فصلنامه علمی-پژوهشی
جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)
سال دوازدهم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱
صص: ۱۲۰۷-۱۱۸۹

بهینه‌سازی بهره‌گیری از انرژی خورشیدی در طراحی نورگیرهای ساختمانی با تأکید بر شرایط اقلیمی شهر کرج

سعید شهریان ورنوسفادرانی

گروه معماری، واحد پرفسور حسابی تفرش، دانشگاه آزاد اسلامی، تفرش، ایران.

سید بهشید حسینی[۲۰]

گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر ایران، تهران، ایران

محمد بهزادپور

گروه معماری، واحد هشتگرد، دانشگاه آزاد اسلامی، هشتگرد، ایران

تاریخ دریافت:۱۴۰۱/۰۱/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۱۹

چکیده

تأمین نور طبیعی در فضاهای مسکونی یکی از مؤلفه‌های بنیادین کیفیت محیطی، آسایش بصری، بهره‌وری انرژی و سلامت ساکنان است. در مبحث چهارم مقررات ملی ساختمان، نورگیرها عمدتاً بر اساس حداقل‌های هندسی مانند مساحت و عرض تعریف می‌شوند، در حالی که عملکرد واقعی آن‌ها به جهت‌گیری، ارتفاع طبقه و زاویه تابش خورشید وابسته است. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی کارایی نورگیر ۳×٤ متر در اقلیم کرج و با تکیه بر روش نقاله خورشیدی انجام شده است. لذا سؤال اصلی پژوهش این است که نورگیر ۳×٤ متر منطبق با مبحث چهارم در اقلیم کرج، در جهات و طبقات مختلف چه میزان تابش مستقیم دریافت می‌کند و آیا ضابطه هندسی موجود تأمین نور روز را تضمین می‌کند؟روش تحقیق کاربردی و توصیفی-تحلیلی با رویکرد کمی و ارزیابی عملکرد است. ابزار اصلی تحقیق نقاله خورشیدی و نمودار مسیر خورشید متناسب با عرض جغرافیایی کرج است که ساعات تابش مستقیم سالانه نورگیر در جهات و طبقات مختلف با آن محاسبه شد.یافته‌ها نشان داد بیشترین کارایی در جهت جنوبی طبقه سوم با ۲٦۱۵ ساعت تابش سالانه است، در حالی که این مقدار در جهت شرق به ۱۰٤۸ ساعت و در طبقه اول به ۹۵ ساعت کاهش می‌یابد. در جهات جنوب‌شرقی و جنوب‌غربی نیز عملکرد به‌شدت تابع جهت و طبقه است. نتایج ضرورت گذار از رویکرد تجویزی صرفاً هندسی به رویکرد عملکردمحور و بازنگری ضوابط مبحث چهارم با تکیه بر شبیه‌سازی نور روز را نشان می‌دهد.

کلیدواژگان: ***نورگیر، نقاله خورشیدی، آسایش محیطی، کرج.***

♦. نویسنده مسئول: behshid_hosseini@art.ac.ir

مقدمه

تأمین نور طبیعی در ساختمان‌های مسکونی یکی از مسائل اساسی طراحی معماری است که تحت تأثیر شرایط محیطی، موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های کالبدی ساختمان قرار دارد. همچنین نور طبیعی یکی از مؤلفه‌های مهم در طراحی معماری ساختمان‌هاست که بر کیفیت محیط داخلی، آسایش بصری و میزان وابستگی به روشنایی مصنوعی تأثیر می‌گذارد. بهره‌گیری مناسب از این منبع طبیعی نیازمند توجه به عواملی مانند موقعیت جغرافیایی، جهت‌گیری ساختمان، هندسه فضا و ابعاد بازشوهاست. علاوه بر این، مقایسه داده های این تحلیل ها نشان می دهد که نسبت به کاررفته در سطح نورگیرها در حدود ۱۹.۲۰٪ مساحت کف اتاق و جهت غالب نورگیری از جبهه جنوبی بوده است.(هاشمی و بمانیان،۱٤۰۲: ۷تا۲۳)«رینهارت و همکاران» [1]با بررسی شاخص‌های پویای نور روز، بر اهمیت تغییرات زمانی و شرایط محیطی در ارزیابی عملکرد روشنایی طبیعی ساختمان‌ها تأکید کرده‌اند(Reinhart et al,2006).در ساختمان‌های مسکونی واقع در بافت‌های متراکم شهری، محدودیت سطح زمین و افزایش تعداد طبقات، تأمین نور طبیعی برای فضاهای داخلی را با چالش‌هایی مواجه می‌کند. در چنین شرایطی، نورگیرها و پاسیوها از راهکارهای متداول برای تأمین نور و تهویه فضاهای محصور محسوب می‌شوند. بااین‌حال، عملکرد این عناصر صرفاً به مساحت افقی آن‌ها وابسته نیست و عواملی مانند ارتفاع جداره‌ها، نسبت ابعاد، موقعیت پنجره‌ها و جهت‌گیری جغرافیایی نیز در میزان دسترسی به نور طبیعی نقش دارند. در ساختمان مورد مطالعه، گزینه های مختلف در شکل پاسیو، ابعاد آن و نیز مصالح مورد استفاده در دیواره های آن دسته بندی و مورد ارزیابی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. (میری و کمپانی سعید، ۱۳۹۳: ۱۰۹)مطالعات انجام‌شده درباره آتریوم‌ها نشان می‌دهد که تغییرات هندسی فضاهای میانی می‌تواند عملکرد روشنایی و انرژی ساختمان را تحت تأثیر قرار دهد (Aldawoud, 2013,5).

در ایران، مبحث چهارم مقررات ملی ساختمان با عنوان «الزامات عمومی ساختمان»، ضوابط مشخصی برای طراحی حیاط‌های خلوت و پاسیوها ارائه کرده است. مطابق بند ٥-۳-۸-٥-٤ ویرایش سوم این مبحث، در ساختمان‌های گروه ۱ تا ٥، حیاط‌های خلوت یا پاسیوهایی که برای تأمین نور و تهویه فضاهای اقامت یا اشتغال در طبقات پیش‌بینی می‌شوند، با رعایت شرایط و استثناهای مقرر، باید حداقل ۱۲ مترمربع مساحت و ۳ متر عرض داشته باشند (دفتر تدوین مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹٦). با وجود اهمیت این ضوابط، رعایت حداقل ابعاد هندسی به‌تنهایی نمی‌تواند مدت دریافت تابش مستقیم خورشید در طبقات و جهت‌گیری‌های مختلف را مشخص کند.نتایج نشان می دهد که اندازه مورد نیاز پاسیوها برای ساختمان های پنج طبقه حداقل ۷ × ٦ متر مربع است. همچنین، ابعاد ارائه شده برای ساختمان های چهار طبقه در مبحث چهارم مقررات ملی پاسخگوی حداقل نیازهای روشنایی ساکنان نیست. این ابعاد باید حداقل ٦/٥ × ٥/٥ متر مربع در نظر گرفته شود. (عادل‌نسب و تیمورتاش،۱٤۰۳: ۱۱۰)

از دیدگاه هندسه خورشیدی، موقعیت خورشید نسبت به ساختمان در ساعات روز و فصل‌های مختلف تغییر می‌کند. در نتیجه، امکان ورود تابش مستقیم به پنجره‌های مجاور نورگیر تابعی از زاویه ارتفاع و سمت خورشید، جهت‌گیری پنجره و موانع

[1] Reinhart et al.

