



A Systematic Literature Review: The Architectural Design Parameters Affecting Circadian Health and Non-Visual Daylight Comfort

Zahra Rostami Najafabadi¹ and Zahra Zamani*²

Received 06/Jun/2025

Revised: 13/Oct/2025

Accepted: 04/Jan/2026

(PP.: 1-22)

Abstract

Introduction: The variation of daylight throughout the day makes it an ideal source for stimulating the human circadian system; however, its quantity, quality, and availability at appropriate times are not always sufficient in interior spaces. Therefore, artificial lighting is necessary to complement the visual and non-visual aspects of light for humans. Building and interior design factors have a significant impact on the amount and quality of incoming light; therefore, it is necessary to review previous studies in this field and systematically categorize them.

Methods: This review study examines the parameters discussed in this field, dependent variables, approaches, and evaluation criteria, emphasizing the importance and impact of design parameters on human circadian health.

Results and Discussion: The systematic review showed that the parameters discussed in this field, along with their frequency of occurrence in the reviewed articles, include human factors (11%), ideation factors (4%), geography and weather (8%), building factors (6%), windows (31%), window glazing (6%), shading systems (14%), interior surfaces (13%), artificial lighting systems (2%), and furniture (5%). The most important dependent variables (measurement factors) in this field are Circadian Stimulus (CS) (47%), Equivalent Melanopic Lux (EML) (25%), Melanopic Equivalent Daylight Illuminance (m-EDI) (20%), and M/P ratio (8%). The reviewed studies were selected within the latitude range relevant to Iran so that the obtained results can be applicable to this geographical context.

Conclusion: The main weakness of previous studies is the lack of attention to an integrated lighting design process and the simultaneous consideration of visual and non-visual comfort, as 67% of the articles addressed non-visual comfort exclusively, whereas only 33% adopted an integrated approach. It is worth mentioning that the articles included in the present study addressed non-visual comfort, either exclusively or through an integrated approach, while visual comfort alone was not investigated. Therefore, the lack of an integrated approach is a major weakness of the conducted studies, because these parameters and their impacts on design should be considered from the early stages of the design process to achieve an appropriate circadian rhythm. To address this need, the Human-Centric Lighting (HCL) design approach, which places humans and their visual and non-visual needs at the center of the design process, should be incorporated into the design.

Keywords: Circadian-Effective Lighting- Daylight- Non-Visual Effects of Light- Health- Integrative Lighting.

¹**Master's Student**(Energy and Architecture), Faculty of Architecture, Uni. of Tehran, Tehran, Iran, zahra.rostami.na@ut.ac.ir.

²**Faculty of Architecture**, Uni. of Tehran, Tehran, Iran, (Corresponding Author) zahrazamanii@ut.ac.ir

مرور سیستماتیک پارامترهای طراحی معماری مؤثر بر سلامت شبانه‌روزی و آسایش غیر بصری نور روز

زهرا رستمی نجف‌آبادی³ و زهرا زمانی^{4*}

تاریخ پذیرش: 1404/دی/14	تاریخ بازنگری: 1404/مهر/21	تاریخ دریافت: 1403/خرداد/16
(صفحات: 1-22)		

چکیده

مقدمه: اثرات غیر بصری نور بر سلامت شبانه‌روزی، عملکرد شناختی و کیفیت زندگی انسان، در سال‌های اخیر به یکی از موضوعات مهم در طراحی معماری و روشنایی تبدیل شده است. از آنجاکه ویژگی‌های معماری ساختمان بر کمیت و کیفیت نور دریافتی کاربران تأثیر می‌گذارد، شناسایی عوامل طراحی مؤثر بر آسایش غیر بصری نور روز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

روش تحقیق: این پژوهش با روش مرور سیستماتیک و بر اساس دستورالعمل PRISMA 2020 انجام شد. مطالعات مرتبط در پایگاه‌های Google Scholar، ScienceDirect و Elsevier در بازه زمانی 2014 تا 2025 جستجو شدند. پس از غربالگری، حذف موارد تکراری و اعمال معیارهای ورود و خروج، 30 مقاله واجد شرایط انتخاب و مورد تحلیل قرار گرفتند. در این مطالعه، پارامترهای طراحی معماری، متغیرهای وابسته، شاخص‌های ارزیابی و رویکردهای پژوهشی مورد بررسی و دسته‌بندی قرار گرفت.

نتایج و بحث: نتایج نشان داد که در میان پارامترهای طراحی معماری، پنجره‌ها (31%)، سیستم‌های سایه‌انداز (14%) و صفحات داخلی (13%) بیشترین سهم را در مطالعات مرتبط با سلامت شبانه‌روزی داشته‌اند. همچنین شاخص‌های (CS) Circadian Stimulus، (EML) Lux و (m-EDI) Melanopic Equivalent Daylight Illuminance (m-EDI) پرکاربردترین معیارهای ارزیابی آسایش غیربصری بوده‌اند. بررسی رویکرد مطالعات منتخب نشان داد که 67% پژوهش‌ها صرفاً بر آثار غیر بصری نور متمرکز بوده‌اند، در حالی که تنها 33% از مطالعات به ارزیابی هم‌زمان آسایش بصری و غیر بصری پرداخته‌اند.

نتیجه‌گیری: یافته‌ها نشان می‌دهد که اگرچه نقش پارامترهای معماری در سلامت شبانه‌روزی به خوبی مورد توجه قرار گرفته است، اما کمبود مطالعات با رویکرد یکپارچه آسایش بصری و غیر بصری همچنان یکی از خلأهای اصلی این حوزه محسوب می‌شود. توسعه رویکرد طراحی روشنایی انسان‌محور (HCL) و توجه به ملاحظات شبانه‌روزی از مراحل اولیه طراحی می‌تواند به ارتقای کیفیت محیط‌های معماری و سلامت کاربران منجر شود.

واژگان کلیدی: روشنایی شبانه‌روزی مؤثر، نور روز، اثرات غیر-بصری نور، سلامت، روشنایی یکپارچه.

³ دانشجوی کارشناسی ارشد معماری و انرژی، دانشکده‌گان هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

⁴ استادیار گروه فناوری معماری، دانشکده معماری، دانشکده‌گان هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. (نویسنده مسئول)

zahrazamani@ut.ac.ir

1- مقدمه

تنوع نور روز در طول روز آن را به یک منبع نوری ایده آل برای آسایش بصری و تحریک سیستم شبانه‌روزی انسان تبدیل می‌کند (Alkhatatbeh, Asadi, 2021). در پاسخ به نور، بدن انسان هم به صورت بصری و هم غیر بصری واکنش نشان می‌دهد. این پاسخ‌ها به دلیل ادراک نوری است که در شبکه چشم رخ می‌دهد. در شبکه، میل، مخروط و سلول‌های گانگلیونی شبکه (i pRGCs)، گیرنده‌های نوری هستند که به سیگنال‌های فوتون پاسخ می‌دهند. پاسخ‌های بصری توسط میله‌ها و مخروط‌ها علاوه بر تفاوت‌های مورفولوژیکی آنها، صادر می‌شوند. همکاری بین قشر بینایی اولیه مغز و این گیرنده‌های نوری کمک می‌کند تا، سهولت دید که از جنبه بصری بر سلامت انسان تأثیر می‌گذارد، درک شود. این موضوع، تأثیر نور بر آسایش بصری، موضوع شناخته شده‌ای است که پژوهش‌های بسیاری در این راستا انجام شده (Ghaeili Ardabili et al., 2023).

در مورد پاسخ غیر بصری، فراتر از میله‌ها و مخروط‌ها بررسی می‌شود. اخیراً مشخص شده که i pRGCها باعث پاسخ‌های غیر دیداری نیز می‌شوند. i pRGC برای پاسخ مطلوب، نیازمند مدت زمان و قرارگیری در معرض نور با شدت بیشتری هستند. به همگام‌سازی با 24 ساعته چرخه طلوع و غروب خورشید، ریتم بیولوژیکی انسان، گفته می‌شود. ریتم شبانه‌روزی، الگویی سالم برای انسان فراهم می‌کند. در نتیجه تماس با نور با پیک توزیع توان در طول موج کوتاه‌تر (محدوده آبی نور مرئی). این همزمانی هسته‌های فوق کیماتیک (SCN) تنظیم می‌شود که هورمون ملاتونین را آزاد می‌کند. ریتم شبانه‌روزی علاوه بر کنترل مستقیم چرخه خواب و بیداری، به طور غیر مستقیم بر دمای مرکزی بدن و فشار خون تأثیر می‌گذارد. اختلال در این چرخه منجر به ایجاد مشکلات مختلف سلامتی از جمله دیابت، بیماری‌های قلبی عروقی و حتی سرطان می‌شود. از این رو، کیفیت نور برای سلامت انسان بسیار مهم است (Ghaeili Ardabili et al., 2023). بنابراین استفاده حداکثر و بهینه از نور روز باید در دستور کار معماران

قرار گیرد. اثر متقابل معماری و نور، چه نور طبیعی و چه نور مصنوعی، بر آسایش بصری و غیر بصری داخل محیط ساخته شده تأثیر می‌گذارد (Alkhatatbeh, Asadi, 2021). بلیا و فراگلیاسو (2021) در پژوهشی معماری را بر اساس عوامل مؤثر بر اثرات غیر بصری نور بر اساس مقیاس طراحی، طبقه‌بندی کرده‌اند. این طبقه‌بندی شامل طراحی شهری، معماری، فناوری و داخلی است (Bellia, Fragliasso, 2021).

گرچه برآورد نقش معماری در کمک به جلوه‌های غیر بصری نور کار آسانی نیست، طراحی معماری باید راهبرد هایی را برای تقویت قرارگرفتن ساکنین در معرض نور در نظر بگیرد (Bellia, Fragliasso, 2021). چراکه، انسان‌ها در طول قرن گذشته به‌طور قابل توجهی در محیط داخلی ساختمان‌ها زندگی می‌کنند. همین امر باعث اهمیت نور روز مناسب در فضای داخلی، کیفیت و کمیت نور روز در محیط‌های داخلی در درجه اول تحت تأثیر ویژگی‌های پوسته ساختمان تعدیل می‌شوند (Potočnik, Košir, 2019). در عین حال در جهت کنترل و حفظ آسایش بصری، طراحی معماری باید کیفیت، کمیت و زمان نور روز را نیز کنترل کند (Bellia, Fragliasso, 2021). بنابراین، ضرورت و اهمیت پژوهش پیشرو از سه جهت قابل بررسی است.

1-1- اهمیت آسایش غیر بصری و ریتم شبانه‌روزی بدن انسان

روشنایی شبانه‌روزی در بیشتر فعالیت‌های فیزیولوژی و بیوشیمیایی بدن انسان از جمله، فیزیولوژی خواب، فرایندهای هموستاتیک، شناختی - رفتاری، تنظیم میزان هوشیاری و کارایی مغز و... تأثیر قابل توجهی دارد و معماری به عنوان یکی از عوامل کنترل نور ورودی به چشم باید مورد بررسی قرار گیرد (Ghaeili Ardabili et al., 2023).

