Circadian Effects of Daylight on the Typical Residential Architecture of Tehran*

Zahra Raeisi[1] iD, **Shahin Heidari**[**2] iD

[1] PhD Sudent of Architecture, Department of Architecture, School of Architecture, College of Fine Arts, University of Tehran, Tehran, Iran.

[2] Professor, Department of Architecture, School of Architecture, College of Fine Arts, University of Tehran, Tehran, Iran.

(Received: 22 Apr 2023; Received in revised form: 5 Jun 2023; Accepted: 22 Jun 2023)

This article examines the effects of residential plan design on the circadian rhythm through natural light in common residential spaces in Tehran over the past decade. Light profoundly influences human health, and home architecture plays a pivotal role in regulating the body's daily rhythms. Given that individuals spend a significant portion of their time indoors, especially during the transition from day to night, the levels of natural light throughout the day serve as a vital biological measure for human well-being at home.. The study delves into the importance of light's effect on melanopic cells in the brain and the human body's circadian rhythm, emphasizing the necessity to explore a brightness factor that accurately reflects vertically received melanopic light, akin to the movement of the human eye within indoor spaces. The first part of the study involved developing a theoretical framework for investigating dynamic daylight by explaining several related areas such as human perception and the psychology of light, light and circadian rhythm of the body, light evaluation criteria, light in architecture, typical residential architecture in Tehran. Subsequently,, employing logical reasoning methods and referring to the previous section, a theoretical framework was developed and a research model was obtained. After reviewing related research backgrounds, various simulation models for light movement in architectural spaces were used to collect basic information required for this section. In this study, initially, several variables regarding plan design were examined on simple plans and preliminary analyses were conducted on their effects on circadian rhythm during selected days from 9 am to 1 pm. After understanding these variables separately for examining residential spaces' effects, common house plans in Tehran were selected based on previous studies. Several plan samples were taken from specific building locations and modeled using Rhinoceros 3D software and ALFA plugin. Then melanopic lux levels were measured at numerous points on an assumed grid in four directions at each point throughout the entire unit's plan. Design recommendations for improving the performance of circadian rhythm synchronization of the body with the environmental circadian rhythm, for common plans in Tehran while considering municipal regulations and relevant restrictions were proposed. These includedeepening the interior space based on the direction of openings leads to a decrease in the desired spatial percentage. This issue is less problematic in southern facades but significantly reduces space desirability in northern facades. Therefore, deepening the space in northern facades is not recommended. Dividing and breaking down the dimensions of interior space leads to a decrease in receivedEquivalent Melanopic Lux . In houses with two-sided northern and southern facades, it is recommended that the living room faces south and bedrooms face north. In apartments with two units per floor, it is recommended to divide units into two units with two-sided northern and southern facades. In addition to computer software simulations, field measurements were taken at two sample houses on-site under similar conditions as those in the software to match results and confirm their accuracy. The results confirm the accuracy of output results from the software.

Keywords

Architectural Design, Circadian Rhythm, Light, Illumination, Residential Building.

Citation: Raeisi, Zahra; Heidari, Shahin (2023). Circadian effects of daylight on the typical residential architecture of Tehran, *Journal of Fine Arts: Architecture and Urban Planning*, 28(2), 5-17. (*in Persian*) DOI: https://doi.org/10.22059/jfaup.2023.360120.672880

*This article is extracted from the first author's doctoral disseration, entitled: "Circadian effects of daylight on the typical residential architecture of Tehran", which is processing under the supervision of the second author in the college of Fine Arts, university of Tehran..

** Corresponding Author: Tel:(+98-918) 3410093, E-mail: shheidari@ut.ac.ir

نشریه هنرهای زیبا - معماری و شهرسازی ● دوره ۲۸، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲

تأثیر چرخه نور روز بر معماری مسکونی متداول تهران*

زهرا رئیسی[۱]، شاهین حیدری[۲]**

[۱] دانشجوی دکترای معماری، گروه معماری، دانشکده معماری، دانشکدگان هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
[۲] استاد گروه معماری، دانشکده معماری، دانشکدگان هنرهای زیبا ، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۲/۰۲، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۳/۱۵، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۰۴/۰۱)

چکیده

در این مقاله، تأثیرات طراحی پلان‌های مسکونی روی ریتم شبانه‌روزی تحت تأثیر نور طبیعی در فضاهای مسکونی متداول در دهه‌های اخیر در تهران مورد بررسی قرار می‌گیرد. تأثیر قابل‌توجه نور بر سلول‌های ملانوپیک مغز و ریتم شبانه‌روزی بدن انسان، پژوهش بر فاکتوری از روشنایی دریافتی توسط چشم انسان در فضای داخلی را ضروری می‌سازد. در این تحقیق، در ابتدا تأثیر متغیرهای مختلف مانند جهت‌های جغرافیایی نما، عمق فضایی و تقسیم‌بندی فضایی در بازه زمانی ساعت ۹ تا ۱۳ در روزهای آغاز فصول یک سال مورد ارزیابی قرار گرفت. پلان‌های مسکونی متداول تهران به‌عنوان نمونه‌هایی انتخاب شدند و تعدادی از این نمونه‌ها تحت مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزار *راینو* و پلاگین آلفا قرار گرفتند. سپس میزان لوکس ملانوپیک در چهار جهت مختلف جغرافیایی در نقاط بافاصله یک متری از هم در یک شبکه افقی مفروض در فضاهای مسکونی اندازه‌گیری شد. تحلیل میزان روشنایی با استفاده از معیار لوکس ملانوپیک، درنهایت به توصیه‌هایی در زمینه طراحی معماری ساختمان‌های مسکونی منجر شد. این توصیه‌ها شامل نکاتی مانند تعبیه فضای نشیمن در جهت جنوب و قرارگیری اتاق‌ها در جبهه شمال، تقسیم‌بندی واحدها به‌صورت دو واحد شمالی - جنوبی و اجتناب از عمق بیش‌ازحد فضا در فضای جبهه شمالی است.

واژه‌های کلیدی

روشنایی، ریتم شبانه‌روزی بدن، ساختمان مسکونی، طراحی معماری، نور.

استناد: رئیسی، زهرا؛ حیدری، شاهین (۱۴۰۲)، تأثیر چرخه نور روز بر معماری مسکونی متداول تهران، نشریه *هنرهای زیبا: معماری و شهرسازی*، ۲۸(۲)، ۵-۱۷.
DOI: https://doi.org/10.22059/jfaup.2023.360120.672880

CC BY NC

* مقاله حاضر برگرفته از رساله دکتری نگارنده اول با عنوان «تأثیر چرخه نور روز بر معماری مسکونی متداول تهران» می‌باشد که با راهنمایی نگارنده دوم در پردیس هنرهای زیبا دانشگاه تهران در حال انجام است.

** نویسنده مسئول: تلفن: ۰۹۱۸۳۴۱۰۰۹۳، E-mail: shheidari@ut.ac.ir.

مقدمه

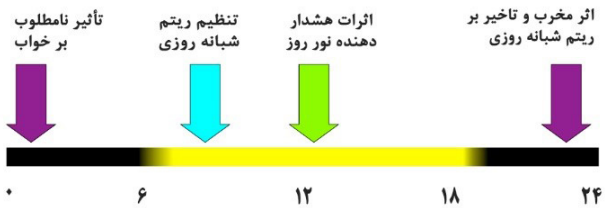
نور بی‌تردید تأثیر قابل‌توجهی بر سلامت انسان دارد. در معماری خانه، تنظیم ریتم‌های شبانه‌روزی بدن انسان با استفاده از نور طبیعی اهمیت بسیاری دارد. افراد اغلب در زمان‌های مختلف از روز، ازجمله ساعات خواب، صبح و ساعات پایانی روز، در داخل محیط‌های مسکونی حضور دارند. ازاین‌جهت، می‌توان نور در طول روز را به‌عنوان یک معیار بیولوژیکی برای سلامتی انسان در محیط خانه در نظر گرفت.

تأخیر زمانی اجتماعی، اصطلاحی است که توسط روننبرگ، محقق آلمانی در سال ۲۰۰۶ معرفی شد. این اصطلاح به وضعیتی اشاره دارد که اختلاف بین الگوی خواب فرد و ریتم شبانه‌روزی محیط، باعث ایجاد خستگی زودرس و افزایش احساس عقب‌افتادگی زمانی می‌شود. اگر محیط مسکونی دارای پنجره‌هایی برای ورود نور صبحگاهی باشد، این تأثیر می‌تواند کاهش یابد. به‌عبارت‌دیگر، نیاز به استفاده از زنگ هشدار برای بیدارشدن و تنظیم‌شدن با تأخیر زمانی اجتماعی نشان‌دهنده عدم آگاهی از تغییرات روز و شب در محیط داخلی است (Gamboa et al., 2021).

ساعت داخلی بدن شرایط فیزیولوژیکی اساسی مانند تولید هورمون‌ها، تنظیم چرخه دمای بدن، مدت و کیفیت خواب‌وبیداری و الگوهای هوشیاری را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تنظیم این ساعت به طور منظم و در تطابق با چرخه روزانه خورشید انجام می‌شود. برای انجام این تنظیم مجدد، نشانه‌های نوری باید از طریق چشم دریافت شوند. نشانه‌های نوری در داخل فضاهای مسکونی با فاکتورهای روشنایی مختلف تفاوت دارند و تأثیرات غیربصری نور بر ریتم شبانه‌روزی بدن انسان را مشخص می‌کنند (Pechacek et al., 2008).

اختلال در ساعت شبانه‌روزی می‌تواند منجر به خواب ضعیف، کاهش هوشیاری و افزایش خطر ابتلا به طیف وسیعی از بیماری‌های بهداشتی ازجمله دیابت، چاقی، بیماری‌های قلبی عروقی و سرطان شود. همان‌طور که توسط زلینسکی اشاره شده است، در محیط‌هایی که افراد به علت شیفت‌های کاری یا فعالیت‌های دیگر، از الگوهای خواب/بیداری معمولی خود دور می‌شوند، خطر ابتلا به بیماری‌های جدی مانند سرطان و دیابت به طور قابل‌توجهی افزایش می‌یابد. (Zelinski et al., 2014).

برای یک انسان عادی که از استراحت مناسب برخوردار است و به طور منظم می‌خوابد، یک عامل تحریک‌کننده سبک در صبح زود، ساعت شبانه‌روزی را به جلو می‌برد و باعث می‌شود که زمان بیدارشدن او زودتر اتفاق بیفتد و زمان شروع خواب او نیز زودتر رخ دهد. در عوض، دریافت نور آبی در اوقات عصر باعث تأخیر در ساعت شبانه‌روزی می‌شود، سبب می‌شود که افراد دیرتر از معمول بیدار شوند و زمان شروع خواب آن‌ها به تأخیر بیفتد. به طور مشابه، تأثیر بیولوژیکی نور دریافت شده در میانه روز بر روی ریتم شبانه‌روزی کم است، اما تأثیرات مثبتی بر کاهش خواب‌آلودگی و افزایش سطوح هوشیاری ذهنی در اوج زمان‌های مختلف روز را به همراه دارد (Ruger et al., 2006, 1418).



