



تأثیر ساختار فضایی در گونه های واحدهای صنعتی بر کیفیت نور روز (مطالعه موردی: شهرک صنعتی بیستون کرمانشاه)

کوروش مومنی^{1*}، اکرم اسفندیاری²

1- دانشیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول، دزفول، ایران

2- عضو هیئت علمی، گروه معماری و شهرسازی، دانشگاه ملی مهارت، تهران، ایران

* K_Momeni@jsu.ac.ir, 64615/334, دزفول، ایران

چکیده

میزان دریافت نور خورشید در ساختمان براساس شرایط جوی، موقعیت ساختمان ها و موقعیت بازشوها دائماً در حال تغییر است. فرم ساختمان و نحوه جانمایی پنجره ها در نمای ساختمان نیز بر میزان ورود نور خورشید به داخل ساختمان ها تأثیرگذار است. ورود نور طبیعی به ساختمان های صنعتی مهم بوده و برای افزایش بهره گیری از نور روز و کاهش مصرف انرژی، عوامل مؤثر بر تابش خورشید باید دقیق بررسی شوند. این پژوهش با هدف رفع خلأهای علمی، گونه های واحدهای صنعتی شهرک صنعتی بیستون کرمانشاه را از طریق اندازه گیری میدانی (نورسنج) و شبیه سازی رایانه ای (نرم افزار ریلوکس) بررسی و تحلیل کرده است. متغیر مستقل این تحقیق، نوع گونه ای واحد صنعتی (براساس ابعاد دهانه، شکل سقف و تعداد دهانه ها) هست، در حالی که متغیرهای وابسته شامل شدت روشنایی (لوکس) و یکنواختی نور هستند. یافته های پژوهش نشان می دهد؛ ویژگی های کالبدی فضا، به ویژه نسبت طول به عرض و تعداد دهانه های اصلی، بیشترین تأثیر را بر کیفیت نور روز دارند. همچنین کیفیت روشنایی بیشتر تابع تناسب هندسی واحد صنعتی است تا سطح بازشوها و با افزایش نسبت طول به عرض فضا بدون در نظر گرفتن روشنایی مناسب، یکنواختی نور به شدت کاهش می یابد. در نتیجه، دستیابی به روشنایی پایدار نیازمند حفظ نسبت طول به عرض فضا با توجه به گونه آن در محدوده متعادل و به کارگیری هوشمندانه نورگیرهای سقفی برای تأمین شار نوری کلی، ضمن پرهیز از پیکربندی هایی با نسبت های طولی بسیار بزرگ است. کلیدواژه ها: گونه های واحدهای صنعتی، شدت روشنایی، نرخ یکنواختی، شهرک صنعتی بیستون کرمانشاه

The impact of spatial structure in industrial unit types on daylight quality (Case study: Bisotun industrial town, Kermanshah)

Kourosh Momeni^{1*}, Akram Esfandiari²

1- Associate professor, department of architecture, faculty of architecture and urban planning, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran

2- Member of faculty, department of architecture and urban planning, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran

* Iran, Dezful, 64615/334, K_Momeni@jsu.ac.ir

Received: 15 August 2025 Accepted: 28 June 2026

Abstract

Sunlight reception in buildings fluctuates constantly due to atmospheric conditions, building orientation, and opening placements. Building form and window configuration on facades also influence solar light ingress. Integrating natural light into industrial buildings is crucial; thus, to enhance daylight utilization and reduce energy consumption, factors affecting solar radiation must be rigorously examined. Addressing existing research gaps, this study analyzes industrial unit typologies in the Bisotun Industrial Estate, Kermanshah, using field measurements (lux meter) and computer simulations (Relux software). The independent variable is the industrial unit typology (based on span dimensions, roof shape, and number of spans), while the dependent variables include illuminance intensity (lux) and light uniformity. Findings indicate that spatial physical characteristics, particularly the length-to-width ratio and the number of main spans, most significantly impact daylight quality. Lighting quality depends more on the industrial unit's geometric proportions than on opening areas; as the length-to-width ratio increases without adequate lighting strategies, uniformity decreases sharply. Consequently, achieving sustainable lighting requires maintaining a balanced length-to-width ratio specific to

each typology, intelligently employing skylights to provide total luminous flux, and avoiding configurations with excessively large longitudinal ratios.

Keywords: Industrial unit typologies, illuminance, uniformity ratio, Bistun industrial town of Kermanshah

1- مقدمه

نور روز نقش حیاتی در افزایش کیفیت محیطی فضا، ایفا می‌کند و مستقیماً به سلامت و رفاه انسان کمک می‌کند [1]. تحقیقات نشان می‌دهد که دسترسی به نور طبیعی، آسایش بصری و حرارتی را بهبود می‌بخشد و از کیفیت بهتر محیط داخلی پشتیبانی می‌کند [2]. علاوه بر این، نور روز خستگی بصری را کاهش می‌دهد و با تنظیم ریتم‌های شبانه‌روزی، سلامت روان را بهبود می‌بخشد [3-6]. با توجه به این مزایای قابل توجه، افزایش دسترسی به نور روز در ساختمان‌ها به یک اولویت طراحی حیاتی تبدیل شده‌است، به‌ویژه در مراحل اولیه معماری، که در آن پیکربندی نما، طراحی شیشه، استراتژی‌های سایه‌بانی و فناوری‌های پنجره هوشمند می‌توانند به‌طور قابل توجهی بر دسترسی به نور روز و آسایش داخلی تأثیر بگذارند [1، 7-9].

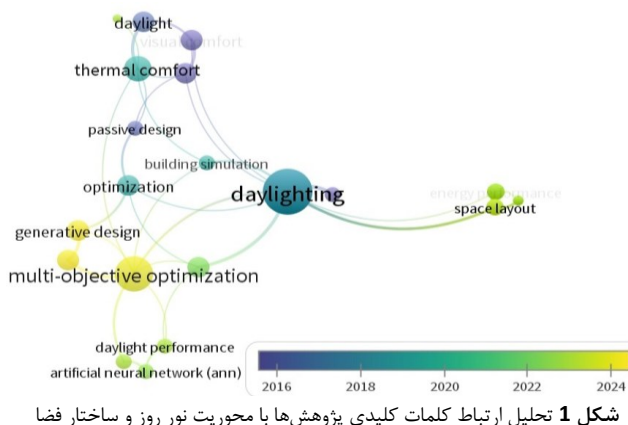
نورپردازی مناسب در محیط‌های صنعتی بسیار حیاتی است؛ زیرا به افزایش ایمنی، بهره‌وری و سلامت کارکنان کمک می‌کند. محیط‌های صنعتی معمولاً شامل تجهیزات سنگین و مواد خطرناک هستند که نیاز به دید دقیق و واضح دارند. نورپردازی مناسب می‌تواند از وقوع حوادث جلوگیری کرده و خستگی چشم و استرس را کاهش دهد [10]. استفاده حداکثری از نور و انرژی خورشید در داخل ساختمان می‌تواند منجر به فراهم آمدن آسایش بصری، سلامتی، سرزندگی و افزایش کارایی کاربران در فضاهای داخلی شود. در همین جهت عدم توجه به این منبع انرژی در ساختمان‌ها می‌تواند موجب ناراحتی و عدم آسایش کاربران فضا گردد [11]. معماری به‌عنوان یک عامل مهم در این مبحث مطرح است تا جایی که تمامی اجزای کمی نور روز شامل شدت، زمان و طیف به‌واسطه فرم سازه‌های مجاور قابل تغییر است. همچنین زمان‌بندی دریافت نور روز نیز از طریق جهت ساختمان و شکل بازشوها قابل تنظیم هست [12]. همچنین می‌توان با طراحی فرم مناسب در عین کاهش مصرف انرژی به کیفیت مطلوب فضای درون ساختمان نیز دست یافت [13].