1-2- ضرورت نگاه یکپارچه بر آسایش بصری و غیر بصری

موضوع آسایش بصری از گذشته مورد توجه محققان بوده و تأثیر عوامل معماری در آن بارها مورد بحث و بررسی

Systematic Reviews and Meta-Analyses) انجام شده است.

1-2- راهبرد جستجوی مطالعات

به منظور گردآوری مطالعات مرتبط، جستجوی نظام مند منابع علمی در پایگاه های Google Scholar, ScienceDirect و Elsevier انجام شد. بازه زمانی جستجو از سال 2014 تا 2025 در نظر گرفته شد تا جدیدترین مطالعات مرتبط با اثرات غیر بصری نور، روشنایی انسان محور و سلامت شبانه روزی مورد بررسی قرار گیرد.

در فرایند جستجو از ترکیب کلیدواژه های زیر استفاده شد:

- circadian-effective lighting
- Daylight
- non-visual effects of light
- Health
- Indoor health
- Non-Visual comfort
- integrative lighting
- Work environment
- Spectral power distribution
- Lighting
- human-centric lighting

کلیدواژه ها با استفاده از عملگرهای منطقی (AND) و (OR) در ترکیبات مختلف مورد جستجو قرار گرفتند تا تمامی مطالعات مرتبط با موضوع پژوهش شناسایی شوند.

2-2- معیارهای ورود و خروج مطالعات

به منظور افزایش دقت مرور و انتخاب مطالعات مرتبط، معیارهای ورود، شامل انتشار مقاله در مجلات علمی معتبر و داوری شده، انتشار در بازه زمانی 2014 تا 2025، ارتباط مستقیم با اثرات غیر بصری نور، سلامت شبانه روزی یا روشنایی انسان محور، بررسی حداقل یکی از متغیرهای طراحی معماری مؤثر بر دریافت نور، دسترسی به متن کامل مقاله و ارائه شاخص ها، روش اندازه گیری و نتایج قابل استخراج برای تحلیل پژوهش هستند. همچنین معیارهای خروج شامل، مقالات کنفرانسی، پایان نامه ها و گزارش های فنی، مطالعات فاقد متن کامل، مطالعات صرفاً پزشکی، زیستی یا

قرار گرفته است، اما مبحث آسایش غیر بصری به دلیل جدیدتر بودن نسبت به آسایش بصری، کمتر مورد بررسی، به ویژه در کشور ایران، قرار گرفته است؛ بنابراین بررسی عوامل غیر بصری، با توجه به میزان اهمیت آن، در کنار عوامل بصری می تواند نتایج مطلوب تری در جهت آسایش کاربران در اختیار قرار دهد. از آنجا که رابطه شاخص های بصری و غیر بصری با عوامل معماری در برخی موارد برعکس هم عمل می کنند، نگاه هم زمان به این موضوع و بهینه یابی آسایش مهم است (Potočnik, Košir, 2019).

3-1- اهمیت قرارگیری ایران در کمربند خورشیدی

میزان دریافت نور خورشید در عرض های جغرافیایی مختلف، متفاوت است و بیشترین میزان مربوط به کمربند خورشیدی کره زمین در محدوده 35 درجه شمالی تا 35 درجه جنوبی است. از آنجا که ایران نیز در محدوده کمربند قرار دارد و طبق داده های هواشناسی، متوسط تعداد روزهای آفتابی در ایران در حدود 300 روز است و نور روز (شامل نور خورشید و آسمان)، مهم ترین و مؤثرترین عامل محرک در جهت تنظیم ریتم شبانه روزی است، لذا با بررسی عوامل تأثیرگذار و بهره گیری درست از تابش نور آفتاب، می توان با کاهش استفاده از سیستم نورپردازی مصنوعی، آسایش بصری و غیر بصری کاربر را فراهم نمود.

مهم ترین پارامترهای معماری مؤثر بر آسایش غیر بصری و متداول ترین شاخص های ارزیابی آن از جمله مهم ترین پرسش های مطرح شده در ابتدا شکل گیری این پژوهش است.

2- روش تحقیق

این پژوهش باهدف مرور، شناسایی، دسته بندی و تحلیل عوامل مؤثر بر آسایش غیر بصری نور و ریتم شبانه روزی انسان در محیط های معماری و بررسی شاخص ها و روش های ارزیابی مورد استفاده در مطالعات پیشین، با روش مرور سیستماتیک ادبیات و بر اساس دستورالعمل PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for

سایر تحلیل‌های ارائه شده در این پژوهش قرار گرفت.

2-4- استخراج و تحلیل داده‌ها

پس از انتخاب مطالعات نهایی، اطلاعات هر مقاله شامل هدف پژوهش، نوع کاربری، موقعیت جغرافیایی، ابزار اندازه‌گیری، متغیرهای مستقل، متغیرهای وابسته و شاخص‌های ارزیابی ریتم شبانه‌روزی استخراج و سپس داده‌ها در قالب جداول مقایسه‌ای دسته‌بندی و تحلیل شد.

به منظور شناسایی روندهای پژوهشی، فراوانی متغیرهای طراحی مؤثر بر ریتم شبانه‌روزی، شاخص‌های اندازه‌گیری، ابزارهای ارزیابی، کاربری‌های مورد مطالعه و عرض‌های جغرافیایی مورد بررسی قرار گرفت. همچنین میزان توجه مطالعات به رویکرد یکپارچه آسایش بصری و غیر بصری تحلیل شد تا خلأهای پژوهشی موجود و زمینه‌های مطالعات آینده مشخص شود. جدول 1 فرآیند شناسایی، غربالگری و انتخاب مطالعات را بر اساس دستورالعمل PRISMA 2020 نشان می‌دهد.

پس از استخراج منابع، داده‌ها در چند دسته طبقه‌بندی و تحلیل و آنالیز می‌شوند. مرحله اول آنالیز پارامترهای مورد بررسی با متغیرهای وابسته است. این روند در شکل 1 قابل مشاهده است. در این دیاگرام حبابی که بر اساس مطالعات شکل گرفته، هر خط نشانگر ارتباط میان دو شاخص متصل شده و اعداد روی آن، نشانگر تعداد دفعات تکرار شده است. مرحله بعد توجه به سایر پارامترهای مورد بررسی و طبقه‌بندی آنها است روند پیش برد کلی پژوهش طبق شکل 2 انجام شده:

فیزیولوژیکی بدون ارتباط با محیط ساخته‌شده، مطالعات مرتبط با روشنایی مصنوعی که فاقد ارتباط با طراحی معماری بودند، مطالعات فاقد داده‌های کافی برای استخراج متغیرها و شاخص‌های مورد نیاز پژوهش هستند.

2-3- فرآیند انتخاب مطالعات براساس PRISMA

فرایند انتخاب مطالعات مطابق فلوجارت PRISMA 2020 انجام شد. در مرحله نخست، تعداد 254 رکورد از پایگاه‌های اطلاعاتی منتخب استخراج شد. پس از حذف 48 رکورد تکراری، تعداد 206 مطالعه برای غربالگری اولیه باقی ماند.

در مرحله غربالگری، عنوان و چکیده مطالعات بررسی شد و 129 مقاله به دلیل عدم ارتباط کافی با موضوع پژوهش حذف شد. مهم‌ترین دلایل حذف شامل تمرکز صرف بر مطالعات پزشکی و فیزیولوژیکی، بررسی روشنایی مصنوعی بدون رویکرد معماری و عدم توجه به اثرات غیر بصری نور بود.

در مرحله بعد، متن کامل 77 مقاله مورد ارزیابی قرار گرفت. از این تعداد، 47 مقاله به دلیل عدم ارائه شاخص‌های مرتبط با ریتم شبانه‌روزی، نبود متغیرهای طراحی معماری یا ناکافی بودن داده‌های پژوهش حذف شد.

در نهایت، 30 مقاله واجد شرایط انتخاب و وارد مرحله تحلیل نهایی شد. این مطالعات مبنای استخراج متغیرهای طراحی، شاخص‌های ارزیابی آسایش غیر بصری، ابزارهای اندازه‌گیری، کاربری‌های مورد مطالعه و

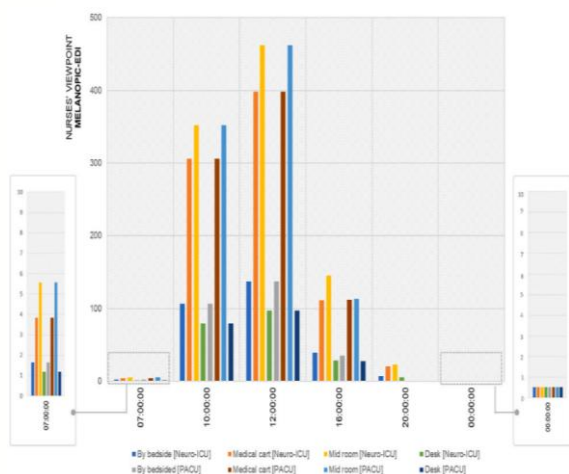
جدول 1- فلوجارت غربالگری و انتخاب مطالعات را بر اساس دستورالعمل PRISMA 2020

Tab. 1- PRISMA 2020 flow digram of study indentification, screening, eligibility assessment and inclusion process

شناسایی مطالعات	
Google Scholar (n=37)	مطالعات شناسایی شده از پایگاه‌های اطلاعاتی (254)
ScienceDirect (n=85)	
Elsevier (n=132)	
n=48	مطالعات تکراری حذف شده
n=206	مطالعات باقی‌مانده برای غربالگری
(n=44) پزشکی و فیزیولوژیک	غربالگری - بررسی عنوان و چکیده

برای بررسی عوامل معماری و تأثیر آن ها در ریتم شبانه‌روزی، ابتدا باید انسان را به عنوان استفاده کننده فضای معماری بررسی کرد حضور انسان در محیط مشخص شده و توجه به عملکرد محیط، حائز اهمیت است (Houser et al., 2020). این روند ممکن است در میان زنان و مردان و سن های مختلف متفاوت باشد، در صورت مشخص بودن کاربر فضا، توجه به این ویژگی ها نیز الزامی است.

برای بررسی تأثیر انسان در ریتم شبانه‌روزی بدن، عموماً از شاخص m-EDI استفاده می‌شود، این شاخص به وسیله یک رابطه ریاضی به دست می‌آید، اما به زبان ساده، شاخصی معادل EML است که در واحد SI پشتیبانی می‌شود (Ghaeili Ardabili et al., 2023). محدوده قابل قبول برای آن، به طور متوسط 218 لوکس در طول روز و نهایتاً 10 لوکس در سه ساعت قبل از خواب و 1 لوکس در زمان خواب است ("The WELL Building Standard," 2016). به عنوان نمونه در پژوهشی که شلدرمن و همکاران در بیمارستان در دانمارک انجام داده‌اند، تأثیر نورپردازی را در انسان های مختلف در اتاق های بیمارستان بررسی و شکل 4 نشانگر نتیجه مطلوب آزمایش است، آنها با توجه به تفاوت ریتم شبانه روزی مطلوب در بدن بیماران و کادر درمان، نورپردازی متفاوتی در قسمت تخت و یا میز پزشکی تعبیه کرده‌اند (Schledermann et al., 2023).