تصویر ۱- دوره‌های زمانی روز بر اساس اثر غیربصری نور.
مأخذ: (Andersen et al., 2012, 39)

تصویر (۱)، خلاصه‌ای از سه دوره زمانی روزانه که توسط اندرسون برای طبقه‌بندی نور بر اساس زمان و اثرات غیربصری آن ارائه شده است، را نمایش می‌دهد (Andersen et al., 2012, 39). تأثیرات غیربصری نور به عواملی مانند زمان، شدت، مدت بازه زمانی، طول‌موج و سابقه قرارگیری در معرض نور وابسته است (Konis, 2017, 22).

علاوه بر این، سابقه قرارگرفتن در معرض نور نیز تأثیر قابل‌توجهی بر حساسیت سیستم شبانه‌روزی به نور دارد. در واقع، با قرارگیری چشم در سطوح بالاتر نور در طول روز، حساسیت سیستم شبانه‌روزی به‌مرورزمان کاهش می‌یابد، درحالی‌که تجربه قبلی از قرارگیری در سطوح کم‌تر نوردهی منجر به افزایش حساسیت این سیستم می‌شود (Amundado-ttir et al., 2013, 9).

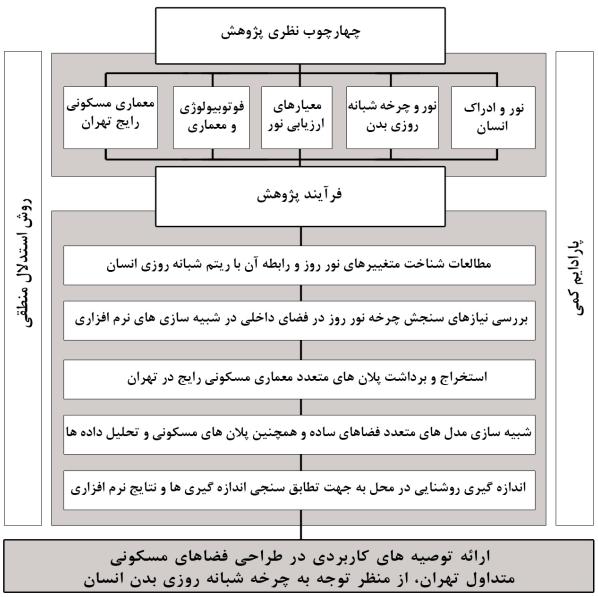
تمام مناطق داخل ساختمان که به طور منظم به شرایط روشنایی لازم برای محرک‌های شبانه‌روزی مؤثر نمی‌رسند، می‌توانند از نظر بیولوژیکی تاریک باشند و به‌عنوان مناطقی در نظر گرفته شوند که در آن برای ساکنین دائم خود خطراتی مرتبط با اختلال ریتم شبانه‌روزی بدن ایجاد نماید. ساختمان‌هایی که از نور طبیعی بهره‌مند هستند معمولاً این نیاز را به‌خوبی تأمین می‌کنند؛ اما فضاهایی که روشنایی الکتریکی با طیف نوری محدود دارند، برای ساکنین خود مشکلاتی از نظر سلامتی به همراه دارند. در حال حاضر، نورهای مصنوعی باتوجه‌به رعایت ریتم شبانه‌روزی در بازار عرضه می‌شوند، این موارد نیز توسط طراحان تأسیسات روشنایی در طراحی و تجهیزات بنا باید موردتوجه قرار گیرد.

معماری مرز بین محیط خارجی و بدن انسان است. انسان‌ها زمان قابل‌توجهی از عمر خود را در انواع مختلف فضای مصنوع و در زیر سقف زندگی می‌کند. حال این سؤال مطرح می‌شود آیا بدن انسان با حضور در فضای معماری قادر است نیازهای خود را از محیط، مانند دریافت مؤلفه‌های چرخه نور روز برآورده سازد؟ بنابراین در این تحقیق در نظر است تا با تأکید بر شناخت کامل‌تری از چرخه نور روز بتوان به توصیه‌های کاربردی دست پیدا نمود تا فضاهای مسکونی را از منظر توجه به چرخه شبانه‌روزی نور و پویایی نور طبیعی و باتوجه‌به سبک زندگی امروزی و همچنین کاربری فضاها به طراحی مطلوب‌تری از حیث تأثیرات غیربصری نور دست‌یافت.

روش پژوهش

باتوجه‌به نوع تحقیق موردنظر که یک تحقیق کاربردی با ماهیت نظری است، پارادایم حاکم بر این پژوهش از نوع کمّی است و از روش استدلال منطقی بهره برده شده است. مطابق با تصویر (۲)، نخستین بخش پژوهش به‌منظور تدوین چارچوب نظری پژوهش با تبیین حوزه‌های مرتبط با موضوع نور روز، ازجمله نور و ادراک انسان، نور و چرخه شبانه‌روزی

بدن، معیارهای ارزیابی نور، فتوبیولوژی و معماری و معماری مسکونی متداول تهران، آغاز شده است. پس از آن، با بهره‌گیری از روش استدلال منطقی و باتوجه‌به محتوای قبلی، چارچوب نظری تدوین و مدل نظری پژوهش ساخته شده است. در مرحله بعد، با مرور پژوهش‌های پیشین و به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات پایه‌ای که برای این بخش لازم است، یعنی مدل‌های شبیه‌سازی مختلف حرکت نور در معماری، از مشاهدات میدانی و نرم‌افزارهای مختلف مدل‌سازی استفاده گردید. برای این منظور، ابتدا مدل‌های ساده‌ای از فضاهای داخلی با استفاده از نرم‌افزار *راینو* و *پلاگین آلفا* نسخه *ALFA_0.6.0.0* ساخته و شبیه‌سازی گردید. نتایج به‌دست‌آمده از این مدل‌های ساده، اطلاعاتی اساسی را در مورد عوامل و متغیرهای تأثیرگذار بر میزان لوکس ملانوپیک ارائه می‌دهند. در این مرحله، با بهره‌گیری از روش‌های تطبیقی و استدلال منطقی، متغیرهای مؤثر بر ریتم شبانه‌روزی بدن شناسایی گردیده‌اند.



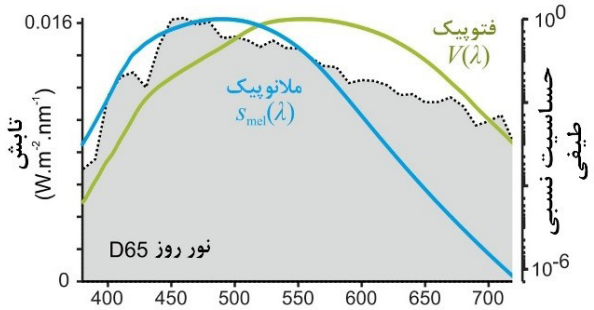
تصویر ۲- چارچوب نظری پژوهش.

در مرحله بعدی، باتوجه‌به مسائلی که ناشی از طراحی‌های متداول و رایج در شهر تهران به دلیل محدودیت‌های ابعاد زمین، جهت‌نماها، و ضوابط شهرداری به وجود آمده است، پژوهشگر در طول این تحقیق با سؤالاتی مواجه شده است. برای یافتن پاسخ نوع تأثیر متغیرهای جدیدتر، پلان‌های معماری متداول در محل برداشت و در نرم‌افزار شبیه‌سازی شد و نتایج حاصل از آن شد. سپس در مرحله بعد، یافته‌های پژوهش مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفتند. با استناد به تجزیه و تحلیل داده‌های خروجی، توصیه‌هایی در زمینه طراحی معماری فضاهای مسکونی ارائه شد. در انتها، به‌منظور اثبات دقت و تطابق نتایج در محیط واقعی، دو مدل از پلان‌های ساختمان‌ها در محل واقعی اندازه‌گیری و خروجی‌های شبیه‌سازی با آنها مقایسه شد. نتایج نهایی تأییدی از صحت خروجی‌های شبیه‌سازی را ارائه دادند.

پیشینه پژوهش

نور و ادراک انسان

پژوهشگران تاکنون باور داشته‌اند هنگامی که نور به شبکیه برخورد می‌کند، فقط سلول‌های مخروطی و استوانه‌ای نسبت به آن واکنش نشان می‌دهند؛ اما اکتشافات جدید نشان می‌دهند که یک نوع دیگر از سلول‌ها موسوم به سلول‌های حساس به نور گانگلیون شبکیه (ipRGCs)[1] نیز در این فرایند دخیل هستند. در مقابل سلول‌های مخروطی و استوانه‌ای، سلول‌های ipRGCs همچنین به ملانوپسین حساس هستند. اگرچه نقش این سلول‌های ipRGCs در سازگاری ساعت داخلی مغز با نور اثبات شده است، اهمیت و نقش آن‌ها در تشخیص میزان نور تا به امروز به‌خوبی درک نشده بود (Yamakawa et al., 2019, 1).



تصویر ۳- تفاوت در حساسیت فرد ۳۲ساله به نور طبیعی، از لحاظ ملانوپیک و فتوپیک را در سیستم SI به‌صورت کمی. مأخذ: (Brown et al., 2022, 3)

نور فتوپیک بر اساس شدت نور در رنگ‌های مختلف تعریف می‌شود و با استفاده از معیار «درخشندگی» اندازه‌گیری می‌شود. درحالی‌که، نور ملانوپیک بر اساس پاسخ سلول‌های حساس به نور گانگلیون شبکیه (ipRGCs) به نور تعیین می‌شود و این سلول‌ها به‌ویژه به نور آبی حساسیت دارند. همان‌طور که در تصویر (۳) نیز مشاهده می‌شود، در واکنش ملانوپیک، بالاترین حساسیت به نور در طول موج ۴۹۰ نانومتر (رنگ آبی) دیده می‌شود. درعین‌حال، در مورد نور به لحاظ روشنایی و بصری، بالاترین حساسیت در طول موج ۵۷۰ نانومتر (رنگ زرد) رخ می‌دهد (Brown et al., 2022, 3).

نور و چرخه شبانه‌روزی بدن

عدم دریافت نور کافی یا دریافت نور در زمان نامناسب، می‌تواند منجر به اختلال در ریتم شبانه‌روزی بدن شود که به طور مستقیم باعث ایجاد استرس قابل‌توجه در فرد موردنظر می‌گردد. پژوهش‌های گذشته نشان داده‌اند که تنظیم دقیق ریتم شبانه‌روزی در ساختار بدن انسان می‌تواند به بهبود سریع‌تر فرایندهای درمانی، به‌ویژه در محیط بیمارستانی، و افزایش بهره‌وری کاری انسان کمک مؤثری نماید (Vandewalle et al., 2006, 1619).