علی‌رغم تحقیقات متعدد در مورد تأثیر عناصر نما، استراتژی‌های نور روز، بازتاب سطح داخلی و راحتی ساکنین در انواع مختلف ساختمان، از جمله بیمارستان‌ها و فضاهای مذهبی [14-18]، در حوزه ساختار فضای داخلی، توزیع نور روز و کیفیت بصری در ساختمان‌های صنعتی تحقیق جامع و دقیقی صورت نگرفته است و تحقیقی در مورد تأثیر مستقیم و کمی متغیرهای گونه‌بندی ساختاری تعریف‌شده براساس پارامترهای معماری داخلی نظیر دهانه‌های اصلی، تعداد و اندازه دهانه‌های فرعی (بچه سوله‌ها) و جانمایی بازشوها بر کیفیت نور روز در واحدهای صنعتی خاص و منطقه‌ای وجود ندارد. تحقیقات پیشین، فاقد یک چارچوب طبقه‌بندی منسجم برای این گونه‌های صنعتی، به‌ویژه در اقلیم‌های خاص نظیر غرب ایران (شهرک صنعتی بیستون) بوده‌اند. هدف اصلی این پژوهش عبارت است از: الف) شناسایی و کدگذاری گونه‌های غالب واحدهای صنعتی در شهرک صنعتی بیستون کرمانشاه، ب) ایجاد یک مدل تحلیلی برای اندازه‌گیری کمی شدت روشنایی و نرخ یکنواختی نور روز در هر گونه از طریق تلفیق داده‌های میدانی و شبیه‌سازی (ج) استخراج قواعد کمی برای مرتبط ساختن ویژگی‌های ساختاری به عملکرد بهینه نورپردازی است. نوآوری پژوهش فوق در ایجاد اولین چارچوب گونه‌بندی کمی

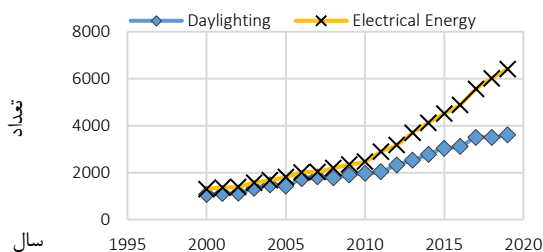
برای تحلیل نور در تیپ سازه‌ای و ارائه راهنمای طراحی برای کارفرمایان و طراحان در شرایط مشابه اقلیمی است. چارچوب روش‌شناختی این تحقیق از طریق ترکیبی از ویژگی‌های هندسی سوله‌های صنعتی موجود در شهرک‌های صنعتی با بررسی نقشه‌ها در وضع موجود و شبیه‌سازی آن‌ها در نرم‌افزار ریلوکس برای بدست آوردن شاخص‌های نور روز شکل می‌گیرد که امکان ارزیابی کمی از چگونگی شکل‌گیری هندسه فضایی، در عملکرد نوری را فراهم می‌کند. برای دستیابی به اهداف پژوهش، ابتدا مروری جامع بر ادبیات مربوط به عملکرد نور روز در رابطه با ساختارهای فضایی در محیط‌های صنعتی ارائه می‌شود. در ادامه روش تحقیق، ابزارهای شبیه‌سازی، ویژگی‌های مطالعه موردی و معیارهای انتخاب‌شده به تفصیل شرح داده و همبستگی بین متغیرهای تحقیق ارائه می‌شود.

2- پیشینه پژوهش

نور روز یک پارامتر قابل توجه در صنعت روشنایی و همچنین یک عنصر مهم و مورد علاقه برای کسانی که به‌دنبال گواهینامه استاندارد LEED هستند، است [19]. اهمیت نور روز در طول تاریخ در نوسان بوده است. به‌طوری که آغاز این بحث به‌عنوان منبع نور اولیه و یک فرم‌دهنده مشخص معماری قبل از قرن بیستم هست. در دوران پس از جنگ به‌عنوان نور فلوئورسنت و انرژی ارزان در طراحی ساختمان، بیشتر مورد توجه قرار گرفت [20]. به‌طور کلی مطالعات بسیاری در زمینه نور روز توسط پژوهشگران متعددی انجام شده‌است که به‌طور خلاصه از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: در تحقیقی که توسط Alrubaih و همکاران با ابزار ریلوکس در سال 2013 انجام شده‌است این نتایج بدست آمده که ایجاد نور روز بیشتر در ساختمان‌های اداری نه تنها در ذخیره انرژی نقش دارد بلکه کارایی و تندرستی ساکنین را نیز افزایش می‌دهد. هدف از این مقاله بازنگری جنبه‌های بنیادی نور روز، استراتژی‌های کنترل روشنایی، چگونگی فاکتور نور روز، شدت روشنایی، درخشندگی و شاخص خیرگی هست. همچنین بیان شده‌است؛ فاکتور نور روز بیشترین پارامتر مورد استفاده در بررسی چگونگی توزیع نور روز ساختمان هست. سطوح توزیع روشنایی بر پلان‌های کاری و مناطق اطراف آن تأثیر مهمی بر کار دیداری کاربران دارد. این تحقیق منبع مهمی برای معماران، ساختمان‌سازان، محققان و تازه‌واردان برای دستیابی به درک بهتری از موضوعات بنیادی نور روز بوده است [21]. Chen و همکاران نیز در مقاله‌ای در سال 2014 بیان کردند که استفاده مناسب از نور روز نه تنها آسایش بصری در محیط داخل را بهبود می‌بخشد بلکه به‌طور مؤثر مصرف انرژی ساختمان را نیز کاهش می‌دهد. مطالعه در این عنوان به‌طور گسترده‌ای با ساختمان‌های اداری در ارتباط است اما برای ساختمان‌های صنعتی، جایی که نور مصرف‌کننده‌ی اصلی انرژی الکتریکی است، محدود هست. همچنین در این پژوهش روشنایی نور روز توسط نرم‌افزارهای اکوتکت برای مقایسه با اندازه‌گیری‌های میدانی شبیه‌سازی شده‌است [22]. در مقاله‌ای دیگر نیز بیان می‌شود که در بررسی مصرف انرژی و تابش خورشیدی باید همسایگی‌ها، مصالح و محیط اطراف ساختمان به‌طور



همچنین در نمودار 2 تعداد تحقیقات صورت گرفته در چند سال اخیر در زمینه نور روز و روشنایی طبیعی بوده نشان داده شده‌است. از این نمودار می‌توان دریافت که مطالعه و پژوهش در زمینه روشنایی محیط‌های معماری در سال‌های اخیر نسبت به سال‌های قبل رشد قابل ملاحظه‌ای داشته است و این امر اهمیت توجه به این موضوع را نشان می‌دهد.



شکل 2 روند مطالعات انجام‌شده در دو حوزه نور روز و انرژی الکتریکی

بررسی چگونگی توزیع فاکتور نور روز و نرخ یکنواختی به‌عنوان متغیرهای وابسته در اکثر کارهای تحقیقاتی مربوط به روشنایی، در راستای سنجش آسایش بصری مورد بررسی قرار گرفته است [25-29]. نور روز از عواملی است که به تازگی وارد محاسبات شبیه‌سازی شده و می‌توان عنوان نمود که در مقایسه با سایر شبیه‌سازها، یک شبیه‌ساز تازه‌کار است. ازطرفی معرفی استراتژی‌های نور مؤثر، یک هدف ضروری برای شبیه‌سازی هر ساختمان محسوب می‌شود [30-31]. همچنین با مرور ادبیات موضوع می‌توان دریافت که انتخاب مناسب یک ابزار تحلیل روشنایی ملزم شناخت نسبی از روند کار و خروجی‌های مرتبط با شبیه‌سازی است. بدین منظور فهرستی از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی روشنایی برطبق جدول 2 عنوان شده‌است که شامل توضیحاتی از قابلیت‌ها و نقاط ضعف و قوت آن‌ها است.