ایجادشده توسط جداره‌های نورگیر است. با افزایش عمق مؤثر نورگیر و قرارگیری پنجره در طبقات پایین‌تر، بخش بیشتری از مسیر دید مستقیم به خورشید ممکن است توسط جداره‌های اطراف مسدود شود.یکی از روش‌های بررسی این موضوع، تحلیل هندسی مسیر حرکت ظاهری خورشید با استفاده از نقاله خورشیدی است. در این روش، با توجه به موقعیت جغرافیایی، زاویه ارتفاع و سمت خورشید و موانع هندسی ساختمان، می‌توان بازه‌های زمانی دسترسی به تابش مستقیم را شناسایی کرد. البته دریافت تابش مستقیم تنها یکی از جنبه‌های عملکرد نور طبیعی است و نباید آن را معادل تأمین کامل روشنایی روز دانست؛ زیرا نور پراکنده آسمان و بازتاب سطوح نیز در روشنایی فضاهای داخلی مؤثرند(European Committee for Standardization [CEN],2018).پژوهش حاضر با تمرکز بر نورگیر ۳×٤ متر در موقعیت جغرافیایی شهر کرج، به بررسی تأثیر جهت‌گیری جغرافیایی و ارتفاع قرارگیری پنجره‌ها بر مدت دریافت تابش مستقیم خورشید می‌پردازد. هدف اصلی، مقایسه عملکرد نورگیر در ۱۲ جهت و چهار تراز ساختمانی با استفاده از نقاله خورشیدی و بررسی نتایج در ارتباط با حداقل ضوابط هندسی مبحث چهارم مقررات ملی ساختمان است. این بررسی می‌تواند به شناخت محدودیت‌های ارزیابی صرفاً هندسی نورگیر و ارائه توصیه‌های کاربردی برای طراحی ساختمان‌های مسکونی کمک کند.این اختلاف‌های گزارش‌شده، ضرورت بررسی دقیق ارتباط میان جهت‌گیری جغرافیایی، ارتفاع طبقات و مدت دسترسی به تابش مستقیم خورشید را مطرح می‌کنند.از سوی دیگر، باید میان دریافت تابش مستقیم خورشید و تأمین روشنایی روز تمایز قائل شد. نبود تابش مستقیم لزوماً به معنای فقدان روشنایی طبیعی نیست؛ زیرا نور پراکنده آسمان و بازتاب سطوح نیز در روشنایی فضاهای داخلی نقش دارند. بنابراین، تحلیل نقاله خورشیدی در این پژوهش به‌عنوان ابزاری برای بررسی امکان و مدت دریافت تابش مستقیم مورد استفاده قرار می‌گیرد و نتایج آن به‌تنهایی معادل سنجش کامل کیفیت روشنایی روز تلقی نمی‌شود.با توجه به مطالب فوق، مسئله اصلی پژوهش حاضر آن است که نورگیر ۳×٤ متر در شرایط هندسی تعریف‌شده و در موقعیت جغرافیایی شهر کرج، با تغییر جهت‌گیری و طبقه قرارگیری پنجره، چه تفاوتی در مدت دریافت تابش مستقیم خورشید ایجاد می‌کند و این تفاوت چه محدودیت‌هایی را در ارزیابی نورگیر صرفاً بر اساس حداقل ابعاد هندسی آشکار می‌سازد؟

اهمیت و ضرورت پژوهش

اهمیت پژوهش حاضر را می‌توان از ابعاد معماری، اقلیمی، فنی و مقرراتی مورد بررسی قرار داد.نورگیرها از عناصر مؤثر در سازمان‌دهی فضاهای داخلی ساختمان‌های مسکونی محسوب می‌شوند. طراحی نامناسب آن‌ها ممکن است موجب محدودشدن دسترسی برخی پنجره‌ها به تابش مستقیم خورشید شود. ازاین‌رو، شناخت ارتباط میان ابعاد نورگیر، ارتفاع ساختمان و جهت‌گیری جغرافیایی می‌تواند به تصمیم‌گیری آگاهانه‌تر معماران در مرحله طراحی کمک کند.مسیر حرکت ظاهری خورشید در آسمان تابع موقعیت جغرافیایی و زمان است. بنابراین، بررسی نورگیر بدون توجه به موقعیت خورشید در ساعات و ماه‌های مختلف سال، تصویر کاملی از فرصت دریافت تابش مستقیم ارائه نمی‌دهد. استفاده از نقاله خورشیدی در این پژوهش امکان تحلیل هندسی این تغییرات را فراهم می‌کند.مبحث چهارم مقررات ملی ساختمان، چارچوبی برای رعایت حداقل‌های هندسی

و سایر الزامات نورگیری فراهم کرده است. بااین‌حال، مطالعه تفاوت عملکرد نورگیرهای هم‌اندازه در جهت‌ها و طبقات مختلف می‌تواند ضرورت توجه تکمیلی به معیارهای عملکردی را نشان دهد.استاندارد EN 17037 نیز بر ارزیابی جنبه‌های مختلف نور روز، از جمله مواجهه با نور خورشید، تأکید دارد (CEN, 2018). از این منظر، بررسی مدت تابش مستقیم می‌تواند یکی از اجزای ارزیابی عملکرد نورگیر باشد، هرچند جایگزین سایر شاخص‌های روشنایی روز نیست.در طراحی ساختمان‌های مسکونی، انتخاب ابعاد نورگیر معمولاً با محدودیت‌هایی مانند مساحت زمین، سطح اشغال و تعداد طبقات همراه است. نتایج این پژوهش می‌تواند به طراحان کمک کند تا در کنار رعایت ضوابط، اثر جهت‌گیری و موقعیت پنجره‌ها را نیز در نظر بگیرند.در مجموع، ضرورت انجام پژوهش حاضر در شناخت محدودیت‌های عملکرد هندسی نورگیر ٤×٣ متر، بررسی تفاوت مدت تابش مستقیم در جهت‌ها و طبقات مختلف و ارائه توصیه‌های طراحی مبتنی بر تحلیل نقاله خورشیدی است.

پیشینه پژوهش و چارچوب نظری

مطالعات بین‌المللی در حوزه نور روز و نورگیرها نشان می‌دهد که ارزیابی عملکرد نوری باید فراتر از شاخص‌های هندسی صرف انجام شود. استاندارد «EN 17037» تأکید می‌کند که طراحی نور روز باید بر معیارهایی مانند دسترسی به نور روز، دید به بیرون، مواجهه با خورشید و کنترل خیرگی استوار باشد. همچنین گزارش کمیسیون بین المللی روشنایی(CIE 171:2006)بر ارزیابی دقیق مدل‌ها و دقت محاسبات نور تأکید می‌کند. این دو مرجع نشان می‌دهند که طراحی نورگیر باید با منطق عملکردی و شبیه‌سازی دقیق همراه باشد، نه صرفاً با رعایت ابعاد حداقلی.در حوزه هندسه آتریوم و حیاط‌های داخلی، پژوهش‌های متعددی رابطه میان نسبت ارتفاع به عرض و افت کارایی نوری را نشان داده‌اند. برای مثال،«ال داوود» [1]نشان می‌دهد که با افزایش عمق و کاهش نسبت بازشدگی، میزان نور دریافتی در طبقات پایین به‌طور محسوس افت می‌کند(Aldawoud,2013,5).«محسنین و هو» [2] نیز در تحلیل عملکرد نور روز در آتریوم‌ها، به اهمیت شکل هندسی، سطح بازتاب داخلی و موقعیت بازشوها اشاره کرده‌اند. این یافته‌ها در مجموع تأیید می‌کنند که نورگیر، یک سامانه نوری پیچیده است و نمی‌توان آن را صرفاً با حداقل مساحت یا عرض ارزیابی کرد(Mohsenin& Hu,2015,555).«دو و شارپلس» [3]در پژوهش دیگری در سال ۲۰۱۲به طور مشابه تأثیر هندسه پاسیو و ضریب انعکاس سطوح را بر میزان روشنایی دیوارها در یک پاسیو مربع شکل بررسی کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که افزایش ضریب انعکاس دیواره باعث بهبود چشمگیر سطح نور روز بر روی جداره ها می شود و افزایش ضریب انعکاس کف می تواند سطح نور روز بر روی جداره -ها را در ارتفاعات پایین افزایش دهد(Du and Sharples,2012). «بیکر و همکاران» [4]با بررسی و اندازه گیری میزان روشنایی در یک پاسیو مربع شکل، نشان دادند که طبقه همکف عمدتاً نور منعکس شده از دیوار و کف را دریافت می کنند،در حالی که طبقات بالا بیشترین نور را مستقیماً از آسمان دریافت می کنند(Baker et al,2013).مساحت سطوح شفاف در تبادل و جذب حرارتی نقش مهمی داشته و بر جابه‌جایی لایه‌های گرم درون نورگیر دارد.(مفیدی،حسینی و مدی،۱۳۸۹: ۱۰۱)نتایج تحقیق نشان می

[1] Aldawoud.
[2] Mohsenin& Hu.
[3] Du and Sharples.
[4] Baker et al.