نور به طور مستقیم به مغز انسان هشدار می‌دهد و هیچ محرک دیگری قادر به تولید تأثیر چشمگیری بر ریتم شبانه‌روزی مانند نور نمی‌باشد. چرخه‌های خواب‌وبیداری، فعالیت و عدم فعالیت، و روابط اجتماعی، می‌توانند تغییرات جزئی و محدودی در ریتم‌های شبانه‌روزی (با حدود ۲۰ دقیقه تغییر) ایجاد کنند؛ اما نور قادر است تغییرات اساسی و قابل‌ملاحظه‌ای (با حدود ۷ ساعت تغییر) در این ریتم‌ها به وجود آورد (Gochenour, 2009, 2). طبق *ISO 16817*[2] در سال ۲۰۱۷، ریتم شبانه‌روزی به‌عنوان یک تغییر دوره‌ای مشخص در یک موجود زنده یا فرایند مرتبط با زندگی تعریف می‌شود. این ریتم شبانه‌روزی یک تناوب

تقریبی روزانه است که در فرایندهای بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی یا رفتاری موجودات زنده اتفاق می‌افتد و دوره‌های تقریباً ۲۴ساعته را شامل می‌شود.

ریتم‌های شبانه‌روزی انسان ممکن است تحت تأثیر زمان و نوع تابش نور در طول روز تغییر کنند. زمان تابش نور در طول چرخه روز بیولوژیکی نیز اهمیت فراوانی دارد. بیداری صبحگاهی که ۱ تا ۲ ساعت پس از قطع ترشح ملاتونین به علت تحریک نور رخ می‌دهد، درحالی‌که، انتقال به وضعیت خواب‌آلودگی ۱ تا ۳ ساعت پس از آغاز ترشح ملاتونین به دلیل کاهش سطح نور رخ می‌دهد. به همین ترتیب، نور باید حداقل دو ساعت قبل از بیدارشدن از خواب وارد اتاق‌خواب شود و سطح نور آبی نیز باید حداقل دو ساعت قبل از خواب در حداقل میزانی باقی بماند (Wehr et al., 2001, 937).

معیارهای ارزیابی نور

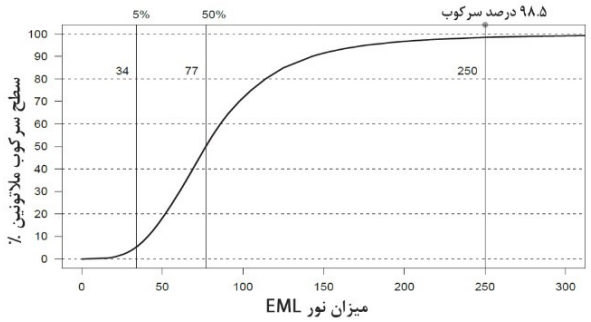
معیارهای رایج برای ارزیابی نور ازجمله روشنایی بر روی صفحه کار افقی، روشنایی و یکنواختی روشنایی، ناراحتی بصری و خیرگی نور، صرفه‌جویی در انرژی روشنایی و شاخص کفایت فضایی نور روز (sDA[۳]) و نور خورشید مستقیم سالانه (ASE[۴]) و حداکثر میزان نور روز (DAmax[۵]) ازجمله معیارهای استفاده شده در ارزیابی بصری نور در محیط‌های معماری هستند. بااین‌وجود، در این تحقیق تمرکز و تأکید بر اثرات غیربصری نور در محیط‌های معماری است.

استفاده از اندازه‌گیری‌های روشنایی در صفحه کار افقی بیشتر در مکان‌هایی نظیر ادارات و مدارس مفید است. بااین‌حال، اندازه‌گیری روشنایی در صفحه کار افقی در محیط خانگی تصویر کاملی از محیط ارائه نمی‌دهد. همچنین، تأثیرات نوری که از انعکاس از دیوارها به سطح کار افقی می‌رسد، تأثیر ضعیفی دارد و روشنایی بیشتری به نور مستقیم وابسته است. درحالی‌که، سنجش نور برای چرخه نور روز در صفحه کار عمودی از انعکاس نور پراکنده بیشتر بهره‌مند می‌شود و متأثر از این فاکتور است (Dai et al., 2018, 224).

جدول ۱ - تأثیر بیولوژیکی منابع نور بر سرکوب ملاتونین. مأخذ: (Konis,2017,24)

سرکوب ملاتونین (٪)	EML	نور روز (لوکس)	لامپ فلورسنت ۴۰۰۰ کلوین (لوکس)	ال ای دی ۹۵۰۰ کلوین (لوکس)
۰/۵	۱۷	۱۶	۲۷	۱۴
۵	۳۴	۳۱	۵۲	۲۷
۲۵	۵۶	۵۲	۸۷	۴۵
۵۰	۷۷	۷۱	۱۱۸	۶۲
۷۵	۱۰۵	۹۷	۱۶۱	۸۴
۹۵	۱۷۶	۱۶۲	۲۷۲	۱۴۲
۹۹/۵	۳۴۱	۳۱۵	۵۲۶	۲۷۵

مقایسه *EML*[۶] برای انواع منابع نور و سطوح روشنایی فتوپیک، همراه با اثر بیولوژیکی حاصل (سطح سرکوب ملاتونین) در جدول (۱) ارائه شده است که با استفاده از یک مدل ۶۵ ساله به‌دست‌آمده است. البته این اثر بر روی افراد با سنین مختلف، متفاوت است. مدل ۶۵ ساله ۶ درصد محرک بیشتری نسبت به یک فرد ۳۲ساله نیاز دارد. فرد ۳۲ساله برای دستیابی به اثری معادل با یک فرد ۱۰ ساله به محرک نوری با ۱۱ درصد شدت بیشتر نیاز دارد (Konis, 2017, 24). به علت تفاوت‌های مختلف میان پژوهش‌ها، همچنان توافق نهایی در مورد آستانه نور مناسب جهت اطمینان از تحریک کافی و مؤثر ریتم شبانه‌روزی انسان در ساختمان‌ها به وجود نیامده است. این تحقیقات متعدد اعداد و مقادیر زمانی گوناگونی را مطرح می‌کنند.



تصویر ۴ - منحنی رابطه بین در معرض نور بودن و سطح سرکوب ملاتونین. مأخذ: (Konis, 2017, 25)

همان‌طور که در تصویر (۴) آشکار است، تأثیر نور بر سرکوب ملاتونین از منحنی غیرخطی پیروی می‌کند. با بهره‌گیری از مدل ارائه شده توسط اموندادوتیر، می‌توان نقطه آستانه ۲۵۰ *EML* را به‌عنوان نقطه‌ای که سرکوب ملاتونین به میزان تقریباً کامل (۹۸/۵٪) برای افراد ۶۵ ساله رخ می‌دهد، تعیین کرد (Amundadottir et al., 2017, 19).

در حال حاضر، سیستم استاندارد سلامت ساختمان به‌عنوان منبع معتبرترین اطلاعات برای تشخیص و ارزیابی تأثیرات غیربصری نور بر ریتم شبانه‌روزی شناخته می‌شود. طراحی روشنایی شبانه‌روزی به طور استاندارد در سیستم *WELL* نیاز به حداقل آستانه ۲۴۰ *EML* از نور روز (D65) را به‌عنوان پیش‌شرط تأیید می‌کند که باید حداقل برای مدت ۴ ساعت در طول روز از ساعت ۹ الی ۱۳ در دسترس باشد. همان‌طور که پیش‌تر ذکر شده، این نیاز می‌تواند توسط نور روز، نور الکتریکی یا ترکیبی از هر دو منبع نور تأمین شود.

انسان دارای یک ساعت بیولوژیکی داخلی است که الگوهای فعالیت روزانه را به دنبال چرخه طبیعی ۲۴ ساعتی نور و تاریکی تنظیم می‌کند. هسته‌های سوپراکیاسماتیک (SCN[۷]) مسئول تنظیم سیستم شبانه‌روزی بدن هستند و وظیفه تنظیم زمان‌بندی روزانه تغییرات فیزیکی، ذهنی و رفتاری را به عهده دارند. به‌عنوان‌مثال، خواب‌وبیداری، سطح هوشیاری، خلق‌وخو، سرکوب و ترشحات هورمونی و دمای مرکزی بدن. دوره درونی ریتم شبانه‌روزی انسان می‌تواند میان ۲۳/۵ تا ۲۴/۷ ساعت و میانگین آن در بزرگسالان سالم ۲۴/۲ ساعت باشد. این سیستم به‌منظور تطبیق با اختلاف زمانی و هماهنگی دوباره روزانه ریتم بدن با زمان محیطی، به نور دریافتی از شبکیه بسیار وابسته است (Konis, 2017, 25).

زمان قرارگرفتن در معرض نور در طول روز نقش مهمی در همگام‌سازی ریتم سیستم شبانه‌روزی با الگوهای استراحت و فعالیت دارد(Khalsa et al., 2003, 945) . همچنان این مسئله از سوی پژوهشگران موردبحث است. به‌عنوان‌مثال، توصیه می‌کند که برای حداقل ۱ ساعت در اوایل روز، چشمان در معرض نور 0.3 CS[۸] یا بالاتر که معادل ۱۸۰ لوکس است، قرار گیرند (Figueiro et al., 2016, 34). همچنین، براون و همکاران

آستانه را بر اساس میزان روشنایی ۲۵۰ لوکس ملانوپیک تعیین کرده‌اند که بر روی صفحه عمودی چشم در ارتفاع ۱٫۲ متر از سطح کف محیط داخلی قرار می‌گیرد (Brown et al., 2022, 6).

رویکرد اتخاذ شده توسط نویسنده در این پژوهش، استفاده از آستانه *EML* ۲۴۰ از ساعت ۹ الی ۱۳ در شبکه‌ای از نقاط به ارتفاع ۱۴۰ سانتی‌متر و در ۴ جهت در هر نقطه است که توسط استاندارد ساختمان *WELL* اجرا می‌شود.

فوتوبیولوژی و معماری

در داخل ساختمان‌ها، جایی که بزرگسالان به طور متوسط ۹۰ درصد از عمر خود را سپری می‌کنند (US. EPA, 2006)، نور اغلب توسط منابع الکتریکی تأمین می‌شود که برای انجام وظایف بصری (تحریک سیستم بینایی) کافی هستند، اما معمولاً فاقد ترکیب و تنوع طیفی لازم برای تحریک ریتم شبانه‌روزی موردنیاز هستند. معماری به‌عنوان یک عامل کلیدی در این مسئله ظاهر می‌شود؛ زیرا درک افراد از نور در یک فضای داخلی تأثیر مستقیمی از شکل هندسی و جزئیات معماری فضایی که در آن قرار دارند، می‌پذیرد. این عوامل تأثیرگذار شامل اندازه و شکل بازشوها، کیفیت بازتاب سطوح دیواره‌ها، میزان سایه، ابعاد و شکل فضا، موقعیت کلی ساختمان، عمق و جهت‌گیری بازشوها، و محل و جهت حضور افراد در محیط هستند.