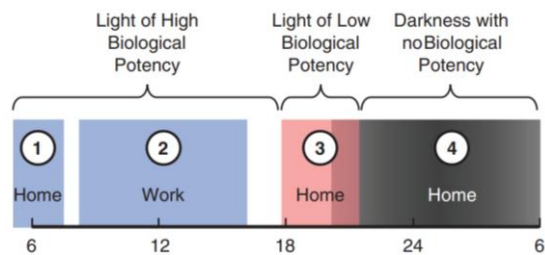


شکل 4- M-EDI عمودی برای شش بار در روز در اتاق بیمار (Schledermann et al., 2023)

Fig. 4- Vertical M-EDI for six times a day in the patient's room (Schledermann et al., 2023)

2-5- داده های استخراج شده (پارامتر های موثر بر آسایش غیر-بصری)

پارامترهای تأثیرگذار در مطالعات پیشین از نگاه کل به جز در طراحی شامل، ویژگی های انسان، ایده پردازی اولیه طرح معماری، جغرافیا و آب و هوا، ساختمان، پنجره، لعاب پنجره، سیستم سایه انداز، صفحات داخلی، سیستم نورپردازی مصنوعی و مبلمان هستند. هر عامل باید از مراحل اولیه طراحی مورد توجه قرار گرفته و در کنار میزان اهمیت هر عامل در سیستم شبانه‌روزی انسان، توجه به آسایش بصری نیز الزامی است. در مرحله نخست توجه به عوامل انسانی بسیار حائز اهمیت است چراکه تأثیرگذاری روانشناسی شبانه‌روزی، تقریباً در تمام فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در بدن انسان، از جمله فیزیولوژی خواب، فرآیندهای هموستاتیک، شناختی و رفتاری قابل استناد است؛ بنابراین بررسی انسان به عنوان یکی از عوامل استفاده کننده از فضای معماری الزامی است. ویژگی هایی از جمله جنسیت، سن، تجربه و سابقه کار و عنوان شغلی در این دسته طبقه بندی می شوند (Schledermann et al., 2023). تنظیم ساعت شبانه‌روزی بدن مطابق شکل 3 است.



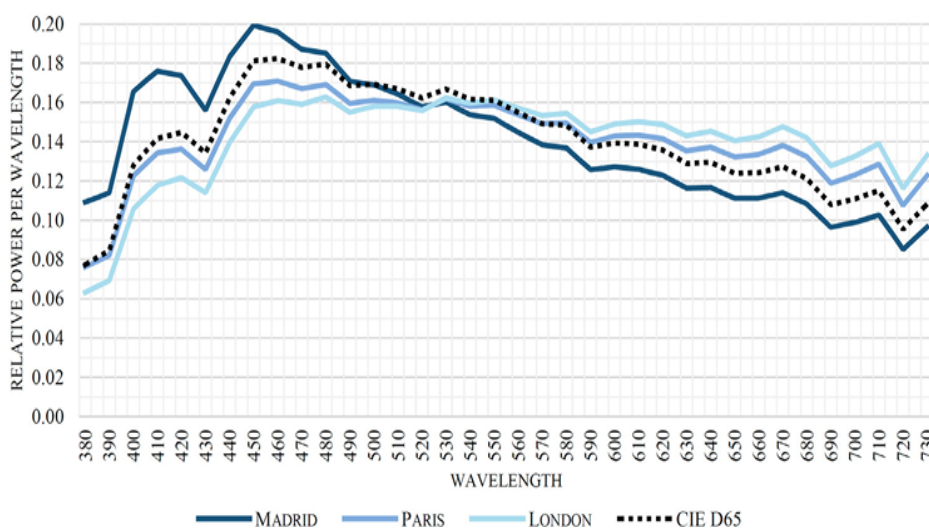
شکل 3- ساعت شبانه‌روزی: (1) بیداری، نیاز به یک راه حل روشنایی خانه با درصد ملانوپیک بالا، (2) محیط کار، نیاز به یک ترکیب روشنایی استاتیک با درصد ملانوپیک بالا، (3) عصر، نیاز به روشنایی خانه با درصد ملانوپیک کم، (4) شب، نیاز به روشنایی خانه محلول با نور کم تراز از نور مهتاب (Schledermann et al., 2023)

Fig. 3- Circadian hours: (1) awakening, need for a home lighting solution with a high melanopic percentage, (2) work environment, need for a static lighting combination with a high melanopic percentage, (3) evening, need for a home lighting with a high melanopic percentage Low, (4) night, the need to illuminate the house with low level light moonlight (Schledermann et al., 2023) from

همچنین مطالعات نشان می‌دهند که موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی هر منطقه تأثیر قابل توجهی بر میزان محرک شبانه‌روزی (Circadian Stimulus) حاصل از نور روز دارد. چرا که عرض جغرافیایی و شرایط آسمان، دو عامل مهم در میزان نور ورودی به ساختمان هستند. در پژوهشی که توسط آکوستا و همکاران در سال 2019 انجام شده است، عملکرد نور روز در سه شهر لندن، پاریس و مادرید با شرایط متفاوت آسمان مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که با حرکت از عرض‌های جغرافیایی بالاتر به سمت عرض‌های پایین‌تر و افزایش سهم روزهایی با آسمان صاف، میزان نور مؤثر بر سیستم شبانه‌روزی افزایش می‌یابد. در شهر مادرید که دارای آسمان غالباً صاف است، دستیابی به مقادیر مطلوب محرک شبانه‌روزی با سطوح روشنایی پایین‌تری نسبت به پاریس و لندن امکان‌پذیر بود، در حالی که در مناطق با آسمان ابری‌تر نظیر لندن، برای دستیابی به همان سطح از تحریک شبانه‌روزی به روشنایی بیشتری نیاز است. این موضوع در شکل 5 قابل مشاهده و بیانگر تأثیر مستقیم عرض جغرافیایی و شرایط اقلیمی بر کیفیت دریافت نور مؤثر زیستی در فضاهای داخلی است (Acostaa et al., 2019).

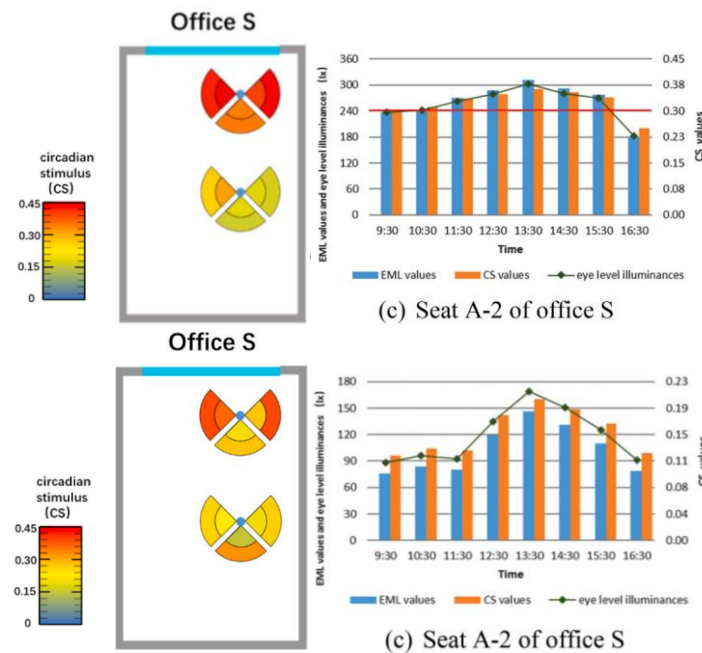
از سویی دیگر، شرایط آسمان، به تنهایی نیز تأثیرات قابل توجهی بر معیارهای اثرات غیر بصری مانند EML و CS می‌گذارد. در پژوهشی که یانی زنگ و همکاران در سال 2021 انجام داده‌اند، در اتاقی یک‌سان با پنجره رو به جنوب با دو آسمان صاف و ابری مقادیر EML و CS را به دست آورده و نتایج گویای شرایط مطلوب‌تر در آسمان صاف به دلیل دریافت نور روز بیشتر، بالاتر است (Zeng et al., 2021).

ایده‌پردازی اولیه طرح معماری و ارتباطات آن به عنوان اولین مرحله طراحی، در میزان دریافت نور و سیستم شبانه‌روزی تأثیر می‌گذارد؛ بنابراین در کنار شکل‌گیری ارتباطات طبق عوامل طراحی، توجه به عوامل آسایش بصری و غیر بصری نیز مهم است. شکل 7، ایده‌پردازی را به سه دسته کلی و زیر شاخه‌های فرعی را مشخص می‌کند تا توجه به آنها برای طراحان ملموس‌تر باشد (Lana Abubakr Ali, 2023). در این پژوهش، لانا آبا باکر علی، مطالعات حوزه تأثیر شاخصه‌های مورفولوژیکی ساختمان روی آسایش بصری را دسته‌بندی و تحلیل کرده‌اند، بنابراین توجه به این شاخص‌ها در مبحث آسایش غیر بصری نیز دارای اهمیت است.



شکل 5- توزیع توان طیفی میانگین نور روز در مکان‌های مورد مطالعه (Acostaa et al., 2019)

Fig. 5- Average spectral power distribution of the locations studied (Acostaa et al., 2019)

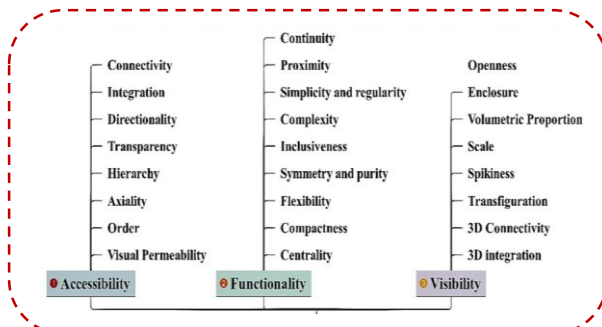


شکل 6- میانگین مقادیر CS هر جهت اندازه‌گیری شده در خط دید تحت شرایط آسمان صاف (شکل بالا) و آسمان ابری (شکل پایین) (Zeng et al., 2021)

Fig. 6- Average CS values of each direction measured in the line of sight under clear sky and electric light conditions (Zeng et al., 2021)

شمالی با عبارت پشت به آفتاب و واحد جنوبی با عبارت روبه آفتاب نام گذاری شده است. پس از انجام تجزیه و تحلیل بر تأثیر جانمایی این واحدها، نتایج به دست آمده از این مطالعه نشان می‌دهد که واحدهای با نمای شمالی - جنوبی دارای تأثیر بهتری در همگام سازی ریتم شبانه‌روزی ساکنان خود نسبت به واحدهای با نمای جنوبی یا شمالی در طی سال هستند (Raeisi, Heidari, 2023).

