابتدا باید مقدار شدت تابش استاندارد خورشید محاسبه شود. برای محاسبه شدت تابش استاندارد خورشید (Eg_{ih}^s) در ساعت h ام از i امین روز سال از رابطه (۱۶) استفاده می‌شود.

$$Eg_{ih}^s = \frac{G_{ih}}{7200} \quad (۱۶)$$

رابطه (۱۶) با توجه به رابطه (۱۴) و با در نظر گرفتن مساحت نورگیر برابر با نصف مساحت کف اتاق ($A_j = 2 \times Ag_j$) و ضریب کاهش شدت تابش خورشید برابر با یک ($\sigma_j = 1$) حاصل شده است. همانطور که در این رابطه مشاهده می‌شود، مقدار استاندارد شدت تابش خورشید ربطی به نوع فضای ساختمان نداشته و برای کل ساختمان براساس منطقه جغرافیایی و شرایط آب و هوایی تعیین می‌شود.

پس از محاسبه شدت روشنایی استاندارد خورشید، برای محاسبه توان مصرفی سیستم روشنایی فضای j ام ساختمان استاندارد در ساعت h ام از i امین روز سال (P_{djih}^s)، از رابطه (۱۵) استفاده می‌شود.

$$P_{djih}^s = \frac{\left(E_j^s - Eg_{ih}^s\right) \times A_j}{K_j^s} \quad (۱۷)$$

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-04]

در این رابطه، A_j مساحت فضای j ام ساختمان است که با توجه به طول و عرض آن محاسبه می‌شود. پارامتر E_j^s نشان‌دهنده شدت روشنایی استاندارد بخش j ام ساختمان بوده که با استفاده از جداول ۳ و ۴ تعیین می‌شود. پارامتر K_j^s نیز که ضریب ویژگی‌های لامپ و فضا بوده که در بخش قبلی و با استفاده از رابطه (۱۲) محاسبه شده است.

رده‌بندی مصرف انرژی سیستم روشنایی

پس از محاسبه میزان مصرف انرژی ساختمان مورد مطالعه و ساختمان استاندارد در طول روز و شب و با توجه مساحت زیربنا، شرایط آب و هوایی و منطقه جغرافیایی، نسبت انرژی روشنایی ساختمان (R_{bl}) با استفاده از رابطه (۸) محاسبه می‌شود. در نهایت با توجه به مقدار حاصل شده برای نسبت انرژی روشنایی ساختمان، رده مصرف انرژی سیستم روشنایی ساختمان مورد مطالعه به راحتی با استفاده از جدول (۶) محاسبه شده و برچسب انرژی آن با استفاده از یکی از حروف A^{+++} تا G تعیین می‌شود.

جدول ۶. تعیین رده مصرف انرژی سیستم روشنایی ساختمان براساس نسبت انرژی روشنایی ساختمان (R_{bl})

محدوده نسبت انرژی روشنایی ساختمان	رده مصرف انرژی سیستم روشنایی (برچسب انرژی)
$R_{bl} < 1.03$	A^{+++}
$1.03 \leq R_{bl} < 1.05$	A^{++}
$1.05 \leq R_{bl} < 1.07$	A^{+}
$1.07 \leq R_{bl} < 1.10$	A
$1.10 \leq R_{bl} < 1.20$	B
$1.20 \leq R_{bl} < 1.30$	C
$1.30 \leq R_{bl} < 1.40$	D
$1.40 \leq R_{bl} < 1.50$	E
$1.50 \leq R_{bl} < 1.60$	F
$1.60 \leq R_{bl} < 1.70$	G
$R_{bl} \geq 1.70$	برچسب تعلق نمی‌گیرد

منبع: یافته‌های پژوهش

با توجه به جدول (۶)، سیستم روشنایی ساختمانی که مصرف انرژی آن حداکثر ۱۰ درصد بیشتر از مصرف انرژی سیستم روشنایی ساختمان استاندارد باشد، صلاحیت برخورداری از برچسب انرژی A را

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-04]