مطالعات نشان می‌دهد که نرم‌افزار RELUX به‌عنوان یک ابزار جدید نور روز با توجه به روش Raytracing، کتابخانه کامل مواد و همچنین توانایی در نظر گرفتن مبلمان و پارتیشن‌های داخلی در یک طرح معماری، نرم‌افزار مناسبی با توجه به اهداف این پژوهش است. چنانچه از مرور پیشینه پژوهش، درک می‌شود که اهمیت نور روز به‌عنوان یک پارامتر حیاتی در استاندارد LEED و بهره‌وری انرژی، سابقه‌ای تاریخی دارد و در تحقیقات اخیر، پارامترهایی نظیر شدت روشنایی، نرخ یکنواختی و فاکتور نور روز به‌عنوان

همزمان در نظر گرفته شود. این مقاله در زمینه‌ی ابزارهای ارزیابی طراحی شهری همچون لیید در اقلیم‌ها و ساختمان‌های مختلف شهر فنلاند به مطالعه می‌پردازد [23].

جدول 1 بارزترین مطالعات انجام‌گرفته در زمینه نور روز [15-17]

ردیف	بارزترین مطالعات انجام‌گرفته در زمینه نور روز	پژوهشگران
1	روشنایی در ساختمان‌های اداری- نمای ساختمان‌ها- مصرف انرژی- سیستم هدایت نور در داخل ساختمان	Daniel
2	نرم‌افزارهای شبیه‌سازی روشنایی- نور روز در ساختمان‌های صنعتی- مصرف انرژی	Chen
3	فضاهای روشن اداری- نور در شهر- نرم‌افزارهای شبیه‌سازی روشنایی	Christoph Reinhart
4	شدت روشنایی خورشیدی در شرایط مختلف آسمان- (در زمینه شدت روشنایی و مصرف انرژی)	Danny H.W.Li
5	روشنایی روز در ساختمان‌ها- نرم‌افزار شبیه‌ساز روشنایی ریلوکس	R.G Bahavani & M. A Khan

همچنین در زمینه نورپردازی واحدهای صنعتی در ایران می‌توان به پژوهش، بررسی سیستم نورپردازی در شهرک صنعتی خرمشهر براساس الزامات بین‌المللی و ارائه‌ی راهکارهایی برای ارتقای آن اشاره کرد که این پژوهش سیستم نورپردازی این شهرک را با استانداردهای بین‌المللی مقایسه کرده و با تأکید بر ضعف‌های موجود، راهکارهایی مبتنی بر استفاده از فناوری‌های نوین مانند بالاست‌های الکترونیکی، نور طبیعی و سیستم‌های کنترل هوشمند برای ارتقا بهره‌وری انرژی ارائه می‌دهد [24]. در ادامه، با مرور و تحلیل سیستماتیک مطالعاتی که به بررسی نور روز داخلی در رابطه با طرح‌بندی طراحی معماری پرداخته‌اند، بررسی شد. برای روشن‌تر شدن پیشرفت‌های تحقیقاتی گسترده‌تر، نمودار 1 که ازطریق نرم‌افزار VOSviewer ساخته شده از بررسی بیش از صد پژوهش اصیل انجام‌شده در پایگاه جستجوی مقالات ScienceDirect در محدوده‌ی سال 2015 تا 2025 میلادی، ارتباط بین کلمات کلیدی مختلف در پژوهش‌ها را نشان می‌دهد. هر دایره (گره) یک کلمه کلیدی هست و اندازه دایره نشان‌دهنده‌ی تعداد دفعات ظهور آن واژه کلیدی در پژوهش‌هاست. خطوط بین دایره‌ها نیز نشان‌دهنده‌ی ارتباط یا هم‌رخدادی بین کلمات کلیدی هستند. این نمودار نشان می‌دهد در سال‌های اخیر، گرایش پژوهشی جدیدی ظهور یافته که ارتباط مستقیم میان نور روز و چیدمان فضایی (space layout) را بررسی می‌کند. این رویکرد، تلاش دارد تا چیدمان‌های معماری‌ایی خلق کند که بیشترین بهره‌وری از روشنایی طبیعی و عملکرد انرژی را فراهم سازند. بنابراین، روند تحول پیشینه نشان می‌دهد که پژوهش‌ها در حوزه نور روز از رویکردهای تحلیلی پایه به سمت بهینه‌سازی چیدمان فضا و عملکرد ساختمان حرکت کرده‌اند.

تمرکز بر گونه‌های واحدهای صنعتی هدف قرار می‌دهد تا شرایط بهینه با توجه به هندسه فضا برای روشنایی طبیعی و بهره‌وری انرژی در این بخش خاص از ساختمان‌ها تحلیل گردد.

معیارهای اصلی ارزیابی آسایش بصری مطرح بوده‌اند و تحقیقات جامعی که تأثیر ساختار و فرم بیرونی واحدها را بر دستیابی به روشنایی طبیعی و متعاقباً کاهش بار مصنوعی مورد بررسی قرار داده باشد، محدود باقی‌مانده است؛ لذا، پژوهش حاضر با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی Relux، این خلأ دانشی را با

جدول 2 نرم افزارهای شبیه‌سازی نور روز و روشنایی در فضاهای معماری [30]

نام	فرایند نوری	ویژگی
Radiance (رادیانس)	ردیابی اشعه	شدت روشنایی جهانی با استفاده از روش مونت کارلو
Relux (ریلوکس)	موتور رادیانس تکمیل شده با روش پرتوایی	ساخته شده با ریلوکس کد، محاسبه انرژی با استانداردهای EN15193 و DIN8599
DIALux (دیالوکس)	ردیابی اشعه ترکیب شده	روشنایی اضطراری براساس EN1838، ارزیابی انرژی براساس DINV 18599 و EN15899
Lightscape (لایت اسکوپ)	پرتوایی	ساخته شده توسط اتودکس، امکان تغییر زاویه دید بدون محاسبه مجدد مدل
DAYSIM (دیسیم)	ردیابی اشعه	مدل سازی دقیق آسمان با در نظر گرفتن موقعیت خورشید و توزیع واقعی آسمان

3- روش تحقیق

در این پژوهش ابتدا با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای فاکتورهای تابش خورشیدی مؤثر در فضاهای داخلی واحدهای صنعتی مشخص شده است. سپس به عنوان نمونه مطالعاتی، 22 گونه نرمالیزه واحد صنعتی در شهر کرمانشاه واقع در شهرک صنعتی بیستون، در نظر گرفته شده است. این مدل‌ها برای کاهش نقش عوامل مداخله‌گر خارج از چارچوب تحقیق، در برخی از فاکتورها ثابت هستند (نرمالیزه کردن واحدها به منظور ایجاد شرایطی قابل مقایسه در نمونه‌ها)، که شامل: موقعیت بازشوها در هر تیپ (به علت اینکه موقعیت بازشو به عنوان یک متغیر در بررسی‌ها ثابت بماند و تأثیر نحوه‌ی گسترش فضاهای داخلی متغیر تأثیرگذار تحقیق باشد)، طول ثابت واحدهای صنعتی به جز ناحیه کارگاهی (گونه 17 و 18)، (محل ورودی ثابت در نظر گرفته شده است)، هستند. پس از طراحی واحدها با در نظر گرفتن هدف تحقیق، کیفیت بصری این مدل‌ها از طریق استخراج شاخص‌های نور روز، توسط نرم‌افزار ریلوکس تحلیل خواهند شد (شکل 3). متغیرهای کلیدی پژوهش شامل شدت روشنایی و نرخ یکنواختی است که در این پژوهش تحت تأثیر متغیر طول سوله‌ها و در نتیجه تعداد دهانه‌های مختلف سنجیده می‌شوند که ثابت گرفتن سایر ابعاد سوله‌ها منجر به یافته‌های تعمیم‌پذیر می‌شود (جدول 3).