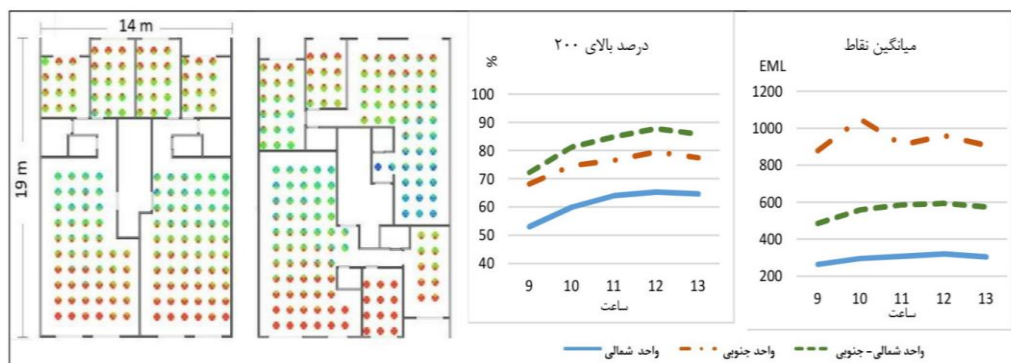
در مقیاس شهری، با تعیین موقعیت ساختمان‌ها در بافت شهری، فرم، ابعاد، زاویه چرخش و انسدادهای خارجی، سطح نور، طیف آن و الگوهای زمانی نور مشخص می‌شود. به عنوان مثال، دسترسی نور روز به ساختمان‌ها به شدت به ارتفاع و فاصله ساختمان‌ها از یکدیگر مربوط می‌شود. علاوه بر این، جهت‌گیری ساختمان نیز در کنترل ترکیب طیفی نور روز در داخل ساختمان‌ها نقش دارد. ترکیب طیفی ورود نور روز به ساختمان‌ها از نماهای شرقی در صبح با تابش نماهای غربی در غروب متفاوت است (Alkhatatbeh, Asadi, 2021).



شکل 7- فاکتورهای اولیه ایده‌پردازی (Lana, Faris, 2023)

Fig. 7- The main factors of ideation (Lana, Faris, 2023)

به طور مثال در پژوهشی که توسط زهرا ریسی و شاهین حیدری در 2023 صورت گرفته است، پس از ارزیابی نمودارهای مربوط به پلان‌های متداول آپارتمان‌های متداول تهران که در هر طبقه دو واحد را شامل می‌شود، نویسنده با یک پرسش جدید در این مطالعه مواجه شد. دو تیپ مختلف برای جانمایی این واحدها وجود دارد؛ تیپ اول شامل دو واحد با نمای دوطرفه است که با عبارت اتوبوسی (در شکل 8 با عنوان "واحد شمالی - جنوبی" نشان داده شده است. تیپ دوم شامل دو واحد با نمای یک طرفه است که واحد



شکل 8- مقایسه میزان EML در دو مدل جانمایی دو واحد در طبقه (جهت شمال به سمت بالا است) (Raeisi, Heidari, 2023)

Fig. 8- EML Comparison in two placement models of two units per floor (the north direction is upwards) (Raeisi, Heidari, 2023)

شکل 9 و 10 نمایانگر میزان تأثیر ابعاد پنجره در محرک شبانه‌روزی است.

تأثیر فاصله از پنجره یکی دیگر از عوامل مهم است که به طور گسترده در مقالات مورد بحث قرار گرفته است. بیشتر در کنار سایر متغیرها مانند جهت نگاه و جهت‌گیری پنجره ارزیابی می‌شود. افزایش فاصله از پنجره باعث کاهش کفایت نور شبانه‌روزی می‌شود (Ghaeili Ardabili et al., 2023).

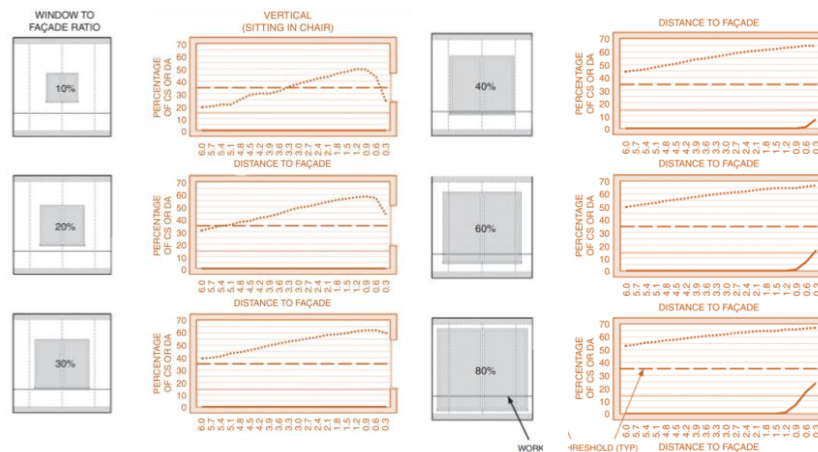
بر اساس اهمیت میزان نور ورودی، جهت جغرافیایی پنجره نیز مهم می‌شود؛ نفوذ نور شبانه‌روزی از طریق یک پنجره رو به شمال به اندازه یک پنجره رو به جنوب تحت تأثیر نوع آسمان قرار نمی‌گیرد. محققان دریافتند که برای اتاقی با یک پنجره رو به شمال نسبت به یک اتاق با یک پنجره رو به جنوب، به WWR بزرگتر برای تولید همان سطح CS مورد نیاز است (Ardabili et al., 2023).

در رابطه با عامل آخر، یعنی ارتفاع سر پنجره؛ به طور معمول، با افزایش فاصله از پنجره‌ها، سطح نور روز داخل اتاق‌ها به سرعت کاهش می‌یابد. سطح نور روز همیشه در فاصله 3 تا 4 متری از پنجره‌ها حتی در روزهای آفتابی پایین است. بسته به عمق فضا، فضاها را می‌توان دارای دو ناحیه روشن روز داشت: یک منطقه اولیه و یک منطقه ثانویه. قاعده کلی بیان می‌کند که عمق ناحیه اولیه تقریباً برابر با ارتفاع سر پنجره است، در حالی که عمق ناحیه ثانویه بین 1 تا 2 برابر ارتفاع سر پنجره گسترش می‌یابد.

سیستم پنجره نیز، شامل زاویه دید نسبت به پنجره، نسبت سطح پنجره به سطح دیوار (WWR)، فاصله از پنجره، جهت قرارگیری و ارتفاع بالای پنجره از عوامل مهم در میزان نفوذ نور به عنوان محرک سیستم شبانه‌روزی است.

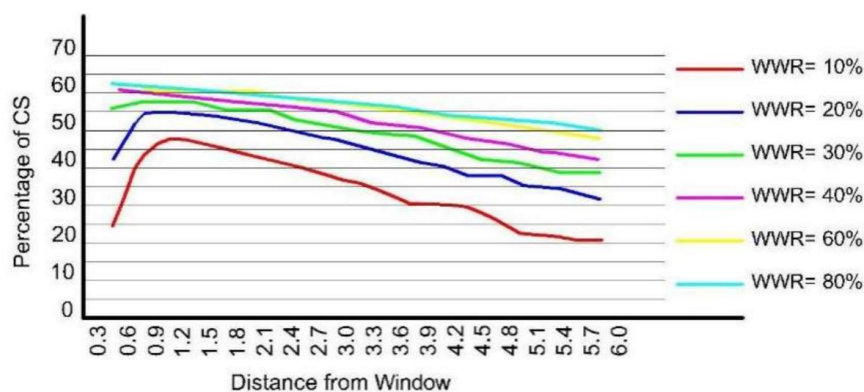
نگاه عمود بر پنجره بیشترین میزان قرار گرفتن در معرض نور شبانه‌روزی را فراهم می‌کند. نتایج نشان داد که جهت نگاه در طول تابستان بیشترین تأثیر را دارد. از سویی دیگر با افزایش فاصله از پنجره، میزان اهمیت زاویه دید نسبت به آن را کاهش می‌دهد؛ به عنوان مثال، تابش وزنی شبانه‌روزی در جهت نگاه موازی نزدیک به پنجره و جهت عمود نگاه زمانی که فاصله از پنجره 2 متر بود یکسان است (Ghaeili Ardabili et al., 2023).

در پژوهشی که آکوستا و همکاران انجام دادند، تأثیر WWR در میزان تحریک سیستم شبانه‌روزی، مستقیم است و با افزایش آن، میزان CS نیز افزایش می‌یابد. اما طبق منحنی توزیع نور، اتاق‌هایی با نسبت پنجره به نما 60 و 80 درصد مقادیر CS مشابهی را ارائه می‌دهند. بنابراین، داشتن یک پنجره به خصوص بزرگ هیچ مزیت قابل توجهی ندارد. مقادیر CS مشاهده شده در محورهای جانبی مشابه مقادیر اندازه‌گیری شده در محور مرکزی است، به جز در اتاق‌هایی با پنجره‌های کوچک (نسبت پنجره به نما 10-30%). به این معنا که پنجره‌هایی با مساحت بالاتر از 40 درصد نما، امکان توزیع یک‌نواخت CS را فراهم می‌کنند (Acosta et al., 2023).



شکل 9- میانگین مقادیر محرک شبانه‌روزی (CS) بین ساعت 8 صبح تا 12 بعد از ظهر در سطوح عمودی برای یک اتاق با بازتاب بالا محاسبه شده است. (Acosta et al., 2015)

Fig. 9- Average circadian stimulus (CS) values between 8:00 AM and 12:00 PM were calculated in vertical planes for a high reflectance room (Acosta et al., 2015)

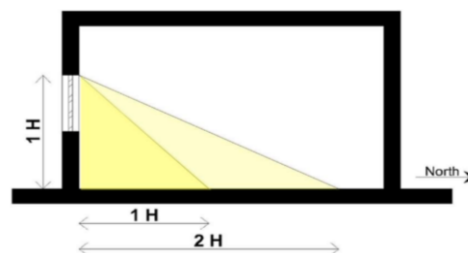


شکل 10- رابطه بین چندین WWR و مقادیر CS حاصل (Alkhatatbeh, Asadi, 2021)

Fig. 10- Relationship between multiple WWRs and CS values (Alkhatatbeh, Asadi, 2021)

در داخل فضاها و تغییر طیف آن نقش دارد. مواد لعاب باید حداقل اثر اعوجاج در طیف نور روز داشته باشد؛ با این حال، اهمیت سایر الزامات طراحی، مانند کنترل تابش و گرمای خور شید قابل اهمیت است. طبق نتایج به دست آمده لعاب با درصد شفافیت بالا در درجه اول انتخاب می‌شود؛ در رابطه با رنگ لعاب، استفاده از لعاب با رنگ‌های خنثی به عنوان اولین انتخاب و لعاب آبی رنگ بهترین جایگزین برای لعاب خنثی از نظر پتانسیل غیر بصری، می‌توان برای جلوگیری از گرمای بیش از حد در ساختمان‌ها استفاده شود (Alkhatatbeh, Asadi, 2021).