دارا است. البته اگر مقدار نسبت انرژی روشنایی ساختمان کمتر از ۱/۰۳ باشد، سیستم روشنایی ساختمان بالاترین رده مصرف انرژی را به خود اختصاص داده و دارای برچسب انرژی A^{+++} خواهد بود. از طرف دیگر، اگر مقدار نسبت انرژی روشنایی ساختمان بیشتر از ۱/۷۰ باشد، سیستم روشنایی ساختمان صلاحیت برخورداری از برچسب انرژی را نخواهد داشت. البته لازم به ذکر است که هدف اصلی این پژوهش، ارائه الگویی برای رده‌بندی مصرف انرژی سیستم روشنایی ساختمان بوده و دسته‌بندی ارائه شده در جدول (۶)، محدوده‌های پیشنهادی برای تعیین رده مصرف انرژی سیستم روشنایی ساختمان با توجه به نسبت انرژی روشنایی تعریف شده در بخش‌های قبلی (R_{bl}) است. به عبارت دیگر، این محدوده‌های تعیین شده را می‌توان با توجه به شرایط جامعه همچون پارامترهای فنی، اقتصادی و فرهنگی تغییر داد.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این مقاله، نحوه برچسب‌دهی سیستم روشنایی ساختمان با در نظر گرفتن شرایط زمانی و مکانی ساختمان مورد مطالعه قرار گرفت. به منظور برچسب‌دهی سیستم روشنایی ساختمان، ابتدا با استفاده از روش لومن مبتنی بر شاخص فضا، شدت روشنایی فضاهای مختلف ساختمان مدل‌سازی شده و سپس، شاخص نسبت انرژی روشنایی ساختمان با توجه به نسبت شدت روشنایی ساختمان مورد مطالعه به شدت روشنایی ساختمان استاندارد مدل‌سازی گردید. به منظور کاربردی‌تر کردن روش پیشنهادی، نسبت انرژی روشنایی ساختمان با در نظر گرفتن مصرف انرژی در طول روز، مصرف انرژی در طول شب، مدت زمان در دسترس بودن نور خورشید در روزهای مختلف سال، شرایط آب و هوایی و متراژ فضاهای مختلف ساختمان مدل‌سازی گردید. با پیاده‌سازی نسبت انرژی روشنایی ساختمان و بیان نحوه محاسبه پارامترهای مختلف آن، رده‌بندی پیشنهادی برای سیستم روشنایی ساختمان با استفاده از رده‌های انرژی A^{+++} تا G ارائه شد. با توجه به نتایج پژوهش و رده‌بندی ارائه شده، اگر مصرف انرژی سیستم روشنایی یک ساختمان حداکثر ۱۰ درصد بیشتر از مصرف سیستم روشنایی ساختمان استاندارد باشد، سیستم روشنایی ساختمان شایستگی برخورداری از برچسب انرژی A را دارا است. اگر مقدار نسبت انرژی روشنایی ساختمان کمتر از ۱/۰۳ باشد، سیستم روشنایی ساختمان بالاترین رده مصرف انرژی را به خود اختصاص داده و دارای برچسب انرژی A^{+++} خواهد بود. از طرف دیگر، اگر مقدار نسبت انرژی روشنایی ساختمان بیشتر از ۱/۷۰ باشد، سیستم روشنایی ساختمان صلاحیت برخورداری از برچسب انرژی را نخواهد داشت.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-04]

با توجه به مطالعات انجام گرفته در طول انجام این پژوهش، پیشنهاد می‌گردد در تحقیقات آتی، نحوه برچسب‌دهی کل سیستم الکتریکی ساختمان با در نظر گرفتن تجهیزات الکتریکی و سیستم روشنایی مورد مطالعه قرار گیرد. همچنین پیشنهاد می‌گردد تاثیر رفتار ساکنین ساختمان و الگوی مصرف آنها بر روی میزان بازدهی سیستم الکتریکی ساختمان مورد مطالعه قرار گرفته شود.

منابع

استاندارد ملی ایران (۱۳۹۰)، "ساختمان‌های مسکونی- تعیین معیار مصرف انرژی و دستورالعمل برچسب انرژی (ISIRI 14253)"، سازمان ملی استاندارد ایران، چاپ اول.

استاندارد ملی ایران (۱۳۹۰)، "ساختمان‌های غیرمسکونی- تعیین معیار مصرف انرژی و دستورالعمل برچسب انرژی (ISIRI 14254)"، سازمان ملی استاندارد ایران، چاپ اول.

انجمن مهندسین روشنایی آمریکا، https://www.ies.org

انجمن مهندسین گرمایشی، برودتی و تهویه مطبوع آمریکا، https://www.ashrae.org

سازمان ملی آمار ایران (۱۳۹۰)، "طرح آمارگیری از مصرف حامل های انرژی در بخش خانوار در نقاط شهری".

سازمان طراحی انرژی و محیط زیست، https://leed.usgbc.org

کلهر. حسن (۱۳۹۷)، "مهندسی روشنایی"، انتشارات سهامی انتشار.

مقررات ملی ساختمان ایران (۱۳۸۹)، "مبحث نوزدهم- صرفه‌جویی در مصرف انرژی"، وزارت مسکن و شهرسازی- مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ویرایش سوم.

وزارت راه و شهرسازی- سازمان هواشناسی کشور، https://www.irimo.ir

Al-Saad. S, Shaaban. A. (2019), "Zero energy building (ZEB) in a cooling dominated climate of Oman: Design and energy performance analysis", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 112: 299-316.