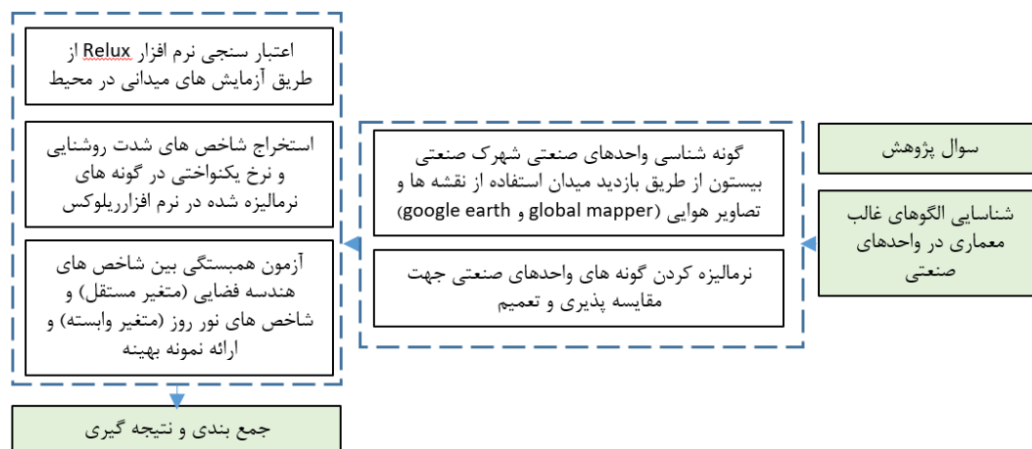
جدول 3 متغیرهای نور روز در پژوهش [14]

ردیف	متغیر	تعریف
1	شدت روشنایی	میانگین شار نوری در واحد سطح در صفحه ارزیابی (بر حسب لوکس).
2	نرخ یکنواختی نور	معیاری برای ارزیابی توزیع روشنایی در یک صفحه؛ نسبت کمترین روشنایی به بیشترین یا متوسط.

الف) گونه‌شناسی واحدهای صنعتی

شناسایی گونه در بافت‌های شهری بسته به هدف تحقیق، می‌تواند بر کالبد خارجی یا روابط داخلی بنا تمرکز داشته باشد. در این پژوهش، جهت استخراج گونه‌های واحدهای صنعتی شهرک بیستون، ابتدا ۹۰ واحد با استفاده از نقشه‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و نرم‌افزار Global Mapper شناسایی شدند

و سپس اطلاعات کالبدی دقیق آن‌ها از طریق بازدید میدانی استخراج گردید. در گام بعد، به منظور دستیابی به گونه‌های قابل مقایسه و تعمیم‌پذیر، از رویکرد گزینشی-حذفی استفاده شد؛ بدین معنا که واحدهایی با ویژگی‌های غیرمتعارف، تغییر یافته یا تک‌موردی حذف شدند و تنها گونه‌هایی که حداقل یک تکرار واقعی در بافت شهرک داشتند انتخاب گردیدند. معیار «دارای حداقل یک تکرار» به این دلیل در نظر گرفته شد که هرگونه، نمایانگر الگویی رایج در ساخت‌وسازهای شهرک باشد و از تأثیر نمونه‌های استثنایی بر نتایج جلوگیری شود. در نهایت ۲۲ گونه‌ی صنعتی نرمال‌سازی شده بدست آمد که مبنای تحلیل‌های بعدی قرار گرفتند. در سطح سوم شاخص‌های کمی این واحدها به صورت تعریفی شده که آن‌ها را قابل مقایسه نماید به طوری که طول واحدهای صنعتی با توجه به بررسی‌های میدانی 40 متر در نظر گرفته شد لازم به ذکر است این طول برای سوله‌های ناحیه کارگاهی (گونه شماره 17 و 18) شهرک صنعتی 22 متر در نظر گرفته شده است. با توجه به هدف پژوهش که تحلیل بر روی گونه‌های معماری است، نه بر روی 90 واحد ساختمانی منحصر به فرد به صورت مجزا، در این مطالعات، هدف، استخراج قواعد کلی طراحی است که از طریق نرمال‌سازی الگوهای غالب بدست خواهد آمد. این روش، در مطالعات معماری برای استخراج ضوابط کلی از میان نمونه‌های موجود، روشی استاندارد و قابل دفاع است که از اتلاف منابع محاسباتی برای تحلیل نمونه‌های تقریباً همسان جلوگیری کرده و امکان تعمیم نتایج به سایر پروژه‌های مشابه در منطقه را فراهم می‌سازد. یافته‌ها مؤید آن است که غالب فرم‌های استفاده شده در این واحدها، براساس محدودیت‌ها و تعاریف سازه‌ای بوده و بداعت به عنوان یکی از معیارهای مطرح در معماری، دغدغه طراحان یا سازندگان نبوده است. با این حال تحلیل‌های شدت روشنایی در گونه‌های نرمالیزه شده می‌تواند کارفرما را در شرایط یکسان به سمت انتخاب سوله‌های بهینه‌تر سوق دهد و همچنین با توجه به ایزولاین‌های نور در هر گونه‌ی نرمالیزه شده با تعریف پنجره‌های مشخص کارفرما می‌تواند با توجه به نوع تولید خود انتخاب مناسبی از گونه‌ها جهت چیدمان فضاها در داخل واحدهای صنعتی داشته باشد؛ با توجه به این که ابعاد دهانه در تیپ اول در سه دسته با تیپ دوم و سوم یکسان است و این گونه‌ها مقایسه‌پذیرتر هستند در ادامه دسته‌بندی برای این سه تیپ و در دهانه‌های شبیه به هم انجام شده است (جدول 4).



شکل 3 روند کلی تحقیق در طول پژوهش به منظور سنجش کیفیت روشنایی

جدول 4 گونه‌بندی واحدهای صنعتی نرمالیزه‌شده توسط نویسندگان با بررسی منابع موجود

گونه‌بندی واحدهای صنعتی نرمالیزه‌شده			
تیپ 1 (دسته اول)			
			تیپ
گونه 1	گونه 2	گونه 3	گونه
تیپ 1 (دسته دوم)			
			تیپ
گونه 4	گونه 5	گونه 6	گونه
تیپ 1 (دسته سوم)			
			تیپ
گونه 7	گونه 8	گونه 9	گونه
تیپ 2			
			تیپ
گونه 10	گونه 11	گونه 12	گونه
تیپ 3			
			تیپ
گونه 14	گونه 15	گونه 16	گونه
تیپ 4			
			تیپ
گونه 17	گونه 18	گونه 19	گونه
تیپ 5			
			تیپ
گونه 19	گونه 20	گونه 21	گونه
تیپ 6			
			تیپ
گونه 20	گونه 21	گونه 22	گونه

انجام دهند. در این روش، روشنایی لازم، برای ناحیه فعالیت و محیط نزدیک به آن مشخص شده‌است؛ بنابراین می‌تواند به صرفه‌جویی در مصرف انرژی کمک کند [20]. استفاده از استاندارد اروپایی EN 12464-1 به‌عنوان مرجع در پژوهشی که بر روی اقلیم کوهستانی معتدل کرمانشاه، ایران شبیه‌سازی شده‌است، بدین دلیل توجیه می‌شود که این استاندارد به‌عنوان یکی از