طبق این قاعده میزان نور شبانه‌روزی در ناحیه اول مناسب است، البته باید به میزان خیره‌گی آن در ناحیه اول نیز توجه کرد (Alkhatatbeh, Asadi, 2021). عوامل دیگری مانند ارتفاع سقف، ارتفاع لبه پایینی پنجره و... وجود دارند که تأثیر آنها در میزان نفوذ نور را می‌توان جزء عوامل پنجره دانست. با این وجود جز کاستی‌های موجود در مطالعات پیشین است و در مطالعات آینده باید به آن توجه شود. معماران معمولاً نوع لعاب پنجره را در مرحله طراحی انتخاب می‌کنند و به ندرت در طول عمر ساختمان‌ها تغییر می‌کنند؛ بنابراین، انتخاب نوع صحیح لعاب ضروری است. عبور لعاب در بازتاب‌های درونی نور روز



شکل 11- قاعده کلی ارتفاع سر پنجره تا عمق نفوذ نور
(Alkhatatbeh, Asadi, 2021)

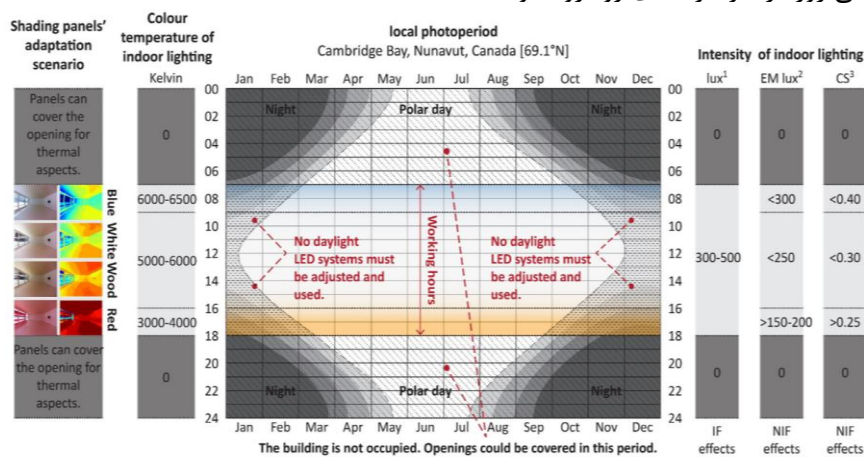
Fig. 11- The general rule is the height of the window to the depth of light penetration (Alkhatatbeh, Asadi, 2021)

دارد؛ در حالی که جهت عمودی آنها تأثیر ناچیزی در محرک‌ها بخصوص در نزدیکی پنجره دارد. کاهش باز بودن بین پانل‌های افقی و عمودی تأثیرات بر ویژگی‌های نور روز در فضا را افزایش می‌دهد و خطر تابش خیره کننده در صحنه را کاهش می‌دهد (Parsaee et al., 2020).

تأثیر روشنایی شبانه‌روزی به طور مستقیم با ویژگی‌های SPD نور تابشی در ناحیه قرینه مرتبط است، و روشنایی در صفحه کار افقی دخالتی در این موضوع ندارد. از آنجایی که روشنایی‌های فتوپیک و ملانوپیک با فاکتور MAF یعنی نورپردازی داخلی مرتبط هستند، ممکن است با تغییر سطوح روشنایی فتوپیک و SPD سهم نور روز بر اساس ماه و جهت نما در حالی که قابلیت تنظیم نور در نظر گرفته شود، بهبود یابد (Ezpeleta et al., 2021). روشنایی که به قرینه می‌رسد به دو بخش مستقیم و غیر مستقیم تقسیم می‌شود. روشنایی مستقیم حاصل از نوری است که از منبع نور و بدون فاصله به قرینه می‌رسد و روشنایی غیر مستقیم حاصل بازتاب درون محیط است. این نسبت ترجیحی نور مستقیم به غیر مستقیم برای شبانه‌روزی بصری و غیر بصری یکسان نیست. اثرات بهره‌وری انرژی و بصری مستلزم درصد بالاتری از نور مستقیم است. در حالی که در صدمه بیشتری از نور غیر مستقیم برای جلوه‌های غیر بصری و اجتناب از تابش خیره کننده ترجیح داده می‌شود (Alkhatatbeh, Asadi, 2021).

بررسی سیستم‌های سایه‌انداز در قالب رنگ، بازتاب، زاویه چرخش و میزان بازبودگی بررسی می‌شود. رنگ پانل‌ها تأثیر قابل توجهی بر واحدهای فتوپیک و ملانوپیک دارد. رنگ‌های مایل به آبی، واحدهای ملانوپیک را افزایش و دمای موجود در فضا را سردتر نشان داده که به طور بالقوه می‌تواند پاسخ‌های NIF را تحریک کند. پانل‌های رنگ قرمز افزایش واحدهای فتوپیک و تولید دمای روشنایی گرمتر که به طور بالقوه می‌تواند بر پاسخ‌های IF تأثیر می‌گذارد. همچنین میزان بازتاب صفحه پانل‌ها بر رنگ نور داخل فضا تأثیر گذاشته و هرچه مات‌تر باشد، ویژگی‌های NIF نور، در تمام نقاط داخل فضا را تقویت می‌کند (Parsaee et al., 2020).

جهت افقی پانل‌ها تأثیر قابل توجه بیشتری بر پارامترهای روشنایی روز در سراسر فضای روبه‌رو جنوب



شکل 12- انطباق سایبان با سناریوی روشنایی در یک ساختمان اداری در خلیج کمبریج، نوناووت، کانادا (Parsaee et al., 2020)

Fig. 12- Shading Adaptation to Lighting Scenarios in an Office Building in Cambridge Bay, Nunavut, Canada (Parsaee et al., 2020)

داخلی، سطوح و مبلمان، یک تصمیم مهم طراحی است در جهت افزایش بازتاب سطح و در نتیجه افزایش بازتاب‌های درونی و CS. رنگ آمیزی دیوارها با رنگ‌های خنثی، مانند سفید و خاکستری، روشی آسان و ارزان برای افزایش محرک شبانه‌روزی است. از سوی دیگر، رنگ آمیزی دیوارها با رنگ‌های گرم (مثلاً قرمز، زرد و نارنجی) به صورت منفی بر محرک شبانه‌روزی تأثیر می‌گذارد (Alkhatatbeh, Asadi, 2021).

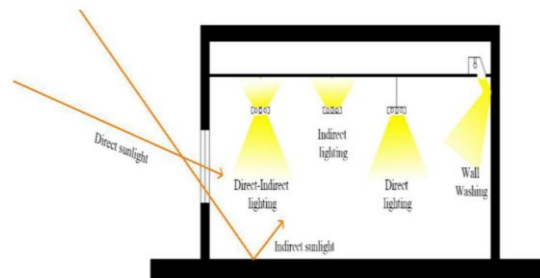
2-6- خلاصه مروری مطالعات

به‌منظور شناسایی روندهای پژوهشی و استخراج مهم‌ترین عوامل مؤثر بر آسایش غیر بصری نور روز، مطالعات منتخب به‌صورت نظام‌مند مورد بررسی قرار گرفته‌اند. اطلاعات مربوط به هر پژوهش شامل نشریه چاپ‌کننده و سال چاپ، متغیرهای مستقل و وابسته مورد بررسی، کاربری و عرض جغرافیایی، ابزار اندازه‌گیری، هدف و نتایج اصلی استخراج و دسته‌بندی شد. جدول 2 و 3، خلاصه‌ای از ویژگی‌ها و یافته‌های مطالعات منتخب را ارائه می‌کند و امکان مقایسه رویکردهای مختلف پژوهشی در این حوزه را فراهم می‌سازد.

جدول 2- (خلاصه مروری مقالات - رویکرد تک جانبه آسایش غیر - بصری)

Tab. 2- A review summary of articles - a unidirectional approach to non-visual aspect of light

منبع	عرض جغرافیایی	کاربری	روش ارزیابی	متغیر مستقل	متغیر وابسته	نتیجه پژوهش
Bellia, Fragliasso, (2021)	-	-	مرور سیستم تیک	موقعیت و جهت ساختمان پنجره	CNVE	مروری بر درک مکانیسم تعامل بین نور و معماری برای طراحی فضاهای غیربصری
				بازتاب و عرض جغرافیایی	CS	
				شفافیت لعاب رنگ سطوح	CLA melanopic illuminance photopic illuminance EML-CS-meEDI-M/P- Ev-melatonin suppression index- CF	
Ghaeili Ardabili et al., 2023	13.3° 64.5°	-	مرور سیستم تیک	WWT-زاویه دید جهت و فاصله از پنجره - Tvis سیستم سایه‌انداز		مروری بر تحقیقات در حوزه اهمیت تأثیر پارامترهای پنجره بر سلامت شبانه‌روزی
Schledermann et al., (2023)	دانمارک 55.6°	بیمارستان	اسپکترو فومتر	سن - جنسیت - سابقه کار - سیستم نورپردازی	meEDI	بهبود ریتم شبانه‌روزی بیماران و کارکنان درمان
Acosta et al., 2015	لندن 50°	بیمارستان	DAY SIM	پنجره - لعاب پنجره - عرض جغرافیایی	CS DA	بررسی درصد روزهایی که بیماران حداقل سطح تحریک شبانه‌روزی را



شکل 13- طرح های روشنایی مختلف برای محیط های داخلی، توسط نور طبیعی و نور مصنوعی (Alkhatatbeh, Asadi, 2021)

Fig. 13- Various lighting designs for indoor environments by natural light and artificial lighting (Alkhatatbeh, Asadi, 2021)

تصمیمات طراحی داخلی نیز، ویژگی‌های نور روز و مصنوعی را تغییر می‌دهد. رنگ سطوح داخلی یک فاکتور ضروری است که باید در نظر گرفته شود. همچنین قرار دادن مبلمان جهت دید را کنترل می‌کند؛ به‌طور مثال، کاربران فضا که به نوبه خود کمیت و کیفیت نور شبانه‌روزی را تعیین می‌کند، فردی که روبه روی یک پنجره است نور شبانه‌روزی بیشتری نسبت به فردی که رو به دیوار است دریافت می‌کند. بنابراین، انتخاب مقادیر بازتاب مناسب، حداقل برای فضاهای