زمان حضور نور در فضا به‌شدت به جهت‌گیری ساختمان و شکل بازشوها وابسته است. به‌عنوان‌مثال، یک نمای جنوب شرقی در نیمکره شمالی نور صبحگاهی بسیار بیشتری نسبت به نور عصر دریافت می‌کند. مؤلفه طیفی نور، توسط هر دو طیف نور مستقیم از خورشید و پراکنده از آسمان و جداره‌های داخلی محیط مشخص می‌شود. خصوصیات نور منعکس شده، ازجمله رنگ و درصد بازتاب سطوحی که نور بر روی آنها منعکس می‌شود، میزان تابش نور، عمق و هندسه فضا، دارای تأثیر مستقیم بر همدیگر هستند (Pechacek, 2008, 24).

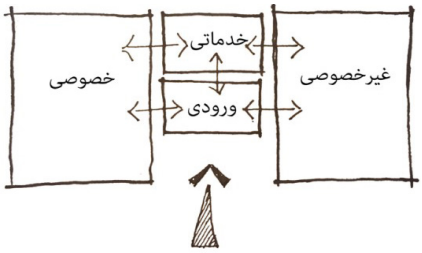
معماری مسکونی متداول تهران

در دو دهه اخیر تهران، در پی وضع‌شدن ضوابط و مقررات ساخت‌وساز انتظام دهنده به شکل شهر و استانداردسازی معماری، مسکنی شکل گرفت که ساختاری مبتنی بر ضوابط داشت. ازجمله تغییرات اساسی دیگر در مسکن این دوران، تعیین تراکم در نظام توده‌گذاری شمالی - جنوبی یعنی ساخت بنا در ۶۰ ٪ شمالی زمین و باقی‌گذاشتن ۴۰ ٪ دیگر برای فضای باز و امکان دو متر پیش‌آمدگی بود که این مسئله نیز استفاده از عناصری چون پاسیو برای مقررات ملی نورگیری ساختمان‌های شمالی با عرض کم را الزامی کرد؛ بنابراین از این مقطع زمانی به بعد، دیده شد که مهندسان معمار از آزادی کم‌تری در خلاقیت و نوآوری برخوردارند؛ بنابراین آپارتمان‌هایی به وجود آمدند که نورگیری دوطرفه و کشیدگی شمالی جنوبی دارند و در زمین‌های جنوبی بدون پاسیو و در زمین‌های شمالی با پاسیو هستند. عامل شکل‌دهنده به مسکن در این دوران، مصوبات شهری و الزامات نظام‌مهندسی مندرج در مباحث مقررات ملی است (مهاجرمیلانی و عینی‌فر، ۱۳۹۹ ، ۳۶). با اعمال ضابطه ۶۰ ٪ ساخت و امکان ۲ متر پیش‌آمدگی در بناهای مسکونی، عمق فضای ساخته شده نسبت به فضای باز بیشتر شده و ساختار همنشینی فضاهای داخلی تغییراتی پیدا کرد. با افزایش عمق ساختمان، برای اجرای ضوابط نورگیری ریز فضاهای هر واحد مسکونی و استفاده از نورگیری تاحدامکان مستقیم برای همه فضاها، زیرگونه‌های جدیدی از هم‌جواری واحدهای مسکونی در طبقات به وجود آمد. در زمین‌های متعارف بیشترین شکل تقسیم به شرح زیر است (مهاجرمیلانی و عینی‌فر، ۱۳۹۶، ۵۶):

- استفاده از پلان‌های کشیده خطی یا به‌اصطلاح اتوبوسی و نورگیری از شمال و جنوب؛
- ترکیب واحدهای شمالی و جنوبی و بهره‌گیری از نورگیر داخلی برای رساندن نور به فضاهای میانی

با برابرشدن تراکم ساختمان با محدوده حجمی قابل‌ساخت (طبقات مجاز و سطح اشغال) در ضوابط مسکن آپارتمانی، حجم غالب بناهای مسکونی مکعب‌مستطیل‌هایی یکنواخت تبدیل شدند. به دلیل اقتصادی تاحدامکان پاسیوها کوچک و یا در بسیاری از موارد حذف شدند (مهاجرمیلانی و عینی فر، ۱۳۹۶، ۵۷).

اگرچه تفکیک بین زندگی خصوصی و غیرخصوصی مختص معماری ایرانی نیست، اما در آداب زندگی ایرانی جایگاه ویژه‌ای دارد. در نمونه‌های بررسی شده توسط خاقانپور از خانه‌های تهران، به لحاظ عرصه‌بندی فضایی، تفکیک عرصه خصوصی (اتاق‌خواب‌ها) و عمومی (نشیمن و پذیرایی) مانند تصویر (۵) بیان شده است (خاقانپور و خوئی، ۱۳۹۶، ۹۹).



تصویر ۵- سازماندهی واحدهای آپارتمانی و تفکیک عرصه‌ها.
مأخذ: (خاقانپور و خوئی، ۱۳۹۶، ۹۹)

با بررسی پژوهش‌های متعدد در حوزه موردنظر این مقاله، نکات بسیار ارزشمندی در بخش‌های مختلف مرتبط با نور روز و جدیدترین یافته‌های پژوهشگران به‌دست‌آمده است. دریافت نور روز در ساعات صبح به‌منظور تنظیم چرخه شبانه‌روزی بدن از جوانب متعددی موردتوجه قرار گرفته است. باتوجه‌به تمرکز پژوهشگر بر اثرات غیربصری نور روز، این تحقیق به‌عنوان یک ارتباط بین حوزه‌های معماری، نور و ادراک انسان، طرح‌ریزی شده است. در این پژوهش، تلاش بر آن است تا با تسلط بر ابعاد مختلف و تأثیرگذار بر سؤال تحقیق، پاسخ مناسبی به دست آید. زیرساخت علمی‌ای که در این زمینه توسعه‌یافته است، در انتخاب متغیرها، معیارهای ارزیابی و روش انجام پژوهش در مراحل پیش روی تحقیق نقش مهمی ایفا کرده و برای حصول از نتایجی که دارای روایی و پایایی باشند، راهنما بوده است.

شرایط شبیه‌سازی‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر نور شبانه‌روزی بر روی چشم انسان، بر خلاف بسیاری از شبیه‌سازی‌های روشنایی که در اکثر پژوهش‌ها انجام می‌شوند، در این مطالعه میزان لوکس ملانوپیک در سطوح عمودی چشم انسان، مورد بررسی قرار گرفته است؛ به‌عبارت‌دیگر، یک شبکه فرضی عمودی

در ارتفاعی که چشم یک انسان در حال نشستن قرار دارد، با نقاط بافاصله ۵۰ سانتی‌متر از دیواره‌های فضا و ۱ متر از یکدیگر، تعریف شده است. در مرحله بعد، نور دریافتی به‌صورت چهار بردار افقی از نقطه چشم، در هر نقطه از این شبکه مورد ارزیابی قرار گرفته است. به طور دقیق‌تر، در یک فضا با ابعاد داخلی ۵ متر در ۵ متر، نور ملانوپیک برای ۱۶ نقطه در ۴ جهت افقی شمال، شرق، جنوب و غرب موردمطالعه قرار گرفته است که در کل ۶۴ عدد خروجی تولید می‌کند. در این مطالعه، باتوجه‌به ارتفاعی که استاندارد ساختمان *WELL* برای نقاط سنجش نور در خانه‌های مسکونی تعیین می‌کند، ارتفاع شبکه فرضی با اختلاف ۱۴۰ سانتی‌متر از کف فضا در نظر گرفته شده است. همچنین با استناد به کتابخانه برنامه آلفا که مصالح مختلف در آن تعریف شده‌اند، در این مطالعه مصالح داخلی بنا باتوجه‌به مصالح معمول در فضاهای مسکونی، مطابق با جدول (۲) انتخاب شده است. در ضمن، ابعاد پنجره‌ها به ارتفاع ۲٫۴ متر و ارتفاع کف پنجره ۴۰ سانتی‌متر در مدل‌سازی این پنجره‌ها لحاظ شده است.

جدول ۲- مشخصات مصالح عناصر داخلی فضاها در شبیه‌سازی‌ها.

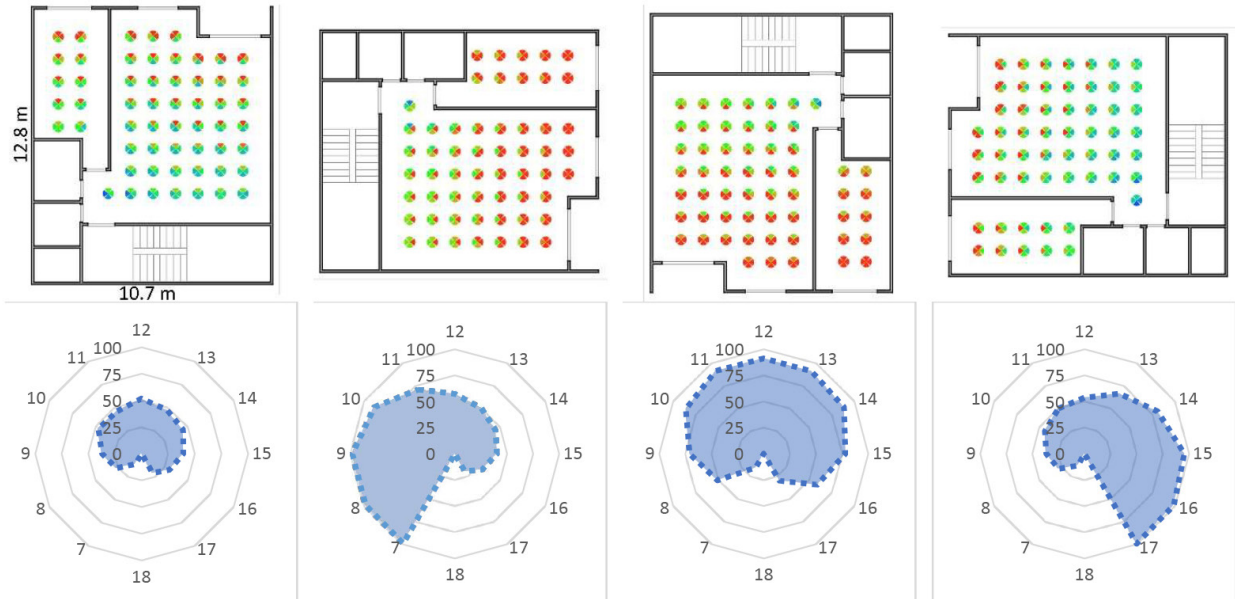
جداره	نوع مصالح	رنگ	ضریب انعکاس فتوپیک	ضریب انعکاس ملانوپیک
کف	سرامیک‌های غیرلغزنده	خاکستری روشن	۰٫۴۱۸	۰٫۳۷۶
سقف داخلی	گچی	سفید	۰٫۸۲۲	۰٫۷۷۴
پنجره‌ها	شیشه‌های دوجداره با انتقال ۴۵ درصد نور مرئی	شفاف	۰٫۱۰۰	۰٫۱۰۳
دیوارها	گچی	سفید	۰٫۸۱۲	۰٫۷۶۸
درب‌ها	چوبی	قهوه‌ای روشن	۰٫۴۱۹	۰٫۳۰۲