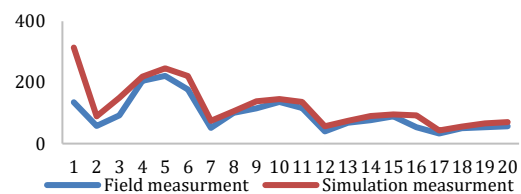
ب) شبیه‌سازی گونه واحدهای صنعتی نرمالیزه‌شده در نرم‌افزار ریلوکس استاندارد اروپایی EN 12464-1 برای محیط‌های داخلی طراحی شده‌است و یکی از روش‌های جدید اندازه‌گیری کمی و کیفی روشنایی محسوب می‌شود. در این استاندارد افراد می‌توانند وظایف بصری خود را بادقت و بهره‌وری لازم

لوکس) در فضای دارای نور روز یک عامل نسبی نور برای اندازه‌گیری نسبی سطوح ایجاد شده‌است. عامل نور روز، نسبت شدت روشنایی در یک نقطه ویژه در داخل فضا به شدت روشنایی فضای باز در شرایط آسمان یکسان است که به صورت درصد بیان می‌شود. میزان فاکتور نور باید بین 2 درصد تا 6 درصد قرار گیرد کمتر از 2 درصد نامناسب و بیشتر از 6 درصد نیز باعث خیرگی می‌گردد. برای بدست آوردن میزان فاکتور نور روز در فضاهای داخلی ساختمان شدت روشنایی بیرونی نیاز است که برای محاسبه آن باید از مقدار نور بیرونی دریافت‌شده در داخل ساختمان آگاه بود. نور بیرونی می‌تواند از طریق شیشه، پنجره و دیگر بازوها از سه طریق 1- نور مستقیم از یک نقطه در نظر گرفته‌شده از آسمان، 2- نور بازتاب‌شده از یک سطح خارجی و رسیده به یک نقطه ساختمان و 3- نور وارد شده از طریق پنجره و یا نور رسیده به یک نقطه در داخل فضا بعد از بازتاب از سطوح داخلی، به داخل ساختمان برسد و در حقیقت فاکتور نور روز مجموع این سه نور را در نظر می‌گیرد.

برای محاسبه میانگین شدت روشنایی در نرم افزار ریلوکس، باید ابتدا یک منبع نوری را انتخاب کرده و سپس سطح مورد نظر را انتخاب و در نتیجه یک شبکه از نقاط روی سطح را تعریف نمود. نرم افزار ریلوکس می‌تواند شدت روشنایی را در هر نقطه از شبکه در تمامی ساعات روز محاسبه کند. سپس باید میانگین شدت روشنایی را از مجموع شدت روشنایی در همه نقاط تقسیم بر تعداد نقاط بدست آورد. در نمودارهای رنگی، رنگ‌های مختلف برای نشان دادن مقادیر مختلف شدت روشنایی استفاده می‌شوند. در نمودارهای خطی، خطوط مختلف برای نشان دادن مقادیر مختلف شدت روشنایی استفاده می‌شوند. برای نمایش میانگین شدت روشنایی در گونه‌های نرمالیزه‌شده، باید ابتدا مقدار میانگین شدت روشنایی را محاسبه کرد. سپس باید یک خط یا رنگ متناظر با این مقدار را در نمودار انتخاب نمود. این خط یا رنگ می‌تواند به صورت افقی یا عمودی باشد. این خط یا رنگ نشان می‌دهد که چه بخشی از سطح دارای شدت روشنایی بیشتر یا کمتر از میانگین است. این خط یا رنگ می‌تواند به عنوان یک معیار برای ارزیابی توزیع شدت روشنایی در سطح باشد. نمودارهای سه بعدی می‌تواند به عنوان یک ابزار برای ارزیابی توزیع شدت روشنایی در سطح باشد. می‌تواند نشان دهد که چه بخشی از سطح دارای شدت روشنایی بیشتر یا کمتر از میانگین است. این نمودار می‌تواند به طراحان و مهندسين کمک کند تا راه‌حل‌های بهینه برای بهره‌برداری از نور روز یا نور مصنوعی را پیش‌بینی و ارزیابی کنند. در ادامه شدت روشنایی متوسط، کمینه و بیشینه شدت روشنایی و نرخ یکنواختی و فاکتور نور روز ضمن بیان مشخصات ابعادی گونه‌ها برای تمام 22 گونه نرمالیزه‌شده آورده شده‌است.

ج) اعتبارسنجی نرم‌افزار ریلوکس

مطالعات متعدد نشان می‌دهد که نتایج شبیه‌سازی‌شده باید با داده‌های اندازه‌گیری‌شده مقایسه شود. این رویکرد معمولاً به عنوان اعتبارسنجی مدل شبیه‌سازی شناخته می‌شود. در اینجا با معرفی نرم‌افزار مورد استفاده در تحقیق، اعتبارسنجی شبیه‌سازی براساس میزان روشنایی اندازه‌گیری‌شده در یک نمونه واقعی انجام می‌شود. یک اتاق معمولی در شهر کرمانشاه به عنوان نمونه‌ای از ساخت‌وسازهای در نظر گرفته شده‌است. یک اتاق کوچک به عنوان ناحیه اندازه‌گیری میدانی، اعتبارسنجی داده‌ها و مدل پایه در شبیه‌سازی‌ها ارائه شده‌است. در این راستا، روشنایی 20 نقطه داخل اتاق توسط یک متر لوکس اندازه‌گیری شده‌است، پس از ثبت داده‌ها، داده‌های تجربی و شبیه‌سازی مقایسه می‌شوند. در نهایت، مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری در شکل 4 با یکدیگر مقایسه شده‌اند. با توجه به تجزیه و تحلیل‌های انجام‌شده از طریق برنامه‌های آماری مانند Excel و SPSS، نتایج نشان می‌دهد که ضرایب همبستگی پیرسون و اسپیرمن برای هر دو داده اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی‌شده حدود 0/07 است و سطح معنی داری نیز برابر با صفر است. علاوه بر این، تفاوت بین داده‌ها حدود 1/8٪ است. این نشان می‌دهد که فرآیند شبیه‌سازی قابل اعتماد است و می‌توان به نتایج تحقیق اعتماد کرد.



شکل 4 مقایسه مقادیر روشنایی شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری در نمونه‌های واقعی

4- بحث و یافته‌های پژوهش

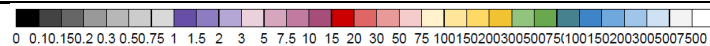
برای دستیابی به حداقل فاکتور روشنایی (دو درصد) ابتدا باید سطوح روشنایی در یک فضای معماری در لوکس یا فوت کندل اندازه‌گیری شوند. برای روشنایی روز منبع نور، طاق آسمان از بیرون ساختمان است. برای نصب پنجره‌ها، نورگیرها، دریافت نور روز کافی و رفع نیازهای روشنایی آسمان مورد نیاز است. از آنجاکه این منبع نور به طور مداوم در حال تغییر است و به شرایط آب‌وهوایی و زمان روز بستگی دارد، طراحی برای سطوح دقیق نور با استفاده از نور روز نسبتاً مشکل است، بنابراین به جای محاسبه سطوح دقیق نور (فوت کندل یا

جدول 7 شدت روشنایی متوسط، کمینه و بیشینه شدت روشنایی و نرخ یکنواختی برای تمام 22 گونه نرمالیزه‌شده