منبع	عرض جغرافیایی	کاربری	روش ارزیابی	متغیر مستقل	متغیر وابسته	نتیجه پژوهش
	مادرید 40°		Radiance			به عنوان تابعی از نسبت های مختلف پنجره، بازتاب سطح و عرض های جغرافیایی دریافت می کنند
Acostaa) et al., (2019	لندن 50° مادرید 40° پاریس 48.8°	کلاس درس	DAY SIM	پنجره - آسمان ای مختلف - عرض جغرافیایی	CS CSA CLA DA	مقایسه تأثیر پارامترهای طراحی معماری بر ترویج ریتم شبانه روزی خوب برای دانشجویان
Potočnik ,) Košir, (2019	اسلونیای 46°	اداری	ALFA	رنگ دیوارها - سطح بازتاب دیوارها - لعاب های مختلف	CS EML Comfortable vertical corneal illuminance Ecyan Emel Erhod Echlor Eeryth	کیفیت و کمیت نور روز در محیط های داخلی در مقایسه با ویژگی های پوشش ساختمان
Bellia et) (al., 2015	نپال 40.8°	اداری	اسپکترو فومتر	رنگ دیوارها - CCT	CAF lux	تأثیر استفاده از رنگ های مختلف دیوار و صحنه های نور بر کیفیت نورپردازی داخلی
Kim et) (al., 2017	-	-	-	CCT- رنگ دیوارها - SPD	CAF lux	طراحی روشنایی مناسب داخلی، پیش بینی رنگ نهایی یک فضا که توسط ناظر درک می شود و اثرات آن
Dai et al.,) (2018	-	اتاق تست	Rhino ceros - Radiance	-	-	روش های نوآورانه روشنایی شبانه روزی و مقایسه بهبود کارایی با نورپردازی سنتی
Marín-) Doñágueda et al., (2021	-	-	اسپکترو فومتر	دورنگ تک رنگ و دو دیود نورپردازی سفید	CRI CAF CER U V	توسعه یک سیستم روشنایی هوشمند مبتنی بر بهینه سازی چندهدفه که بتواند با بهره گیری از افکت های شبانه روزی زیاد و کم، عملکرد خوبی را هم در جنبه های بصری و هم در جلوه های غیربصری به دست آورد.
Wessolow) ski et al., (2014	هامبورگ 53°	مدرسه - 110 دانش آموز و 11 معلم	ثبت دیجیتال مشاهدات رفتاری - پرسشنامه	هفت برنامه نورپردازی VL	Move-it (FIDGETINESS)) مقیاس های رتبه بندی کانرز - سیستم مشاهده رفتار پرخاشگرانه	بررسی تأثیر نور متغیر بر بی خوابی دانش آموزان رفتارهای پرخاشگرانه و اجتماعی آنها
Zeng et) (al., 2021	چین 29°	4 فضای کار	اسپکترو فومتر	زمان - جهت اتاق - شرایط آسمان - عمق فضا - جهت دید - سیستم نورپردازی	EML CS	علاوه بر جلوه های بصری، توجه به تأثیرات جلوه غیر بصری نور، به عنوان مثال، روی خلق و خو، هوشیاری و عملکرد مورد بررسی قرار می گیرد.
AGUILA) R- CARRAS CO et al., (2021	اسپانیا 37°	آزمایشگاه	DIAL ux	ابعاد پنجره - فاصله از نما - شرایط آسمان - CCT - SPD	CS	ارزیابی اثر یکپارچه روشنایی طبیعی و الکتریکی

منبع	عرض جغرافیایی	کاربری	روش ارزیابی	متغیر مستقل	متغیر وابسته	نتیجه پژوهش
Konis,) (2017	سانفرانسیسکو 37°	کلاس درس	Honey bee	WWR زاویه دید فاصله از پنجره	EML	چارچوب‌های نوظهور برای ارزیابی اثرات غیربصری نور از طریق توسعه یک متریک جدید مبتنی بر نور روز باتوجه به اهداف شبانه‌روزی انسان
Konis,) (2018	کالیفرنیا 34°	9 واحد در مرکز زوال عقل	طیف‌سنج و دوربین HDR	زاویه دید فاصله از پنجره	EML M/P	ارزیابی اثربخشی شبانه‌روزی فضای روشن روز
Bianchi et) (al., 2024	ایالت متحده آمریکا 37°	-	ی آنالین - عکس و فیلم همدسته	مصالح طبیعی - پنجره	احساس تعلق، استرس، خلاقیت، محیط‌زیست	بررسی نقش مصالح، پنجره‌ها و نشانه‌های تنوع را در چهار عامل رفاه ساکنان ساختمان: احساس تعلق، استرس، خلاقیت، و توجه به محیط‌زیست
Pradhan) et al., (2024	ایالت داکوتای شمالی 47°	کلاس درس	مچ‌بندها ی حسگر زیستی	عملکرد یادگیری	درجه حرارت محدوده نورپردازی پاسخ‌های فیزیولوژیکی	عواملی مانند احساس، راحتی و پاسخ‌های فیزیولوژیکی، تأثیر دما و نور داخل ساختمان بر عملکرد یادگیری دانش‌آموزان مؤثر است.
Llorens-) Ga'mez et (al., 2022	-	-	-	فرم و هندسه، توزیع فضا - رنگ و بافت - ارتفاع، عرض - نور، صدا و دما	حافظه - توجه	بررسی تأثیر محیط‌های ساخته شده بر فرایندهای شناختی حافظه و توجه
Bower et) (al., 2019	-	-	-	-	nervous system (ANS) -central nervous system (CNS)	بررسی تأثیر طراحی فضاهای داخلی را بر عواطف انسانی
Raeisi ,) Heidari, (2023	تهران 35°	مسکونی	Luxmeter Alfa	جهت جغرافیایی - عمق فضا و تقسیم‌بندی فضایی - پلان‌های مسکونی متداول تهران	EML	بررسی تأثیرات طراحی پلان‌های مسکونی روی ریتم شبانه‌روزی تحت تأثیر نور طبیعی در فضاهای مسکونی متداول در دهه‌های اخیر در تهران و توصیه‌هایی در زمینه طراحی معماری ساختمان‌های مسکونی

جدول 3- (خلاصه مروری مقالات - رویکرد یکپارچه آسایش بصری و غیر - بصری)

Tab. 3- A review of articles - an integrated approach to visual and non-visual aspect of light

منبع	عرض جغرافیایی	کاربری	روش ارزیابی	متغیر مستقل	متغیر وابسته	نتیجه پژوهش
Heida) ri et al., (2025	-	اداری	مرور سیستماتیک	-	-	عوامل محیطی، مانند موانع مجاور، شرایط آسمان و موقعیت جغرافیایی، شدت نور روز و ویژگی‌های طیفی را به طور قابل توجهی تغییر می‌دهند و اغلب بر ملاحظات هندسی داخلی مانند اندازه پنجره و ابعاد اتاق تأثیر می‌گذارند. با این حال، اندازه، جهت و محل پنجره‌ها و همچنین عمق

منبع	عرض جغرافیایی	کاربری	روش ارزیابی	متغیر مستقل	متغیر وابسته	نتیجه پژوهش
Alkha) tatbeh , Asadi, (2021	-	-	مرور سیستماتیک	عمق اتاق	circadian potential	اتاق می تواند به طور قابل توجهی بر روشنایی فوتوپیک و ملانوپیک تأثیر بگذارد
				رنگ سطوح	CS	
				بازتاب سطوح	CS	
				wwr	CS	
				جهت پنجره	CS	
				ارتفاع سر پنجره	عمق نفوذ نور	
				رنگ لعاب	CS	
				شفافیت لعاب	مزایای غیر - بصری	
				نوع لعاب	melanopic illuminanc photopic illuminance	
				نوع سایه انداز	کمترین انسداد	
				رنگ سایه انداز	Melanopic illuminanc	
				شفافیت سایه انداز	Melanopic illuminanc melanopic illuminanc photopic illuminance	
				جهت سایه انداز	مزایای غیر - بصری	
				بازبودن سایه انداز	CS	
Luo) et al., (2023	هلند 52°	-	اسپکترو فومتر	CCT	P value Visual comfort	آسایش بصری بر حرارتی تأثیری ندارد. کنترل شخصی CCT از ارزشهای بصری و علائم مرتبط با چشم سود می برد، گاهی اوقات هوشیاری را بهبود می بخشد، اما بسته به نوع کار بر عملکرد شناختی تأثیر متفاوتی می گذارد. بررسی تأثیر رنگ دیوارها بر ریتم شبانه روزی ناشی از نور و نیازهای انرژی برای دستیابی به تحریک شبانه روزی کافی با نور الکتریکی نور روز ابزاری کلیدی برای رفاه مردم هستند، اما هیچ توصیه مشخص وجود ندارد که به جنبه های بصری و غیر - بصری در کاربری آموزشی توجه کند.
				ابعاد و جهت پنجره - بازتاب سطوح - عرض جغرافیایی CCT	-Visual Non-visual comfort-Energy consumption	
				جهت پنجره - نورپردازی داخلی - SPD	Lux Mlux EML EDI	
				مشخصات کاربر	بهره وری انرژی - راحتی بصری کاربر -	
Bellia) et al., (2024	-	اتاقی تست	-			تجزیه و تحلیل وضعیت فعلی سیستم های کنترل روشنایی کاربر محور در تنظیمات اداری
Ezpel) eta et al., (2021	اسپانیا 37°	4 کلاس درس	-			
Ham) mes et al., (2024	-	-	-			

منبع	عرض جغرافیایی	کاربری	روش ارزیابی	متغیر مستقل	متغیر وابسته	نتیجه پژوهش
House) r et al., (2020	-	-	-	ویژگی‌های نورپردازی مصنوعی	ریتم شبانه‌روزی - کیفیت خواب - mEDI - آسایش حرارتی	مزایای انسانی مرتبط با نور نشان می‌دهد که نور انسان‌محور، علی‌رغم آلوده شدن به ادعاهای بازاریابی گمراه‌کننده، انگیزه‌های درستی دارد.
Parsa) ee et al., (2020	کانادا 46°	اتاقی تست	-	پارامترهای سیستم سایه‌انداز	M/P CCT EML CS	تأثیر سایه‌بان بر ویژگی‌های نور روز از نظر پارامترهایی که نشان‌دهنده پاسخ‌های بیولوژیکی چشم انسان شناسایی شده‌اند.
Xu et al., (2025	چین 29°	6 کلاس درس	Honeybee Ladybug-Lark پرسش‌نامه	ارتفاع طبقات عمق کلاس‌ها عمق راهروها WFR	Visual: Eh- DF DA-sDA ASE UDI Non-visual: Ev - mel-EDI - EML CF	بررسی همبستگی مکانیسم بین عملکرد نور روز و سلامت ادراک نوجوانان
Kolbe) rga et al., (2022	نروژ 60°	15 خانه سالمندان	اسپکتروفوتومتر	فصل زاویه دید مخاطب	mel-EDI	بررسی سیستم نورپردازی در خانه‌های سالمندان - نیاز به بهبود نورپردازی داخلی وجود دارد به خصوص در فصل زمستان (+ راهکارهای بهبود)

3- نتایج و بحث

پس از بررسی پارامترهای تأثیرگذار بر ریتم شبانه‌روزی بدن انسان در مطالعات پیشین، در این بخش به تحلیل داده‌ها با توجه به جداول بخش 2-6 پرداخته می‌شود. تشخیص درصد فراوانی پارامترهای تأثیرگذار، شاخص‌های اندازه‌گیری ریتم شبانه‌روزی، عرض‌های جغرافیایی مطالعه شده، کاربری‌ها و ابزارهای اندازه‌گیری، می‌تواند به شناخت نقاط پررنگ و کم‌رنگ برای پیشبرد پژوهش و مطالعات آینده کمک کند.