دهد که رابطه دقیقی میان سطح نورگذر، ارتفاع تاج پنجره و عمق اتاق و میزان رویت آسمان وجود دارد که می تواند برای پیدا کردن تناسبات نورگیر و عمق اتاق برای بهره گیری از نور روز مورداستفاده قرار گیرد.(موسوی،محمودی،زرندی و طاهباز،۱۳۹۷: ۳٦)در حوزه سلامت نیز، برخی مطالعات در ایران نشان داده‌اند که کمبود نور طبیعی و کاهش مواجهه با نور خورشید، با برخی پیامدهای سلامت از جمله کمبود ویتامین D و اختلالات مرتبط با سبک زندگی شهری ارتباط دارد. بر این اساس، کیفیت نور روز در فضاهای مسکونی، نه فقط از منظر زیبایی‌شناسی بلکه از منظر سلامت عمومی نیز حائز اهمیت است. این چارچوب نظری، مبنای تحلیل حاضر را تشکیل می‌دهد و نشان می‌دهد که ارزیابی نورگیر باید هم‌زمان اقلیمی، هندسی، عملکردی و زیستی باشد.

جدول۱.بررسی پیشینه پژوهش(نگارندگان)

ردیف	منبع	موضوع و هدف پژوهش	روش / رویکرد	یافته کلیدی مرتبط با پژوهش حاضر
۱	EN استاندارد 17037	تدوین معیارهای طراحی نور روز در ساختمان	رویکرد عملکردمحور	طراحی نور روز باید بر چهار معیار دسترسی به نور روز، دید به بیرون، مواجهه با خورشید و کنترل خیرگی استوار باشد، نه صرف ابعاد حداقلی
۲	CIE گزارش 171:2006	ارزیابی دقت مدل‌ها و محاسبات نور	دستورالعمل اعتبارسنجی مدل‌های روشنایی	تأکید بر ارزیابی دقیق مدل‌ها و دقت محاسبات نور؛ ضرورت شبیه‌سازی دقیق همراه با منطق عملکردی
۳	Aldawoud (2013)	بررسی رابطه هندسه آتریوم و عملکرد نوری	مدل‌سازی نسبت ارتفاع به عرض و بازشدگی	با افزایش عمق و کاهش نسبت بازشدگی، میزان نور دریافتی در طبقات پایین به‌طور محسوس افت می‌کند
٤	Mohsenin & Hu (2015)	تحلیل عملکرد نور روز در آتریوم‌ها	تحلیل شکل هندسی، بازتاب و بازشوها	شکل هندسی، سطح بازتاب داخلی و موقعیت بازشوها تعیین‌کننده‌اند؛ نورگیر یک سامانه نوری پیچیده است و با حداقل مساحت قابل ارزیابی نیست
٥	Du & Sharples (2012)	بررسی تأثیر هندسه پاسیو و ضریب انعکاس سطوح در پاسیوی مربع‌شکل	شبیه‌سازی و اندازه‌گیری روشنایی جداره‌ها	افزایش ضریب انعکاس دیواره‌ها بهبود چشمگیر نور روز جداره‌ها را در پی دارد؛ انعکاس کف، نور ارتفاعات پایین را افزایش می‌دهد
٦	Baker et al. (2013)	اندازه‌گیری میزان روشنایی در پاسیوی مربع‌شکل	اندازه‌گیری میدانی در طبقات مختلف	طبقه همکف عمدتاً نور منعکس‌شده از دیوار و کف دریافت می‌کند، در حالی که

				طبقات بالا بیشترین نور را مستقیماً از آسمان می‌گیرند
۷	**مفیدی، حسینی و (۱۳۸۹) مدی**	نقش سطوح شفاف در تبادل حرارتی و نورگیر	بررسی تحلیلی نورگیر	مساحت سطوح شفاف در تبادل و جذب حرارتی و جابه‌جایی لایه‌های گرم درون نورگیر نقش مهم دارد
۸	**موسوی، محمودی، زرندی و طاهباز (۱۳۹۷)**	رابطه سطح نورگذر، ارتفاع تاج پنجره و عمق اتاق	تحلیل تناسبات نورگیر و میزان رویت آسمان	رابطه دقیقی میان سطح نورگذر، ارتفاع تاج پنجره، عمق اتاق و میزان رویت آسمان وجود دارد که مبنای تعیین تناسبات نورگیر و عمق اتاق برای بهره‌گیری از نور روز است

روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از نوع توصیفی-تحلیلی و مبتنی بر تحلیل تابش خورشیدی است که در آن عملکرد نورگیر مرکزی یک ساختمان مسکونی در شهر کرج با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه شمالی از منظر دریافت تابش مستقیم خورشید با استفاده از نمودار مسیر خورشید و نقاله خورشیدی مورد ارزیابی قرار گرفته است. روش نقاله خورشیدی امکان بررسی هندسی مسیر خورشید و موانع تابش را فراهم می‌کند. این روش در صورت تعریف دقیق هندسه، موقعیت پنجره و مراحل محاسبه، می‌تواند برای مقایسه سناریوهای مختلف مورد استفاده قرار گیرد.همچنین مستندسازی و کنترل نتایج اهمیت ویژه‌ای دارد. گزارش CIE 171:2006 بر ضرورت ارزیابی دقت روش‌ها و برنامه‌های محاسبات روشنایی تأکید می‌کند (International Commission on Illumination [CIE], 2006). در این مدل پایه یک نورگیر مستطیلی به ابعاد ٤×۳ متر و مساحت ۱۲ مترمربع با ارتفاع طبقه ۳.۲۰ متر، ارتفاع پنجره ۱۵۰ سانتی‌متر و ارتفاع کف پنجره از کف تمام‌شده ۱۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده و متغیرهای مستقل شامل جهت‌گیری پنجره‌های مشرف به نورگیر در ۱۲ جهت جغرافیایی با فواصل ۳۰ درجه‌ای و موقعیت عمودی آن‌ها در طبقات مختلف، متغیر وابسته شامل میزان ساعات دریافت تابش مستقیم خورشید، و ابعاد نورگیر، تناسبات پنجره و شرایط سایه‌اندازی خارجی به‌عنوان متغیرهای کنترل‌شده تعریف شده‌اند و فرآیند تحلیل از طریق استخراج ساعات شروع و پایان تابش، مدت دسترسی به آفتاب مستقیم و الگوی سایه‌اندازی بدنه نورگیر از روی دیاگرام استریوگرافیک خورشید و مقایسه تطبیقی نتایج میان جهت‌ها و طبقات مختلف انجام شده است تا تأثیر هم‌زمان جهت‌گیری و ارتفاع بر بهره‌مندی از نور مستقیم به‌صورت کمی تبیین گردد.

طبقات و زاویه تابش

در منبع مورد استفاده، محدوده زاویه تابش برای طبقات مختلف به شرح زیر گزارش شده است:

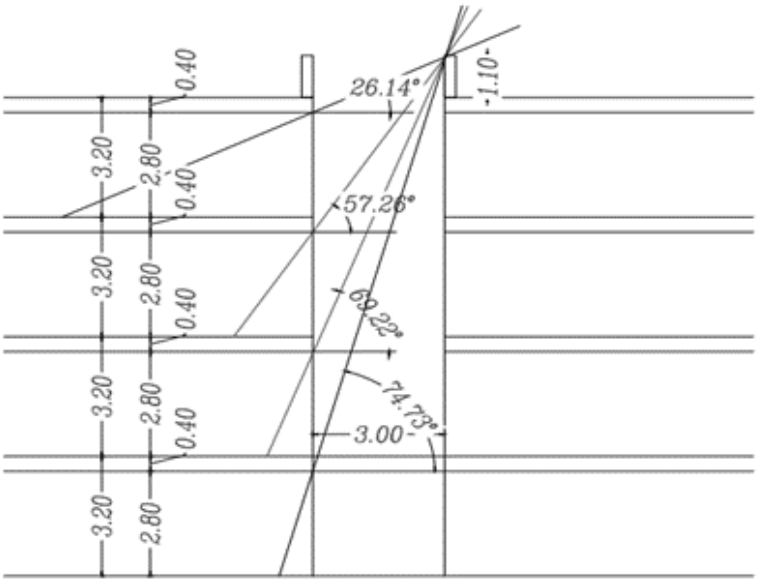
– طبقه سوم: ۲٦٫۱ تا ۹۰ درجه

– طبقه دوم: ۵۷٫۲ تا ۹۰ درجه

– طبقه اول: ٦٩،٢٢ تا ٩٠ درجه

– طبقه همکف: ٧٤،٧٣ تا ٩٠ درجه

بر اساس مقادیر گزارش‌شده، با کاهش تراز قرارگیری پنجره‌ها، حد پایین محدوده زاویه تابش افزایش می‌یابد. این موضوع نشان می‌دهد که پنجره‌های واقع در طبقات پایین‌تر، به دلیل انسداد ناشی از جداره‌های نورگیر، با محدودیت بیشتری در دریافت تابش مستقیم خورشید مواجه هستند.