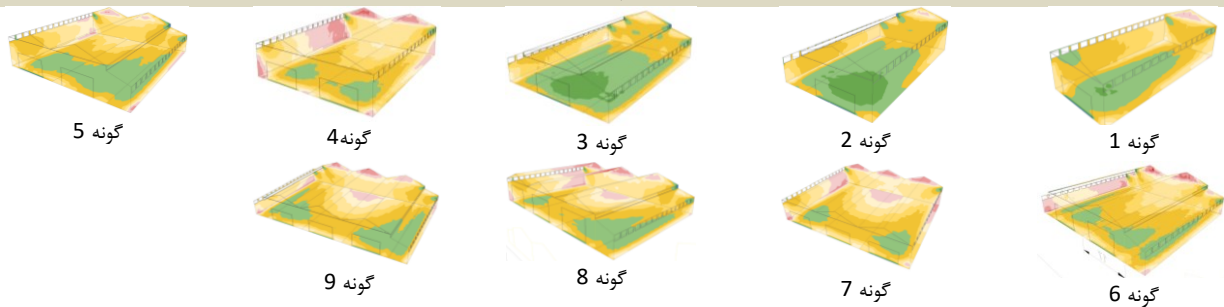
تیپ	گونه	Average illuminance (lx)	Minimum illuminance (lx)	Maximum illuminance (lx)	Uniformity Uo	طول سازه	ارتفاع سازه (اوج سقف)	ارتفاع دیواره کنار سوله	نسبت طول به عرض	تعداد دهانه اصلی	مساحت پنجره فرعی	دیواری	سقفی
-----	------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	---------------	----------	-----------------------	-------------------------	-----------------	------------------	------------------	--------	------

	80	0	1	0.425	-	12	17	(0.33)	655	136	410	1	1
	120	1	1	0.575	6	12	23	(0.41)	847	206	502	2	
	160	2	1	0.750	6	12	30	(0.53)	831	267	506	3	
	80	0	2	0.850	-	12	34	(0.44)	497	120	272	4	
	120	1	2	1	6	12	40	(0.41)	555	137	336	5	
	160	2	2	1.150	6	12	46	(0.39)	530	130	335	6	
	80	0	3	1.275	-	12	51	(0.33)	503	78	235	7	
	120	1	3	1.425	6	12	57	(0.30)	526	83	274	8	
	160	2	3	1.575	6	12	63	(0.29)	541	86	299	9	
	80	0	1	0.500	-	12	20	(0.33)	624	126	386	10	2
	120	1	1	0.650	6	12	26	(0.44)	643	191	431	11	
	160	2	1	0.800	6	12	32	(0.56)	591	237	424	12	
	80	1	2	1.150	6	12	46	0.28)	837	144	515	13	
40	80	0	1	0.425	-	12	17	(0.45)	681	216	485	14	3
40	120	1	1	0.575	6	12	23	(0.55)	686	288	521	15	
40	160	2	1	0.725	6	12	29	(0.57)	868	324	566	16	
	40	0	1	0.409	4.5	5.5	9	(0.43)	637	158	371	17	4
	80	0	2	0.818	4.5	5.5	18	(0.48)	605	165	348	18	
	40	0	1	1	-	12	30	(0.58)	403	132	228	19	5
	80	2	1	1	6	12	32	(0.58)	585	247	428	20	6
	80	0	2	1	-	12	18	(0.35)	559	128	365	21	7
	120	1	4	1.925	6	12	40	(0.23)	484	50	211	22	8

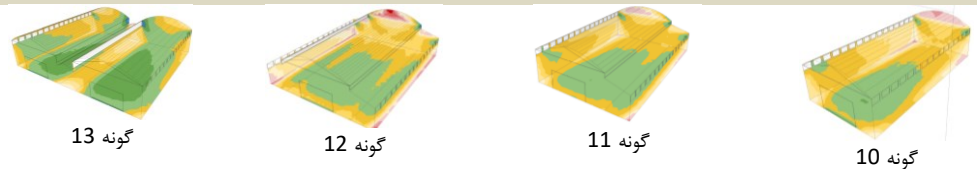
جدول 8 چگونگی توزیع میانگین شدت روشنایی در گونه‌های نرمالیزه شده (بر حسب لوکس)



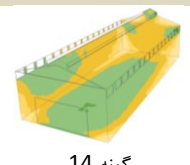
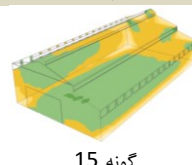
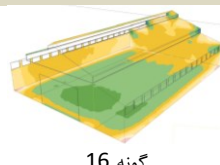
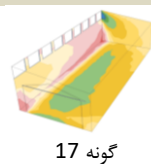
تیپ 1



تیپ 2



تیپ 4

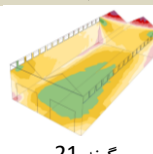


تیپ 3

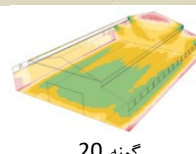
تیپ 8



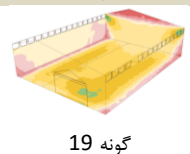
تیپ 7



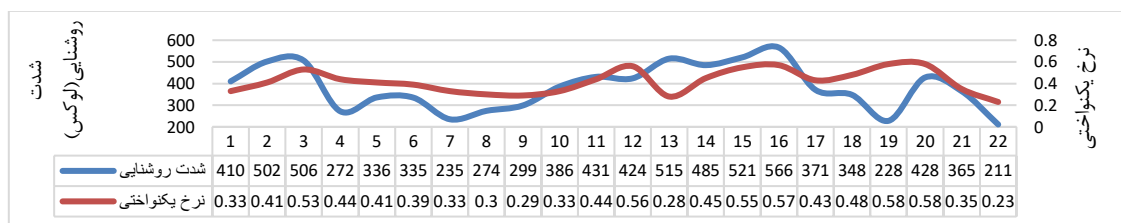
تیپ 6



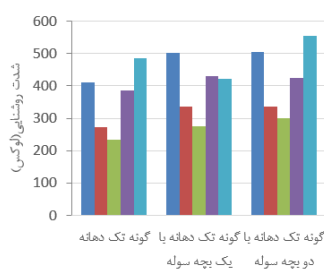
تیپ 5



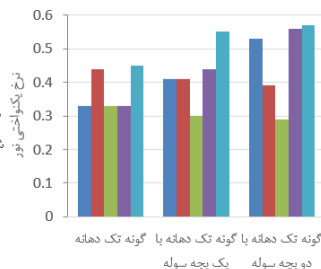
صورت گرفته، شدت روشنایی در تیپ 3 (گونه 16) با داشتن دهانه اصلی و دو بچه سوله به همراه نورگیر مرکزی بیشترین مقدار است، همچنین با توجه به نمودارها می‌توان دریافت با افزایش تعداد دهانه‌های اصلی در دسته اول تا سوم گونه‌های تیپ 1 شدت روشنایی کاهش می‌یابد و همچنین همزمان نرخ یکنواختی نور نیز کاهش خواهد شد. گونه‌های تیپ 3 به‌طور کلی دارای شدت روشنایی متوسط بالاتر نسبت به سایر تیپ‌ها هستند. در ادامه به‌منظور تشخیص ارتباط بین متغیرهای پژوهش با توجه به ماهیت داده‌ها از آزمون پیرسن در نرم‌افزار SPSS استفاده شده است. میزان همبستگی و یا عدم همبستگی در سطح معناداری $\alpha = 0/01$ و $\alpha = 0/05$ مورد بررسی قرار داده شده است. ضریب همبستگی بین دو متغیر با p نمایش داده می‌شود که هرچه مقدار آن به عدد 1 نزدیک‌تر باشد میزان همبستگی دو متغیر در جهت مستقیم بیشتر و هرچه مقدار p به عدد 1- نزدیک‌تر باشد، میزان همبستگی در جهت معکوس بیشتر است. همچنین زمانی که $p = 0$ باشد.