3-1- متغیرهای مستقل: در این مبحث که به تفصیل در بخش 2 به آن اشاره شد، عوامل معماری مؤثر بر ریتم شبانه‌روزی در قالب جدول 4 آمده است. درصد فراوانی هر متغیر نیز در شکل 15 مشخص شده است؛ این تحلیل نشان می‌دهد بیشترین مطالعات از سال 2014 تا کنون بر روی ویژگی‌های پنجره و سیستم‌های

سایه‌انداز است، این قضیه علاوه بر فراوانی کار در این دو مبحث، میزان اهمیت آنها را نیز نشان می‌دهد. همچنین کمترین میزان پژوهش بر روی سیستم نورپردازی مصنوعی است که می‌تواند موضوع کار مطالعات آینده قرار گیرد.

3-2- شاخص ریتم شبانه‌روزی: شاخص‌های ریتم شبانه‌روزی، بر اساس میزان سرکوب ملاتونین و ورود نور طیف آبی به چشم انسان، تعیین می‌شوند؛ شناخت شاخص‌های اندازه‌گیری در مبحث بصری و غیر بصری می‌تواند در مسیر پیشبرد پژوهش مؤثر باشد و شاخص مناسب برای ارزیابی آسایش بصری و غیر بصری انتخاب گردد. طبق ارزیابی پژوهش‌های پیشین، بیشترین شاخص‌های پویا تکرار شده در حوزه بصری، sDA و ASE و DGP است. همچنین در حوزه غیر - بصری، CS، EML و mel-EDI به ترتیب بیشترین درصد فراوانی را دارند.

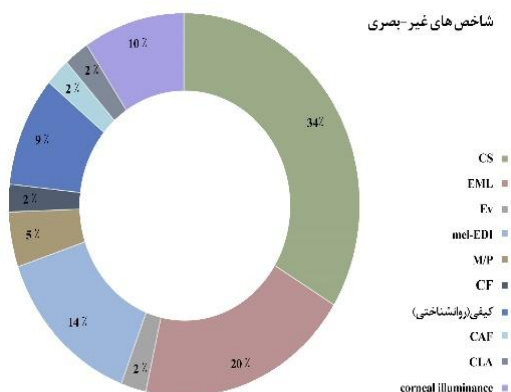
جدول 4- (پارامترهای مؤثر طراحی بر ریتم شبانه‌روزی بدن انسان)

Tab. 4- Effective design parameters on the circadian rhythm of the human body

پارامترهای تأثیرگذار (متغیرهای مستقل) در مطالعات پیشین

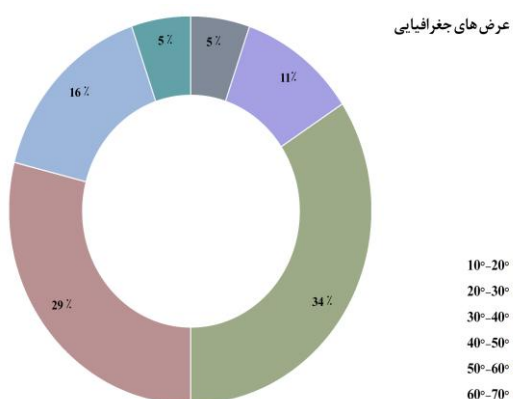
بر ریتم شبانه‌روزی انسان	
عوامل انسانی	سن - جنس - فعالیت - جهت دید
عوامل محیطی	عرض جغرافیایی - شرایط آب‌وهوا - ساعت روز
دید	ایده‌پردازی طراحی: دسترسی‌ها - کاربری‌ها - میدان
جهت‌گیری	ساختمان: گونه‌بندی - موقعیت - شکل و فرم - پنجره: WWR - فاصله از پنجره - جهت پنجره - ارتفاع سر پنجره - عمق اتاق
عوامل معماری	لعب پنجره: گونه‌بندی - رنگ - میزان شفافیت سیستم سایه‌انداز: گونه‌بندی - بازتاب - میزان باز و بستگی - رنگ - جهت صفحات داخلی: چیدمان - رنگ - بازتاب سیستم نورپردازی مصنوعی: CCT - SPD - گونه‌بندی - برنامه زمان‌بندی - جهت مستقیم و غیرمستقیم
	میلان: زاویه دید - بازتاب - رنگ - موقعیت

در محدوده عرض جغرافیایی پژوهش پیش رو باشد. شکل 17، در صد فراوانی عرض‌های جغرافیایی در مرور مطالعات پیشین را نشان می‌دهد.



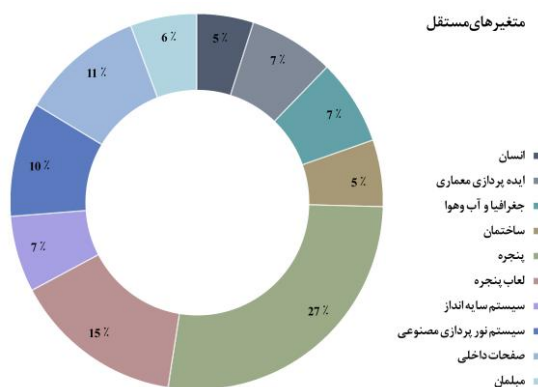
شکل 16- فراوانی شاخص‌های اندازه‌گیری در مرور مطالعات

Fig. 16- Frequency of measurement indicators in reviewing studies



شکل 17- درصد فراوانی عرض‌های جغرافیایی در مرور مطالعات

Fig. 17- Frequency percentage of latitudes in the review of studies



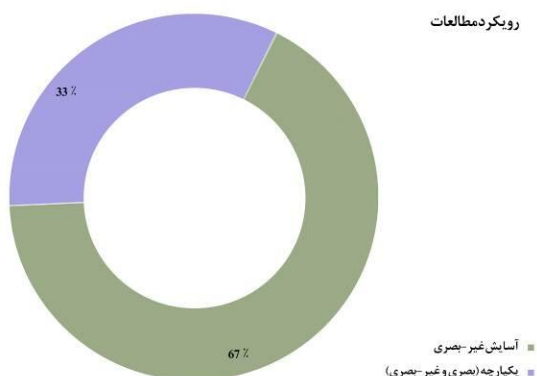
شکل 15- درصد فراوانی متغیرهای مستقل در مرور مطالعات

Fig. 15- Frequency percentage of influential parameters in reviewing studies

3-4- کاربری: از آنجایی که تأثیر ریتم شبانه‌روزی بر محرک‌های هشیاری است، توجه به ریتم دقیق آن در محیط‌هایی که بازدهی مغز و افزایش رانندگی آن مهم است، بیشتر از سایر محیط‌هاست. محیط‌هایی مانند مدرسه و محیط کار بیشترین درصد مطالعات را طبق نیاز داشته‌اند. شکل 18 در صد فراوانی این کاربری‌ها را در این مرور مطالعات نشان می‌دهد.

3-3- عرض جغرافیایی: مطالعات انجام شده بیشتر در محدوده مستعد دریافت نور خورشید انجام می‌شود، در ابتدای هر پژوهش توجه به مطالعات پیشین اهمیت دارد، اما باید توجه نمود که مطالعات مربوط به روشنایی، به عرض جغرافیایی وابستگی مستقیم و زیادی دارد؛ بنابراین پژوهش‌هایی بررسی می‌شود که

بصری می پردازند و این موضوع جز کمبود مطالعات بوده. بنابراین باتوجه به اهمیت این موضوع مبحث رویکرد یکپارچه در آسایش بصری و غیر-بصری در مطالعات آینده الزامی است.

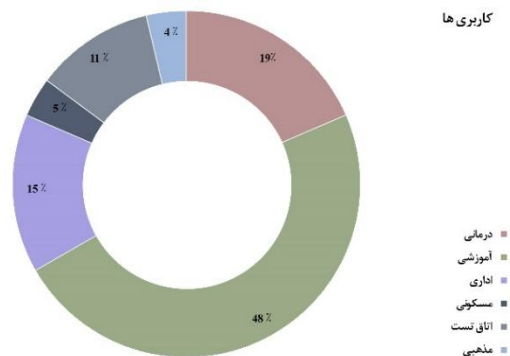


شکل 20- درصد فراوانی رویکرد مطالعات بررسی شده
Fig. 20- Frequency percentage of the approach in the reviewed studies

۴- نتیجه گیری

هدف این پژوهش، شناسایی و طبقه‌بندی نظام‌مند پارامترهای معماری مؤثر بر آسایش غیر بصری ناشی از نور روز و بررسی شاخص‌های ارزیابی مورد استفاده در مطالعات پیشین بود. نتایج مرور سیستماتیک بر اساس دستورالعمل PRISMA نشان داد که در میان عوامل مؤثر بر سلامت شبانه‌روزی، پارامترهای مرتبط با پنجره‌ها (31%)، سیستم‌های سایه‌انداز (14%) و صفحات داخلی (13%) بیشترین سهم را در مطالعات پیشین داشته‌اند. این یافته بیانگر آن است که نحوه دریافت، کنترل و توزیع نور روز در فضاهای داخلی نقش تعیین‌کننده‌ای در عملکرد شبانه‌روزی کاربران ایفا می‌کند. همچنین در میان شاخص‌های ارزیابی، معیارهای (CS) Circadian Stimulus، Equivalent Melanopic Lux (EML) و Melanopic Equivalent Illuminance (m-EDI) Daylight بیشترین کاربرد را داشته‌اند که نشان‌دهنده جایگاه این شاخص‌ها در سنجش اثرات غیر بصری نور است.