شکل ۱.محدوده زاویه تابش برای طبقات مختلف

روش تحلیل بر اساس استخراج و مقایسه ساعات سالانه تابش مستقیم خورشید انجام شده است.در این روش، مقادیر گزارش‌شده برای ۱۲ جهت جغرافیایی و چهار تراز ساختمانی شامل همکف، اول، دوم و سوم بررسی و با یکدیگر مقایسه شده‌اند. در مرحله تحلیل، تأثیر جهت‌گیری پنجره‌ها و موقعیت عمودی آن‌ها بر مدت دریافت تابش مستقیم خورشید مورد بررسی قرار گرفته است. سپس تفاوت ساعات تابش در جهت‌ها و طبقات مختلف، با توجه به شرایط هندسی نورگیر و محدودیت‌های ناشی از انسداد جداره‌ها، تفسیر شده است.در نهایت، نتایج این مقایسه در ارتباط با حداقل ابعاد هندسی نورگیر در مبحث چهارم مقررات ملی ساختمان بررسی شده‌اند تا مشخص شود رعایت ابعاد تعیین‌شده در مقررات، چه ارتباطی با میزان دسترسی پنجره‌ها به تابش مستقیم خورشید دارد.



شکل۲. ۱۲ جهت جغرافیایی و چهار تراز

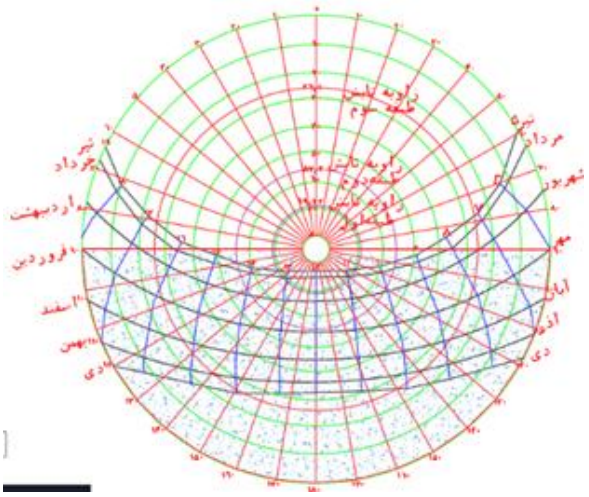
ساختمانی

یافته های پژوهش

یافته‌های پژوهش بر اساس داده‌های حاصل از تحلیل نقاله خورشیدی در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه شمالی و بررسی جهت‌گیری پنجره‌ها در ۱۲ حالت مختلف ارائه شده است. در این بخش، میزان ساعات سالانه تابش مستقیم خورشید در طبقات مختلف نورگیر ٤×۳ متر بررسی و مقایسه می‌شود.

عملکرد نورگیر در جهت شمال

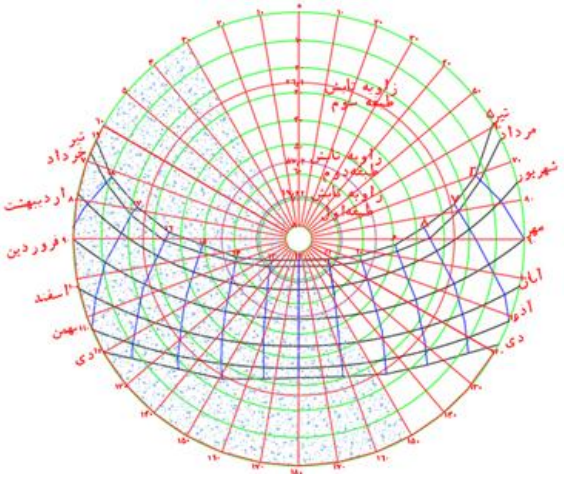
بر اساس داده‌های استخراج‌شده، پنجره شمالی در طبقات همکف، اول و دوم در طول سال تابش مستقیم خورشید دریافت نمی‌کند. در طبقه سوم، میزان تابش مستقیم سالانه ۱۸۰ ساعت گزارش شده است که مربوط به ماه‌های خرداد، تیر و مرداد بوده و عمدتاً در ساعات صبح و عصر اتفاق می‌افتد.



شکل۳.عملکرد نورگیر در جهت شمال

عملکرد نورگیر در جهت۳۰ درجه شمال شرقی

در جهت ۳۰ درجه شمال‌شرقی، طبقات همکف و اول فاقد تابش مستقیم خورشید هستند. در طبقه دوم، میزان تابش مستقیم سالانه ۲۰۰ ساعت گزارش شده که در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد و در ساعات صبح رخ می‌دهد. در طبقه سوم، امکان دریافت تابش مستقیم در ماه‌های فروردین، اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد، شهریور و مهر وجود دارد.



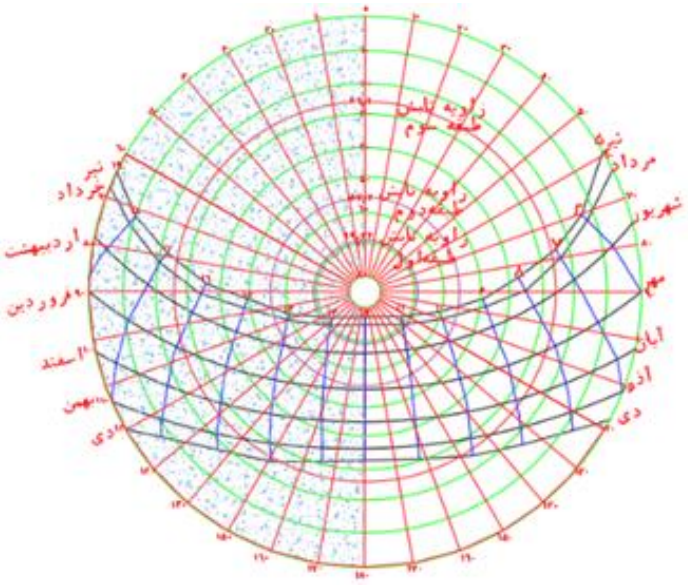
شکل٤.عملکرد نورگیر در جهت۳۰ درجه شمال شرقی

عملکرد نورگیر در جهت ٦۰ درجه شمال شرقی-شرق

در جهت ٦۰ درجه شمال‌شرقی، طبقه همکف تابش مستقیم خورشید دریافت نمی‌کند. در طبقه اول، میزان تابش مستقیم سالانه ۲۵ ساعت بوده که تنها در تیرماه اتفاق می‌افتد. طبقه دوم با دریافت ١٦۰ ساعت تابش مستقیم در سال، در ماه‌های اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد و شهریور از تابش خورشید بهره‌مند می‌شود. در طبقه سوم نیز، بر اساس داده‌های موجود، در تمامی ماه‌های سال به‌جز دی‌ماه امکان دریافت تابش مستقیم وجود دارد.