شکل 5 نمودار توزیع شدت روشنایی و نرخ یکنواختی نور در گونه واحدهای صنعتی نرمالیزه شده



شکل 7 میانگین شدت روشنایی گونه واحدهای صنعتی نرمالیزه شده با توجه به نوع دهانه



شکل 6 نرخ یکنواختی گونه واحدهای صنعتی نرمالیزه شده با توجه به نوع دهانه

گونه‌هایی که در حال حاضر در ساخت واحدهای صنعتی استفاده می‌شود (افزایش نسبت طول به عرض) به کاهش همزمان میانگین شدت روشنایی و نرخ یکنواختی منجر می‌شود. همچنین تعداد دهانه‌های اصلی که با کشیدگی فضا ارتباط معنی‌دار دارد، بیشترین همبستگی منفی را با شاخص‌های کیفیت نور نشان می‌دهد؛ به‌طوری که با افزایش تعداد دهانه‌ها، هم شدت روشنایی و هم یکنواختی کاهش می‌یابد. این امر نشان می‌دهد که ساختارهای کشیده‌تر با دهانه‌های متعدد، در انتقال و توزیع یکنواخت نور ناکارآمدتر عمل می‌کنند (جدول 9).

5- نتیجه‌گیری

در این پژوهش تأثیر نوع گونه واحدهای صنعتی بر میزان شدت روشنایی نور دریافتی روز و نرخ یکنواختی نور روز در واحدهای صنعتی شهرک صنعتی بیستون کرمانشاه مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که

تعداد دهانه اصلی	نسبت طول به عرض	نرخ یکنواختی	میانگین نور
1	0.020	0.897**	0.419
2	0.114	0.707**	0.411
3	0.176	0.623**	0.411
4	0.114	0.496*	0.411
5	0.176	0.623**	0.419
6	0.897**	0.707**	0.683**

تحلیل همبستگی میان متغیرها نشان داد که ویژگی‌های کالبدی فضا، به‌ویژه نسبت طول به عرض و تعداد دهانه‌های اصلی، بیشترین تأثیر را بر کیفیت نور روز دارند. نتایج بیانگر آن است که افزایش کشیدگی پلان‌ها در

پیشنهادی فراهم می‌کند که بر کنترل تناسبات هندسی و به‌کارگیری نورگیرهای بهینه در نقاط مرکزی یا سقفی تأکید دارد.

پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی، سناریوهای مختلف با مصالح متفاوت در واحدهای صنعتی با هدف دریافت روشنایی مناسب نور خورشیدی در پوسته ساختمان‌ها مقایسه و گونه‌های بهینه ارزیابی شوند و با استفاده از سایه‌اندازهای مناسب، تأثیر این عوامل بر میزان مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی ساختمان‌ها مورد مطالعه قرار گیرد.

6- منابع

- [1] I. Irnawaty, Daylight intensity analysis of secondary school buildings for environmental development. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019.
- [2] J. Kim, R. De Dear, Nonlinear relationships between individual IEQ factors and overall workspace satisfaction, *Building and Environment*, Vol. 49, pp. 33-40, 2012.
- [3] R. Küller, The impact of light and colour on psychological mood: a cross-cultural study of indoor work environments, *Ergonomics*, Vol. 49, No. 14, pp. 1496-1507, 2006.
- [4] M. Boubekri, Impact of windows and daylight exposure on overall health and sleep quality of office workers: a case-control pilot study. *Journal of clinical sleep medicine*, Vol. 10, No. 6, pp. 603-611, 2014.
- [5] S.W. Lockley, Circadian rhythms: Influence of light in humans, *Encyclopedia of neuroscience*, Elsevier, pp. 971-988, 2010.
- [6] S. Altomonte, Daylight for energy savings and psycho-physiological well-being in sustainable built environments. *Journal of sustainable development*, Vol. 1, No. 3, pp. 3-16, 2008.
- [7] C.F. Reinhart, J. Wienold, The daylighting dashboard—A simulation-based design analysis for daylight spaces. *Building and environment*, Vol. 46, No. 2, pp. 386-396, 2011.
- [8] N. Lechner, Heating, cooling, lighting: metode desain untuk arsitektur. *Jakarta: Rajagrafindo Persada*, 2007.
- [9] C. Mediastika, Hemat Energi Dan Lestari Lingkungan Yogyakarta: *CV Andi Offset*. 2013
- [10] L. Doulos, A. Tsangrassoulis, and F. Topalis, Quantifying energy savings in daylight responsive systems: The role of dimming electronic ballasts. *Energy and buildings*, Vol. 40, No. 1, pp. 36-50, 2008.
- [11] M. Iarjani, L. Razi Kordmahaleh, Explaining the green job identification and prioritization of renewable energy domain: wind energy. *Karafan Quarterly Scientific Journal*, Vol. 14, No. 2, pp. 15-32, 2017. (in Persian)
- [12] A. W. Schmalwieser, C. Enzi, S. Wallisch, F. Holawe, B. Maier, P. Weihs, UV Exposition During Typical Lifestyle Behavior in an Urban Environment. *Photochemistry and Photobiology*, Vol. 86, No. 3, pp. 711-715, 2010.
- [13] M. Tahbaz, S. Jalilian, F. Mousavi, M. Kazemzadeh, Natural Day lighting in Traditional Houses in Kashan, Case Study of Ameri House. *Journal of Iranian Architecture Studies*, Vol. 2, No. 4, pp. 87-108, 2022. (in Persian)
- [14] W. N. H. W. Abdullah, Identifying optimal window-to-wall ratio (WWR) and window-to-floor ratio (WFR) for typical higher educational classrooms to address deficiencies in daylighting design. *Malaysian Journal of Sustainable Environment*, Vol. 12, No. 2, pp. 81-102, 2025.
- [15] Liu, Y., et al., Optimizing classroom modularity and combinations to enhance daylighting performance and outdoor platform through ANN acceleration in the post-epidemic era. *Heliyon*, 2023. 9(11).
- [16] L. Starkey, The use of furniture in a student-centred primary school learning environment. *New Zealand Journal of Educational Studies*, Vol. 56, No. 1, pp. 61-79, 2021.
- [17] S.M. Mousavi, T.H. Khan, Y. W. Lim, Impact of furniture layout on indoor daylighting performance in existing residential buildings in Malaysia. *Journal of Daylighting*, Vol. 5, No. 1, pp. 1-13, 2018.
- [18] S.R. Mousavi Asl, H. Safari, Evaluation of daylight distribution and space visual quality at medical centers through spatial layout.