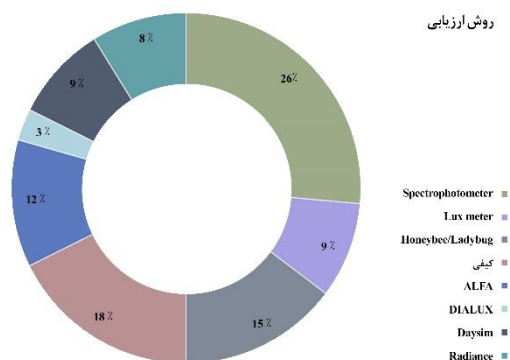
بررسی مطالعات منتخب نشان داد که بیشترین پژوهش‌ها در عرض‌های جغرافیایی 30 تا 40 درجه و عمدتاً در کاربری‌های آموزشی و اداری انجام شده‌اند. این



شکل 18- درصد فراوانی کاربری‌های مختلف در مرور مطالعات (شکل راست)

Fig. 18- Frequency percentage of different users in the review of studies

3-5- روش ارزیابی: به طور کلی بررسی و ارزیابی آسایش بصری و غیربصری در سه دسته کلی شبیه‌سازی به‌وسیله نرم‌افزار، آزمایش میدانی به‌وسیله ابزار سنجش و ارائه پرسش‌نامه (کیفی) است. طبق شکل 19، درصد مطالعاتی که در کنار شبیه‌سازی به‌وسیله پرسش‌نامه نیز صحت کار را سنجیده‌اند 18% است و این امر نشان‌دهنده اهمیت بررسی کیفی مسئله ریتم شبانه‌روزی در کنار بررسی کمی است.



شکل 19- درصد فراوانی روش‌های ارزیابی مختلف در مرور مطالعات (شکل چپ)

Fig. 19- Frequency percentage of different analysis tools in reviewing studies

3-6- رویکرد مقاله: باتوجه به مطالعات انجام شده، توجه هم‌زمان به آسایش بصری و غیر بصری و نگاهی یکپارچه در طراحی روشنایی، تنها در 33% مقالات دیده می‌شود و 67% دیگر مطالعات تنها به آسایش غیر

استانداردها و چارچوب‌های اجرایی جامعی برای پیاده‌سازی این رویکرد در طراحی معماری و روشنایی تدوین نشده است.

از محدودیت‌های این پژوهش می‌توان به محدود شدن جستجو به پایگاه‌های اطلاعاتی منتخب و همچنین ناهمگونی شاخص‌ها و روش‌های ارزیابی مورد استفاده در پژوهش‌های مختلف اشاره کرد. بر این اساس، پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده بر توسعه چارچوب‌های طراحی یکپارچه روشنایی، بررسی هم‌زمان آسایش بصری و غیر بصری، مطالعه کاربری‌های کمتر بررسی‌شده و ارزیابی تأثیر شرایط اقلیمی و عرض‌های جغرافیایی مختلف بر عملکرد شبانه‌روزی ساختمان‌ها متمرکز شوند. همچنین تدوین دستورالعمل‌ها و استانداردهای کاربردی برای طراحی روشنایی انسان‌محور می‌تواند به انتقال یافته‌های پژوهشی به فرایند حرفه‌ای طراحی و ارتقای کیفیت محیط‌های معماری کمک کند.

References

Raeisi, Z., Heidari, S. (2023). Circadian Effects of Daylight on the Typical Residential Architecture of Tehran Journal of Fine Arts [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/jfaup.2023.360120.672880>

Acosta, I., et al. (2015). Analysis of circadian stimulus allowed by daylighting in hospital rooms. *Lighting Res. Technol.* <https://doi.org/10.1177/1477153515592948>

Acosta, I., et al. (2019). Daylighting design for healthy environments: Analysis of educational spaces for optimal circadian stimulus. *solar energy*. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.10.004>

AGUILAR-CARRASCO, M. T., et al. (2021). Indoor lighting design for healthier workplaces: natural and electric light assessment for suitable circadian stimulus. *optic express*. <https://doi.org/10.1364/OE.430747>

Alkhatatbeh, B., Asadi, S. (2021). REVIEW Role of Architectural Design in Creating Circadian-Effective Interior Settings. *Energies*. <https://doi.org/10.3390/en14206731>

موضوع حاکی از آن است که پژوهشگران تاکنون بیشتر بر فضاهایی تمرکز داشته‌اند که کاربران ساعات طولانی از روز را در آن سپری می‌کنند و کیفیت نور دریافتی می‌تواند بر سلامت، هوشیاری، عملکرد شناختی و ریتم شبانه‌روزی آنان تأثیرگذار باشد. در مقابل، برخی کاربری‌ها نظیر فضاهای مسکونی، درمانی و مراقبتی کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند و همچنان نیازمند مطالعات تکمیلی هستند.

یکی از مهم‌ترین یافته‌های این پژوهش، عدم توازن میان مطالعات آسایش غیر بصری و مطالعات یکپارچه روشنایی است. نتایج نشان داد که 67% مطالعات صرفاً به ارزیابی آثار غیر بصری نور پرداخته‌اند، در حالی که تنها 33% از پژوهش‌ها آسایش بصری و غیر بصری را به‌صورت هم‌زمان بررسی کرده‌اند. این موضوع نشان می‌دهد که اگرچه اهمیت سلامت شبانه‌روزی در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است، اما رویکردهای یکپارچه طراحی روشنایی هنوز جایگاه پررنگی در پژوهش‌ها و فرآیند طراحی نیافته‌اند. از آنجا که تصمیمات طراحی معماری به‌طور هم‌زمان بر کیفیت بصری فضا، مصرف انرژی و سلامت شبانه‌روزی کاربران تأثیر می‌گذارند، توجه مجزا به هر یک از این ابعاد نمی‌تواند پاسخگوی نیازهای واقعی کاربران باشد.

در این راستا، رویکرد طراحی روشنایی انسان‌محور (Human-Centric Lighting: HCL) می‌تواند چارچوبی مناسب برای توسعه مطالعات و کاربردهای آینده فراهم آورد. در این رویکرد، انسان و نیازهای بصری و غیر بصری او در مرکز فرآیند طراحی قرار می‌گیرد و علاوه بر تأمین شرایط مناسب برای بینایی، آثار زیستی و شبانه‌روزی نور نیز مورد توجه قرار می‌گیرد. از این منظر، کیفیت روشنایی تنها بر اساس روشنایی فوتوپیک ارزیابی نمی‌شود، بلکه شاخص‌هایی نظیر روشنایی ملانوپیک، محرک شبانه‌روزی و دمای رنگ نور نیز در طراحی و ارزیابی فضاها نقش دارند. رویکرد HCL با ایجاد تعادل میان آسایش بصری، سلامت شبانه‌روزی و رفاه کاربران، می‌تواند زمینه طراحی محیط‌های داخلی سالم‌تر و کارآمدتر را فراهم سازد (Alkhatatbeh, Asadi, 2021). با این حال، برخلاف رشد مطالعات مرتبط، هنوز



circadian health. buildings and environment. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113538>

Houser, K., et al. (2020). Human-centric lighting: Myth, magic or metaphor? *Lighting Res. Technol.* <https://doi.org/10.1177/1477153520958448>

Kim, I. T., et al. (2017). Development of a Colour Quality Assessment Tool for indoor luminous environments affecting the circadian rhythm of occupants. *Building and Environment.* <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.10.009>

Kolberga, E., et al. (2022). Insufficient melanopic equivalent daylight illuminance in nursing home dementia units across seasons and gaze directions. *Lighting Res. Technol.* <https://doi.org/10.1177/1477153521994539>

Konis, K. (2017). A novel circadian daylight metric for building design and evaluation. *Building and Environment.* <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.025>

Konis, K. (2018). Field evaluation of the circadian stimulus potential of daylit and non-daylit spaces in dementia care facilities. *Building and Environment.* <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.03.007>

Lana, A., Faris, A. (2023). The state-of-the-art knowledge, techniques, and simulation programs for quantifying human visual comfort in mosque buildings: A systematic review. *Ain Shams Engineering Journal.* <https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102128>

Llorens-Ga´mez, M., et al. (2022). The impact of the design of learning spaces on attention and memory from a neuroarchitectural approach: A systematic review. *ScienceDirect.* <https://doi.org/10.1016/j.foar.2021.12.002>

Luo, W., et al. (2023). Personal control of correlated color temperature of light : Effects on thermal comfort, visual comfort, and cognitive performance. *Building and Environment.* <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110380>

Marín-Doñágueda, M., et al. (2021). Simultaneous optimization of circadian and color performance for smart lighting systems design. *energy and building.* <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111456>

Parsaee, M., et al. (2020). Human-centric lighting performance of shading panels in architecture: A benchmarking study with lab scale physical

Bellia, L., et al. (2024). Light-environment interactions and integrative lighting design: Connecting visual, non-visual and energy requirements in a case study experiment. *Building and Environment.* <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111323>

Bellia, L., Fragliasso, F. (2021). REVIEW Good Places to Live and Sleep Well: A Literature Review about the Role of Architecture in Determining Non-Visual Effects of Light. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* <https://doi.org/10.3390/ijerph18031002>

Bellia, L., et al. (2015). Indoor lighting quality: Effects of different wall colours. *Lighting Res. Technol.* <https://doi.org/10.1177/1477153515594654>

Bianchi, E., et al. (2024). Effects of architectural interventions on psychological, cognitive, social , and pro-environmental aspects of occupant well-being: Results from an immersive online study *Building and Environment.* <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111293>

Bower, I., et al. (2019). Impact of built environment design on emotion measured via neurophysiological correlates and subjective indicators: A systematic review. *Journal of Environmental Psychology.* <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2019.101344>

Dai, Q., et al. (2018). Spatial and spectral illumination design for energy-efficient circadian lighting. *Building and Environment.* <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.10.004>

Ezpeleta, S ,et al. (2021). Analysis of Photopic and Melanopic Lighting in Teaching Environments. *buildings.* <https://doi.org/10.3390/buildings11100439>

Ghaeili Ardabili, N., et al. (2023). REVIEW A systematic literature review: Building window's influence on indoor circadian health. *Renewable and Sustainable Energy.* <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113796>

Hammes, S., et al. (2024). Concepts of user-centred lighting controls for office applications: A systematic literature review. *Building and Environment.* <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111321>

Heidari, B., et al. (2025). human centric lighting in office space day light strategies and environmental influence on visual effect and



The WELL Building Standard. (2016). In. International WELL Institute.

Wessolowski, N., et al. (2014). The effect of variable light on the fidgetiness and social behavior of pupils in school. Journal of Environmental Psychology. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2014.05.001>

Xu, J .,et al. (2025). The visual and non-visual effects of annual daylighting performance on middle school students: A longitudinal field survey of classrooms in Eastern China. Energy & Buildings. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.115364>

Zeng, Y., et al .(2021) .Non-visual effects of office light environment: Field evaluation, model comparison, and spectral analysis. Building and Environment. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107859>

models under real skies. solar energy. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.04.088>

Potočnik, J.,Košir, M. (2019). Influence of commercial glazing and wall colours on the resulting non-visual daylight conditions of an office. Building and Environment. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106627>

Pradhan, S., et al. (2024). Investigating effects of indoor temperature and lighting on university students' learning performance considering sensation, comfort, and physiological responses Building and Environment. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111346>

Schledermann, K. M., et al. (2023). Evaluation of staff's perception of a circadian lighting system implemented in a hospital. Building and Environment. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110488>