ASHRAE Committees. (2019), "Advanced energy design guide for small to medium office buildings, achieving zero energy", ASHRAE-The American Institute of Architects Illuminating Engineering Society-U.S. Green Building Council-U.S. Department of Energy.

Aslanoğlu. R et al. (2021), "Short-term analysis of residential lighting: A pilot study", Building and Environment, 196:107781.

Belany. P, Hrabovsky. P, Kolkova. Z. (2021), "Combination of lighting retrofit and life cycle cost analysis for energy efficiency improvement in buildings", Energy Reports, 7: 2470-83.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-04]

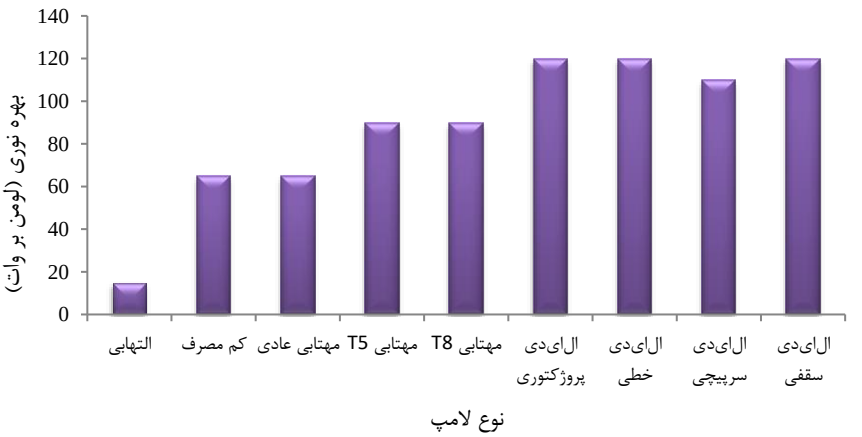
Faqih. F, Zayed. T. (2021), "A comparative review of building component rating systems", Journal of Building Engineering, 33:101588.
Feng. W et al. (2019), "A review of net zero energy buildings in hot and humid climates: Experience learned from 34 case study buildings", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 114.
Ghaderian. M, Veysi. F. (2021), "Multi-objective optimization of energy efficiency and thermal comfort in an existing office building using NSGA-II with fitness approximation: A case study", Journal of Building Engineering, 41: 102440.
Göknur. S, Kalfa. S. (2021), "The effects of shading devices on office building energy performance in Mediterranean climate regions", Journal of Building Engineering, 44: 102653.
Harkouss. F, Fardoun. F, Biwole. P. (2019), "Optimal design of renewable energy solution sets for net zero energy buildings", Energy, 179: 1155-75.
Ilbeigi. M, Ghomeishi. M, Dehghanbanadaki. A. (2021), "Prediction and optimization of energy consumption in an office building using artificial neural network and a genetic algorithm", Sustainable Cities and Society, 61: 102325.
Lu. Y et al. (2019), "Design of a reward-penalty cost for the promotion of net-zero energy buildings", Energy, 180: 36-49.
Moadab. N et al. (2021), "Smart versus conventional lighting in apartments - Electric lighting energy consumption simulation for three different households", Energy and Buildings, 244:111009.
Moschetti. R, Bratteb. H, Sparrevik. M. (2019), "Exploring the pathway from zero-energy to zero emission building solutions: A case study of Norwegian office building", Energy and Buildings, 188: 84-97.
Oskouei. M et al. (2021), "A novel economic structure to improve the energy label in smart residential buildings under energy efficiency programs", Journal of Cleaner Production, 260:121059.
Sartori. T. (2021), "A schematic framework for Life Cycle Assessment (LCA) and Green Building Rating System (GBRS)", Journal of Building Engineering, 38: 102180.
Shirinbakhsh. M, Harvey. L. (2021), "Net-zero energy buildings: The influence of definition on greenhouse gas emissions", Energy and Buildings, 247:111118.
Talaei. M et al. (2021), "Multi-objective optimization of building-integrated microalgae photobioreactors for energy and daylighting performance", Journal of Building Engineering, In press: 102832.
Wang. B et al. (2021), "Effect of energy efficiency labels on household appliance choice in China: Sustainable consumption or irrational intertemporal choice", Resources, Conservation and Recycling, 169:105458.
Yang. X, Zhang. S, Xu. W. (2019), "Impact of zero energy buildings on medium-to-long term building energy consumption in China", Energy Policy, 129: 574-586.
Yousefi. M et al. (2021), "Profit assessment of home energy management system for buildings with A-G energy labels", Applied Energy, 277: 115618.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-04]

Zhu. N et al. (2021), "Optimization of zero-energy building by multi-criteria optimization method: A case study", Journal of Building Engineering, 44:102969.