گونه‌بندی در واحدهای صنعتی قابل تشخیص است و گونه‌ها را به‌منظور مقایسه و تعمیم‌پذیری می‌توان نرمالیزه کرد و با تعیین موقعیت بازشوهای دیوار فضای صنعتی در بالاترین سطح دیوار و نزدیک به سقف با ارتفاع یک متر می‌توان میزان روشنایی در هر گونه واحد صنعتی را بدست آورد و چگونگی الگوی توزیع نور در کف فضای صنعتی را به‌منظور دستیابی به چیدمان بهینه فضاها تعیین نمود. تحلیل مجموعه داده‌های روشنایی شامل ۲۲ گونه در ۸ تیپ صنعتی، نشان می‌دهد تأثیرات متفاوتی از هندسه فضا (نسبت طول به عرض) و نوع منبع نور (نور جانبی و سقفی) بر دو شاخص اصلی عملکرد نور روز (میانگین شدت روشنایی و نرخ یکنواختی) دارد. تکیه بیشتر بر نور جانبی در تیپ‌های ۱ و ۲ و با افزایش نسبت طول به عرض از ۰.۴۲۵ تا حدود ۰.۷۵ در تیپ ۱ و از ۰.۵۰ تا ۰.۸ در تیپ ۲ با اضافه کردن دو دهانه فرعی در تیپ ۲ بهبود می‌یابد. این بهبود نشان‌دهنده توزیع بهتر نور محیطی؛ داشتن شدت روشنایی کافی ضمن حفظ یکنواختی نور روز است. باین‌حال، ادامه افزایش این نسبت با اضافه شدن تعداد دهانه اصلی مرکزی، حتی ضمن داشتن دهانه فرعی منجر به کاهش شدید یکنواختی می‌شود، زیرا نقاط دور از منابع جانبی دچار افت شدید شدت نور می‌شوند. این امر بر اهمیت مدیریت نسبت طول به عرض فضا به‌عنوان یک عامل کنترل‌کننده یکنواختی تأکید می‌کند. همچنین باید توجه داشت نسبت طول به عرض کمتر، در حدود ۰.۴۲۵ در گونه ۱ و حدود ۰.۵۰ در گونه ۲ نرخ یکنواختی مطلوب (بیشتر از ۰.۴) را ارائه نداده است. اما در تیپ ۳، دهانه‌های نورگیر سقفی مرکزی عامل اصلی در افزایش شدت روشنایی و نرخ یکنواختی نور هستند. با افزایش نسبت طول به عرض فضا و ضمن اضافه کردن نورگیرهای جانبی در این تیپ به‌طور کلی شاهد افزایش شدت روشنایی و نرخ یکنواختی هستیم. تیپ ۴ شکل خاص و ابعاد محدودتری دارد که با افزایش نسبت طول به عرض شدت روشنایی کاهش و نرخ یکنواختی نور افزایش پیدا کرده است. با مقایسه تیپ‌های ۵، ۶، ۷ و ۸ که هر کدام دارای یک گونه خاص هستند تیپ ۶ با داشتن نسبت طول به عرض ۱ و داشتن دو دهانه فرعی نسبت به ۳ تیپ دیگر شدت روشنایی و نرخ یکنواختی نور بهتری در محدوده استاندارد ارائه داده است. مقایسه این ۴ تیپ نشان می‌دهد در نسبت‌های طول به عرض بالاتر با بزرگ کردن دهانه اصلی مرکزی و اضافه کردن دو دهانه فرعی می‌توان شرایط مطلوب‌تری از کیفیت نور روز فراهم نمود. بهره‌برداری موفق از نور روز در این فضاها صنعتی مستلزم یافتن یک نقطه تعادل است و آن نقطه تعادل عبارت است از: نسبت طول به عرض فضا به گونه‌ای باشد که نور جانبی بتواند توزیع محیطی مطلوبی ایجاد کند و در عین حال، دهانه‌های سقفی با مساحت کافی برای تأمین شدت روشنایی مورد نیاز در کل فضا تعبیه شده باشند، بدون آنکه باعث ایجاد تضادهای نوری شدید و کاهش یکنواختی شوند. داده‌ها به‌وضوح نشان می‌دهند که شدت روشنایی و یکنواختی دو شاخص مستقل هستند که باید به‌صورت هم‌زمان و براساس هندسه دقیق فضا مدیریت شوند. همچنین با توجه به نتایج آزمون همبستگی می‌توان نتیجه گرفت که کیفیت روشنایی فضا بیش از آنکه تابع سطح بازشوها باشد که همبستگی نسبتاً ضعیف‌تری نشان داد، تحت تأثیر شکل هندسی و ساختار ترکیب‌بندی دهانه‌ها با الگوهای رایج موجود قرار دارد. از این‌رو، برای دستیابی به روشنایی پایدار و یکنواخت در فضاها صنعتی، لازم است نسبت طول به عرض فضا در محدوده متعادل حفظ شود و از افزایش بیش از حد تعداد دهانه‌های اصلی که موجب تضعیف توزیع نور طبیعی می‌شود، پرهیز گردد. مگر با تمهیدات ویژه نورگیر مرکزی یا سقفی پیوسته، این یافته‌ها مبنایی برای ارائه قاعده طراحی

- Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, Vol. 20, No. 5, pp. 512-519, 2021.
- [19] F. Sharp, The use and environmental impact of daylighting. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 85, pp. 462-471, 2014.
- [20] EN, B., 12464-1: Light and lighting—Lighting of work places—Part 1: Indoor work places, pp.121-134, 2003.
- [21] M. Alrubaih, Research and development on aspects of daylighting fundamentals. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 21, pp. 494-505, 2013.
- [22] Y. Chen, Experimental and simulation study on the performance of daylighting in an industrial building and its energy saving potential. *Energy and Buildings*, Vol.73, pp. 184-191, 2014.
- [23] R.W. Da fonseca, E.L. Didoné, F.O.R. Pereira, Using artificial neural networks to predict the impact of daylighting on building final electric energy requirements. *Energy and Buildings*, Vol. 61, pp. 31-38, 2013.
- [24] M. azemi, A. Kazemi, Investigating the lighting system in Chaharmahal Industrial Town based on international requirements and proposing solutions for its upgrade. *Quarterly Journal of Energy Policy and Planning*, Vol. 10, No. 2, pp. 65-91, 2024. (in Persian)
- [25] M. Iommi, Daylighting performances and visual comfort in Le Corbusier's architecture. The daylighting analysis of seven unrealized residential buildings. *Energy and Buildings*, Vol. 184, pp. 242-263, 2019.
- [26] R. Khidmat, P. Fukuda, H. Kustiani, B. Paramita, M. Qingsong, A. Hariyadi, Investigation into the daylight performance of expanded-metal shading through parametric design and multi-objective optimisation in Japan. *Journal of Building Engineering*, Vol. 51, 2022.
- [27] A. I. Samiou, L. T. Doulos, S. Zerefos, Daylighting and artificial lighting criteria that promote performance and optical comfort in preschool classrooms. *Energy and Buildings*, Vol. 258, No. 2, 2022.
- [28] A. Esfandiari, E. shokry, Evaluation of Space Syntax Effect on Visual Quality and Daylight Indexes for the Interior Spaces of Residential Units in Isfahan City, *Karafan Quarterly Research Journal*, Vol. 19, No. 4, pp. 77-101, 2023. (in Persian)
- [29] S. H. Neshat Safavi, H. Zolfagharzadeh, M. Mafi, A. Esfandiari, Optimization the Position of the Windows for Improved Natural Ventilation, Thermal Comfort and Daylight in Yazd City, *Karafan Quarterly Research Journal*, Vol. 18, No. 4, pp. 395-410. 2022. (in Persian)
- [30] E. Shokry, N. Nasrollahi, Investigating the effect of residential blocks layout and urban surfaces materials on buildings solar radiation access in cold and temperate climate of kermanshah city, *Journal of Architectural Thought*, Vol. 5, No. 10, pp. 202-217, 2021. (in Persian)
- [31] D. Ibarra, C.F. Reinhart, Daylight factor simulations—how close do simulation beginners ‘really’ get?, in Building Simulation, *Eleventh International IBPSA Conference*, 2009.
- [32] J. Zhang, C. K. Heng, L. C. Malone-Lee, D. J.C. Hii, P. Janssen, K. S. Leung, B. K. Tan, Evaluating environmental implications of density: A comparative case study on the relationship between density, urban block typology and sky exposure. *Automation in construction*, Vol. 22, pp. 90-101, 2012.