عملکرد نورگیر در جهت شرق

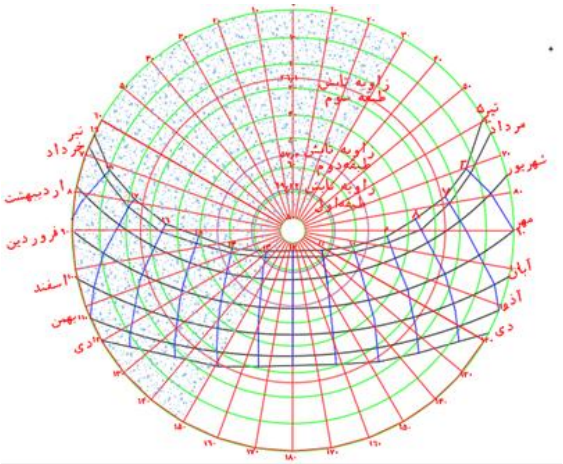
در جهت شرق، طبقه اول ۹۵ ساعت، طبقه دوم ۳۲۵ ساعت و طبقه سوم ١٠٤٨ ساعت تابش مستقیم سالانه دریافت می‌کند. این توزیع نشان می‌دهد که دریافت تابش مستقیم در طبقات پایین‌تر به‌شدت محدود بوده و بیشترین میزان آن مربوط به طبقه سوم است. در بررسی ماهانه نیز، طبقه اول تنها در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد تابش محدودی دریافت می‌کند، درحالی‌که طبقه سوم در ماه‌های بیشتری از سال در معرض تابش مستقیم خورشید قرار می‌گیرد.



شکل۵.عملکرد نورگیر در جهت شرق

عملکرد نورگیر در جهت ۱۲۰ درجه جنوب شرقی

در جهت ۱۲۰ درجه جنوب‌شرقی، طبقه همکف ۲۰ ساعت، طبقه اول ۱٤٥ ساعت، طبقه دوم ٤٧٥ ساعت و طبقه سوم ١٦٠٣ ساعت تابش مستقیم سالانه دریافت می‌کند.این مقادیر در مقایسه با جهت شرق افزایش قابل‌توجهی نشان می‌دهند و بیانگر آن هستند که متمایل‌شدن جهت پنجره به سمت جنوب، در مدل مورد بررسی، موجب افزایش ساعات دریافت تابش مستقیم خورشید می‌شود. بااین‌حال، اختلاف میان طبقات اول و سوم همچنان زیاد بوده و توزیع ساعات تابش مستقیم در ارتفاع نورگیر یکنواخت نیست.

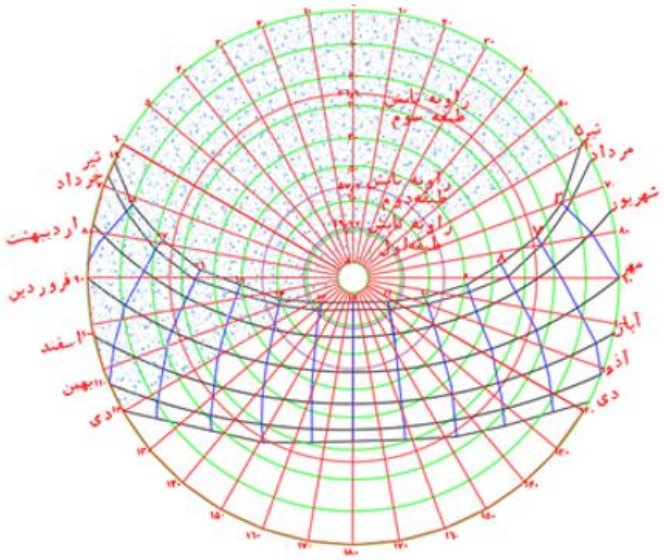


شکل٦.عملکرد نورگیر در جهت ۱۲۰ درجه جنوب شرقی

عملکرد نورگیر در جهت ۱۵۰ درجه جنوب شرقی

در جهت ۱۵۰ درجه جنوب‌شرقی، طبقه همکف ۳۰ ساعت، طبقه اول ۲۰۷ ساعت، طبقه دوم ۵۴۲ ساعت و طبقه سوم ۲۲۱۰ ساعت تابش مستقیم سالانه دریافت می‌کند.

این جهت یکی از مطلوب‌ترین حالت‌ها از نظر مدت دریافت تابش مستقیم در داده‌های موجود است. افزایش ساعات تابش نسبت به جهت‌های شرقی نشان می‌دهد که نزدیک‌شدن جهت پنجره به جنوب، در شرایط هندسی مورد مطالعه، با افزایش دریافت تابش مستقیم همراه است. بااین‌وجود، طبقات همکف و اول همچنان ساعات تابش بسیار کمتری نسبت به طبقه سوم دارند که نشان‌دهنده محدودیت دریافت تابش مستقیم در ترازهای پایین نورگیر است.

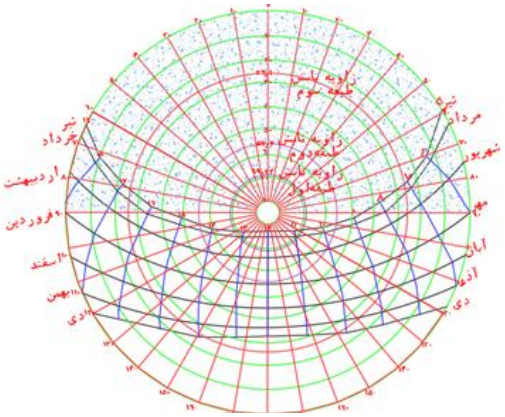


شکل۷.عملکرد نورگیر در جهت ۱۵۰ درجه جنوب شرقی

عملکرد نورگیر در جهت جنوب

در جهت جنوب، بیشترین میزان تابش مستقیم سالانه در میان جهت‌های دارای داده عددی گزارش شده است. در این جهت، طبقه همکف ۳۰ ساعت، طبقه اول ۲۱۰ ساعت، طبقه دوم ۶۶۰ ساعت و طبقه سوم ۲۶۱۵ ساعت تابش مستقیم خورشید دریافت می‌کند.

این داده‌ها نشان می‌دهند که جهت جنوبی در مدل مورد بررسی، از نظر مدت دریافت تابش مستقیم، عملکرد بهتری نسبت به سایر جهت‌های گزارش‌شده دارد. بااین‌حال، اختلاف قابل‌توجه میان ساعات تابش طبقات پایین و بالا همچنان مشاهده می‌شود و توزیع تابش مستقیم در ارتفاع نورگیر یکسان نیست.



شکل۸.عملکرد نورگیر در جهت جنوب

عملکرد نورگیر در پنجره جهت ۱۵۰درجه جنوب غربی ۱۲۰ درجه جنوب غربی ، غرب ،۶۰ درجه شـــمال غربی و ۳۰ درجه شمال غربی

بر اساس داده‌های ارائه‌شده در منبع اولیه، میزان ساعات تابش مستقیم خورشید در جهت‌های غربی با جهت‌های متناظر شرقی برابر گزارش شده است. این مقایسه به شرح زیر است:

– جهت ۱۵۰ درجه جنوب‌غربی، مشابه جهت ۱۵۰ درجه جنوب‌شرقی است.

– جهت ۱۲۰ درجه جنوب‌غربی، مشابه جهت ۱۲۰ درجه جنوب‌شرقی است.

– جهت غرب، مشابه جهت شرق است.

– جهت ۶۰ درجه شمال‌غربی، مشابه جهت ۶۰ درجه شمال‌شرقی است.

– جهت ۳۰ درجه شمال‌غربی، مشابه جهت ۳۰ درجه شمال‌شرقی است.

بنابراین، در داده‌های اولیه، برای جهت‌های متناظر شرقی و غربی مقادیر یکسانی گزارش شده است. این تقارن مربوط به نتایج مدل مورد مطالعه بوده و برای تأیید آن، بررسی شرایط هندسی و محاسبات اولیه ضروری است.

بحث و تحلیل

نتایج پژوهش نشان می‌دهد که جهت جنوبی، در میان جهت‌های بررسی‌شده، بیشترین میزان تابش مستقیم خورشید را برای نورگیر ٤×٣ متر در شهر کرج فراهم می‌کند. این موضوع از منظر اقلیمی قابل انتظار است؛ زیرا در نیمکره شمالی، سطوح جنوبی معمولاً امکان دریافت تابش مستقیم خورشید را در بازه‌های گسترده‌تری از سال دارند. بااین‌حال، عملکرد بهتر جهت جنوبی به معنای کفایت تابش در تمامی طبقات نیست؛ زیرا در همین جهت، طبقه همکف تنها ۳۰ ساعت و طبقه اول ۲۱۰ ساعت تابش مستقیم سالانه دریافت می‌کند که نسبت به ۲٦۱۵ ساعت گزارش‌شده برای طبقه سوم بسیار کمتر است.یکی از مهم‌ترین یافته‌های پژوهش، کاهش چشمگیر ساعات دریافت تابش مستقیم خورشید در طبقات پایین‌تر نورگیر است. بر اساس داده‌های موجود، در جهت‌های دارای مقادیر قابل مقایسه، طبقات بالاتر عموماً مدت بیشتری از تابش مستقیم خورشید بهره‌مند می‌شوند. این روند نشان می‌دهد که عمق نورگیر و نسبت ارتفاع به عرض آن، نقش مهمی در محدودیت دسترسی پنجره‌های طبقات پایین به تابش مستقیم دارند.