در حال حاضر، سیستم استاندارد سلامت ساختمان به‌عنوان مرجعی برجسته برای تعیین و ارزیابی تأثیرات غیربصری نور بر روی چرخه شبانه‌روزی شناخته می‌شود. طراحی نور محیط شبانه‌روزی مطابق با استاندارد ساختمان *WELL* پیش‌شرط حداقل آستانه ۲۴۰ *EML* از نور روز (D65) را تصویب می‌کند که باید حداقل برای ۴ ساعت از ساعت ۱۰ تا ۱۳ در روز در دسترس باشد (WELL, 2020). تمام شبیه‌سازی‌های انجام شده در این تحقیق در روزهای اول چهار فصل انجام شده است. همچنین، مقدار نور ملانوپیک در بازه زمانی از ساعت ۹ صبح تا ۱ عصر در هر ساعت یکبار اندازه‌گیری شده است. به‌این‌ترتیب، برای هر یک از چهار جهت (شمال، شرق، جنوب، غرب) برای هر نقطه مورد ارزیابی در هر روز، داده‌هایی به تعداد ۵ ساعت (۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳) در دسترس داریم. به طور خلاصه، رویکرد به‌کارگیری شده در این شبیه‌سازی‌ها، شامل استفاده از آستانه ۲۴۰ *EML* از ساعت ۹ صبح تا ۱ عصر در یک شبکه از نقاط با ارتفاع ۱۴۰ سانتی‌متر و در چهار جهت مختلف در هر نقطه است.

تحلیل یافته‌ها

در این تحقیق، یک خانه یک‌خوابه با پلان متداول در تهران و نمای یک‌طرفه باتوجه‌به محدودیت‌های ضوابط و طراحی شهری، در محیط نرم‌افزار *راینو* مدل‌سازی شده است. در این مدل متغیر، جهات مختلف جغرافیایی فرض شده است. این نمای یک‌طرفه به چهار جهت جغرافیایی (شمال، شرق، جنوب، غرب) چرخانده شده و میزان لوکس ملانوپیک در طول یک روز در نظر گرفته شده است. همان‌طور که در تصویر (۶) آورده شده است، در خانه‌هایی با نمای جنوبی، ریتم کلی شبانه‌روز از ساعت صبح تا شب با ریتم محیط خارجی به طور قابل‌توجهی هماهنگی دارد. بااین‌حال، با درنظرگرفتن فاکتور تنظیم بیداری و هوشیاری صبحگاهی، مشاهده می‌شود که در خانه‌هایی با نمای شرقی، افراد می‌توانند بهترین هم‌زمانی مابین ساعت بیداری خود و ریتم محیط بیرونی را در صبح تجربه کنند.

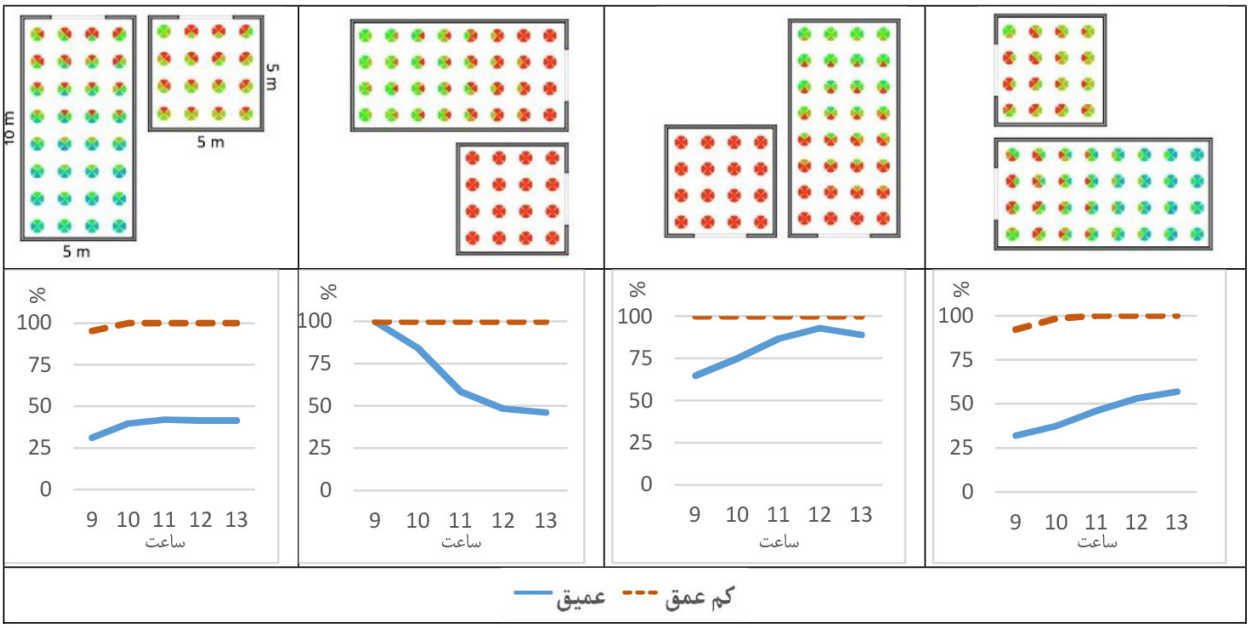
در این بخش از مقاله، باتوجه‌به یک‌طرفه‌بودن نما در فضاهای اصلی خانه (در هر فضا یک پنجره حضور دارد)، نویسنده به بررسی تأثیر



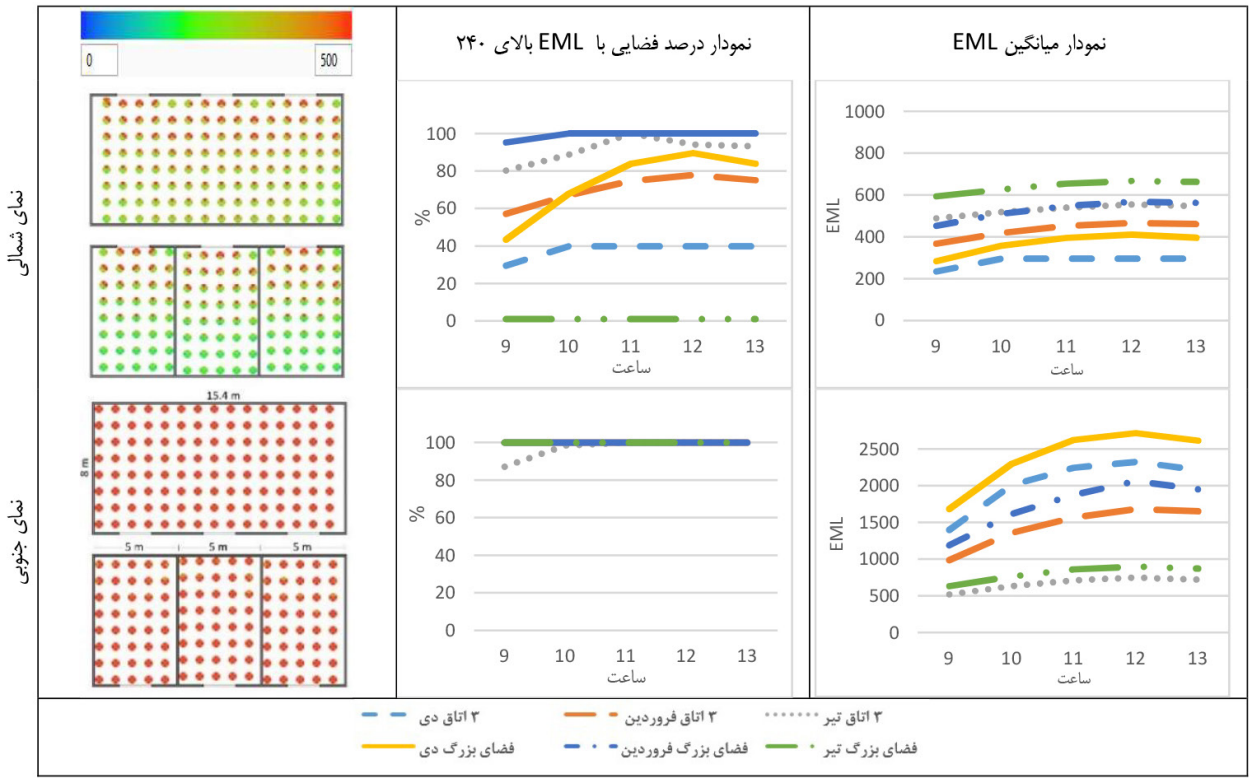
تصویر ۶- تحلیل پلان واحد یک‌خوابه با نمای یک‌طرفه در ۴ جهت جغرافیایی، ردیف بالا: تحلیل شماتیک نور پلان در ۱۰ صبح (آبی برای صفر و قرمز برای ۵۰۰ لوکس ملانوپیک)، ردیف پایین: نمودار درصد فضایی با نور ملانوپیک دریافتی بالای ۲۴۰ *EML* از ساعت ۷ الی ۱۸ در روز اول فروردین تهران (جهت شمال در پلان ها به سمت بالا است).

دو متغیر، یعنی عمق فضا و جهات جغرافیایی بر میزان گستردگی لوکس ملانوپیک بر روی چشم افراد می‌پردازد. باتوجه‌به نمودارها در تصویر (۷)، می‌توان نتیجه گرفت که هنگامی که ابعاد فضاها بزرگ‌تر و عمق آنها افزایش می‌یابد، درصدی از فضا که با نور حداقل ۲۴۰ *EML* روشنایی می‌شود، کاهش می‌یابد. این کاهش به طور ویژه در نماهای شمالی به‌شدت قابل‌مشاهده است، درحالی‌که تأثیر آن در نماهای جنوبی کم‌تر محسوس است.

بنابراین، باتوجه‌به تصویر (۷)، می‌توان ادعا کرد که در طراحی و جانمایی فضاهای خانه، مناسب است که فضاهای با عمق بیشتر را در جبهه جنوبی قرار داد تا مساحت بیشتری از فضا با حداقل مقدار ۲۴۰ *EML* روشنایی داشته باشیم. علاوه بر این، نسبت یک‌به‌یک بین عمق و عرض فضا تقریباً در تمام جبهه‌ها به یکسانی عمل می‌کند. با افزایش عمق این نسبت، اهمیت جهت‌های جغرافیایی نما و بازشوها به‌صورت معنادارتری به چشم می‌آید.