ضمائم

در این بخش، تجهیزات روشنایی مناسب برای فضاهای مختلف یک ساختمان نمونه جهت داشتن یک سیستم روشنایی با رده انرژی A ارائه شده‌اند. متراژ فضاهای مختلف ساختمان، ۴ در ۵ متر در نظر گرفته شده است. شدت روشنایی استاندارد فضاهای مختلف ساختمان نیز در جداول (۳) و (۴) ارائه شده است. پارامترهای مورد نیاز سیستم روشنایی ساختمان با رده انرژی A معادل با پارامترهای سیستم روشنایی استاندارد در نظر گرفته شده است. فرض شده است که از ۹ لامپ مختلف می‌توان جهت تجهیز سیستم روشنایی فضاهای مختلف ساختمان استفاده کرد. در شکل (ض۱) بازده نوری (لومن بر وات) لامپ‌های مختلف ارائه شده است. با پیاده‌سازی روش پیشنهادی مقاله، لامپ‌های مناسب جهت تجهیز سیستم روشنایی فضاهای مختلف ساختمان نمونه حاصل شده است. تجهیزات روشنایی مناسب برای تجهیز سیستم روشنایی فضاهای مختلف ساختمان در جدول (ض۱) ارائه شده است.



شکل (ض۱): بازده نوری لامپ‌های مختلف در دسترس
برای تجهیز سیستم روشنایی (منبع: انجمن مهندسین روشنایی آمریکا)

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-04]

جدول (ض۱): تجهیزات روشنایی مناسب برای فضاهای مختلف ساختمان نمونه
جهت داشتن سیستم روشنایی با رده انرژی A

نوع فضا	نوع لامپ مناسب برای سیستم روشنایی با رده انرژی A
اتاق نشیمن	ال‌ای‌دی سقفی قابل تنظیم
اتاق مطالعه و خواب	نور موضعی متمرکز با چراغ انعطاف‌پذیر روی میز با لامپ ال‌ای‌دی خطی با قابلیت تنظیم نور متناسب با نور محیط از طرق میکروکنترلرها و به روش PWM نور محیطی ال‌ای‌دی سقفی با قابلیت تنظیم نور محیطی
آمفی تئاتر، فضای ورزشی	ال‌ای‌دی پروژکتوری
پارکینگ، راهرو	ال‌ای‌دی سرپیچی با چشم الکتریک
اداری عمومی	نور موضعی متمرکز با چراغ انعطاف‌پذیر روی میز با لامپ ال‌ای‌دی خطی با قابلیت تنظیم نور متناسب با نور محیط از طرق میکروکنترلرها و به روش PWM نور محیطی ال‌ای‌دی سقفی با قابلیت تنظیم نور محیطی
سرویس بهداشتی و حمام	ال‌ای‌دی سرپیچ‌دار با چشم الکتریک
موتورخانه و تاسیسات	ال‌ای‌دی سرپیچ‌دار با چشم الکتریک
حسینیه	لامپ مهتابی T5
نگهبانی و اطلاعات	نور موضعی متمرکز با چراغ مطالعه‌ی انعطاف‌پذیر روی میز با لامپ ال‌ای‌دی خطی با قابلیت تنظیم نور متناسب با نور محیط از طریق میکروکنترلرها و به روش PMW نور محیطی ال‌ای‌دی خطی با قابلیت تنظیم نور محیطی
سالن جلسات	نور موضعی روی میز با ال‌ای‌دی سقفی قابل تنظیم نور عمومی با ال‌ای‌دی سقفی قابل تنظیم
غذاخوری، انبار	لامپ مهتابی T5
آشپزخانه، آبدارخانه	نور موضعی متمرکز روی میز و گاز با ال‌ای‌دی خطی قابل تنظیم نور عمومی با ال‌ای‌دی سقفی قابل تنظیم

منبع: یافته‌های پژوهش

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-04]

لازم به ذکر است که پیشنهادات ارائه شده در جدول (ض۱)، نمونه‌ای از تجهیزات روشنایی مناسب با توجه به بازده و توان مصرفی آنها برای تجهیز کردن سیستم روشنایی ساختمان به منظور داشتن رده انرژی A هستند. به عبارت دیگر، با توجه به تکنولوژی‌های در دسترس، شرایط آب و هوایی (در دسترس بودن روشنایی طبیعی خورشید) و میزان استفاده از تجهیزات روشنایی شاید از گزینه‌های دیگری نیز بتوان برای تجهیز کردن سیستم روشنایی ساختمان به منظور داشتن رده انرژی A استفاده کرد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-04]