این موضوع با مبانی هندسی نورگیری در آتریوم‌ها و حیاط‌های داخلی هم‌خوانی دارد؛ زیرا با افزایش عمق مؤثر نورگیر، انسداد ناشی از جداره‌ها بیشتر شده و دسترسی سطوح پایین به آسمان کاهش می‌یابد. بنابراین، در طراحی نورگیرهای چندطبقه، توجه به ابعاد افقی به‌تنهایی کافی نبوده و ارتفاع جداره‌ها نیز باید مورد بررسی قرار گیرد.مبحث چهارم مقررات ملی ساختمان، برای نورگیرهای مشمول ضوابط مربوط، حداقل‌هایی از نظر مساحت و عرض تعیین کرده است. با این‌حال، یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که رعایت این حداقل‌های هندسی، به‌تنهایی نمی‌تواند یکسان‌بودن میزان دریافت تابش مستقیم خورشید را در طبقات و جهت‌های مختلف تضمین کند.دو نورگیر با ابعاد یکسان ممکن است به دلیل تفاوت در جهت‌گیری و موقعیت پنجره‌ها، ساعات متفاوتی از تابش مستقیم خورشید دریافت کنند. ازاین‌رو، در کنار ضوابط هندسی، توجه به شاخص‌های عملکردی نیز اهمیت دارد. استفاده از تحلیل مسیر خورشید، بررسی ساعات تابش مستقیم و ارزیابی شاخص‌های روشنایی روز می‌تواند به شناخت دقیق‌تر عملکرد نورگیر کمک کند.البته باید توجه داشت که ساعات تابش مستقیم، تنها یکی از شاخص‌های مرتبط با عملکرد نورگیر است و ارزیابی کامل کیفیت نور روز نیازمند بررسی میزان روشنایی، توزیع نور و احتمال خیرگی نیز خواهد بود.هرچند این پژوهش ماهیتی معماری دارد، اما موضوع نور طبیعی با کیفیت محیط داخلی و سلامت ساکنان نیز ارتباط پیدا می‌کند. نور روز در تنظیم ریتم شبانه‌روزی بدن، کیفیت خواب و آسایش افراد نقش دارد و دسترسی مناسب به آن یکی از موضوعات مهم در طراحی فضاهای مسکونی محسوب می‌شود.با این‌حال، نتایج این پژوهش صرفاً بر مدت دریافت تابش مستقیم خورشید متمرکز است و نمی‌توان بر اساس آن، درباره وضعیت سلامت ساکنان یا میزان روشنایی واقعی فضاهای داخلی قضاوت قطعی کرد. از این منظر، یافته‌های حاضر بیشتر بر اهمیت توجه به عملکرد نورگیر در فرایند طراحی تأکید دارند.

بر اساس یافته‌های پژوهش، توجه صرف به حداقل مساحت و عرض نورگیر نمی‌تواند تمامی جنبه‌های عملکرد آن را مشخص کند. ازاین‌رو، پیشنهاد می‌شود در کنار ضوابط هندسی موجود، امکان استفاده از معیارهای عملکردی تکمیلی نیز در ارزیابی نورگیرها مورد توجه قرار گیرد.برای مثال، بررسی ساعات دریافت تابش مستقیم خورشید، میزان روشنایی روز، توزیع نور در طبقات و احتمال بروز خیرگی می‌تواند اطلاعات دقیق‌تری درباره عملکرد نورگیر فراهم کند. البته تعیین حدود قابل قبول برای این شاخص‌ها نیازمند پژوهش‌های تکمیلی و بررسی شرایط اقلیمی و کاربری ساختمان است. چنین رویکردی می‌تواند موجب شود که نورگیر، علاوه بر پاسخ‌گویی به الزامات هندسی، از نظر عملکرد محیطی نیز با دقت بیشتری طراحی و ارزیابی شود.

جدول۲.نتایج و یافته های تحلیلی

ردیف	محور تحلیلی	یافته پژوهش	تفسیر و دلالت
۱	برتری جهت جنوبی	در میان ۱۲ جهت بررسی‌شده، جهت جنوبی بیشترین ساعات تابش مستقیم سالانه را برای نورگیر ۳×٤ متر در کرج (عرض ۳۵ درجه شمالی) تأمین می‌کند. این امر با منطق اقلیمی نیمکره شمالی مبنی بر دامنه گسترده‌تر تابش در جبهه جنوبی سازگار است.	جهت‌گیری، متغیر تعیین‌کننده اول در عملکرد نورگیر است؛ اما بهینه‌بودن نسبی جنوب به‌معنای کفایت مطلق آن در همه طبقات نیست.

۲	افت شدید عملکرد در طبقات پایین	در همین جهت جنوبی: طبقه همکف ۳۰ ساعت، طبقه اول ۲۱۰ ساعت، طبقه سوم ۲۶۱۵ ساعت تابش مستقیم سالانه دریافت می‌کنند. در سایر جهت‌های قابل مقایسه نیز روند کاهشی از بالا به پایین حاکم است.	عمق مؤثر نورگیر و نسبت ارتفاع به عرض، عامل انسداد جداره‌ها و کاهش دسترسی به آسمان است. ابعاد افقی به‌تنهایی تعیین‌کننده نیست و ارتفاع جداره باید در طراحی لحاظ شود؛ مشابه مبانی هندسی آتریوم‌ها و حیاط‌های داخلی.
۳	ناکفایتی ضابطه صرفاً هندسی	رعایت حداقل‌های مساحت و عرض مبحث چهارم مقررات ملی، توزیع یکسان تابش در طبقات و جهت‌های مختلف را تضمین نمی‌کند. دو نورگیر هم‌ابعاد با جهت و موقعیت پنجره متفاوت، عملکرد کاملاً متفاوت دارند.	ضوابط هندسی شرط لازم اما ناکافی است. تکمیل آن با شاخص‌های عملکردی شامل تحلیل مسیر خورشید، ساعات تابش مستقیم، میزان و توزیع روشنایی روز و کنترل خیرگی ضروری است. ساعات تابش مستقیم به‌تنهایی شاخص کامل کیفیت نور نیست.
٤	پیوند نور و سلامت	نور روز در تنظیم ریتم شبانه‌روزی، کیفیت خواب و آسایش مؤثر است، اما این پژوهش فقط مدت تابش مستقیم را سنجیده است.	نمی‌توان از ساعات تابش مستقیم، مستقیماً به روشنایی داخلی یا سلامت ساکنان تعمیم داد. یافته‌ها صرفاً بر لزوم توجه به عملکرد نورگیر در فرآیند طراحی تأکید دارند.
۵	ضرورت بازتعریف ضوابط	اتکا به حداقل مساحت و عرض، جنبه‌های عملکردی نورگیر را پوشش نمی‌دهد.	پیشنهاد می‌شود در کنار ضوابط هندسی، معیارهای عملکردی تکمیلی (ساعات تابش مستقیم، روشنایی روز، توزیع نور در طبقات، خیرگی) با توجه به اقلیم و کاربری، طی پژوهش‌های تکمیلی تدوین و در ارزیابی نورگیرها به‌کار رود تا طراحی هم از نظر هندسی و هم عملکرد محیطی دقیق شود.

راهکارهای اجرایی و مداخلات پیشنهادی

گذار از طراحی تجویزی به طراحی عملکردمحور

نخستین و مهم‌ترین راهکار، حرکت از طراحی صرفاً ضابطه‌محور به سمت طراحی عملکردمحور است. در این رویکرد، علاوه بر تأمین حداقل ابعاد هندسی نورگیر، عملکرد واقعی آن نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد. این ارزیابی می‌تواند از طریق تحلیل نقاله خورشیدی، شبیه‌سازی نور روز و بررسی شاخص‌های روشنایی انجام شود. چنین رویکردی امکان شناسایی محدودیت‌های نورگیری را پیش از اجرای ساختمان فراهم کرده و می‌تواند به بهبود کیفیت طراحی کمک کند.