تصویر ۷- تحلیل تأثیر عمق فضا در جهات جغرافیایی مختلف بر میزان *EML* ، ردیف بالا: تحلیل شماتیک نور پلان در ۱۰ صبح (آبی برای صفر و قرمز برای ۵۰۰ لوکس ملانوپیک)، ردیف پایین: نمودار درصد فضایی با نور ملانوپیک دریافتی بالای ۲۴۰ *EML* از ساعت ۹ الی ۱۳ در روز اول فروردین تهران (جهت شمال در پلان ها به سمت بالا است).



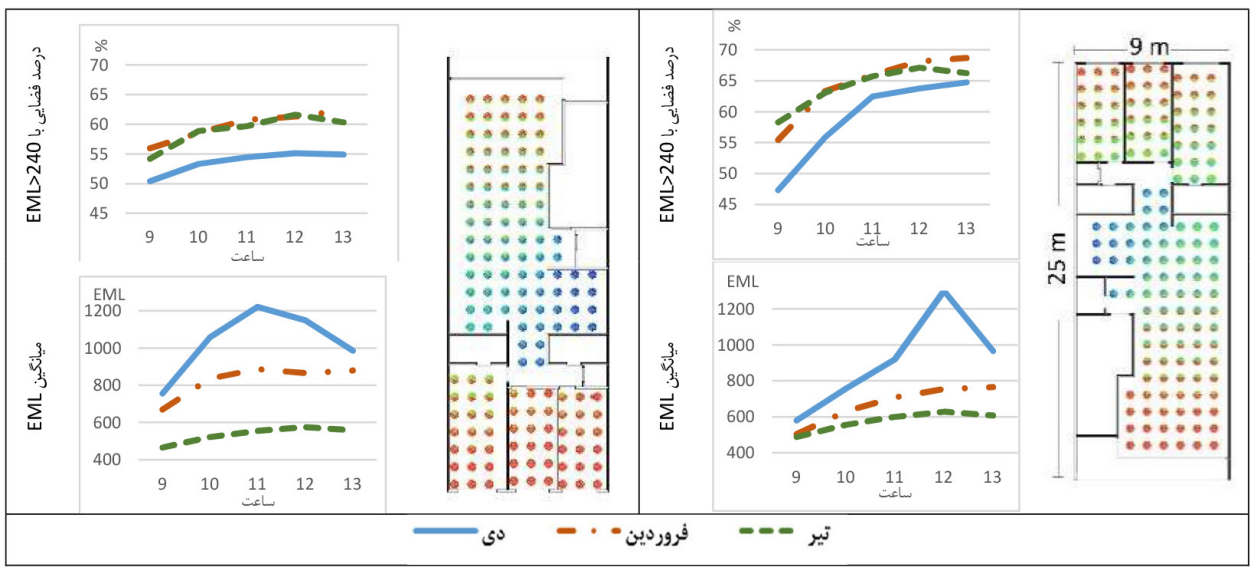
تصویر ۸- تحلیل تأثیر تقسیم‌بندی فضا با نمای یک‌طرفه شمالی و جنوبی بر میزان *EML* (جهت شمال در پلان ها به سمت بالا است).

در ادامه به بررسی تأثیر متغیر تقسیم‌بندی فضایی در مقایسه با فضاهای یکپارچه و بزرگ در طراحی پلان مسکونی پرداخته می‌شود. در این مدل‌سازی، به تحلیل مقایسه‌ای جانمایی فضاهای کوچک و بزرگ همچون اتاق‌های خواب و نشیمن در دو جهت جغرافیایی شمال و جنوب پرداخته شده است. به این منظور، سه اتاق به‌صورت جداگانه در کنار یک فضای بزرگ که ابعاد آن با مجموع مساحت سه اتاق برابری دارد، در نظر گرفته شده است. مقادیر *EML* در ۴ جهت مختلف در تمام نقاط شبکه در پلان فضاها در سه تاریخ مختلف (اولین روزهای دی، فروردین و تیر) از ساعت ۹ الی ۱۳ اندازه‌گیری شده است. تحلیل این مقایسه در تصویر (۸) نشان می‌دهد که با کاهش ابعاد فضا، میزان *EML* در داخل محیط نیز کاهش می‌یابد. بااین‌وجود، در نماهای جنوبی این کاهش مشهودتر است و در نماهای شمالی تأثیر کم‌تری دارد. اما مهم‌ترین نکته آن است که در نماهای شمالی، مساحتی از محیط به‌اندازه کافی نور حداقل ۲۴۰ *EML* را دریافت نمی‌کند. علاوه بر این، تحلیل‌ها نشان می‌دهد که در فصل‌های سردسیری، کاهش *EML* به طور قابل‌ملاحظه‌ای اتفاق می‌افتد، درحالی‌که در فصول بهار، تابستان و پاییز، این کاهش تا حدی احساس نمی‌شود که بتواند موجب کاهش ۷۰ درصدی نور دریافتی در فضا شود. باوجوداینکه در اینجا خردبودن فضا در جبهه جنوب نسبت به شمال عملکرد بهتری دارد، اما با درنظرگرفتن پدیده بیش گرمایش و خیرگی نور، نمی‌توان توصیه کرد که فضاهای خرد را در جبهه جنوبی قرار داد؛ بنابراین برای ارائه توصیه دراین‌رابطه نیاز به ادامه پژوهش در مدل‌های بعدی مطرح می‌شود.

لازم به ذکر است که در این بخش از مطالعه، از دو نوع نمودار برای تجزیه و تحلیل نتایج بهره گرفته شده است. نمودار اول که در سمت راست قرار دارد، متوسط مقادیر لوکس ملانوپیک را نمایان می‌سازد و به‌منظور بهبود درک از میزان روشنایی ملانوپیک در فضا مورداستفاده قرار می‌گیرد. نمودار دوم نیز در سمت چپ قرار دارد و درصد فضایی بالای ۲۴۰ لوکس ملانوپیک را نمایش می‌دهد که بر اساس روش سنجش تأثیر شبانه‌روزی نور در فضا در سیستم استاندارد سلامت ساختمان وِل تنظیم شده است؛ بنابراین در مواردی مانند ۹ صبح در حالت ۳ اتاق نمای جنوب تفاوت محسوس‌تری را در کاهش این میزان در نمودار سمت چپ مشاهده می‌کنیم. به‌طورکلی و باتوجه‌به سیستم استاندارد سلامت ساختمان وِل، نمودار سمت چپ در تحلیل نتایج کلی پژوهش اهمیت بیشتری دارد.

در اکثر پلان‌های مسکونی که در مناطق شهری قرار دارند و به دلیل نورگیری مناسب زمین، از دو جهت شمال و جنوب خانه استفاده می‌شود، گام اول در فرایند طراحی پلان، جانمایی اتاق‌خواب‌ها و فضای پذیرایی است. در بررسی‌های انجام شده، معمولاً در این پلان‌ها یک الگوی مشترک وجود دارد که بر اساس آن اتاق‌ها در یک جهت و فضای پذیرایی در جهت دیگر از یکدیگر قرار می‌گیرند. بااین‌حال، توصیه‌ها و مقررات دقیقی از جهت دریافت نور روز در مورد این مسئله وجود ندارد. به‌عبارت‌دیگر، در تصمیم‌گیری برای جانمایی اتاق‌ها و فضای پذیرایی، اهمیت روشنایی به طور مستقیم مدنظر قرار نمی‌گیرد. به‌عبارت‌دیگر، در طراحی خانه‌ها توسط معماران مطرح معاصر، جانمایی اتاق و فضای نشیمن از زاویه روشنایی در اولویت قرار نمی‌گیرد و به‌جای آن، تمرکز بر ایجاد نماهای زیبا و جذاب به طور مستقل از جهت‌های جغرافیایی قرار دارد. به‌عبارت‌دیگر، در خانه‌های شمالی کوچه‌های تهران، نشیمن در نمای جنوبی قرار می‌گیرد، درحالی‌که در خانه‌های جنوبی کوچه‌های تهران، نشیمن در نمای شمالی طراحی می‌شود. به همین دلیل، در این پژوهش به مقایسه اثرات این دو نوع پلان باتوجه‌به تأثیرات ریتم شبانه‌روزی بر ساکنان این خانه‌ها می‌پردازیم.

باتوجه‌به تصویر (۹)، پلان‌هایی که در آن نشیمن در جهت جنوب و اتاق‌ها در جهت شمال قرار دارند، به‌طورکلی نمودار عملکرد بهتری را در تمامی روزهای سال نشان می‌دهد. در این نوع خانه‌ها، میزان لوکس ملانوپیک (EML) در فصل اعتدالین به جز ساعت ۹ صبح به بهترین شکل دریافت می‌شود. از سوی دیگر، در خانه‌هایی که جانمایی نشیمن در جهت شمال قرار دارد، همگام‌سازی ریتم بدن انسان در تابستان بهتر انجام می‌شود. برای هر دو نوع پلان، با اینکه میانگین *EML* دریافتی در زمستان به دلیل زاویه خورشید به چشم بیشتر است، اما میزان شدت نور قوی در تابستان باعث می‌شود که در تابستان و اوقات اعتدالین نتایج بهتری در تطابق با نیاز به حداقل ۲۴۰ *EML* برای همگام‌سازی ریتم بدن



تصویر ۹- تحلیل تأثیر جانمایی فضای اتاق‌خواب‌ها و نشیمن در نمای دوطرفه بر میزان *EML* (جهت شمال در پلان‌ها به سمت بالا است).

انسان ارائه دهد.