اصلاح هندسه نورگیر

یکی از راهکارهای مؤثر برای بهبود عملکرد نورگیرهای عمیق، اصلاح هندسه آن‌هاست. همان‌طور که داده‌های پژوهش نشان می‌دهند، طبقات پایین در مقایسه با طبقات بالاتر، ساعات بسیار کمتری از تابش مستقیم خورشید دریافت می‌کنند. بنابراین، استفاده از فرم‌های پلکانی، مورب یا گشادشونده به سمت پایین می‌تواند با کاهش انسداد جداره‌ها و افزایش زاویه دید به آسمان، شرایط دریافت نور را بهبود بخشد.

همچنین ایجاد شکست‌های هندسی در جداره‌ها و کاهش عمق مؤثر نورگیر از دیگر راهکارهایی است که می‌تواند در مرحله طراحی مورد بررسی قرار گیرد. بااین‌حال، میزان تأثیر این تغییرات باید متناسب با شرایط هندسی و اقلیمی هر پروژه ارزیابی شود.

استفاده از سطوح بازتابنده

افزایش ضریب بازتاب جداره‌های داخلی نورگیر، یکی از راهکارهای نسبتاً کم‌هزینه برای بهبود انتقال نور به طبقات پایین‌تر است. سطوح روشن و مصالح با بازتاب مناسب می‌توانند بخشی از نور دریافتی را به قسمت‌های عمیق‌تر نورگیر منعکس کنند. در مقابل، سطوح تیره با جذب بیشتر نور، میزان بازتاب آن را کاهش می‌دهند.

بنابراین، استفاده از رنگ‌های روشن، اندودهای بازتابنده و مصالح با ویژگی‌های نوری مناسب می‌تواند در طراحی جداره‌های داخلی نورگیر مورد توجه قرار گیرد. البته میزان اثربخشی این راهکار به جنس مصالح، ضریب بازتاب و هندسه نورگیر وابسته است.

به‌کارگیری عناصر هدایت‌کننده نور

عناصری مانند قفسه‌های نوری (Light Shelf)، پلنل‌های بازتابنده و سطوح هدایت‌کننده نور می‌توانند به توزیع بهتر روشنایی در فضاهای داخلی کمک کنند. این عناصر با بازتاب و هدایت نور ورودی، امکان انتقال بخشی از آن را به عمق فضا فراهم می‌کنند.

به‌کارگیری چنین تجهیزاتی، به‌ویژه در فضاهایی که دسترسی محدودی به نور مستقیم دارند، می‌تواند به‌عنوان یک راهکار تکمیلی مورد بررسی قرار گیرد. بااین‌حال، طراحی آن‌ها باید به‌گونه‌ای باشد که موجب افزایش خیرگی یا دریافت حرارت ناخواسته نشود.

بهینه‌سازی بازشوها و شیشه‌ها

ابعاد بازشوها، نوع شیشه و میزان عبوردهی نور باید متناسب با جهت‌گیری پنجره‌ها و شرایط اقلیمی انتخاب شوند. در جهت‌های جنوبی، استفاده از شیشه‌های کنترل‌کننده انرژی و سایه‌بان‌های مناسب می‌تواند به کنترل تابش و کاهش گرمای ناخواسته کمک کند. در جهت‌های شمالی و شرقی نیز استفاده از شیشه‌هایی با عبوردهی نوری مناسب و بررسی امکان افزایش سطح شفاف می‌تواند مفید باشد.

این موضوع نشان می‌دهد که راهکار یکسانی برای تمامی جهت‌ها وجود ندارد و ویژگی‌های بازشوها باید با توجه به میزان تابش، روشنایی مورد نیاز و شرایط حرارتی فضا تعیین شوند.

شبیه‌سازی نور روز در مراحل طراحی

استفاده از نرم‌افزارهای تخصصی مانند Radiance، Honeybee و ClimateStudio می‌تواند در مراحل اولیه طراحی، نقاط ضعف نورگیر را از نظر میزان و توزیع روشنایی روز مشخص کند. این ابزارها امکان بررسی گزینه‌های مختلف طراحی و

مقایسه عملکرد آن‌ها را پیش از اجرا فراهم می‌کنند.

به‌کارگیری شبیه‌سازی نور روز در کنار تحلیل نقاله خورشیدی می‌تواند به تصمیم‌گیری دقیق‌تر درباره ابعاد نورگیر، جهت‌گیری پنجره‌ها و انتخاب مصالح کمک کند. همچنین پیشنهاد می‌شود استفاده از ارزیابی‌های عملکردی، به‌عنوان یکی از مراحل تکمیلی کنترل طرح‌های ساختمانی مورد توجه قرار گیرد.

اولویت‌بندی مداخلات

با توجه به اینکه در بسیاری از ساختمان‌های موجود امکان بازطراحی کامل نورگیر وجود ندارد، راهکارهای پیشنهادی را می‌توان بر اساس میزان هزینه و گستردگی مداخله اولویت‌بندی کرد.

مداخلات کم‌هزینه شامل رنگ‌آمیزی روشن جداره‌ها، اصلاح جزئی بازشوها و رفع موانع نورگیری است. مداخلات با هزینه متوسط می‌تواند شامل نصب عناصر بازتابنده و قفسه‌های نوری باشد. در مقابل، تغییر هندسه اصلی نورگیر و بازطراحی پلان ساختمان معمولاً به مداخلات گسترده‌تر و پرهزینه‌تری نیاز دارد.

این دسته‌بندی می‌تواند به طراحان و تصمیم‌گیرندگان کمک کند تا متناسب با شرایط ساختمان، بودجه و میزان امکان مداخله، راهکار مناسب‌تری را انتخاب کنند. البته تعیین اثربخشی نهایی هر راهکار نیازمند بررسی و ارزیابی مستقل است.

جدول۳.راهکارهای طراحی

ردیف	راهکار	هدف و اقدام کلیدی	ملاحظات تحلیلی و محدودیت
۱	گذار از طراحی تجویزی به عملکردمحور	علاوه بر رعایت حداقل ابعاد هندسی، ارزیابی عملکرد واقعی نورگیر با نقاله خورشیدی، شبیه‌سازی نور روز و شاخص‌های روشنایی، برای شناسایی محدودیت‌ها پیش از اجرا.	امکان مقایسه گزینه‌ها و بهبود کیفیت طراحی را فراهم می‌کند؛ نیازمند دانش فنی و ابزار تحلیلی در فرآیند طراحی و کنترل نقشه است.
۲	اصلاح هندسه نورگیر	کاهش انسداد جداره‌ها در نورگیرهای عمیق با فرم پلکانی، مورب یا گشادشونده به پایین، شکست هندسی جداره و کاهش عمق مؤثر برای افزایش دید به آسمان طبقات پایین.	مستقیماً به یافته افت شدید تابش در طبقات پایین (۳۰ و ۲۱۰ ساعت در همکف و اول جنوبی در برابر ۲٦۱۵ ساعت در سوم) پاسخ می‌دهد؛ میزان اثر وابسته به هندسه و اقلیم هر پروژه و نیازمند ارزیابی موردی است.
۳	استفاده از سطوح بازتابنده	افزایش ضریب بازتاب جداره‌های داخلی با رنگ روشن، اندود و مصالح با ویژگی نوری مناسب برای انتقال نور به عمق نورگیر.	راهکاری کم‌هزینه و مناسب ساختمان‌های موجود؛ سطوح تیره اثر معکوس دارند. اثربخشی وابسته به جنس، ضریب بازتاب و هندسه است.
٤	عناصر هدایت‌کننده نور	به‌کارگیری قفسه نوری(Light Shelf) ، پانل‌ها و سطوح بازتابنده برای هدایت نور به عمق فضا، به‌ویژه در واحدهای با دسترسی محدود به نور مستقیم.	راهکار تکمیلی مؤثر؛ باید به‌گونه‌ای طراحی شود که موجب خیرگی یا بار حرارتی ناخواسته نشود.