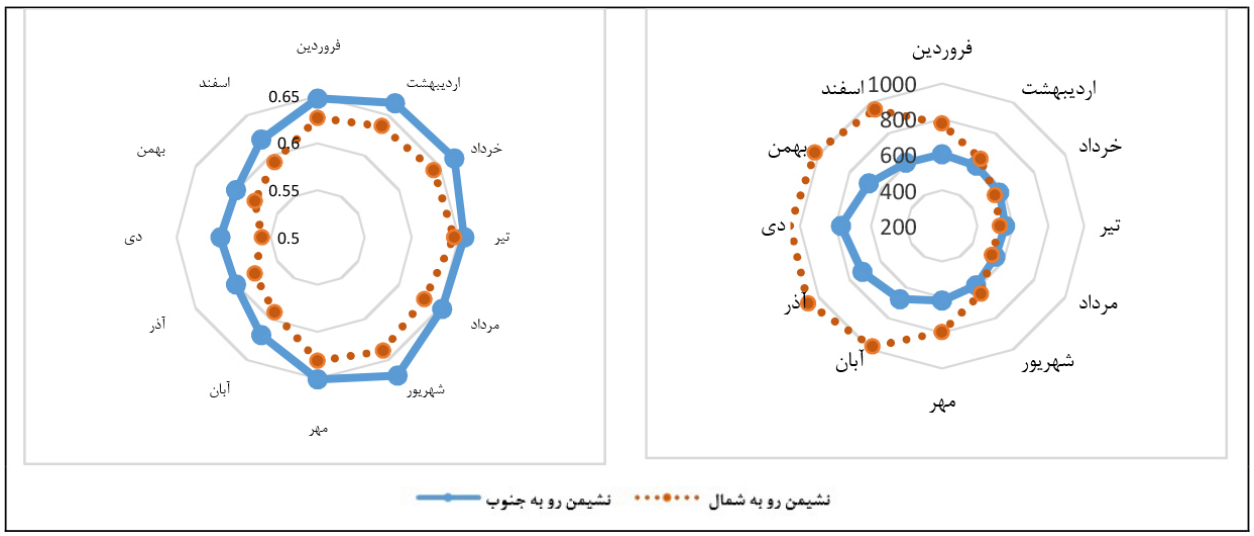
برای انجام مقایسه عملکرد کلی این دو مدل، در تصویر (۹)، ساعت ۱۰ صبح به‌عنوان زمان اصلی هوشیاری برای تنظیم چرخه بدن انتخاب شد (Valdez, 2019, 86). سپس در یک شبیه‌سازی مجزا، میزان *EML* دریافتی در تمام روزهای سال شبیه‌سازی و مقایسه شد. نتایج به‌دست‌آمده از این مقایسه در تصویر (۱۰) نمایش‌داده‌شده است. تحلیل نتایج نشان می‌دهد که علی‌رغم میانگین بیشتر نور در خانه‌هایی که نشیمن در جهت شمال قرار دارد، خانه‌هایی که نشیمن در جهت جنوب و اتاق‌ها در جهت شمال قرار دارند، از نظر همگام‌سازی ریتم شبانه‌روزی بدن، تأثیرات مثبتی دارند.

تفاوت عملکرد بین این دو فضا در نمودار سمت راست و نمودار سمت چپ در تصویر (۱۰)، ناشی از عملکرد بهتر فضای میانی خانه در گزینه نشیمن به سمت جنوب در نمودارهای درصدی بالای ۲۴۰ لوکس ملانوپیک است. ویژگی عمق نفوذ نور در فصل زمستان باعث می‌شود که فضاهای با عمق بیشتر، درصدی بیشتر از مساحت خود را با دریافت میزان کمینه موردنیاز از *EML* داشته باشند. درحالی‌که شدت نور و زاویه نور در تابستان میانگین نوری خانه را بالا می‌برد؛ اما کمک کم‌تری به همگام‌سازی ریتم بدن افراد در فضاهای میانی خانه می‌کند.

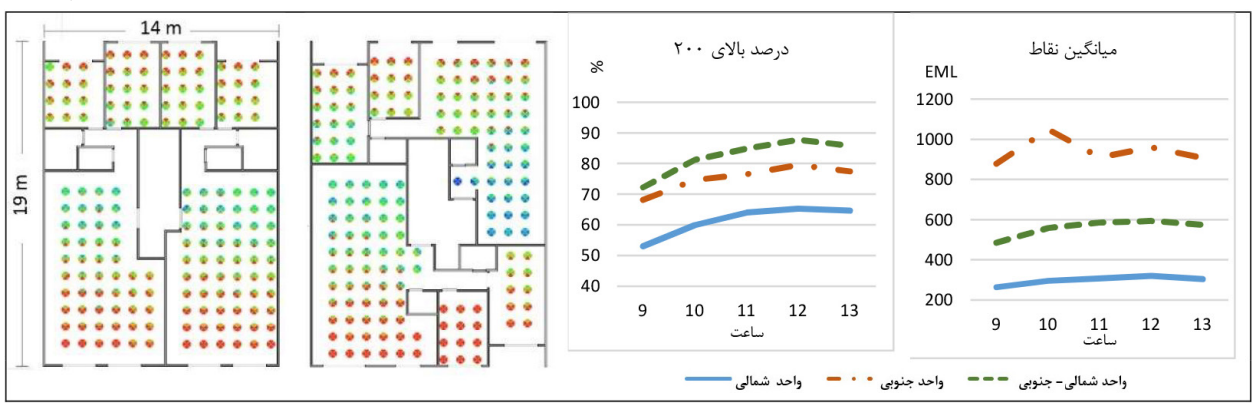
پس از ارزیابی نمودارهای مربوط به پلان‌های متداول آپارتمان‌های متداول تهران که در هر طبقه دو واحد را شامل می‌شود، نویسنده با یک پرسش جدید در این مطالعه مواجه گردید. دو تیپ مختلف برای جانمایی این واحدها وجود دارد؛ تیپ اول شامل دو واحد با نمای دوطرفه است که به‌عنوان "واحد شمالی - جنوبی" (معمولاً با عبارت اتوبوسی) در تصویر (۱۱) نشان‌داده‌شده است. تیپ دوم شامل دو واحد با نمای یک‌طرفه است؛ یک واحد با نمای شمالی (معمولاً با عبارت پشت به آفتاب) و دیگری با نمای جنوبی (معمولاً با عبارت روبه آفتاب) نام‌گذاری شده‌اند. پس از انجام تجزیه و تحلیل بر تأثیر جانمایی این واحدها، نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه نشان می‌دهد که واحدهای با نمای شمالی - جنوبی (معمولاً با عبارت اتوبوسی) دارای تأثیر بهتری در همگام‌سازی ریتم شبانه‌روزی ساکنان خود نسبت به واحدهای با نمای جنوبی یا شمالی در طی سال هستند

صحت‌سنجی

به‌منظور تأیید و صحت سنجی داده‌های خروجی از شبیه‌سازی کامپیوتری، دو پلان مسکونی در تهران انتخاب و برداشت میدانی شد. در یکی از واحدها فضای اتاق‌خواب و دیگری فضای نشیمن به‌منظور اندازه‌گیری روشنایی در محل با استفاده از دستگاه لوکس متر انتخاب شد. برای سنجش میزان روشنایی در محل‌ها، از دستگاه نورسنج لوکس متر مدل TES-1399 با دامنه اندازه‌گیری از ۰/۰۱ تا ۹۹۹۹۰۰ لوکس و دقت قرائت ۰/۰۱ لوکس، مطابق تصویر (۱۲) استفاده شده است.



تصویر ۱۰ - مقایسه‌ی میزان *EML* در بازه‌ی سالانه برای دو پلان در تصویر ۹؛ میانگین مقدار *EML* در سمت راست و درصد فضایی با مقدار *EML* بیش از ۲۴۰ در سمت چپ.



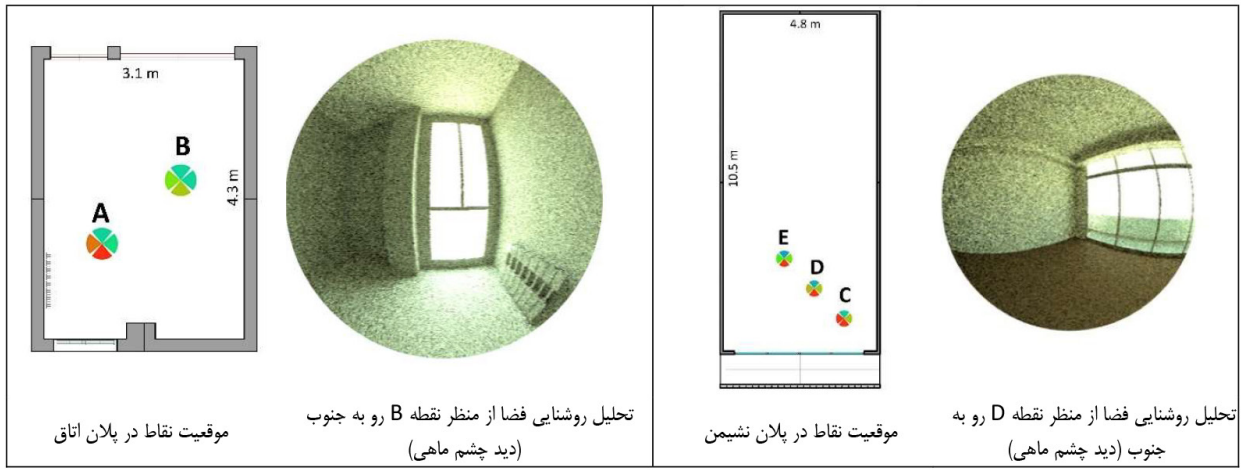
تصویر ۱۱ - مقایسه میزان *EML* در دو مدل جانمایی دو واحد در طبقه (جهت شمال در پلان‌ها به سمت بالا است).

تصویر ۱۲ - اندازه‌گیری روشنایی (به واحد لوکس) در فضای مسکونی.

اندازه‌گیری‌ها مطابق با تصویر (۱۳)، برای فضای اتاق در هر ۲ نقطه، در ۴ جهت و در ۵ ساعت ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۳ در دو روز ۵ و ۶ خردادماه ۱۴۰۲ انجام شد. اندازه‌گیری‌ها برای فضای نشیمن در ۳ نقطه و ۴ جهت و در ۵ زمان ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۳ در دو روز ۷ و ۸ خردادماه ۱۴۰۲ صورت گرفت. در این آزمایش، میزان روشنایی به‌صورت ۲۰۰ عدد در نظر گرفته شد که توسط اندازه‌گیری‌های میدانی ثبت و جمع‌آوری شد. مهم‌ترین مرحله پس از اندازه‌گیری‌ها، مقایسه و بررسی ۲۰۰ مقدار روشنایی در زمان و مکان مشخص شده است. این مقادیر با مشخصات جغرافیایی و زمانی اندازه‌گیری‌های میدانی، از نرم‌افزار خروجی گرفته شدند.

در ادامه، اختلاف‌های موجود بین مقادیر به‌دست‌آمده و مقادیر واقعی بررسی خواهند شد. اهمیت این اختلاف‌ها بر اساس شرایط خاص هر نقطه و محیط داخلی مورد تأکید است. به‌عنوان‌مثال، اختلاف ۵۰ لوکس در دو نقطه‌ای که مقدار واقعی آنها به ترتیب ۷۰ و ۹۵۰ لوکس است، تأثیرات متفاوتی خواهد داشت. به‌منظور نمایش دقیق‌تر این اختلاف‌ها، مقادیر به‌دست‌آمده از اختلاف‌ها را به‌ازای هر مقدار اصلی روشنایی محاسبه کرده و آنها را به‌صورت درصدی نسبت به مقدار اصلی بیان شده است.