۵	بهینه‌سازی بازشوها و شیشه‌ها	تناسب ابعاد بازشو، نوع شیشه و عبوردهی نوری با جهت و اقلیم؛ شیشه کنترل‌کننده انرژی و سایه‌بان در جنوب، شیشه با عبوردهی بالا و افزایش سطح شفاف در شمال و شرق.	نسخه واحد برای همه جهت‌ها وجود ندارد؛ توازن میان تابش، روشنایی مورد نیاز و شرایط حرارتی باید رعایت شود.
٦	شبیه‌سازی نور روز در طراحی	استفاده از Radiance ، Honeybeeو ClimateStudioدر مراحل اولیه برای سنجش میزان و توزیع روشنایی و مقایسه گزینه‌های ابعاد، جهت و مصالح در کنار تحلیل نقاله خورشیدی.	تصمیم‌گیری را دقیق و مستند می‌کند؛ پیشنهاد می‌شود ارزیابی عملکردی به‌عنوان مرحله تکمیلی کنترل طرح‌ها مورد توجه قرار گیرد.
۷	اولویت‌بندی مداخلات	کم‌هزینه: رنگ روشن، اصلاح جزئی بازشو، رفع موانع؛ هزینه متوسط: نصب بازتابنده و قفسه نوری؛ پرهزینه و گسترده: تغییر هندسه و بازطراحی پلان.	متناسب با شرایط ساختمان موجود، بودجه و امکان مداخله قابل انتخاب است؛ تعیین اثربخشی نهایی هر راهکار نیازمند ارزیابی مستقل است.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر نشان می‌دهد که نورگیر ٤×۳ متر در اقلیم کرج، با وجود برخورداری از حداقل ابعاد هندسی مورد بررسی در ضوابط مبحث چهارم مقررات ملی ساختمان، از نظر مدت دریافت تابش مستقیم خورشید در جهت‌ها و طبقات مختلف عملکرد متفاوتی دارد. بر اساس داده‌های مورد مطالعه، جهت جنوبی بیشترین میزان تابش مستقیم را دریافت می‌کند، درحالی‌که جهت شرق و برخی جهت‌های دیگر، به‌ویژه در طبقات پایین، ساعات تابش بسیار محدودتری دارند.

این اختلاف نشان می‌دهد که رعایت حداقل ابعاد هندسی نورگیر، به‌تنهایی نمی‌تواند دریافت یکسان تابش مستقیم خورشید را تضمین کند.یافته‌های پژوهش همچنین نشان می‌دهند که طبقات پایین‌تر نورگیر، در مقایسه با طبقات بالاتر، با کاهش محسوس ساعات تابش مستقیم مواجه هستند. این مسئله بیانگر اهمیت نسبت ارتفاع به عرض نورگیر و محدودیت‌های ناشی از انسداد جداره‌ها در میزان دسترسی پنجره‌ها به تابش خورشید است. ازاین‌رو، طراحی نورگیر نباید صرفاً بر اساس ابعاد هندسی انجام شود، بلکه لازم است شرایط عملکردی آن نیز مورد توجه قرار گیرد.از منظر مقرراتی، نتایج پژوهش بر ضرورت توجه به شاخص‌های عملکردی در کنار ضوابط هندسی موجود تأکید دارد. بررسی ساعات تابش مستقیم، میزان روشنایی روز، توزیع نور و کنترل خیرگی می‌تواند در ارزیابی دقیق‌تر عملکرد نورگیرها مؤثر باشد. البته تعیین معیارهای کمی و حدود قابل قبول برای این شاخص‌ها نیازمند مطالعات تکمیلی است.در نهایت، می‌توان گفت عملکرد نورگیر ٤×۳ متر به عواملی مانند جهت‌گیری، هندسه، موقعیت پنجره‌ها در طبقات و شرایط اقلیمی وابسته است. بنابراین، نورگیر را باید علاوه بر یک الزام ضابطه‌ای، عنصری عملکردی و اقلیمی در طراحی ساختمان دانست. پژوهش حاضر با نشان‌دادن تفاوت میان رعایت حداقل

ابعاد هندسی و میزان دریافت تابش مستقیم خورشید، بر اهمیت ارزیابی عملکرد نورگیرها در فرایند طراحی معماری تأکید می‌کند.

پیشنهادها برای پژوهش‌های آینده

با توجه به نتایج و محدودیت‌های پژوهش حاضر، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده موضوعات زیر مورد بررسی قرار گیرند:

۱. انجام شبیه‌سازی نور روز برای نورگیرهایی با ابعاد و اشکال مختلف در شهر کرج و شهرهای دارای شرایط اقلیمی مشابه.

۲. مقایسه عملکرد نورگیرهای ٤×٣، ٤×٤ و ٤×٦ متر از نظر میزان روشنایی روز و مصرف انرژی.

۳. بررسی رابطه میان عملکرد نورگیر، مصرف برق روشنایی و آسایش روانی ساکنان.

٤. تحلیل عملکرد نورگیر در فصول مختلف سال، با استفاده از داده‌های ماهانه و ساعتی تابش خورشید.

۵. بررسی امکان تدوین شاخص‌های بومی برای ارزیابی عملکرد نورگیرها در مقررات ملی ساختمان ایران.

منابع

عادل‌نسب، سید محمدرضا، و تیمورتاش، شبنم (١٤٠٣). تعیین لندازه مورد نیاز برای پاسیوهای نورگیر در ساختمان‌های مسکونی بر پایه الزامات مبحث چهارم مقررات ملی ساختمان .نشریه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو، دوره ۱۱، شماره ۱ https://doi.org/10.22034/jrenew.2024.189930 .

مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی(١٣٩٦).*مبحث چهارم مقررات ملی ساختمان: الزامات عمومی ساختمان (ویرایش سوم)* .تهران: وزارت راه و شهرسازی، دفتر تدوین مقررات ملی ساختمان.

میری، مجید، و کمپانی سعید، محسن (۱۳۹۳). عارضه‌یابی مقررات ملی ساختمان در حوزه بهره‌مندی از نور روز در شهر قزوین .معماری و شهرسازی آرمان‌شهر، ۷ (اولین ویژه‌نامه نورپردازی)، ۱۲۱-۱۰۹.

هاشمی، علی، و بمانیان، محمدرضا (١٤٠٢). تأثیر هندسه و سطح نورگیر بر ویژگی‌های نور روز اتاق در معماری مسکونی دوره قاجار (نمونه موردی: خانه‌های سنتی واقع در محله عودلاجان شهر تهران) .*پژوهش‌های معماری نوین، دوره ۳، شماره ۲ (تابستان ۱٤۰۲)*، ۲۳-۷.

مفیدی، سیدمجید، حسینی، سیدباقر، مدی، حسین (۱۳۸۹). بررسی عملکرد اقلیمی نورگیرهای داخلی ساختمان‌های اداری (مطالعه موردی: ساختمان‌های نمونه در حوزه اقلیمی تهران) .*نشریه معماری و شهرسازی ایران، دوره ۱، شماره ۱، ۱۰۸-۱۰۱* https://doi.org/10.30475/isau.2010.61929 .

موسوی، فاطمه، محمودی زرندی، مهناز، طاهباز، منصوره (۱۳۹۷). تاثیر هندسه و سطح نورگیر پنجره‌های اتاق‌های زمستان‌نشین بر عمق نفوذ نور روز (مطالعه موردی: خانه‌های سنتی یزد) .*نشریه هویت شهر، سال دوازدهم، شماره ۳۶، ۱۸-۵.*

Aldawoud, A. (2013). The influence of the atrium geometry on the building energy performance. Energy and Buildings, 57, 1–5. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.10.038

European Committee for Standardization. (2021). EN 17037:2018+A1:2021: Daylight in buildings. CEN.

Ghasemi, M., Noroozi, M., Kazemzadeh, M., & Roshan, M. (2015). The influence of well geometry on the daylight performance of atrium adjoining spaces: A parametric study. Journal of Building Engineering, 3, 39–47 .

International Commission on Illumination. (2006). Test cases to assess the accuracy of lighting computer programs (CIE 171:2006). CIE.

Mohsenin, M., & Hu, J. (2015). Assessing daylight performance in atrium buildings by using Climate Based Daylight Modeling. Solar Energy, 119, 553–560. https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.05.011

Mohsenin, M., & Hu, J. (2017). Daylight prediction in individual floors using well index. Architecture, Civil Engineering, Environment, 10(2), 109–114.

Reinhart, C. F., Mardaljevic, J., & Rogers, Z. (2006). Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design. LEUKOS, 3(1), 7–31.