مجموع ۲۰۰ مقدار به‌عنوان درصد اختلاف نسبت به روشنایی محیط در تصویر (۱۴) نمایش‌داده‌شده است. اغلب این ارقام در نمودار به شکل منفی ظاهر شده‌اند، زیرا اکثر مقادیر واقعی در نقاط از مقادیر خروجی نرم‌افزار کم‌تر بوده است. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و مقایسه ۲۰۰ مقدار ثبت شده در محیط با ۲۰۰ مقدار خروجی نرم‌افزار، از نرم‌افزار اکسل بهره‌برداری شد. میانگین اختلاف این ۲۰۰ مقدار معادل ۳۰ لوکس محاسبه شد. همچنین، میانگین درصد اختلاف نسبت به مقدار واقعی روشنایی ۰/۰۷ (بدون واحد) بود.



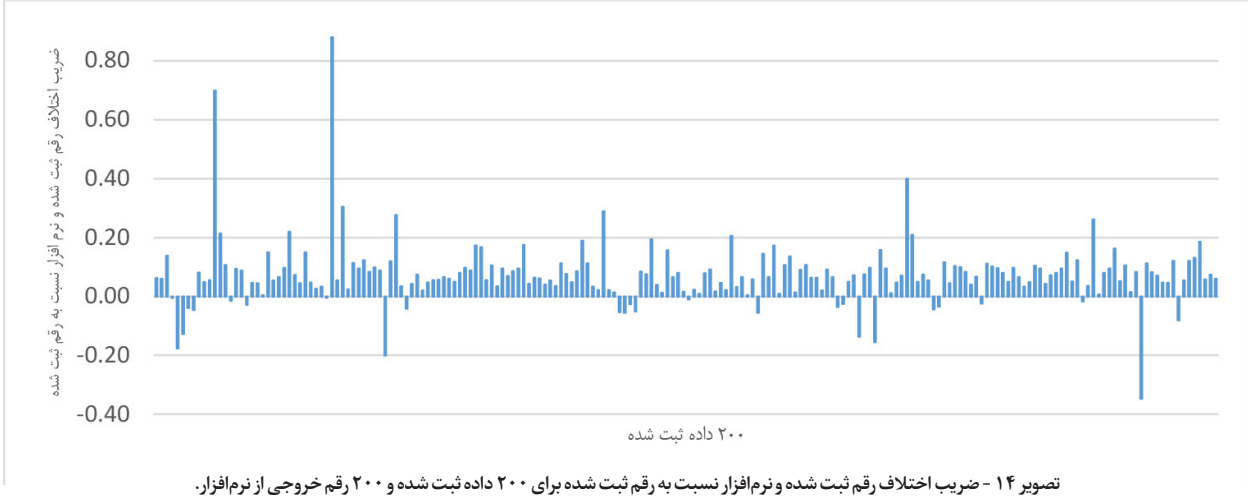
تحلیل روشنایی فضا از منظر نقطه D رو به جنوب (دید چشم ماهی)

موقعیت نقاط در پلان نشیمن

تحلیل روشنایی فضا از منظر نقطه B رو به جنوب (دید چشم ماهی)

موقعیت نقاط در پلان اتاق

تصویر ۱۳ - موقعیت نقاط و ۴ جهت هر نقطه در پلان فضای اتاق و نشیمن (جهت شمال در پلان ها به سمت بالا است).



تصویر ۱۴ - ضریب اختلاف رقم ثبت شده و نرم‌افزار نسبت به رقم ثبت شده برای ۲۰۰ داده ثبت شده و ۲۰۰ رقم خروجی از نرم‌افزار.

نتیجه

برای اندازه‌گیری پراکندگی داده‌ها، انحراف معیار برای مقایسه ۲۰۰ مقدار محاسبه شد که معادل ۰٫۱۰۸ است. این مقدار باتوجه‌به دقت موردنیاز برای اندازه‌گیری نور محیط، به‌خوبی مقبولیت دارد. همچنین، واریانس تجمعی با مقدار ۰٫۰۱۱۸ محاسبه شد. این واریانس به‌دست‌آمده نیز مقبولیتی واضح برای اعتماد به داده‌های خروجی نرم‌افزار را نشان می‌دهد.

با افزایش شواهدی مبنی بر اهمیت تأثیر نور بر همگام‌سازی ریتم شبانه‌روزی بدن و سلامت ساکنین خانه‌ها، برای طراحان مهم است که توصیه‌ها و راهنمایی‌هایی برای طراحی واحدهای مسکونی باتوجه‌به اثرات غیربصری نور داشته باشند. توصیه‌های طراحی به‌منظور بهبود عملکرد همگام‌سازی چرخه شبانه‌روزی بدن مطابق با چرخه شبانه‌روزی محیط اطراف، برای پلان‌های متداول تهران با منظور نمودن ضوابط شهرداری و محدودیت‌های مرتبط، عبارت‌اند از:

- عمیق‌کردن فضای داخلی منجر به کاهش درصد فضایی مطلوب می‌گردد. در نمای جنوبی، این امر تأثیر کم‌تری دارد، اما در نمای شمالی، ممکن است منجر به نامطلوب‌بودن فضا شود؛ بنابراین، عمیق‌بودن فضا در جبهه شمالی توصیه نمی‌شود؛
- تقسیم‌بندی و خردکردن ابعاد فضای داخلی منجر به کاهش *EML* دریافتی در افراد می‌گردد؛
- در خانه‌هایی که دارای نمای دوطرفه شمالی و جنوبی هستند، مناسب است که فضای نشیمن به سمت جنوب و اتاق‌ها به سمت شمال قرار گیرند؛
- در آپارتمان‌هایی که هر طبقه دارای دو واحد مسکونی است، تقسیم‌بندی واحدها به دو واحد کشیده با نمای دوطرفه و نمای شمالی - جنوبی مناسب‌تر به نظر می‌رسد.

پی‌نوشت‌ها

1. Intrinsically Photosensitive Retinal Ganglion Cell.
2. Building Environment Design - Indoor Environment - Design Process for The Visual Environment.
3. Spatial Daylight Autonomy.
4. Annual Sunlight Exposure.
5. Maximum Daylight Autonomy.
6. Equivalent Melanopic Lux.
7. Suprachiasmatic Nucleus.
8. Circadian Stimulus.

فهرست منابع

خاقانپور شاهرضایی، ریحانه؛ خوئی، حمیدرضا (۱۳۹۶)، نسبت امروز و گذشته در آثاری از معماری مسکونی معاصر تهران، نشریه *هنرهای زیبا: معماری و شهرسازی*، ۲۲(۱)، ۸۹-۱۰۴.

مهاجرمیلانی، آزاده؛ عینی‌فر، علیرضا (۱۳۹۶)، تأثیر ضابطه ۲+٪۶۰ بر مسکن ردیفی متداول تهران، نشریه *هنرهای زیبا: معماری و شهرسازی*، ۱۶(۴۸)، ۴۹-۶۴.

مهاجرمیلانی، آزاده؛ عینی‌فر، علیرضا (۱۳۹۹)، نقش ضوابط در تحولات مسکن تهران. *نشریه هنرهای زیبا: معماری و شهرسازی*، ۲۵(۴)، ۳۱-۴۱.

Amundadottir, A. B., et al. (2013). Modeling non-visual responses to light: unifying spectral sensitivity and temporal characteristics in a single model structure. *In Proceedings of the CIE Centenary Conference "Towards a New Century of Light"* (pp. 101–110). Paris, France.

Amundadottir, M., Lockley, S., & Andersen, M. (2017). Unified framework to evaluate non-visual spectral effectiveness of light for human health. *Lighting Research & Technology*, *49*(6), 673–696. https://doi.org/10.1177/1477153516655844

Andersen, M., Mardaljevic, J., & Lockley, S. W. (2012). A framework for predicting the non-visual effects of daylight - Part I: photobiology-based model. *Lighting Research & Technology*, *44*(1), 37–53. https://doi.org/10.1177/1477153511435961

Brown, T., Brainard, G., & Cajochen, C. (2022). Recommendations for daytime, evening, and nighttime indoor light exposure to best support physiology, sleep, and wakefulness in healthy adults. *PLOS Biology*, *20*, e3001571. https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3001571

Dai, Q., Huang, Y., Hao, L., Lin, Y., & Chen, K. (2018). Spatial and spectral illumination design for energy-efficient circadian lighting. *Building Environment*, *146*, 216–225. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.10.004

Figueiro, M., Kassandra, G., & David, P. (2016). Designing with Circadian Stimulus. *Lighting Design and Applications (LD+A),* 30–33.

Gamboa Madeira, S., Reis, C., & Paiva, T. (2021). Social jetlag, a novel predictor for high cardiovascular risk in blue-collar workers following permanent atypical work schedules. *Journal of Sleep Research, 30*. https://doi.org/10.1111/jsr.13380

Gochenour, S., & Andersen, M. (2009). Circadian Effects of Daylighting in a Residential Environment. In Proceedings LuxEuropa 2009. *Turkish National Committee on Illumination (ATMK).*

International WELL Building Institute. (2020). *WELL Building Standard: Version 2020*. New York: International WELL Building Institute.

Khalsa, S. B. S., Jewett, M. E., Cajochen, C., & Czeisler, C. A. (2003). A phase response curve to single bright light pulses in human subjects. *Journal of Physiology, 15*, 945–952. https://doi.org/10.1113/jphysiol.2003.040477

Konis, K. (2017). A novel circadian daylight metric for building design and evaluation. *Building Environment, 113*, 22–38. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.025

Pechacek, C. S. (Assoc. AIA), Andersen, M., & Lockley, S. W. (2008). Preliminary Method for Prospective Analysis of the Circadian Efficacy of (Day)Light with Applications to Healthcare Architecture. *LEUKOS, 5*(1), 1–26. https://doi.org/10.1080/15502724.2008.10747625

Light Exposure Dynamically Enhances Brain Responses. *Current Biology, 16*, 1616–1621. https://doi.org/10.1016/j.cub.2006.06.031

Wehr, T. A., Aeschbach, D., & Duncan, W. C. Jr. (2001). Evidence for a biological dawn and dusk in the human circadian timing system. *Journal of Physiology, 535*(3), 937–951. https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2001.t01-1-00937.x

Yamakawa, M., Tsujimura, S., & Okajima, K. (2019). A quantitative analysis of the contribution of melanopsin to brightness perception. *Scientific Reports, 9*, 7568. https://doi.org/10.1038/s41598-019-44035-3

Ruger, M., Gordijn, M. C., Beersma, D. G., de Vries, B., & Daan, S. (2006). Time-of-day-dependent effects of bright light exposure on human psychophysiology: Comparison of daytime and nighttime exposure. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology, 290*(5), R1413–R1420. https://doi.org/10.1152/ajpregu.00121.2005

U.S. Environmental Protection Agency. (2006). *Report to Congress on indoor air quality: Volume 2*. EPA/400/1-89/001C. Washington, DC.

Valdez, P. (2019). Circadian Rhythms in Attention. *Yale Journal of Biology and Medicine, 92*(1), 81–92.

Vandewalle, G., Balteau, E., Phillips, C., et al. (2006). Daytime